

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

Bearbeitungsstand: Nach 31. Sitzung der Kommission
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 festgelegt¹.

5.5.4.1 Nachweisführung über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG)

Die Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010² 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

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

² 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.

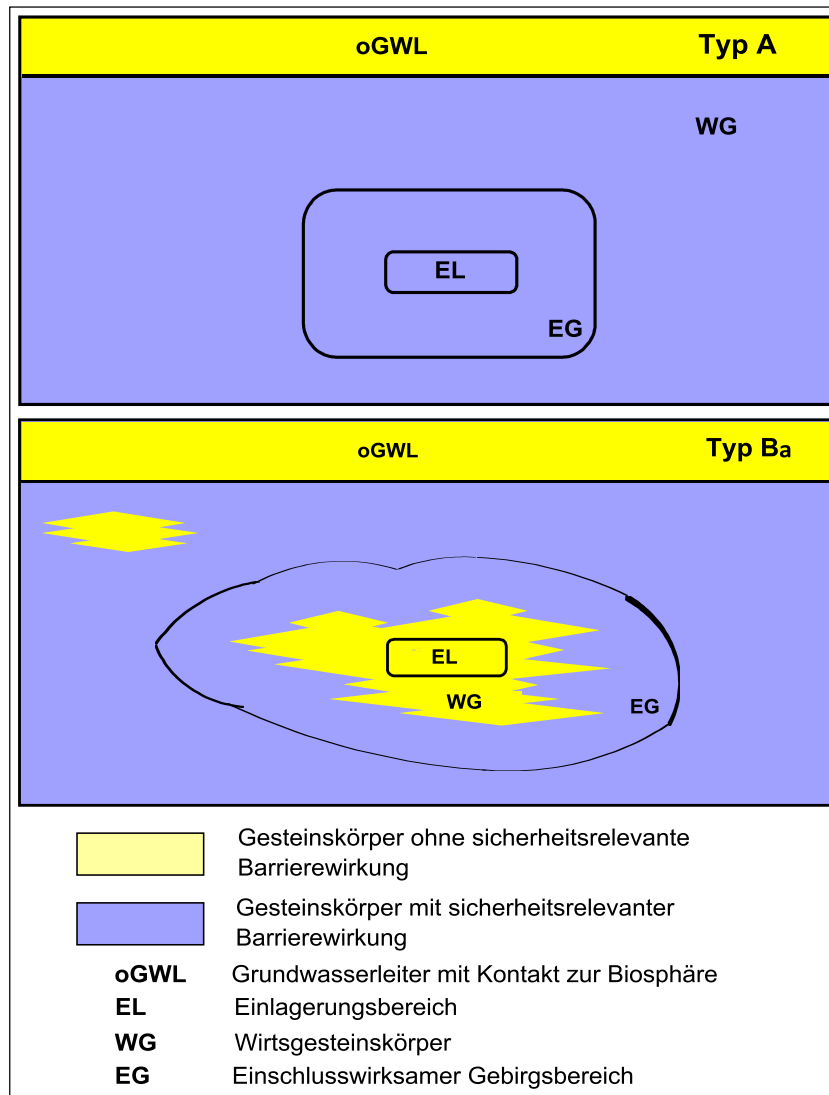
1 Einlagerung der radioaktiven Abfälle bzw. zwischen den Abfällen und der Biosphäre
2 ausgewiesen. Das ewG-Konzept wurde in Deutschland vom AkEnd³ entwickelt. Der AkEnd
3 hat in seiner Definition die in den folgenden Abbildungen dargestellten
4 Gesteinskonfigurationen als kompatibel mit dem Konzept eines 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.

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



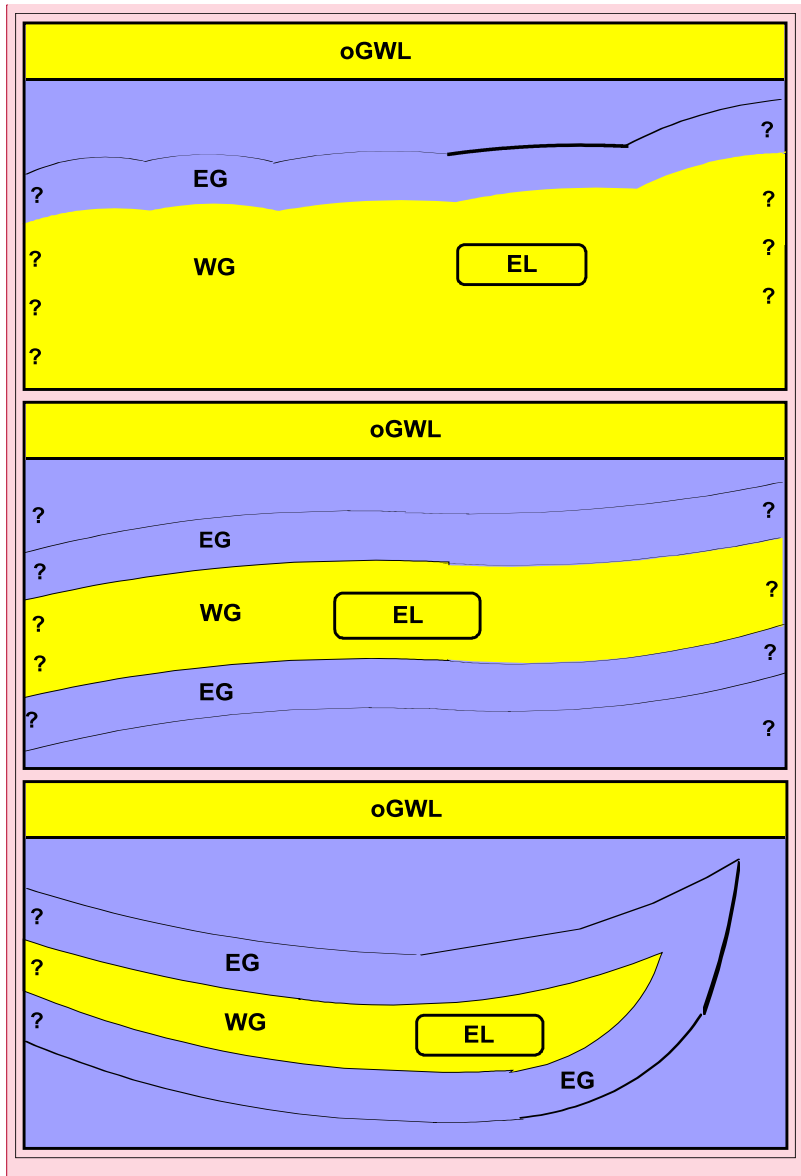
⁴ Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 134.

Erläuterung zu Abbildung 5.5.4-1:

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

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 Bb⁵



Kommentiert [JSe2]: Beschriftung der Grafik ergänzen: Typ Bb

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.

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

Ein ewG Konzept ist hinsichtlich der Wirtgesteinstypen prinzipiell anwendbar für geeignete Steinsalz- und Tonsteinformationen und auch für Kristallinformationen mit geringer Gebirgsdurchlässigkeit. Dabei sind je nach örtlicher Situation auch Endlagerkonzepte denkbar, bei denen an einem Standort nicht einer, sondern mehrere räumlich voneinander getrennte einschlusswirksame Gebirgsbereiche ausgewiesen werden, in denen jeweils ein Teil der radioaktiven Abfälle langzeitsicher endgelagert werden kann, sowie Konstellationen, bei denen nicht das Wirtgestein sondern überlagernde Schichten den sicheren Einschluss gewährleisten.⁶

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

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

5.5.4.2 Nachweisführung über langzeitsichere technische Barrieren

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

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

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

Ein i. W. auf Behälter- und Buffer-Eigenschaften beruhender Langzeitsicherheitsnachweis ist mit den derzeit geltenden Sicherheitsanforderungen des BMU⁷ nicht kompatibel, da diese auf einem Nachweis über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich beruhen. Die bestehenden Sicherheitsanforderungen müssen deshalb für diese Art der Nachweisführung ergänzt werden, wie die Kommission in Kapitel 6.5.1 dieses Berichtes es auch zur Prüfung anregt.

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

Als Behälter sind in derartigen Endlagerkonzepten derzeit im Ausland (z.B. in Schweden und Finnland) Kombinationen aus mechanisch stabilen Innenbehältern (z.B. aus Sphäroguss) und korrosionsbeständigen Außenbehältern (z.B. aus dickwandigem Kupfer) vorgesehen (siehe Kapitel 4.3.3./4.3.4 und Kapitel 6.8). Als "Buffer" dient eine im Wesentlichen aus Bentonit bestehende mineralische Ummantelung. Bentonit ist ein stark quellfähiger Ton, der bei Zutritt von Feuchtigkeit quillt und dadurch den eingeschlossenen Behälter gegenüber Wasser (bzw. Salzlösungszutritt) von seiner unmittelbaren Umgebung isoliert. Voraussetzung ist, dass das als Buffer eingesetzte Bentonitprodukt⁸ sorgfältig und mit einer ausreichenden Dichte um die Abfallbehälter herum eingebaut wird, und dass unmittelbar im Bereich des Buffers keine oder nur geringfügige Erosionsvorgänge zu erwarten sind. Eine geringe Feuchte des Gebirges ist dabei erforderlich, um den notwendigen Quellvorgang des Bentonits auszulösen und vollständig ablaufen zu lassen. Die Anforderung an die Kombination aus den Behältern, dem Buffer und dem umgebenden Wirtsgestein ist so, dass Behälterversagen mit Freisetzung aus dem Behälter nur in einem so geringen Umfang möglich ist, dass damit keine unzulässig hohen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen in die Biosphäre erfolgen.

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

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

⁸ Es werden international verschiedene Mischungen und Produktformen entwickelt.

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

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

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.

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 bei diesem Konzept 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, das im Wesentlichen auf technischen Barrieren beruht (Behälter/Buffer), die Prognose auf die langzeitigen Eigenschaften dieser technischen Barrieren stützen.

Die Kommission schließt 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,

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