

**Geschäftsstelle**

**Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
K-Drs. 209b**

Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

---

**Entwurf des Berichtsteils zu Teil B – Kapitel 6.5.4 bis 6.5.6  
(Geowissenschaftliche Ausschluss-, Mindest- und Abwägungskriterien)**

Vorlage der AG 3 für die 27. Sitzung der Kommission am 13. Mai 2016

---

**ERSTE LESUNG**  
BEARBEITUNGSSTAND: 09.05.2016

1

2

3

---

4 **Geowissenschaftliche Kriterien – Stand 04.05.2016**  
5 **Bearbeitungsstand 09.05.2016**

6 Fortschreibung der Fassung aus K-Drs. 209. K-Drs. 209 wurde in der Kommissionsitzung am  
7 18.04.2016 nicht wie geplant diskutiert.

8 Die AG 3 hat sich daraufhin entschlossen, in ihrer Sitzung am 04.05.2016 diesen Text nochmal zu  
9 überarbeiten, mit dem Ziel, alle lösbaren Meinungsunterschiede aufzulösen. Dies ist weitgehend  
10 gelungen, bis auf zwei Themenblöcke, die sich mit den Stichworten „maximal zulässige  
11 Temperatur“ und „Schutz des ewG/Deckgebirge“ beschreiben lassen.

12 Der hier vorgelegte Bearbeitungsstand als K-Drs. 209b ist das Ergebnis der Sitzung der AG 3 am  
13 04.05.2016. Die noch bestehenden Unterschiede lassen sich nur in der Kommission selbst  
14 auflösen.

15

16 **Gegenüber K.-Drs. 209a wurde die hier vorgelegte Fassung K.-Drs. 209 b in nur einem Punkt**  
17 **geändert: Geändert wurde ausschließlich die Stellungnahme von Herrn Dr. Fischer /Herrn**  
18 **MdB Kanitz zur vor-geschlagenen Anforderung 12 (s. S. 49), eingegangen am 06.05.2016.**  
19 **Ansonsten ist der Text mit K.-Drs. 209a identisch.**

20

21

22

23

1	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	
2	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
3	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>5</b>
4	<b>I. Vorbemerkung der Vorsitzenden</b>	<b>7</b>
5	<b>II. Verwendete Kommissionsdokumente</b>	<b>7</b>
6	<b>1. Ziel</b>	<b>10</b>
7	<b>2. Begriffsbestimmungen</b>	<b>12</b>
8	<b>3. Kapitel 6.5.3 Geowissenschaftliche Ausschlusskriterien</b>	<b>13</b>
9	3.1. <b>Kapitel 6.5.3.1 Großräumige Vertikalbewegungen</b>	<b>13</b>
10	3.2. <b>Kapitel 6.5.3.2 Aktive Störungszonen</b>	<b>13</b>
11	3.3. <b>Kapitel 6.5.3.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit</b>	<b>13</b>
12		
13	3.4. <b>Kapitel 6.5.3.4 Seismische Aktivität</b>	<b>14</b>
14	3.5. <b>Kapitel 6.5.3.5 Vulkanische Aktivität</b>	<b>14</b>
15	3.6. <b>Kapitel 6.5.3.6 Grundwasseralter</b>	<b>14</b>
16	<b>4. Kapitel 6.5.4 Geowissenschaftliche Mindestanforderungen</b>	<b>15</b>
17	4.1. <b>Kapitel 6.5.4.1 Gebirgsdurchlässigkeit</b>	<b>15</b>
18	4.2. <b>Kapitel 6.5.4.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs</b>	<b>15</b>
19	4.3. <b>Kapitel 6.5.4.3 Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs</b>	<b>16</b>
20		
21	4.4. <b>Kapitel 6.5.4.4 Maximale Tiefe des Einlagerungsbereichs</b>	<b>16</b>
22	4.5. <b>Kapitel 6.5.4.5 Fläche des Endlagers</b>	<b>17</b>
23	4.6. <b>Kapitel 6.5.4.6 Erkenntnisse zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hinsichtlich des Nachweiszeitraums</b>	<b>18</b>
24		
25	<b>5. Kapitel 6.5.5 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien</b>	<b>18</b>
26	5.1. <b>Kapitel 6.5.5.1 Gewichtungsgruppe 1: Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises</b>	<b>21</b>
27		
28	5.1.1. Anforderung 1: Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser einschlusswirksamen Gebirgsbereich	21
29		
30	5.1.2. Anforderung 2: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper, insbesondere von Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich	25
31		
32	5.1.3. Anforderung 3: Gute räumliche Charakterisierbarkeit	31
33	5.1.4. Anforderung 4: Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse	32

1	<b>5.2.</b>	<b>Kapitel 6.5.5.2 Gewichtungsgruppe 2: Absicherung des</b>	
2		<b>Isolationsvermögens</b>	<b>34</b>
3	5.2.1.	Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen	34
4	5.2.2.	Anforderung 6: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten in Wirtsgesteinskörper	
5		/ einschlusswirksamem Gebirgsbereich	35
6	<b>5.3.</b>	<b>Kapitel 6.5.5.3 Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante</b>	
7		<b>Eigenschaften</b>	<b>39</b>
8	5.3.1.	Anforderung 7: Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung	39
9	5.3.2.	Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit	39
10	5.3.3.	Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine des einschlusswirksamen	
11		Gebirgsbereich gegenüber Radionukliden	45
12	5.3.4.	Anforderung 10: Günstige hydrochemische Verhältnisse	47
13	5.3.5.	Anforderung 11: Günstige Bedingungen für den Bau von Verschlussbauwerken	48
14	<b>5.4.</b>	<b>Zusätzliche weitere Abwägungskriterien</b>	<b>49</b>
15	5.4.1.	Anforderung 12 : Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine im Deckgebirge von Salzstöcken	
16		gegenüber Radionukliden	49
17	5.4.2.	Anforderung 13: Schützender Aufbau des Deckgebirges	49
18	•	<b>Möglichst mächtige vollständige Überdeckung des</b>	
19		<b>einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit</b>	
20		<b>grundwasserhemmenden / erosionshemmenden Gesteinen,</b>	<b>50</b>
21			

## 1 **Abbildungsverzeichnis**

2	Abbildung 5-1: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem	
3	Gebirgsbereich: Typ A und Typ Ba	26
4	Abbildung 5-2: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem	
5	Gebirgsbereich: Typ Bb	27
6	Abbildung 5-3: Schematische Darstellung von Potenzialgebieten und Endlagerbereich	29
7		

## 1 Tabellenverzeichnis

2	Tabelle 4-1:	Gesamendlagerflächenbedarf entsprechend DBE (2016)	17
3	Tabelle 5-1:	Transport durch Grundwasser: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw.	
4		Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien	23
5	Tabelle 5-2:	Transport durch Grundwasser: Bewertungsgrößen der	
6		Diffusionsgeschwindigkeit für den Wirtsgesteinstyp Tonstein	24
7	Tabelle 5-3:	Günstige Konfiguration der Gesteinskörper: Eigenschaften,	
8		Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der	
9		Kriterien	30
10	Tabelle 5-4:	Gute räumliche Charakterisierbarkeit: Eigenschaften,	
11		Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der	
12		Kriterien	32
13	Tabelle 5-5:	Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität: Eigenschaften,	
14		Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der	
15		Kriterien	33
16	Tabelle 5-7:	Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten:	
17		Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und	
18		Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	37
19	Tabelle 5-8:	Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung:	
20		Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und	
21		Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	39
22	Tabelle 5-9:	Gute Temperaturverträglichkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen	
23		bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	40
24	Tabelle 5-10:	Hohes Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich:	
25		Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und	
26		Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	46
27			
28			



1 **I. Vorbemerkung der Vorsitzenden**

**Kommentiert [sal1]:** Die Vorbemerkungen sind als interne Lesehinweise zu verstehen und NICHT für den Kommissionsbericht vorgesehen.

2 Ein zentraler Teil für die Auswahl eines Endlagerstandortes sind die geowissenschaftlichen Kriterien, anhand  
3 derer in den verschiedenen Stufen des Auswahlprozesses Entscheidungen vorgenommen werden.  
4 Dementsprechend hat nach dem Standortauswahlgesetz die "Kommission Lagerung hoch radioaktiver  
5 Abfallstoffe" einen Vorschlag für diese Kriterien vorzulegen.

6 Die Kommission hat sich dazu entschieden, die Kriterien auf dem im Jahr 2002 veröffentlichten Bericht des  
7 AkEnd aufzubauen (der AkEnd-Bericht steht als K-MAT 1 auf der Internetseite der Kommission zur  
8 Verfügung). Zuständig für die Vorbereitung ist die Arbeitsgruppe 3 "Gesellschaftliche und technisch-  
9 wissenschaftliche Entscheidungskriterien sowie Kriterien für Fehlerkorrekturen" der Kommission.

10 Dazu fand in einer ganzen Reihe von Sitzungen der AG 3 eine Diskussion statt, in der geprüft wurde, ob die  
11 einzelnen Kriterien des AkEnd heute noch Bestand haben bzw. ob einzelne Kriterien entfallen können,  
12 hinzugefügt werden müssen oder geändert werden müssen.

13 Das folgende Papier stellt den Diskussionsstand der AG 3 dar, der mit der Sitzung vom 04.05.2016  
14 abgeschlossen wurde:

- 15 • Es sind alle Kriterien enthalten, die nach derzeitigem Diskussionstand erforderlich sind.
- 16 • Bei einer großen Zahl der Kriterien besteht in der AG 3 Einigkeit; diese Textpassagen sind nicht  
17 besonders gekennzeichnet.
- 18 • Bei einigen Kriterien bestehen bisher noch unterschiedliche Auffassungen in der AG 3, die nicht in  
19 der AG 3 geklärt werden können. Diese unterschiedlichen Auffassungen müssen deshalb in der  
20 Kommission geklärt werden.

21 Nicht abschließend beratene Änderungsvorschläge enthalten auch noch die entsprechenden Kommentare aus  
22 dem Workshop am 30./31. Januar 2016. In früheren Versionen enthaltene, mittlerweile aber abschließend in  
23 der Arbeitsgruppe beratene Änderungsvorschläge und Kommentare sind in der hier vorliegenden Fassung  
24 NICHT mehr enthalten.

25 Gelb unterlegte Textpassagen sind entweder als Lesehinweise zu verstehen oder markieren unauffällige  
26 eckige Klammern oder markieren Kapitelnummerierungen, die im Endbericht nochmal verifiziert werden  
27 müssen.

Hinweise der ESK aus K-MAT 47 (Evaluation der Kriterien des AkEnd) sind gesondert in grauen Kästen  
eingefügt. Die Einfügungen sind auf die Sachaussagen der ESK zu den einzelnen Anforderungen des  
AkEnd beschränkt. Nicht übernommene Querverweise im Text des ESK-Dokuments sind *kursiv* gesetzt.

Im jetzigen Dokument sind solche diese Hinweise nur bei den nicht abschließend geklärten Kriterien  
enthalten.

28

29

30 **II. Verwendete Kommissionsdokumente**

31 Verwendete Unterlagen sind:

- 1 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla (2015).  
2 Beratungsunterlage für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 - Geowissenschaftliche Kriterien im  
3 Rahmen des Standortauswahlverfahrens, Entwurf 3 vom 13. Dezember 2015. K-Drs. /AG3-63.
- 4 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Ulrich Kleemann (2015). Beratungsunterlage  
5 für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 - Kriterien für Kristallin als Wirtsgestein, Datum. 13.  
6 Dezember 2015; unter Verwendung vorbereitender Papiere von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, Dr. Detlef  
7 Appel und Dr. Markus Traumannsheimer. K-Drs. /AG3-64.
- 8 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2015). Beratungsunterlage für  
9 die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 -  
10 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (Kurzfassung auf Basis AkEnd 2002) mit Zuordnung von  
11 Kommentaren aus der AG 3, Stand 13.12.2015. K-Drs. /AG3-65.
- 12 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2015). Vorschläge zur  
13 Umformulierung bzw. Neuformulierung geowissenschaftlicher Kriterien, korrigierte Fassung -  
14 16.12.2015. K-Drs. /AG3-70.
- 15 • Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR); Fr. Dr.  
16 Rosenbaum (2015). Änderungs-/Ergänzungsvorschlag in der K-Drs. AG3- 65 (S. 24/25) bezüglich des  
17 Kriteriums „gute Charakterisierbarkeit“ (per Email, 21.12.2015)
- 18 • Dr. Jan Richard Weber, BGR (2015). Anforderung 8. Gute Temperaturverträglichkeit - Kommentar  
19 „Eckige Klammer“ zur K-Drs. / AG3-65 (Dr. Appel), 21.12.2015; K-Drs. /AG3-71.
- 20 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Bernhard Fischer, MdB Steffen Kanitz (2015)  
21 Kurzstellungnahme zu Beratungsunterlage K-Drs. AG 3-43 „Vorschläge zur Umformulierung bzw.  
22 Neuformulierung geowissenschaftlicher Kriterien (Verfasser. Dr. Detlef Appel) bzw. zur korrigierten  
23 Fassung vom 16. Dezember 2015 (Tischvorlage zur 15. Sitzung der AG 3 am 17.12.2015 für den  
24 Fachworkshop am 29./30.01.2016 in Berlin, 21.12.2015; K-Drs. /AG3-72.
- 25 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2015). Neues Kriterium  
26 Deckgebirge Salzstöcke - Anforderung "Schützender Aufbau des Deckgebirges von Salzstöcken"  
27 (Gewichtungsgruppe 1) und zugehöriges Abwägungskriterium "Schutzfunktion des Deckgebirges von  
28 Salzstöcken", 21.12.2015. K-Drs. /AG3-73.
- 29 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Min Stefan Wenzel (2015).Textvorlagen für den  
30 Berichtsteil der AG 3, 22. Dezember 2015. K-Drs. /AG3-74.
- 31 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Ulrich Kleemann (2015). Beratungsunterlage  
32 für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 - Kriterien für Kristallin als Wirtsgestein, Datum. 13.  
33 Dezember 2015; unter Verwendung vorbereitender Papiere von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, Dr. Detlef  
34 Appel und Dr. Markus Trautmannsheimer. K-Drs. /AG3-64.
- 35 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. E.h. Bernhard Fischer (2016). Prüfung der K-  
36 Drs. 157 „Geowissenschaftliche Kriterien - Papier der Vorsitzenden der AG 3" und "Klammertexte" zu  
37 Anforderung 2 und Anforderung 3, per Email am 08.01.2016. K-Drs. /AG3-77.
- 38 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Prof. Dr.-Ing Wolfram Kudla (2016).  
39 Stellungnahme zur K.-Drs.157 „Geowissenschaftliche Kriterien – Papier der Vorsitzenden der AG 3 –  
40 Stand 29.12.2015, Datum. 08.01.2016. K-Drs. /AG3-80.
- 41 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Min. Stefan Wenzel. E-Mail an die  
42 Endlagerkommission vom 19.01.2016.
- 43 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2016). E-Mail an die  
44 Vorsitzenden der AG 3 vom 28.01.2016.

- 1 • Entsorgungskommission (2015). Diskussionspapier der Entsorgungskommission - Evaluation der Rand-  
2 und Rahmenbedingungen, Bewertungsgrundsätze sowie der Kriterien des Arbeitskreises  
3 Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd), 10.12.2015. K-MAT 47.
- 4 • Zebralog (2016). Fachtagung "Kriterien der Standortauswahl", 29. und 30. Januar 2016. Ergebnisse der  
5 Arbeitskreise 1-5, zusammengestellt von Zebralog auf Grundlage der von den Teilnehmern eingereichten  
6 Ergebnisvorlagen sowie der Mitschriften aus den Arbeitskreisen, Version 1.0, 05.02.2016 (Datei.  
7 "Ergebnisse\_Fachtagung\_Version1.pdf")
- 8 • Zebralog (2016). Datei Export\_Online\_Konsultation\_20160201.xlsx (tabellarische Zusammenstellung der  
9 Online-Kommentierung der K.-Drs. 157 vom 18.-31.01.2016)
- 10 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2016), Beratungsunterlage zu  
11 TOP 13 der 19. Sitzung der AG 3 am 2. März 2016, Anmerkungen zu den Geowissenschaftlichen  
12 Ausschlusskriterien (K-Drs. 91A), Pkt. 3.6 Grundwasseralter, 29. Februar 2016. K-Drs. /AG3-104.
- 13 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel; Prof. Bruno Thomauske (2016).  
14 Änderungsvorschlag Appel / Thomauske zu Kapitel 3.3. in K-Drs. AG3-91a K-Drs. /AG3-109.
- 15 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2016). Änderungsvorschlag  
16 Appel zu Kap. 5.1.2. in K-Drs. AG3-91a bzw. 91c K-Drs. /AG3-110.
- 17 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2016). Überarbeitung zu K-  
18 Drs./AG3-91a Geowissenschaftliche Kriterien, Kap. 5.1.1. Anforderung 1, Abwägungskriterium  
19 „Diffusionsgeschwindigkeit“, Datum 18.03.2016. K-Drs. /AG3-116.
- 20 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2016). E-Mail vom 07.04.2016.  
21 Änderungsvorschläge Appel zu K-Drs. AG3-110
- 22 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2016). E-Mail vom 07.04.2016.  
23 Überarbeitung K-Drs. /AG3-116, Appel, 31.3.2016 / 7.4.2016
- 24 • DBEtec (2016). Gutachten Flächenbedarf für ein Endlager für wärmeentwickelnde, hoch radioaktive  
25 Abfälle (ohne Berichtsdatum). K-MAT 58.
- 26 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2016). Vorschlag zur  
27 Neuformulierung der Mindestanforderung "Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs"  
28 auf Grundlage der Diskussion in der Adhoc-AG Deckgebirge (zur Behandlung in der Sitzung der AG 3  
29 am 4.5.2016), Datum 02.05.2016. K-Drs. AG3-133.
- 30 • Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe; Dr. Detlef Appel (2016). Kriterien zum Schutz des  
31 ewG durch das Deckgebirge, Einschätzung nach den Diskussionen in der "Adhoc-AG Deckgebirge",  
32 Datum 27.04.2016. K-Drs. AG3-134.

33

1 **1. Ziel**

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

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

7 für das Standortauswahlverfahren festzulegen.

**Herr Minister Wenzel** (K.-Drs. /AG3-74 vom 22.12.2015)

Der folgende Text ist der identische Text aus K.-Drs. 157, Stand 17.12.2015. Der Text wurde wegen Diskussionsbedarfs in die eckige Klammer überführt

Nach den Vorgaben des StandAG ist bei der Standortauswahl der Stand von Wissenschaft und Technik anzuwenden. Weiterhin sind internationale Erfahrungen zu analysieren. Aus der Analyse der internationalen Erfahrungen ist festzustellen, dass die Lagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle sowohl im Wirtsgestein Ton als auch im Wirtsgestein Kristallin den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik darstellt.

Aus diesem Grund muss dafür Sorge getragen werden, dass diese Wirtsgesteinstypen nicht frühzeitig aus dem Auswahlverfahren ausgeschlossen werden. Insbesondere sollten die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen in der Phase 1 des Auswahlverfahrens nicht zu einem solchen Ausschluss führen.

Demnach sind auch die Abwägungskriterien daraufhin zu prüfen, inwieweit sie durch die Wahl der bewertungsrelevanten Eigenschaft und/oder Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums bereits wirtsgesteinsspezifisch ausgerichtet sind.

8

**Herr Prof. Kudla** (K.-Drs. /AG3-80 vom 08.01.2016)

Im Abschnitt „I. Ziel“ heißt es dazu auf Seite 9:

„Nach den Vorgaben des StandAG ist bei der Standortauswahl der Stand von Wissenschaft und Technik anzuwenden. Weiterhin sind internationale Erfahrungen zu analysieren. Aus der Analyse der internationalen Erfahrungen ist festzustellen, dass die Lagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle sowohl im Wirtsgestein Ton als auch im Wirtsgestein Kristallin den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik darstellt. Aus diesem Grund muss dafür Sorge getragen werden, dass diese Wirtsgesteinstypen nicht frühzeitig aus dem Auswahlverfahren ausgeschlossen werden. Insbesondere sollten die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen in der Phase 1 des Auswahlverfahrens nicht zu einem solchen Ausschluss führen. Demnach sind auch die Abwägungskriterien daraufhin zu prüfen, inwieweit sie durch die Wahl der Bewertungsrelevante Eigenschaft und/oder Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums bereits wirtsgesteinsspezifisch ausgerichtet sind.“

Vom Unterzeichner wurde die oben geführte Unterstreichung vorgenommen. Der Abschnitt konterkariert allerdings die Beschlusslage der AG 3 am 17.12.2015. In der Sitzung der AG 3 wurde beschlossen, dass die festgelegten Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen und Abwägungskriterien für alle drei Wirtsgesteine (Salz, Tonstein, Kristallingestein) gelten sollen. Die

**Kommentiert [sal2]:** Aus Sicht der AG 3 vom 04.05.2016 soll dieses einleitende Kapitel abschließend neu gefasst werden, wenn alle Kriterien verabschiedet sind.

Kriterien sind also für alle drei Wirtsgesteine die gleichen. [...]

Der Absatz in der K.-Drs.157 soll daher gestrichen werden und stattdessen ausgeführt werden, dass die Sicherheit (also, der langzeitsichere Einschluss der radioaktiven Abfälle über eine Mio. Jahre) bei der Standortauswahl bei allen drei Wirtsgesteinen oberste Priorität hat und die Standortauswahl bei allen drei Wirtsgesteinen nach den gleichen Kriterien erfolgt.

1

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

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

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

14

15

1 **2. Begriffsbestimmungen**

2 Für die Systematisierung der Kriterienentwicklung hat die AG 3 ein einheitliches Verständnis der Kategorien  
3 "Ausschlusskriterium", Mindestanforderung und "Abwägungskriterium" entwickelt, dass zu folgenden  
4 Begriffsbestimmungen führte:

5 **Ausschlusskriterium:**

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

9 **Mindestanforderung:**

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

14 **Abwägungskriterium:**

15 Durch Abwägungskriterien sollen Standortregionen bzw. Standorte, die nach Anwendung der  
16 Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen im Verfahren verblieben sind, untereinander verglichen  
17 werden (zusammen mit den Ergebnissen von Sicherheitsuntersuchungen).

18

19 Die nachfolgend genannten Kriterien haben zum Ziel, einen Standort festzulegen, der die bestmögliche  
20 Sicherheit zur Isolation insbesondere hoch radioaktiver Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren  
21 erwarten lässt. Sie orientieren sich an den geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen  
22 und Anforderungen an eine günstige geologische Gesamtsituation gemäß AkEnd<sup>1</sup>. Die dort  
23 zusammengestellten Aspekte wurde von der Kommission geprüft und entweder übernommen, modifiziert  
24 bzw. angepasst oder begründet nicht übernommen.

25

---

<sup>1</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte.

1 **3. Kapitel 6.5.3 Geowissenschaftliche Ausschlusskriterien**

2 **3.1. Kapitel 6.5.3.1 Großräumige Vertikalbewegungen**

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

6 *Erläuterung: Großräumige Hebungen eines Gebirgsbereiches in dem ein Endlager eingebettet ist, könnten*  
7 *dazu führen, dass an der Geländeoberfläche verstärkt Erosion auftritt, die die notwendige Schutzwirkung der*  
8 *Überdeckung des Endlagers beeinträchtigen kann<sup>2</sup>.*

9 **3.2. Kapitel 6.5.3.2 Aktive Störungszonen**

10 Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich inklusive eines Sicherheitsabstands dürfen keine geologisch aktiven  
11 Störungszonen vorhanden sein, die das Endlagersystem und insbesondere den einschlusswirksamen  
12 Gebirgsbereich sowie die technischen und geotechnischen Barrieren beeinträchtigen können. Unter einer  
13 „aktiven Störungzone“ werden sowohl Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz als auch  
14 Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung verstanden. Als "aktive Störungen" mit Sicherheitsrelevanz  
15 für ein Endlager werden Verwerfungen angesehen, an denen nachweislich oder mit großer  
16 Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel (ein geologischer Zeitraum, der vor etwa 34 Mio. Jahren beginnt) bis  
17 heute Bewegungen stattgefunden haben. Atektonische bzw. aseismische Vorgänge (also Vorgänge, die nicht  
18 aus den Gesetzen der Tektonik abgeleitet werden können oder nicht auf seismische Aktivitäten  
19 zurückzuführen sind), die zu ähnlichen sicherheitlichen Konsequenzen wie tektonische Störungen führen  
20 können, sind wie diese zu behandeln<sup>3</sup>.

21 *Erläuterung: Die mutmaßlichen Breiten von Störungszonen sind individuell abzuschätzen. Da eine exakte*  
22 *Zonenbreite in der Regel nicht festlegbar ist, sollte für eine Ausweisung von Gebieten mit besonders*  
23 *ungünstigen Verhältnissen ein "Sicherheitsaufschlag" von einigen Kilometern beidseits der erkannten Zone*  
24 *festgelegt werden<sup>4</sup>.*

25 **3.3. Kapitel 6.5.3.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit**

26 In der Standortregion darf das Gebirge nicht durch gegenwärtige oder frühere bergbauliche Tätigkeit so  
27 geschädigt sein, dass daraus negative Einflüsse auf den Spannungszustand und die Permeabilität des  
28 Gebirges im Bereich des Endlagers und insbesondere des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches zu  
29 besorgen sind. Erkundungsmaßnahmen im Rahmen des Standortauswahlverfahrens sind so zu planen und  
30 durchzuführen, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich nur im für den erforderlichen  
31 Informationsgewinn unvermeidlichen Ausmaß verätzt und seine Integrität nicht gefährdet wird.

32 Das Endlager muss in einem neu aufzufahrenden Bergwerk errichtet werden. Vorhandene alte Bohrungen  
33 dürfen den umgebenden einschlusswirksamen Gebirgsbereich in seiner Einschlussfunktion nachweislich  
34 nicht beeinträchtigen

35 Auffahrung, Betrieb und Offenhaltung des Erkundungsbergwerkes Gorleben bleiben davon unberührt.

---

<sup>2</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 86-87.

<sup>3</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 87-88.

<sup>4</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 88.

1 Erläuterung: Da im ersten Schritt des Standortauswahlverfahrens noch keine gebirgsmechanischen  
2 Standsicherheitsberechnungen erfolgen, müssen die Einflüsse aus gegenwärtiger und früherer bergbaulicher  
3 Tätigkeit zunächst qualitativ abgeschätzt werden.

#### 4 3.4. Kapitel 6.5.3.4 Seismische Aktivität

5 In der Standortregion dürfen die zu erwartenden seismischen Aktivitäten nicht größer sein als in  
6 Erdbebenzone 1<sup>5</sup> nach DIN EN 1998-1 / NA 2011-01.

#### 7 3.5. Kapitel 6.5.3.5 Vulkanische Aktivität

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

9 Erläuterung<sup>6</sup>: Ein Magmenzutritt in das Endlager ist zu vermeiden, da Temperatur-spannungen, vulkanische  
10 Beben und induzierte Bewegungen an Störungen die Integrität des Endlagers beeinträchtigen und über den  
11 Zutritt von Grundwasser die Barriere-Wirkung verringern können. Beim Ausschluss von Gebieten mit  
12 vulkanischer Aktivität ist zusätzlich ein Sicherheitssaum von 10 km um potenziell gefährdete Bereiche zu  
13 berücksichtigen.

14 Der AKEnd kam zur Einschätzung der vulkanischen Gefährdung in Deutschland auf Grundlage einer  
15 Expertenumfrage<sup>7</sup> zu dem Ergebnis, dass in Deutschland außer den Gebieten Eifel und Vogtland/Egergraben  
16 keine weiteren Gebiete mit einer vulkanischen Gefährdung benannt werden müssen. Das Wiederaufleben des  
17 Vulkanismus in der Eifel im Prognosezeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahren ist als sicher  
18 anzunehmen. Anzeichen einer bevorstehenden Eruption sollten sich in einem Zeitraum von ca. ein bis zwei  
19 Jahren zuvor ankündigen. Im Bereich des Vogtlands und in der angrenzenden Region Nordwestböhmens  
20 besteht nach dem vorliegenden Kenntnisstand eine Wahrscheinlichkeit von etwa 50 % für das  
21 Wiederaufleben des Vulkanismus im westlichen Teil des Egergrabens.

#### 22 3.6. Kapitel 6.5.3.6 Grundwasseralter

23 Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. im Einlagerungsbereich dürfen keine jungen Grundwässer  
24 vorliegen. In diesen Grundwässern dürfen daher Tritium und Kohlenstoff-14 nicht in Konzentrationen über  
25 dem natürlichen Hintergrundniveau nachweisbar sein.

26 Erläuterung: Junge Grundwässer deuten auf eine Teilnahme des Grundwassers am hydrologischen Kreislauf  
27 hin. Die auf Grund der Tritium-/Kohlenstoff-14-Konzentrationen errechneten Grundwasseralter müssen  
28 dabei validiert und ggfs. durch weitere geochemische und isotopen-hydrogeologische Hinweise überprüft  
29 werden<sup>8</sup>.

30

---

<sup>5</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 89-91.

<sup>6</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 91-93.

<sup>7</sup> Vgl. JENTZSCH, G. (2001). Vulkanische Gefährdung in Deutschland. Entwicklung eines Kriteriums zum Ausschluss von Gebieten für die weitere Untersuchung hinsichtlich der Eignung als Standort eines Endlagers für radioaktive Abfälle. K-Mat 12-14.

<sup>8</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 94-95.

1 **4. Kapitel 6.5.4 Geowissenschaftliche Mindestanforderungen**

2 **4.1. Kapitel 6.5.4.1 Gebirgsdurchlässigkeit**

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

7 Die Erfüllung des Kriteriums kann auch durch überlagernde Schichten nachgewiesen werden. Der  
8 einschlusswirksame Gebirgsbereich befindet sich damit außerhalb des Wirtsgesteins (Fall Bb nach AK End).

9 *Erläuterung: Grundsätzlich gilt, dass die Gebirgsdurchlässigkeit möglichst gering sein soll, damit ein*  
10 *advektiver Flüssigkeitstransport vermieden wird und allenfalls ein diffusiver Stofftransport erfolgt<sup>9</sup>.*

11 *Kristallingesteine können zwar über homogene Bereiche mit sehr geringen Gesteinsdurchlässigkeiten ( $k_f <$*   
12  *$10^{-10}$  m/s) verfügen, die Gebirgsdurchlässigkeit über Trennflächen (Klüfte, Verwerfungen) kann jedoch*  
13 *deutlich erhöht sein. Demnach sind bei der Erkundung Homogenbereiche auszuweisen, in denen mächtige,*  
14 *hydraulisch aktive Störungszonen nicht vorhanden sind. Zwischen eventuell auftretenden, hydrogeologisch*  
15 *relevanten Störungszonen müssen unter Beachtung von Sicherheitsabständen möglichst homogene und*  
16 *minimal deformierte Gesteinsblöcke geringer Durchlässigkeit ausgewiesen werden. Deshalb ist für den*  
17 *Nachweis der Standorteignung eine detaillierte Erfassung und hydrogeologische Bewertung des*  
18 *strukturellen Inventars erforderlich<sup>10</sup>. Günstig für eine Radionuklidrückhaltung ist das Vorkommen*  
19 *alterierter Gesteinsvarietäten mit guten Sorptionseigenschaften in diesen Gebieten. Die Gesteine sollten*  
20 *demnach im Nah- und Fernfeld des Endlagers über gut ausgebildete Isolations- bzw.*  
21 *Radionuklidfixierungseigenschaften verfügen.*

22 *Der Kenntnisstand wird jedoch zu Beginn des Auswahlverfahrens noch nicht vollständig zur genauen*  
23 *Abgrenzung dieser Bereiche ausreichen. Wenn für Kristallingesteinsformationen geologische Informationen*  
24 *(z.B. ein entsprechend hoher Durchtrennungsgrad, hydrogeologisch relevante oder hydraulisch aktive*  
25 *Störungszonen) vorliegen die erwarten lassen, dass die Gebirgsdurchlässigkeit größer ist als  $10^{-10}$  m/s,*  
26 *werden diese Kristallingesteinsformationen ausgeschlossen.*

27 *Der Nachweis der Isolation kann auch durch überlagernde dichte Gesteine (Ton/Salz) erfolgen<sup>11</sup>. Der*  
28 *einschlusswirksame Gebirgsbereich liegt dabei außerhalb des Wirtsgesteins (Fall Bb nach AK End<sup>12</sup>).*

29

30 **4.2. Kapitel 6.5.4.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs**

31 †Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss mindestens 100 m mächtig sein<sup>13</sup>.‡

32 *Erläuterung: Da der einschlusswirksame Gebirgsbereich eine Mächtigkeit von mindestens 100 m aufweisen*  
33 *soll, sind im Rahmen der Standortauswahl Wirtsgesteinsbereiche mit Barrierefunktion auszuweisen, die*  
34 *hinreichend mächtig sind um den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufzunehmen.*

<sup>9</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 95 und S. 113-129.

<sup>10</sup> Vgl. Ziegenhagen, J., Hammer, J., Fahrenholz, C. et al. (2005). Anforderungen an die Standorterkundung für HAW-Endlager in Hartgesteinen (ASTER).- Abschlussbericht, BMWA, FKZ 02E9612 und 02E 9622.

<sup>11</sup> Vgl. Schreiber, U., Ewert, T. & Jentsch, G. (2015). Geologische Potenziale zur Einlagerung von radioaktiven Abfallstoffen unterhalb von stratiformen Salzformationen.- Universität Duisburg-Essen. K-MAT 42.

<sup>12</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 131-135.

<sup>13</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 96.

1 Die Herleitung der Mindestmächtigkeit durch den AkEnd beruht ursprünglich auf Überlegungen zu  
2 "Gesteinstypen mit sehr kleinen Gebirgsdurchlässigkeiten"<sup>14</sup>, in denen das Konzept des einschlusswirksamen  
3 Gebirgsbereichs über das gesamte Endlagervolumen uneingeschränkt gültig ist.

4 Für potenzielle Standorte mit Kristallingestein ergibt sich hieraus einerseits der Anspruch, entsprechend  
5 große homogene Kristallinbereiche auszuweisen (s.a. Kapitel 6.5.4.1), andererseits sind auch  
6 Kristallinbereiche denkbar, in denen das Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht für das  
7 Endlager in seiner Gesamtheit, sondern für kleinere Einheiten des Endlagers bis hin zum Einzelbehälter  
8 definiert werden muss. In diesen Fällen ist aber auch das Barrierenkonzept im Kristallin mit einem  
9 langzeitsicherheitlichen Schwerpunkt auf der Kombinationswirkung aus Behälter und geotechnischer  
10 Barriere ein anderes (s.a. Kap. 6.8).

#### 11 4.3. Kapitel 6.5.4.3 Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

12 Die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss mindestens 300 m unter der  
13 Geländeoberfläche liegen. In Gebieten, in denen im Nachweiszeitraum mit exogenen Prozessen zu rechnen  
14 ist, deren direkte oder indirekte Auswirkungen zur Beeinträchtigung der Integrität des einschlusswirksamen  
15 Gebirgsbereichs führen können, muss die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs tiefer als die  
16 zu erwartende größte Tiefe der Auswirkungen liegen.

17 Für den Endlagersystemtyp Steinsalz in steiler Lagerung (Salzstöcke) muss die Salzschwebe über dem  
18 einschlusswirksamen Gebirgsbereich zur Berücksichtigung der möglichen zukünftigen Subrosion mindestens  
19 300 m mächtig sein.

20 Für den Endlagersystemtyp Tonstein muss die nach Eintreten der zu erwartenden exogenen Prozesse  
21 verbleibende Deckgebirgsmächtigkeit ausreichen, um eine Beeinträchtigung der Integrität des  
22 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch Dekompaktion ausschließen zu können.

23 Erläuterung (s.a. AkEnd-Bericht<sup>15</sup>): Durch die Festlegung der Mindesttiefe des einschlusswirksamen  
24 Gebirgsbereichs unter Berücksichtigung möglicherweise regional auftretender exogener Prozesse  
25 (insbesondere intensiver Erosion) soll verhindert werden, dass die Integrität des einschlusswirksamen  
26 Gebirgsbereichs durch deren direkte und indirekte Folgen (z.B. Freilegung bzw. Dekompaktion des  
27 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteins, verstärkte Subrosion), beeinträchtigt wird.  
28 Beispielsweise muss im nord-deutschen Tiefland für künftige Eiszeiten die Entstehung tiefer subglazialer  
29 Rinnen angenommen werden. Die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss hinreichenden  
30 Abstand zur erwartbaren tiefsten Basisposition solcher Rinnen aufweisen, abzuleiten aus der größten  
31 bekannten Rinnentiefe zuzüglich eines den prognostischen Ungewissheiten Rechnung tragenden  
32 Sicherheitsaufschlags.

#### 33 4.4. Kapitel 6.5.4.4 Maximale Tiefe des Einlagerungsbereichs

34 Diese Anforderung des AkEnd entfällt aus Sicht der AG3 [Kommission].

35 Begründung: Die Tiefe eines Endlagerbergwerks ergibt sich aus der örtlichen geologischen Situation, dem  
36 Einlagerungskonzept, der bergtechnischen Machbarkeit und ggf. zusätzlichen Anforderungen an die  
37 Arbeitssicherheit unter Tage (e.g. Umgebungstemperatur). Die Suche nach einem Endlagerstandort sollte  
38 für eine Einlagerungstiefe zwischen 500 und 1000 m erfolgen. Je nach Einlagerungskonzept (z.B. vertikale  
39 Bohrlochlagerung) können auch größere Tiefen erreicht oder notwendig werden. Die an einem bestimmten  
40 Standort erforderliche Einlagerungstiefe kann also von Standort zu Standort sehr unterschiedlich sein. Unter

Kommentiert [sal3]: Zwischen Herrn Dr. Appel und Herrn Dr. Fischer abgestimmte Textfassung, 06.05.2016

<sup>14</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 96

<sup>15</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 96

1 diesen Randbedingungen ist die Kommission, abweichend vom Vorschlag des AkEnd, der Auffassung, dass  
 2 es nicht sinnvoll ist, für die maximale Tiefe des Einlagerungsbereichs eine Mindestanforderung zu  
 3 definieren.

4 **4.5. Kapitel 6.5.4.5 Fläche des Endlagers**

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

7 In den Flächenbedarf des Endlagers eingeschlossen sind Flächen, die für die Realisierung von Maßnahmen  
 8 zur Rückholung von Abfallbehältern oder zur späteren Auffahrung eines Bergungsbergwerks zur Bergung  
 9 von Abfallbehältern erforderlich sind und verfügbar gehalten werden müssen.

10 *Erläuterung: Im Rahmen der Auswahl der Standortregionen (1. Schritt des Auswahlverfahrens) ist der*  
 11 *einschlusswirksame Gebirgsbereich eines Endlagers noch nicht bekannt. Für die Größe des*  
 12 *einschlusswirksamen Gebirgsbereiches einschließlich des gesamten Endlagerbergwerks wurde im AKEnd-*  
 13 *Bericht für Salz von einer Fläche von 3 km<sup>2</sup> und für Tonstein von 10 km<sup>2</sup> ausgegangen<sup>16</sup>. Die Kommission*  
 14 *hat diese Angaben zur erforderlichen Mindestfläche durch ein Gutachten überprüfen lassen<sup>17</sup>. Das*  
 15 *Gutachten hat für die dort untersuchten Szenarien folgende Mindestflächenbedarfe errechnet:*

**Tabelle 4-1: Gesamtendlagerflächenbedarf entsprechend DBE (2016)**

Endlagervariante Flächenermittlung	Salz 200°C	Salz 100°C	Tonstein 100°C	Granit 100°C
Erforderliche Pfeilerbreite zwischen Einlagerungsstrecken	2,0 x Breite der Strecke	2,0 x Breite der Strecke	5,0 x Breite der Strecke	2,5 x Höhe der Strecke
Erforderliche Endlagerfläche für Gebinde (m <sup>2</sup> )	800.800	1.632.600	4.871.000	2.212.700
Erforderlicher Sicherheitsabstand (m)	50	50	40	100
Erforderliche Endlagerfläche aus Sicherheitsabstand (m <sup>2</sup> )	228.000	401.200	1.082.000	1.026.000
Erforderliche Fläche für Infrastrukturbereich (m <sup>2</sup> )	250.000	250.000	630.000	320.000
<b>Gesamtendlagerfläche (m<sup>2</sup>)</b>	<b>1.278.800</b>	<b>2.283.800</b>	<b>6.583.000</b>	<b>3.558.700</b>

16  
 17 *Die Kommission nimmt das Gutachten als Orientierung zur Kenntnis, ist aber auch der Auffassung, dass der*  
 18 *tatsächliche Flächenbedarf im Rahmen der Standortauswahl leicht deutlich größer sein kann, beispielsweise*  
 19 *durch zusätzliche Sicherheitspfeiler oder zur Flexibilisierung der Endlagergeometrie.*

20 *Nach dem Bericht zum Nationalen Entsorgungsprogramm sollen zudem weitere Abfallmengen aus der*  
 21 *Urananreicherung und aus dem Endlager Asse – sofern ein geeigneter Standort für ein Kombilager*

<sup>16</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 96-97.

<sup>17</sup> Vgl. DBEtec (2016): Gutachten Flächenbedarf für ein Endlager für wärmeentwickelnde, hoch radioaktive Abfälle. K-MAT 58.

1 gefunden werden kann - in das Endlager für hoch radioaktive Abfälle aufgenommen werden sollen. Bei der  
2 Berechnung der Flächenausdehnung eines Endlagers muss auch das Lagerkonzept einschließlich der  
3 Zugangsstrecken, UntertageLabors, Verschlussbauwerke usw. beachtet werden.

4 Im Vergleich zu den in dem Gutachten errechneten Mindestflächenbedarfen können die Ansätze des AkEnd  
5 als konservativ angesehen werden. Sie eignen sich daher im Rahmen der Standortauswahl nach wie vor als  
6 Mindestanforderungen für den Standortauswahlprozess und können daher beibehalten werden.

#### 7 **4.6. Kapitel 6.5.4.6 Erkenntnisse zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hinsichtlich des** 8 **Nachweiszeitraums**

9 Es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Einhaltung der geowissenschaftlichen  
10 Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen  
11 Gebirgsbereiches und damit seine Integrität über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft  
12 erscheinen lassen<sup>18</sup>.

#### 13 **5. Kapitel 6.5.5 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien**

14 Ziel des Standortauswahlverfahrens ist es, einen Standort zu finden, der die bestmögliche Sicherheit für eine  
15 Isolation der Abfälle von den Schutzgütern für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet.  
16 Nachdem unter Anwendung der geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen  
17 geologische Suchräume ausgewiesen wurden, soll mit Hilfe der nachfolgend genannten Abwägungskriterien  
18 beurteilt werden, ob in einem Teilgebiet bzw. einer Standortregion eine insgesamt günstige geologische  
19 Gesamtsituation vorliegt. Dabei gilt grundsätzlich, dass ein einzelnes Abwägungskriterium nicht hinreichend  
20 ist, um die günstige geologische Gesamtsituation nachzuweisen oder auszuschließen. Die günstige  
21 geologische Gesamtsituation ergibt sich also nicht aus der besonders guten Erfüllung eines einzelnen  
22 Kriteriums, sondern aus der Summe der Erfüllung (bzw. Erfüllungsgrade) aller Anforderungen und deren  
23 Kriterien. Dabei sind nicht nur die im Folgenden quantifizierten Indikatoren Gegenstand der Prüfung,  
24 sondern die vollständige Beschreibung der jeweiligen Anforderung.

25 Eine günstige geologische Gesamtsituation ist ein Teilziel. Sie ist dem Gesamtziel, eine hinsichtlich der  
26 Sicherheit des Endlagers günstige Gesamtsituation zu erreichen untergeordnet. Die Sicherheit des Endlagers  
27 wird im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen beurteilt.

28 Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind im Folgenden in **[endgültige Anzahl]** Anforderungen  
29 und drei Gewichtungsgruppen gegliedert, die sich zunächst an der Bedeutung der Anforderung für das  
30 zentrale Ziel des Einschlusses im eWG orientieren:

31 Gewichtungsgruppe 1: Güte des Einschlussvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises

- 32 • Anforderung 1: Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser im Endlagerniveau
- 33 • Anforderung 2: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper, insbesondere von Wirtsgestein  
34 und einschlusswirksamem Gebirgsbereich
- 35 • Anforderung 3: Gute räumliche Charakterisierbarkeit
- 36 • Anforderung 4: Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität der günstigen  
37 Verhältnisse

38 Gewichtungsgruppe 2: Absicherung des Einschlussvermögens

- 39 • Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen

---

<sup>18</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 97.

- 1 • Anforderung 6: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten in  
2 Wirtsgesteinskörper / einschlusswirksamem Gebirgsbereich

3 Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften

- 4 • Anforderung 7: Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung  
5 • Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit (Hinweis: noch Diskussionsbedarf)  
6 • Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs  
7 gegenüber Radionukliden (Hinweis: noch Diskussionsbedarf)  
8 • Anforderung 10: Günstige hydrochemische Verhältnisse  
9 • Anforderung 11: Günstige Bedingungen für den Bau von Verschlussbauwerken (Hinweis:  
10 noch Diskussionsbedarf)

11  
12 Es wird z. Zt. noch darüber diskutiert, den Katalog der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien um  
13 weitere Kriterien zu ergänzen, deren Einordnung in die zugehörigen Gewichtungsgruppe mit  
14 Verabschiedung dieser neuen Abwägungskriterien noch erfolgen muss. In der Diskussion stehen  
15 diesbezüglich:

- 16  
17 • [Anforderung x12: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine im Deckgebirge gegenüber  
18 Radionukliden]  
19 • [Anforderung x13: Schützender Aufbau des Deckgebirges]

20  
21 Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien kommen erstmals in Schritt 2 der Phase 1 des  
22 Standortauswahlverfahrens zur Anwendung und gelten ab dann für den gesamten weiteren  
23 Abwägungsprozess bis zum Abschluss der Phase 3 mit der Auswahl des Endlagerstandorts.

24 Sie dienen in Schritt 2 der Phase 1 zunächst der Ausweisung von Teilgebieten mit günstigen geologischen  
25 Voraussetzungen. In Schritt 3 der Phase 1 sollen sie im Rahmen einer vertiefenden Abwägung zusammen  
26 mit repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und der Anwendung planungswissenschaftlicher  
27 Kriterien, dazu dienen, Standortregionen für die übertägige Erkundung auszuweisen (Abschluss Phase 1).

28 In den Phasen 2 und 3 treten auf Basis der zunehmenden standortbezogenen Informationen aus der  
29 übertägigen und untertägigen Erkundung schrittweise Sicherheitsuntersuchungen (s.a. Kapitel 6.5.2) auf  
30 Basis noch generischer Endlagerkonzepte hinzu, die mit dem Kenntnisgewinn iterativ verfeinert und an die  
31 Standortverhältnisse angepasst werden. Aus dem Vergleich der jeweils betrachteten Standortregionen bzw.  
32 Standorte ergeben sich zum Abschluss der Phase 2 Vorschläge für die untertägige Erkundung und  
33 schlussendlich der Vorschlag für den Standort mit der bestmöglichen Sicherheit (Abschluss Phase 3).

34 Anhand der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien werden in diesem Prozess Unterschiede in der  
35 Standorteignung herausgearbeitet. Ihre Gruppierung verweist dabei auf die Bedeutung des jeweiligen  
36 Kriteriums beim Einschluss der radioaktiven Abfälle und gibt daher auch Auskunft über seinen Rang  
37 innerhalb des Abwägungsprozesses: Gewichtungsgruppe 1 hat die höchste Bedeutung, gefolgt von  
38 Gewichtungsgruppe 2; Gewichtungsgruppe 3 ist beim Vergleich von Standortregionen oder Standorten zwar  
39 ebenfalls wichtig, in der Abwägungsrangfolge aber nachgeordnet.

40 In die Gewichtungsgruppe 1 (Güte des Einschussvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises) sind  
41 dabei diejenigen Abwägungskriterien eingeordnet, mit denen im Vergleich von Standortregionen oder  
42 Standorten untereinander die Qualität des Einschusses der radioaktiven Stoffe am Ort ihrer Endlagerung,  
43 sowie die Zuverlässigkeit der Nachweisführung für den Nachweis der Langzeitsicherheit bewertet werden.  
44 Beides sind im Hinblick auf die Endlagerung zentrale Aspekte die darauf hinweisen, dass

- 1 a) am potenziellen Ort der Einlagerung ein langzeitsicherer Einschluss radioaktiver Stoffe möglich ist  
2 b) dies auch im Rahmen eines Nachweisverfahrens mit hinreichender Gewissheit gezeigt und für den  
3 Nachweiszeitraum prognostiziert werden kann.

4 Das Einschlussvermögen am Ort der Einlagerung, sei es durch Ausweisung und Nachweis eines  
5 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ggf. auch mehrerer) oder durch Zusammenwirken technischer,  
6 geotechnischer und geologischer Barrieren in einer langzeitstabilen Umgebung, ist die zentrale geologische  
7 Eigenschaft des gesamten Endlagersystems, und ist insofern das primäre Standortmerkmal nach dem im  
8 Auswahlverfahren gesucht wird. Die Gewichtungsgruppe 1 ist daher für den Auswahlprozess von größter  
9 Bedeutung. Im Rahmen der Abwägung geht es dabei um den Vergleich und die Rangfolgenbildung von  
10 Standortregionen oder Standorten, bei den das Einschlussvermögen gegenüber radioaktiven Abfällen  
11 grundsätzlich erwartet werden kann. Das Fehlen des Einschlussvermögens am Ort der Einlagerung würde  
12 zum Ausschluss aus dem Verfahren führen, daher wären derartige Standorte bereits nicht mehr Gegenstand  
13 der geowissenschaftlichen Abwägung.

14 Bei der Abwägung auftretende relative Nachteile beim Einschlussvermögen oder bei der Zuverlässigkeit der  
15 Nachweisführung können nicht durch Kriterien der anderen Gewichtungsgruppen kompensiert werden.  
16 Beispielsweise lässt sich ein fehlender oder im Vergleich schwächerer einschlusswirksamer Gebirgsbereich  
17 in der Abwägung nicht gleichwertig durch ein sorptionsfähiges Deckgebirge ersetzen.

18 Gewichtungsgruppe 2 (Absicherung des Einschlussvermögens) enthält Abwägungskriterien mit denen  
19 bewertet werden kann, wie gut das Gebirge sein Einschlussvermögen gegenüber Beanspruchungen aufrecht  
20 erhält, die bei Errichtung und Betrieb von untertägigen Hohlräumen des Endlagers entstehen. Günstige  
21 Eigenschaften sind eine hohe Tragfähigkeit des Gebirges, also eine hohe Stabilität der aufzufahrenden  
22 Hohlräume, eine möglichst geringe Neigung zur Gebirgsauflockerung, eine möglichst geringe Neigung zur  
23 Bildung neuer oder Reaktivierung fossiler Wasserwegsamkeiten *[im einschlusswirksamen Gebirgsbereich]*  
24 *[durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich] [im Wirtsgesteinskörper]* sowie die Fähigkeit, auf  
25 Rissbildung mit Selbstheilungsprozessen zu reagieren. Da diese Eigenschaften bis zu einem gewissen Grad  
26 durch geotechnische Maßnahmen beim Ausbau des Endlagers verbessert und daher Abwägungsnachteile  
27 ggf. technisch kompensiert werden können, sind sie als Gewichtungsgruppe 2 der ersten Gewichtungsgruppe  
28 nachgeordnet.

29 Gewichtungsgruppe 3 enthält Abwägungskriterien, mit denen die Robustheit des Endlagersystems bewertet  
30 wird. Sie verweisen darauf, dass die Funktion des Endlagers nicht mit dem Nachweiszeitraum endet, sondern  
31 dass der Einschluss nach menschlichem Ermessen zeitlich unbegrenzt erhalten bleiben soll, und dass  
32 Eigenschaften, die dies unterstützen, in der Abwägung ansonsten gleichwertiger Standorte positiv zu werten  
33 sind. Günstige Eigenschaften in dieser Gewichtungsgruppe sind für den formalen Nachweis der  
34 Langzeitsicherheit eines Endlagers nicht zwingend erforderlich, stärken und erhöhen aber die Sicherheit des  
35 Gesamtsystems über das in den Gewichtungsgruppen 2 und 3 bewertete Einschlussvermögen hinaus, indem  
36 beispielsweise im Nahfeld der Abfälle ein günstiges Milieu zur Minimierung von Korrosion, und Gasbildung  
37 herrscht, oder die Wärme aus den Abfällen schnell und ohne Mineralumbildung in das Gestein abgeführt und  
38 dem Aufbau eines kritischen Gasdrucks entgegen gewirkt wird. Der Fähigkeit zum Radionuklidrückhalt im  
39 Gestein des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs limitiert oder verhindert den Radionuklidtransport in die  
40 Biosphäre für den Fall einer Freisetzung aus den Abfällen. Ein Deckgebirge, das den einschlusswirksamen  
41 Gebirgsbereich zusätzlich vor ungünstigen Einwirkungen (z.B. Erosion, Subrosion, glaziale Rinnen) schützt  
42 und/oder zusätzlich Radionuklide zurückhalten kann, steigert die Robustheit des Endlagersystems ebenfalls.

43 In der Zuordnung der Abwägungskriterien zu einer der Gewichtungsgruppen kommt also zum Ausdruck,  
44 dass die Abwägungskriterien im Hinblick auf die Sicherheit des auszuwählenden Standorts unterschiedliche  
45 Bedeutung haben, die z.T. auch *[konzeptspezifisch] [wirtsgesteinsspezifisch]* unterschiedlich sein kann. Die  
46 Unterschiede sind bei der Abwägung zwischen Standortregionen oder Standorten zu berücksichtigen. Auch

1 Kombinationswirkungen können abwägungsrelevant sein. Aus diesem Grund sind in jedem Prozessschritt  
2 für die darin betrachteten Standortregionen oder Standorte alle Anforderungen mit ihren zugehörigen  
3 Abwägungskriterien entsprechend dem jeweiligen Informationsstand zu betrachten und abzu prüfen. Es kann  
4 auch grundsätzlich keine der Anforderungen unter Verweis auf andere Anforderungen in der Betrachtung  
5 entfallen.

6 Für Bewertung und Vergleich der jeweils zu betrachtenden Standortregionen bzw. Standorte ist ein verbal-  
7 argumentativer Abwägungsprozess erforderlich. Formale Aggregationsregeln, insbesondere solche mit  
8 kompensatorischer Aggregation der Einzelergebnisse der Kriterienanwendung, hält die Kommission nicht  
9 für zielführend. Die abwägende vergleichende Gesamtbetrachtung aller Anforderungen erfolgt mit dem Ziel,  
10 Standortregionen bzw. Standorte mit möglichst günstiger Gesamtausprägung ihrer sicherheitsgerichteten  
11 geologischen Merkmale auszuweisen, Unterschiede anhand sicherheitsbezogener Vorteile und Nachteile der  
12 Standortregionen bzw. Standort transparent zu machen und hieraus eine Auswahl für den jeweils folgenden  
13 Prozessschritt abzuleiten. In jedem Schritt können auf Basis vorhandener Kenntnisse und des erzielten  
14 Kenntnisgewinns die Vorteile und Nachteile sowie die daraus ableitbare Sicherheit der Standorte iterativ  
15 überprüft und bewertet werden. Im Verlauf dieses Prozesses gewinnen die Ergebnisse der detaillierter  
16 werdenden Sicherheitsuntersuchungen gegenüber den Abwägungskriterien an Bedeutung. Über  
17 Sensitivitätsanalysen können robustere von weniger robusten Merkmalskombinationen unterschieden  
18 werden. Dabei sind auch Änderungen in der anfänglichen Rangfolge sowie Rücksprungmöglichkeiten zu  
19 zunächst zurückgestellten Standorten mit zu bedenken.

## 20 5.1. **Kapitel 6.5.5.1 Gewichtungsgruppe 1: Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des** 21 **Nachweises**

### 22 5.1.1. **Anforderung 1: Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser** 23 **einschlusswirksamen Gebirgsbereich**

24 Die Anforderung "kein oder langsamer Transport durch Grundwasser im Endlagerniveau" charakterisiert für  
25 die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle günstige hydrogeologische Verhältnisse. Als günstig werden  
26 diese dann bezeichnet, wenn sowohl das Grundwasserangebot an die Abfälle als auch die  
27 Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich gering ist: Ein geringes  
28 Grundwasserangebot begrenzt u.a. die Korrosion der Abfallbehälter und damit die Freisetzung von  
29 Radionukliden aus den Abfällen. Eine geringe Grundwasserbewegung ist Bedingung für einen langsamen  
30 advektiven Transport von Schadstoffen aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Als Bewertungsgröße  
31 dafür wird die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers herangezogen. Diese errechnet sich aus der  
32 Entfernung, die das Grundwasser in einer Zeiteinheit zurücklegt. Unter stagnierenden  
33 Grundwasserbedingungen kommt lediglich Diffusion als Transportmechanismus in Frage.

#### 34 Zugehörige Kriterien

- 35 • Die Grundwasserströmung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, ausgedrückt als  
36 **Abstandsgeschwindigkeit**, sollte möglichst gering, d. h. deutlich kleiner als 1 mm pro Jahr (s. Tab. 5-1),  
37 sein.
- 38 • Das **Grundwasserangebot** im einschlusswirksamen Gebirgsbereich sollte möglichst gering sein. Der  
39 einschlusswirksame Gebirgsbereich sollte daher aus Gesteinstypen bestehen, die erfahrungsgemäß eine  
40 geringe Gebirgsdurchlässigkeit aufweisen.
- 41 • Die **Diffusionsgeschwindigkeit** im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, erfasst durch den effektiven  
42 Diffusionskoeffizienten, sollte möglichst gering (kleiner  $10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s) sein.

1 Zu den Bewertungsgrößen dieser Kriterien liegen in der ersten Phase des Auswahlverfahrens voraussichtlich  
2 keine ausreichenden Informationen vor. Solange diese Situation Bestand hat, kommen ersatzweise folgende  
3 Indikatoren zur Anwendung:

4 Als Indikator für die Beurteilung von Grundwasserströmung und Grundwasserangebot werden die  
5 charakteristischen Gebirgsdurchlässigkeiten der ins Auge gefassten Wirtsgesteinstypen Steinsalz, Tonstein  
6 und Kristallin benutzt<sup>19</sup>. Da zunächst auch dazu keine Informationen vorliegen werden, kommt der  
7 Gesteinstyp selbst als Indikator für die Gebirgsdurchlässigkeit zum Einsatz<sup>20</sup>.

8

9 Indikator "Gesteinstyp" für Gebirgsdurchlässigkeit, Abstandsgeschwindigkeit und Grundwasserangebot

10 Zugehöriges Kriterium

11 Der einschlusswirksame Gebirgsbereich sollte aus Gesteinstypen bestehen, die erfahrungsgemäß geringe  
12 Gebirgsdurchlässigkeiten aufweisen (die dafür in Tab. 5-1 für die Bewertungsgröße Grundwasserangebot  
13 angegebenen Werte gelten auch für die Bewertungsgröße Abstandsgeschwindigkeit).

14 Von den potenziellen Wirtsgesteinstypen kann das jeweilige Vorhandensein von Steinsalz und Tonstein als  
15 Indikatoren für geringe Gebirgsdurchlässigkeit angesehen werden, weil die Wahrscheinlichkeit, dass  
16 Gesteinskörper dieser Gesteinstypen die geforderte geringe Gebirgsdurchlässigkeit aufweisen, relativ groß  
17 ist. Allerdings ist im Rahmen des weiteren Auswahlverfahrens zu zeigen, dass grundsätzlich nicht  
18 ausschließbare durchlässigkeitserhöhende Eigenschaften, wie Inhomogenitäten oder wassergängige  
19 Trennfugen, bei einem betrachteten Gesteinskörper nicht ausgeprägt sind bzw. keine das  
20 Einschlussvermögen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gefährdende Bedeutung haben.

21 Das Vorhandensein von Kristallingestein eignet sich nur eingeschränkt als Indikator für geringe  
22 Gebirgsdurchlässigkeit, weil Gesteinskörper dieses Gesteinstyps typischerweise durchlässigkeitserhöhende  
23 Trennfugen oder Klüfte aufweisen. Das macht die Existenz von Gesteinskörpern mit geringer  
24 Gebirgsdurchlässigkeit weniger wahrscheinlich (schließt sie aber, wie Beispiele zeigen, nicht aus) und führt  
25 ggf. zu einem anderen Sicherheitskonzept.

26 Mögliche weitere Indikatoren für das Fehlen einer Grundwasserbewegung bzw. für eine nur geringe  
27 Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, für die der AkEnd keine Kriterien  
28 abgeleitet wurden, sind:

- 29 • auf Dauer "trockenes" Gestein<sup>21</sup>
- 30 • Temperaturverteilung im tiefen Untergrund<sup>22</sup>
- 31 • teufenabhängige Zunahme der Grundwasserdichte<sup>23</sup>
- 32 • "tatsächliches" Alter des Grundwassers im einschlusswirksamen Gebirgsbereich]

33 In Phase 1 des Auswahlverfahrens sind die mit diesen Indikatoren verbundenen Sachverhalte im Rahmen der  
34 vertiefenden Abwägung zu betrachten, soweit entsprechende Informationen vorliegen.

---

<sup>19</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 114ff.

<sup>20</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 121.

<sup>21</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 113.

<sup>22</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 121ff.

<sup>23</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 126.

1 **Diffusion** in wassergesättigten Gesteinen ist gegenüber der in freiem Wasser eingeschränkt. In den die  
 2 Diffusionsgeschwindigkeit charakterisierenden effektiven Diffusionskoeffizienten gehen neben dem  
 3 begrenzten Porenvolumen zusätzlich die eingeschränkte Zugänglichkeit von Poren geringer Öffnungsweite  
 4 (Konstriktivität) und besonders die zur Verlängerung der Migrationsweges führende gewundene Form von  
 5 Poren (Tortuosität) ein.

6 Im Hinblick auf den diffusiven Stofftransport durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist sicher zu  
 7 stellen, dass die Migrationszeiten von Radionukliden möglichst dem geforderten Isolationszeitraum  
 8 entsprechen<sup>24</sup>. Daher muss die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs auf die  
 9 Diffusionsgeschwindigkeit der Radionuklide abgestimmt werden: Dazu wird als Modell eine 50 m mächtige  
 10 Barriere angenommen, die einseitig mit einer erhöhten Ausgangskonzentration eines idealen Tracers  
 11 beaufschlagt wird. Die geforderte geringe Diffusionsgeschwindigkeit bedeutet, dass die Konzentration des  
 12 Tracers bei Austritt aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich über einen Zeitraum von einer Million  
 13 Jahren unterhalb von 1 % der Ausgangskonzentration verbleibt. Dies ist bei einem effektiven  
 14 Diffusionskoeffizienten  $< 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  der Fall (Zuweisung der Werte zu den Wertungsgruppen in Tab. 5-1).<sup>25)</sup>

15

**Kommentiert [sal4]:** Fußnotentext nach Abstimmung mit D. Appel leicht abgeändert.

**Tabelle 5-1: Transport durch Grundwasser: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Grundwasserströmung	Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers [mm/a]	$< 0,1$	$0,1 - 1$	$> 1$
Grundwasserangebot	Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps [m/s]	$< 10^{-12}$	$10^{-12} - 10^{-10}$	
Diffusionsgeschwindigkeit	Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25°C [m <sup>2</sup> /s]	$< 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-10}$	$> 10^{-10}$

16

17 Zum effektiven Diffusionskoeffizienten liegen als Maß für die Diffusionsgeschwindigkeit in konkreten  
 18 Gesteinsvorkommen zu Beginn des Standortauswahlverfahrens keine ausreichenden Information vor. Da der  
 19 Diffusionskoeffizient (wie auch die Gebirgsdurchlässigkeit) generell vom Porenvolumen des Gesteins  
 20 abhängig ist, kann hilfsweise die absolute Porosität als Indikator für die Diffusionsgeschwindigkeit in Frage  
 21 kommen.

<sup>24</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 127ff.

<sup>25</sup> Wichtige Aspekte der sicherheitlichen Beurteilung von Diffusion, die im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen zu behandeln sind (u.a. Abhängigkeit des Diffusionskoeffizienten vom diffundierenden Ion, von der Temperatur und vom Gesteinsgefüge sowie die Interaktion mit Sorption), werden hier nicht berücksichtigt.

1 Dies trifft bei Tonstein zu<sup>26</sup>). Hier nehmen Diffusionsgeschwindigkeit und effektiver Diffusionskoeffizient  
 2 wie die Porosität mit zunehmendem Kompaktions- bzw. Verfestigungsgrad des Gesteins generell ab, so dass  
 3 beide Eigenschaften als Indikatoren in Frage kommen:

4 Indikatoren "absolute Porosität" und "Verfestigungsgrad" für Diffusionsgeschwindigkeit bzw. effektiven  
 5 Diffusionskoeffizienten bei Tonstein

6 Zugehöriges Kriterium

7 Der einschlusswirksame Gebirgsbereich sollte aus Gestein(en) mit geringer absoluter Porosität und hohem  
 8 diagenetischen Verfestigungsgrad bestehen.

9

**Tabelle 5-2: Transport durch Grundwasser: Bewertungsgrößen der Diffusionsgeschwindigkeit für den Wirtsgesteinstyp Tonstein**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe <sup>27)</sup>		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Diffusionsgeschwindigkeit	Absolute Porosität	< 20 %	20 % - 40 %	> 40 %
	Verfestigungsgrad	Tonstein	fester Ton	halbfester Ton

10

11 Die Abhängigkeit von Diffusionsgeschwindigkeit bzw. effektivem Diffusionskoeffizienten (auch der  
 12 Durchlässigkeit) von der Porosität ist grundsätzlich auch bei kristallinen Gesteinen erkennbar. Quantitative  
 13 Zusammenhänge zwischen den Parametern sind allerdings nicht immer deutlich, selbst wenn eine  
 14 Korrelation zwischen dem effektiven Diffusionskoeffizienten und der Durchlässigkeit festgestellt wird<sup>28</sup>.  
 15 Belastbare Aussagen zur Unterscheidung und Abgrenzung unterschiedlich günstiger Gesteinskörper im  
 16 Hinblick auf die Diffusionsgeschwindigkeit sind daher allein auf Basis von Indikatoren, also ohne gezielte  
 17 Erhebung der effektiven Diffusionskoeffizienten, nicht möglich.

18 Bei unversehrtem Steinsalz ist die Diffusionsgeschwindigkeit gelöster (und gasförmiger) Stoffe wegen der  
 19 sehr geringen Porosität sehr gering. Damit liegen für diesen Fall günstige Voraussetzungen für die  
 20 Standortauswahl vor.

21

<sup>26</sup> Umfassende Darstellung der Ableitung und Anwendung von Indikatoren bei: MAZUREK, M., GAUTSCHI, A., MARSCHALL, P., VIGNERON, G., LEBON, P., DELAY, J. (2008): Transferability of geoscientific information from various sources (study sites, underground rock laboratories, natural analogues) to support safety cases for radioactive waste repositories in argillaceous formations.- Physics and Chemistry of the Earth 33 (2008), S. 95-105, Elsevier Ltd.

<sup>27</sup> Die für die absolute Porosität festgelegten Grenzen zwischen den Wertungsgruppen sind als näherungsweise gültige Angaben zu verstehen, in strengem quantitativen Sinn treffen sie aber nicht für alle Tonsteinformationen zu.

<sup>28</sup> Kuva, J., Voutilainen, M., Kekäläinen, P., Siitari-Kauppi, M., Timonen, J. & Koskinen, L. (2014): Gas Phase Measurements of Porosity, Diffusion Coefficient, and Permeability in Rock Samples from Olkiluoto Bedrock, Finland.- Transp Porous Med, DOI 10.1007/s11242-014-0432-2, Springer Science+Business Media.-

1 **5.1.2. Anforderung 2: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper, insbesondere von**  
2 **Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich**

3 Unter dem Begriff "Konfiguration" werden in erster Linie die Ausdehnung und Funktion des eine günstige  
4 geologische Gesamtsituation bestimmenden Gesteinskörpers oder - bei mehreren Gesteinskörpern - die  
5 geometrische Anordnung der durch Ausdehnung und Funktion charakterisierten beteiligten Gesteinskörper  
6 verstanden. Hinzu kommen die Tiefenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs innerhalb der  
7 Geosphäre sowie die mögliche Beeinträchtigung seiner Barrierewirkung durch die Nähe zu Gesteinskörpern  
8 mit erhöhtem hydraulischem Potenzial.

9 Ausdehnung, Anordnung und Tiefenlage von Gesteinskörpern sind in der Regel einfacher erhebbar als  
10 bestimmte Gesteinseigenschaften oder die hydraulischen und hydrochemischen Standortverhältnisse. Daher  
11 kommt der Konfiguration sicherheitsrelevanter Gesteinskörper in der geologischen Barriere als früh  
12 erkennbarem Merkmal einer "günstigen geologischen Gesamtsituation" im Rahmen des Auswahlverfahrens  
13 besondere Bedeutung zu.

14 Zugehörige Kriterien

- 15 • Die **barrierewirksamen Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs** müssen über eine  
16 **Mächtigkeit** verfügen, die eine Isolation der Radionuklide über einen Zeitraum einer Million Jahren  
17 bewirkt (rechnerische Ableitung unter Voraussetzung idealer Barrierewirkung).
- 18 • Der **Endlagerbereich** (Konfigurationstyp A<sup>29</sup>, siehe auch Abbildung 5-1) **bzw. der Wirtsgesteinskörper**  
19 (Konfigurationstyp Ba<sup>30</sup>, siehe auch Abbildung 5-1) **sollte** von den barrierewirksamen Gesteinen des  
20 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs **umschlossen sein**.

21 Handelt es sich bei Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich um unterschiedliche  
22 Gesteinskörper und wird der Wirtsgesteinskörper nicht vollständig vom einschlusswirksamen  
23 Gebirgsbereich umschlossen (Konfigurationstyp Bb<sup>31</sup> siehe auch Abbildung 5-2), dann kann die  
24 Anordnung beider Einheiten allein selbst dann keinen ausreichenden Beitrag zu einer "günstigen  
25 geologischen Gesamtsituation" leisten, wenn sie die geforderten Gesteinseigenschaften aufweisen.

26 Zumindest kann die Qualität der barrierewirksamen Funktion des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches  
27 aus Anordnung und Ausdehnung der beteiligten Gesteinskörper nicht ohne weiteres abgeleitet werden. In  
28 erster Näherung dürfte die einschließende Wirkung einer solchen Konfiguration davon abhängig sein, wie  
29 weitgehend das Wirtsgestein vom einschlusswirksamen Gebirgsbereich umschlossen ist und in welcher  
30 hydraulischen Position sich (eine oder mehrere) konfigurationsbedingte Fehlstellen im  
31 einschlusswirksamen Gebirgsbereich befinden, durch die das Grundwasser im Wirtsgestein auf Grund der  
32 Konfiguration in die regionale Grundwasserbewegung einbezogen sein kann.

33 Eine "günstige geologische Gesamtsituation" muss sich umso mehr aus konfigurationsunabhängigen  
34 Gegebenheiten einer Region bzw. eines Standortes ergeben, je "offener" die Anordnung von  
35 Wirtsgesteinskörper und einschlusswirksamem Gebirgsbereich ist. Denn dann müssen andere  
36 Gegebenheiten, wie beispielsweise große Tiefe und günstige hydraulische und hydrochemische  
37 Bedingungen im Einlagerungsbereich des Endlagers für den Einschluss der Abfälle im Endlager sorgen.  
38 Eine solche, dem Konfigurationstyp "Bb" entsprechende Situation könnte beispielsweise bei einer  
39 weiträumigen Überlagerung von tief liegendem kristallinem Wirtsgestein durch barrierewirksame Salz-  
40 oder Tonsteinfolgen gegeben sein (siehe auch Abbildung 5-2 oben).

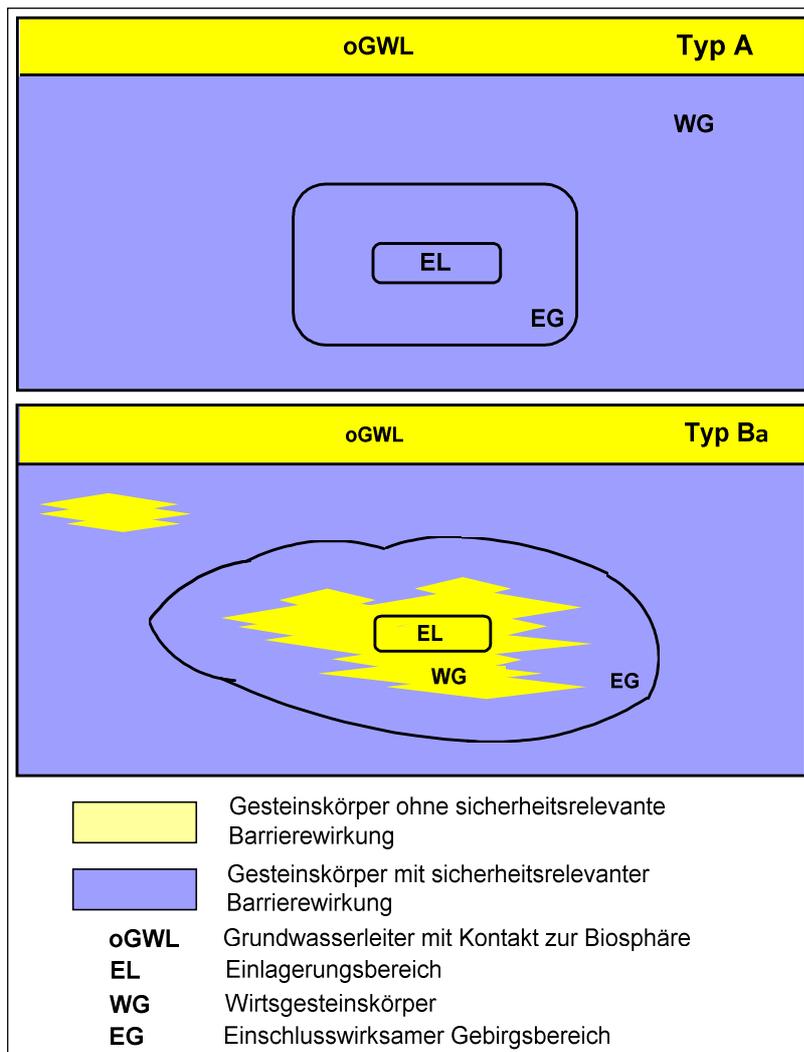
---

<sup>29</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 130ff.

<sup>30</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 130ff.

<sup>31</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 130ff.

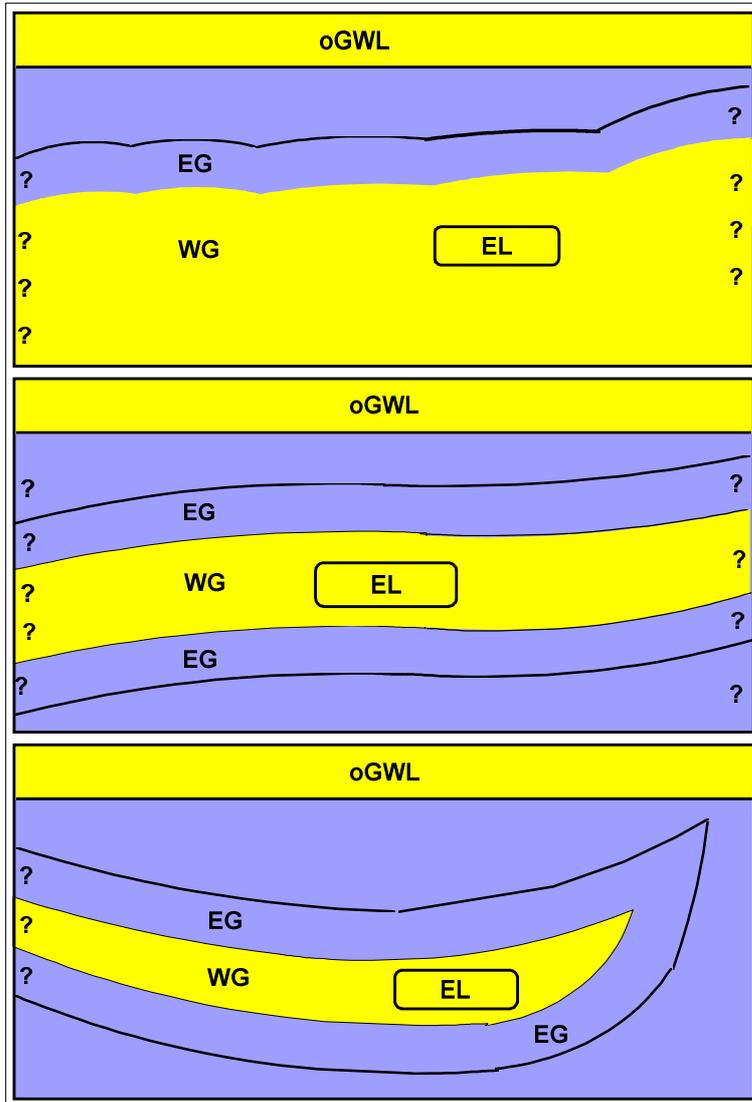
Abbildung 5-1: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ A und Typ Ba<sup>32</sup>



1

<sup>32</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 134.  
 Erläuterung zu Abbildung 5-1: 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 5-2: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ Bb<sup>33</sup>



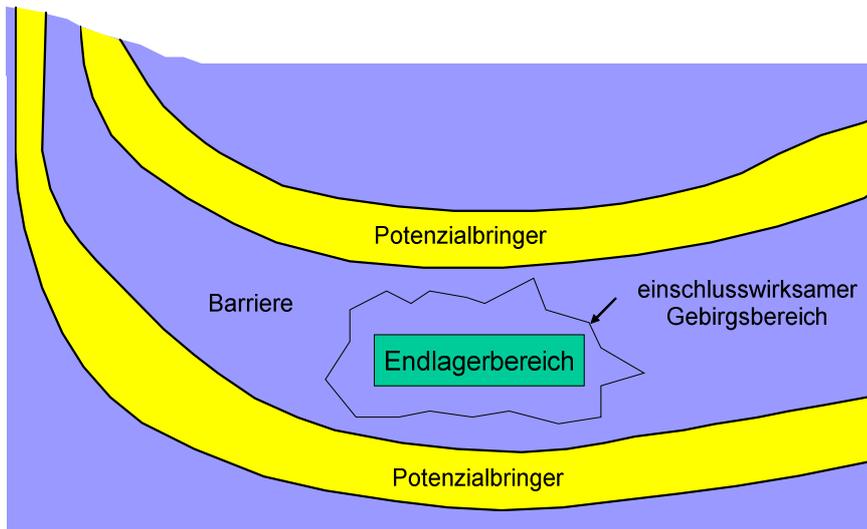
1

<sup>33</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 135.  
 Erläuterung zu Abbildung 5-2: 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 Abbildung 5-1.

- 1 • Die **Teufe der Oberfläche des** erforderlichen **einschlusswirksamen Gebirgsbereichs** sollte unter  
2 einschränkender Beachtung tiefenabhängiger gebirgsmechanischer Risiken möglichst groß sein, um die  
3 **Robustheit** des Endlagersystems gegenüber natürlichen Einwirkungen auf den einschlusswirksamen  
4 Gebirgsbereich von außen und **Sicherheitsreserven** zu gewährleisten.
- 5 Tiefenabhängige **gebirgsmechanische Risiken** bestehen **insbesondere beim Wirtsgesteinstyp Ton /**  
6 **Tonstein**. Sie werden außer durch die tiefenabhängige Gebirgsdruck- und Temperaturzunahme auch durch  
7 die petrographische und mineralogische Zusammensetzung, den Grad der Konsolidierung des Gesteins  
8 und die örtlichen Gebirgsspannungsverhältnisse beeinflusst.
- 9 Bei der Anwendung der Kriterien sind gegebenenfalls regionsspezifische Einwirkungsszenarien zu  
10 beachten. Deren etwaigen nachteiligen Auswirkungen auf den Einschluss ist dann gegebenenfalls durch  
11 die **rechtzeitig abgestimmte Vorgabe** einer regionsbezogenen maximalen Tiefe und bei der  
12 bewertungsrelevanten Eigenschaft "Robustheit und Sicherheitsreserven" in Tabelle 5-3 durch die Vorgabe  
13 einer abweichenden **regionsbezogenen Mindesttiefe** zu begegnen. Ein Beispiel hierfür ist die für eine  
14 künftige Eiszeit zu besorgende Entstehung tiefer subglazialer Rinnen in Teilgebieten der norddeutschen  
15 Tiefebene.
- 16 • Der **einschlusswirksame Gebirgsbereich** muss über eine **räumliche Ausdehnung** verfügen, die größer  
17 ist als das für das Endlager rechnerisch erforderliche Volumen. Damit besteht Spielraum für eine flexible  
18 Endlagerauslegung, u. a. um Platz brauchende Rückholungskonzepte berücksichtigen zu können,  
19 einschließlich Sicherheitsabständen. Eingangsgröße für die Abwägung ist die bei einschlägiger Lagerung  
20 benötigte Fläche.
- 21 • Bei potenziellen Endlagerstandorten mit **Tonstein** als Wirtsgestein kann der einschlusswirksame  
22 Gebirgsbereich von wasserleitenden Formationen mit erhöhtem hydraulischem Potenzial  
23 ("Potenzialbringer") unter- und/oder überlagert werden (s. Abb. 5-3). Ein dadurch verursachter  
24 hydraulischer Gradient kann unter Umständen zur **Induzierung bzw. Verstärkung der**  
25 **Grundwasserströmung** und damit auch des Radionuklidtransports **im einschlusswirksamen**  
26 **Gebirgsbereich** führen. Die daraus resultierende Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers im  
27 einschlusswirksamen Gebirgsbereich 1 mm/a nicht überschreiten (s. Kriterium Grundwasserströmung in  
28 Kapitel 5.1.1).
- 29 Sind mögliche Potenzialbringer vorhanden, ist daher der Einfluss des resultierenden Gradienten auf  
30 Grundwasserbewegung und Radionuklidtransport im einschlusswirksamen Gebirgsbereich zu beurteilen:
- 31 **Eine quantitative Beurteilung der möglicherweise induzierten Abstandsgeschwindigkeit** kann  
32 erfahrungsgemäß aber erst im Rahmen vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen erfolgen], wenn  
33 entsprechende Informationen vorliegen. Bis dahin können - bei geeigneter Datenlage - für die (vorläufige)  
34 Beurteilung einer möglichen Induzierung bzw. Verstärkung der Grundwasserbewegung im  
35 einschlusswirksamen Gebirgsbereich und den abwägenden Vergleich von Standortregionen / Standorten  
36 ersatzweise folgende Indikatoren eingesetzt werden:
- 37 Indikator "Potenzialbringer"
- 38 Anschluss von wasserleitenden Schichten in Nachbarschaft zu einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich  
39 aus Tonstein an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet<sup>34</sup> (Abb. 5.3).
- 40

<sup>34</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 144.

Abbildung 5-3: Schematische Darstellung von Potenzialgebieten und Endlagerbereich<sup>35</sup>



1

2 Zugehörige Kriterien

- 3 • Ein Anschluss an ein hohes hydraulisches Potenzial sollte möglichst nicht gegeben sein. Das ist  
4 insbesondere dann der Fall, wenn in unmittelbarer Nähe unterhalb und oberhalb des  
5 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteinskörpers keine wasserleitenden Schichten  
6 mit hohem Potenzial (bzw. hoher Potentialdifferenz zwischen ihnen) vorhanden sind.
- 7 • Der hydraulische Widerstand der wasserleitenden Schicht(en) zwischen dem das hohe Potenzial  
8 verursachenden Gebiet und der Endlagerposition sollte groß sein, d. h. der Abstand sollte groß und die  
9 Gebirgsdurchlässigkeit klein sein.

10

11 Indikator: Auffällige hydraulische Potenziale

12 Hydraulische Potenziale im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. Wirtsgesteinskörper aus Tonstein,  
13 die auffällig von der zu erwartenden hydrostatischen Potenzialverteilung abweichen und / oder deutliche  
14 Unterschiede zu benachbarten Grundwasser leitenden Gesteinskörpern aufweisen, können ein Hinweis auf  
15 geringe Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. Wirtsgesteinskörpers und  
16 damit auf günstige hydraulische Barrierewirkung sein.

17 Das gilt dann, wenn gezeigt werden kann, dass die aktuell und in der jüngeren geologischen  
18 Vergangenheit bestehenden hydraulischen Verhältnisse (hydraulische Eigenschaften der Gesteinskörper,  
19 Potentialdifferenzen) nicht ausgereicht haben, um in fernerer geologischer Vergangenheit verursachte  
20 anomale Potenziale bzw. Potentialunterschiede abzubauen. Voraussetzung für eine solche Interpretation

<sup>35</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1, S. 143.

- 1 ist, dass die Auffälligkeiten für die gesamte geforderte Fläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs  
 2 gelten und die Ursachen dafür plausibel abgeleitet werden können.  
 3

**Tabelle 5-3: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Barrierenwirksamkeit	Barrierenmächtigkeit [m]	> 150	100 – 150	50 -100
	Grad der <b>Umschließung</b> des Endlagerbereichs bzw. des Wirtsgesteinskörpers durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Vollständig, Typ A und Ba,  s. Beispiel in Abbildung 5-1	Unvollständig, Typ Bb, kleinere, Fehlstellen, in unkritischer Position  s. Beispiel in Abbildung 5-2 Unten	Unvollständig; Typ Bb, größere Fehlstellen, in unsicherer Position  s. Beispiel in Abbildung 5-2 Oben und Mitte
Robustheit und Sicherheitsreserven (über die Mindestanforderung aus Kap. 4.3 hinaus.	<b>Teufe</b> der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter Geländeoberfläche]	> 500	300 – 500	
Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	<b>Flächenhafte</b> Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit [Vielfaches des Mindestflächenbedarfs (z. B. für Salz 3 km <sup>2</sup> und Ton 10 km <sup>2</sup> )] <sup>36</sup>	>> 2-fach	etwa 2-fach	<< 2-fach
<b>Indikator "Potenzialbringer" bei Tonstein</b> Anschluss von wasserleitenden Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteinskörpers an ein hohes hydraulisches	Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung bzw. Verstärkung der Grundwasserbewegung im Einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Keine Grundwasserleiter als mögliche Potenzialbringer in unmittelbarer Nachbarschaft zum Wirtsgestein /		Grundwasserleiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden

<sup>36</sup> Die genauen Flächenbedarfe sind noch festzulegen!

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Potenzial verursachendes Gebiet	ermöglichen können.	einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden		

1

2 **5.1.3. Anforderung 3: Gute räumliche Charakterisierbarkeit**

3 Die zuverlässige räumliche Charakterisierung der wesentlichen direkt oder indirekt für den Einschluss der  
4 Abfälle zuständigen geologischen Barrieren, insbesondere des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw.  
5 des Wirtsgesteinskörpers, ist Voraussetzung für belastbare Abwägungsentscheidungen im Rahmen des  
6 Auswahlverfahrens sowie für zuverlässige spätere Sicherheitsbewertungen.

7 Die räumliche Charakterisierbarkeit beruht auf der **Ermittelbarkeit** der relevanten Gesteinstypen und ihrer  
8 Eigenschaften und der **Übertragbarkeit** dieser Eigenschaften durch Extrapolation bzw. Interpolation. Beide  
9 hängen maßgeblich von Entstehungsbedingungen der Gesteinstypen oder / und ihrer späteren Überprägung  
10 ab.

11 Zugehörige Kriterien

12 **Ermittelbarkeit**

- 13 • Die **charakteristischen Eigenschaften** der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den  
14 Wirtsgesteinskörper<sup>37</sup> aufbauenden **Gesteinstypen** sollten eine **geringe Variationsbreite** aufweisen und  
15 **räumlich möglichst gleichmäßig verteilt** sein.
- 16 • **Bei tektonisch überprägten geologischen Einheiten** sollte die **Überprägung möglichst gering sein**.  
17 Das Ausmaß der Überprägung wird abgeleitet aus den Lagerungsverhältnissen unter Berücksichtigung  
18 von **Bruch- und Falten tektonik. Salzstrukturen** sollten möglichst großräumige Verfaltungen von  
19 solchen Schichten aufweisen, die unterschiedliche mechanische und hydraulische Eigenschaften haben.

20

21 **Übertragbarkeit**

- 22 • **Günstige Verhältnisse** sind dadurch gekennzeichnet, dass die Gesteine des einschlusswirksamen  
23 Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteinskörpers **großräumig einheitlich oder sehr ähnlich ausgebildet**  
24 sind.

25 Im Hinblick auf die Einheitlichkeit der Gesteinsausbildung bestehen zwischen den verschiedenen  
26 genetischen Gesteinsgruppen (Sedimentgesteine, magmatische Gesteine und metamorphe Gesteine)  
27 deutliche Unterschiede. Zu ihrer genaueren Bewertung bedarf es daher unterschiedlicher  
28 Bewertungsmaßstäbe. Deren abschließende Spezifizierung ist erst nach Kenntnis des Gesteinstyps des  
29 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und gegebenenfalls des Wirtsgesteins möglich. Insofern ist die

<sup>37</sup> Bei der Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle in Salzstöcken des norddeutschen Tieflands wird das Wirtsgestein vom "Hauptsalz" der Staßfurt-Folge gebildet.

- 1 Festlegung der Wertungsgruppen für Sedimentgesteine und metamorphe Gesteine auf Basis des Fazies-
- 2 Begriffs vorläufig.
- 3

**Tabelle 5-4: Gute räumliche Charakterisierbarkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Ermittelbarkeit der Gesteinstypen und ihrer charakteristischen Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper	Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper	gering	deutlich, aber bekannt bzw. zuverlässig erhebbar	erheblich und/oder nicht zuverlässig erhebbar
	Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper und ihrer Eigenschaften	gleichmäßig	kontinuierliche, bekannte räumliche Veränderungen	diskontinuierliche, nicht ausreichend genau vorhersagbare räumliche Veränderungen
	Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit	weitgehend ungestört (Störungen im Abstand > 3 km vom Rand des ewG), flache Lagerung	wenig gestört (weitständige Störungen, Abstand 100 m bis 3 km vom Rand des ewG), Flexuren	gestört (engständig zerblockt, Abstand < 100 m), gefaltet
Übertragbarkeit der Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	Fazies regional einheitlich	Fazies nach bekanntem Muster wechselnd	Fazies nach nicht bekanntem Muster wechselnd

4

5 **5.1.4. Anforderung 4: Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität der günstigen**  
6 **Verhältnisse**

7 Bei der Beurteilung günstiger geologischer Gesamtsituationen genügt es nicht, die aktuellen Verhältnisse zu  
8 ermitteln und räumlich zu charakterisieren; vielmehr müssen zur Identifizierung und Einschätzung  
9 sicherheitsrelevanter Langzeitveränderungen auch verlässliche Voraussagen über die zukünftige  
10 Entwicklung der **geologischen** Verhältnisse möglich sein. Die Anforderung der guten Prognostizierbarkeit  
11 ist daher eine wesentliche Voraussetzung für den Nachweis der langfristigen Stabilität der günstigen  
12 geologischen Verhältnisse. Sie bezieht sich auf das gesamte Endlagersystem. Sie gilt also nicht nur bei  
13 Einzelkriterien, sondern übergreifend bei der Gesamtheit der geowissenschaftlichen Kriterien.

1 Prognosen über den geforderten Isolationszeitraum von einer Million Jahren erfordern eine rückblickende  
 2 Betrachtung über weit mehr als eine Million Jahre. Im Hinblick auf Prognostizierbarkeit günstig sind  
 3 geologische Gesamtsituationen, deren Entwicklungsgeschichte sich über lange Zeiträume zurückverfolgen  
 4 lässt und bei denen insbesondere keine wesentliche Veränderung der sicherheitsrelevanten Merkmale  
 5 „Mächtigkeit“, „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zu  
 6 verzeichnen ist.

7 Zugehöriges Kriterium

- 8 • Die für die langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse wichtigen sicherheitlichen Merkmale,  
 9 insbesondere "Mächtigkeit", flächenhafte bzw. räumliche "Ausdehnung" und "Gebirgsdurchlässigkeit" des  
 10 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, sollten sich seit einigen Millionen Jahren nicht wesentlich  
 11 verändert haben.

12

**Tabelle 5-5: Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	Ungünstig
Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse	Veränderung <u>der wesentlichen sicherheitstragenden Merkmale:</u> „Mächtigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit über einen Zeitraum > 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit über den Zeitraum von 1 bis 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit über einen Zeitraum bis 1 Mio. Jahre
	Veränderung <u>der wesentlichen sicherheitstragenden Merkmale:</u> „Ausdehnung“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit über einen Zeitraum > 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit über den Zeitraum von 1 bis 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit über einen Zeitraum bis 1 Mio. Jahre
	Veränderung <u>der wesentlichen sicherheitstragenden Merkmale, hier:</u> „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale in der Vergangenheit

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	Ungünstig
		über einen Zeitraum > 10 Mio. Jahre	über den Zeitraum von 1 bis 10 Mio. Jahre	über einen Zeitraum bis 1 Mio. Jahre

1 **5.2. Kapitel 6.5.5.2 Gewichtungsgruppe 2: Absicherung des Isolationsvermögens**

2 **5.2.1. Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen**

3 Die mit der Forderung nach günstigen gebirgsmechanischen Voraussetzungen verbundene Zielsetzung  
4 besteht aus geotechnischer bzw. gebirgsmechanischer Sicht darin, im anstehenden Gebirge ein standsicheres  
5 Grubengebäude mit Infrastrukturgrubenbauen und Endlagerungshohlräumen ohne nachhaltige Schädigung  
6 des umgebenden Gebirges (Rissbildung) sowie mit möglichst geringem Aufwand an technischen  
7 Sicherungsmitteln (kein tragender Ausbau) für die jeweilig vorgesehene Betriebszeit auslegen zu können.

8 Darüber hinaus sollten durch anthropogene Einwirkungen in der Betriebszeit und in der Nachbetriebszeit  
9 keine für den Erhalt der Barrierenintegrität nachteiligen mechanischen, thermischen oder hydraulischen  
10 Prozesse induziert werden (z. B. mechanisch oder thermisch bedingte Rissbildungen, Fluidströmungen).  
11 Insbesondere sollen **geotechnische Barrieren**, wie z. B. Streckendammbauwerken oder  
12 Schachtverschlussbauwerke, **später** entsprechend dem jeweiligen Stilllegungskonzept **funktionsfähig so**  
13 **hergestellt werden können**, dass die Langzeitsicherheit gewährleistet ist

14 Daher ist eine geomechanische Situation anzustreben, bei der im Lauf der Zeit die Folgewirkungen des  
15 anthropogenen Eingriffs (Schacht- und Streckenauffahrung) in das Gebirge mit Entfestigung und  
16 Auflockerung des Gesteinsgefüges und Ausbildung von Sekundärpermeabilitäten in der Bau- und  
17 Betriebszeit möglichst gering sind und darüber hinaus im Bereich von geotechnischen Barrieren längerfristig  
18 nach der Stilllegung wieder vermindert und schließlich bei jederzeitigem Erhalt der Barrierenintegrität  
19 eliminiert werden. Für die Ableitung von Beurteilungsgrößen bzw. Indikatoren zur Überprüfung der  
20 Einhaltung der Forderung nach günstigen gebirgsmechanischen Voraussetzungen werden zunächst  
21 Sachverhalte identifiziert, die eine im Sinne eines sicheren Einschlusses günstige Situation charakterisieren  
22 und zur Identifizierung der entsprechenden Gebirgsverhältnisse herangezogen werden können:

- 23 • Über eine Kontursicherung hinausgehend sollte kein tragender Ausbau erforderlich sein, um mit der  
24 Eigentragfähigkeit des Gebirges zusammen standsichere Grubenbaue zu erhalten.
- 25 • In den geologischen Barrieren sollten durch die Auffahrung des Endlagers und den Ausbau keine die  
26 Langzeitsicherheit beeinträchtigenden Sekundärpermeabilitäten erzeugt werden
- 27 • Die Funktionstüchtigkeit von geotechnischen Barrieren (z. B. Querschnittabdichtungen) sollte durch  
28 konturnahe Gebirgsentfestigung nicht über ein unvermeidbares Maß hinaus herabgesetzt werden

29 Ausgehend von diesen Sachverhalten<sup>38</sup> werden zwei Indikatoren für das Vorliegen von in diesem Sinne  
30 günstigen geomechanischen Verhältnissen formuliert, auf die die unten genannten Kriterien ausgerichtet  
31 sind:

32 Indikator 1

<sup>38</sup> Die Option, die Probleme größerer Tiefe (massiver Ausbau und mögliche Folgen für Langzeitsicherheit) zugunsten größerer Einlagerungstiefe in Kauf zu nehmen, wurde vom AkEnd nicht betrachtet.

1 Das Gebirge wirkt geomechanisch als Haupttragelement.

2 Das Gebirge wird als **Haupttragelement** angesehen, wenn von ihm die Beanspruchung aus Auffahrung und  
3 Betrieb ohne planmäßigen tragenden Ausbau bei verträglichen Deformationen aufgenommen werden kann  
4 (abgesehen von einer Kontursicherung, z. B. **sehr wenig** Anker - Maschendraht).

5 Indikator 2

6 Es liegt keine mechanisch bedingte Sekundärpermeabilität außerhalb einer (unvermeidbaren) konturnah  
7 entfestigten Auflockerungszone vor.

8 Außerhalb einer konturnahen Auflockerungszone sind Sekundärpermeabilitäten ohne erhebliche Eingriffe in  
9 das Gebirge nicht **detektierbar** und bedingen daher zusätzliche, aber bei entsprechender Planung  
10 grundsätzlich vermeidbare Unsicherheiten in späteren Sicherheitsbetrachtungen. Die Prognostizierbarkeit der  
11 geohydraulischen Situation im barrierewirksamen Teil des Gebirges wird dadurch herabgesetzt.

12 Bei der planmäßigen Beschränkung der Gebirgsentfestigung und Gebirgsauflockerung auf konturnahe  
13 Bereiche ist die intakte geologische Barriere in ihrer räumlichen Ausdehnung zumindest für den Ist-Zustand  
14 eindeutig charakterisierbar (durch Berechnungen) und exemplarisch belegbar (durch Felduntersuchungen).

15 Eine über den Konturbereich hinausgehende Gebirgsentfestigung muss durch entsprechende  
16 Endlagerplanung zwingend vermieden werden.

17

18 Zugehöriges Kriterium

19 • Die Neigung zur Ausbildung mechanisch induzierter Sekundärpermeabilitäten im Wirtsgestein / im  
20 einschlusswirksamen Gebirgsbereich außerhalb einer konturnahen entfestigten Auflockerungszone um die  
21 Endlagerhöhlräume sollte möglichst gering sein.

22

23 Das Vorgehen bei der Kriterienentwicklung und die Herleitung der Beurteilungsmaßstäbe wird im AkEnd-  
24 Bericht<sup>39</sup> bzw. in den dort zugrunde gelegten Arbeiten ausführlich beschrieben. Danach besteht bei  
25 Berücksichtigung bestimmter **gebirgsartbezogener** Vorgaben ein Zusammenhang zwischen Teufenlage  
26 eines Grubenbaus und der Gebirgsfestigkeit, die zur Beurteilung der Neigung zur Ausbildung von  
27 Sekundärpermeabilitäten genutzt werden kann. Bei der Anwendung des Abwägungskriteriums wird  
28 zwischen Gesteinen mit elastisch-sprödem und elastisch-gering plastischem / gering kriechfähigem  
29 Materialverhalten einerseits und Gesteinen mit ausgeprägtem Kriechverhalten andererseits unterschieden.

30 **5.2.2. Anforderung 6: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten in**  
31 **Wirtsgesteinskörper / einschlusswirksamem Gebirgsbereich**

32 Schadstofffreisetzung aus dem tiefen geologischen Untergrund in die Biosphäre kann insbesondere über die  
33 Migration fluider Phasen erfolgen, und zwar auf im Gebirge primär bereits vorhandenen Wegsamkeiten, auf  
34 sekundär durch den anthropogenen Eingriff (Bau und Betrieb des Endlagers) bedingten Wegsamkeiten oder  
35 auf durch zukünftige geogene Einwirkungen induzierten Wegsamkeiten.

36 Eine günstige geologische Gesamtsituation ist daher u. a. dann gegeben, wenn der einschlusswirksame  
37 Gebirgsbereich grundsätzlich eine nur geringe Neigung zur Ausbildung von Wegsamkeiten aufweist.

---

<sup>39</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1.

1 Mechanismen für die Ausbildung von Wegsamkeiten können Gefügeauflockerungen infolge  
2 thermomechanischer Beanspruchung (Rissaufweitungen, Rissbildungen) und selektiver Auflösung von  
3 Gesteinspartien infolge Einwirkung lösungsfähiger Wässer (geochemisch reaktives Milieu im Rissbereich)  
4 sein. Hier bleibt die Kriterienentwicklung auf den Mechanismus mechanisch bedingter Rissaufweitung /  
5 Rissbildung beschränkt. Die **selektive Auflösung von Gesteinspartien** infolge Einwirkung lösungsfähiger  
6 Wässer (geochemisch reaktives Milieu im Rissbereich) wird hier nicht betrachtet.

7 Zur weiteren Spezifizierung dieser Anforderung erscheint es plausibel, davon auszugehen, dass sowohl  
8 grundsätzliche Gesteinseigenschaften als auch die Relation zwischen schädigungsfreier  
9 Gesteinsbeanspruchbarkeit und vorhandener bzw. zu erwartender Gesteinsbeanspruchung in Betracht zu  
10 ziehen sind. Ausgangspunkt für die weiteren Betrachtungen ist der Ansatz, dass auch in derzeit gering  
11 permeablen bis impermeablen Gebirgsformationen zusätzliche Rissysteme entstehen können und zwar  
12 dann, wenn unter der Einwirkung zukünftiger geogener und/oder anthropogener Beanspruchungen

- 13 • die Gesteine nicht hinreichend tragfähig sind, um die aufgeprägten Beanspruchungen ohne Überschreitung  
14 der Zug- sowie Dilatanz- bzw. Bruchfestigkeit aufzunehmen,
- 15 • die Gesteine kein hinreichendes Spannungsrelaxationsvermögen aufweisen, um bruchlos durch einen  
16 deformationsbegleiteten Spannungsumlagerungsprozess mit Beanspruchungsabbau die äußeren Lasten  
17 aufzunehmen,
- 18 • die Gesteine trotz eines ausgeprägt plastisch-viskosen Verhaltens beanspruchungs- und  
19 deformationsbedingt Gefügeauflockerungen und Gefügeentfestigungen erfahren.

20 In allen diesen Fällen reagieren die Gesteine auf die äußeren Lasten mit der Ausbildung von neuen bzw. der  
21 Weiterentwicklung von schon bestehenden Fissuren (Mikro- bis Makrorissen). Diese Sekundärrisse führen  
22 dann auch bei einem primär gering permeablen bzw. impermeablen Gestein nach einer hinreichenden  
23 Vernetzung zur Ausbildung einer möglicherweise unvertretbar großen Sekundärpermeabilität.

24 Da die Anforderung „geringe Neigung zur Rissbildung“ nicht unmittelbar in ein an Maß und Zahl  
25 orientiertes und damit einer Abwägung zugängliches Kriterium umgesetzt werden kann, werden zunächst  
26 Eigenschaften abgeleitet, die jeweils einzelne Aspekte dieser zentralen Anforderung erfassen und für die  
27 dann nachfolgend Kriterien formuliert werden können. Vorhandene generelle Kenntnisse zu Gesteins- und  
28 Gebirgseigenschaften unter geotektonischer und endlagerrelevanter Beanspruchung legen zur näheren  
29 Ausformung der Anforderung die thesenartige Formulierung folgender Sachverhalte als Eigenschaften nahe:

#### 30 Zugehörige Kriterien

- 31 • Die **Veränderbarkeit der Gebirgsdurchlässigkeit** sollte **möglichst gering** sein. Dazu sollte die  
32 repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gleich der repräsentativen  
33 Gesteinsdurchlässigkeit sein<sup>40</sup>.
- 34 • Die **Barrierenwirkung** der Gebirgsformation gegenüber der Migration von Flüssigkeiten oder Gasen  
35 (unter geogener und auch teilweise anthropogener Beanspruchung) sollte **aus** geowissenschaftlicher,  
36 **geotechnischer oder bergbaulicher Erfahrung ableitbar** sein. Folgende Sachverhalte können zur  
37 Einschätzung verwendet werden:
  - 38 - Rezente Existenz als wasserlösliches Gestein
  - 39 - Fossile Fluideinschlüsse
  - 40 - Unterlagernde wasserlösliche Gesteine

---

<sup>40</sup> Dies bedeutet, dass das Gebirge keine bei der Bestimmung der Gesteinsfestigkeit nicht erfassbare Trennfugen / Klüfte aufweisen darf.

- 1 - Unterlagernde Vorkommen flüssiger oder gasförmiger Kohlenwasserstoffe
- 2 - Heranziehung als hydrogeologische Schutzschicht bei Gewinnungsbergwerken
- 3 - Aufrechterhaltung der Abdichtungsfunktion auch bei dynamischer Beanspruchung
- 4 - Nutzung von Hohlräumen zur behälterlosen Speicherung von gasförmigen und flüssigen
- 5 Medien
- 6 • Das Gestein sollte unter in situ-Bedingungen geogen eine plastisch-viskose Deformationsfähigkeit ohne
- 7 Dilatanz aufweisen (Bewertungsgröße: Duktilität des Gesteins).
- 8 • Risse/Risssysteme im Gestein sollten bei Beanspruchungsinversion (zunehmende isotrope Beanspruchung
- 9 und abnehmende deviatorische Beanspruchung) geohydraulisch wirksam verschlossen werden
- 10 (Bewertungsgröße: Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung).
- 11 • Risse/Risssysteme im Gestein sollten nach der Risssschließung geomechanisch wirksam verheilt sein
- 12 (Bewertungsgröße: Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung).
- 13

**Tabelle 5-6: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit	Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit / repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit [Maß ist die Wasserdurchlässigkeit in m/s]	< 10	≤ 100	> 100
	<b>Erfahrungen</b> über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen	Die Gebirgsformation / der Gesteinstyp wird un-mittelbar / mittelbar anhand eines oder mehrerer der o.g. Sachverhalte Erfahrungsbe-reiche als ge-ring durchläs-sig bis geo-logisch dicht identifiziert, auch unter geogener / technogener Beanspru-	Die Gebirgsformation / der Gesteinstyp ist man-gels Erfah-rung nicht un-mittelbar / mit-telbar als ge-ring durchläs-sig bis geo-logisch dicht zu charakterisieren.	Die Gebirgsformation / der Gesteins-typ wird un-mittelbar/ mittelbar anhand eines Erfahrungs-bereichs als nicht hinrei-chend gering durchlässig identifiziert.

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
		chung.		
	<b>Duktilität</b> des Gesteins (da es keine festgelegten Grenzen gibt, ab welcher Bruchverformung ein Gestein duktil oder spröde ist, soll dieses Kriterium nur bei einem Vergleich von Standorten angewandt werden.)	Duktil / plastisch-viskos ausgeprägt	spröde-duktil bis elasto-viskoplastisch wenig ausgeprägt	spröde, linear-elastisch
Rückbildbarkeit von Rissen	Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Riss-schließung	Die Riss-schließung erfolgt aufgrund duktilen Materialverhaltens unter Ausgleich von Oberflächenrauigkeiten im Grundsatz vollständig.	Die Riss-schließung erfolgt durch mechanische Rissweitenverringering in Verbindung mit sekundären Mechanismen, z. B. Quelldeformationen.	Die Riss-schließung erfolgt nur in beschränktem Maße (z. B. bei sprödem Materialverhalten, Oberflächenrauigkeiten, Brückenbildung).
	Rückbildung der mechanischen Eigenschaften <b>durch Rissverheilung</b>	Rissverheilung durch geochemisch geprägte Prozesse mit erneuter Aktivierung atomarer Bindungskräfte im Rissflächenbereich		Rissverheilung nur durch geogene 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	<b>Bewertung</b> überwiegend "weniger günstig": Bildung von dauerhaften sekundären Wasserwegsamkeiten zu erwarten

1 **5.3. Kapitel 6.5.5.3 Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften**

2 **5.3.1. Anforderung 7: Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung**

3 Endgelagerte radioaktive Abfälle können bei Kontakt mit Wasser oder Lösungen durch Korrosion und  
 4 Radiolyse Gase bilden. In der Nachbetriebsphase eines Endlagers kann es zur Gasbildung kommen, wenn  
 5 Flüssigkeit an die Abfallbehälter gelangt und diese korrodieren. Die Gasbildung kann zu einem Druckaufbau  
 6 im einschlusswirksamen Gebirgsbereich führen. Die Gasmengen und die Gasbildungsraten müssen im  
 7 Rahmen der Szenarienanalyse abgeschätzt werden. Durch den Gasdruckaufbau kann die Integrität der  
 8 geologischen Barriere gefährdet werden, wenn der Gasdruck den Frac-Druck überschreitet.

9 Im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen sind auch Auswirkungen des Zweiphasenflusses auf die  
 10 Radionuklidmigration und Migration radioaktiver Gase zu beachten. Im Rahmen von  
 11 Sicherheitsbetrachtungen sind auch Auswirkungen des Zweiphasenflusses auf die Radionuklidmigration,  
 12 dilatanzgesteuerte Gasmigration sowie die Migration radioaktiver Gase zu beachten.

13 Zur Beurteilung der Auswirkung der Gasbildung auf die Sicherheit des Endlagers, insbesondere auf die  
 14 Einschussfunktion von einschlusswirksamem Gebirgsbereich und zugehörigen geotechnischen Barrieren,  
 15 sind die maximal mögliche Gasmenge, die unter Endlagerungsbedingungen aus dem Abfall gebildet werden  
 16 kann, sowie die Gasbildungsrate (Volumen pro Jahr) von Bedeutung. Die Gasmenge wird im Wesentlichen  
 17 von der Art und den Inhaltsstoffen der Abfälle, durch die Feuchte in den Abfallgebänden sowie durch das  
 18 Grundwasser- bzw. Salzlösungsangebot an die Gebinde bestimmt. Die Gasbildungsrate hängt ab von der  
 19 Temperatur, der Feuchte und dem chemischen Milieu am Einlagerungsort bzw. im Gebinde.

20 Zugehörige Kriterien

- 21 • Die Gasbildung der Abfälle sollte unter Endlagerbedingungen möglichst gering sein.

**Tabelle 5-7: Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Gasbildung	Wasserangebot im Wirtsgestein	trocken	feucht und dicht (Gebirgsdurchlässigkeit < 10 <sup>-11</sup> m/s)	feucht

22

23 **5.3.2. Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit**

24 Die Beurteilung des Wirtsgesteins bzw. des Gesteins des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs im Hinblick  
 25 auf Temperaturspannungen ist eng verbunden mit der Frage nach der Bildung von Wasserwegsamkeiten im  
 26 Barrieregestein und damit nach der Integrität des Endlagers. Modellrechnungen gestatten die Abschätzung  
 27 des räumlichen und zeitlichen Verlaufs der Spannungen im Bereich von Wärmequellen unterschiedlicher  
 28 räumlicher Ausdehnungen. Die Berücksichtigung von Materialeigenschaften, wie der Zugfestigkeit,  
 29 ermöglicht die Angabe der Bereiche um eine Wärmequelle, in denen Brüche zu erwarten sind.

**Kommentiert [AK2-5]:**  
 Ergebnisse\_Fachtagung\_Version1.pdf  
 2.1.4  
 Änderung der Anforderung 8 bzw. des Indikators:  
 Keine pauschale Festlegung von gesteinspezifischen  
 Grenztemperaturen, sondern den Indikator „geringe  
 Temperatur im Einlagerungshorizont“ wählen, der  
 Wirtsgesteinsübergreifend ist.

**Kommentiert [sal6]:** Aus der Diskussion der AG 3 am  
 04.05.2016.: Hier ist eine Entscheidung der Kommission  
 erforderlich, ggf. unter der Hinzuziehung des Gutachtens  
 Wärmentswicklung/Gesteinsverträglichkeit nach dessen  
 Abnahme

1 Umgekehrt lassen sich daraus unter der Randbedingung des vorgegebenen Wärmeeintrags Anforderungen an  
 2 das Gestein ableiten, die erfüllt sein müssen, wenn die Bruchzone auf die unmittelbare Umgebung des  
 3 Endlagers beschränkt sein soll, um eine Beeinträchtigung der Barrierewirkung von einschlusswirksamem  
 4 Gebirgsbereich bzw. Wirtsgestein zu vermeiden.

5 Temperaturerhöhungen können außerdem mineralogische Auswirkungen hervorrufen und so zur  
 6 Beeinträchtigung der Barrierewirkung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteins  
 7 führen. Insbesondere Tonstein und geotechnische Barrieren können von solchen Veränderungen betroffen  
 8 sein. Aus diesen Zusammenhängen lassen sich folgende Kriterien (bzw. auslegungsrelevante  
 9 Anforderungen) ableiten:

10 Zugehörige Kriterien

- 11 • Im unmittelbar um die Einlagerungshohlräume liegenden Gestein darf es bei Temperaturen kleiner 100°C  
 12 nicht zu Mineralumwandlungen kommen, welche die Barrierewirkung des einschlusswirksamen  
 13 Gebirgsbereichs unzulässig beeinflussen.
- 14 • Die Neigung zu thermomechanisch bedingter Sekundärpermeabilität außerhalb einer konturnahen  
 15 entfestigten Auflockerungszone sollte räumlich möglichst eng begrenzt sein.

16

**Tabelle 5-8: Gute Temperaturverträglichkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Temperaturstabilität des Gesteins	Temperatur, bei der es zu Mineralumwandlungen in den Gesteinen kommt [°C]	> 120	100 - 120	< 100
Thermisch bedingte Sekundärpermeabilität	<b>Ausdehnung</b> der thermo-mechanisch gestörten Umgebung um Einlagerungshohlräume [m]	< 10	10 - 50	> 50
	Zugfestigkeit [MPa] im Nah-bereich (etwa 10 m bis 50 m) um Endlager bei einer Kontakttemperatur von 100°C für			
	Granit	> 13	≥ 8	< 8
	Tonstein	> 8	≥ 4	< 4
	Steinsalz	> 2	1 - 2	< 1

17

18 Zur Anforderung "Gute Temperaturverträglichkeit" hat die AG 3 zusätzliche Erläuterungen eingeholt. Die  
 19 AG3 hat Herrn Minister Wenzel gebeten, eine Begründung für ein Temperaturkriterium "100°C" zu  
 20 formulieren und einige Mitglieder der AG 3 haben die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
 21 (BGR) gebeten, eine Begründung für ein Temperaturkriterium "200°C" beizusteuern. Beide Beiträge werden  
 22 nachfolgend wiedergegeben:

Herr Minister Wenzel (K.-Drs. /AG3-74 vom 22.12.2015)

#### **Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit**

Die Beurteilung des Wirtsgesteins bzw. des Gesteins des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs im Hinblick auf Temperaturspannungen ist eng verbunden mit der Frage nach der Bildung von Wasserwegsamkeiten im Barrieregestein und damit nach der Integrität des Endlagers. Modellrechnungen gestatten die Abschätzung des räumlichen und zeitlichen Verlaufs der Spannungen im Bereich von Wärmequellen unterschiedlicher räumlicher Ausdehnungen. Die Berücksichtigung von Materialeigenschaften, wie der Zugfestigkeit, ermöglicht die Angabe der Bereiche um eine Wärmequelle, in denen Brüche zu erwarten sind.

Umgekehrt lassen sich daraus unter der Randbedingung des vorgegebenen Wärmeeintrags Anforderungen an das Gestein ableiten, die erfüllt sein müssen, wenn die Bruchzone auf die unmittelbare Umgebung des Endlagers beschränkt sein soll, um eine Beeinträchtigung der Barrierewirkung von einschlusswirksamem Gebirgsbereich bzw. Wirtsgestein zu vermeiden.

Temperaturerhöhungen können außerdem mineralogische Auswirkungen hervorrufen und so zur Beeinträchtigung der Barrierewirkung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteins führen. Insbesondere Tonstein und geotechnische Barrieren können von solchen Veränderungen betroffen sein.

#### **Ergänzung Niedersachsen:**

*Aus geologisch/mineralogischer Sicht sollte ein Wirtsgestein zudem grundsätzlich nicht wesentlich höher aufgeheizt werden, als das Gestein in seiner geologischen Vergangenheit an maximaler Temperatur bereits „erlebt“ hat. Im Allgemeinen wird in den Wirtsgesteinen Ton und Kristallin (im Letzteren auf Grund der Bentonitbarriere) eine Einlagerungstemperatur empfohlen, bei der die durch die Abfallwärme hervorgerufenen Temperatur innerhalb der geotechnischen Barriere 100 °C bis 125 °C nicht überschreitet. Diese Begrenzung ist vor allem den Materialeigenschaften des Bentonits/Tongesteins und der Siedetemperatur von Lösungen (z.B. Vermeidung von Ausfällung von Salzen) geschuldet, um die Integrität des ewG während des anfänglichen Wärmeeintrags nach Einlagerung zu erhalten. In Salzgesteinen ist die Auswirkung von thermisch oder radiolytisch induzierter Gasbildung und Druckaufbau sowie die Migration von Lösungen/Wasserdampf („Thermomigration“) unter erhöhtem Feuchteintrag (z.B. durch Salzgrusversatz; Lösungseinschlüsse) kritisch zu bewerten. Die Anwesenheit von inhomogenen Bereichen im Salz (Salztonlagen, Anhydritvorkommen, Carnallititeinschlüssen etc.) kann die thermische Belastbarkeit des Salzgesteins negativ beeinflussen.*

*Das Wirtsgestein und insbesondere der ewG sollen daher so beschaffen sein, dass temperaturbedingte Änderungen der Gesteinseigenschaften, thermomechanische Spannungen und wärmeinduzierte Expansion der Gesteine und ihrer Fluide nicht zu einem Festigkeitsverlust oder zur Bildung von Wasserwegsamkeiten führen können.*

*Aus diesen Zusammenhängen lassen sich folgende Kriterien (bzw. auslegungsrelevante Anforderungen) ableiten:*

Zugehörige Kriterien

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.

- Die Neigung zu thermomechanisch bedingter Sekundärpermeabilität außerhalb einer konturnahen entfestigten Auflockerungszone sollte räumlich möglichst eng begrenzt sein.

#### **Ergänzung Niedersachsen:**

- [Da wässrige Lösungen in allen Wirtsgesteinen angetroffen werden können, sollte in allen Wirtsgesteinen zur Vermeidung erhöhter Gasdrücke die Temperatur unterhalb 100°C verbleiben.]

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der Kriterien:  
Anmerkung: Tabelle muss angepasst werden

1

**Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**, Stellungnahme auf Bitte einer Reihe von Mitgliedern der AG 3 (s.a. K-Drs. /AG3-71 vom 21.12.2015)

#### **Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit**

Durch die Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle kommt es zu einem Anstieg der Temperatur im Gebirge. Dieser Temperaturanstieg kann sich je nach zugrundeliegendem Sicherheitskonzept unterschiedlich auf den Einschluss der Abfälle auswirken. Positiv kann sich der Wärmeeintrag beim Wirtsgestein Salz auswirken, da die Kriechfähigkeit des Salzes mit der Temperatur zunimmt und daher der Einschluss der Abfälle im konvergierenden Gebirge schneller erfolgt. Der Wärmeeintrag kann sich aber auch negativ auswirken, wenn dadurch die Wirksamkeit der einschlusswirksamen Barrieren vermindert wird. Dabei können thermomechanische von mineralogischen Effekten unterschieden werden.

#### **Thermomechanische Temperaturverträglichkeit**

Zur Begrenzung hydraulischer Flüsse sollen das Gebirge im einschlusswirksamen Gebirgsbereich sowie technische Barrieren wie Salzgrus oder Bentonit eine geringe Permeabilität aufweisen. Zur Ableitung von Indikatoren für die Temperaturverträglichkeit des Wirtsgesteins ist daher zu prüfen, welche Auswirkungen ein Temperaturanstieg auf die Permeabilität des Wirtsgesteins selbst sowie auf die Permeabilität der in dem jeweiligen Wirtsgestein erforderlichen technischen Barrieren haben kann.

Permeabilitäts erhöhungen können auftreten, wenn bestehende Wegsamkeiten in einem Barrieregestein oder im Material einer technischen Barriere infolge thermischer Volumenänderungen aufgeweitet werden, oder wenn ungünstige Spannungsbedingungen auftreten, die infolge lokaler Festigkeitsüberschreitung neue vernetzte Wegsamkeiten bilden können. Im Nahbereich um ein wärmeentwickelndes Einlagerungsgebäude kommt es infolge der Erwärmung zu einer Ausdehnung des Gebirges bzw. zu einem Anstieg der Druckspannungen und daher nicht zu einer Aufweitung oder Neubildung von Wegsamkeiten. Gleichzeitig kommt es in weiter entfernten Gebirgsbereichen, die weniger erwärmt werden, zu einer Absenkung der Druckspannungen und damit zu einer Verschiebung des Spannungszustands hin zu ungünstigen Spannungsbedingungen. Diese Verschiebung hin zu ungünstigen Spannungsbedingungen erfolgt umso stärker, je größer die Temperaturerhöhung im Einlagerungsbereich ist und je größer der Temperaturgradient im Gebirge ist. Temperaturerhöhung und Temperaturgradient sind umso kleiner, je größer die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität des Wirtsgesteins sind. Günstig sind daher zur Vermeidung thermomechanisch bedingter Barrierenbeeinträchtigungen eine große

Wärmeleitfähigkeit und eine hohe Wärmekapazität des Wirtsgesteins.

Inwieweit eine Begrenzung der maximalen Temperatur der einzulagernden Gebinde dazu beitragen kann, ungünstige Temperatúrauswirkungen zu verhindern, braucht an dieser Stelle nicht diskutiert zu werden, da eine Begrenzung der Einlagerungstemperatur bei jedem beliebigen Standort eine Verringerung der temperaturbedingten Auswirkungen zur Folge hätte, sodass sich daraus keine Kriterien für die Eignung eines Standortes ableiten lassen.

Vom AkEnd wurde als Indikator für die Temperaturverträglichkeit des Wirtsgesteins die Ausdehnung der thermomechanisch gestörten Umgebung um Einlagerungshohlräume vorgeschlagen. Nach heutigem Wissensstand treten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich jedoch keine ungünstigen thermomechanischen Auswirkungen auf, sondern nur im Fernfeld, z.B. im Abstand von mehreren hundert Metern. Die Ausdehnung einer thermomechanisch gestörten Umgebung um Einlagerungshohlräume ist deshalb kein geeigneter Indikator für die Temperaturverträglichkeit.

Ob es im Fernfeld zu thermomechanisch bedingten Festigkeitsüberschreitungen kommen kann, hängt auch von der Gebirgsfestigkeit ab. Die höhere Zugfestigkeit von zum Beispiel Granit gegenüber Salz und Ton kommt dabei jedoch nicht zum Tragen, da bei vorhandenen Trennflächen die Zugfestigkeit ausgedehnter Gebirgsbereiche im Granit nicht größer ist als in anderen Wirtsgesteinen. Deshalb wird in der Gesteinsfestigkeit kein geeigneter Indikator für die thermomechanische Temperaturverträglichkeit gesehen.

Als weiterer thermomechanischer Effekt ist der Prozess des Siedens zu betrachten, der mit dem Erreichen der Siedetemperatur einsetzt, wenn Fluide vorhanden sind. Im Porenraum eines Barrieregesteins vorhandenes bzw. dorthin vordringendes Wasser würde bei atmosphärischem Druck bei 100°C sieden und durch die damit verbundene Expansion der Gasphase den Porendruck erhöhen. Mit dieser Druckerhöhung geht auch eine Erhöhung der Siedetemperatur einher, und der Verdampfungsprozess kommt zum Erliegen, wenn der mit der vorliegenden Temperatur korrespondierende Dampfdruck erreicht ist. Eine Erhöhung der Permeabilität aufgrund dieses Prozesses kann nicht stattfinden, wenn Wasser erst dann in den Porenraum vordringt, wenn Endlagergebäude und technische Barrieren nach Verschluss des Endlagers im Wirtsgestein eingespannt und dem Überlagerungsdruck ausgesetzt sind, weil die möglichen Dampfdrücke in relevanten Temperaturbereichen nur einen Bruchteil des Überlagerungsdruckes betragen, z.B. beträgt bei 200°C der Satteldampfdruck ca. 1,5 MPa gegenüber ca. 18 MPa Überlagerungsdruck in 800 m Tiefe. Anders ist die Auswirkung einer Erwärmung bis zur Siedetemperatur zu beurteilen, wenn Baustoffe bereits in feuchtem Zustand eingebracht werden oder Feuchtigkeit vor der Beaufschlagung des Baustoffs mit dem Gebirgsdruck in den Baustoff eindringen kann. In diesem Fall kann eine Desintegration des Baustoffs auftreten. Für einige Endlagerkonzepte mit Bentonitbuffer wird daher eine Maximaltemperatur unterhalb der Siedetemperatur festgelegt. Als indirektes Kriterium für die Temperaturverträglichkeit des Wirtsgesteins hinsichtlich thermomechanischer Effekte kann daher die Frage gelten, ob in dem jeweiligen Wirtsgestein ein Bentonitbuffer erforderlich ist, weil in dem Fall die Maximaltemperatur im Endlager unter Umständen auf 100°C begrenzt werden muss.

#### **Mineralogische Temperaturverträglichkeit**

In einigen Sicherheitskonzepten für Endlager in den Wirtsgesteinstypen Ton und Kristallin spielen das Quellvermögen und Sorptionsvermögen von eingebrachtem Bentonit eine Rolle. Daher muss in diesen Konzepten sichergestellt werden, dass die notwendige Sorptionsfähigkeit und das notwendige Quellvermögen des Bentonits nicht durch thermisch bedingte Mineralumwandlungen beeinträchtigt werden. Quellfähigkeit und Sorptionsvermögen von Bentonit sinken, wenn der im

Bentonit vorhandene Smektit in Illit umgewandelt wird. Die Illitisierung von Smektit beginnt bereits bei Temperaturen unterhalb 100°C und ist umso intensiver, je höher die Temperatur ist. Auch für die mineralogische Temperaturverträglichkeit des Wirtsgesteins kann daher die Frage gelten, ob in dem jeweiligen Wirtsgestein ein Bentonitbuffer erforderlich ist.

Durch die Illitisierung von Smektit kann auch das Sorptionsvermögen des Wirtsgesteins Ton ungünstig beeinflusst werden. Die temperaturbedingte Beeinträchtigung des Sorptionsvermögens ist umso größer, je höher der Smektitgehalt im Ton ist. Die Intensität einer möglichen temperaturbedingten Beeinträchtigung des Sorptionsvermögens des Wirtsgesteins kann daher kein sinnvoller Indikator für die mineralogische Temperaturverträglichkeit sein, weil dabei ein Wirtsgestein mit einem von vornherein geringen Sorptionsvermögen als günstiger eingestuft würde als ein Wirtsgestein mit hohem Sorptionsvermögen.

Mineralumwandlungen können außerdem Auswirkungen auf die Barriereeigenschaften haben, wenn dadurch das Feststoffvolumen verringert wird und sich dementsprechend der für Fluidbewegungen verfügbare Raum vergrößert. Das könnte bei Salzhydraten bei einer Erwärmung über die Temperatur, bei der es zur Kristallwasserabgabe kommt, der Fall sein. An gemahlenem Carnallit wurde unter atmosphärischen Bedingungen ab 80°C Kristallwasserabgabe beobachtet. Unter in-situ Bedingungen liegt die erforderliche Temperatur aufgrund der Einspannung höher. Endlagerkonzepte für das Wirtsgestein Salz sehen auch aufgrund der Schmelztemperatur von Carnallit in Höhe von ca. 170°C einen Abstand der Einlagerungshohlräume von Kalisalzvorkommen vor. Als Indikator für die Temperaturverträglichkeit speziell des Wirtsgesteins Salz kann daher der Abstand zwischen zwei Kaliflözen gelten.

Aufgrund möglicher temperaturbedingter Mineralumwandlungen pauschal eine Begrenzung der zulässigen Maximaltemperatur im Endlager auf die in der geologischen Vergangenheit vom Wirtsgestein ertragene Maximaltemperatur vorzunehmen, ist nicht sachgerecht, da die Frage, ob eine bestimmte Mineralumwandlung auftritt oder nicht, unabhängig von der in der geologischen Vergangenheit ertragenen Maximaltemperatur sein kann. Beispielsweise tritt die Kristallwasserabgabe von Polyhalit bei 230°C auf, unabhängig davon, ob die Maximaltemperatur einer Salzformation in der Vergangenheit 70°C oder 120°C betragen hat.

Fazit

Die folgenden Indikatoren können zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit genutzt werden:

<i>Indikator</i>	<i>günstig</i>	<i>weniger günstig</i>
Wärmeleitfähigkeit	groß (z.B. > 5 W/(m K) bei 50°C)	klein (z.B. < 4 W/(m K) bei 50°C)
Wärmekapazität	groß (z.B. > 800 J/(kg K) bei 50°C)	klein (z.B. < 800 J/(kg K) bei 50°C)
Bentonitbuffer	Bentonitbuffer wird nicht benötigt	Bentonitbuffer wird benötigt
Für Salzstandorte: Abstand zwischen zwei Kaliflözen	groß (z.B. > 1.000 m)	klein (z.B. < 500 m)

Der AkEnd fordert eine Reduzierung der Auswirkungen des Wärmeeintrages auf den ewG und die Verhinderung einer Beeinträchtigung durch thermische oder thermomechanische Belastungen.

ESK: Dieses Abwägungskriterium ist nur auf Lagerteile mit Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen und deren Umgebung anzuwenden. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass entsprechende andere Lagerteile nicht oder nur unwesentlich von der Temperaturentwicklung dieser Lagerteile beeinflusst werden. Die ESK ist grundsätzlich mit diesem Kriterium einverstanden.

Die Temperaturverträglichkeit ist aufgrund thermodynamischer und kinematischer Betrachtungen aufzuzeigen. Es ist dabei zu berücksichtigen (und gegebenenfalls mit thermischen Modellierungen aufzuzeigen), über welche Zeiträume der von den Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen ausgehende Wärmepuls das umliegende Gestein beeinflusst.

1

2 **5.3.3. Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine des einschlusswirksamen**  
3 **Gebirgsbereich gegenüber Radionukliden**

**Herr Minister Wenzel** (per Email am 19.01.2016)

Der folgende Text ist der identische Text aus K.-Drs. 157, Stand 17.12.2015. Der Text wurde auf Wunsch von Herrn Min. Wenzel wegen Diskussionsbedarf in die eckige Klammer überführt

Anforderung 9 wurde nach dem 06.04.2016 zunächst wieder auf den ursprünglich intendierten Bezug zum ewG zurückkompiliert, was sich i. W. auf die Überschrift und auf Tabelle 5-10 bezieht. Als Deckgebirgskriterium wird das Rückhaltevermögen an anderer Stelle weiter diskutiert Ursprünglich abgebildete Meinungsunterschiede bezüglich Deckgebirge finden sich jetzt dort.

Für eine Retardation (Rückhaltung) von Radionukliden in der Geosphäre sind die Ionenstärke bzw. die Konzentrationen von Komplexbildnern und Kolloiden im tiefen Grundwasser und der Mineralbestand des Gesteins entscheidend. Weitere retardierende Eigenschaften einer Formation sind Matrixdiffusion (und Sorption an Matrixpartikeln) sowie Filterwirkung gegenüber Kolloiden.

Das Ausmaß der Sorption hängt sowohl von der mineralogischen Zusammensetzung der durchströmten Gesteine als auch vom hydrochemischen Milieu des Tiefenwassers ab. Tonminerale, Mangan-, Eisen- und Aluminium-Oxide, -Hydroxide und -Oxihydrate sowie organische Substanz (z.B. Kohle, Torf) stellen - zumindest unter bestimmten hydrochemischen Milieubedingungen - gute Sorbenten dar. Von den hier interessierenden Gesteinstypen, die als Wirtsgestein bzw. einschlusswirksamer Gebirgsbereich in Frage kommen, trifft das – im Hinblick auf die Zusammensetzung - vor allem auf Tonstein zu. Granit und vergleichbare kristalline Gesteinstypen, aber auch Steinsalz und die meisten damit vergesellschafteten Gesteinstypen weisen hingegen ein generell schwaches Sorptionsvermögen auf, während sie in anderer Hinsicht Vorteile gegenüber anderen Gesteinstypen aufweisen können. Die Bedeutung des Rückhaltevermögens ist daher im Rahmen der abwägenden Gesamtbetrachtung von Endlagersystemen zu beurteilen.

Hinsichtlich des Ausmaßes von Sorption bestehen zwischen den nuklid-, gesteins- und milieuspezifischen Faktoren komplexe Beziehungen, die über die Benennung der geschilderten allgemeinen Zusammenhänge hinaus die Ableitung eines pauschal anwendbaren quantitativen Kriteriums nicht erlauben. Die Definition und Beurteilung günstiger geochemischer Verhältnisse für Sorptionsvorgänge muss vielmehr im Rahmen einer komplexen gesteins-, nuklid- und milieuspezifischen Fallunterscheidung in späteren Verfahrensschritten vorgenommen werden.

In Sicherheitsbetrachtungen wird als Maß für die Beurteilung des Sorptionsvermögens üblicherweise

der lineare Sorptionskoeffizient  $K_d$  herangezogen. Ein  $K_d$ -Wert von  $0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$  bedeutet bei einer absoluten Porosität des Gesteins von 0,15, dass der Transport von Radionukliden im Grundwasser gegenüber der Abstandsgeschwindigkeit um etwa einen Faktor 10 - 20 verzögert wird. Im Zusammenhang mit der Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle sind solche Gesteinstypen vorteilhaft, die ein Sorptionsvermögen für langlebige Radionuklide aufweisen.

Vor dem Hintergrund dieser Zusammenhänge lässt sich für die Rückhaltung von Radionukliden ableiten:

Zugehöriges Kriterium

- Die **Sorptionsfähigkeit** der Gesteine sollte **möglichst groß** sein; der Sorptionskoeffizient ( $K_d$ -Wert) sollte für die Mehrzahl der langzeitrelevanten Radionuklide größer oder gleich  $0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$  sein.
- Die Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sollten möglichst hohe Gehalte an **Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche** aufweisen.

Für die Filterung von Kolloiden lässt sich kein Kriterium ableiten.

**Tabelle 5-9: Hohes Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Sorptionsfähigkeit der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	$K_d$ -Wert für folgende langzeitrelevante Radionuklide $\geq 0,001 \text{ [m}^3/\text{kg]}$	Uran, Protactinium, Thorium, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Palladium, Jod, Cäsium, Chlor	Uran, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Cäsium	--

Formulierungsvorschläge aus Nds folgen

1

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.9

Der AkEnd fordert gute Sorptionseigenschaften der Gesteine für Radionuklide.

ESK: Das Rückhaltevermögen in einem Endlagersystem wird bestimmt durch das für einen Radionuklidtransport verfügbare Lösungsvolumen, die jeweiligen geochemischen Randbedingungen, Gesteinsdurchlässigkeiten sowie die physikochemischen Sorptionseigenschaften des Wirtsgesteins und der (geo)technischen Barrieren (vgl. Kapitel 7.1). Ein gut ausgelegtes Endlagersystem im Steinsalz zeichnet sich durch nahezu impermeables Wirtsgestein aus, das keinen bzw. nur eine begrenzte Wassermenge zum Einlagerungsbereich zulässt. Das Radionuklidsorptionsvermögen von Salzmineraloberflächen ist dagegen

begrenzt. Tonmineralphasen in nanoporösem, niedrig permeablem Tonstein besitzen Oberflächen, auf denen viele Radionuklide stark sorbiert werden. Klüftiges Kristallingestein erlaubt advektiven Wassertransport und besitzt im Vergleich zu Tonstein eine relativ geringe spezifische Oberfläche, die für die Sorption von Radionukliden zur Verfügung steht. Aus diesem Grund erfolgt die Verfüllung von Hohlräumen durch quellfähiges bentonitreiches Versatzmaterial, das seinerseits Radionuklide stark binden kann. Für die ESK sind gute Sorptionseigenschaften der Gesteine für Radionuklide daher als Abwägungskriterium geeignet. Sie sind aber im Rahmen des Zusammenwirkens verschiedener Sicherheitsfunktionen und dem daraus abgeleiteten Sicherheitskonzept (vgl. Kapitel 4.2) zu betrachten.

1

#### 2 **5.3.4. Anforderung 10: Günstige hydrochemische Verhältnisse**

3 Eine wissenschaftlich nachvollziehbare geochemische Bewertung von potenziellen Endlagerformationen  
4 zielt vorrangig auf den Einfluss der lokal/regional auftretenden Tiefenwässer und der festen Mineralphasen  
5 der Gesteine auf die Löslichkeit der Radionuklide und damit ihre Freisetzung und Migration bzw.  
6 Rückhaltung z. B. durch Sorption und Immobilisierung. Hinzu kommen Fragen möglicher chemischer  
7 Angriffe auf das Material technischer und geotechnischer Barrieren und der möglicher Veränderungen der  
8 hydrochemischen Bedingungen für Radionuklidfreisetzung und -transport durch eingebrachtes Behälter- und  
9 Ausbaumaterial.

10 Günstige hydrochemische Verhältnisse in einer geologischen Formation werden unter anderem durch ein  
11 reduzierendes geochemisches Milieu, geringe Konzentrationen an Komplexbildnern und Kolloiden sowie  
12 neutrale bis leicht alkalische pH-Bedingungen bei niedrigem CO<sub>2</sub>-Partialdruck charakterisiert. Unter  
13 derartigen Bedingungen sind geringe Löslichkeiten von Radionukliden zu erwarten.

14 Als mögliche Indikatoren zur Identifizierung günstiger hydrochemischer Verhältnisse gelten der Eh-Wert,  
15 das Vorliegen reduzierter Festphasen, der Gehalt an organischen Substanzen und das Fehlen freien  
16 Sauerstoffs im Grundwasser sowie darüber hinaus der pH-Wert und die Pufferung durch vorhandene  
17 karbonathaltige Gesteine. Für eine Retardation von Radionukliden sind die Konzentrationen von  
18 Komplexbildnern und Kolloiden (z. B. Karbonatkomplexe oder Huminstoffkolloide) im Tiefenwasser und  
19 das Vorhandensein von Sorptionsplätzen an Mineralphasen im Gestein entscheidend (s. dazu Anforderung  
20 9). Ein weiterer wichtiger Indikator für günstige hydrochemische Verhältnisse ist das Vorliegen eines  
21 geochemischen Gleichgewichtes zwischen Tiefenwasser und Gestein.

22 Im Zuge der Kriterienentwicklung hat der AkEnd<sup>41</sup> geprüft, inwieweit sich auf der Basis damals  
23 zugänglicher Daten quantitative bzw. qualitative Kriterien für die genannten Indikatoren ableiten lassen.  
24 Dabei wurden auch das schrittweise Vorgehen bei einer Standortauswahl und die beim jeweiligen  
25 Verfahrensschritt voraussichtlich vorliegenden Kenntnisse und Daten berücksichtigt.

26 Der gegenwärtige Kenntnisstand zum Chemismus von Tiefenwässern in Deutschland und die heterogene  
27 Verbreitung verschiedener Grundwassertypen auf engem Raum lässt allerdings keine flächendeckenden  
28 Aussagen zur Charakterisierung und Beurteilung von Standortregionen und Standorten auf der Basis  
29 hydrochemischer Kriterien zu. Insbesondere bei Grundwässern im für die Errichtung eines Endlagers  
30 vorgesehenen Tiefenbereich ist das Wissen über die hydrochemischen Verhältnisse dafür zu lückenhaft.  
31 Zuverlässige Aussagen sind daher erst bei genauerer regionaler bzw. standortspezifischer Betrachtung auf  
32 Basis entsprechender Daten möglich.

33 Andererseits können folgende hydro- und geochemische Parameter mit Einfluss auf Löslichkeit und  
34 Transportverhalten von Radionukliden als Indikatoren für günstige hydrochemische Bedingungen

<sup>41</sup> Vgl. AkEnd (2002). Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. K-MAT 1.

1 hinsichtlich Radionuklidlöslichkeit und -transport herangezogen werden. Folgende Zusammenhänge lassen  
2 sich benennen:

- 3 • Das tiefe Grundwasser in Wirtsgestein / im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll sich mit den  
4 Gesteinen im chemischen Gleichgewicht befinden.
- 5 • Im Bereich des Tiefenwassers sollte ein pH-Wert von 7-8 vorliegen.
- 6 • Im Bereich des Tiefenwassers sollten günstige Redoxbedingungen (anoxisch-reduzierendes Milieu)  
7 vorliegen.
- 8 • Der Gehalt an Kolloiden im Tiefenwasser sollte möglichst gering sein.
- 9 • Der Gehalt an Komplexbildnern und die Karbonatkonzentration im Tiefenwasser sollten gering sein.

10 Zusammenfassend gilt aber, dass zur Ermittlung der Eigenschaft „günstige hydrochemische Verhältnisse“  
11 standortspezifische Kenntnisse und Angaben zur Endlagerkonzeption vorliegen müssen, die in späten  
12 Verfahrensschritten bereitgestellt werden können.

13

#### 14 5.3.5. Anforderung 11: Günstige Bedingungen für den Bau von Verschlussbauwerken

15 Das Wirtsgestein sollte günstige Bedingungen für den Bau von geotechnischen Verschlussbauwerken  
16 (Streckenverschlüsse und Schachtverschlüsse) aufweisen, da diese die maßgeblichen bautechnischen  
17 Barrieren zur Rückhaltung der Radionuklide sind. Dazu soll die sich um die Schächte und Strecken bildende  
18 Auflockerungszone nur gering sein. Als Indikator kann die Größe und Durchlässigkeit der  
19 Auflockerungszone bei Schächten am Ende des Einlagerungszeitraumes verwendet werden.

20

21

**Kommentiert [sal7]:** Mehrheitsmeinung der AG 3: kann gestrichen werden. Votum Nds: sollte drinbleiben.

1 **5.4. Zusätzliche weitere Abwägungskriterien**

2 Es wird z. Zt. noch darüber diskutiert, den Katalog der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien um  
3 weitere Kriterien zu ergänzen, deren Einordnung in die zugehörigen Gewichtungsgruppe mit  
4 Verabschiedung dieser neuen Abwägungskriterien noch erfolgen muss. Die im Folgenden genannten  
5 Abwägungskriterien bedürfen daher noch der weiteren Beratung.

6 **5.4.1. Anforderung 12 : Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine im Deckgebirge von**  
7 **Salzstöcken gegenüber Radionukliden**

8 Zu dieser Anforderung gibt es in der AG 3 unterschiedliche Auffassungen.

9 Zur Anforderung "Hohes Rückhaltevermögen des Deckgebirges gegenüber Radionukliden"  
10 (Gewichtungsgruppe 3) und zugehöriges neues Abwägungskriterium "Hohe Sorptionsfähigkeit der Gesteine  
11 des Deckgebirges" haben Herr Dr. Fischer und Herr MdB Kanitz wie folgt Stellunggenommen:

**Kurzstellungnahme zu Beratungsunterlage K-Drs. /AG 3-70 von Herrn Dr. Fischer und  
Herrn MdB Kanitz (K.-Drs. /AG3-72 vom 21.12.2015) (ergänzt am 06.05.16)**

**Zur neuen Anforderung "Hohes Rückhaltevermögen des Deckgebirges von Salzstöcken  
gegenüber Radionukliden" (Gewichtungsgruppe 3) und zugehöriges neues  
Abwägungskriterium "Hohe Sorptionsfähigkeit der Gesteine des Deckgebirges":**

Die Einführung des Kriteriums steht im Widerspruch zum sicherheitskonzeptionellen Ansatz des  
sicheren Einschlusses der Abfälle im ewG, der auch der gesamten Methodik der Standortauswahl  
zugrunde liegt, da es auf eine Rückhaltung außerhalb des ewG abstellt. Das ewG-Konzept basiert  
aber auf dem Nachweis, dass es in den nächsten 1 Mio. Jahren nicht zur Radionuklidfreisetzung  
außerhalb des ewG kommt.

Dies wird aber ebenfalls Gegenstand der Sicherheitsbetrachtungen und letztendlich des  
Sicherheitsnachweises bei der Genehmigung sein. Eine darüber hinausgehende Forderung einer  
zusätzlichen Sorptionsfähigkeit macht keinen Sinn, denn es würde das gesamte Sicherheitskonzept  
des ewG in Frage stellen.

*Unser Vorschlag lautet: Ein zusätzliches Abwägungskriterium „Hohes Rückhaltevermögen des  
Deckgebirges von Salzstöcken" sollte nicht aufgenommen werden.*

12

13 **5.4.2. Anforderung 13: Schützender Aufbau des Deckgebirges**

14 Zu dieser Anforderung gibt es in der AG 3 drei unterschiedliche Auffassungen.

**Vorschlag Dr. Appel (K.-Drs. AG3-134, 27.04.2016)**

**Vorschlag für eine Anforderung**

**Schützender Aufbau des Deckgebirges zur orientierenden Bewertung der Schutzfunktion des  
Deckgebirges von Endlagersystemen gegenüber dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG)  
und zugehörige Kriterien**

Zwischen den zu betrachtenden Endlagersystemtypen bestehen hinsichtlich der für das be- nötigte  
Schutzpotenzial des Deckgebirges maßgeblichen Eigenschaften deutliche Unter- schiede. Sie machen  
die nach Endlagersystemtypen differenzierte Beurteilung erforderlich. Mit Ausnahme des

**Kommentiert [AK1-8]:**  
Ergebnisse\_Fachtagung\_Version1.pdf  
1.1.3  
Im AK 1 wurde diesbezüglich das Thema "Deckgebirge als  
Mindestanforderung?" diskutiert, ohne konkretes  
Ergebnis/ohne Vorschlag an die AG 3.  
  
1.1.6  
Subrosion, bzw. Einbruchsee  
  
Kein Konsens in der Frage, junge Subrosionssees  
(Einbruchseen) über einem Salzstock als 7.  
Ausschlusskriterium zu nennen.  
Bitte an die Kommission, das Argument noch mal ernsthaft und  
wissenschaftlich zu prüfen  
Einbruchseen sind zwar leicht zu erkennen, es gibt aber auch  
Subrosionsvorgänge, die nicht so leicht zu erkennen sind.  
  
Prognosen der Subrosion müssen beachtet werden.

**Kommentiert [AK2-9]:**  
Ergebnisse\_Fachtagung\_Version1.pdf  
2.1.5  
Schutz vor Subrosion  
Zweifelhaft, ob eine Anforderung an das Deckgebirge zur  
Begrenzung von Subrosion sinnvoll ist,  
  
Zweifelhaft, welche Rolle der Deckgebirgsaufbau für die  
Subrosion überhaupt hat.  
  
Der aktuelle Deckgebirgsaufbau kann für begrenzte Zeit einem  
Sicherheitsvorteil bringen und muss daher als  
Abwägungskriterium berücksichtigt werden. Die Sicherheit des  
Endlagers darf aber nicht vom Deckgebirgsaufbau abhängen,  
daher kann es keine Mindestanforderung bzw.  
Ausschlusskriterium darstellen  
  
2.2.3  
Es gibt Befürworter für ein schützendes Deckgebirge über  
einem Salzstock und andere, die sagen, es ist nicht wichtig  
(nächste Eiszeit macht es irrelevant)  
  
Bedeutung der Subrosion für Salzstöcke (aktiv? allgemein zum  
Erliegen gekommen?)  
  
Bedeutung des schützenden Deckgebirges für Kristallin?  
  
Schützendes Deckgebirge ist in anderen Ländern ein  
Abwägungskriterium. (Bsp.: Schweiz)  
  
Diskussion der Bedeutung des Erfüllungsgrades: • . Es soll das  
radiologische Schutzziel nicht nur gerade so erreicht werden,  
sondern bestmöglich.

Endlagersystemtyps "Steinsalz in steiler Lagerung (Salzstöcke)", für das systemspezifische Abwägungskriterien bereits abgeleitet worden sind (K-Drs. AG3-70), liegen die für die Entwicklung entsprechender Abwägungskriterien erforderlichen Kenntnisse und Informationen derzeit nicht zu allen Endlagersystemtypen oder nicht mit ausreichender Aussagekraft vor. In verschiedenen Projekten und Forschungsprogrammen wird derzeit an endlagersystembezogenen Themen gearbeitet, deren Ergebnisse für die Entwicklung der differenzierten Abwägungskriterien genutzt werden können bzw. sogar Voraussetzung dafür sind.

Die Anforderung "Schützender Aufbau des Deckgebirges (orientierende Bewertung)", das zugehörige Kriterium und die zugehörigen Kriterien sollen die orientierende Beurteilung Endlagersystemen im Hinblick auf den Schutz des ewG durch das Deckgebirge erlauben, so- lange differenzierte Kriterien noch nicht vorliegen.

**Anforderung "Schützender Aufbau des Deckgebirges (orientierende Bewertung)"**

Das Deckgebirge von Endlagersystemen sollte so aufgebaut sein, dass es den einschluss- wirksamen Gebirgsbereich nachhaltig gegen die direkten und indirekten Auswirkungen exogener Prozesse schützt. Zur Erfüllung des zugehörigen Kriteriums "Schutz des einschluss- wirksamen Gebirgsbereiches (ewG) durch das Deckgebirge" sollten folgende Sachverhalte gegeben sein (s. Tab. 1):

- Möglichst mächtige **vollständige Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden / erosionshemmenden Gesteinen,**
- möglichst **geschlossene Verbreitung grundwasserhemmender / erosionshemmender Gesteine** im Deckgebirge,
- möglichst **keine strukturellen Komplikationen im Deckgebirge** (z. B. Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen)

Die Kriterien können auf die Endlagersysteme entsprechend Konfigurationstyp A (ewG = Teil des Wirtsgesteinskörpers) in AKEND (2002) angewendet werden, bei Kristallin auch auf den Typ Bb, wenn der Wirtsgesteinskörper Kristallin vom einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Steinsalz / Tonstein) überlagert wird und dieser selbst des Schutzes bedarf. Wegen der Beschränkung möglicher Subrosion auf Endlagersystemtypen mit Steinsalz als Wirtsgestein und ewG sind in Abhängigkeit vom jeweiligen Endlagersystemtyp erosionshemmende und subrosions- / grundwasserhemmende Eigenschaften des Deckgebirges zu bewerten.

**Tab. 1 Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge: Eigenschaften, Bewertungsgrößen und Erfüllungsfunktionen der Kriterien**

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikators [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	[weniger günstig / ungünstig]
Schutz des einschlusswirksamen	Überdeckung des ewG mit	mächtige vollständige	flächenhafte, aber unvollständige	lückenhafte b fehlende Übe:

Gebirgsbereiches (ewG) durch günstigen Aufbau des Deckgebirges	grundwasserhemmenden Gesteinen <sup>42)</sup> , Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge <sup>43)</sup>	Überdeckung, geschlossene Verbreitung grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	Überdeckung, flächenhafte Verbreitung grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	deckung, lückenhafte Verbreitung grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge
	Überdeckung des ewG mit erosionshemmenden Gesteinen <sup>44)</sup> , Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge	mächtige vollständige Überdeckung, geschlossene Verbreitung erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge	flächenhafte, aber unvollständige Überdeckung, flächenhafte Verbreitung erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge	lückenhafte bzw. fehlende Überdeckung, lückenhafte Verbreitung erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge
	Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (z. B. Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge <sup>45)</sup>	Deckgebirge mit ungestörtem Aufbau	strukturelle Komplikationen, aber ohne erkennbare hydraulische Wirksamkeit (z. B. verheilte Klüfte/Störungen)	strukturelle Komplikationen mit potentieller hydraulischer Wirksamkeit

1

**Kurzstellungnahme zu Beratungsunterlage K-Drs. /AG 3-70 von Herrn Dr. Fischer und Herrn MdB Kanitz (K.-Drs. /AG3-72 vom 21.12.2015) (ergänzt am 06.05.16)**

**Zur neuen Anforderung "Schützender Aufbau des Deckgebirges von Salzstöcken" (Gewichtungsgruppe 1) und zugehöriges neues Abwägungskriterium "Schutzfunktion des Deckgebirges von Salzstöcken":**

Dem Vorschlag liegt die Annahme zugrunde, dass die Beschaffenheit des Deckgebirges für den Schutz des ewG vor Subrosion maßgeblich sei. Diese Aussage ist jedoch keinesfalls zutreffend, insbesondere dann nicht, wenn über dem ewG mehrere hundert Meter mächtiges Salz lagert (siehe neue Festlegung zur Mindestteufe unter 6.5.4.3).

Die Existenz zahlreicher Salzstöcke in Norddeutschland mit sehr unterschiedlichen Deckgebirgskonfigurationen beweist hingegen, dass selbst bei direktem Kontakt des Salzspiegels

<sup>42</sup> Als grundwasserhemmend (und zugleich subrosionshemmend) werden hier vereinfachend nichtsalinare Gesteinstypen mit geringer Gebirgsdurchlässigkeit aufgefasst (Geringleiter / Nichtleiter).

<sup>43</sup> Abweichend von der Definition zu Deckgebirge unter b) ist bei den Endlagersystemtypen Steinsalz in steiler Lagerung (Salzstöcke) und Steinsalz in flacher Lagerung der nichtsalinare Anteil des jeweiligen Deckgebirges gemeint.

<sup>44</sup> Als besonders erosionshemmend werden hier vereinfachend massige bis dickbankige, feste Sedimentgesteinskörper bzw. massive Kristallingesteinskörper (wie als Wirtsgestein bevorzugt), beide mit weitständiger Klüftung, aufgefasst. Abnehmende Bankmächtigkeit und abnehmende Kluftabstände führen zu abnehmendem Erosionswiderstand.

<sup>45</sup> Die jeweils zu prüfenden strukturellen Komplikationen sind aus den charakteristischen Eigenschaften der Endlagersystemtypen abzuleiten.

mit Grundwasser die Subrosion rasch zum Erliegen kommt und das Deckgebirge darauf keinen substantiellen Einfluss hat..

Maßgebliche Faktoren für Subrosion sind dagegen Tiefenlage des Salzstocks sowie die sich einstellende Dichteschichtung des Grundwassers über dem Salzstock. Die Einstellung einer Dichteschichtung wird wiederum begünstigt durch geringe Salzaufstiegsraten, welche zu gewissen Muldenbildungen am Salzspiegel führen und wiederum eine schwächere Grundwasserdynamik zur Folge haben.

*Allgemeine Anmerkung aus den Gesprächen der „kleinen Arbeitsgruppe“:*

*Die Festlegung eines Kriteriums nur für einen bestimmten Wirtsgesteinstyp sollte ausgeschlossen werden, insbesondere dann, wenn das Kriterium auch für andere Wirtsgesteinstypen von Bedeutung sein könnte. Für das hier vorgeschlagene Kriterium Deckgebirge trifft dies zu, weil z.B. für Ton das Deckgebirge eine wesentliche Bedeutung für das Risiko von Dekompaktion hat. Durch einseitige Einführung eines Kriteriums für Salzstöcke wird die Balance des Abwägungsprozesses gestört. Auch wenn das Kriterium eine Bedeutung für Salzstöcke haben sollte, müsste es auch für Tonstein und Kristallgestein definiert und spezifiziert werden. Dies ist aber aus Expertensicht aufgrund der vorhandenen Datenlage bzw. des Wissens so heute nicht möglich und könnte eventuell nur nach weiteren längeren Untersuchungen erfolgen. Auf das Kriterium kann jedoch gänzlich verzichtet werden, da es schon durch die Sicherheitsbetrachtungen im Rahmen der Analyse der Robustheit des Endlagersystems im Prozessverlauf bewertet wird. Eine vorherige Abwägung macht deswegen aus o.g. Gründen keinen Sinn. Auch die betonte Relevanz eines Deckgebirges für die ersten 15.000 Jahre (Vorschlag Minister Wenzel), die als Begründung für das Kriterium herangezogen wird, ist aus fachlicher Sicht nicht nachvollziehbar und ein entsprechendes Kriterium wird daher abgelehnt. Zur Berücksichtigung einer möglichen Subrosion bei Salzstöcken wurde die Mindestanforderung „Minimale Teufe des ewG“ (siehe Kapitel 4.3) einvernehmlich um die Forderung nach einer 300 m mächtigen Salzscheibe unmittelbar angrenzend über dem ewG für den Wirtsgesteinstyp „Steinsalz in steiler Lagerung“ erweitert. Eine Notwendigkeit von weiteren Kriterien zur Berücksichtigung der Subrosion sehen die Verfasser dieses Klammertextes aufgrund der o.g. Gründe aus fachlicher Sicht weiterhin nicht. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Anwendung von nicht sicherheitsgerichteten Mindestanforderungen und Abwägungskriterien die erhebliche Gefahr birgt, dass eignungshöfliche Standorte frühzeitig aus dem Verfahren ausscheiden könnten.*

*Unser Vorschlag lautet: Ein zusätzliches Abwägungskriterium „Schützender Aufbau des Deckgebirges von Salzstöcken“ sollte nicht aufgenommen werden.*

1

**Herr Dr. Appel, (K-Drs. /AG3-73 vom 21.12.2015):**

**Anforderung "Schützender Aufbau des Deckgebirges von Salzstöcken" (Gewichtungsgruppe 1) und zugehöriges Abwägungskriterium "Schutzfunktion des Deckgebirges von Salzstöcken"**

Den Barrieren von Endlagersystemen für hoch radioaktive Abfälle kommt eine der beiden übergeordneten Sicherheitsfunktionen "Einschluss der radioaktiven Abfälle" im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) bzw. "Schutz des ewG" zu. Unter den bei der Standort-auswahl im Vordergrund stehenden geologischen Barrieren übernimmt das Deckgebirge über dem ewG dessen Schutz gegen Einwirkungen von oben bzw. außen. Bei Salzstöcken hat wegen der Wasserlöslichkeit des Wirtsgesteins sowie wegen Wasserlöslichkeit bzw. Wasserleitvermögen mit ihm vergesellschafteter Gesteinskörper und der allgemein vertikalen Ausrichtung der Schichten der Schutz gegen (selektive) Subrosion und ihre möglichen Aus-wirkungen durch ein schützendes Deckgebirge herausragende Bedeutung.

Die mit Errichtung, Betrieb und Abfalleinbringung verbundenen thermischen, hydraulischen und

mechanischen Beanspruchungen des ewG und der ihn umgebenden Gesteinskörper in den ersten ca. 10.000 Jahren nach Einlagerung wirken sich auf das Deckgebirge von Salzstöcken praktisch nicht aus. Es hat daher in dieser Phase für den Schutz des ewG gegen etwaige Einwirkungen von außen besondere Bedeutung. Für den anschließenden Teil des Nachweiszeitraums kann eine Beeinträchtigung der Schutzfunktion des Deckgebirges durch künftige exogene Prozesse nicht ausgeschlossen werden. Solche Prozesse werden in Deutschland jedoch weder überall noch immer in kritischem Ausmaß auftreten. Eine heute vorhandene Schutzwirkung des Deckgebirges stellt also ein im Auswahlverfahren im Zuge der Abwägung zu berücksichtigendes sicherheitlich positives Standortmerkmal dar.

Mit den Kriterien des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AKEND 2002) ist die Beurteilung von Salzstöcken bzw. ihr Vergleich hinsichtlich des Schutzpotenzials des Deckgebirges nur abstrakt bzw. erst spät im Verfahrensablauf möglich. Die Bewertung ist zudem für Außenstehende nur schwierig nachzuvollziehen. Wegen der sicherheitlichen Bedeutung von Subrosion für die sichere Endlagerung, gerade in Salzstöcken, und im Sinne der Verfahrenstransparenz sollte daher dem Kriteriensatz auf Basis AKEND (2002) die Anforderung "Schützender Aufbau des Deckgebirges von Salzstöcken" (Gewichtungsgruppe 1) mit zugehörigem Kriterium hinzugefügt werden.

1

**Herr Minister Wenzel (K.-Drs. /AG3-74 vom 22.12.2015)**

**Mindestanforderung „Günstiges Deckgebirge für Salzformationen für einen Zeitraum von 15.000 Jahren“**

Für das Wirtsgestein Salz geht es bei dieser Forderung um die Gewährleistung des Schutzes gegen die Beeinträchtigung der Wirtsgesteinsformation und des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch Subrosion.

In der Salzstudie der BGR von 1995 wurde dazu ausgeführt: *„Eine flächenhafte Überdeckung des Caprock einer Salzstruktur mit wasserhemmenden Unterkreidetonen und einer ungestörte Decke aus Sedimenten der Oberkreide und des Alttertiär (z. B. Rupel-Tone) würde ein optimales geologisches Barriere-System darstellen. Dies ist aufgrund der für das Bergwerkskonzept geforderten geringen Tiefenlage des Caprock im Allgemeinen nicht gegeben. Jedoch erscheint auch eine unverritzte und möglichst ungestörte Überdeckung allein durch die Tone des Alttertiär (Eozän, Rupel) akzeptabel.“*

Die Abschätzung der verschiedenen ablaufenden Prozesse im Wirtsgestein Salz zeigt insgesamt „– bei aller Ungenauigkeit – eine kritische Zeitspanne, die bis zu mehreren tausend Jahren reichen kann“, in der folgende Störungen/Prozessabläufe auftreten können (Appel & Kreusch 2006):

- „Allgemeine gebirgsmechanische Vorgänge/Spannungsumlagerungen, die durch die Existenz der Hohlräume und deren Konvergenz induziert werden...
- *Thermomechanische* Vorgänge, die durch die Ausdehnung des Salzstocks wegen seiner Aufheizung durch die stark wärmeentwickelnden Abfälle auftreten...
- Durch die Bildung von Gas können negative Einflüsse auf die Barriere Salzstock und die geotechnischen Barrieren hervorgerufen werden“

Die heutigen Erkenntnisse und Überlegungen zeigten, „dass eine neue Kaltzeit mit Gletscherüberdeckung in Norddeutschland – gemessen an den tatsächlichen Verhältnissen der Vergangenheit - frühestens in 15.000 – 20.000 Jahren stattfinden kann... Die Umformung

(Beseitigung, Ausräumung) des günstigen Deckgebirges kann im norddeutschen Raum frühestens in ca. 15.000 Jahre von heute geschehen... Eine Abschätzung der Länge der Vorgänge/Prozesse, die den potenziell kritischen Zustand des Endlagers direkt nach Einlagerung verursachen, führt zu einer Zeitspanne von mehreren Tausend Jahren... Ein günstiges Deckgebirge ist also für eine begrenzte Zeit (mehrere Tausend Jahre) unbedingt notwendig.“

1

2 Offene Punkte aus den Diskussionen des Fachworkshops Ende Januar 2016:

3 Hinweis AK1: Subrosions-Seen als zusätzliches Ausschlusskriterium

4 Es wurde die Frage diskutiert, ob vorhandene bzw. leicht erkennbare verlandete Subrosions-Seen über einem  
5 Salzstock als zusätzliches Ausschlusskriterium angesehen werden können. Für die Einstufung als  
6 Ausschlusskriterium ergab sich kein Konsens, als Abwägungskriterium erscheint das Vorhandensein von  
7 subrosionsbedingten Einbruchseen bzw. anderen Subrosionsmerkmalen dennoch relevant.

8

9 Hinweis AK2: Wirtsgesteinsspezifische Kriterien

10 Der AK 2 hat ausführlich zum Thema diskutiert. Wesentliche Punkte und Fragen:

- 11 • Was genau wird mit wirtsgesteinsspezifischen Kriterien verbunden?
- 12 • Brauchen die einzelnen Wirtsgesteine ein Deckgebirge?
- 13 • Wichtiger Punkt ist die Vermittelbarkeit an die BürgerInnen.
- 14 • Bewertung von Abwägungskriterien kann nur erfolgen, wenn man bereits ein Endlagerkonzept
- 15 kennt.
- 16 • Grundgedanke des ewG: Grundansatz Ton und Salz als Wirtsgestein ist die eigentliche Barriere.
- 17 Funktioniert bei Kristallin nicht. [.....]

18

**Kommentiert [sal10]:** Nds hält eine weitere Diskussion im Zusammenhang mit den Abwägungskriterien für das Deckgebirge für erforderlich