

**Geschäftsstelle**

Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3  
Entscheidungskriterien sowie Kriterien  
für Fehlerkorrekturen

---

**Beratungsunterlage für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015**

Geowissenschaftliche Kriterien im Rahmen des Standortauswahlverfahrens

Entwurf 3 vom 13. Dezember 2015

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla

---

<p><b>Kommission</b> <b>Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe</b> <b>K-Drs. /AG3-63</b></p>
---

## Tischvorlage für die Sitzung der AG 3 am 17.12.2015

### Geowissenschaftliche Kriterien im Rahmen des Standortauswahlverfahrens

Entwurf 3 vom 13.12.2015

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla

In dieser gegen über den Entwurf 2 (K.-Drs. 3-33) fortgeschriebenen Ausarbeitung sind

- a) die Änderungen, die in den Sitzungen der AG3 am 25.08.2015 und 22.09.2015 festgelegt wurden, gemäß der Mitschrift des Verfassers aufgenommen worden,
- b) die Anmerkungen von Hr. Dr. Watzel im Schreiben vom 16.09.2015 berücksichtigt worden,
- c) die Anmerkungen von Hr. Min. Wenzel im Schreiben vom 18.09.2015 (K.-Drs. AG3-36) berücksichtigt worden,
- d) die Anmerkungen von Hr. Min. Habeck in den Schreiben vom 20.11.2015 (K.-Drs. AG3-54a und AG 3-54b) berücksichtigt worden,
- e) die Anmerkungen von Hr. Kanitz im Schreiben vom 04.12.2015 (K.-Drs. AG3-57) berücksichtigt worden,
- f) die Anmerkungen von Hr. Dr. Appel im Schreiben vom 07.12.2015 (K.-Drs. AG3-58) berücksichtigt worden,
- g) die Anmerkungen von Hr. Dr. Fischer im Schreiben vom 07.12.2015 (K.-Drs. AG3-60) berücksichtigt worden,
- h) die Anmerkungen der DBE-Tec in den vier Zuschriften von Herrn Krone, Fr. Dr. Müller-Höppe, Hr. Bollingerfehr und Hr. Jobmann jeweils vom 08.12.2015 berücksichtigt worden.

#### 0. Vorbemerkung

Die nachgenannten Kriterien (Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien) gelten für eine Standortsuche für ein **Endlager im Salzgestein oder Tongestein**. Sie gelten **nicht für Kristallingestein**. In einer „*Erläuterung zum Kristallin*“ ist bei jedem Ausschlusskriterium bzw. jeder Mindestanforderung jeweils angefügt, inwieweit das jeweilige Ausschlusskriterium bzw. die Mindestanforderung für Kristallingestein erfüllbar erscheint oder auch nicht erfüllbar erscheint. Der in blauer Farbe enthaltene Text ist aber noch nicht als „Kriterium für Kristallingestein“ zu verstehen, sondern dient nur der Erläuterung für den Fall, dass die für Salzgestein und Tongestein aufgestellten Kriterien auf Kristallingestein übertragen werden.

Nachfolgend sind „*Erläuterungen*“ genannt. Diese sollen im Text – sofern dieser in einen Endbericht aufgenommen wird – dauerhaft verbleiben. Die Formulierung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen wurde so vorgenommen, dass sie exakt, aber auch für den Nicht-Fachmann verständlich ist.

Des Weiteren sind nachfolgend „*Anmerkungen*“ im Text genannt. Diese dienen nur als Regiebemerkung und sollen in der Endfassung des Textes herausgenommen werden.

Noch diskussionswürdige Punkte sind in der rechten Spalte in Form eines Kommentars hinzugefügt.

## 1. Ziel

Die Endlagerkommission hat gemäß § 4 Abs. 2 (2) des Standortauswahlgesetzes die Aufgabe,

*„geowissenschaftliche ... Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen im Hinblick auf die Eignung geologischer Formationen für die Endlagerung sowie wirtsgesteinsspezifische Ausschluss- und Auswahlkriterien für die möglichen Wirtsgesteine Salz, Ton und Kristallin sowie wirtsgesteinsunabhängige Abwägungskriterien“*

für das Standortauswahlverfahren festzulegen. Nachfolgende Ausarbeitung beschäftigt sich mit den geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien für ein Endlager für hoch radioaktive Abfälle. In Phase 1 des Standortsuchverfahrens werden mit Hilfe von Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen Teilgebiete und nachfolgend Standortregionen festgelegt, in denen die nachfolgend genannten Mindestanforderungen erfüllt sind und die Ausschlusskriterien nicht erfüllt sind.

Die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen gelten während des gesamten Standortauswahlverfahrens. Wenn dementsprechend in einer späteren Phase festgestellt wird, dass in einer Standortregion (bzw. an einem Standort) ein Ausschlusskriterium erfüllt ist oder eine Mindestanforderung nicht eingehalten ist, wird die Standortregion bzw. der Standort ausgeschlossen.

Nach genannte Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien gelten nicht für ein Endlager für schwach und mittel radioaktive Abfälle. Für ein solches Endlager müssen noch gesonderte Überlegungen angestellt werden.

## 2. Definitionen

Nachfolgende Definitionen werden zugrunde gelegt:

### **Ausschlusskriterium:**

Ein Ausschlusskriterium ist Kriterium bei dessen Erfüllung eine Standortregion bzw. ein Standort nicht für ein Endlager geeignet ist und daher aus dem weiteren Verfahren ausgeschlossen wird. Die Ausschlusskriterien bleiben während des gesamten Auswahlverfahrens gültig.

### **Mindestanforderung:**

Eine Mindestanforderung für die Auswahl einer Endlagerregion bzw. eines Endlagerstandortes ist eine Anforderung, die auf jeden Fall eingehalten werden muss. Sofern sie nicht eingehalten wird, ist der Standort nicht geeignet und wird daher aus dem weiteren Verfahren ausgeschlossen. Die Mindestanforderungen bleiben während des gesamten Auswahlverfahrens gültig.

### **Abwägungskriterium:**

Durch Abwägungskriterien sollen Standortregionen bzw. Standorte, die nach Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen im Verfahren verblieben

sind, untereinander verglichen werden (zusammen mit den Ergebnissen von Sicherheitsuntersuchungen).

### 3. Geowissenschaftliche Kriterien

#### 3.1 Ausschlusskriterien

Die Auswahl der nachfolgend genannten Kriterien hat zum Ziel, eine Standortregion und nachfolgend einen Standort festzulegen, der die bestmögliche Sicherheit zur Isolation der Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren aufweist („bestmöglicher Standort“; siehe Kommissionsdrucksache AG3-17).

Die nachfolgende Auswahl orientiert sich sehr eng an den Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen des AkEnd.

Folgende **Ausschlusskriterien** gelten für die Auswahl der Standortregionen:

##### 1) Großräumige Vertikalbewegungen

Eine Standortregion mit einer zu erwartenden großräumigen geogenen Hebung von mehr als 1 mm pro Jahr im Nachweiszeitraum (~1 Mio. Jahre) wird ausgeschlossen. Eine Standortregion soll möglichst geringe tektonisch bedingte großräumige Hebungen aufweisen.

(Erläuterung: Großräumige Hebungen eines Gebirgsbereiches in dem ein Endlager eingebettet ist, könnten dazu führen, dass an der Geländeoberfläche verstärkt Erosion auftritt, die die notwendige Schutzwirkung der Überdeckung des Endlagers beeinträchtigen kann. siehe AK-End-Bericht Seite 86-87)

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium kann und sollte auch bei einer Einlagerung im Kristallingestein gelten (eventuell muss es sogar strenger gefasst werden). Dies gilt auch deshalb, da mit großräumigen Vertikalbewegungen die Wahrscheinlichkeit für die Bildung von neuen Klüften im Kristallingestein ansteigt.

##### 2) Aktive Störungzonen

In der Endlagerregion dürfen keine geologisch aktiven Störungzonen vorhanden sein, die das Endlagersystem und insbesondere den einschlusswirksamen Gebirgsbereich sowie die technischen und geotechnischen Barrieren beeinträchtigen können.

Erläuterung: Unter einer „aktiven Störungzone“ werden sowohl Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz als auch Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung verstanden. Als "aktive Störungen" mit Sicherheitsrelevanz für ein Endlager werden Verwerfungen angesehen, an denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute Bewegungen stattgefunden haben. Atektonische bzw. aseismische Vorgänge (also Vorgänge, die nicht aus den Gesetzen der Tektonik abgeleitet werden können oder nicht auf seismische Aktivitäten zurückzuführen sind), die zu ähnlichen sicherheitlichen Konsequenzen wie tektonische Störungen führen können, sind wie diese zu behandeln. Siehe AKEnd-Bericht Seite 87/88)

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium kann und muss auch bei einer Einlagerung im Kristallingestein gelten.

**Kommentar [WK1]:**  
Anmerkung Min Wenzel: Eine weitere vertiefende Beurteilung der regionalen geodynamischen Verhältnisse im Rahmen der Abwägung wird vorgeschlagen (ist aber nicht näher erläutert).

### 3) Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit

In der Standortregion darf das Gebirge nicht durch gegenwärtige oder frühere bergbauliche Tätigkeit so geschädigt sein, dass daraus negative Einflüsse auf den Spannungszustand und die Permeabilität des Gebirges im Bereich des Endlagers und insbesondere des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches zu erwarten sind. Das Endlager muss in einem neu aufzufahrenden Bergwerk errichtet werden. Das Wirtsgestein und insbesondere der einschlusswirksame Gebirgsbereich dürfen nicht durch früher abgeteufte Bohrungen in ihrer Einschlussfunktion beeinträchtigt sein. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss unverritzt sein. Auffahrung, Betrieb und Offenhaltung des Erkundungsbergwerkes Gorleben bleiben davon unberührt.

(Erläuterung: Da im Rahmen der Auswahl der Standortregionen im ersten Schritt noch keine gebirgsmechanischen Standsicherheitsberechnungen erfolgen, muss der Einfluss aus gegenwärtiger und früherer bergbaulicher Tätigkeit erst einmal qualitativ abgeschätzt werden.)

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium kann und muss auch bei einer Einlagerung im Kristallingestein gelten.

### 4) Seismische Aktivität

In der Standortregion dürfen die zu erwartenden seismischen Aktivitäten nicht größer sein als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1 / NA 2011-01.

(Erläuterung: siehe AK-End-Bericht Seite 89-91)

### 5) Vulkanische Aktivität

In der Standortregion darf kein quartärer oder zukünftig zu erwartender Vulkanismus vorliegen.

(Erläuterung: siehe AK-End-Bericht Seite 91-93)

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium kann und muss auch bei einer Einlagerung im Kristallingestein gelten.

### 6) Grundwasseralter

Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. im Einlagerungsbereich dürfen keine jungen Grundwässer vorliegen. Diese Grundwässer dürfen daher kein Tritium und / oder (fast kein)  $^{14}\text{C}$  enthalten.

(Erläuterung: Junge Grundwässer (z.B. feststellbar anhand ihrer Tritium- und C-14-Gehalte) deuten auf eine Teilnahme des Grundwassers am hydrologischen Kreislaufs hin. Die beiden Parameter werden routinemäßig untersucht und bieten die Chance, relativ früh im Verfahren Informationen zum Grundwasseralter zu bekommen. Im Endlagerbereich soll jedoch die Permeabilität so gering sein, dass möglichst keine Grundwasserbewegung vorhanden ist. Das Fehlen von Tritium und C-14 ist allerdings kein hinreichender Beleg für eine günstige geologische Gesamtsituation. siehe AK-End-Bericht Seite 94-95)

#### Kommentar [WK2]:

Das Kriterium war ein Ausschlusskriterium im AkEnd-Bericht. Die AG3 hatte in der Sitzung am 22.09.2015 beschlossen, das Kriterium „Seismische Aktivität“ als Abwägungskriterium zu verwenden.

In der Formulierung wird jetzt die aktuelle Norm DIN EN 1998-1 / NA 2011-01 für die Erdbebenzonenkarte genannt, da die ehemals gültige DIN 4149 zurückgezogen ist (NA = Nationaler Anhang).

Hr. Dr. Fischer schlägt vor, dieses Kriterium doch als Ausschlusskriterium zu belassen, da sich dieses Kriterium vor allem auf die Betriebssicherheit bezieht und alle anderen Abwägungskriterien sich auf die Langzeitsicherheit beziehen..

Herr Dr. Appel ist ebenfalls dafür, das Kriterium als Ausschlusskriterium zu führen.

#### Kommentar [WK3]:

Vorschlag Wenzel: Auf Grund der möglichen Fehlerquellen bei der  $^{14}\text{C}$ -Bestimmung sollte beim Kriterium „ $^{14}\text{C}$ -freies Grundwasser“ eine zulässige Höchstkonzentration (z.B. <1% „moderner“ Kohlenstoff) festgelegt werden. Dies würde erlauben, die Wässer, welche geringe  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen aufweisen, durch weitere geochemische Untersuchungen und Isotopenuntersuchungen in ihrem Alter besser einzugrenzen, bevor es zu einem möglichen Ausschluss der Standortregion kommt.

#### Kommentar [WK4]:

Dr. Appel: In der AG 3 war meiner Erinnerung nach diskutiert worden, das Kriterium Grundwasseralter zu einer Mindestanforderung zu machen. Wegen seines Standortbezugs würde das passen, ändert aber an der Wirkung des Kriteriums nichts.

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium kann mit hoher Wahrscheinlichkeit im Kristallingestein nicht eingehalten werden.

### 3.2 Mindestanforderungen

Für die auszuwählenden Standortregionen gelten folgende Mindestanforderungen

#### 1) Gebirgsdurchlässigkeit

Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss die Gebirgsdurchlässigkeit  $k_f$  weniger als  $10^{-10}$  m/s betragen sein.

Sofern ein direkter Nachweis in der ersten und zweiten Phase der Standortsuche noch nicht möglich ist, muss nachgewiesen werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als  $10^{-10}$  m/s zugeordnet werden kann.

Erläuterung 1: Grundsätzlich gilt, dass die Gebirgsdurchlässigkeit möglichst gering sein soll, damit ein advektiver Flüssigkeitstransport vermieden wird und allenfalls ein diffusiver Stofftransport erfolgt. Siehe AK-End-Bericht Seite 95 und 113-129

Erläuterung 2 zum Durchlässigkeitsbeiwert: Ein poröses Gestein hat einen Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  von etwa  $10^{-10}$  m/s, wenn  $0,00001 \text{ cm}^3$  einer Flüssigkeit mit einer Viskosität von  $1 \text{ mPa s}$  (= Viskosität von Wasser) in einer Sekunde ein Gesteinsstück von  $1 \text{ cm}$  Länge und  $1 \text{ cm}^2$  Querschnitt bei einem Druckunterschied von  $1 \text{ bar}$  (=  $10 \text{ m}$  Wassersäule) zwischen Eintritts- und Austrittsstelle bei einer Temperatur von  $0^\circ\text{C}$  und einem atmosphärischen Druck von  $760 \text{ mm}$  Quecksilbersäule durchfließt.

Anmerkung Dr. Watzel und Dr. Appel:

Erläuterung 3: Zur Erhebung der Gebirgsdurchlässigkeit kommen, z.B. in Abhängigkeit von der konkreten Fragestellung und vom Wirtsgesteinstyp, unterschiedliche Verfahren zur Anwendung, die Durchlässigkeitsbeiwerte  $k_f$  mit unterschiedlicher Aussagekraft liefern. Wird im Auswahlverfahren auf vorhandene Daten zurückgegriffen, sind daher die Herkunft der  $k_f$ -Werte und das Erhebungsverfahren anzugeben und gegebenenfalls bei der Dateninterpretation zu berücksichtigen. Bei aus Permeabilitätswerten abgeleiteten  $k_f$ -Werten ist der zugrundeliegende Permeabilitätswert anzugeben.

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium kann mit Sicherheit für Kristallingestein auf Grund der Klüfte im Kristallingestein nicht eingehalten werden.

#### 2) Mächtigkeit (= Höhe) des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss mindestens  $100 \text{ m}$  mächtig (=hoch) sein.

(Erläuterung: siehe AK-End-Bericht Seite 95)

Ergänzung für Kristallingestein:

Für dieses Kriterium muss erst einmal ein „einschlusswirksamer Gebirgsbereich“ im Kristallin definiert werden bzw. das „Äquivalent“ zu einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich im Salz oder Tonstein festgelegt werden. Auf Grund der Klüfte im Kristallin ist allerdings zu erwarten, dass ein wie auch immer definierter einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Kristallin nicht eine Mächtigkeit (=Höhe) von  $100 \text{ m}$  aufweist.

**Kommentar [WK5]:**

Ergänzung Fischer: „Der einschlusswirksame Gebirgsbereich bzw. die für die Endlagerung in Betracht kommenden Kristallingesteinsblöcke (hinreichender Größe und geringer Durchlässigkeit) müssen mindestens  $100 \text{ m}$  mächtig sein.“

### 3) Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches

Die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches muss mindestens 300 m unter der Geländeoberfläche liegen. In Gebieten, in denen im Nachweiszeitraum mit der Bildung eiszeitlicher Rinnen zu rechnen ist, muss die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches unter der maximal zu erwartenden Tiefe solcher Rinnen liegen.

(Erläuterung: Durch die Festlegung einer Mindestdiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches soll vermieden werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich durch von der Geländeoberfläche ausgehende Einwirkungen, insbesondere durch intensive Erosion (z.B. durch subglaziale Rinnenbildung durch Eiszeiten) beeinträchtigt wird. Die in einer Standortregion bzw. am Standort zu erwartende Rinnentiefe muss prognostiziert werden. Bei der später vorzunehmenden Abwägung ist aus sicherheitlichen Überlegungen im Rahmen der Abwägung auf einen großen Abstand zwischen der Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches und der Unterfläche der Rinnen zu achten. siehe AK-End-Bericht Seite 95)

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium kann prinzipiell auch bei einer Einlagerung im Kristallingestein gelten, wobei allerdings der „einschlusswirksame Gebirgsbereich“ im Kristallin noch definiert werden muss.

### 4) Maximale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches

Das Endlagerbergwerk soll nicht tiefer als etwa 1500 m im Salz und etwa 1000 m im Tonstein liegen.

(Erläuterung: siehe AK-End-Bericht Seite 95)

(Anmerkungen:

In einem Tonstein wird auf Grund des zwingend notwendigen Ausbaus die maximale Tiefe des Endlagers 1000 m betragen, da zu erwarten ist, dass ein erheblicher Ausbau in dieser Tiefe notwendig sein wird, der einen späteren sicheren Einschluss des Endlagers nicht mehr zulässt. In einem Endlager im Steinsalz ist es jedoch vorstellbar, dass Streckenauffahrungen beispielsweise in 1200 m Tiefe erfolgen und von den Strecken aus nochmals Bohrlöcher von einigen Hundert Metern Tiefe abgeteuft werden. Insofern sind beide Zahlenangaben eher als grobe Richtgröße zu betrachten. Die tatsächlich sinnvolle Tiefe eines Endlagerbergwerkes muss anhand von weiteren Randbedingungen (Temperatur in der entsprechenden Tiefe, gebirgsmechanische Eigenschaften des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches, Endlagerkonzept, notwendiger Ausbau der Schächte und Strecken, Entwurf von Verschlussbauwerken usw.) festgelegt werden. Grundsätzlich muss hier in Abhängigkeit des Wirtsgesteins ein Kompromiss zwischen einem möglichst tiefen Endlager (aus Gründen der Langzeitsicherheit und Robustheit) und einem möglichst hoch liegenden Endlager (aus Gründen des notwendigen Ausbaus (Anker, Spritzbeton usw.) und der Betriebssicherheit) gefunden werden.

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium von 1000 m oder 1500 m muss auf Grund der hohen, an einem geeigneten Standort zu erwartenden Festigkeit des Kristallingesteins nicht unbedingt eingehalten werden. Allerdings ist die maximale Tiefe des Endlagers ganz wesentlich davon abhängig, welche Fluiddrücke in den Klüften des Kristallingesteins zu erwarten sind.

### 5) Fläche des Endlagers

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht.

(Erläuterung: Im Rahmen der Auswahl der Standortregionen (1. Schritt des Auswahlverfahren) ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich eines Endlagers noch nicht bekannt. Für die Größe des

einschlusswirksamen Gebirgsbereiches einschließlich des gesamten Endlagerbergwerkes wurden im AK-End-Bericht für Salz von einer Fläche von 3 km<sup>2</sup> und für Tonstein von 10 km<sup>2</sup> ausgegangen werden. Diese Zahlenwerte sind nicht mehr zutreffend und werden derzeit im Rahmen eines von der Endlagerkommission vergebenen Gutachtens neu ermittelt. Nach dem Bericht zum Nationalen Entsorgungsprogramm sollen zudem weitere Abfallmengen aus der Urananreicherung und aus dem Endlager Asse – sofern ein geeigneter Standort für ein Kombilager gefunden werden kann - in das Endlager für hoch radioaktive Abfälle aufgenommen werden sollen. Bei der Berechnung der Flächenausdehnung eines Endlagers muss auch das Lagerkonzept einschließlich der Zugangsstrecken, Untertagelabors, Verschlussbauwerke usw. beachtet werden. Siehe auch AK-End-Bericht Seite 95)

Ergänzung für Kristallingestein:

Ob das Kriterium auch im Kristallingestein eingehalten werden kann, hängt davon ab, wie der einschlusswirksame Gebirgsbereich im Kristallin definiert wird. Für Kristallingestein sind im AK-End-Bericht keine Angaben zur Flächenausdehnung eines Endlagers enthalten. Die notwendige Fläche eines Endlagers im Kristallin wird im Rahmen eines von der Endlagerkommission vergebenen Gutachtens berechnet. Bei überlagerndem ewG (Modell Bb im AK-End-Bericht) muss die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches größer sein als die maximal zu erwartende flächenhafte Ausbreitung freigesetzter Radionuklide in darunter liegenden Grundwässern im gesamten Nachweiszeitraum.

## 6) Erkenntnisse zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hinsichtlich des Nachweiszeitraumes

Es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit (= Höhe) und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches und damit seine Integrität über einen Zeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.

(Erläuterung: siehe AK-End-Bericht Seite 95)

Ergänzung für Kristallingestein:

Das Kriterium kann und muss auch bei einer Einlagerung im Kristallingestein gelten – unabhängig davon, wie der einschlusswirksame Gebirgsbereich im Kristallin definiert wird.

(Anmerkung:

Im AK End ist als Mindestanforderung noch genannt: „Der einschlusswirksame Gebirgsbereich bzw. das Wirtsgestein darf nicht Gebirgsschlag gefährdet sein.“ Diese „Mindestanforderung“ wurde hier nicht aufgenommen, da die Gebirgsschlaggefährdung vor allem mit der Auslegung des Endlagers zusammen hängt. Gebirgsschläge treten immer dann auf, wenn beispielsweise Rohstoffe aus Kammern gewonnen werden und die dazwischen verbleibenden Pfeiler zu schwach dimensioniert sind. Eine zu schwache Pfeilerdimensionierung kann im Rahmen der Endlagerauslegung jedoch sicher vermieden werden.)

**Kommentar [WK6]:** Anmerkung **Appel:** eine Gebirgsschlaggefährdung kann sich aber auch aus dem "kritischen" tektonischen Spannungs- bzw. Beanspruchungszustand des Gebirges ergeben. Solche Gegebenheiten wären dann zu vermeiden, wenn man sie kennt. Also doch ein Kriterium?

Anmerkung **Kudla:** Eine Gebirgsschlaggefährdung ist immer nur für den Betriebszeitraum des Endlagers relevant. Mit ist nicht bekannt, dass es in Deutschland Gebiete geben sollte, bei denen auf Grund hoher horizontaler Spannungen Gebirgsschläge zu erwarten wären (Ein Endlager liegt zudem nicht in einem Erdbebengebiet). Wo liegen solche Bereiche?  
Dass sich während des Betriebszeitraumes des Endlagers (angenommen 50 Jahre) die Spannungsverhältnisse auf Grund tektonischer Ursachen so ändern, dass ein Gebirgsschlag auftritt, halte ich für ausgeschlossen.

### 3.3 Abwägungskriterien

Ziel des Standortauswahlverfahrens ist es, einen Standort zu finden der die bestmögliche Sicherheit für eine Isolation der Abfälle von den Schutzgütern für einen Zeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahren gewährleistet. Nachdem Standortregionen bzw. Teilgebiete ausgewählt worden sind, die die Mindestanforderungen erfüllen, soll mit Hilfe der nachfolgend genannten Abwägungskriterien beurteilt werden, ob eine insgesamt günstige geologische Gesamtsituation vorliegt. Die günstige geologische Gesamtsituation ergibt sich nicht aus der besonders guten Erfüllung eines einzelnen Kriteriums, sondern aus der Summe der Erfüllung aller Kriterien. Für die Gesamtbewertung der Kriterien wird auf Abschnitt 4 verwiesen, da auch eine günstige geologische Gesamtsituation nicht für eine Gesamtbewertung ausreichend ist.

Folgende Abwägungskriterien werden in Anlehnung an den AKEnd-Bericht zugrunde gelegt (die nachfolgenden Abwägungskriterien wurden gegenüber dem Entwurf 2 nicht verändert und auch nicht um Ausführungen zum Kristallingestein ergänzt).

#### 1) Kein oder nur langsamer Transport durch Grundwasser im Endlagerneveau

(Erläuterung: Durch diese Forderung wird gewährleistet, dass Grundwasser bzw. Salzlösungen möglichst nicht die Abfallstoffe erreichen und dass Radionuklide über den Wasserpfad möglichst nicht aus dem Endlagerbereich ausgetragen werden. Die Abstandsgeschwindigkeit für die Grundwasserbewegung von Fluiden sollte möglichst gering, das heißt deutlich kleiner als 1 mm pro Jahr sein. Die Abstandsgeschwindigkeit ist gering bei einer geringen Gebirgsdurchlässigkeit und einem geringen hydraulischen Gradienten. siehe AK-End-Bericht Seite 113-129)

#### 2) Es muss eine günstige Konfiguration von Wirtsgestein und einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorliegen

(Erläuterung: Der einschlusswirksame Gebirgsbereich soll eine möglichst große vertikale und laterale Ausdehnung besitzen, da dadurch ein großer Sicherheitsabstand zu wasserführenden Schichten vorhanden ist und damit insgesamt die Sicherheit erhöht wird. Zudem ist der hydraulische Gradient bei großen Strömungslängen kleiner als bei kleinen Strömungslängen (bei gleicher Druckhöhe. siehe AK-End-Bericht Seite 129-144)

#### 3) Gute räumliche Charakterisierbarkeit

(Erläuterung: Um das Gebirgsverhalten zuverlässig charakterisieren und bewerten zu können, soll das Wirtsgestein möglichst homogen sein, sich mit einfachen Methoden erkunden lassen, so dass die charakteristischen Eigenschaften zuverlässig abgeschätzt werden können. Das Kriterium bezieht sich auf die räumliche Charakterisierbarkeit des Gebirges. siehe AK-End-Bericht Seite 144-149)

#### 4) Beschreibbarkeit und Prognostizierbarkeit des geomechanischen, hydrogeologischen und stofflichen Verhaltens des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches.

Das Gebirge soll so homogen aufgebaut sein, dass das Gebirgsverhalten mit hinreichender Genauigkeit für den entsprechenden Anforderungszweck gut prognostizierbar ist und modelliert werden kann.

(Erläuterung: Damit sind stark heterogene Standortregionen mit einem schwer zu interpretierenden Gebirgsverhalten ausgeschlossen. siehe AK-End-Bericht Seite 149-150)

#### Kommentar [WK7]:

Vorschlag **Habeck**: Das Kriterium „Beschreibbarkeit des Gebirges und Prognostizierbarkeit des Gebirgsverhaltens“ (in der Formulierung des Entwurfs 2) sollte als Mindestanforderung auf genommen werden.

Anmerkung **Kudla**: Dieses Kriterium ist nicht hart formulierbar, da bei der Beschreibbarkeit und Prognostizierbarkeit immer Ermessensspielräume vorhanden sind. Es ist aber gut für einen Vergleich zwischen den Standorten geeignet. Es sollte deshalb ein Abwägungskriterium bleiben.

#### Kommentar [WK8]:

Anmerkung **Appel**: Die Verbindung von Homogenität und Modellierung des Gebirgsverhaltens mit hinreichender Genauigkeit für unterschiedliche Anwendungszwecke stellt im Rahmen des Auswahlverfahrens meines Erachtens ein Problem dar.

#### Anmerkung Kudla:

Das Kriterium 13 „Beschreibbarkeit des Gebirges und Prognostizierbarkeit des Gebirgsverhaltens“ (im Entwurf 2) ist mit dem Kriterium 4 „Gute Prognostizierbarkeit des Gebirgsverhaltens ...“ (im Entwurf 2) zusammengefasst worden. Dabei bezieht sich das Kriterium 4 vor allem auf die zeitliche Prognostizierbarkeit und auch auf die Modellierbarkeit; das Kriterium 3 bezieht sich auf die räumliche Charakterisierbarkeit. Eventuell können auch die Kriterien 3 und 4 noch zusammengefasst werden. Dann müssten entsprechende Bewertungsgrößen aufgestellt werden.

(Erläuterung: Da im Rahmen der Sicherheitsbewertung das Verhalten des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches mit hoher Zuverlässigkeit prognostiziert werden muss und Berechnungsverfahren hier bei einem Prognosezeitraum von einer Million Jahren an ihre Grenzen stoßen, wird rückblickend das Verhalten des Gesteins über einen sehr langen Zeitraum betrachtet. In diesem Zeitraum sollen sich die Eigenschaften des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches (z.B. die Gebirgsdurchlässigkeit), sowie die vertikale Mächtigkeit (= Höhe) und die laterale (seitliche) Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches nicht wesentlich geändert haben (z.B. seit einigen Millionen Jahren. siehe AK-End-Bericht Seite 149-150)

### **5) Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen**

(Erläuterung: in Abhängigkeit des Wirtsgesteins muss ein Endlager durch technische Sicherungsmittel (z.B. Spritzbeton mit Ankern) gesichert werden. Grundsätzlich gilt, dass technische Sicherungsmittel (z.B. Anker) zu Wasserwegsamkeiten im Wirtsgestein führen können. Zudem kann es in Abhängigkeit des Wirtsgesteins durch Spannungsumlagerungen zu Schädigungen im Wirtsgestein kommen, die ebenfalls die Gebirgsdurchlässigkeit erhöhen. Ziel muss es sein, einen Endlagerstandort auszuwählen, bei dem durch günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen

- a) der Aufwand für technische Sicherungsmittel möglichst gering bis nicht vorhanden ist, damit potentielle Wasserwegsamkeiten möglichst nicht entstehen,
- b) eine Schädigung durch Spannungsumlagerungen, Temperaturgradienten, Luftfeuchtigkeit usw. möglichst gering ist.

siehe AK-End-Bericht Seite 150-157)

### **6) Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten**

(Erläuterung: Das Wirtsgestein und insbesondere der ewG sollen so beschaffen sein, dass möglichst keine primär im Gebirge vorhandenen Wegsamkeiten vorhanden sind und dass solche Wegsamkeiten auch nicht durch zukünftige geogene Einwirkungen oder durch den Bau und Betrieb des Endlagers (z.B. durch Temperaturspannungen) entstehen können. siehe auch AK-End-Bericht Seite 158-172)

### **7) Gute Gasverträglichkeit**

(Erläuterung: Endgelagerte radioaktive Abfälle können bei Kontakt mit Wasser und Lösungen durch Korrosion und Radiolyse Gase bilden. Die Gasbildung ist abhängig vom Wasserangebot im Endlager. Die Gasbildung sollte unter Endlagerbedingungen möglichst gering sein. Ein Indikator für die zu erwartende Gasbildung ist deshalb das Wasserangebot im Endlager, was möglichst gering sein sollte. siehe AK-End-Bericht Seite 172-177)

### **8) Gute Temperaturverträglichkeit bzw. Temperaturbelastbarkeit**

(Erläuterung: Das Wirtsgestein und insbesondere der ewG sollen so beschaffen sein, dass Temperatur bedingte Änderungen der Gesteinseigenschaften und thermomechanische Spannungen nicht zu einem Festigkeitsverlust oder zu Wasserwegsamkeiten führen können. Hohe isotrope Wärmeleitfähigkeit, hohe Wärmekapazität und hohes Relaxationsvermögen sind dabei positive Wirtsgesteinseigenschaften. siehe AK-End-Bericht Seite 177-179)

### **9) Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine gegenüber Radionuklide**

(Erläuterung: Die Sorptionsfähigkeit des Wirtsgesteins und insbesondere des ewGs soll möglichst groß sein, damit Radionuklide im einschlusswirksamen Gebirgsbereich sorbiert werden. Siehe AK-End-Bericht Seite 180-185)

### 10) Günstige hydrochemische Verhältnisse

(Erläuterung: Günstige hydrochemische Verhältnisse werden unter anderem durch ein reduzierendes geochemisches Milieu, geringe Konzentrationen an Komplexbildnern und Kolloiden sowie neutrale bis leicht alkalische pH-Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) bei niedrigem CO<sub>2</sub>-Partialdruck charakterisiert. Für günstige hydrochemische Verhältnisse existieren verschiedene Indikatoren (pH-Wert, Redoxbedingungen, Ionenstärke, Kolloidbildung und Kolloidstabilität, Komplexbildung mit Grundwasserinhaltsstoffen, Sorption und Ausfällung). siehe AK-End-Bericht Seite 185-189)

### 11) Günstige Bedingungen für den Bau von Verschlussbauwerken

(Erläuterung: Das Wirtsgestein sollte günstige Bedingungen für den Bau von geotechnischen Verschlussbauwerken (Streckenverschlüsse und Schachtverschlüsse) aufweisen, da diese die maßgeblichen bautechnischen Barrieren zur Rückhaltung der Radionuklide sind und zur Verhinderung bzw. Begrenzung des Zutritts von Deckgebirgswässern dienen. Deshalb soll die sich um die Schächte und Strecken bildende Auflockerungszone nur gering sein. Als Indikator kann die im Rahmen von Sicherheitsanalysen berechnete Größe des zeitabhängigen Volumenstroms des Grundwassers, der von der Größe und Durchlässigkeit der Auflockerungszone abhängig ist, bei Schächten verwendet werden.)

**Kommentar [WK9]:** Zu diesem Kriterium gibt es eine längere Anmerkung von Hr. **Appel**. Diese soll in der Sitzung der AG3 in Abhängigkeit von der endgültigen Formulierung der Abwägungskriterien und dem Beschluss der AG3 zu Sicherheitsuntersuchungen diskutiert werden.

### 12) Seismische Aktivität

In der Standortregion dürfen die zu erwartenden seismischen Aktivitäten nicht größer sein als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1 / NA 2011-01.

(Erläuterung: siehe AK-End-Bericht Seite 89-91)

Erläuterung: Zusätzlich sind bundeslandspezifische Erdbebenzonenkarten zu beachten. Die Erdbebenzonenkarte nach DIN EN 1998-1 / NA 2011-1 wird für die Auswahl des Endlagerstandortes zu Grunde gelegt. Für die Bemessung der kerntechnischen Anlagen ist jedoch das kerntechnische Regelwerk zu beachten.

(Erläuterung: Grundsätzlich muss zwischen der natürlichen Seismizität und der anthropogen induzierten Seismizität, zum Beispiel durch Bergwerkstätigkeiten unterschieden werden. Das Kriterium bezieht sich nur auf natürliche Seismizität. Anthropogen induzierte Seismizität sollte unter den Abwägungskriterien diskutiert werden.)

**Kommentar [WK10]:**  
**Kudla:** Als Ausschlusskriterium oder als Abwägungskriterium aufnehmen?

**Kommentar [WK11]:**  
Ist Anmerkung von Hr. **Wenzel**, soll dieser Kommentar aufgenommen werden.

### 13) Möglichst günstiger Aufbau des Deckgebirges

**Kommentar [WK12]:** Ergänzung **Fischer, Kanitz, Kudla, Krone:** Kriterium soll gestrichen werden, da es nicht in das ewG-Konzept passt und kein wirtsgesteinsunabhängiges Kriterium ist.

Herr **Wenzel** hat sich für das Kriterium mit einer Begrenzung auf 15000 Jahre ausgesprochen. Danach kann ev. durch eine Eiszeit das Deckgebirge erodiert werden.

## 4. Bewertung der Abwägungskriterien

Alle Abwägungskriterien und weitere Kriterien sind qualitativ und wenn möglich quantitativ zu bewerten. Das im AKEnd vorgegebene Bewertungsschema (3 Gewichtsgruppen und Einteilung in „günstig“, „bedingt günstig“ und „weniger günstig“, siehe AKEnd-Bericht Seite 98-112) sollte dabei beibehalten werden. Die Bewertung der Abwägungskriterien fließt in die Gesamtbewertung in der jeweiligen Phase zusammen mit den Sicherheitsuntersuchungen /Sicherheitsanalysen (z.B. ermittelte Freisetzungsraten, Untersuchungen zur Robustheit der Sicherheitsfunktionen usw.) mit ein.

Die Kriterien des AkEnd zielen darauf ab, einen Endlagerstandort mit einer *günstigen geologischen Gesamtsituation* zu finden. Dies war zum Zeitpunkt der Abfassung des

AKEnd-Berichtes Stand von Wissenschaft und Technik. Der Stand von Wissenschaft und Technik hat sich jedoch in den letzten 15 Jahren weiterentwickelt. Übergeordnete und konkrete Schutzziele wurden definiert (siehe Abschnitte 3 und 6 der BMU-Sicherheitsanforderungen). Heute ist es Ziel des Standortsuchverfahrens, einen Standort zu finden, bei dem die Einhaltung der Schutzziele in Abschnitt 3 und Abschnitt 6 der BMU-Sicherheitsanforderungen nachgewiesen werden kann. Damit kann eine Teilgebietsauswahl bzw. eine Regionenauswahl bzw. Standortauswahl nicht alleine nach geologischen Kriterien erfolgen, sondern es muss ein Endlagerkonzept (=Endlagervorplanung) aufgestellt werden (angepasst an die jeweilige Standortsuchphase und angepasst an das zu beurteilende Wirtsgestein). Anschließend müssen auf Basis der vorhandenen geologischen Situation und dem Endlagerkonzept Sicherheitsuntersuchungen erfolgen (in der ersten Suchphase können diese generischer Natur sein). Danach muss unter Zugrundelegung der in der Region bzw. am Standort vorgefundenen geologischen Parameter, dem erarbeiteten Endlagerkonzept und den Sicherheitsuntersuchungen das Teilgebiet bzw. die Region bzw. der Standort beurteilt werden und untersucht werden, ob die konkreten Schutzziele (Abschnitt 6 der BMU-Sicherheitsanforderungen) eingehalten werden können. Gerade wenn man verschiedene Teilgebiete bzw. Regionen bzw. Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen vergleichen will, ist dies von Bedeutung. Eine Gesamtbewertung eines Teilgebietes bzw. einer Region bzw. eines Standortes ist alleine mit der Bewertung der geologischen Abwägungskriterien nicht möglich.

Alle genannten Kriterien stehen im Zusammenhang mit dem Wirtsgestein. Dieses ist hinsichtlich seiner Eigenschaften nicht beeinflussbar. Da die Eigenschaften des Gesteins und auch die hydrogeologischen Eigenschaften nicht beeinflusst werden können, kommt der Auswahl des Endlagerstandortes auf Grund der geowissenschaftlichen Parameter und den Sicherheitsuntersuchungen die entscheidende Bedeutung zu. Demzufolge sind alle anderen Kriterien (planungswissenschaftliche und sozio-ökonomische usw.) nachgeordnet.