

Geschäftsstelle

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

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 30. Sitzung der Kommission am 2. Juni 2016

ERSTE LESUNG
BEARBEITUNGSSTAND: 29.05.2016

1 **Vorschlag für ein Kapitel zur Stellung von ewG bzw. Behälterkonzept im**
2 **Standortauswahlverfahren. (Kap 5.5.4)**

3
4 **Bearbeitungsstand 29.05.2016**

5
6 Dieses Papier stellt die Weiterentwicklung der K-Drs._AG3-128c dar auf Basis der drei
7 eingegangenen Kommentare von Bayern, Prof. Kudla und Dr. Fischer. Es ist für die Vorlage
8 in der Kommissionssitzung am 02.06.2016 bestimmt.

9
10
11 **5.5.4 Nachweisführung für den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle für eine**
12 **Million Jahre**

13
14 Die Langzeitsicherheit jeden Endlagers basiert darauf, dass der sichere Einschluss der
15 radioaktiven Abfälle dauerhaft gewährleistet wird und eine unzulässige Freisetzung von
16 Radionukliden in die Biosphäre innerhalb des Nachweiszeitraumes von einer Million Jahren
17 verhindert wird. Dazu ist immer das gesamte Endlagersystem zu betrachten. Für eine
18 Endlagerung in tiefen geologischen Formationen besteht das Endlagersystem

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

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

- 34
35 a) Die maßgebliche Einschlussfunktion wird einer geologischen Barriere (dem
36 sogenannten einschlusswirksamen Gebirgsbereich) zugeordnet.
- 37 b) Die maßgebliche Einschlussfunktion wird einer technischen Barriere (basierend auf
38 langzeitstabilen Behältern und ihrer Ummantelung) zugeordnet.
- 39 c) Die Einschlusswirkung des Gesamtsystems wird durch eine aufeinander folgende
40 Kombination von Wirtsgesteinseigenschaften und technischen Barrieren erreicht.

41
42 Auf Basis dieser Ansätze ist für jede Wirtsgesteinsart an einem bestimmten Standort Endlager-
43 und ein Nachweiskonzept zu entwickeln, mit dem der Nachweis der Langzeitsicherheit über
44 den Nachweiszeitraum geführt werden kann. Im Standortauswahlgesetz ist dieser
45 Nachweiszeitraum auf eine Million Jahre festgelegt¹.

46
47
48
49
50

¹ Vgl. Standortauswahlgesetz vom 23. Juli 2013, BGBl. I S. 2553, § 1 Absatz 1.

1 **5.5.4.1** Nachweisführung über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG)

2
3 Die Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010² basieren auf dem Konzept des
4 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG). Für den Nachweis, dass eine geologische
5 Barriere den langzeitsicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten kann, wird
6 hierbei ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich innerhalb des Wirtsgesteins um den Ort der
7 Einlagerung der radioaktiven Abfälle bzw. zwischen den Abfällen und der Biosphäre
8 ausgewiesen. Das ewG-Konzept wurde in Deutschland vom AkEnd³ entwickelt. Der AkEnd
9 hat in seiner Definition die in den folgenden Abbildungen dargestellten
10 Gesteinskonfigurationen als kompatibel mit dem Konzept eines einschlusswirksamen
11 Gebirgsbereichs beschrieben:
12

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

³ 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 Ba⁴

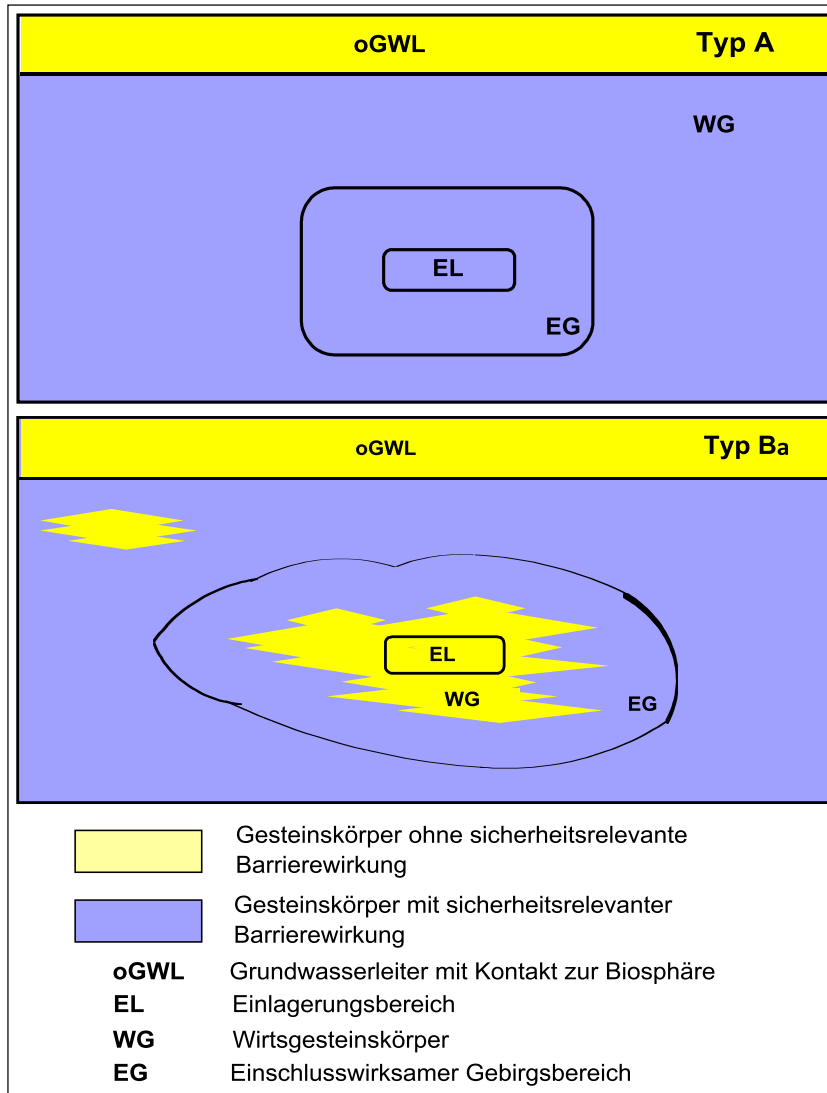


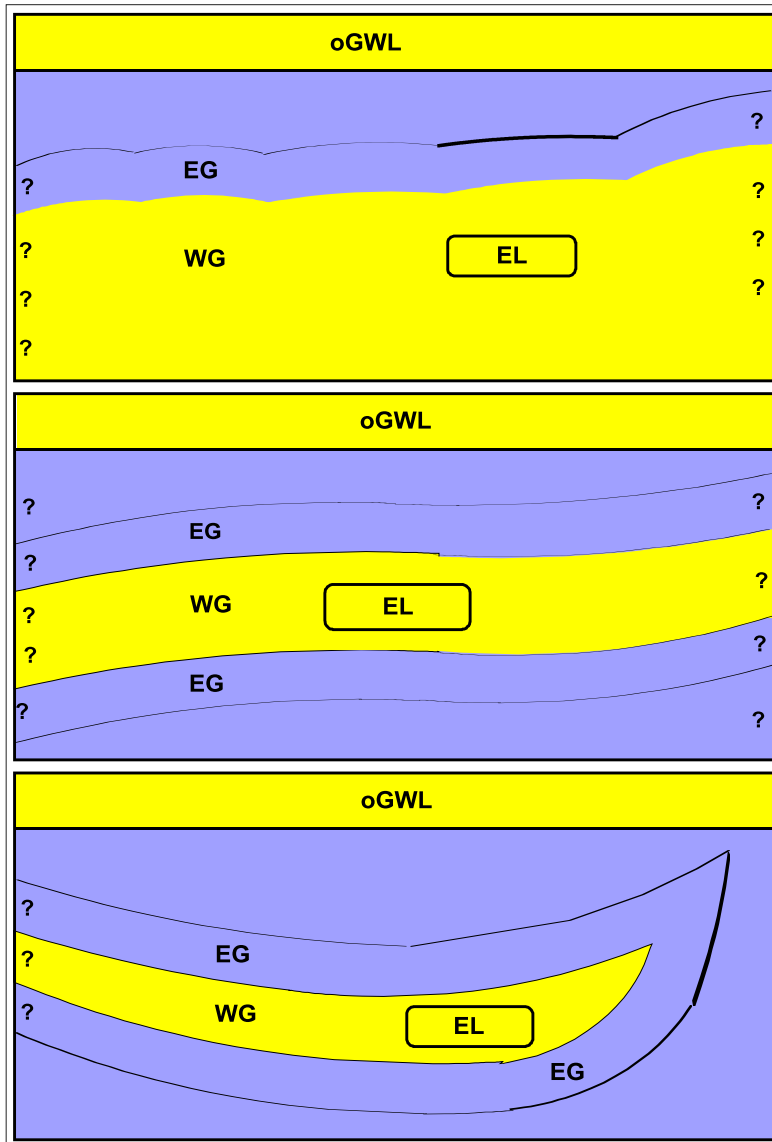
Abbildung 5.5.4-2: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ Bb⁵

⁴ 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.

Kommentiert [MS1]: Anmerkung Bayern:
 „Der Typ Bb erscheint nicht zu 100 % kompatibel mit dem ewG-Konzept und sollte dem Endlagerkonzept c) des Abschnitts 5.5.4 zugeordnet werden.“



1

Typ B: Der Wirtgesteinskörper 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.

⁵ 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 Kristallinformationen mit geringer
11 Gebirgsdurchlässigkeit. Dabei sind je nach örtlicher Situation auch Endlagerkonzepte denkbar,
12 bei denen an einem Standort nicht einer, sondern mehrere räumlich voneinander getrennte
13 einschlusswirksame Gebirgsbereiche ausgewiesen werden, in denen jeweils ein Teil der
14 radioaktiven Abfälle langzeitsicher endgelagert werden kann.

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

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

43 5.5.4.2 Nachweisführung über langzeitsichere technische Barrieren

44

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

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

6
 7 Ein i. W. auf Behälter- und Buffer-Eigenschaften beruhender Langzeitsicherheitsnachweis ist
 8 mit den derzeit geltenden Sicherheitsanforderungen des BMU⁶ nicht kompatibel, da diese auf
 9 einem Nachweis über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich beruhen. Die bestehenden
 10 Sicherheitsanforderungen müssen deshalb für diese Art der Nachweisführung ergänzt werden,
 11 wie die Kommission in Kapitel 6.5.1 dieses Berichtes es auch zur Prüfung anregt.

12
 13 Behälter und Buffer müssen bei einem solchen Nachweis über den gesamten Nachweiszeitraum
 14 die wesentliche Barrierefunktion übernehmen, wobei Anforderungen an die Rückholbarkeit
 15 während des Betriebs und eine sich anschließende Phase der Bergbarkeit nach Verschluss des
 16 Endlagers als Anforderungen an den Behälter ebenfalls zu berücksichtigen sind. Der Behälter
 17 ist also im Unterschied zu einem Nachweis über einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich
 18 nicht nur für die Betriebsphase des Endlagers und einen nachfolgenden kürzeren Zeitraum
 19 sicherheitsrelevant, sondern für den gesamten Nachweiszeitraum.

20
 21 Als Behälter sind in derartigen Endlagerkonzepten derzeit im Ausland (z.B. in Schweden und
 22 Finnland) Kombinationen aus mechanisch stabilen Innenbehältern (z.B. aus Sphäroguss) und
 23 korrosionsbeständigen Außenbehältern (z.B. aus dickwandigem Kupfer) vorgesehen (siehe
 24 Kapitel 4.3.3./4.3.4 und Kapitel 6.8). Als "Buffer" dient eine im Wesentlichen aus Bentonit
 25 bestehende mineralische Ummantelung. Bentonit ist ein stark quellfähiger Ton, der bei Zutritt
 26 von Feuchtigkeit quillt und dadurch den eingeschlossenen Behälter gegenüber Wasser (bzw.
 27 Salzlösungszutritt) von seiner unmittelbaren Umgebung isoliert. Voraussetzung ist, dass das als
 28 Buffer eingesetzte Bentonitprodukt⁷ sorgfältig und mit einer ausreichenden Dichte um die
 29 Abfallbehälter herum eingebaut wird, und dass unmittelbar im Bereich des Buffers keine oder
 30 nur geringfügige Erosionsvorgänge zu erwarten sind. Eine geringe Feuchte des Gebirges ist
 31 dabei erforderlich, um den notwendigen Quellvorgang des Bentonits auszulösen und
 32 vollständig ablaufen zu lassen.

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

41
 42 5.5.4.3 Nachweisführung über eine Kombination von Wirtsgesteinseigenschaften und
 43 technischen Barrieren

44
 45 Unter Ausnutzung sowohl von Wirtsgesteinseigenschaften als auch von technischen Barrieren
 46 könnten auch kombinierte Konzepte entwickelt werden, die vorhandene, aber vielleicht nicht
 47 vollständig einschlusswirksame Eigenschaften des Wirtsgesteins mit einschlusswirksamen
 48 Eigenschaften technischer Barrieren kombinieren und in dieser Kombination eine weitere

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

⁷ Es werden international verschiedene Mischungen und Produktformen entwickelt.

Kommentiert [MS2]: Prof. Kudla wünscht hier folgende Einfügung:

„Behälter, für die eine Langzeitstabilität von 1 Mio Jahre nachgewiesen ist, sind bisher weder im Ausland noch im Inland entwickelt worden.“

Kommentiert [MS3]: Bayern wünscht hier folgende Einfügung:

„Insofern wird bei diesem Nachweiskonzept nicht der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit gesucht, da alle Standorte, die die mechanische Integrität des Endlagers im Nachweiszeitraum gewährleisten, gleichwertig sind.“

1 Nachweismöglichkeit für den langzeitsicheren Einschluss eröffnen. Das gilt für
 2 Wirtsgesteinsformationen, die ein relativ hohes Isolationsvermögen gegenüber Einflüssen aus
 3 der Biosphäre haben. Charakteristisch ist dabei, dass die geologische(n) und technische(n)
 4 Barriere hinsichtlich der Vermeidung bzw. Begrenzung möglicher Freisetzungen nacheinander
 5 angeordnet sind und so nur gestuft wirken. Die Barriereigenschaften des Wirtsgesteins werden
 6 dabei um die Barriereigenschaften der Behälter und der Buffer ergänzt, um in Kombination
 7 miteinander die Langzeitsicherheit über den geforderten Zeitraum von einer Million Jahren
 8 zeigen zu können. Der Nachweis des sicheren Einschlusses beruht dann auf einer integrierten
 9 Betrachtung des Zusammenspiels von technischen und geotechnischen Barrieren und
 10 Wirtsgesteinseigenschaften. Dabei wird in Kauf genommen, dass ein gewisser Prozentsatz an
 11 Behälterversagen während des Nachweiszeitraums nicht ausgeschlossen werden kann. Es ist
 12 konzeptionell darzulegen wie Schwächen der geologischen Barrieren durch technische und
 13 geotechnische Vorkehrungen bzw. Schwächen der technischen Barriere durch Anforderungen
 14 an die geologischen Eigenschaften des Wirtsgesteins über den Nachweiszeitraum ausgeglichen
 15 werden können, damit höchstens eine geringfügige Freisetzung von Radionukliden in die
 16 Biosphäre unterhalb von Grenzwerten erfolgt.
 17 Auch für diese Art der Nachweisführung müssten die bestehenden Sicherheitsanforderungen
 18 des BMU ergänzt werden.

21 5.5.4.4 Stellung der Nachweisstrategien im Standortauswahlverfahren

23 Nach Auffassung der Kommission hat das Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
 24 den Vorteil, dass es hinsichtlich der nachzuweisenden Langzeitsicherheit auf geologischen
 25 Eigenschaften des Endlagersystems basiert, die an geeigneten Standorten als vergleichsweise
 26 solide prognostizierbar angesehen werden können. Technische und geotechnische Barrieren
 27 können die Robustheit des Endlagersystems nur erhöhen, die geforderte Langzeitsicherheit ist
 28 im Nachweisverfahren hiervon aber nicht abhängig.

29 Demgegenüber ist das Vertrauen auf eine i. W. technisch durch den Behälter begründete
 30 Langzeitsicherheit bei einem Nachweiszeitraum von einer Million Jahren auf den ersten Blick
 31 geringer als das gegenüber einer geowissenschaftlich begründeten Prognose.

32 Die Kommission schließt aber auch alternative Nachweisführungen mit einer stärkeren
 33 Betonung auf technischen Barrieren nicht grundsätzlich aus. Sie kämen unter den in
 34 Deutschland zu erwartenden geologischen Randbedingungen dann zum Tragen, wenn es darum
 35 geht, Endlager- und Nachweiskonzepte für Standorte ohne die Möglichkeit der Ausweisung
 36 eines ausreichend integren ewG zu entwickeln. Dabei ist zu zeigen, dass ein auf
 37 Behältertechnologie, Buffer und geotechnischen Barrieren basierender
 38 Langzeitsicherheitsnachweis, ggf. in Kombination mit günstigen Wirtsgesteinseigenschaften,
 39 zu einer gleichwertigen und gleich robusten Sicherheitsaussage führt wie ein
 40 Langzeitsicherheitsnachweis, basierend auf einem Nachweiskonzept des einschlusswirksamen
 41 Gebirgsbereich.

44 Es folgt dann als 5.5.5 das früher mit 5.5.4 nummerierte Kapitel

46 5.5.5 Begründung der Priorität

47 Die zentralen Argumente

Kommentiert [MS4]: Herr Dr. Fischer schlägt vor diesen Satz zu streichen und stattdessen wie folgt zu formulieren:

„Demgegenüber muss sich bei einem Nachweiskonzept, dass i. W. auf technischen Barrieren beruht (Behälter/Buffer), die Prognose auf die langzeitigen Eigenschaften dieser technischen Barrieren stützen.“

Kommentiert [MS5]: Herr Prof. Kudla schlägt vor, den Absatz wie folgt zu formulieren:

„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 Vertrauen auf eine Langzeitsicherheit, die mittels eines mehreren Zehnermetern dicken einschlusswirksamen Gebirgsbereiches nachgewiesen wird. Des Weiteren kommt hinzu, dass ein Behälter für einen Nachweiszeitraum von 1 Mio Jahren erst entwickelt werden muss.“