

Geschäftsstelle

**Kommission**  
**Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe**  
**K-Drs. 241a**

Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

---

## **Entwurf des Berichtsteils zu Teil B – Kapitel 5.5.4 (Nachweisführung für den sicheren Einschluss)**

Vorlage der der Vorsitzenden der AG 3 für die  
31. Sitzung der Kommission am 15. Juni 2016

---

**Zweite Lesung**

BEARBEITUNGSSTAND: 10.06.2016

1 **Bearbeitungsstand: Nach 30. Sitzung der Kommission am 02.06.2016**

2 **Änderungen sind gelb markiert Stand: 10.06.2016**

3  
4  
5 **5.5.4 Nachweisführung für den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle für eine**  
6 **Million Jahre**

7  
8 Die Langzeitsicherheit jeden Endlagers basiert darauf, dass der sichere Einschluss der  
9 radioaktiven Abfälle dauerhaft gewährleistet wird und eine unzulässige Freisetzung von  
10 Radionukliden in die Biosphäre innerhalb des Nachweiszeitraumes von einer Million Jahren  
11 verhindert wird. Dazu ist immer das gesamte Endlagersystem zu betrachten. Für eine  
12 Endlagerung in tiefen geologischen Formationen besteht das Endlagersystem

- 13 - aus den (konditionierten) Abfällen (z.B. Glasmatrix der Wiederaufarbeitungsabfälle,  
14 Brennelemente)
- 15 - aus den eingelagerten Abfallbehältern (technische Barriere),
- 16 - dem sie umgebenden Endlagerbergwerk mit seinen geotechnischen Barrieren (Versatz,  
17 Streckenverschlüsse und Schachtverschlüsse),
- 18 - dem das Endlager umschließenden, zum Einschluss der Radionuklide beitragenden  
19 einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) und
- 20 - den diesen Gebirgsbereich wiederum umgebenden oder überlagernden geologischen  
21 Schichten bis zur Erdoberfläche, soweit sie sicherheitstechnisch bedeutsam und damit  
22 im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen sind.

23 In einem Endlagerkonzept wird beschrieben, wie das Ziel des langzeitigen Einschlusses der  
24 radioaktiven Abfälle durch das geeignete Zusammenwirken geologischer und technischer  
25 Barrieren erreicht werden soll. Für eine Endlagerung in tiefen geologischen Formationen sind  
26 dabei folgende Ansätze zum Nachweis des langzeitsicheren Einschlusses grundsätzlich  
27 möglich:

- 28  
29 a) Die maßgebliche Einschlussfunktion wird einer geologischen Barriere (dem  
30 sogenannten einschlusswirksamen Gebirgsbereich) zugeordnet.
- 31 b) Die maßgebliche Einschlussfunktion wird einer technischen Barriere (basierend auf  
32 langzeitstabilen Behältern und ihrer Ummantelung) zugeordnet.
- 33 c) Die Einschlusswirkung des Gesamtsystems wird durch eine aufeinander folgende  
34 Kombination von Wirtsgesteinseigenschaften und technischen Barrieren erreicht.

35  
36 Auf Basis dieser Ansätze ist für jede Wirtsgesteinsart an einem bestimmten Standort  
37 Endlager- und ein Nachweiskonzept zu entwickeln, mit dem der Nachweis der  
38 Langzeitsicherheit über den Nachweiszeitraum geführt werden kann. Im  
39 Standortauswahlgesetz ist dieser Nachweiszeitraum auf eine Million Jahre festgelegt<sup>1</sup>.

40  
41  
42 **5.5.4.1** Nachweisführung über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG)

43  
44 Die Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010<sup>2</sup> basieren auf dem Konzept des  
45 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG). Für den Nachweis, dass eine geologische  
46 Barriere den langzeitsicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten kann, wird  
47 hierbei ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich innerhalb des Wirtsgesteins um den Ort der  
48 Einlagerung der radioaktiven Abfälle bzw. zwischen den Abfällen und der Biosphäre

<sup>1</sup> Vgl. Standortauswahlgesetz vom 23. Juli 2013, BGBl. I S. 2553, § 1 Absatz 1.

<sup>2</sup> Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010). Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle.

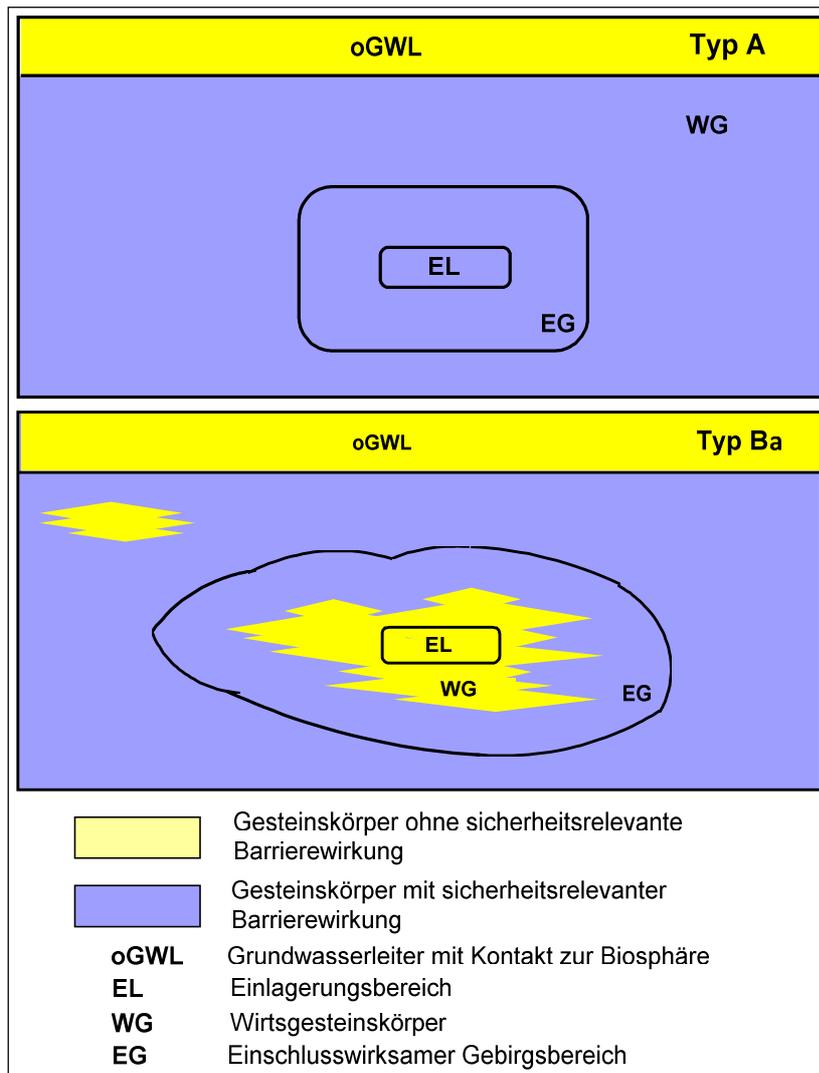
1 ausgewiesen. Das ewG-Konzept wurde in Deutschland vom AkEnd<sup>3</sup> entwickelt. Der AkEnd  
2 hat in seiner Definition die in den folgenden Abbildungen dargestellten  
3 Gesteinskonfigurationen als kompatibel mit dem Konzept eines einschlusswirksamen  
4 Gebirgsbereichs beschrieben:

5  
6 Die Kommission behandelt in Kapitel 6.5.1 ausführlich den aus ihrer Sicht an den  
7 Sicherheitsanforderungen bestehenden Änderungsbedarf und zu überprüfende Punkte.  
8

---

<sup>3</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, dort Kap. 4.1.1.

Abbildung 5.5.4-1: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ A und Typ Ba<sup>4</sup>



<sup>4</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 134.

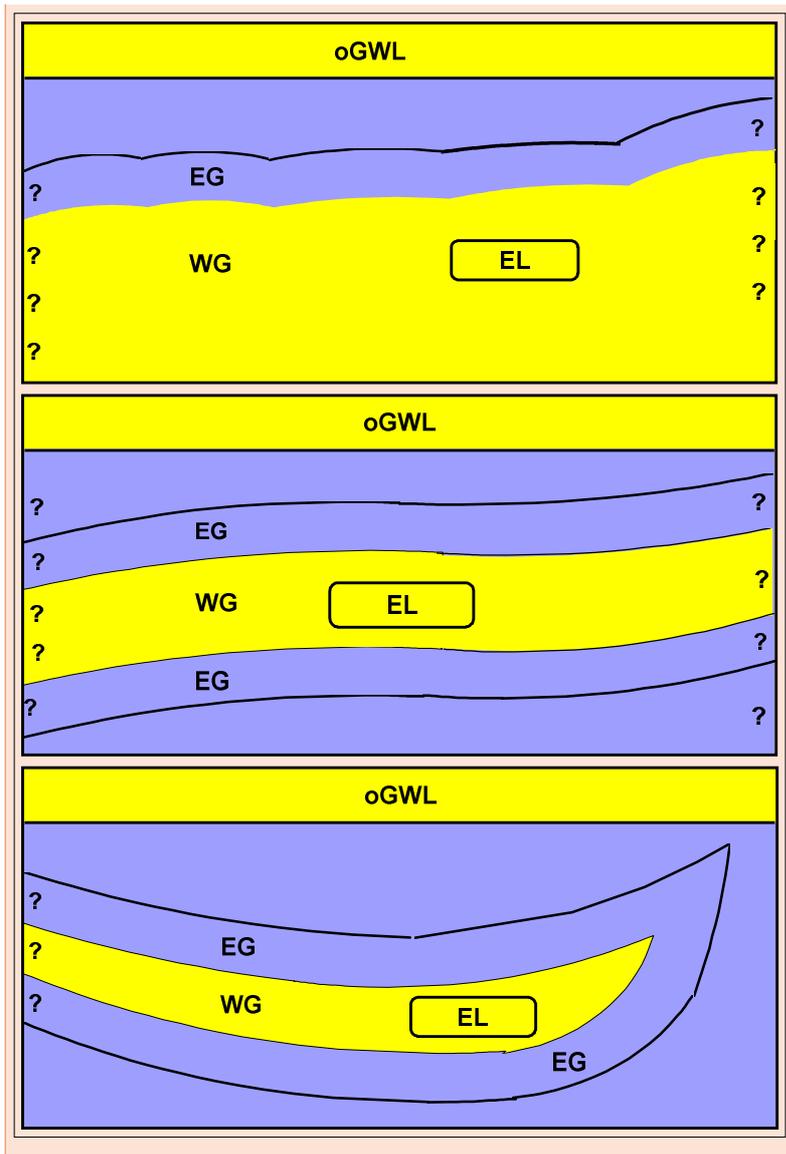
Erläuterung zu Abbildung 5.5.4-1:

Typ A: Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist Teil eines Wirtsgesteinskörpers mit sicherheitsrelevanter Barrierewirkung.

Typ B: Der Wirtsgesteinskörper hat keine sicherheitsrelevante Barrierewirkung und bildet mit dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich unterschiedliche Konfigurationen. Die Darstellung entspricht dabei dem Typ Ba: Das Wirtsgestein ist vollständig vom einschlusswirksamen Gebirgsbereich umschlossen.

Die Darstellung ist schematisch und ohne Maßstab.

Abbildung 5.5.4-2: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ Bb<sup>5</sup>



Kommentiert [JSe1]: Beschriftung der Grafik ergänzen: Typ Bb

1

<sup>5</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 135.

Erläuterung zu Abbildung 5.5.4-2: Konfigurationstyp Bb: Geologische Strukturen mit unterschiedlicher Anordnung von Wirtsgesteinskörper und einschlusswirksamem Gebirgsbereich. Die Darstellung ist schematisch und ohne Maßstab, „?“ bedeutet „weitere Ausdehnung noch zu erkunden“. Legende siehe vorherige Abbildung.

1 Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist der Teil des Endlagersystems, der im  
2 Zusammenwirken mit den geotechnischen Verschlüssen (z.B. Schachtverschlüsse,  
3 Streckenverschlüsse, Versatzmaterial) den Einschluss der Abfälle sicherstellt. Der ewG stellt  
4 hierbei die Hauptbarriere (= geologische Barriere) dar. Zur "Heilung" der erforderlichen  
5 technischen Eingriffe in den ewG sind geotechnische Barrieren (Schacht- und  
6 Streckenverschlüsse, Versatzmaterial) vorgesehen. Der Behälter hat beim ewG-Konzept eine  
7 zeitlich begrenzte Funktion als technische Barriere, auf der aber der Nachweis der  
8 Langzeitsicherheit nicht beruht.

9 Ein ewG Konzept ist hinsichtlich der Wirtgesteinstypen prinzipiell anwendbar für geeignete  
10 Steinsalz- und Tonsteinformationen und auch für Kristallformationen mit geringer  
11 Gebirgsdurchlässigkeit. Dabei sind je nach örtlicher Situation auch Endlagerkonzepte  
12 denkbar, bei denen an einem Standort nicht einer, sondern mehrere räumlich voneinander  
13 getrennte einschlusswirksame Gebirgsbereiche ausgewiesen werden, in denen jeweils ein Teil  
14 der radioaktiven Abfälle langzeitsicher endgelagert werden kann, sowie Konstellationen, bei  
15 denen nicht das Wirtsgestein sondern überlagernde Schichten den sicheren Einschluss  
16 gewährleisten.

17 Bei der vorgeschlagenen Standortauswahl entsprechend den in Kapitel 6.5 beschriebenen  
18 Entscheidungskriterien ist es nach Auffassung der Kommission möglich, einen  
19 einschlusswirksamen Gebirgsbereich so auszuweisen, dass ein Nachweis seiner Integrität über  
20 eine Million Jahre geführt werden kann. Bei ausreichend geringer Durchlässigkeit des  
21 Wirtsgesteins gelingt dabei der Nachweis des Einschlusses unmittelbar durch die vollständige  
22 Integrität des ewG, einschließlich Versatz und Verschlussbauwerke. In diesem Fall können  
23 im Nachweiszeitraum keine Radionuklide den ewG verlassen („vollständiger Einschluss“).  
24 Alternativ kann im Nachweisverfahren gezeigt werden, dass der einschlusswirksame  
25 Gebirgsbereich während des Nachweiszeitraums Radionuklide mindestens in dem Maße  
26 zurückhält, dass nur geringfügige Freisetzungen in die Biosphäre zu erwarten sind, die nicht  
27 zu einer Überschreitung der in den BMUB-Sicherheitsanforderungen genannten Grenzwerten  
28 für die effektive Dosis führen können („sicherer Einschluss“).

29  
30 Beim ewG-Konzept haben die Behälter insbesondere die Aufgabe, während des  
31 Endlagerbetriebes (einige Jahrzehnte) die Rückhaltung von Radionukliden zu gewährleisten;  
32 zudem müssen die Abfallbehälter, ggf. in Kombination mit einem Transferbehälter, eine  
33 sichere Handhabung unter Strahlenschutzbedingungen ermöglichen. Dieselben  
34 Sicherheitsfunktionen werden von den Behältern für eine (eventuell notwendige) Rückholung  
35 in der Betriebsphase (s.a. Kapitel 5.5.2) gefordert. Nach Verschluss des Endlagers müssen die  
36 Abfälle bis zu 500 Jahre bergbar bleiben, woraus sich Anforderungen an die mechanische  
37 Stabilität des Behälters und seine ausreichende Korrosionsbeständigkeit ergeben. Ab dem  
38 Zeitpunkt, nach dem die Bergbarkeit keine Anforderung mehr ist, muss der Behälter im ewG-  
39 Konzept nur noch solange eine Barrierefunktion (einige hundert bzw. tausend Jahre)  
40 übernehmen, bis die Langzeitsicherheit des Endlagersystems vollständig über die  
41 Eigenschaften des ewG, also durch die geologische Barriere sowie die Strecken- und  
42 Schachtverschlüsse, nachgewiesen wird. Im Sicherheits- und Nachweiskonzept für den  
43 Nachweiszeitraum von einer Million Jahre wird danach von langzeitigen Eigenschaften der  
44 Behälter kein Kredit mehr genommen.

45  
46 **5.5.4.2** Nachweisführung über langzeitsichere technische Barrieren

47  
48 Wenn das Wirtsgestein oder das umgebende Gestein keine ausreichende Barriere darstellen,  
49 dann muss, wenn an einem solchen Standort ein Endlager realisiert werden soll, der Nachweis  
50 des langzeitsicheren Einschlusses insbesondere über die technischen Barrieren geführt  
51 werden. Denkbar ist dies für Endlagersysteme in allen potenziellen Wirtgesteinstypen,

1 konzeptionell verfolgt wird es hauptsächlich in Ländern, deren Endlagerkonzept auf  
2 Kristallingestein beruht.

3 In erster Linie ist die technische Barriere der Abfallbehälter, der langfristig dicht sein muss.  
4 Damit er diese Funktion auch über den gesamten Nachweiszeitraum von einer Million Jahre  
5 übernehmen kann, wird er in den bekannten Endlagerkonzepten zum Schutz vor Korrosion  
6 zusätzlich mit einer Schutzschicht (dem sogenannten "Buffer"), bestehend aus einer mehrere  
7 Dezimeter dicken, quellfähigen Bentonitschicht ummantelt.

8  
9 Ein i. W. auf Behälter- und Buffer-Eigenschaften beruhender Langzeitsicherheitsnachweis ist  
10 mit den derzeit geltenden Sicherheitsanforderungen des BMU<sup>6</sup> nicht kompatibel, da diese auf  
11 einem Nachweis über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich beruhen. Die bestehenden  
12 Sicherheitsanforderungen müssen deshalb für diese Art der Nachweisführung ergänzt werden,  
13 wie die Kommission in Kapitel 6.5.1 dieses Berichtes es auch zur Prüfung anregt.

14  
15 Behälter und Buffer müssen bei einem solchen Nachweis über den gesamten  
16 Nachweiszeitraum die wesentliche Barrierefunktion übernehmen, wobei Anforderungen an  
17 die Rückholbarkeit während des Betriebs und eine sich anschließende Phase der Bergbarkeit  
18 nach Verschluss des Endlagers als Anforderungen an den Behälter ebenfalls zu  
19 berücksichtigen sind. Der Behälter ist also im Unterschied zu einem Nachweis über einen  
20 einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht nur für die Betriebsphase des Endlagers und einen  
21 nachfolgenden kürzeren Zeitraum sicherheitsrelevant, sondern für den gesamten  
22 Nachweiszeitraum.

23  
24 Als Behälter sind in derartigen Endlagerkonzepten derzeit im Ausland (z.B. in Schweden und  
25 Finnland) Kombinationen aus mechanisch stabilen Innenbehältern (z.B. aus Sphäroguss) und  
26 korrosionsbeständigen Außenbehältern (z.B. aus dickwandigem Kupfer) vorgesehen (siehe  
27 Kapitel 4.3.3./4.3.4 und Kapitel 6.8). Als "Buffer" dient eine im Wesentlichen aus Bentonit  
28 bestehende mineralische Ummantelung. Bentonit ist ein stark quellfähiger Ton, der bei Zutritt  
29 von Feuchtigkeit quillt und dadurch den eingeschlossenen Behälter gegenüber Wasser (bzw.  
30 Salzlösungszutritt) von seiner unmittelbaren Umgebung isoliert. Voraussetzung ist, dass das  
31 als Buffer eingesetzte Bentonitprodukt<sup>7</sup> sorgfältig und mit einer ausreichenden Dichte um die  
32 Abfallbehälter herum eingebaut wird, und dass unmittelbar im Bereich des Buffers keine oder  
33 nur geringfügige Erosionsvorgänge zu erwarten sind. Eine geringe Feuchte des Gebirges ist  
34 dabei erforderlich, um den notwendigen Quellvorgang des Bentonits auszulösen und  
35 vollständig ablaufen zu lassen. Die Anforderung an die Kombination aus den Behältern, dem  
36 Buffer und dem umgebenden Wirtsgestein ist so, dass Behälterversagen mit Freisetzung aus  
37 dem Behälter nur in einen so geringen Umfang möglich ist, dass damit keine unzulässigen  
38 hohen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen in die Biosphäre erfolgen.

39 Das umgebende Wirtsgestein hat bei einer im Wesentlichen auf den technischen Barrieren  
40 beruhenden Nachweisführung die Aufgabe, die mechanische Stabilität der  
41 Einlagerungshohlräume sicher zu stellen. Darüber hinaus müssen Wirtsgestein und Buffer so  
42 gewählt sein, dass an der Behälteroberfläche ein stabiles nichtkorrosives geochemisches  
43 Milieu herrscht. Die Tiefenlage des Endlagerbergwerks bewirkt in erster Linie den Schutz der  
44 eingelagerten Abfälle gegenüber exogenen Einflüssen (Eiszeiten, Erosion). Das Wirtsgestein  
45 übernimmt nicht, oder nicht maßgeblich, die Aufgabe, während des Nachweiszeitraums einen  
46 Kontakt mit Wasser oder einen Radionuklidaustrag zu verhindern.

47

Kommentiert [MS2]: „oder Tonstein“ gestrichen.

<sup>6</sup> Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010). Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle.

<sup>7</sup> Es werden international verschiedene Mischungen und Produktformen entwickelt.

#### 5.5.4.3 Nachweisführung über eine Kombination von Wirtsgesteinseigenschaften und technischen Barrieren

Unter Ausnutzung sowohl von Wirtsgesteinseigenschaften als auch von technischen Barrieren könnten auch kombinierte Konzepte entwickelt werden, die vorhandene, aber vielleicht nicht vollständig einschlusswirksame Eigenschaften des Wirtsgesteins mit einschlusswirksamen Eigenschaften technischer Barrieren kombinieren und in dieser Kombination eine weitere Nachweismöglichkeit für den langzeitsicheren Einschluss eröffnen. Das gilt für Wirtsgesteinsformationen, die ein relativ hohes Isolationsvermögen gegenüber Einflüssen aus der Biosphäre haben. Charakteristisch ist dabei, dass die geologische(n) und technische(n) Barriere hinsichtlich der Vermeidung bzw. Begrenzung möglicher Freisetzungen nacheinander angeordnet sind und so nur gestuft wirken. Die Barriereeigenschaften des Wirtsgesteins werden dabei um die Barriereeigenschaften der Behälter und der Buffer ergänzt, um in Kombination miteinander die Langzeitsicherheit über den geforderten Zeitraum von einer Million Jahren zeigen zu können. Der Nachweis des sicheren Einschlusses beruht dann auf einer integrierten Betrachtung des Zusammenspiels von technischen und geotechnischen Barrieren und Wirtsgesteinseigenschaften. Dabei wird in Kauf genommen, dass ein gewisser Prozentsatz an Behälterversagen während des Nachweiszeitraums nicht ausgeschlossen werden kann. Es ist konzeptionell darzulegen wie Schwächen der geologischen Barrieren durch technische und geotechnische Vorkehrungen bzw. Schwächen der technischen Barriere durch Anforderungen an die geologischen Eigenschaften des Wirtsgesteins über den Nachweiszeitraum ausgeglichen werden können, damit höchstens eine Freisetzung von Radionukliden in die Biosphäre unterhalb von Grenzwerten erfolgt.

Auch für diese Art der Nachweisführung müssten die bestehenden Sicherheitsanforderungen des BMU ergänzt werden.

Kommentiert [MS3]: „geringfügig“ gestrichen

#### 5.5.4.4 Stellung der Nachweisstrategien im Standortauswahlverfahren

Nach Auffassung der Kommission hat das Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs den Vorteil, dass es hinsichtlich der nachzuweisenden Langzeitsicherheit auf geologischen Eigenschaften des Endlagersystems basiert, die an geeigneten Standorten als vergleichsweise solide prognostizierbar angesehen werden können. Technische Barrieren erhöhen zwar die Robustheit des Endlagersystems, die im Nachweisverfahren zu belegende Langzeitsicherheit ist hiervon aber nicht abhängig. Geotechnische Barrieren müssen dagegen - je nach Sicherheitskonzept - außer zur Robustheit auch einen relevanten Beitrag zur Langzeitsicherheit leisten können.

Demgegenüber muss sich bei einem Nachweis Konzept, dass i.W. auf technischen Barrieren beruht (Behälter/Buffer), die Prognose auf die langzeitigen Eigenschaften dieser technischen Barrieren stützen. Demgegenüber ist das Vertrauen auf eine i. W. technisch durch den Behälter begründete Langzeitsicherheit bei einem Nachweiszeitraum von einer Million Jahren auf den ersten Blick geringer als das gegenüber einer geowissenschaftlich begründeten Prognose.

Die Kommission schließt aber auch alternative Nachweisführungen mit einer stärkeren Betonung auf technischen Barrieren nicht grundsätzlich aus. Sie kämen unter den in Deutschland zu erwartenden geologischen Randbedingungen dann zum Tragen, wenn es darum geht, Endlager- und Nachweis Konzepte für Standorte ohne die Möglichkeit der Ausweisung eines ausreichend integren ewG zu entwickeln. Dabei ist zu zeigen, dass ein auf Behältertechnologie, Buffer und geotechnischen Barrieren basierender Langzeitsicherheitsnachweis, ggf. in Kombination mit günstigen Wirtsgesteinseigenschaften, zu einer gleichwertigen und gleich robusten Sicherheitsaussage führt wie ein

Kommentiert [MS4]: gemeinsamer Textvorschlag Appel/Sailer (in der letzten Kommissionsitzung als Aufgabe festgelegt)

- 1 Langzeitsicherheitsnachweis, basierend auf einem Nachweiskonzept des einschlusswirksamen
- 2 Gebirgsbereich.
- 3

