

**Geschäftsstelle**

Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3  
Entscheidungskriterien sowie Kriterien  
für Fehlerkorrekturen

---

**Beratungsunterlage zu TOP 6 der 12. Sitzung am 22. September 2015  
Einführung in ein Kapitel „Abwägungskriterien“**

Diskussionsgrundlage für AG 3, Entwurf Dr. Detlef Appel, 19.9. 2015

---

<p><b>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. /AG3-38</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------

**Detlef Appel**

**Einführung in ein Kapitel "Abwägungskriterien"**

**Diskussionsgrundlage für AG 3**

**Entwurf , 19.9.2015**

**Vorbemerkung**

Der Text auf den folgenden Seiten ist als Diskussionsgrundlage für ein Kapitel zur Einführung in das Thema Abwägungskriterien gedacht. Er enthält Erläuterungen zur Einordnung und Anwendung der Kriterien und zur Aggregation der Anwendungsergebnisse, und zwar überwiegend auf Grundlage der Überlegungen des AkEnd und unter Verwendung von Text aus dem AkEnd-Bericht.

Im AkEnd-Bericht nehmen die Beschreibungen der Abwägungskriterien mit den Begründungen und Ableitungen insgesamt 75 Seiten ein. Ohne übermäßige Eingriffe in die inhaltliche Substanz werden auch nach Kürzung wahrscheinlich einige Zehnerseiten Text übrig bleiben.

Textkürzung erscheint z.B. möglich, wenn in einem Kapitel

xxx1.4 Begründung und Ableitung der Abwägungskriterien und der zugehörigen Erfüllungsfunktionen (oder ähnlich)

die Kriterien jeweils kurz dargestellt und begründet werden (wie in K-Drs. AG3-33 bereits begonnen). Eine bei zumindest einigen Kriterien erforderliche ausführlichere Begründung und die Herleitung der Erfüllungsfunktionen könnten / müssten in einem Anhang untergebracht werden.

**Tabellen** am Ende des Textes (aus AkEnd-Bericht, ohne inhaltliche Änderungen):

xxx1 Allgemeine Anforderungen, ihre Gewichtung und zugeordnete Abwägungskriterien

xxx2 Erfüllungsfunktionen für die Abwägungskriterien

## **D. Appel**

**Entwurf, 19.9.2015**

**xxx1 Teilgebiete mit besonders günstigen geologischen Voraussetzungen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle (gemäß AKEND 2002) bzw. in Betracht kommende Standortregionen mit besonders günstigen geologischen Eigenschaften (gemäß StandAG) <sup>1</sup>**

### **xxx1.1 Entwicklung und Anwendung von Abwägungskriterien**

#### **Günstige geologische Gesamtsituation**

Nachdem im ersten Schritt (in den ersten Schritten) des Auswahlverfahrens diejenigen Bereiche ausgeschlossen worden sind, die aus offensichtlichen geowissenschaftlichen Gründen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle nicht in Frage kommen (s. **xxx** u. **xxx**), werden im **xxx.** Verfahrensschritt Teilgebiete mit besonders günstigen Voraussetzungen für die Endlagerung identifiziert. Als "besonders günstig" gilt ein Teilgebiet dann, wenn es die damit verbundenen Anforderungen in besonderem Maße erfüllt und wenn es gegenüber anderen Teilgebieten durch höhere Zuverlässigkeit hinsichtlich der Einschätzung des Isolationsvermögens, durch geringere Unsicherheit in der Beurteilung der dazu geforderten Eigenschaften und durch das Vorhandensein größerer Sicherheitsreserven gekennzeichnet ist.

"Besonders günstige geologische Voraussetzungen" eines Teilgebietes für die Endlagerung radioaktiver Abfälle werden nicht allein durch den Typ und die standortspezifische Ausprägung des vorhandenen Wirtsgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bestimmt. Es kommt vielmehr auf eine

---

<sup>1</sup> Nachfolgend wird vereinfachend nur von Teilgebieten gesprochen (s. U. Kleemann, 19.8.2015: "Verfahrensschritte und Anwendung von Kriterien..."). Der Begriff ist gegebenenfalls zu ersetzen, wenn die für die einzelnen Verfahrensschritte zu definierenden Bezeichnungen und Ziele geklärt sind (in Frage kommt z.B. gemäß StandAG "in Betracht kommende Standortregionen").

---

günstige geologische Gesamtsituation des zugehörigen Endlagersystems an, innerhalb derer das Wirtsgestein bzw. der einschlusswirksame Gebirgsbereich allerdings eine sicherheitlich besonders wichtige Rolle spielt.

Eine günstige geologische Gesamtsituation ist dann gegeben, wenn aufgrund der geowissenschaftlich ermittelten Standorteigenschaften mit hoher Wahrscheinlichkeit die in Kapitel **xxx** genannten übergeordneten Rahmenbedingungen der Endlagerung erfüllt werden können. Das setzt auch ein an die geologischen Eigenschaften des Endlagersystems angepasstes Lagerkonzept voraus. Eine in diesem Sinne günstige geologische Gesamtsituation muss insbesondere für einen Zeitraum von in der Größenordnung einer Million Jahre die Isolation der Abfälle von den Schutzgütern sicherstellen, darf aber auch für die Zeit danach keinen Grund zu der Annahme geben, dass es zu unzulässigen Freisetzungen kommen kann.

### **Allgemeine geologische Anforderungen**

Eine solche günstige geologische Gesamtsituation ist in Anlehnung an AKEND (2002) dadurch gekennzeichnet, dass folgende sicherheitsgerichtete allgemeine geologische Anforderungen an Endlagersysteme eingehalten und die damit verbundenen Zielvorstellungen erreicht werden:

- **Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser im Endlagerniveau**  
Allenfalls geringfügige Migration von Schadstoffen aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich, lange Grundwasserlaufzeiten und Radionuklidtransportzeiten
  - **Günstige Konfiguration von Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich**  
Großes Volumen von als einschlusswirksamer Gebirgsbereich geeigneten Gesteinen, große Sicherheitsabstände zu wasserführenden Formationen, Sicherheit bei Versagen einzelner Barrieren
  - **Gute räumliche Charakterisierbarkeit**  
Hohe Zuverlässigkeit der Erkundung und der Sicherheitsbewertung, Planungssicherheit für das Endlagerbergwerk
  - **Gute Prognostizierbarkeit**
-

Hohe Zuverlässigkeit der Sicherheitsbewertung für lange Zeiträume, gute Begründbarkeit der Szenarien zur Schadstofffreisetzung und -ausbreitung, Reduzierung der Unsicherheiten

- **Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen**

Minimierung von Schädigungen der Barrierensysteme, insbesondere des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, als Folge von Bau und Betrieb des Endlagerbergwerks

- **Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten**

Robustes Verhalten der Barrierengesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bei Beanspruchung und damit geringe Wahrscheinlichkeit für die Bildung von Wasserwegsamkeiten, hohes Selbstheilungsvermögen

- **Gute Gasverträglichkeit**

Beherrschung der Gasentwicklung aus den Abfällen, so dass keine Beeinträchtigung der Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zu besorgen ist

- **Gute Temperaturverträglichkeit**

Reduzierung der Auswirkungen des Wärmeeintrages auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich und Verhinderung von Beeinträchtigungen durch thermische oder thermomechanische Belastungen

- **Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine gegenüber Radionukliden**

Gute Sorptionseigenschaften der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. umgebender geologischer Barrieren für Radionuklide

- **Günstige hydrochemische Verhältnisse**

Reduzierung von Freisetzung und Transport von Radionukliden

### **Abwägungskriterien**

Der Grad der Erfüllung dieser Anforderungen durch die Endlagersysteme konkreter Teilgebiete und die entsprechenden auswahlrelevanten Unterschiede zwischen

---

ihnen werden mit Hilfe von Abwägungskriterien beurteilt. Die Kriterien beziehen sich auf die sicherheitsbezogenen geologischen Eigenschaften und Sachverhalte von Endlagersystemen, insbesondere charakteristische Grundwasser- und Gesteinsmerkmale, die maßgeblich zur Erfüllung der allgemeinen Anforderungen und damit zur langzeitigen Endlagersicherheit beitragen. Die spezifischen Ausprägungen dieser Eigenschaften und Sachverhalte werden durch sie charakterisierende Beurteilungsgrößen erfasst.

Den allgemeinen Anforderungen ist jeweils eine unterschiedliche Anzahl von Abwägungskriterien zugeordnet (s. Tab. **xxx1**). Die Kriterien stellen mittels qualitativer oder quantitativer Erfüllungsfunktionen die logische bzw. mathematische Beziehung zwischen den allgemeinen Anforderungen und den für die zugehörigen konkreten Eigenschaften der Teilgebiete bzw. Endlagersysteme abgeleiteten Beurteilungsgrößen her.

### **Erfüllungsfunktionen**

Den Beurteilungsgrößen aller Kriterien sind auf Grundlage von Sicherheitsbetrachtungen ordinal skalierte Erfüllungsfunktionen mit in der Regel drei Bewertungsstufen ("günstig", "bedingt günstig", "weniger günstig"), ausnahmsweise auch nur zwei Bewertungsstufen, zugeordnet worden. Jedes Teilgebiet bzw. jedes Endlagersystem wird für jedes Kriterium auf Grundlage der zu den jeweiligen Beurteilungsgrößen vorliegenden geowissenschaftlichen Informationen und Befunde einer der drei (oder zwei) Bewertungsstufen zugeordnet. Eine zusammenfassende Darstellung der Abwägungskriterien mit den Erfüllungsfunktionen enthält Tabelle **xxx2**.

### **Informationsbedarf, Indikatoren**

Die für die Ableitung und Anwendung der Abwägungskriterien erforderlichen Informationen müssen für alle zu betrachtenden Teilgebiete bzw. Endlagersysteme vorab verfügbar oder zumindest im Rahmen des Verfahrens erhebbar und zuverlässig interpretierbar sein. Da die zu den Beurteilungsgrößen der Kriterien vorliegenden regionalgeologischen Kenntnisse qualitativ und quantitativ nicht einheitlich auf Deutschland verteilt sind, werden der abschließenden Anwendung zumindest einzelner Kriterien zu Beginn des Auswahlverfahrens Informationsdefizite

---

entgegenstehen. Diese werden sich nicht in jedem Fall rechtzeitig vor der Kriterienanwendung beheben lassen. Mit solchen Defiziten muss in angemessener Weise umgegangen werden, z. B. durch (vorläufige) Anwendung geeigneter Indikatoren anstelle der vorgesehenen Beurteilungsgrößen. Auch wenn die eigentlich heranzuziehenden Beurteilungsgrößen nicht ermittelt werden können, müssen geeignete Indikatoren stellvertretend zur Bewertung herangezogen werden, um eine erforderliche Bewertung überhaupt und mit hinreichender Zuverlässigkeit vornehmen zu können. In diesem Sinne sind Indikatoren als Parameter zu verstehen, die eine beurteilungsrelevante geologische Eigenschaft zwar nicht direkt charakterisieren, aber indirekt verlässliche Rückschlüsse darauf zulassen.

### **xxx1.2 Gewichtung der allgemeinen Anforderungen und der Abwägungskriterien**

Die allgemeinen Anforderungen an eine günstige geologische Gesamtsituation bzw. die entsprechenden mit den Abwägungskriterien zu bewertenden Eigenschaften und Sachverhalte sind für die Langzeitsicherheit eines Endlagers und den erfolgreichen Nachweis der Langzeitsicherheit von unterschiedlicher Bedeutung. Dies muss bei der Beurteilung der Einzelergebnisse der Kriterienanwendung und ihrer Zusammenführung zu einer Gesamtbeurteilung berücksichtigt werden. Die Kommission folgt hier dem Ansatz des AKEND (2002), der drei Gewichtungsgruppen unterschieden hat, denen die o. g. Anforderungen (und die zugehörigen Kriterien) wie folgt zugeordnet werden:

Zwar gehen die Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien in die zusammenfassende Bewertung der Teilgebiete bzw. der zugehörigen Endlagersysteme ein, die Gesamtgüte der geologischen Gesamtsituation wird jedoch vor allem durch die Güte des Isolationsvermögens und die Zuverlässigkeit des Nachweises (Gewichtungsgruppe 1) bestimmt. Das Isolationsvermögen wird dabei charakterisiert durch die Grundwasserbewegung und die Konfiguration der sicherheitsrelevanten Gesteinskörper. Die räumliche Charakterisierbarkeit und die Prognostizierbarkeit der geologischen Gesamtsituation bestimmen die Zuverlässigkeit des Nachweises.

Die in Gewichtungsgruppe 2 zusammengefassten Anforderungen (günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen, geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsam-

---

keiten) dienen der Absicherung des Isolationsvermögens der geologischen Gesamtsituation. Sie gehen in die Gesamtbewertung mit geringerem Gewicht als die Kriterien der Gewichtungsgruppe 1 ein.

Den der Gewichtungsgruppe 3 zugeordneten weiteren Anforderungen (gute Gasverträglichkeit, gute Temperaturverträglichkeit, hohes Rückhaltevermögen der Gesteine gegenüber Radionukliden, günstige hydrochemische Verhältnisse) bzw. zugehörigen Kriterien kommt bei der Bewertung der Gesamtgüte das geringste Gewicht zu. Ihre sicherheitstechnische Bedeutung kann überwiegend erst im Zusammenhang mit der detaillierten Anlagenplanung und auf Basis standortspezifischer Erkundungsergebnisse beurteilt werden.

### **xxx1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Kriterienanwendung (Aggregation)**

Nach Anwendung der Abwägungskriterien liegt für jedes der betrachteten Teilgebiete ein umfangreicher Satz von Einzelbewertungen vor, die alle in die vergleichende Beurteilung der Teilgebiete einzubeziehen sind. Um sicher zu stellen, dass die Kriterien mit der vorgesehenen Gewichtung in das Gesamtergebnis einfließen und so die angestrebte Identifizierung besonders günstiger Teilgebiete erlauben, wird wie folgt vorgegangen:

Auf Grund ihrer Bedeutung für die Endlagersicherheit und die Zuverlässigkeit des Auswahl- und Nachweisergebnisses kommt den Anforderungen und Kriterien der Gewichtungsgruppe 1 (Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises) höchste Bedeutung zu. Dementsprechend müssen die gesuchten besonders günstigen Teilgebiete diese Anforderungen bzw. die zugehörigen Kriterien in besonders hohem Maße erfüllen. Das setzt voraus, dass sie bei den Kriterien dieser Gruppe die Wertung "günstig", allenfalls vereinzelt die Wertung "bedingt günstig" erhalten.

"Besonders günstige" Teilgebiete müssen auch in Gewichtungsgruppe 2 (Absicherung des Isolationsvermögens) gute Ergebnisse der Kriterienanwendung aufweisen. Die Ergebnisse der Kriterienanwendung für Gewichtungsgruppe 2 führen zur Differenzierung der Gesamtbewertung, wenn sich diejenigen Teilgebiete, die in



Gewichtungsgruppe 1 (annähernd) gleich günstig abschneiden, hinsichtlich der Erfüllung der Kriterien aus Gewichtungsgruppe 2 hinreichend unterscheiden.

Entsprechendes gilt hinsichtlich der Bedeutung der Kriterien in Gewichtungsgruppe 3 (weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften) und der Konsequenzen ihrer Anwendung.

Wegen der Heterogenität der in die Bewertung einfließenden Aspekte sind die mit den Kriterien innerhalb einer Gewichtungsgruppe erfassten Beurteilungsgrößen bzw. Indikatoren im Hinblick auf ihre sicherheitliche Bedeutung nicht genau gleichwertig, insbesondere nicht bei wirtsgesteinsübergreifender Beurteilung. Entsprechendes gilt für den Beitrag einzelner Kriterien zur Erfüllung solcher Anforderungen, denen mehrere Kriterien zugeordnet sind. Der AKEND (2002) hatte aus diesen Gründen für die Aggregation der Einzelergebnisse der Abwägungskriterien für ein Teilgebiet und für den Vergleich der Teilgebiete miteinander keine formalisierte Regel aufgestellt, sondern eine verbal-argumentative Aggregation empfohlen.

Auch die Kommission hält es für geboten, die Zusammenführung der Einzelbewertungen aus den drei Gewichtungsgruppen verbal argumentativ vorzunehmen. Dies gilt auch für die Zusammenfassung der Ergebnisse für eine Gewichtungsgruppe bzw. für eine allgemeine Anforderung und einen etwa auf dieser Basis angestrebten differenzierten Vergleich der Teilgebiete. Dieser Aggregationsansatz erlaubt verschiedene Vorgehensweisen bei der zusammenfassenden vergleichenden Bewertung der Teilgebiete, z. B. durch paarweisen Vergleich anhand der einzelnen Abwägungskriterien.

**Tab. xxx1 Gewichtungsgruppen, allgemeine Anforderungen und Abwägungskriterien (AKEND 2002)**

Anforderung	Kriterium
<b>Gewichtungsgruppe 1: Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises</b>	
1. Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser im Endlagerniveau	<p>Die Abstandsgeschwindigkeit sollte möglichst gering, d. h. deutlich kleiner als 1 mm pro Jahr, sein.</p> <p>Der einschlusswirksame Gebirgsbereich sollte aus Gesteinstypen bestehen, die erfahrungsgemäß geringe Gebirgsdurchlässigkeiten aufweisen.</p> <p>Der effektive Diffusionskoeffizient im einschlusswirksamen Gebirgsbereich sollte möglichst gering sein (kleiner <math>10^{-11}</math> m<sup>2</sup>/s).</p>
2. Günstige Konfiguration von Wirtsgestein und einschlusswirksamen Gebirgsbereich	<p>Die barrierenwirksamen Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs müssen über eine Mächtigkeit verfügen, die eine Isolation der Radionuklide in der Größenordnung von einer Million Jahren bewirken.</p> <p>Der Endlagerbereich bzw. der Wirtsgesteinskörper sollte von den barrierenwirksamen Gesteinen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs umschlossen sein.</p> <p>Die Teufe der Oberfläche des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sollte möglichst groß sein.</p> <p>Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss über eine räumliche Ausdehnung verfügen, die größer ist als das für das Endlager rechnerisch erforderliche Volumen.</p> <p>Der spezifische hydraulische Gradient im einschlusswirksamen Gebirgsbereich sollte gering sein (kleiner <math>10^{-2}</math>).</p>
3. Gute räumliche Charakterisierbarkeit	<p>Die Gesteinstypen und ihre charakteristischen Eigenschaften sollten innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs räumlich möglichst gleichmäßig verteilt sein.</p> <p>Die geologische Einheit sollte eine möglichst geringe tektonische Überprägung aufweisen. Deren Ausmaß wird abgeleitet aus den Lagerungsverhältnissen unter Berücksichtigung von Bruch- und Falten tektonik.</p> <p>Salzstrukturen sollten möglichst großräumige Verfaltungen der Schichten mit unterschiedlichen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften aufweisen.</p> <p>Günstig sind Flächen, in denen die Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs großräumig einheitlich oder sehr ähnlich ausgebildet sind.</p>
4. Gute Prognostizierbarkeit	<p>Die Merkmale „Mächtigkeit“, „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sollten sich seit einigen Millionen Jahren nicht wesentlich verändert haben.</p>

<b>Gewichtungsgruppe 2: Absicherung des Isolationsvermögens</b>	
5. Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen	Die Neigung zur Ausbildung mechanisch induzierter Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer konturnahen entfestigten Saumzone um die Endlager Hohlräume sollte möglichst gering sein.
6. Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten	<p>Die repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit sollte gleich der repräsentativen Gesteinsdurchlässigkeit sein.</p> <p>Die Barrierewirkung der Gebirgsformation gegenüber der Migration von Flüssigkeiten oder Gasen (unter geogener und auch teilweise anthropogener Beanspruchung) sollte aus geowissenschaftlicher, geotechnischer oder bergbaulicher Erfahrung ableitbar sein.</p> <p>Das Gestein sollte unter in situ-Bedingungen geogen eine plastisch-viskose Deformationsfähigkeit ohne Dilatanz aufweisen.</p> <p>Risse/Risssysteme im Gestein sollten bei Beanspruchungsinversion (zunehmende isotrope Beanspruchung und abnehmende deviatorische Beanspruchung) geohydraulisch wirksam verschlossen sein.</p> <p>Risse/Risssysteme im Gestein sollten nach der Risschließung geomechanisch wirksam verheilt sein.</p>
<b>Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften</b>	
7. Gute Gasverträglichkeit	<p>Die Gasbildung der Abfälle sollte unter Endlagerbedingungen möglichst gering sein.</p> <p>Der Druckaufbau durch die erwartete Gasbildung der Abfälle sollte möglichst gering sein.</p>
8. Gute Temperaturverträglichkeit	<p>Im unmittelbar um die Einlagerungshohlräume liegenden Gestein darf es bei Temperaturen kleiner 100 °C nicht zu Mineralumwandlungen kommen, welche die Barrierewirkung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs unzulässig beeinflussen.</p> <p>Die Neigung zu thermomechanisch bedingter Sekundärpermeabilität außerhalb einer konturnahen entfestigten Saumzone sollte räumlich möglichst eng begrenzt sein.</p>
9. Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine gegenüber Radionukliden	<p>Die Sorptionsfähigkeit der Gesteine sollte möglichst groß sein; der Kd-Wert für die Mehrzahl der langzeitrelevanten Radionuklide sollte größer oder gleich 0,001 m<sup>3</sup>/kg sein.</p> <p>Die Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sollten möglichst hohe Gehalte an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche aufweisen.</p>
10. Günstige hydrochemische Voraussetzungen	<p>Das tiefe Grundwasser in Wirtsgestein und im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll sich mit den Gesteinen im chemischen Gleichgewicht befinden.</p> <p>Im Bereich des Tiefenwassers sollte ein pH-Wert von 7-8 vorliegen.</p> <p>Im Bereich des Tiefenwassers sollten günstige Redoxbedingungen vorliegen.</p> <p>Der Gehalt an Kolloiden im Tiefenwasser sollte möglichst gering sein.</p> <p>Der Gehalt an Komplexbildnern und die Karbonatkonzentration im Tiefenwasser sollten gering sein.</p>

**Tab. xxx2** Erfüllungsfunktionen für die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (AKEND 2002)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
<b>Anforderung: Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser im Endlagerniveau (Gewichtungsgruppe 1); (Kapitel 4.1.4.2)</b>				
Grundwasserströmung	Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers [mm/a]	< 0,1	0,1 - 1	> 1
Grundwasserangebot	Gebirgsdurchlässigkeit [m/s]	< 10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup> - 10 <sup>-10</sup>	
Diffusionsgeschwindigkeit	effektiver Diffusionskoeffizient [m <sup>2</sup> /s]	< 10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup> - 10 <sup>-10</sup>	> 10 <sup>-10</sup>
<b>Anforderung: Günstige Konfiguration von Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich (Gewichtungsgruppe 1); (Kapitel 4.1.4.3)</b>				
Barrierenwirksamkeit	Barrierenmächtigkeit [m]	> 150	100 – 150	50 -100
	Grad der Umschließung des Wirtsgesteins durch einschlusswirksamen Gebirgsbereich	vollständig	unvollständig	
Robustheit und Sicherheitsreserven	Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter Geländeoberfläche]	> 500	300- 500	
Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit [Vielfaches des Mindestflächenbedarfs (z. B. für Salz 3 km <sup>2</sup> und Ton 10 km <sup>2</sup> )]	> 2-fach	2-fach	< 2-fach
Vorhandensein von Gesteinskörpern mit erhöhtem hydraulischen Potenzial	Spezifischer hydraulischer Gradient (bei Gebirgsdurchlässigkeit 10 <sup>-10</sup> m/s und effektiver Porosität 0,1)	<< 10 <sup>-2</sup>	etwa 10 <sup>-2</sup>	>> 10 <sup>-2</sup>

<b>Anforderung: Gute räumliche Charakterisierbarkeit (Gewichtungsgruppe 1); (Kapitel 4.1.4.4)</b>				
Ermittelbarkeit der Gesteinstypen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Räumliche Verteilung der Eigenschaften der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	gleichmäßig	kontinuierliche räumliche Veränderungen	diskontinuierliche räumliche Veränderungen
	Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit	weitgehend ungestört (Störungen im Abstand > 3 km), flache Lagerung	wenig gestört (weitständige Störungen, Abstand 100 m bis 3 km), Flexuren	intensiv gestört (engständig zerblockt, Abstand < 100 m), intensiv gefaltet
	für Salz gilt	große ovale Salzstrukturen		kleine rundliche bzw. schmale gestreckte Salzstrukturen
Übertragbarkeit der Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	Fazies regional einheitlich	Fazies nach bekanntem Muster wechselnd	Fazies nach nicht bekanntem Muster wechselnd
<b>Anforderung: Gute Prognostizierbarkeit (Gewichtungsgruppe 1); (Kapitel 4.1.4.5)</b>				
Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse	Veränderung der Merkmale „Mächtigkeit“, „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale über einen Zeitraum > 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale über den Zeitraum von 1 bis 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale über einen Zeitraum bis 1 Mio. Jahre

<b>Anforderung: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen (Gewichtungsgruppe 2); (Kapitel 4.1.4.6)</b>				
Neigung zu mechanisch bedingten Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer konturnahen entfestigten Saumzone	Lagebezug der Endlagerteufe zur Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit (Abbildung 4.9: Festgesteine mit nicht bzw. gering kriechfähigem Materialverhalten; Abbildung 4.10: Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem Materialverhalten)	Die zu bewertende Teufe liegt unterhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.	Die zu bewertende Teufe liegt mäßig (< 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.	Die zu bewertende Teufe liegt deutlich (> 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.
<b>Anforderung: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten (Gewichtungsgruppe 2); (Kapitel 4.1.4.7)</b>				
Veränderbarkeit der Gebirgspermeabilität	Verhältnis repräsentative Gebirgspermeabilität/repräsentative Gesteinspermeabilität [Maß ist die Wasserdurchlässigkeit in m/s]	< 10	≤ 100	> 100
	Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen	Die Gebirgsformation/der Gesteinstyp wird unmittelbar/mittelbar anhand eines oder mehrerer Erfahrungsbereiche als gering durchlässig bis geologisch dicht identifiziert, auch unter geogener/technogener Beanspruchung.	Die Gebirgsformation/der Gesteinstyp ist mangels Erfahrung nicht unmittelbar/mittelbar als gering durchlässig bis geologisch dicht zu charakterisieren.	Die Gebirgsformation/der Gesteinstyp wird unmittelbar/mittelbar anhand eines Erfahrungsbereichs als nicht hinreichend gering durchlässig identifiziert.
	Duktilität des Gesteins	duktil/ plastisch-viskos ausgeprägt	spröde-duktil bis elasto-viskoplastisch wenig ausgeprägt	spröde, linear-elastisch

Rückbildbarkeit von Rissen	Rückbildung der Sekundärpermeabilität	Die Risssschließung erfolgt aufgrund eines duktilen Materialverhaltens unter Ausgleich von Oberflächenrauigkeiten im Grundsatz vollständig.	Die Risssschließung erfolgt durch mechanische Rissweitenverringering in Verbindung mit sekundären Mechanismen, z. B. Quelldeformationen.	Die Risssschließung erfolgt nur in beschränktem Maße (z. B. sprödes Materialverhalten, Oberflächenrauigkeiten, Brückenbildung).
	Rückbildung der mechanischen Eigenschaften	Rissverheilung durch geochemisch geprägte Prozesse mit erneuter Aktivierung atomarer Bindungskräfte im Rissflächenbereich		Rissverheilung nur durch Zuführung und Auskristallisation von Sekundärmineralen (mineralisierte Poren- und Kluftwässer, Sekundärmineralisation)
Zusammenfassende Beurteilung der Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten auf Grund der Bewertung der einzelnen Indikatoren:		Bewertung überwiegend "günstig": Keine bis marginale Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten	Bewertung überwiegend "bedingt günstig": Geringe Neigung zur Bildung von dauerhaften Wasserwegsamkeiten	Bewertung überwiegend "weniger günstig": Bildung von dauerhaften sekundären Wasserwegsamkeiten zu erwarten

<b>Anforderung: Gute Gasverträglichkeit (Gewichtungsgruppe 3); (Kapitel 4.1.4.8)</b>				
Gasbildung	Wasserangebot im Wirtsgestein	trocken	feucht und dicht (Gebirgsdurchlässigkeit $< 10^{-11}$ m/s)	feucht
Druckaufbau	Gebirgsdurchlässigkeit [m/s]	$> 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-10}$	$< 10^{-10}$
<b>Anforderung: Gute Temperaturverträglichkeit (Gewichtungsgruppe 3); (Kapitel 4.1.4.9)</b>				
Temperaturstabilität des Gesteins	Temperatur, bei der es zu Mineralumwandlungen in den Gesteinen kommt [°C]	$> 120$	100 - 120	$< 100$
Thermisch bedingte Sekundärpermeabilität	Ausdehnung der thermomechanisch gestörten Umgebung um Einlagerungshohlräume [m]	$< 10$	10 - 50	$> 50$
	Zugfestigkeit [MPa] im Nahbereich (etwa 10 m bis 50 m) um Endlager bei einer Kontakttemperatur von 100 °C für Granit Tonstein Steinsalz	$> 13$ $> 8$ $> 2$	$\geq 8$ $\geq 4$ 1 - 2	$< 8$ $< 4$ $< 1$
<b>Anforderung: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine gegenüber Radionukliden (Gewichtungsgruppe 3); (Kapitel 4.1.4.10)</b>				
Sorptionfähigkeit der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	Kd-Wert für langzeitrelevante Radionuklide $\geq 0,001$ [m <sup>3</sup> /kg]	Uran, Protactinium, Thorium, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Palladium, Jod, Cäsium, Chlor	Uran, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Cäsium	
	Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche	Hohe Gehalte an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche, wie Tonminerale, Fe- und Mn-Hydroxide und -Oxide		