

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

**Bearbeitungsstand: 19.05.2016 gemäß der Diskussion in der AG3-Sitzung**

**5.5.4 Nachweisführung für den Sicheren Einschluss der radioaktiven Abfällen für eine Million Jahre**

Die Langzeitsicherheit jeden Endlagers basiert darauf, dass dauerhaft der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle 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 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 Gebirgsbereich 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 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 Kombination von Wirtsgesteinseigenschaften und technischen Barrieren erreicht.

Auf Basis dieser Ansätze ist für jede Wirtsgesteinsart an einem bestimmten Standort 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 sogenannten 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 Einlagerung der radioaktiven Abfälle bzw. zwischen den Abfällen und der Biosphäre ausgewiesen. Das ewG-Konzept wurde in Deutschland vom AkEnd<sup>3</sup> entwickelt. Der AkEnd hat in seiner Definition die in den folgenden Abbildungen dargestellten Gesteinskonfigurationen als kompatibel mit dem Konzept eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs beschrieben:

<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.

<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>

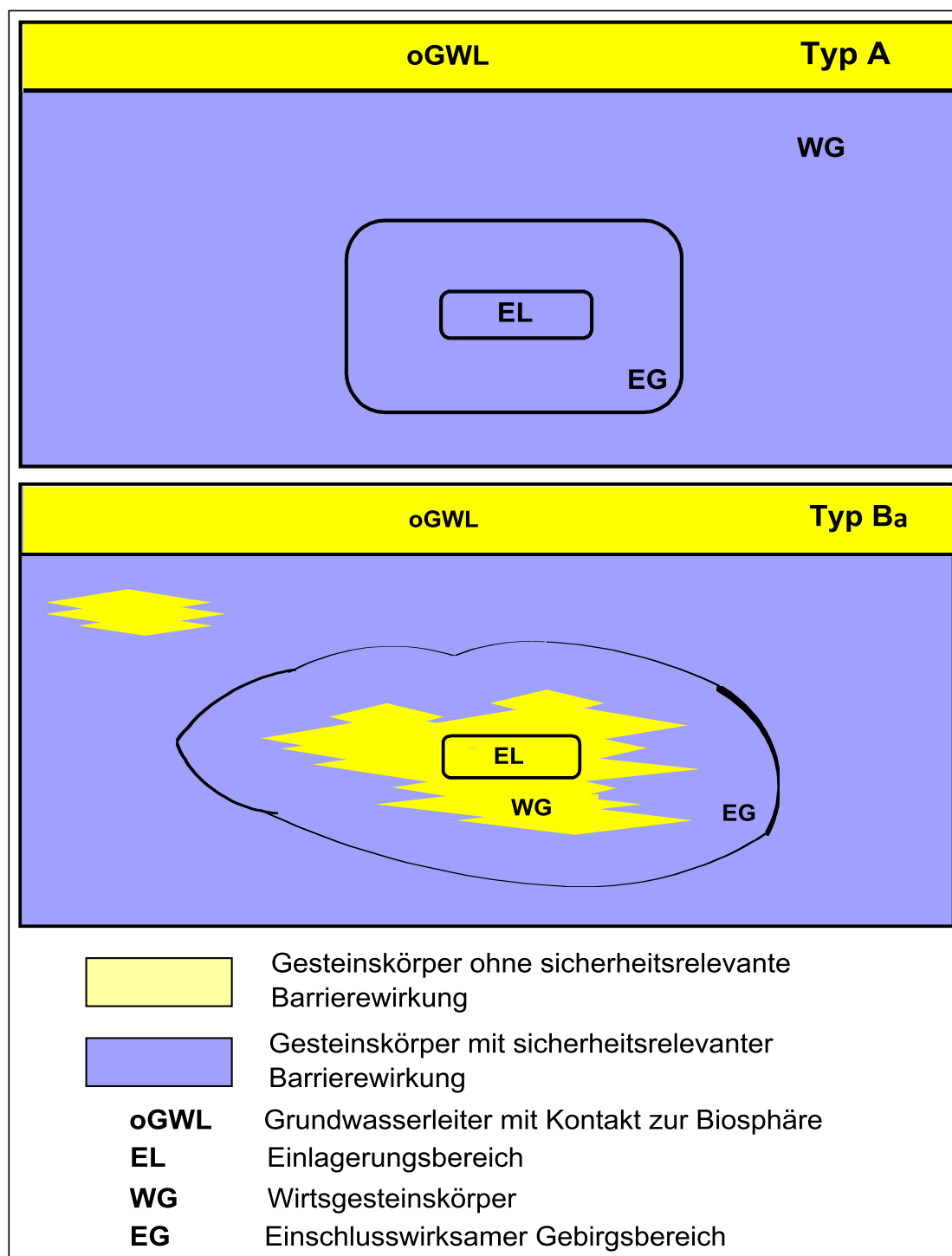


Abbildung 5.5.4-2: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ Bb<sup>5</sup>

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

Erläuterung zu Abbildung 5.5.4-1:

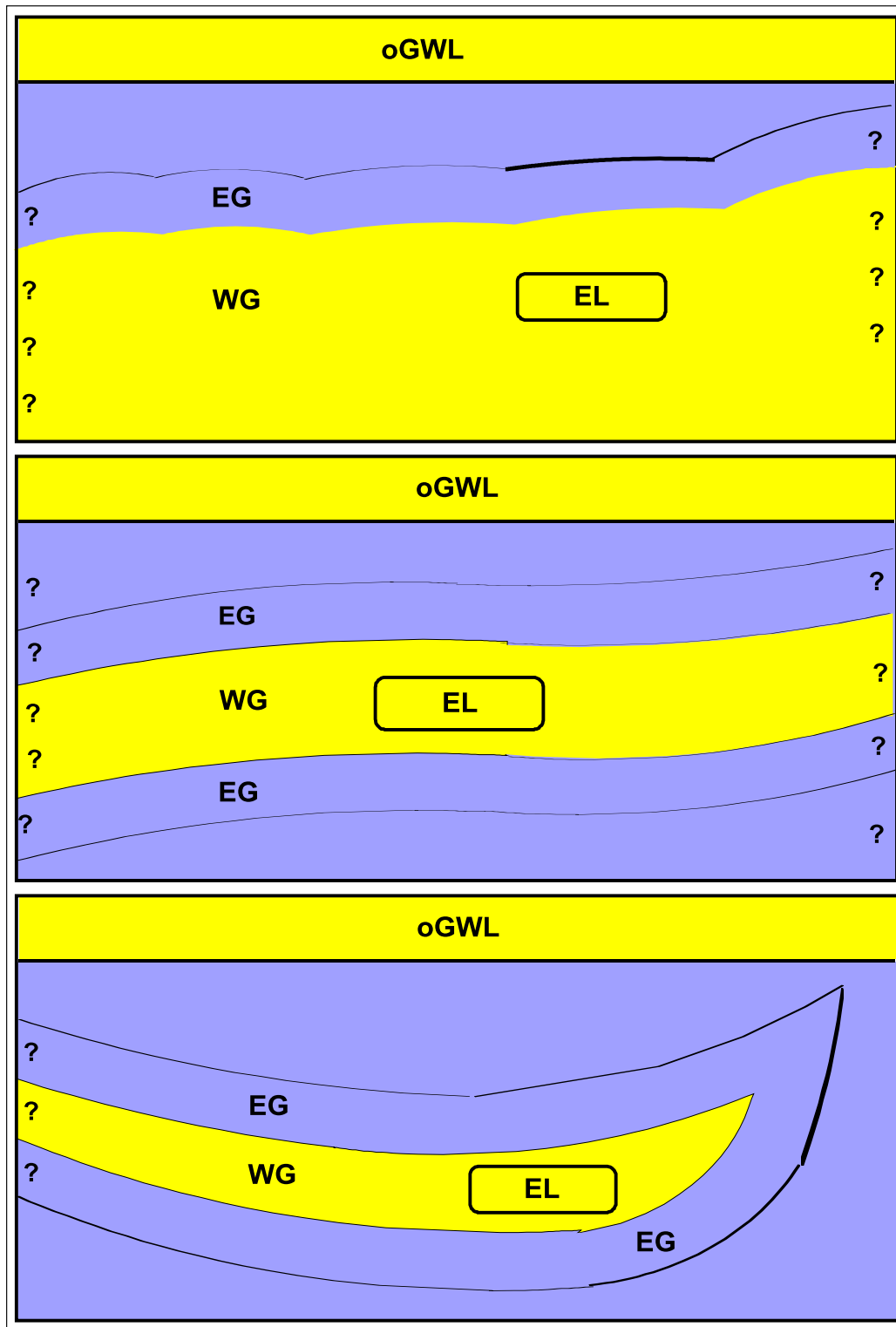
Typ A: Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist Teil eines Wirtsgesteinskörpers mit sicherheitsrelevanter Barrierewirkung.

---

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.

<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

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

Ein ewG Konzept ist hinsichtlich der Wirtgesteinstypen prinzipiell vorstellbar 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 unterscheidbare einschlusswirksame Gebirgsbereiche ausgewiesen werden, in denen jeweils ein Teil der radioaktiven Abfälle langzeitsicher endgelagert werden kann.

Bei geeigneter 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 gelingt dabei der Nachweis des Einschlusses unmittelbar durch die Integrität des ewG bei deren Erhalt im Nachweiszeitraum keine Radionuklide den ewG verlassen können. Alternativ kann im Nachweisverfahren gezeigt werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aufgrund seiner rückhaltenden Eigenschaften während des Nachweiszeitraums Radionuklide mindestens in dem Maße binden kann, dass nur geringfügige Freisetzungen in die Biosphäre zu erwarten sind, die wiederum nicht zu einer Überschreitungen von Grenzwerten für die effektive radioaktive Dosis führen können.

Beim ewG-Konzept haben die Behälter die Aufgabe, während des Endlagerbetriebes (einige Jahrzehnte) die Rückhaltung von Radionukliden zu gewährleisten; zudem müssen die Abfallbehälter 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 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, nachgewiesen wird. Im Sicherheits- und Nachweiskonzept für den Nachweiszeitraum von einer Million Jahre wird von langzeitigen Eigenschaften der Behälter kein Kredit mehr genommen.

#### 5.5.4.2 Nachweisführung über langzeitsichere technische Barrieren

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

In erster Linie ist dies der Abfallbehälter, der langfristig dicht sein muss. Damit er diese Funktion auch über den gesamten Nachweiszeitraum (in Deutschland eine Million Jahre) übernehmen kann, wird er 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 BMU<sup>6</sup> 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 fordert.

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

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

Endlagers und einen nachfolgenden kürzeren Zeitraum sicherheitsrelevant, sondern für den gesamten Nachweiszeitraum.

Als Behälter sind in derartigen Endlagerkonzepten derzeit 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) aus seiner unmittelbaren Umgebung abschottet. Voraussetzung ist, dass das als Buffer eingesetzte Bentonitprodukt<sup>7</sup> 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 durchaus erwünscht, um den notwendigen Quellvorgang des Bentonits auszulösen und vollständig ablaufen zu lassen.

Das umgebende Wirtsgestein hat bei einer im Wesentlichen auf den technischen Barrieren beruhenden Nachweisführung die Aufgabe, die mechanische Stabilität der Einlagerungshohlräume sicher zu stellen. Die Tiefenlage des Endlagerbergwerks bewirkt in erster Linie 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 Wirtsgesteinsmerkmalen als auch von technischen Barrieren ergeben sich kombinierte Konzepte, 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 Wirtsgesteinsinformationen, die ein relativ hohes Isolationsvermögen gegenüber Einflüssen aus der Biosphäre haben. Dieses Einschlussvermögen wird um die Behälter und 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 z.B. darauf abgezielt, dass ein geringer Prozentsatz an Behälterversagen während des Nachweiszeitraums nicht ausgeschlossen werden kann, dass dieser aber aufgrund der Wirtsgesteinseigenschaften nur zu einer geringfügigen Freisetzung von Radionukliden in die Biosphäre unterhalb von Grenzwerten führen darf.

#### 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 und geotechnische Barrieren können die Robustheit des Endlagersystems erhöhen, die geforderte Langzeitsicherheit ist im Nachweisverfahren hiervon aber nicht abhängig. 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 hält aber auch alternative Nachweisführungen mit einer stärkeren Betonung auf technischen Barrieren für machbar. Sie kämen unter den in Deutschland zu erwartenden geologischen Randbedingungen dann zum Tragen, wenn es darum geht, Endlager- und Nachweis Konzepte für deutsche Standorte ohne die Möglichkeit eines ewG zu entwickeln. Dabei ist zu zeigen, dass ein auf Behältertechnologie, Buffer und geotechnischen Barrieren basierender Langzeitsicherheitsnachweis,

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

1 ggf. in Kombination mit günstigen Wirtsgesteinseigenschaften, zu einer gleichwertigen und gleich  
2 robusten Sicherheitsaussage führt wie bei einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich.

3

4

5 **Es folgt dann als 5.5.5 das früher mit 5.5.4 nummerierte Kapitel**

6

7 **5.5.5 Begründung der Priorität**

8 Die zentralen Argumente ....