

Geschäftsstelle

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

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 Vorsitzenden der AG 3 für die 32. Sitzung der Kommission am 20. Juni 2016

---

**DRITTE LESUNG**  
BEARBEITUNGSSTAND: 17.06.2016

1 **Bearbeitungsstand: Nach 31. Sitzung der Kommission**  
2 **Änderungen sind gelb markiert Stand: 17.06.2016**

### 5.5.4 Nachweisführung für den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle für eine Million Jahre

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

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

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

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

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

#### 5.5.4.1 Nachweisführung über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG)

Die Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010<sup>2</sup> basieren auf dem Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG). Für den Nachweis, dass eine geologische Barriere den langzeitsicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten kann, wird hierbei ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich innerhalb des Wirtsgesteins um den Ort der

<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. Hinweis: Die Kommission behandelt in Kapitel 6.5.1 ausführlich den aus ihrer Sicht an den Sicherheitsanforderungen bestehenden Änderungsbedarf und zu überprüfende Punkte.

1 Einlagerung der radioaktiven Abfälle bzw. zwischen den Abfällen und der Biosphäre  
2 ausgewiesen. Das ewG-Konzept wurde in Deutschland vom AkEnd<sup>3</sup> entwickelt. Der AkEnd  
3 hat in seiner Definition die in den folgenden Abbildungen dargestellten  
4 Gesteinskonfigurationen als kompatibel mit dem Konzept eines einschlusswirksamen  
5 Gebirgsbereichs beschrieben:

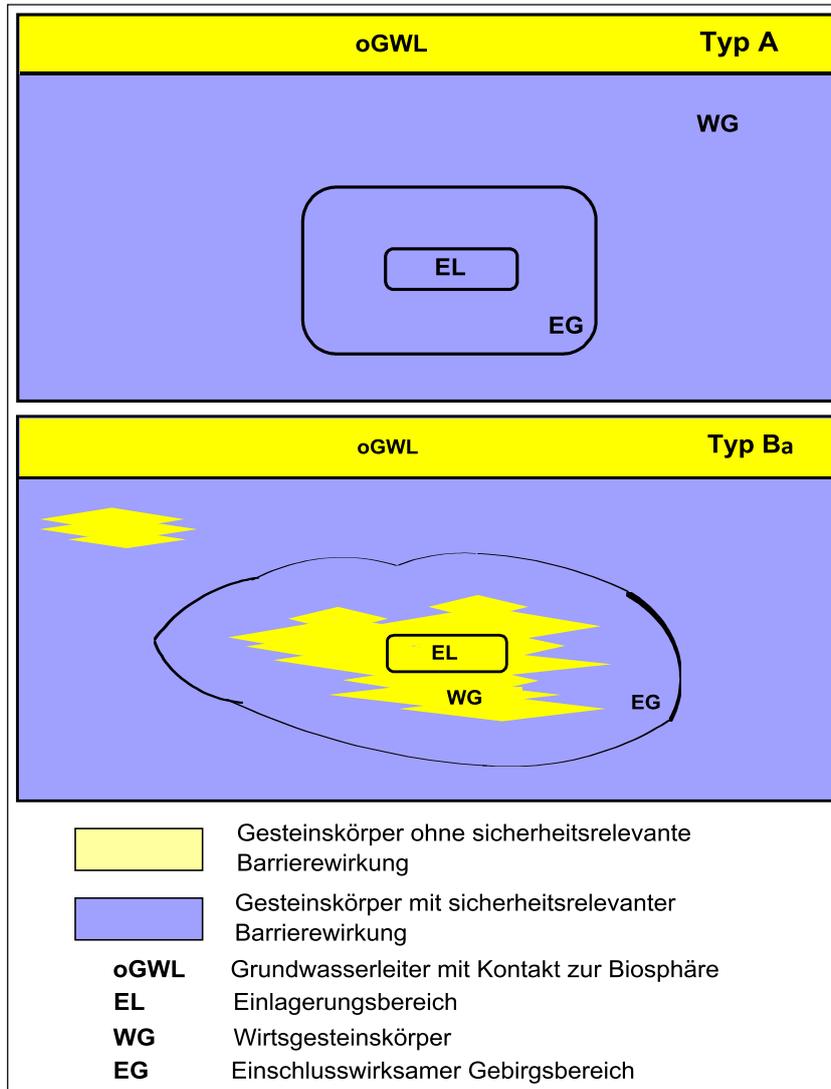
6  
7 ~~Die Kommission behandelt in Kapitel 6.5.1 ausführlich den aus ihrer Sicht an den~~  
8 ~~Sicherheitsanforderungen bestehenden Änderungsbedarf und zu überprüfende Punkte.~~

**Kommentiert [MS1]:** Der Text wurde in die Fußnote 2 überführt.

---

<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.

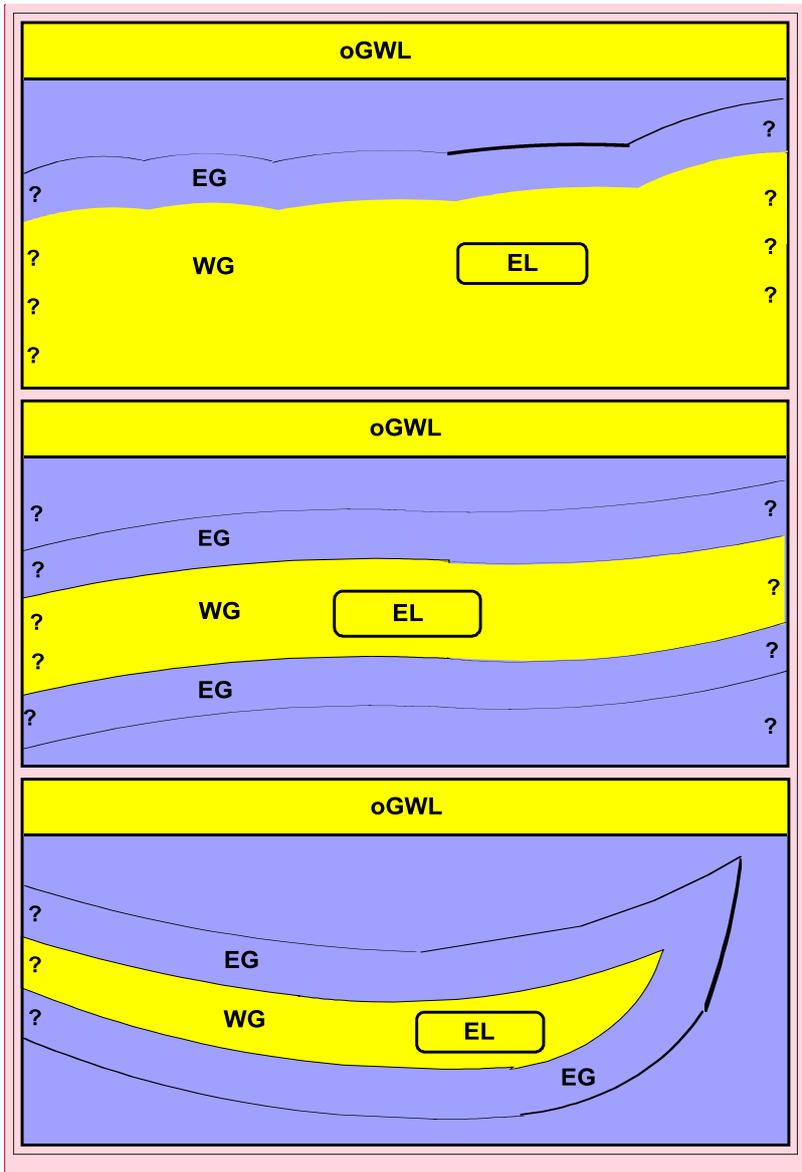
Erläuterung zu Abbildung 5.5.4-1:

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 Wirtgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ Bb<sup>5</sup>



Kommentiert [JSe2]: 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 Wirtgesteinskörper 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 Wirtgestein sondern überlagernde Schichten den sicheren Einschluss  
 16 gewährleisten.<sup>6</sup>

Kommentiert [MS3]: Fußnote hinzugefügt

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

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

46  
 47 5.5.4.2 Nachweisführung über langzeitsichere technische Barrieren  
 48

<sup>6</sup> Siehe z.B. K-MAT 42 „Geologische Potentiale zur Einlagerung von radioaktiven Abfallstoffen unterhalb von stratiformen Salzformationen“

1 Wenn das Wirtsgestein oder das umgebende Gestein keine ausreichende Barriere darstellen,  
 2 dann muss, wenn an einem solchen Standort ein Endlager realisiert werden soll, der Nachweis  
 3 des langzeitsicheren Einschlusses insbesondere über die technischen Barrieren geführt  
 4 werden. Denkbar ist dies für Endlagersysteme in allen potenziellen Wirtsgesteinstypen,  
 5 konzeptionell verfolgt wird es hauptsächlich in Ländern, deren Endlagerkonzept auf  
 6 Kristallingestein beruht.

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

12  
 13 Ein i. W. auf Behälter- und Buffer-Eigenschaften beruhender Langzeitsicherheitsnachweis ist  
 14 mit den derzeit geltenden Sicherheitsanforderungen des BMU<sup>7</sup> nicht kompatibel, da diese auf  
 15 einem Nachweis über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich beruhen. Die bestehenden  
 16 Sicherheitsanforderungen müssen deshalb für diese Art der Nachweisführung ergänzt werden,  
 17 wie die Kommission in Kapitel 6.5.1 dieses Berichtes es auch zur Prüfung anregt.

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

27  
 28 Als Behälter sind in derartigen Endlagerkonzepten derzeit im Ausland (z.B. in Schweden und  
 29 Finnland) Kombinationen aus mechanisch stabilen Innenbehältern (z.B. aus Sphäroguss) und  
 30 korrosionsbeständigen Außenbehältern (z.B. aus dickwandigem Kupfer) vorgesehen (siehe  
 31 Kapitel 4.3.3./4.3.4 und Kapitel 6.8). Als "Buffer" dient eine im Wesentlichen aus Bentonit  
 32 bestehende mineralische Ummantelung. Bentonit ist ein stark quellfähiger Ton, der bei Zutritt  
 33 von Feuchtigkeit quillt und dadurch den eingeschlossenen Behälter gegenüber Wasser (bzw.  
 34 Salzlösungszutritt) von seiner unmittelbaren Umgebung isoliert. Voraussetzung ist, dass das  
 35 als Buffer eingesetzte Bentonitprodukt<sup>8</sup> sorgfältig und mit einer ausreichenden Dichte um die  
 36 Abfallbehälter herum eingebaut wird, und dass unmittelbar im Bereich des Buffers keine oder  
 37 nur geringfügige Erosionsvorgänge zu erwarten sind. Eine geringe Feuchte des Gebirges ist  
 38 dabei erforderlich, um den notwendigen Quellvorgang des Bentonits auszulösen und  
 39 vollständig ablaufen zu lassen. Die Anforderung an die Kombination aus den Behältern, dem  
 40 Buffer und dem umgebenden Wirtsgestein ist so, dass Behälterversagen mit Freisetzung aus  
 41 dem Behälter nur in einem so geringen Umfang möglich ist, dass damit keine unzulässig  
 42 hohen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen in die Biosphäre erfolgen.

43 Das umgebende Wirtsgestein hat bei einer im Wesentlichen auf den technischen Barrieren  
 44 beruhenden Nachweisführung die Aufgabe, die mechanische Stabilität der  
 45 Einlagerungshohlräume sicher zu stellen. Darüber hinaus müssen Wirtsgestein und Buffer so  
 46 gewählt sein, dass die **Grundanforderungen hinsichtlich der Permeabilität des Wirtsgesteins**  
 47 **auch langfristig eingehalten werden** und an der Behälteroberfläche ein stabiles nichtkorrosives  
 48 geochemisches Milieu herrscht. Die Tiefenlage des Endlagerbergwerks bewirkt in erster Linie

<sup>7</sup> Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010). Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle.

<sup>8</sup> Es werden international verschiedene Mischungen und Produktformen entwickelt.

**Kommentiert [MS4]:** Eingefügt durch Sailer und Thomauske aufgrund des Auftrags aus der letzten Kommissionssitzung

1 den Schutz der eingelagerten Abfälle gegenüber exogenen Einflüssen (Eiszeiten, Erosion).  
2 Das Wirtsgestein übernimmt nicht, oder nicht maßgeblich, die Aufgabe, während des  
3 Nachweiszeitraums einen Kontakt mit Wasser oder einen Radionuklidaustrag zu verhindern.

#### 4 5 5.5.4.3 Nachweisführung über eine Kombination von Wirtsgesteinseigenschaften und 6 technischen Barrieren

7  
8 Unter Ausnutzung sowohl von Wirtsgesteinseigenschaften als auch von technischen Barrieren  
9 könnten auch kombinierte Konzepte entwickelt werden, die vorhandene, aber vielleicht nicht  
10 vollständig einschlusswirksame Eigenschaften des Wirtsgesteins mit einschlusswirksamen  
11 Eigenschaften technischer Barrieren kombinieren und in dieser Kombination eine weitere  
12 Nachweismöglichkeit für den langzeitsicheren Einschluss eröffnen. Das gilt für  
13 Wirtsgesteinsformationen, die ein relativ hohes Isolationsvermögen gegenüber Einflüssen aus  
14 der Biosphäre haben. Charakteristisch ist dabei, dass die geologische(n) und technische(n)  
15 Barriere hinsichtlich der Vermeidung bzw. Begrenzung möglicher Freisetzungen  
16 nacheinander angeordnet sind und so nur gestuft wirken. Die Barriereeigenschaften des  
17 Wirtsgesteins werden dabei um die Barriereeigenschaften der Behälter und der Buffer  
18 ergänzt, um in Kombination miteinander die Langzeitsicherheit über den geforderten  
19 Zeitraum von einer Million Jahren zeigen zu können. Der Nachweis des sicheren Einschlusses  
20 beruht dann auf einer integrierten Betrachtung des Zusammenspiels von technischen und  
21 geotechnischen Barrieren und Wirtsgesteinseigenschaften. Dabei wird in Kauf genommen,  
22 dass ein gewisser Prozentsatz an Behälterversagen während des Nachweiszeitraums nicht  
23 ausgeschlossen werden kann. Es ist konzeptionell darzulegen wie Schwächen der  
24 geologischen Barrieren durch technische und geotechnische Vorkehrungen bzw. Schwächen  
25 der technischen Barriere durch Anforderungen an die geologischen Eigenschaften des  
26 Wirtsgesteins über den Nachweiszeitraum ausgeglichen werden können, damit höchstens eine  
27 Freisetzung von Radionukliden in die Biosphäre unterhalb von Grenzwerten erfolgt. Auch für  
28 diese Art der Nachweisführung müssten die bestehenden Sicherheitsanforderungen des BMU  
29 ergänzt werden.

30  
31

#### 32 5.5.4.4 Stellung der Nachweisstrategien im Standortauswahlverfahren

33  
34 Nach Auffassung der Kommission hat das Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs  
35 den Vorteil, dass es hinsichtlich der nachzuweisenden Langzeitsicherheit auf geologischen  
36 Eigenschaften des Endlagersystems basiert, die an geeigneten Standorten als vergleichsweise  
37 solide prognostizierbar angesehen werden können. Technische Barrieren erhöhen bei diesem  
38 Konzept zwar die Robustheit des Endlagersystems, die im Nachweisverfahren zu belegende  
39 Langzeitsicherheit ist hiervon aber nicht abhängig. Geotechnische Barrieren müssen dagegen  
40 - je nach Sicherheitskonzept - außer zur Robustheit auch einen relevanten Beitrag zur  
41 Langzeitsicherheit leisten können.

42 Demgegenüber muss sich bei einem Nachweiskonzept, das im Wesentlichen auf technischen  
43 Barrieren beruht (Behälter/Buffer), die Prognose auf die langzeitigen Eigenschaften dieser  
44 technischen Barrieren stützen.

45 Die Kommission schließt alternative Nachweisführungen mit einer stärkeren Betonung auf  
46 technischen Barrieren nicht grundsätzlich aus. Sie kämen unter den in Deutschland zu  
47 erwartenden geologischen Randbedingungen dann zum Tragen, wenn es darum geht,  
48 Endlager- und Nachweiskonzepte für Standorte ohne die Möglichkeit der Ausweisung eines  
49 ausreichend integren ewG zu entwickeln. Dabei ist zu zeigen, dass ein auf  
50 Behältertechnologie, Buffer und geotechnischen Barrieren basierender  
51 Langzeitsicherheitsnachweis, ggf. in Kombination mit günstigen Wirtsgesteinseigenschaften,

- 1 zu einer gleichwertigen und gleich robusten Sicherheitsaussage führt wie ein
- 2 Langzeitsicherheitsnachweis, basierend auf einem Nachweiskonzept des einschlusswirksamen
- 3 Gebirgsbereiches.