

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: 93

Nach § 10 Abs. 5 bis 7 EndlSiAnfV muss ein Sicherheitskonzept im Rahmen der Genehmigungsunterlagen nach § 9b Abs. 1a AtG folgende Punkte beinhalten:

- (5) *„Das Sicherheitskonzept muss eine Darstellung aller vorgesehenen Barrieren des Endlagersystems, insbesondere der wesentlichen Barrieren nach § 4 Abs. 3, ihrer jeweiligen Sicherheitsfunktionen und ihres Zusammenwirkens, enthalten. Die Darstellung muss auch ein Verschlusskonzept zur Abdichtung von Hohlräumen, die mit radioaktiven Abfällen beladen worden sind, umfassen. Es ist darzulegen, dass die Sicherheitsfunktionen des Endlagersystems und seiner Barrieren gegenüber inneren und äußeren Einflüssen und Störungen unempfindlich sind und dass das Verhalten der Barrieren gut prognostizierbar ist.*
- (6) *Das Sicherheitskonzept hat im Übrigen zu enthalten:*
1. *einen Ablaufplan für die Errichtung, den Betrieb und die Stilllegung des Endlagers, der darlegt, wie die Sicherheit des Endlagers nach § 17 sichergestellt werden kann und wie die radioaktiven Abfälle in einem sicheren Zustand gehalten werden können,*
 2. *eine Darstellung der Maßnahmen, mit denen die Rückholbarkeit der eingelagerten radioaktiven Abfälle nach § 13 bis zum Beginn der Stilllegung gewährleistet wird, und*
 3. *eine Darstellung der Vorkehrungen, die zur Ermöglichung einer Bergung der eingelagerten radioaktiven Abfälle nach § 14 getroffen werden*
- (7) *Im Sicherheitskonzept zu berücksichtigen sind Maßnahmen, die bis zum Abschluss der Stilllegung erforderlich sind*
1. *zur Gewährleistung des erforderlichen Schutzes des Endlagers vor Störmaßnahmen und sonstigen Einwirkungen Dritter und*
 2. *zur Überwachung von Kernmaterial.“*

Die Basis für die Erstellung eines Sicherheitskonzeptes im Rahmen der Genehmigungsunterlagen bilden die zu erwartenden Entwicklungen des Endlagersystems im Bewertungszeitraum sowie die abweichenden Entwicklungen (§ 10 Abs. 2 EndlSiAnfV, der Umgang mit Entwicklungen in den rvSU ist in Kapitel 8.2 beschrieben). Das Sicherheitskonzept muss die Ergebnisse aus den vorangegangenen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen berücksichtigen sowie darstellen, dass die Optimierung des Konzeptes abgeschlossen ist (§ 10 Abs. 3 und 4 EndlSiAnfV).

4.1.2 Vorläufiges Sicherheitskonzept im Rahmen der rvSU

Gemäß § 6 Abs. 1 EndlSiUntV muss in den rvSU ein vorläufiges Sicherheitskonzept gemäß den Anforderungen aus § 10 EndlSiAnfV an ein Sicherheitskonzept (im Sinne des Sicherheitsberichtes, siehe Kapitel 4.1.1) für jeden Untersuchungsraum erstellt werden, welches in den weiterentwickelten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (wvSU) und den umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (uvSU) weiterentwickelt werden muss (siehe Abbildung 10).

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: 94

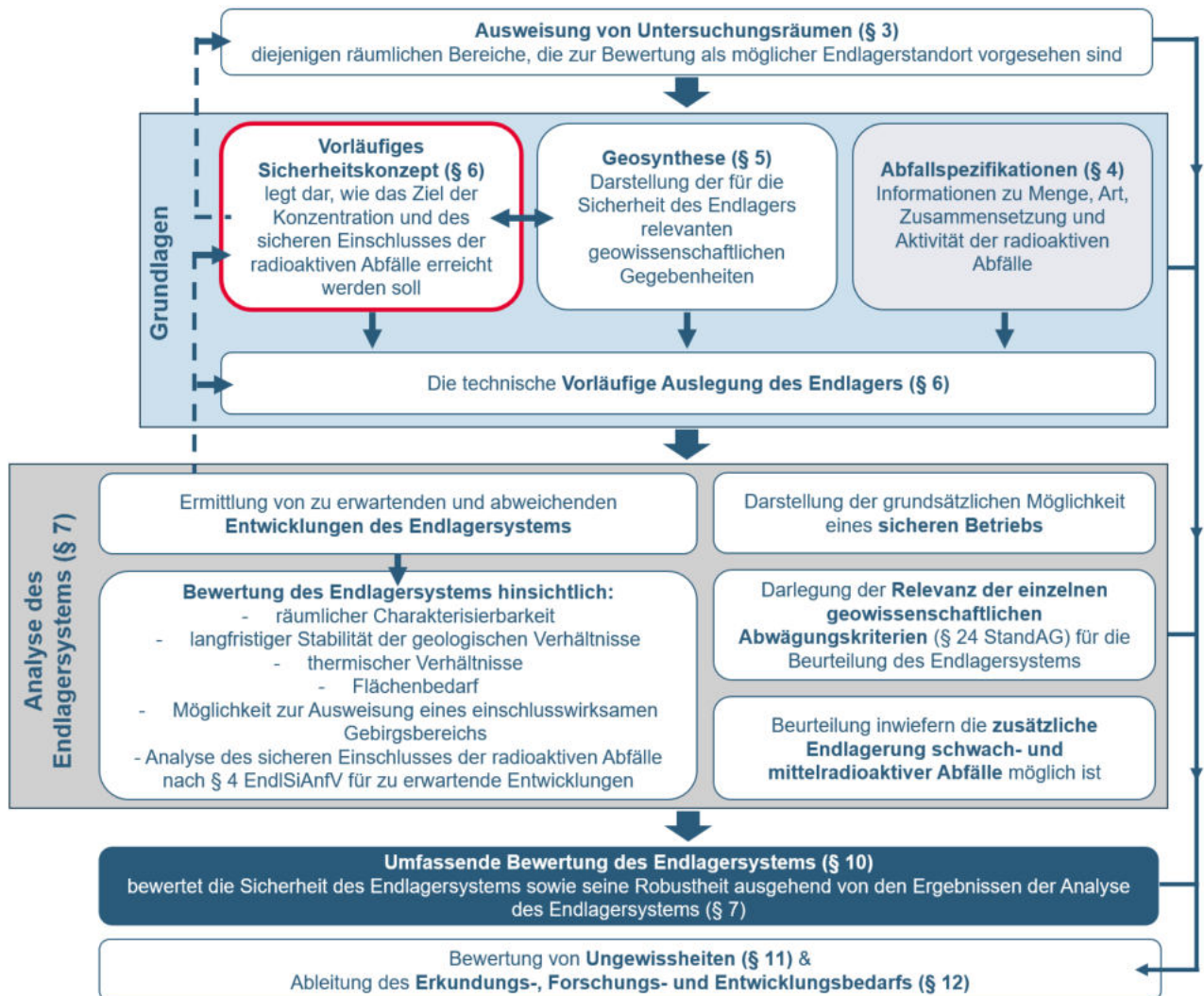


Abbildung 10: Einordnung des vorläufigen Sicherheitskonzeptes in den Kontext der rvSU Die EndlSiUntV macht keine konkreten Vorgaben zur Detailtiefe des vorläufigen Sicherheitskonzeptes in den rvSU im Vergleich zu den wvSU und uvSU oder dem Sicherheitskonzept im Rahmen der Genehmigungsunterlagen. Jedoch sind folgende grundsätzliche Ausnahmeregelungen in der EndlSiUntV bezüglich der rvSU enthalten:

- Eine geringe Detailtiefe der Endlagerauslegung (§ 6 Abs. 4 EndlSiUntV, vgl. Kapitel 4.2).
- Die Darstellung der grundsätzlichen Möglichkeit eines sicheren Betriebs im Vergleich zu einer vollständigen betrieblichen Sicherheitsanalyse in den wvSU und uvSU (§ 7 Abs. 6 Nr. 4 EndlSiUntV, vgl. Kapitel 8.7).
- Die Bewertung einiger Aspekte in Bezug auf die Langzeitsicherheit anhand überschlägiger Abschätzungen und Analogiebetrachtungen ist in den rvSU ausreichend, im Vergleich zu einer vollständigen Langzeitsicherheitsanalyse, welche bei der wvSU und uvSU erfolgt (§ 7 Abs. 6 Nr. 3 EndlSiUntV, vgl. Kapitel 8.3, 8.5 und 8.6).

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: 95

- Es kann die Annahme getroffen werden, dass die technischen und geotechnischen Barrieren ihre Funktion im jeweils vorgesehenen Zeitraum grundsätzlich erfüllen (§ 7 Abs. 6 Nr. 2 EndlSiUntV, vgl. Kapitel 8.4).

Darüber hinaus sind bereits zu Beginn der rvSU die vorläufigen Sicherheitskonzepte für die Ausweisung von Untersuchungsräumen (vgl. Kapitel 3) notwendig. In den rvSU werden die Entwicklungen des Endlagersystems im Rahmen der Analyse des Endlagersystems (§ 7 EndlSiUntV, siehe Kapitel 8.2) abgeleitet. Die Ableitung der Entwicklungen des Endlagersystems erfolgt im Ablauf der Arbeitsschritte (vgl. Kapitel 1.2) somit erst nachdem bereits ein vorläufiges Sicherheitskonzept vorhanden sein muss und sie stehen entsprechend nicht als Basis für die Erstellung des vorläufigen Sicherheitskonzeptes im Rahmen der rvSU zur Verfügung (§ 10 Abs. 2 EndlSiAnfV). Auch hat zu Beginn der rvSU noch keine Optimierung des Endlagersystems (§ 10 Abs. 4 EndlSiAnfV) stattgefunden. Der Umgang mit einer Optimierung im Rahmen der rvSU ist in Kapitel 4.2.9 beschrieben.

Wie in BT-Drs. 19/19291, Seite 49 beschrieben, ist die Detailtiefe des Sicherheitskonzeptes abhängig von der aktuellen Phase des Standortauswahlverfahrens: „*Dessen Detailtiefe entspricht den Möglichkeiten und Erfordernissen der jeweiligen Phase des Standortauswahlverfahrens*“. Entsprechend richtet sich die Detailtiefe der Inhalte des vorläufigen Sicherheitskonzeptes in den rvSU an den Ausnahmeregelungen aus, die in der EndlSiUntV bezüglich der Durchführung der rvSU gemacht werden. Für die Erstellung der vorläufigen Sicherheitskonzepte in den rvSU erfolgt eine Fokussierung auf die Darstellung der grundsätzlichen Strategie, mit der der sicherere Einschluss der radioaktiven Abfälle nach § 4 EndlSiAnfV in einem Endlagersystem erreicht werden kann, und der dazugehörigen Darstellung der Barrieren des Endlagersystems gemäß § 10 Abs. 5 EndlSiAnfV. Da in den rvSU die Betriebsphase des Endlagersystems anhand der Darstellung der grundsätzlichen Möglichkeit eines sicheren Betriebs überschlägig betrachtet wird, konzentriert sich die Darstellung der Strategie und der Barrieren für den sicheren Einschluss in den rvSU auf den Bewertungszeitraum und insbesondere auf die geologischen Barrieren.

Die Bearbeitung der Punkte zu § 10 Abs. 6 EndlSiAnfV, erfolgt in den rvSU folgendermaßen:

- Zu § 10 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiAnfV: Da die Betriebsphase in den rvSU des Endlagersystems anhand der Darstellung der grundsätzlichen Möglichkeit eines sicheren Betriebs betrachtet wird (anstelle einer betrieblichen Sicherheitsanalyse nach § 8 EndlSiUntV) erfolgt die Ausarbeitung eines Ablaufplans für die Betriebsphase des Endlagers nach § 17 EndlSiAnfV frühestens im Rahmen der wvSU.
- Zu § 10 Abs. 6 Nr. 2 und 3 EndlSiAnfV: In den rvSU erfolgt die Beschreibung der möglichen Maßnahmen zur Rückholbarkeit im Rahmen der vorläufigen Endlagerauslegung (§ 6 Abs. 4 EndlSiUntV, siehe Kapitel 4.2.6.5). Das Thema der Bergbarkeit wird im Rahmen der rvSU gemäß EndlSiUntV noch nicht betrachtet.

Die in § 10 Abs. 7 EndlSiAnfV geforderten Maßnahmen, die bis zum Abschluss der Stilllegung erforderlich sind (Schutz vor Störmaßnahmen und Überwachung von Kernmaterial), erfolgt frühestens in den wvSU. Diese Maßnahmen stellen schutzbedürftige Informationen dar, weshalb diese nicht Teil der veröffentlichten Unterlagen sein werden (BT-Drs. 19/19291, S. 38).

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: 96

In den rvSU werden im Rahmen der Erstellung des vorläufigen Sicherheitskonzeptes entsprechend die vorgesehenen Barrieren des Endlagersystems, ihre Sicherheitsfunktionen und deren zeitliches Zusammenwirken gemäß § 10 Abs. 5 EndlSiAnfV dargestellt. Die Methodik hierfür wird im nachfolgenden Kapitel 4.1.3 beschrieben.

4.1.3 Darstellung der Barrieren des Endlagersystems und ihrer Sicherheitsfunktionen (§ 10 Abs. 5 EndlSiAnfV) im Rahmen der rvSU

Kernstück des Sicherheitskonzeptes ist die Darstellung der Barrieren des Endlagersystems und deren Sicherheitsfunktionen (§ 10 Abs. 5 EndlSiAnfV) im Bewertungszeitraum (siehe Kapitel 4.1.2). Um die Barrieren und ihre Funktionsweisen beschreiben zu können, ist zunächst ein generelles Verständnis des Endlagersystems (siehe Kapitel 4.1.3.1) und der grundsätzlichen Anforderungen an das Erreichen des sicheren Einschusses der radioaktiven Abfälle (siehe Kapitel 4.1.3.2) notwendig. Anschließend erfolgt die Beschreibung der Methodik für die Darstellung der verschiedenen Barrieren sowie die Ableitung der Sicherheitsfunktionen aus den Anforderungen an die Sicherheit des Endlagersystems und deren zeitlichen Zusammenwirken gemäß § 10 Abs. 5 EndlSiAnfV (siehe Kapitel 4.1.3.3).

4.1.3.1 Das Endlagersystem

Gemäß § 1 Abs. 4 StandAG soll „die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen in einem für diese Zwecke errichteten Endlagerbergwerk mit dem Ziel des endgültigen Verschlusses erfolgen“. Das Endlagersystem ist „das den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle durch das Zusammenwirken der verschiedenen Komponenten^[6] bewirkende System, das aus dem Endlagerbergwerk, den Barrieren und den das Endlagerbergwerk und die Barrieren umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten bis zur Erdoberfläche besteht, soweit sie zur Sicherheit des Endlagers beitragen“ (§ 2 Nr. 11 StandAG). Ein Endlagersystem setzt sich demnach aus verschiedenen Barrieren zusammen, die sich gegenseitig ergänzen und unterstützen, um den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle zu gewährleisten. Grundsätzlich besteht dieses System aus geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren.

Die geologischen Barrieren sind die natürlich vorkommenden geologischen Einheiten des Endlagersystems, die sich durch ihre Eigenschaften für die Errichtung eines Endlagerbergwerkes eignen sowie geologische Einheiten enthalten, die Barriereigenschaften aufweisen, die „eine Ausbreitung von Radionukliden be- oder verhindern“ (§ 2 Nr. 7 StandAG) können. Durch das Auffahren des Endlagerbergwerkes kommt es zur Verletzung der geologischen Barrieren und entsprechend der Barriereigenschaften an der Stelle der Durchörterung. Mit Hilfe von technisch-konstruktiv erstellten geotechnischen Barrieren sollen die durch das Auffahren des Endlagerbergwerkes entstandenen Schädigungen der geologischen Barrieren kompensiert und möglichst die ursprüngliche Barrierewirksamkeit der geologischen Barrieren wiederhergestellt werden. Sie tragen damit ebenfalls dazu

⁶ Im Folgenden kommen an verschiedenen Stellen die Begriffe Barriere und Komponente vor. Mit Barrieren sind dabei die verschiedenen Komponenten des Endlagersystems gemeint, siehe Kapitel 4.1.3.3.2. Die beiden Begriffe werden synonym verwendet.

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: 97

bei, „eine Ausbreitung von Radionukliden zu be- oder verhindern“ (§ 2 Nr. 8 StandAG). Um die radioaktiven Abfälle im Zeitraum der Rückholbarkeit (§ 13 EndlSiAnfV) und Bergbarkeit (§ 14 EndlSiAnfV) sowie in der Betriebsphase sicher handhabbar zu machen, werden diese in den technisch-konstruktiv erstellten Endlagerbehältern eingeschlossen. Zu diesen sogenannten technischen Barrieren zählt auch die Abfallform selbst. Auch im Bewertungszeitraum tragen diese technischen Barrieren dazu bei, „eine Ausbreitung von Radionukliden zu be- oder verhindern“ (§ 2 Nr. 8 StandAG).

4.1.3.2 Der sichere Einschluss im Endlagersystem

Im Bewertungszeitraum muss das vorgesehene Endlagersystem „den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle [...] durch ein **robustes, gestaffeltes System** verschiedener Barrieren mit unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen gewährleisten“ (§ 4 Abs. 2 EndlSiAnfV). In einem Endlagersystem kann das Erreichen des sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle dabei gemäß § 4 Abs. 3 EndlSiAnfV grundsätzlich durch zwei Arten von wesentlichen Barrieren⁷ gewährleistet werden (siehe auch Abbildung 11):

1. Der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle wird durch ein oder mehrere einschlusswirksame Gebirgsbereiche erreicht. Im Folgenden Endlagersystem Typ 1 genannt.
2. Der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle wird im kristallinen Wirtsgestein, sofern in diesem kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann, durch technische und geotechnische Barrieren erreicht, die für die jeweilige geologische Umgebung geeignet sind. Im Folgenden Endlagersystem Typ 2 genannt.

⁷ Gemäß § 2 Nr. 1 EndlSiAnfV sind die wesentlichen Barrieren: „die Barrieren, auf denen der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle beruht“. „Die Barrieren, die zusätzlich zu den wesentlichen Barrieren und im Zusammenwirken mit ihnen eine Ausbreitung von Radionukliden be- oder verhindern“ werden weitere Barrieren genannt (§ 2 Nr. 2 EndlSiAnfV). In den nachfolgend genannten Endlagersystemen werden der/die einschlusswirksame(n) Gebirgsbereich(e) im Fall von Endlagersystem Typ 1 (1.) bzw. die technischen und geotechnischen Barrieren im Fall von Endlagersystem Typ 2 (2.) als wesentliche Barrieren bezeichnet. Die weiteren Barrieren (beispielsweise die technischen und geotechnischen Barrieren im Endlagersystem Typ 1) übernehmen in den jeweilig gestaffelten Systemen **zeitabhängig unerlässliche** Sicherheitsfunktionen, um im Zusammenwirken mit den wesentlichen Barrieren den sicheren Einschluss im **Bereich der wesentlichen Barrieren** gemäß § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV zu gewährleisten.

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: 98

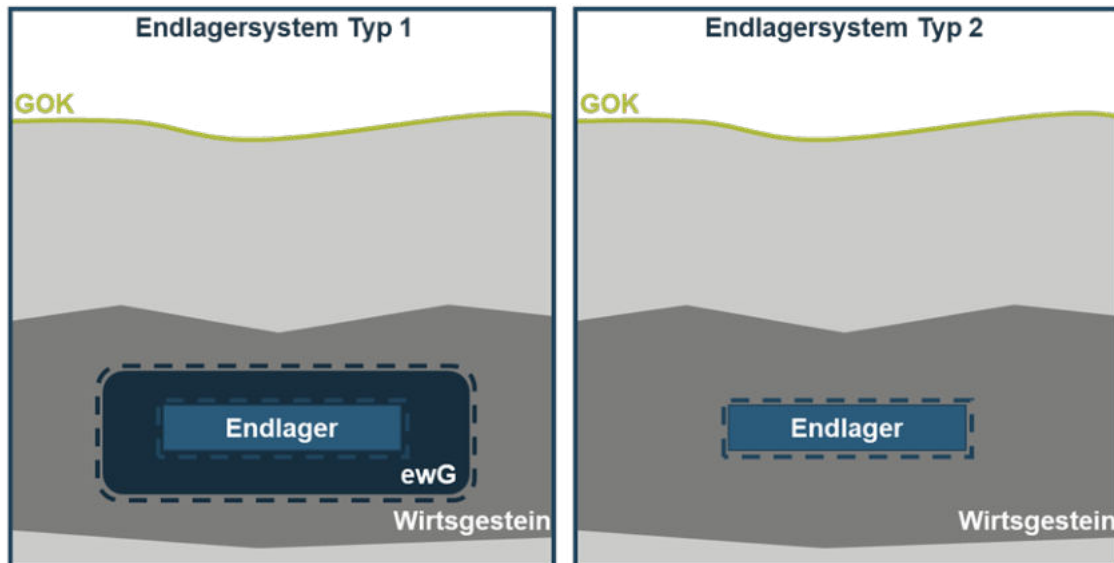


Abbildung 11: Vereinfachte graphische Darstellung der nach § 4 Abs. 3 EndlSiAnfV genannten Möglichkeiten zum Erreichen des sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle im Bewertungszeitraum.

Links die Darstellung des Endlagersystems Typ 1 (einschlusswirksamer Gebirgsbereich als wesentliche Barriere) und rechts des Endlagersystems Typ 2 (technische und geotechnische Barriere als wesentliche Barrieren – für das kristalline Wirtsgestein). Die in den rvSU noch unbekannte, genaue räumliche Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und des Endlagers ist mit Hilfe gestrichelter Linien angedeutet. Die Geländeoberkante (GOK) ist in grün visualisiert.

In einem **Endlagersystem Typ 1** muss/müssen definitionsgemäß der oder die einschlusswirksame(n) Gebirgsbereich(e) innerhalb der geologischen Barrieren des gestaffelten Barrierensystems den wesentlichen Beitrag (wesentliche Barriere/n) zum sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle im Bewertungszeitraum leisten. Ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich wird gemäß § 2 Nr. 9 StandAG definiert als „der Teil eines Gebirges, der bei Endlagersystemen, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, im Zusammenwirken mit den technischen und geotechnischen Verschlüssen den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem Endlager gewährleistet“. Unter einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich wird folglich ein Gesteinsbereich innerhalb der geologischen Barrieren verstanden, der aufgrund seiner hohen Barrierewirksamkeit den Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten kann. Die Anforderungen an die Beschaffenheit eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sind in den Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien des StandAG definiert (vgl. §§ 22 bis 24 StandAG). Gesteinstypen, die die Voraussetzungen an die Barrierewirksamkeit eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in der Regel erfüllen, sind Steinsalz- und Tongesteinsformationen sowie Kristallformationen mit geringer Gebirgsdurchlässigkeit (vgl. auch AkEnd 2002; K-Drs. 268). Diese drei Gesteinstypen kommen in Deutschland gemäß § 1 Abs. 3 StandAG auch als Wirtsgesteine in Frage. Die Hauptaufgabe des Wirtsgesteins besteht in der Aufnahme der radioaktiven Abfälle, also der Aufnahme eines Einlagerungsbereichs: „Es muss

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: 99

daher vor allem die Errichtung und den Betrieb des Endlagerbergwerks erlauben.“ (AkEnd 2002)⁸. Da an den sicheren Einschluss der Radionuklide gemäß § 4 Abs. 4 EndlSiAnfV die Anforderung gestellt wird, dass dieser innerhalb der wesentlichen Barriere (folglich dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich) erfolgen muss (vgl. Kapitel 4.1.1), muss sich der Einlagerungsbereich für ein Endlagersystem Typ 1 innerhalb eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs befinden⁹. Die konkrete räumliche Ausdehnung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs ergibt sich auf Basis von Radionuklidtransportberechnungen. In den rvSU ist im Vergleich zu den nachfolgenden wvSU und uvSU ein geringerer Detailgrad aufgrund der geringeren Datenverfügbarkeit zulässig und daher zunächst „die Möglichkeit zur Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ zu bewerten (§ 7 Abs. 6 Nr. 3 Buchst. e) EndlSiAnfV, siehe Kapitel 8.5.10). Erst in Phase II des Standortauswahlverfahrens ist die konkrete räumliche Ausdehnung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in einem Untersuchungsraum festzulegen. Zum jetzigen Zeitpunkt wird daher in den rvSU der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion (WbB)¹⁰, der einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen kann, betrachtet und bewertet. Dieser entspricht zu Beginn der rvSU den im Rahmen der Arbeiten zu § 13 StandAG ausgewiesenen endlagerrelevanten Gesteinsabfolgen oder -formationen (BGE 2020g).

In einem **Endlagersystem Typ 2** müssen definitionsgemäß die geotechnischen und technischen Barrieren des gestaffelten Barrierensystems den wesentlichen Beitrag (wesentliche Barriere/n) zum sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle im Bewertungszeitraum leisten. Diese Barrieren müssen für die jeweilige geologische Umgebung geeignet sein. Im Vergleich zu einem Endlagersystem Typ 1 kommt den geologischen Barrieren folglich nur eine untergeordnete Rolle zu. Solch ein Endlagersystem kommt gemäß § 23 Abs. 1 i. V. m. Abs. 4 StandAG und § 4 Abs. 3 EndlSiAnfV ausschließlich für das kristalline Wirtsgestein in Frage, sofern kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann. Konkret leitet sich daraus eine Subsidiarität (Nachrangigkeit) des Endlagersystems Typ 2 gegenüber dem Typ 1 für das kristalline Wirtsgestein ab. Im Verlauf der Durch-

⁸ Unter Beachtung der funktionalen Differenzierung zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamen Gebirgsbereich hat der AkEnd (2002) zwei konfigurative Haupttypen hinsichtlich deren Anordnung innerhalb der geologischen Barriere abgeleitet: Konfigurationstyp Typ A – das Wirtsgestein ist hinsichtlich seiner Barrierewirksamkeit sicherheitsrelevanter Bestandteil des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmende Gesteinstyp entspricht dem Wirtsgesteinstyp und dieser Gesteinstyp übernimmt damit sowohl die Funktionen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs als auch des Wirtsgesteins) – und Konfigurationstyp Typ B – das Wirtsgestein ist hinsichtlich seiner Barrierewirksamkeit kein sicherheitsrelevanter Bestandteil des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ein Gesteinstyp übernimmt die Funktionen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, ein weiterer Gesteinstyp die des Wirtsgesteins). Konfigurationstyp Typ B wird darüber hinaus in die beiden Untertypen Typ Ba – der Wirtsgesteinskörper wird vom einschlusswirksamen Gebirgsbereich vollständig umschlossen – und Typ Bb – die Umschließung des Wirtsgesteinskörpers durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist unvollständig – eingeteilt. Unter Typ Bb fallen u. a. Konfigurationen mit einem das Wirtsgesteins überlagernden einschlusswirksamen Gebirgsbereich.

⁹ Folglich sind für ein Endlagersystem Typ 1 gemäß § 4 EndlSiAnfV nur die Konfigurationen des Typ A sowie Ba nach AkEnd (2002) zu berücksichtigen. Entsprechend werden keine Konfigurationen mit einem überlagernden einschlusswirksamen Gebirgsbereich betrachtet.

¹⁰ Innerhalb eines Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion kann theoretisch überall ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich platziert werden. Im Rahmen der Analyse des Endlagersystems (§ 7 Abs. 6 EndlSiAnfV) kann es bei der räumlich differenzierten Bewertung dazu kommen, dass der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion im Vergleich zu seiner ursprünglichen Ausdehnung verkleinert wird.

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: 100

führung der rvSU muss folglich zunächst die Möglichkeit zur Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gemäß § 7 Abs. 6 Nr. 3 Buchst. e) EndlSiAnfV, also die Realisierbarkeit eines Endlagersystems Typ 1, für Untersuchungsräume bzw. Teiluntersuchungsräume in kristallinem Wirtsgestein geprüft werden, bevor ein Endlagersystem Typ 2 für das vorläufige Sicherheitskonzept zugrunde gelegt werden kann (vgl. Basisdokument "Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung" (BGE 2022a), Kapitel 8.3.1 „Umgang mit den vorläufigen Sicherheitskonzepten im kristallinen Wirtsgestein“).

4.1.3.3 Methodik zur Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen in den rvSU

Nachdem sich mit der allgemeinen Beschaffenheit eines Endlagersystems bzw. der beiden Endlagersysteme, Typ 1 und Typ 2, auseinandergesetzt wurde, erfolgt die Darstellung der verschiedenen Barrieren sowie die Ableitung der Sicherheitsfunktionen aus den Anforderungen an die Sicherheit des Endlagersystems und deren zeitlichen Zusammenwirken gemäß § 10 Abs. 5 EndlSiAnfV. Als Detailgrad in den rvSU wird dabei eine **wirtsgesteinsspezifische Darstellung** der Barrieren gewählt. Diese erfolgt für das Endlagersystem Typ 1 für Tongestein, Steinsalz und das kristalline Wirtsgestein. Für Steinsalz erfolgt zunächst eine gemeinsame Darstellung für Steinsalz in steiler und stratiformer (flacher) Lagerung. Eine spätere Aufteilung in zwei getrennte Darstellungen ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorgesehen, erscheint jedoch grundsätzlich möglich und ist im Rahmen der weiteren Arbeiten zu betrachten.

Nachfolgend werden zunächst die Sicherheitsfunktionen erläutert und die Barrieren des Endlagersystems in Abhängigkeit der Sicherheitsfunktionen spezifiziert. Anschließend erfolgt eine Erläuterung des gestaffelten Barrierensystems. In Beispiel 2 sind die Barrieren eines Endlagersystems Typ 1 und ihre Sicherheitsfunktionen beispielhaft dargestellt und erläutert.

4.1.3.3.1 Die Sicherheitsfunktionen

Die Sicherheitsfunktion stellt das Bindeglied zwischen der sicherheitsrelevanten Anforderung an das Endlagersystem und den Barrieren des Endlagersystems dar. Eine Sicherheitsfunktion ist nach § 2 Nr. 8 EndlSiAnfV „*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*“. Sie beschreibt also, mit welcher **Eigenschaft** oder welchem **Prozess**, die/der einer Komponente (Barriere) zugeordnet werden kann, die Anforderungen an die Sicherheit erreicht werden. Dabei kann eine Barriere eine oder mehrere Sicherheitsfunktionen besitzen, welche wiederum eine oder mehrere sicherheitsrelevante Anforderungen erfüllen können. Sicherheitsfunktionen können zeitlich begrenzt oder über den gesamten Bewertungszeitraum aktiv sein. Das Zusammenwirken der Barrieren und ihrer verschiedenen Sicherheitsfunktionen gewährleistet die Erfüllung des sicheren Einschlusses als Gesamtsystem. Die Definition von Sicherheitsfunktionen erfolgt folglich auf Basis der Sicherheitsanforderungen. Eine Zusammenfassung der Sicherheitsanforderungen an ein Endlagersystem gemäß § 26 Abs. 2 StandAG i. V. m. EndlSiAnfV ist in Tabelle 8 zu finden (vgl. Basisdokument "Konzept zur

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: 101

Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ (BGE 2022a), Kapitel 5 „Sicherheitsprinzipien und -anforderungen für vorläufige Sicherheitsuntersuchungen“)¹¹.

Tabelle 8: Auszug aus den Sicherheitsprinzipien und -anforderungen an ein Endlagersystem gemäß § 26 Abs. 2 StandAG i. V. m. EndlSiAnfV

Sicherheitsprinzipien und -anforderungen gemäß § 26 Abs. 2 StandAG i. V. m. EndlSiAnfV
Konzentration und sicherer Einschluss der radioaktiven Abfälle innerhalb der wesentlichen Barrieren (vgl. Kapitel 4.1.1).
Das Endlagersystem gewährleistet den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle passiv und wartungsfrei durch ein robustes, gestaffeltes System verschiedener Barrieren mit unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen im Bewertungszeitraum von einer Million Jahren.
Das Verhalten des Endlagersystems ist als Ganzes unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklungen des Endlagersystems im Bewertungszeitraum zu betrachten.
Die Integrität und Robustheit der wesentlichen Barrieren sowie die Robustheit der weiteren Barrieren für die zu erwartenden Entwicklungen des Endlagersystems.
Geringfügige Expositionen im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition auf Grund von Austragungen von Radionukliden aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen im Bewertungszeitraum.
Der Ausschluss sich selbst tragender Kettenreaktionen (Kritikalität).
Die betriebliche Sicherheit muss gewährleistet sein, unter Berücksichtigung der für die Sicherheit des Endlagers relevanten Anlagenzustände in der Betriebsphase.
Die Möglichkeit der Rückholung während der Betriebsphase sowie das Vorhalten von Vorkehrungen für eine Bergung für einen Zeitraum von 500 Jahren nach dem Verschluss des Endlagers.

Die Sicherheitsfunktionen bilden eine der wesentlichen Grundlagen für die Sicherheitsuntersuchungen und werden für verschiedene Zwecke herangezogen. Sie bilden die Grundlage für die Auslegung der technischen und geotechnischen Barrieren des Endlagers (§ 6 Abs. 2 i. V. m 4 EndlSiUntV, siehe Kapitel 4.2) und werden als Ansatzpunkt für die Ableitung der Entwicklungen des Endlagersystems herangezogen (§ 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiUntVV, siehe Kapitel 8.2). Darüber hinaus ist die Relevanz der einzelnen geowissenschaftlichen Abwägungskriterien in Bezug auf die Sicherheitsfunktionen des Endlagersystems zu untersuchen (§ 7 Abs. 4 Nr. 1 EndlSiUntV, siehe Kapitel 8.8)

¹¹ Es handelt sich hierbei um einen Auszug der wesentlichen Anforderungen. Die EndlSiAnfV enthält darüber hinaus noch detaillierte Anforderungen zu allen Phasen der Endlagerung.

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: 102

und die Erkundungs-, Forschungs- und Entwicklungsbedarfe hinsichtlich ihrer Relevanz für die Sicherheit des Endlagersystems abzuleiten (§ 12 Abs. 1 EndlSiUntV). Die Sicherheitsfunktionen stellen sozusagen den roten Faden in den Sicherheitsuntersuchungen dar, anhand dessen das Erreichen des sicheren Einschlusses analysiert und bewertet wird.

Die Definition von Sicherheitsfunktionen sowie deren zeitliches Zusammenwirken erfordert ein gutes Verständnis des Endlagersystems über den gesamten Bewertungszeitraum hinweg. Wie sich ein Endlagersystem in den verschiedenen Wirtsgesteinen zukünftig entwickeln kann, wird systematisch bei der Ableitung der zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen analysiert (siehe Kapitel 8.2). Da bereits zu Beginn der rvSU eine erste Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen notwendig ist, werden für eine erste Zusammenstellung der Sicherheitsfunktionen internationale Sicherheitskonzepte (z. B. SKB 2011a; Posiva Oy & SKB 2017; Nagra 2008b, 2021), Sicherheitskonzepte aus nationalen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (z. B. Jobmann et al. 2017a; Buhmann et al. 2008; Mönig et al. 2012; Mönig et al. 2011; Alfarra et al. 2020b; Alfarra et al. 2020a) sowie die Stellungnahme der Entsorgungskommission (ESK) zu *Sicherheitskonzeptionelle[n] Anforderungen an das Barrierensystem eines Endlagers für hoch radioaktive Abfälle und deren Umsetzbarkeit* herangezogen (ESK 2019). Nachdem die Entwicklungen abgeleitet wurden, sollten die zuvor überschlägig aufgestellten Sicherheitsfunktionen überprüft und ggf. angepasst werden. In den wvSU und uvSU werden die Sicherheitsfunktionen auf Basis der systematisch abgeleiteten Entwicklungen des jeweiligen Endlagersystems und den sich daraus ergebenden Konsequenzen weiter spezifiziert.

4.1.3.3.2 Die Barrieren des Endlagersystems

Die oben genannten geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren lassen sich in Abhängigkeit ihrer Sicherheitsfunktionen bzw. der Anforderungen, die sie erfüllen müssen, weiter spezifizieren (siehe auch Abbildung 12):

- Technische Barrieren: wie in Kapitel 4.1.3.1 beschrieben, zählen sowohl der **Endlagerbehälter** als auch die **Abfallform** zu den technischen Barrieren. Die Abfallform umfasst die radioaktiven Abfälle, die zum größten Teil entweder aus einer Brennstoffmatrix mit Hüllrohren oder einer Glasmatrix mit Edelstahlkokillen bestehen (Details siehe Kapitel 2). Die Abfallform wird zur sicheren Handhabung in der Betriebsphase sowie Rückholbarkeit und Bergbarkeit¹² in den Endlagerbehälter eingeschlossen. Die mit den radioaktiven Abfällen beladenen Endlagerbehälter werden als Endlagergebände bezeichnet (§ 2 Nr. 4 EndlSiAnfV).

¹² Nach § 14 Abs. 2 Nr. 1 Buchst. b) und c) EndlSiAnfV sind folgende beiden Anforderungen bezüglich der Bergbarkeit der Endlagergebände ausreichend: die Gewährleistung der mechanischen Stabilität zur Handhabung ganzer Endlagergebände sowie die Verhinderung der Freisetzung von radioaktiven Aerosolen bei der Handhabung.

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: 103

- Geotechnische Barrieren: wie in Kapitel 4.1.3.1 beschrieben, sollen die geotechnischen Barrieren die durch das Auffahren des Endlagerbergwerkes entstandenen Verletzungen der geologischen Barrieren kompensieren und möglichst die ursprüngliche Barrierewirksamkeit der geologischen Barrieren wiederherstellen. Dabei werden zwei Arten von geotechnischen Komponenten unterschieden:
 - Der **Versatz** (auch als Verfüllung bezeichnet): darunter werden Materialien verstanden, die im Endlagerbergwerk genutzt werden, um die durch die Auffahrung entstandenen Hohlräume zu verfüllen und um bergbauliche Funktionen und/oder Funktionen bezüglich der Langzeitsicherheit erfüllen zu können, beispielsweise die Reduzierung des Hohlraumvolumens. Versatzmaterialien werden in Hinblick auf die erforderlichen Funktionen und aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften gewählt. Typische Vertreter sind z. B. Salzgrus oder Granulat mit hohem Anteil an Tonmineralen.
 - Die **Verschlussbauwerke**: räumlich begrenzte Bauwerke, die den Sicherheitsanforderungen entsprechend an Schlüsselstellen des Endlagerbergwerks (z. B. in den Tageszugängen oder im Streckensystem) errichtet werden, um Bewegungen von Fluiden bzw. den damit potenziell verbundenen Transport von Radionukliden zu unterbinden. Typische Verschlussbauwerke bestehen in der Regel aus verschiedenen Materialien und Funktionselementen, von denen die Dichtfunktion (z. B. aus Salzbeton oder Bentonitformsteinen) und die Widerlagerfunktion (z. B. aus Salzbeton oder Schotter) die wichtigsten Funktionen darstellen.
- Geologischen Barrieren: wie in Kapitel 4.1.3.1 beschrieben, handelt es sich um die natürlich vorkommenden Barrieren des Endlagersystems. Dabei wird zwischen der geologischen Barriere, die die wesentliche Barriere bildet bzw. aufnimmt, und den darüber liegenden geologischen Barrieren unterschieden. Die geologische Barriere, die die wesentliche Barriere bildet bzw. aufnimmt, ist in einem Endlagersystem Typ 1 der **Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion** oder im Falle des Endlagersystems Typ 2, die Gesteinsformation des Einlagerungsbereichs. Die über und neben dem Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion (oder der Gesteinsformation des Einlagerungsbereichs) liegenden geologischen Barrieren werden als **Deck- und Nebengebirge** bezeichnet. Das Deckgebirge ist gemäß § 2 Nr. 13 StandAG definiert als „*der Teil des Gebirges oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und bei Endlagersystemen, die auf technischen und geotechnischen Barrieren beruhen, oberhalb des Einlagerungsbereichs*“. Da der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion der Bereich des Gesteins ist, der entweder den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Endlagersystem Typ 1) oder den Einlagerungsbereich (Endlagersystem Typ 2) aufnehmen wird, wird hier der

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: 104

Begriff des Deckgebirges gewählt¹³. Allerdings kann sich die räumliche, insbesondere die vertikale Ausdehnung des Deckgebirges im Rahmen der vSU noch ändern, bis die räumliche Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs oder des Einlagerungsbereichs endgültig festgelegt wird.

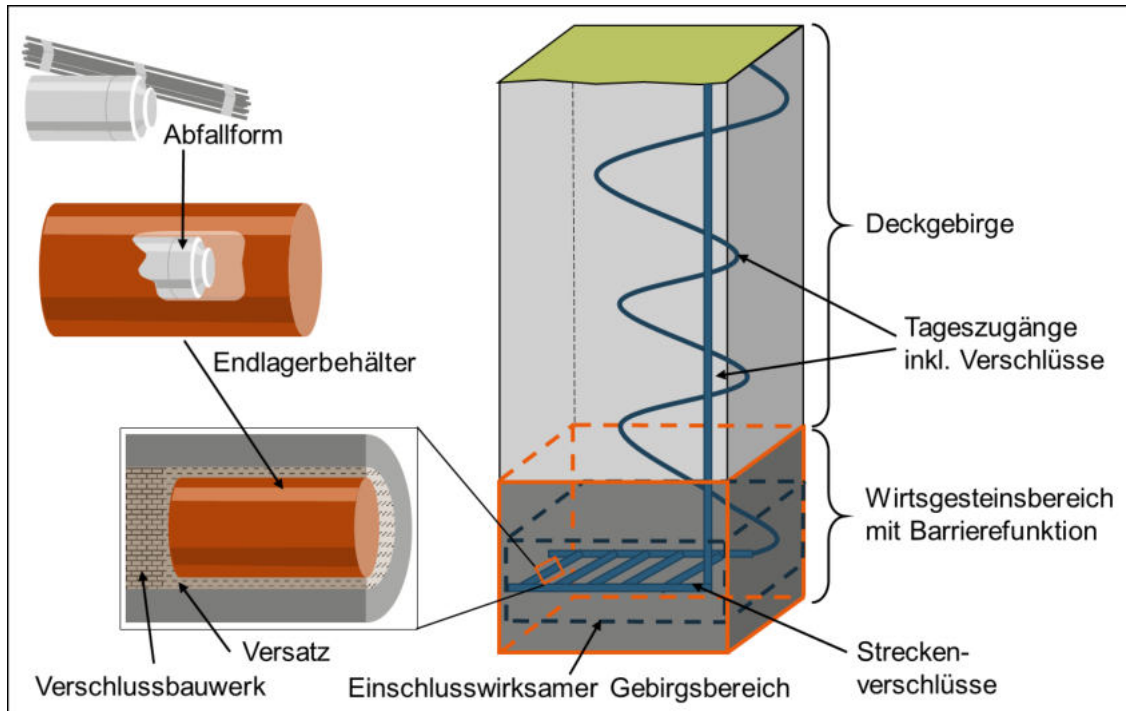


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Barrieren in einem Endlagersystem Typ 1. Die orangefarbene Umrandung stellt dar, dass es sich dabei um die wesentliche Barriere des Endlagersystems handelt. Es ist ein potenzieller einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit Hilfe einer blauen gestrichelten Linie angedeutet, wobei die genaue räumliche Ausdehnung zum jetzigen Zeitpunkt unbekannt ist.

4.1.3.3.3 Das gestaffelte Barrierensystem

Zusammen bilden die genannten Barrieren das robuste, gestaffelte Barrierensystem mit unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen, die zusammen den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten und die Sicherheitsanforderungen (siehe Tabelle 8) erfüllen.

¹³ Neben dem Begriff des Deckgebirges wird im Rahmen der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien der Begriff der Überdeckung verwendet. Die Überdeckung ist definiert als der Teil des Gebirges, der das Wirtsgestein überlagert (BGE 2020ci). Der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion umfasst zwar Teile des Wirtsgesteins, es existieren jedoch Fälle, in denen sich das Wirtsgestein in der vertikalen Ausdehnung bis in geringe Teufen (kleiner als 300 m Teufe) erstreckt und dementsprechend nicht mehr zum Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion gehört. Dies ist insbesondere bei einigen Teilgebieten in Steinsalz in steiler Lagerung oder im kristallinen Wirtsgestein der Fall. Aus diesem Grund wird dementsprechend hier der Begriff des Deckgebirges gewählt, gleichwohl sich dessen räumliche Ausdehnung noch verändern 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: 105

Zum Erreichen der Sicherheitsanforderungen übernehmen die Barrieren zwei Arten von Funktionen:

- Sicherheitsfunktionen, die zum Erhalt der Barrierewirkung in Bezug auf den sicheren Einschluss einer Komponente selbst oder zum Erhalt der Barrierewirkung anderer Barrieren des Endlagersystems, also zu deren Schutz, beitragen. Im Folgenden wird diese Art von Funktionen unter der Hauptsicherheitsfunktion **Erhalt der Barrierewirkung** zusammengefasst.
- Sicherheitsfunktionen, die dazu beitragen, dass die Radionuklide innerhalb der wesentlichen Barriere konzentriert werden, d. h. die Migration von Radionukliden be- bzw. verhindern. Dies betrifft insbesondere den Zeitraum nach einem Integritätsverlust der Behälter. Diese Funktionen werden im Folgenden unter der Hauptsicherheitsfunktion **Rückhaltung** zusammengefasst.

Dabei können die Eigenschaften einer Barriere (bzw. Komponente) zu beiden Arten von Sicherheitsfunktionen beitragen. So trägt beispielsweise eine geringe Durchlässigkeit des Streckenversatzes zum Erhalt der Barrierewirkung des Endlagerbehälters bei, da durch ein geringes Lösungsangebot eine Korrosion der Behälter verlangsamt wird. Nach dem Verlust der Behälterintegrität verhindert die geringe Durchlässigkeit wiederum eine Verbreitung der Radionuklide, die Radionuklide werden im Versatzmaterial zurückgehalten. Das gestaffelte Barrierensystem und die beiden Hauptsicherheitsfunktionen sind in Abbildung 13 schematisch dargestellt.

Inwieweit eine weitere strukturelle Unterteilung der Sicherheitsfunktionen im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens notwendig wird, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch offen.

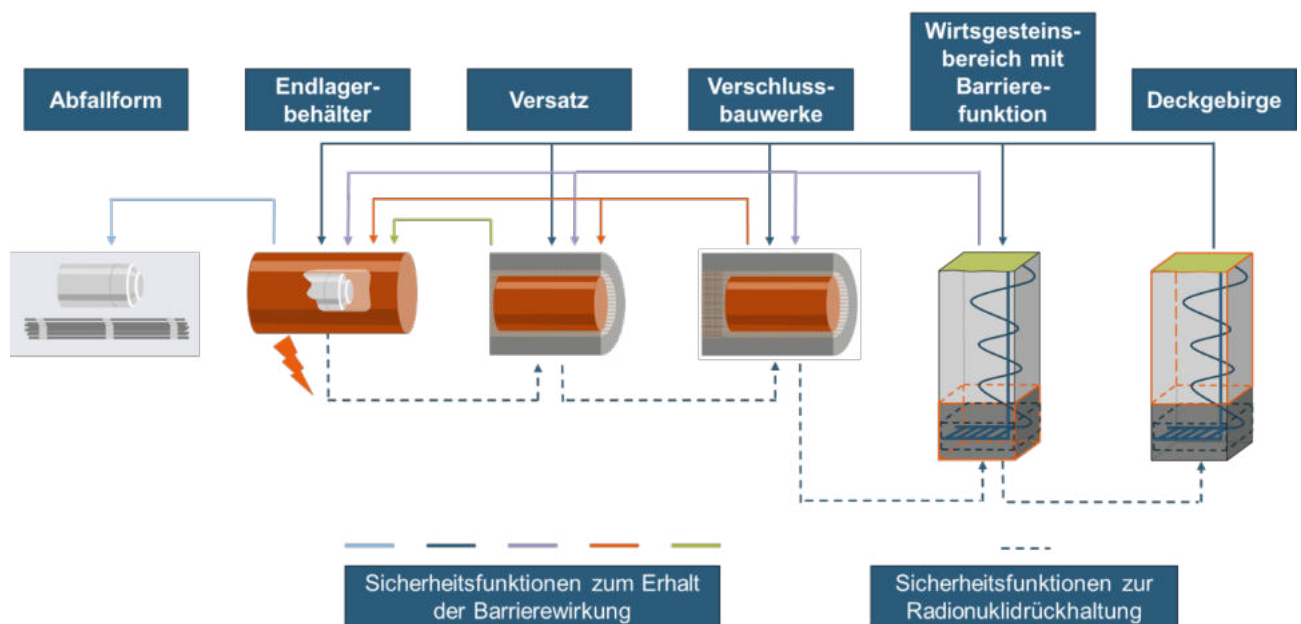


Abbildung 13: Die Abbildung stellt die Funktionsweise des gestaffelten Barrierensystems für das Endlagersystem Typ 1 dar.

Alle Elemente des Barrierensystems haben Sicherheitsfunktionen, die einerseits zum Erhalt der Barrierewirkung (durchgehende Pfeile, eine Farbe je Barriere) und andererseits zur Rückhaltung von Radionukliden (gestrichelte Pfeile) beitragen. Beispiel: Die Barriere Deckgebirge schützt durch ihre Sicherheitsfunktionen

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: 106

(z. B. Mächtigkeit) sowohl die Barriere Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion, als auch die Verschlussbauwerke, den Versatz und den Endlagerbehälter und somit auch die Abfallform. Für alle weiteren dargestellten Barrieren gilt diese Funktionsweise gleichermaßen. Im Fall eines Integritätsverlusts eines Behälters, dargestellt durch einen roten Blitz, sorgen wiederum Sicherheitsfunktionen (z. B. Rückhaltung von Radionukliden durch Sorption), die für die Rückhaltung von Radionukliden verantwortlich sind, für einen allenfalls sehr langsamen Transport von Radionukliden. Die gestrichelten Pfeile deuten an, dass der Radionuklidtransport von den einzelnen Barrieren be- bzw. verhindert wird.

Welche Eigenschaften einer einzelnen Barriere (Komponente) oder welcher im Endlagersystem ablaufende Prozess zur Erfüllung der Sicherheitsanforderungen über welchen Zeitraum beitragen, ist abhängig von der Beschaffenheit der umgebenden geologischen Barrieren und den Entwicklungen des Endlagersystems. Da die geologischen Barrieren natürlich vorkommen, sind die Eigenschaften dieser Barrieren vorgegeben. Darüber hinaus ist die Wirkungsdauer der Sicherheitsfunktionen abhängig von den Sicherheitsanforderungen. So wird beispielsweise über die Sicherheitsanforderung **Bergbarkeit** die Anforderung an die minimale Wirkungsdauer der technischen Barrieren gestellt (mindestens 500 Jahre nach dem Verschluss des Endlagers) und über die Anforderung **Konzentration und sicherer Einschluss** in einem Endlagersystem Typ 1 der Erhalt der Sicherheitsfunktionen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs für den gesamten Bewertungszeitraum.

Bei der Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen für die rvSU stehen diejenigen Sicherheitsfunktionen im Fokus, die zur Erfüllung der Anforderung **Konzentration und sicherer Einschluss** beitragen. Für diese Anforderung erfolgt bereits in den rvSU eine Überprüfung anhand des Massen- und Stoffmengenaustrages (§ 4 Abs. 5 EndlSiAnfV, vgl. Kapitel 4.1.1).

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: 107

Im Folgenden sollen Barrieren und ihre Sicherheitsfunktionen beispielhaft dargestellt und erläutert werden. In Beispiel 2 findet dies exemplarisch anhand eines Endlagersystems Typ 1 statt.

Beispiel 2: *Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1.*

Die dargestellten und beschriebenen Sicherheitsfunktionen basieren auf internationalen Sicherheitskonzepten (z. B. SKB 2011a; Posiva Oy & SKB 2017; Nagra 2008b, 2021), Sicherheitskonzepten aus nationalen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (z. B. Jobmann et al. 2017a; Buhmann et al. 2008; Mönig et al. 2012; Mönig et al. 2011; Alfarra et al. 2020b; Alfarra et al. 2020a) sowie auf der Stellungnahme der ESK (ESK 2019). Einige der beschriebenen Sicherheitsfunktionen entsprechen dabei nicht, wie in § 2 Nr. 8 EndlSiAnfV definiert, einer Eigenschaft einer Komponente oder einem im Endlagersystem ablaufenden Prozess, sondern sind als zusammenfassende Aussagen für mehrere Eigenschaften oder Prozesse formuliert. Dies resultiert aus der frühen Phase des Standortauswahlverfahrens, die Sicherheitsfunktionen werden mit zunehmenden Detaillierungsgrad in den vvSU und den uvSU weiter spezifiziert werden.

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

Der Bewertungszeitraum von einer Million Jahren eines Endlagers beginnt gemäß § 3 Abs. 1 EndlSiAnfV nach dem vorgesehenen Verschluss des Endlagers. Für mindestens diesen Zeitraum müssen die radioaktiven Abfälle sicher eingeschlossen werden. Um dieses Ziel zu erreichen, verfügt ein Endlager über ein gestaffeltes System aus verschiedenen Barrieren mit unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen. Die unterschiedlichen Barrieren können jedoch, bedingt durch beispielsweise die Geologie, verwendete Materialien und durch im Endlager ablaufende chemische sowie physikalische Prozesse, unterschiedliche Zeiträume benötigen, bis sie ihre Schutzfunktion vollständig ausüben. Aus diesem Grund ist es, insbesondere in der frühen Phase nach dem vorgesehenen Verschluss, von besonderer Bedeutung, dass Teile des gestaffelten Barrierensystems ihre vollständige Schutzfunktion ausüben, um einen optimalen Verschluss des Endlagers nach der Stilllegung zu erreichen. Im Folgenden werden die einzelnen Barrieren, ihre Sicherheitsfunktionen sowie ihr zeitliches Zusammenwirken beispielhaft und wirtsgesteinsspezifisch beschrieben sowie Unterschiede dargestellt.

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: 108

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion

Tabelle 9: Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion

Barriere	Barriere und ihre Sicherheitsfunktionen	Darstellung der Barriere
Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion	Erhalt der Barrierewirkung <ul style="list-style-type: none"> • Hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit • Selbstabdichtung von Klüften durch Konvergenz • Mechanische Langzeitstabilität • Korrosionshemmendes geochemisches Milieu 	
	Rückhaltung von Radionukliden <ul style="list-style-type: none"> • Hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit • Günstige geochemische Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung von Radionukliden (durch Sorption) 	

Im Endlagersystem Typ 1 erfüllt der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion gemäß § 4 Abs. 3 EndlSiAnfV die Funktion der wesentlichen Barriere. Die radioaktiven Abfälle sollen im Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion dauerhaft konzentriert und eingeschlossen werden. Durch die jeweiligen geologischen, wirtsgesteinsspezifischen Eigenschaften ergeben sich für die drei Wirtsgesteine unterschiedliche Wirkungsweisen der Sicherheitsfunktionen. Hieraus ergibt sich z. B., dass die Sicherheitsfunktionen *hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit*, *mechanische Langzeitstabilität* und *korrosionshemmendes geochemisches Milieu* für alle drei Wirtsgesteine hinsichtlich des Erhalts der Barrierewirkung relevant sind. Die Sicherheitsfunktion *hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit* soll gewährleisten, dass keine Lösungen zu den Abfallgebänden vordringen können und nach dem Integritätsverlust der Behälter die Migration von Radionukliden be- bzw. verhindern. Die mineralogische Zusammensetzung sowie die individuelle Entwicklungsgeschichte der drei Wirtsgesteine sorgen dafür, dass Tongestein, Steinsalz sowie kristallines Wirtsgestein unterschiedliche Gebirgsdurchlässigkeiten aufweisen. Tongestein zeichnet sich durch eine geringe hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit aus, der Stofftransport kann sowohl advektiv als auch diffusiv ablaufen. Aufgrund der sehr geringen Gebirgsdurchlässigkeiten in Tongesteinen dominiert der diffusive Stofftransport. Der diffusionsdominierte Stofftransport im Tongestein ist für die Sicherheit eines Endlagers von großer

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: 109

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

Bedeutung, um z. B. den Endlagerbehälter vor Lösungszutritt zu schützen. Steinsalz zeichnet sich durch eine sehr geringe/keine hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit aus, so dass advektiver und diffusiver Stofftransport von Radionukliden aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften (Porosität, Permeabilität und Fluiddruck) vernachlässigt werden kann. Ein ungestörtes kristallines Wirtsgestein weist ebenfalls eine sehr geringe hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit auf, sodass Stofftransport nur über Klüfte stattfinden kann. Durch die Sicherheitsfunktion *mechanische Langzeitstabilität* soll der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion die Endlagerbehälter durch seine geologischen Eigenschaften schützen. Die Gewährleistung der mechanischen Langzeitstabilität hängt stark von der Geologie des jeweiligen Wirtsgesteins ab. So kann kristallines Wirtsgestein deutlich standsicherer sein als Tongestein und Steinsalz. Durch die Sicherheitsfunktion *korrosionshemmendes geochemisches Milieu* soll dazu beigetragen werden, dass der Endlagerbehälter vor Korrosion, beispielsweise durch Fluide aber auch durch bestimmte Mikroben geschützt wird, um einerseits die Integrität des Endlagerbehälter zu gewährleisten und andererseits korrosionsbedingte Gasbildung zu be- bzw. zu verhindern. Diese Sicherheitsfunktion kann nur im Zusammenwirken mit der Sicherheitsfunktion *hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit* wirken, da diese einen möglichen Lösungszutritt zum Endlagerbehälter be- bzw. verhindern soll. Die Sicherheitsfunktion *Selbstabdichtung von Klüften durch Konvergenz* kann eher den Wirtsgesteinen Tongestein und Steinsalz zugeordnet werden. Die hydraulische Abdichtung von Öffnungen (z. B. durch Auffahrung) im Tongestein basiert wesentlich auf der Quellfähigkeit der Tonminerale. Im Gegensatz dazu wird diese Sicherheitsfunktion im Steinsalz durch, von der Teufe abhängige, Konvergenzbewegungen des über größere Zeiträume plastischen Steinsalzes erfüllt. Die Sicherheitsfunktion *günstige geochemische Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung (durch Sorption)* ist für das Wirtsgestein Tongestein hinsichtlich der Rückhaltung von Radionukliden, im Fall eines Integritätsverlustes von Endlagerbehältern, besonders relevant, da die Rückhaltung, neben der Gebirgsdurchlässigkeit, zusätzlich durch die Immobilisierung von Radionukliden an den Oberflächen der Tonminerale (Sorption) erfolgt. Im Steinsalz bzw. im kristallinen Wirtsgestein erfolgt die Rückhaltung im Wesentlichen über die Gebirgsdurchlässigkeit.

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: 110

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

Deckgebirge

Tabelle 10: Deckgebirge

Barriere	Barriere und ihre Sicherheitsfunktionen	Darstellung der Barriere
Deckgebirge	Erhalt der Barrierewirkung <ul style="list-style-type: none"> Mächtigkeit Hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit Mechanische Langzeitstabilität Schutz vor geogenen Prozessen (z. B. Erosion, Subrosion) 	
	Rückhaltung von Radionukliden <ul style="list-style-type: none"> Hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit Günstige geochemische Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung (durch Sorption) 	

Das Deckgebirge sowie das Nebengebirge sollen die wesentliche(n) Barriere(n) sowie die darin enthaltenen weiteren Barrieren schützen. Durch die Sicherheitsfunktion *Mächtigkeit* des Deckgebirges werden die radioaktiven Abfälle einerseits von der Biosphäre und somit auch vom menschlichen Lebensraum getrennt. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass die radioaktiven Abfälle vor einem menschlichen Eindringen möglichst geschützt werden. Andererseits wird sichergestellt, dass die Abfälle ebenfalls vor der Auswirkung von geogenen Prozessen, z. B. bedingt durch Änderungen des Klimas, geschützt werden. Der Zutritt von Fluiden soll insbesondere durch die Sicherheitsfunktion *hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit* begrenzt werden. Des Weiteren gewährleistet die Sicherheitsfunktion *mechanische Langzeitstabilität* in Kombination mit der Sicherheitsfunktion *Schutz vor geogenen Prozessen* den Schutz des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierenfunktion und der darin enthaltenen weiteren Barrieren. Im Falle eines Integritätsverlusts des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierenfunktion und der darin liegenden technischen und geotechnischen Barrieren, soll das Deckgebirge ebenfalls für eine Be- oder Verhinderung der Radionuklidenausbreitung durch die Sicherheitsfunktionen *hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit* sowie *günstige geochemische Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung (durch Sorption)* sorgen. Auch beim Deckgebirge treten durch die jeweiligen geologischen, gesteinspezifischen Eigenschaften unterschiedliche Wirkungsweisen der Sicherheitsfunktionen auf. Diese sind bereits für den Wirtsgesteinsbereich mit Barrierenfunktion ausführlich beschrieben und können auf das Deckgebirge, sofern es sich hierbei um Tongestein,

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: 111

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

Steinsalz oder Kristallin handelt, übertragen werden. Sollte das Deckgebirge aus anderen Gesteinsarten bestehen, sollten die beschriebenen Sicherheitsfunktionen ebenfalls den Erhalt der Barrierewirkung sicherstellen und im Falle eines Integritätsverlusts des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierfunktion und der darin liegenden technischen und geotechnischen Barrieren so wirken, dass der sichere Einschluss gewährleistet ist.

Versatz

Tabelle 11: *Versatz im Wirtsgesteinsbereich mit Barrierfunktion*

Barriere	Barriere und ihre Sicherheitsfunktionen	Darstellung der Barriere
Versatz im Wirtsgesteinsbereich mit Barrierfunktion	Erhalt der Barrierewirkung <ul style="list-style-type: none"> • Abdichtung von Hohlräumen • Mechanische Langzeitstabilität • Hydraulische Durchlässigkeit • Korrosionshemmendes geochemisches Milieu • Temperaturresistenz 	
	Rückhaltung von Radionukliden <ul style="list-style-type: none"> • Hydraulische Durchlässigkeit • Günstige geochemische Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung (Sorption) 	

Generell soll durch die eingebrachten Versatzmaterialien die Verfüllung und somit Abdichtung von auffahrungsbedingten Hohlräumen (z. B. Einlagerungsstrecken, Risse) gewährleistet werden. Damit die Versatzmaterialien ihre Sicherheitsfunktion *Abdichtung von Hohlräumen* vollständig ausfüllen können, ist eine zunehmende Verbindung mit dem jeweiligen Wirtsgestein, z. B. durch Gebirgskonvergenz und damit Kompaktion des Versatzmaterials oder auch durch Quellen von Tonmineralen durch Kontakt mit Grundwasser (Aufsättigung), von großer Bedeutung. Die eingebrachten Versatzmaterialien sind abhängig von der Geologie des jeweiligen Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierfunktion und sollten über die gleichen bzw. ähnlichen Eigenschaften wie das Wirtsgestein selbst verfügen (im Fall von kristallinem Wirtsgestein ist das nicht möglich). So wird im Tongestein typischerweise Bentonit (ebenfalls für das kristalline Wirtsgestein), ein quellfähiges Gemisch verschiedener Tonminerale, und im Steinsalz Salzgrus (feinkörniges Salzgesteinsmaterial) als Versatzmaterial verwendet. Die beschriebenen Versatzmaterialien spiegeln den aktuellen Stand der Forschung wider und sollten daher nicht als feststehende Planungsvarianten verstanden werden. Zusätzlich zur abdichtenden Funktion

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: 112

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

der Versatzmaterialien, sollen diese das Gebirge mechanisch stabilisieren und zu einer Verringerung von z. B. Rissbildungen und Gebirgsbewegungen beitragen (Sicherheitsfunktion *Mechanische Langzeitstabilität*). Des Weiteren soll der Versatz den Endlagerbehälter vor mechanischer Belastung wie z. B. Auflast oder Scherbewegungen, schützen. Ähnlich wie beim Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion und dem Deckgebirge, soll die Sicherheitsfunktion *hydraulische Durchlässigkeit* gewährleisten, dass ein Lösungstransport von oder zu den Abfallgebinden so gering wie möglich ist. In der frühen Phase des Endlagers ist besonders die Begrenzung des Lösungszutritts von besonderer Bedeutung, um z. B. vorzeitige korrosive Prozesse zu verhindern. Nach dem Integritätsverlust der Behälter soll die Migration von Radionukliden be- bzw. verhindert werden. Je nach gewähltem Versatzmaterial, kann es auch hier zu Unterschieden hinsichtlich des Stofftransports kommen. Die Sicherheitsfunktion *hydraulische Durchlässigkeit* entfaltet ihre komplette Wirksamkeit allerdings erst, wenn das Versatzmaterial durch Kompaktion/Aufsättigung eine bestmögliche Abdichtung darstellt. Die Sicherheitsfunktion *Temperaturresistenz* beschreibt die Eigenschaft der Versatzmaterialien, die durch den radioaktiven Zerfall entstehende Wärmeentwicklung (zusammen mit der vorliegenden Gebirgstemperatur) bis zu einem gewissen Maß zu tolerieren, ohne dass es zu Schädigungen des Versatzes (z. B. Entwässerung mit folgender Rissbildung) kommt. Die beiden Sicherheitsfunktionen *korrosionshemmendes geochemisches Milieu* sowie *günstige geochemische Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung (Sorption)* wurden bereits für den Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion ausführlich beschrieben. Auch beim Versatz ist zu erwähnen, dass die zuletzt genannte Sicherheitsfunktion nur für tonhaltige Versatzmaterialien gilt. Die Integritätsanforderungen an die verwendeten Versatzmaterialien beziehen sich im Wesentlichen auf den Zeitraum ab dem Ende der Bergbarkeit bis hin zum Ende des Bewertungszeitraums. Dies gilt sowohl für die Sicherheitsfunktionen, die den Erhalt der Barrierewirkung, als auch für die, die die Rückhaltung von Radionukliden gewährleisten. Allerdings können die verwendeten Versatzmaterialien auch schon vor diesem Zeitraum zum sicheren Einschluss beitragen, da einige Sicherheitsfunktionen, wie z. B. *Abdichtung von Hohlräumen* oder *mechanische Langzeitstabilität*, bereits vorher wirken können. Dies hängt von einigen Faktoren, wie z. B. der Temperatur, der Kornverteilung und der Geschwindigkeit der Gebirgskonvergenz des jeweiligen Wirtsgesteins, ab. Die entsprechenden Konzeptionen für einen optimalen sicheren Einschluss der Abfälle werden während des Standortauswahlverfahrens kontinuierlich verbessert.

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: 113

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

Verschlussbauwerke

Tabelle 12: Verschlussbauwerke im Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion und im Deckgebirge

Barriere	Barriere und ihre Sicherheitsfunktionen	Darstellung der Barriere
Verschlussbauwerke im Wirtsgestein	Erhalt der Barrierewirkung <ul style="list-style-type: none"> • Schutz vor unbeabsichtigtem menschlichem Eindringen • Mechanische Stabilität • Hydraulische Durchlässigkeit (möglichst sofortige Behinderung von Lösungszutritten) 	
	Rückhaltung von Radionukliden <ul style="list-style-type: none"> • Hydraulische Durchlässigkeit • Günstige geochemische Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung (Sorption) 	

Als Verschlussbauwerke werden räumlich begrenzte Bauwerke bezeichnet, die an ausgewählten Stellen (z. B. Schächte und auch Einlagerungsstrecken) im Endlagerbergwerk aus verschiedenen Materialien und Funktionselementen (z. B. Dichtelementen und Widerlagern) errichtet werden. Ein Verschlussbauwerk soll seine abdichtende Funktion möglichst zeitnah nach Einbau erfüllen. Die Sicherheitsfunktion *Schutz vor unbeabsichtigtem menschlichem Eindringen* bezieht sich vor allem auf den Verschluss von Schächten, die das Endlager mit der Biosphäre verbinden. Diese werden mit Hilfe von unterschiedlichen Elementen so versiegelt, dass ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen erschwert werden soll. Des Weiteren sorgen die Verschlussbauwerke für eine *mechanische Stabilität*, indem sie die Versatzmaterialien in Position halten und somit langfristig dafür sorgen, dass das Versatzmaterial und das jeweilige Wirtsgestein den notwendigen Kontakt haben. Die Sicherheitsfunktion *hydraulische Durchlässigkeit* sorgt einerseits dafür, dass sowohl der Versatz als auch die Behälter möglichst zeitnah vor Lösungszutritten geschützt werden, da die verwendeten Versatzmaterialien eine gewisse Zeit benötigen können, um ihre Sicherheitsfunktion vollständig zu erfüllen. Andererseits dient diese Sicherheitsfunktion auch dazu, einen möglichen Radionuklidtransport zu be- bzw. zu verhindern, wenn ein oder mehrere Endlagerbehälter undicht werden sollten. Die Sicherheitsfunktion *günstige geochemische Eigenschaften bezüglich der Rückhaltung (Sorption)* wurde bereits für die vorherigen Barrieren ausführlich beschrieben. Basierend auf der Beschreibung der Sicherheitsfunktionen, müssen Verschlussbauwerke so zeitnah wie möglich nach Einbau

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 114
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
SG	0330				EA	TF	0002	00	

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

und mindestens so lange wirken, bis die verwendeten Versatzmaterialien im Zusammenwirken mit dem Wirtsgesteinsbereich mit Barrierenfunktion ihre Funktionen vollkommen erfüllen.

Endlagerbehälter

Tabelle 13: Endlagerbehälter

Barriere	Barriere und ihre Sicherheitsfunktionen	Darstellung der Barriere
Endlagerbehälter	Erhalt der Barrierewirkung <ul style="list-style-type: none"> • Geringe Korrosionsraten • Mechanische Stabilität • Dichtheit (Begrenzung von Wasserzutritt) • Ausschluss von Kritikalität 	
	Rückhaltung von Radionukliden <ul style="list-style-type: none"> • Rückhaltung von Radionukliden durch Sorption 	

Der Endlagerbehälter soll den Einschluss der radioaktiven Abfälle in der Betriebsphase und mindestens bis zum Ende der Bergbarkeit gewährleisten. Die Integritätsanforderungen an den Endlagerbehälter ergeben sich aus dem StandAG und der EndlSiAnfV. Diese geben vor, dass die eingelagerten Endlagergebilde gemäß § 1 Abs. 4 StandAG sowie § 13 Abs. 1 EndlSiAnfV für den Zeitraum der Betriebsphase bzw. bis zum Beginn der Stilllegung des Endlagers rückholbar sein sollen. Weiterhin legen § 1 Abs. 4 StandAG sowie § 14 Abs. 1 EndlSiAnfV fest, dass ausreichende Vorkehrungen für eine Bergung der eingelagerten Abfallgebilde während der Stilllegung und für einen Zeitraum von 500 Jahren nach dem geplanten Verschluss getroffen werden müssen. Hieraus ergibt sich, dass der Endlagerbehälter einen Einschluss (vgl. Fußnote 12) der radioaktiven Abfälle für einen Zeitraum von mindestens 500 Jahren gewährleisten muss. Somit ist die Konzeption des Behälters, also der Behälterwerkstoff, die Dicke der verwendeten Materialien sowie das grundlegende Design des Behälters, von besonderer Relevanz. Das Zusammenspiel dieser Komponenten soll schließlich dazu führen, dass der Behälter hydraulisch *dicht* ist (auch gasdicht), sich durch *geringe Korrosionsraten* auszeichnet und eine generelle *mechanische Stabilität*, z. B. eine Toleranz gegenüber mechanischer Belastung, hervorgerufen durch z. B. Auflast oder Scherbewegungen, aufweist. Die Sicherheitsfunktion *Ausschluss von Kritikalität* stellt eine Hauptanforderung an die Sicherheit eines jeden Endlagergebildes dar, die sowohl während der Betriebsphase als auch während der Nach-

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: 115

Beispielhafte Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen eines Endlagersystems Typ 1

verschlussphase eine überaus wichtige Rolle spielt, um die Entstehung einer möglichen kritischen Anordnung zu verhindern. Für den Fall, dass ein Behälter undicht wird (Integritätsverlust der Behälter), können günstige Sorptionseigenschaften der Korrosionsprodukte (z. B. Eisenoxide/-hydroxide) ebenfalls dazu beitragen, dass ein Austrag von Radionukliden be- bzw. verhindert wird (*Rückhaltung von Radionukliden durch Sorption*). Diese Eigenschaft hängt jedoch einerseits vom Behälterwerkstoff und andererseits von der Bildung der Korrosionsprodukte unter den im Endlagerbergwerk gegebenen Bedingungen ab.

Abfallform

Tabelle 14: Abfallform

Barriere	Barriere und ihre Sicherheitsfunktionen	Darstellung der Barriere
Abfallform	Erhalt der Barrierewirkung <ul style="list-style-type: none"> Fixierung der Radionuklide 	
	Rückhaltung von Radionukliden <ul style="list-style-type: none"> Begrenzung der Korrosionsraten 	

Die Abfallform soll eine (möglichst) *langfristige Fixierung der Radionuklide* gewährleisten. Nach dem Integritätsverlust der Behälter können Radionuklide aus den Endlagergebinden freigesetzt werden. Durch die Sicherheitsfunktion *Begrenzung von Korrosionsraten* der Abfallform sollen die Freisetzungsraten von Radionukliden aus der Abfallform möglichst begrenzt werden. Die dafür wichtigen Barrieren in der Abfallform sind für Kokillen aus der Wiederaufarbeitung neben der äußeren Edelstahlkokille auch die Glasmatrix, die die hochaktiven Spaltprodukte lösungssicher einschließt. Für die Brennelemente aus den Leistungsreaktoren bilden die Hüllrohre die äußere technische Barriere um die keramische Oxidmatrix, in der Radionuklide eingeschlossen sind. Für Brennelemente und Brennstäbe aus den Forschungs-, Versuchs- und Prototypreaktoren sind ebenfalls der Brennstoff an sich und ggf. Hüllrohre oder Beschichtungen aus verschiedenen Materialien als Barrieren gegen eine Freisetzung der Radionuklide vorhanden (Details zum Abfallinventar siehe Kapitel 2).