

1

2 Kommission
3 Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
4 gemäß § 3 Standortauswahlgesetz
5
6 Arbeitsgruppe 3
7 Entscheidungskriterien sowie Kriterien
8 für Fehlerkorrekturen

9

10

11 **Geowissenschaftliche Kriterien – Stand 10.04.2016**

12 Fortschreibung der Fassung aus Drs. AG3-91c nach der AG3-Sitzung am 05./06.04.2016 unter
13 Berücksichtigung der im Vorfeld der Sitzung eingegangenen Änderungsvorschläge der AG-
14 Mitglieder.

15 Workshop- oder Onlinekommentare wurde, wenn die AG3 sich mit ihnen im Zuge der
16 Durchsprache des Dokuments befasst hat, entfernt, d.h. es sind nur noch solche Kommentare
17 bzw. Kommentarverweise aus Workshop- oder Onlinekommentierung enthalten, die noch nicht in
18 der Diskussion angesprochen wurden.

19

20

21

1	Inhaltsverzeichnis	
2	Abbildungsverzeichnis	4
3	Tabellenverzeichnis	5
4	I. Vorbemerkung der Vorsitzenden	7
5	II. Verwendete Kommissionsdokumente	8
6	1. Ziel	11
7	2. Begriffsbestimmungen	15
8	3. Geowissenschaftliche Ausschlusskriterien	16
9	3.1. Großräumige Vertikalbewegungen	16
10	3.2. Aktive Störungszonen	16
11	3.3. Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit	16
12	3.4. Seismische Aktivität	17
13	3.5. Vulkanische Aktivität	17
14	3.6. Grundwasseralter	17
15	4. Geowissenschaftliche Mindestanforderungen	19
16	4.1. Gebirgsdurchlässigkeit	19
17	4.2. Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	20
18	4.3. Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	20
19	4.4. Maximale Tiefe des Einlagerungsbereichs	24
20	4.5. Fläche des Endlagers	24
21	4.6. Erkenntnisse zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hinsichtlich des Nachweiszeitraums	25
22		
23	5. Geowissenschaftliche Abwägungskriterien	26
24	5.1. Gewichtungsgruppe 1: Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises	28
25		
26	5.1.1. Anforderung 1: Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser einschlusswirksamen Gebirgsbereich	28
27		
28	5.1.2. Anforderung 2: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper, insbesondere von Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich	33
29		
30	5.1.3. Anforderung 3: Gute räumliche Charakterisierbarkeit	45
31	5.1.4. Anforderung 4: Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse	47
32		
33	5.2. Gewichtungsgruppe 2: Absicherung des Isolationsvermögens	49
34	5.2.1. Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen	49

1	5.2.2.	Anforderung 6: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten in	
2		Wirtsgesteinskörper / einschlusswirksamem Gebirgsbereich	54
3	5.3.	Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften	57
4	5.3.1.	Anforderung 7: Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung	57
5	5.3.2.	Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit	58
6	5.3.3.	Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine einschlusswirksamen	
7		Gebirgsbereich gegenüber Radionukliden	64
8	5.3.4.	Anforderung 10: Günstige hydrochemische Verhältnisse	66
9	5.3.5.	Anforderung 11: Günstige Bedingungen für den Bau von Verschlussbauwerken	67
10	5.3.6.	Anforderung 12 : Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine im Deckgebirge von	
11		Salzstöcken gegenüber Radionukliden	68
12	5.3.7.	Anforderung 13: Schützender Aufbau des Deckgebirges	68
13	5.3.8.	[Anforderung NEU14: Günstige Randbedingungen für Fehlerkorrekturen]	71
14	5.3.9.	[Anforderung NEU15: Günstige Voraussetzungen zur Vermeidung des Aufbaus zu	
15		hohen Gasdrucks]	71
16			

1 **Abbildungsverzeichnis**

2	Abbildung 5-1:	Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem	
3		Gebirgsbereich: Typ A und Typ Ba aus AkEnd 2002	34
4	Abbildung 5-2:	Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem	
5		Gebirgsbereich: Typ Bb aus AkEnd 2002	35
6	Abbildung 5-3:	Schematische Darstellung von Potenzialgebieten und Endlagerbereich	
7		aus AkEnd 2002	38
8	Abbildung 5-4:	Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der	
9		Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit nicht bis gering	
10		kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten [nach LUX 2002]	51
11	Abbildung 5-5:	Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der	
12		Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem	
13		(duktilen) Materialverhalten [nach LUX 2002]	52
14			

1 Tabellenverzeichnis

2	Tabelle 5-1:	Transport durch Grundwasser: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien	30
3			
4	Tabelle 5-2:	Transport durch Grundwasser: Bewertungsgrößen der Diffusionsgeschwindigkeit für den Wirtsgesteinstyp Tonstein	31
5			
6	Tabelle 5-3:	Günstige Konfiguration der Gesteinskörper: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien	40
7			
8			
9	Tabelle 5-4:	Gute räumliche Charakterisierbarkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien	46
10			
11			
12	Tabelle 5-5:	Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien	48
13			
14			
15	Tabelle 5-6:	Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	53
16			
17			
18	Tabelle 5-7:	Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	56
19			
20			
21	Tabelle 5-8:	Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	58
22			
23			
24	Tabelle 5-9:	Gute Temperaturverträglichkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	59
25			
26	Tabelle 5-10:	Hohes Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	65
27			
28			
29	Tabelle 5-11:	Hohes Rückhaltevermögen im Deckgebirge: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums	68
30			
31			
32			
33			

1 I. Vorbemerkung der Vorsitzenden

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

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

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

14 Das folgende Papier stellt den weit fortgeschrittenen Diskussionsstand der AG 3 dar, der vorläufig
15 mit der Sitzung vom 17.12.2015 abgeschlossen wurde. Dieser weit fortgeschrittene Zwischenstand
16 soll im Januar 2016 mit der Fachöffentlichkeit und der allgemeinen Öffentlichkeit im Internet und in
17 einem Fachworkshop diskutiert werden. Danach soll das Papier finalisiert werden.

18 In dem folgenden Papier sind alle Kriterien enthalten, die nach derzeitigem Diskussionsstand
19 erforderlich sind. Bei einer großen Zahl der Kriterien besteht in der AG 3 Einigkeit; diese
20 Textpassagen sind nicht besonders gekennzeichnet. Bei anderen Kriterien bestehen bisher noch
21 unterschiedliche Auffassungen in der AG 3. Um diese Unterschiede zu dokumentieren, haben die
22 Vertreter der unterschiedlichen Auffassungen Texte formuliert, um ihre jeweilige Ansicht
23 darzustellen. Solche Passagen am Rande mit senkrechten Linien markiert.

24 Gelb unterlegte Textpassagen sind lediglich als Lesehinweise zu verstehen.

25

26 Im Folgenden verarbeitete Fortschreibungen **nach dem 29.12.2015** sind wie folgt gekennzeichnet:

27

Änderungs- und Ergänzungswünsche sowie Diskussionsbeiträge von Mitgliedern der
Arbeitsgruppe 3 **BIS ENDE JANUAR 2016** sind grundsätzlich in eckiger Klammer mit
Nennung des jeweiligen Autors, ggf. bezugnehmender Drucksache und Datum eingefügt
und grün hinterlegt.

28

29 Die im Vorfeld und Rahmen der letzten AG 3 Sitzung vereinbarten Änderungen sind, soweit noch
30 nicht abschließend vereinbart, im Änderungsmodus eingefügt, dabei wird auf hinterlegte K-Drs.
31 (hier AG3-1109, 110, 113, 116) gesondert per Kommentar hingewiesen

32

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-

Kommentar [Oline1]: ID 1001

Dokumente sind *kursiv* gesetzt.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

Hinweise und Ergebnisse aus der Fachtagung „Kriterien für die Standortauswahl“ am 29./30.01.2016 in Berlin (s.a. Dokument "Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf" werden an der jeweiligen Stelle per Kommentar eingespeist, dabei wird zwischen den themenspezifischen Beiträgen aus dem AK1 (Geowissenschaftliche Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen) und aus dem AK2 (Geowissenschaftliche Abwägungskriterien) unterschieden. Thematische Doppelungen aus unterschiedlichen Beiträgen allgemein bekannte Fakten werden dabei weitgehend vermieden. Nicht genau einzelnen Kriterien oder Gewichtungsgruppen zuordenbare Ergebnisse der Fachtagung werden als Kommentar zu Kap. 1 (Ziel) subsummiert.

Auf Beiträge aus der Online-Kommentierung der K.Drs. 157 wird per Kommentar auf die tabellarische Auswertung von ZebraLog verwiesen (Datei Export_Online_Konsultation_20160201-sortiert.xlsx, bzw. gleichnamige pdf-Datei) verwiesen. Die Online-Beiträge sind in dieser Tabelle nach Kapitel und Unterkapitel sortiert und in der ersten Spalte mit einer vierstelligen ID indiziert. Es handelt sich dabei um insgesamt 185 Kommentare von Einzelpersonen. Aufgrund der Vielzahl der Einzelkommentare und der teils umfangreichen Kommentarinhalte können diese hier nicht im Detail wiedergegeben werden. Offensichtlich nicht mit dem Thema der Drs-157 bzw. seiner Fortschreibung verknüpfte, doppelte oder sonst offensichtlich für die Diskussion in der AG 3 ungeeignete Kommentare (insgesamt 28 Stück) wurden nicht übernommen. Die ID-Nummern der nicht übernommenen Kommentare sind in der o.a. Tabelle rot hinterlegt. Die in der Tabelle enthaltenen Textbezüge zur K.-Drs. 157 wurden, soweit erforderlich und sinnvoll, redaktionell eingekürzt, um die Tabelle lesbar zu halten.

Kommentar [AK1-2]: Beispielkommentar AK 1

Kommentar [AK2-3]: Beispielkommentar AK 2

Kommentar [Oline4]: Beispiel ID 1xxx

23 II. Verwendete Kommissionsdokumente

24 Verwendete Unterlagen sind:

- 25 · K-Drs. /AG3-63: Beratungsunterlage für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 -
26 Geowissenschaftliche Kriterien im Rahmen des Standortauswahlverfahrens, Entwurf 3 vom 13.
27 Dezember 2015; Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla
- 28 · K-Drs. /AG3-64: Beratungsunterlage für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 -
29 Kriterien für Kristallin als Wirtsgestein, Datum: 13. Dezember 2015; Verfasser: Dr. Ulrich
30 Kleemann unter Verwendung vorbereitender Papiere von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, Dr.
31 Detlef Appel und Dr. Markus Traumannsheimer
- 32 · K-Drs. /AG3-65: Beratungsunterlage für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 -
33 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (Kurzfassung auf Basis AkEnd 2002) mit Zuordnung
34 von Kommentaren aus der AG 3, Stand 13.12.2015; Verfasser: Dr. Detlef Appel
- 35 · K-Drs. /AG3-70: Vorschläge zur Umformulierung bzw. Neuformulierung geowissenschaftlicher
36 Kriterien, korrigierte Fassung - 16.12.2015; Verfasser: Dr. Detlef Appel

37 Des Weiteren wurden die im Verlauf der Sitzung der AG 3 am 17.12.2015 diskutierten
38 Sachverhalte bezüglich der zitierten Dokumente berücksichtigt.

39 Im Nachgang zur Sitzung der AG 3 am 17.12.2015 sind in Erledigung dort abgestimmter
40 Arbeitsaufträge bis zum 22.12.2015 folgende Dokumente eingegangen, die ebenfalls
41 berücksichtigt wurden:

-
- 1 · Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR, Fr. Dr.
2 Rosenbaum): Änderungs-/Ergänzungsvorschlag in der K-Drs. AG3- 65 (S. 24/25) bezüglich des
3 Kriteriums „gute Charakterisierbarkeit“ (per Email, 21.12.2015)
- 4 · K-Drs. /AG3-71: Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit - Kommentar „Eckige Klammer“
5 zur K-Drs. / AG3-65 (Dr. Appel), 21.12.2015; Verfasser: Dr. Jan Richard Weber, BGR,
- 6 · K-Drs. /AG3-72: Kurzstellungnahme zu Beratungsunterlage K-Drs. AG 3-43 „Vorschläge zur
7 Umformulierung bzw. Neuformulierung geowissenschaftlicher Kriterien (Verfasser: Dr. Detlef
8 Appel) bzw. zur korrigierten Fassung vom 16. Dezember 2015 (Tischvorlage zur 15. Sitzung der
9 AG 3 am 17.12.2015 für den Fachworkshop am 29./30.01.2016 in Berlin, 21.12.2015; Verfasser:
10 Dr. Bernhard Fischer, MdB Steffen Kanitz
- 11 · K-Drs. /AG3-73: Dr. Appel: Neues Kriterium Deckgebirge Salzstöcke - Anforderung
12 "Schützender Aufbau des Deckgebirges von Salzstöcken" (Gewichtungsgruppe 1) und
13 zugehöriges Abwägungskriterium "Schutzfunktion des Deckgebirges von Salzstöcken",
14 21.12.2015; Verfasser: Dr. Detlef Appel
- 15 · K-Drs. /AG3-74: Textvorlagen für den Berichtsteil der AG 3, Verfasser: Min Stefan Wenzel, 22.
16 Dezember 2015

17

18 Für die Fortschreibung nach dem **29.12.2015** wurden folgende Dokumente verwendet:

19 K-Drs. /AG3-64: Beratungsunterlage für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 - Kriterien für
20 Kristallin als Wirtsgestein, Datum: 13. Dezember 2015; Verfasser: Dr. Ulrich Kleemann unter
21 Verwendung vorbereitender Papiere von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, Dr. Detlef Appel und Dr.
22 Markus Trautmannsheimer

23 K-Drs. /AG3-77: Dr. E.h. Bernhard Fischer, Prüfung der K-Drs. 157 „Geowissenschaftliche
24 Kriterien - Papier der Vorsitzenden der AG 3" und "Klammertexte" zu Anforderung 2 und
25 Anforderung 3, per Email am 08.01.2016

26 K-Drs. /AG3-80: Stellungnahme zur K.-Drs.157 „Geowissenschaftliche Kriterien – Papier der
27 Vorsitzenden der AG 3 – Stand 29.12.2015“, Verfasser: Prof. Dr.-Ing Wolfram Kudla, Datum:
28 08.01.2016

29 Email von Herrn Min. Wenzel an die Endlagerkommission vom 19.01.2016

30 Email von Herrn Dr. Appel an die Vorsitzenden der AG 3 vom 28.01.2016

31 K-MAT 47: Diskussionspapier der Entsorgungskommission - Evaluation der Rand- und
32 Rahmenbedingungen, Bewertungsgrundsätze sowie der Kriterien des Arbeitskreises
33 Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd), 10.12.2015

34 ZebraLog: Fachtagung "Kriterien der Standortauswahl", 29. und 30. Januar 2016: Ergebnisse der
35 Arbeitskreise 1-5, zusammengestellt von ZebraLog auf Grundlage der von den Teilnehmern
36 eingereichten Ergebnisvorlagen sowie der Mitschriften aus den Arbeitskreisen, Version 1.0,
37 05.02.2016 (Datei: "Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf")

38 ZebraLog: Datei Export_Online_Konsultation_20160201.xlsx (tabellarische Zusammenstellung
39 der Online-Kommentierung der K.-Drs. 157 vom 18.-31.01.2016)

40

41

1 Die geowissenschaftlichen Kriterien standen nach der AG3-Sitzung am 22.02.2016 erst wieder am
2 05./06.04.2016 in der AG 3 zur Diskussion. Für die Fortschreibung nach dem **22.02.2016**
3 wurden neben den Diskussionen in der AG3-Sitzung am 05./06.04.2016 folgende Dokumente
4 verwendet:

5

6 K-Drs. /AG3-109: Änderungsvorschlag Appel / Thomaske zu Kapitel 3.3. in K-Drs. AG3-91a

7 K-Drs. /AG3-110: Änderungsvorschlag Appel zu Kap. 5.1.2. in K-Drs. AG3-91a bzw. 91c

8 K-Drs. /AG3-116: Überarbeitung zu K-Drs./AG3-91a Geowissenschaftliche Kriterien, Kap. 5.1.1.
9 Anforderung 1, Abwägungskriterium „Diffusionsgeschwindigkeit“, Verfasser: Dr. Detlef Appel,
10 Datum 18.03.2016

11 E-Mail von Herrn Dr. Appel vom 07.04.2016: Änderungsvorschläge Appel zu K-Drs. AG3-110

12 E-Mail von Herrn Dr. Appel vom 07.04.2016: Überarbeitung K-Drs. /AG3-116, Appel, 31.3.2016 /
13 7.4.2016

14

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
4 Eignung geologischer Formationen für die Endlagerung sowie wirtsgesteinsspezifische
5 Ausschluss- und Auswahlkriterien für die möglichen Wirtsgesteine Salz, Ton und Kristallin sowie
6 wirtsgesteinsunabhängige 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 „1. 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,

Kommentar [sal5]: In diesem Vorspann muss noch ein Text zur Stellung des ewG-Konzepts im Verfahren erarbeitet werden. Dabei geht es auch und besonders um die Einbindung von Kristallin in das Konzept

Hinweis: in K.-Drs. 201 (Anforderungen an Behälter), das aus der Ag3 stammt und in der Kommission am 4.4. (oder 05.04.) beraten wurde, wurde das Thema auf Seite 2 bereits in eckiger Klammer angerissen. Dort heißt es:

"In Endlagerkonzepten, die auf der Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) beruhen (Salz, Tonstein, spezielle Kristallinkonfigurationen) soll der ewG vollständig die Funktion des sicheren Einschusses übernehmen, die Sicherheit des Endlagers darf langfristig (d.h. im Nachweiszeitraum) nicht auf der Funktion des Behälters beruhen. In auf Kristallingestein ohne ewG basierenden Endlagerkonzepten ist für den sicheren Einschuss hingegen ein Zusammenwirken der technischen und geotechnischen Barrieren erforderlich und für den Nachweiszeitraum zu zeigen. [...]"

Kommentar [Oline6]: ID 1005, 1006, 1007, 1009, 1011, 1014, 1015, 1017, 10191 1024

Kristallingestein) gelten sollen. Die 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
4 Phase 1 des Standortsuchverfahrens werden mit Hilfe von Ausschlusskriterien und
5 Mindestanforderungen Teilgebiete und nachfolgend Standortregionen festgelegt, in denen die
6 nachfolgend genannten Mindestanforderungen erfüllt sind und die Ausschlusskriterien nicht erfüllt
7 sind.

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

Kommentar [Oline7]: ID 1012

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

Kommentar [Oline8]: ID 1025

Kommentar [AK1-9]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.9
Prüfen ob Ausschlusskriterien und
Mindestanforderungen für getrennte
Lager grundsätzlich anders sind?

Prüfung der Ausschlusskriterien und
Mindestanforderungen (bes.
Mächtigkeit ewG und Flächenbedarf)
für ein gemeinsames Endlager für
[HAW, MAW und LAW] noch mal in
Angriff nehmen

Unterschiede im Bereich der
Abwägungskriterien prüfen (z.B.
Gasbildung)

16

17

1 Hinweis AK1: Wirtsgesteinsspezifische Kriterien

2 Eine Aufgliederung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen nach Wirtsgesteinstypen
3 macht tatsächlich Sinn, insb. weil sie eine transparente und nachvollziehbare Aufarbeitung
4 ermöglicht.

5 (Wohl wissend, dass dabei Dopplungen auftreten, (z.B. Ausschlusskriterien) die für das Verfahren
6 aber nicht schädlich sind, und erkennend, dass wirtsspezifische Bezüge, insb. bei den
7 Mindestanforderungen eine Rolle spielen werden).

Kommentar [AK1-10]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.1

8
9 Hinweis AK1: Subrosions-Seen als zusätzliches Ausschlusskriterium

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

Kommentar [AK1-11]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.6:

15
16 Hinweis AK 1: Salzstöcke als potenzielle Rohstofflagerstätten grundsätzlich ausschließen?

17 Müssen kein Ausschlusskriterium sein, die Gefahr von Human Intrusion müsste aber zumindest in
18 Abwägung stärker berücksichtigt werden

19 [Nutzungskonkurrenz wurde in der Diskussion mehrheitlich als wenig relevant, jedenfalls nicht
20 verfahrensleitend angesehen]

Kommentar [AK1-12]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.10

21
22

1 Hinweis AK 2: Aggregation der Abwägungskriterien
2 Es gab eine Diskussion über die vorzuschlagende Methodik, und zu der in Drs. / Ag 3*84
3 aufgeworfenen Feststellung, es sei nicht Ziel der AG 3, Vorgaben für den multikriteriellen Vergleich
4 zu erarbeiten, und Verweis auf das Kap. " Aggregation" im AkEnd-Bericht

5 Vorschlag: Beauftragen von Experten, Keine Verlagerung der Entscheidung in das Verfahren.

6 Die Diskussion enthält auch einen Vorschlag zum weiteren Procedere:

- 7 1. Quantitative Beschreibung der Anforderungen und Kriterien durch AG3
- 8 2. Quantitative Untersetzung der Kriterien (Indikatoren) herausnehmen
- 9 3. Konsultationsprozess zu den Anforderungen / Kriterien
- 10 4. Festlegung des Prozedere zur Festlegung der Indikatoren und Aggregationsregeln in einem
11 Konzept (vgl. Sachplan CH) durch AG3
- 12 5. Öffentlicher Konsultationsprozess zu diesem Konzept

Kommentar [AK2-13]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
2.1.1

14 Hinweis AK 2: 2.1.2 Bezug der Abwägungskriterien zu Ausschlusskriterien / Abwägungskriterien
15 allgemein

16 Endlagerkonzept muss frühzeitig in Phase 1 festgelegt werden, um Sicherheitsbetrachtungen durchführen
17 zu können.

Kommentar [AK2-14]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
2.1.2

19 Hinweis AK2: Wirtsgesteinsspezifische Kriterien

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

- 21 · Was genau wird mit wirtsgesteinsspezifischen Kriterien verbunden?
- 22 · Brauchen die einzelnen Wirtsgesteine ein Deckgebirge?
- 23 · Wichtiger Punkt ist die Vermittelbarkeit an die BürgerInnen.
- 24 · Bewertung von Abwägungskriterien kann nur erfolgen, wenn man bereits ein
25 Endlagerkonzept kennt.
- 26 · Grundgedanke des ewG: Grundansatz Ton und Salz als Wirtsgestein ist die eigentliche
27 Barriere. Funktioniert bei Kristallin nicht.

Kommentar [AK2-15]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
2.2.1

28
29

Kommentar [Oline16]:
IOD 1026, 1029, 1030, 1031, 1032,
1033

2. Begriffsbestimmungen

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

Ausschlusskriterium:

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

Mindestanforderung:

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

Abwägungskriterium:

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

Kommentar [Oline17]:
ID 1027

Die nachfolgend genannten Kriterien haben zum Ziel, einen Standort festzulegen, der die bestmögliche Sicherheit zur Isolation insbesondere hoch radioaktiver Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren erwarten lässt. Sie orientieren sich eng an den geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Anforderungen an eine günstige geologische Gesamtsituation gem. AkEnd¹. Die dort zusammengestellten Aspekte wurde von der Arbeitsgruppe geprüft und entweder übernommen, modifiziert bzw. angepasst oder begründet nicht übernommen.

Kommentar [Oline18]:
ID 1034, 1035

¹ AkEnd: Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte, Dezember 2002 – K-MAT 1

3. Geowissenschaftliche Ausschlusskriterien

3.1. Großräumige Vertikalbewegungen

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

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

3.2. Aktive Störungszonen

~~[Im Endlagersystem der Endlagerregion]~~[Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich]~~[Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich inklusive eines Sicherheitsabstand von xy m]~~ dürfen keine geologisch aktiven Störungszonen vorhanden sein, die das Endlagersystem und insbesondere den einschlusswirksamen Gebirgsbereich sowie die technischen und geotechnischen Barrieren beeinträchtigen können.

~~Erläuterung:~~ Unter einer „aktiven Störungzone“ werden sowohl Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz als auch Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung verstanden. Als "aktive Störungen" mit Sicherheitsrelevanz für ein Endlager werden Verwerfungen angesehen, an denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel (ein geologischer Zeitraum, der vor d.h. seit etwa 34 Mio. Jahren beginnt) bis heute Bewegungen stattgefunden haben. Atektionische bzw. aseismische Vorgänge (also Vorgänge, die nicht aus den Gesetzen der Tektonik abgeleitet werden können oder nicht auf seismische Aktivitäten zurückzuführen sind), die zu ähnlichen sicherheitlichen Konsequenzen wie tektonische Störungen führen können, sind wie diese zu behandeln (s.a. AkEnd-Bericht, S. 87/88).

Erläuterung: Die mutmaßlichen Breiten von Störungszonen sind individuell abzuschätzen. Da eine exakte Zonenbreite in der Regel nicht festlegbar ist, sollte für eine Ausweisung von Gebieten mit besonders ungünstigen Verhältnissen ein "Sicherheitsaufschlag" von einigen Kilometern beidseits der erkannten Zone festgelegt werden (AkEnd 2002, S. 88).

3.3. Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit

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

Das Endlager muss in einem neu aufzufahrenden Bergwerk errichtet werden. Vorhandene alte Bohrungen dürfen den umgebenden einschlusswirksamen Gebirgsbereich in seiner Einschlussfunktion nachweislich nicht beeinträchtigen ~~Das Wirtsgestein und insbesondere der Der einschlusswirksame Gebirgsbereich dürfen nicht durch früher abgeteufte Bohrungen in ihrer~~

~~einer Einschlussfunktion beeinträchtigt sein. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss unverritz sein.~~

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

Erläuterung: Da ~~im Rahmen der Auswahl der Standortregionen~~ im ersten Schritt ~~des Standortauswahlverfahrens~~ noch keine gebirgsmechanischen Standsicherheitsberechnungen erfolgen, ~~muss der Einflussmüssen die Einflüsse~~ aus gegenwärtiger und früherer bergbaulicher Tätigkeit ~~erst einmal~~ zunächst qualitativ abgeschätzt werden.

3.4. Seismische Aktivität

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

Erläuterung: siehe AkEnd-Bericht, S. 89-91

3.5. Vulkanische Aktivität

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

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

Der AKEnd kam zur Einschätzung der vulkanischen Gefährdung in Deutschland auf Grundlage einer Expertenbefragung² zu dem Ergebnis, dass in Deutschland außer den Gebieten Eifel und Vogtland/Egergraben keine weiteren Gebiete mit einer vulkanischen Gefährdung benannt werden müssen. Das Wiederaufleben des Vulkanismus in der Eifel im Prognosezeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahren ist als sicher anzunehmen. Anzeichen einer bevorstehenden Eruption sollten sich in einem Zeitraum von ca. ein bis zwei Jahren zuvor ankündigen. Im Bereich des Vogtlands und in der angrenzenden Region Nordwestböhmens besteht nach dem vorliegenden Kenntnisstand eine Wahrscheinlichkeit von etwa 50 % für das Wiederaufleben des Vulkanismus im westlichen Teil des Egergrabens.

Erläuterung: siehe AkEnd-Bericht, S. 91-93

3.6. Grundwasseralter

Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. im Einlagerungsbereich dürfen keine jungen Grundwässer vorliegen. Diese Grundwässer dürfen daher kein Tritium und keinen Kohlenstoff-14 enthalten.

² vgl. K-Mat 12-14: 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.

Kommentar [Sal21]: s.a. K.-Drs. AG3-113 (Kleemann)

Kommentar [Sal22]: Basis: Beitrag von Dr. Appel vom 27.01.16

Im Hinblick auf ggf. erforderliche Ergänzungen prüfen die sachkundigen Kollegen noch einmal, z.B. im Hinblick darauf, ob nachgewiesene Konzentrationen bzw. Aktivitäten auf ihre ggf. geogenen Herkunft hin überprüft werden oder ob auf eine Altersbestimmung durch C14 in Zusammenhang mit einem Mindestalter abgehoben werden sollte.

1 Erläuterung: Junge Grundwässer (z.B. feststellbar anhand ihrer Tritium- und Kohlenstoff-14-
2 Gehalte) deuten auf eine Teilnahme des Grundwassers am hydrologischen Kreislauf hin. Tritium
3 und Kohlenstoff-14 werden routinemäßig untersucht und bieten die Chance, relativ früh im
4 Verfahren Informationen zum Grundwasseralter zu bekommen. Das Fehlen von Tritium und
5 Kohlenstoff-14 ist allerdings kein hinreichender Beleg für eine günstige geologische
6 Gesamtsituation (s.a. AkEnd-Bericht, S. 94-95).

7 Die auf Grund der Tritium-/Kohlenstoff-14-Konzentrationen errechneten Grundwasseralter sind im
8 Hinblick auf Fehlerquellen (u.a. Kohlenstoffquellen und -senken im Gestein, Beschränkungen der
9 Messgeräte; „in-situ“ Untergrundproduktion von Kohlenstoff-14/Tritium; Probenkontamination) zu
10 korrigieren.

11

Kommentar [Oline23]: ID 1058, 1085

Kommentar [sal24]: s.a. K.-Drs. AG3-113 (Kleemann)

4. Geowissenschaftliche Mindestanforderungen

4.1. Gebirgsdurchlässigkeit

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

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

Erläuterung: Grundsätzlich gilt, dass die Gebirgsdurchlässigkeit möglichst gering sein soll, damit ein advektiver Flüssigkeitstransport vermieden wird und allenfalls ein diffusiver Stofftransport erfolgt³.

Kristallingesteine können zwar über homogene Bereiche mit sehr geringen Gesteinsdurchlässigkeiten ($k_f < 10^{-10}$ m/s) verfügen, die Gebirgsdurchlässigkeit über Trennflächen (Klüfte, Verwerfungen) kann jedoch deutlich erhöht sein. Demnach sind bei der Erkundung solche Massivbereiche auszugliedern, in denen mächtige, hydrodynamisch aktive Störungszonen fehlen. Zwischen eventuell auftretenden, hydrogeologisch relevanten Störungszonen müssen unter Beachtung von Sicherheitsabständen möglichst homogene und minimal deformierte Gesteinsblöcke geringer Durchlässigkeit ausgewiesen werden. Deshalb ist für den Nachweis der Standorteignung eine detaillierte Erfassung und hydrogeologische Bewertung des strukturellen Inventars erforderlich⁴. Günstig für eine Radionuklidfreisetzung ist das Vorkommen alterierter Gesteinsvarietäten mit guten Sorptionseigenschaften in diesen Gebieten. Die Gesteine sollten demnach im Nah- und Fernfeld des Endlagers über gut ausgebildete Isolations- bzw. Radionuklidfixierungseigenschaften verfügen. Der Kenntnisstand wird jedoch zu Beginn des Auswahlverfahrens noch nicht vollständig zur genauen Abgrenzung dieser Bereiche ausreichen. Nur bei Vorliegen von Kenntnissen großer und aktiver Störungszonen oder weitergehender Informationen zur geologischen Gesamtsituation kann ein Ausschluss schon in der Phase 1 erfolgen.

Der Nachweis der Isolation kann auch durch überlagernde dichte Gesteine (Ton/Salz) erfolgen⁵ (Schreiber, Ewert & Jentzsch 2015). Der einschlusswirksame Gebirgsbereich liegt dabei außerhalb des Wirtsgesteins (Fall Bb nach AK End 2002).

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

³ vgl. AkEnd, S. 95 und S. 113-129

⁴ 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

⁵ vgl. K-MAT 42: Schreiber, U., Ewert, T. & Jentzsch, G. (2015): Geologische Potenziale zur Einlagerung von radioaktiven Abfallstoffen unterhalb von stratiformen Salzformationen.- Universität Duisburg-Essen

4.2. Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss mindestens 100 m mächtig sein.

Erläuterung: siehe AkEnd-Bericht, S. 95.

4.3. Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

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

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

Zur minimalen Tiefe der Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gibt es einen Ergänzungsvorschlag von Herrn Dr. Appel und eine sich hierauf beziehende Stellungnahme von Herrn Dr. Fischer und Herrn MdB Kanitz, die auf den folgenden Seiten wiedergegeben werden.

Vorschlag zur Ergänzung der Mindestanforderung "Teufenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs" von Herrn Dr. Appel (K.-Drs. /AG3-70)

Die Teufe der Oberfläche des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches muss mindestens 300 m betragen, bei Salzstöcken 600 m, wovon jeweils mindestens 300 m auf die Salzschwebe über dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich und das nichtsalinare Deckgebirge entfallen müssen.

Zum Schutz vor naturbedingten Einwirkungen von der Erdoberfläche ist in AKEND (2002) die Mindestteufe der Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit 300 m unter Geländeoberfläche festgelegt worden. Das entspricht einer Tiefe, in der bei den potenziellen Wirtsgesteinstypen Tonstein und Granit (bzw. vergleichbaren kristallinen Gesteinstypen) nicht mehr mit entlastungsbedingter Durchlässigkeitserhöhung als Folge erosiver Beseitigung von überlagernden Teilen des Deckgebirges gerechnet werden muss. Mit naturbedingten Einwirkungen waren insbesondere Erosion und ihre Folgen gemeint. In BGR (2009) wird diese Mindestteufe als zu gering angesehen. Angesichts der Gefahr der künftigen Entstehung tiefer subglazialer Rinnen böte sie keinen ausreichenden Schutz. Vorgeschlagen wird eine Mindestteufe von 500 m.

Dieser Vorschlag ist nicht zwingend. Er beruht auf der insbesondere von KELLER (2009) entwickelten Position, wonach im norddeutschen Tiefland für die Zukunft mit der Entstehung von Rinnen mit bis zu 500 m Tiefe gerechnet werden muss. Die grundsätzliche Möglichkeit künftiger eiszeitlicher Rinnenentstehung - auch mit diesem Tiefgang - ist seit langem belegt und unbestritten. Allerdings werden die für die Lage und den Tiefgang solcher Rinnen verantwortlichen Prozesse derzeit im Einzelnen nicht so gut verstanden,

Kommentar [Sal25]: ggf. weiterer Diskussionsbedarf am 02.03. auf Antrag von Herrn Min. Wenzel

Kommentar [Oline26]: ID 1064, 1065, 1066, 1067 1083

Kommentar [sal27]: Es wurde am 22.02. vereinbart, dass hierzu ein abgestimmter gemeinsamer Vorschlag von Herrn Dr. Appel, Dr. Fischer, Min. Wenzel (sog. "Kleine-AdHoc-AG") erarbeitet wird, ggf. unter Einbindung weiterer AG3-Mitglieder und der BGR

Stichworte: "300 + X", "von oben gerechnet"
"Salzschwebe von mindestens 300 m über dem ewG" ist dazu NICHT additiv gemeint, sondern ergänzend für Salz. "von unten gerechnet"

Regionale Besonderheiten (z.B. Erosionsrinnen) sind zu beachten, Oberkante ewg soll unter solchen Phänomenen liegen. letztlich soll das Kriterium für alle Wirtsgesteine gelten

Kommentar [Oline28]: ID 1068, 1071

Kommentar [Oline29]: ID 1070

dass daraus auf eine zwangläufige Gleichbehandlung Gesamt-Norddeutschlands geschlossen werden dürfte, die zur Festlegung einer generell gültigen Mindestteufe von 500 m zwänge. Angesichts der Tatsache, dass gerade Tonsteinvorkommen im Tiefenbereich zwischen etwa 300 und 500 m unter Gelände (auch) sicherheitstechnische Vorteile bieten können (z. B. JOBMANN et al. 2007a u. b), erscheint es vielmehr angemessener, die mit künftiger Rinnenbildung verbundenen Sicherheitsaspekte in einem umfassenden Abwägungsprozess zu berücksichtigen. Grundlage dafür ist das Abwägungskriterium "Robustheit und Sicherheitsreserven" des AkEnd mit differenzierter Bewertungsfunktion für die Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs.

Kommentar [Oline30]: ID 1074

Kommentar [Oline31]: ID 1073

Die Umformulierung der Mindestanforderung "Teufenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs" ist allerdings aus einem anderen Grund sinnvoll:

Bei einer Wirtsgesteinsformation (z. B. aus Tonstein), deren Mächtigkeit etwa der des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs entspricht, befände sich auch deren Oberfläche in dieser Tiefe. Die geforderten 300 m würden vollständig aus dem darüber liegenden Deckgebirge bestehen. Bei Salzstrukturen bedeutete die Einhaltung der Mindestanforderung auf diese Weise, dass sich der einschlusswirksame Gebirgsbereich bzw. ihn unmittelbar überlagernde Salzgesteine der Wirtsgesteinsformation in direktem Kontakt mit Grundwasser führenden Schichten des Deckgebirges befinden könnten und wahrscheinlich örtlich auch befänden. Diese sicherheitstechnisch nicht akzeptierbare Situation sollte durch eine klare Mindestanforderung für Salzstöcke ausgeschlossen werden. Die vom AkEnd festgelegte Mindesttiefe der Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs von 300 m sollte daher um die von BGR (1995 u. 2007) für Salzstöcke geforderte Salzschwebe über dem Endlagerbereich von 300 m bei gleichzeitiger Mindestmächtigkeit des (nichtsalinaren) Deckgebirges von 300 m AkEnd ergänzt werden. BGR (1995) hatte bei der Identifizierung untersuchungswürdiger Salzstöcke eine Mindestmächtigkeit des Deckgebirges über dem Gipshut von 200 m zu Grunde gelegt; dieser Wert stünde nach der oben gegebenen Erläuterung im Widerspruch zu der Anforderung des AkEnd.

Kommentar [Oline32]: ID 1072

Kommentar [Oline33]: ID 1069

Kommentar [Oline34]: ID 1075

Zitierte Schriften

AKEND - Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte.- Dezember 2002.

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Salzformationen.- Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, August 2005 (Bearbeiter: Kockel, F., Krull, P., Fischer, M., Frisch, U., Heßmann, W. & Stiewe, H.), Archiv-Nr. Hannover: 111 089, Archiv-Nr. Berlin: 2025041.

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen.- Hannover/Berlin, April 2007.

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2009): Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für geologische Endlager in allen Wirtsgesteinen (EUGENIA). Teil I. Grundlagen und Beispiele für Standortauswahlverfahren für HAW-Endlager in unterschiedlichen

Wirtsgesteinstypen.- Im Auftrag des BMWi, Mai 2009, (Bearbeiter: J. Hammer, J. Sönke, G. Mingerzahn), Hannover, Tagebuchnr. 10593/09.

JOBMANN, M., AMELUNG, P., BILLAUX, D., POLSTER, M., SCHMIDT, H. & UHLIG, L. (2007a): Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland - GENESIS - Abschlussbericht.- DBE TECHNOLOGY, Peine, März 2007.

JOBMANN, M., AMELUNG, P. & UHLIG, L. (2007b): Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland - GENESIS - Anlagenband Geologie der Referenzregionen im Tonstein.- DBE TECHNOLOGY, Peine, März 2007.

KELLER, S. (2009): Eiszeitliche Rinnensysteme und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit möglicher Endlagerstandorte mit hochradioaktiven Abfällen in Norddeutschland.- BGR-Bericht, Hannover, August 2009.

1

2

Kurzstellungnahme zu Beratungsunterlage K-Drs. /AG 3-70 von Herrn Dr. Fischer und Herrn MdB Kanitz (K.-Drs. /AG3-72)

Zur Ergänzung der Mindestanforderung "Teufenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs:

Die vorgeschlagene Ergänzung der Mindestanforderung zur Teufenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs ist weder notwendig noch zielführend.

Einerseits wird der hier thematisierten Beeinträchtigung des eWG durch eiszeitliche Rinnen bereits durch die in K-Drs/AG3-63 enthaltene Ergänzung

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

hinreichend Rechnung getragen. Diese Formulierung berücksichtigt auch, dass nicht nur Salzstöcke, sondern insbesondere auch Tonformationen von eiszeitlichen Rinnen betroffen sein können und die Unversehrtheit des eWG eine Grundvoraussetzung ist.

Andererseits ist die geforderte Festlegung der Mächtigkeit von Salzscheibe und Deckgebirge willkürlich und ebenso unbegründet wie die Behauptung, dass direkter Kontakt des Salzspiegels mit Grundwasser sicherheitstechnisch nicht akzeptabel sei.

Die Existenz zahlreicher Salzstöcke in Norddeutschland mit geringer mächtigen Deckgebirgen bzw. mit direktem Kontakt zum Grundwasser beweist das Gegenteil. Dies ist insbesondere daher unbedenklich, da auch bei direktem Kontakt mit Grundwasser die Subrosion infolge der Aufsättigung und der sich dann einstellenden Dichteschichtung des Grundwassers schnell zum Erliegen kommt.

Kommentar [Oline35]: ID 1078

1

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 6.3

Die ESK ist mit einer minimalen Teufe von 300 m für einen Standort mit einem Isolationszeitraum von einer Million Jahre einverstanden. Aus verschiedenen Gründen könnte die Angabe einer generellen Mindestteufe für ganz Deutschland für sich allein als ein zu undifferenziertes Kriterium angesehen werden:

- Je nach Hebungs- oder Subsidenzrate kann eine minimale Teufe von 300 m als genügend bis deutlich zu wenig angesehen werden.
- In stratigraphischen Abfolgen kann für die obersten ca. 200 m eine gegen oben zunehmende Dekompaktion der Gesteine und damit zunehmende hydraulische Durchlässigkeit beobachtet werden.
- In Gebieten wiederholter Vergletscherung (z. B. in der norddeutschen Tiefebene) finden sich glaziale Rinnen mit maximaler Tiefe von 500 m für die in zukünftigen Eiszeiten mit einem Ausräumen des Lockermaterials und einer möglichen Vertiefung und lateralen Verbreiterung zu rechnen ist.

Das Ziel der oben formulierten Mindestanforderung ist der Erhalt des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches über einen Nachweiszeitraum von einer Million Jahre. Dabei ist die minimale Teufe zusammen mit der zusätzlichen Mindestanforderung „Einhaltung der geowissenschaftlichen

Mindestanforderungen“ (vgl. Kapitel 6.7) zu betrachten⁶. Durch die gemeinsame Betrachtung werden die oben aufgelisteten Aspekte berücksichtigt und das Ziel des langfristigen Erhalts des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches wird erreicht, so dass die ESK die seitens des AkEnd festgelegte Mindestteufe von 300 m vollumfänglich unterstützt.

4.4. Maximale Tiefe des Einlagerungsbereichs

Diese Anforderung des AkEnd ist aus Sicht der AG 3 für die Standortauswahl nicht erforderlich.

Die Tiefe eines Endlagerbergwerks ergibt sich aus der örtlichen geologischen Situation, dem Einlagerungskonzept, der bergtechnischen Machbarkeit und ggf. zusätzlichen Anforderungen an die Arbeitssicherheit unter Tage (e.g. Umgebungstemperatur). Die Suche nach einem Endlagerstandort sollte für eine Einlagerungstiefe zwischen 500 und 1000 m erfolgen. Je nach Einlagerungskonzept (z.B. vertikale Bohrlochlagerung) können auch größere Tiefen erreicht oder notwendig werden. Die an einem bestimmten Standort erforderliche Einlagerungstiefe kann also von Standort zu Standort sehr unterschiedlich sein. Unter diesen Randbedingungen ist die AG 3, abweichend vom Vorschlag des AkEnd, der Auffassung, dass es nicht sinnvoll ist, für die maximale Tiefe des Einlagerungsbereichs eine Mindestanforderung zu definieren.

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 6.4

Als Begründung für diese Mindestanforderung wird seitens AkEnd die mit der Teufe ansteigenden Gebirgstemperaturen und den hierdurch steigenden technischen Aufwand beim Endlagerbetrieb angeführt. Darüber hinaus ist aus Sicht der ESK auch der mit der Teufe zunehmende Gebirgsdruck zu berücksichtigen. Die Begrenzung der maximalen Teufe für ein Endlagerbergwerk auf 1.500 m ermöglicht unter Berücksichtigung der steigenden Gebirgstemperaturen und des zunehmenden Gebirgsdrucks die sichere Errichtung und den sicheren Betrieb eines Endlagers auf der Basis fundierter technischer Kenntnisse und Erfahrungen.

Die ESK ist mit der Mindestanforderung einverstanden.

4.5. Fläche des Endlagers

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

Erläuterung: Im Rahmen der Auswahl der Standortregionen (1. Schritt des Auswahlverfahrens) ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich eines Endlagers noch nicht bekannt. Für die Größe des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches einschließlich des gesamten Endlagerbergwerks wurde im AKEnd-Bericht für Salz von einer Fläche von 3 km² und für Tonstein von 10 km² ausgegangen. Diese Zahlenwerte sind nicht mehr zutreffend und werden derzeit im Rahmen eines von der Endlagerkommission vergebenen Gutachtens neu ermittelt. Nach dem Bericht zum Nationalen Entsorgungsprogramm sollen zudem weitere Abfallmengen aus der Urananreicherung und aus dem Endlager Asse – sofern ein geeigneter Standort für ein Kombilager gefunden werden kann - in

⁶ Anmerkung: Bezogen auf K.-Drs. 157 ist der Verweis der ESK auf Kap. 4.6. "Erkenntnisse zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hinsichtlich des Nachweiszeitraums" zu beziehen.

Kommentar [AK1-36]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.4:
Auslegungstemperatur und geothermische Tiefenstufe definieren die maximale Tiefenlage
-hierbei sind wirtsgesteinsspezifische Eigenschaften (Temperaturverträglichkeit) zu berücksichtigen
-Erfahrung des Bergbaus bei der Klimatisierung?
-Illitisierung des Tonsteins (auch gebirgsdruck-abhängig)
-Ausschluss der Thermomigration in Salz

Auflockerungszone der Streckenauffahrung wächst mit zunehmender Teufe (insbesondere Ton; ewG-Mächtigkeit?)
→ Kriterium kann nicht gestrichen werden!

Kommentar [AK2-37]:
2.1.7
Wenn ein Plus an Teufe ein Plus an Sicherheit bringt, dann müsste die Teufenlage des Endlagers (im Rahmen der bautechnischen Machbarkeit) maximiert werden.

2.2.3
Verschiedentlich wird angeführt, dass die Tiefenlage ggf. als Abwägungskriterium relevant ist

Kommentar [Oline38]: ID 1079, 1080, 1081

Kommentar [Sal39]: Vorschlag aus dem Diskussionstand der AG 3 vom 2.02.2016

Kommentar [Sal40]: Die Erläuterung ist nach Vorlage der noch ausstehenden Gutachten zu aktualisieren

1 das Endlager für hoch radioaktive Abfälle aufgenommen werden sollen. Bei der Berechnung der
2 Flächenausdehnung eines Endlagers muss auch das Lagerkonzept einschließlich der
3 Zugangsstrecken, Untertagelabors, Verschlussbauwerke usw. beachtet werden (S.a. AkEnd-
4 Bericht, S. 95).

5
K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 6.5

Die flächenmäßige Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss sich aus Sicht der ESK an der einzulagernden Abfallmenge orientieren. Bei ausschließlicher Betrachtung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle stimmt die ESK der vom AkEnd vorgeschlagenen Größenordnung der flächenmäßigen Ausdehnung zu.

Ergibt sich, wie in [2] angedacht, die Notwendigkeit, radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (d. h. nicht Konrad-gängige LAW/MAW, rückgeholte Abfälle aus der Schachanlage Asse II, Urantails, Graphit-Abfälle etc.) und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle an einem gemeinsamen Standort mit genügend großer räumlicher Trennung der Endlagerteile zu lagern, ist darüber nachzudenken, inwieweit das ewG-Konzept auch für die radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung Anwendung finden soll und ob im Falle einer solchen Übertragung eine räumliche Trennung der Lagerteile nicht automatisch auch mit einer räumlichen Trennung der einschlusswirksamen Gebirgsbereiche verknüpft werden sollte. Ist dies der Fall, wäre die Größe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs für alle Lagerteile unter Berücksichtigung der zu erwartenden Mengen der entsprechenden Abfallarten, der Einlagerungskonzepte (vertikale/horizontale Lagerung, ein-/mehrsöhlige Lagerung) und der Wärmeentwicklung zu definieren.

6
7 **4.6. Erkenntnisse zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hinsichtlich des**
8 **Nachweiszeitraums**

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

13 *Erläuterung: siehe AkEnd-Bericht, S. 95.*

Kommentar [sal42]: Aus der Diskussion der AG 3 am 6.4. zu Anforderung 6: Im nächsten Durchgang grundsätzlich prüfen, ob bei der Beschreibung der Abwägungskriterien der Abwägungsaspekt stärker betont werden sollte, damit der Eindruck entsteht, dass das jeweilige Abwägungskriterium zu einer absoluten Wertung hinsichtlich der Standorteignung führt.

Kommentar [sal43]: Aus der Diskussion der AG 3 am 6.4. Für die Abschließende Prüfung der Vollständigkeit wird eine Hinzuziehung der K-MAT 7 (BGR Wirtsgesteine im Vergleich) vereinbart.

Kommentar [sal44]: Aus der Diskussion in der AG 3 am 05./06.04.: Noch einmal überlegen, ob die Anwendung der Mindestanforderungen durchgehend als Positivkategorierung ("Gebiete/Regionen/Standorte die die Anforderungen erfüllen" oder Negativkategorierung ("Ausschluss von Gebieten/Regionen/Standorten, die die Anforderungen nicht erfüllen") formuliert werden soll.

Kommentar [WK45]: Prof. Kudla: Es sollte überlegt werden, ob ein Kriteriengruppe 4 angelegt wird. In diese Kriteriengruppe kommen alle Kriterien hinsichtlich des Deckgebirges. Denn man muss ja einerseits davon ausgehen, dass das Deckgebirge durch eine Eiszeit komplett beseitigt wird. Also muss der Nachweis der nur geringen Radionuklidfreisetzung auch ohne Deckgebirge funktionieren. Andererseits kann gleichzeitig das Deckgebirge zweifelsohne auch eine wichtige Rückhaltefunktion haben, da die eiszeitliche Erosion des Deckgebirges ja nur auftreten kann, aber nicht zwangsläufig auftreten muss.

5. Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

Ziel des Standortauswahlverfahrens ist es, einen Standort zu finden, der die bestmögliche Sicherheit für eine Isolation der Abfälle von den Schutzgütern für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet. Nachdem unter Anwendung der geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen geologische Suchräume ausgewiesen wurden, soll mit Hilfe der nachfolgend genannten Abwägungskriterien beurteilt werden, ob in einem Teilgebiet bzw. einer Standortregion eine insgesamt günstige geologische Gesamtsituation vorliegt. Die günstige geologische Gesamtsituation ergibt sich nicht aus der besonders guten Erfüllung eines einzelnen Kriteriums, sondern aus der Summe der Erfüllung (bzw. Erfüllungsgrade) aller Anforderungen und deren Kriterien. Eine günstige geologische Gesamtsituation ist ein Teilziel. Diese ist dem Gesamtziel, eine hinsichtlich der Sicherheit des Endlagers günstige Gesamtsituation zu erreichen untergeordnet. Die Sicherheit des Endlagers wird im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen beurteilt.

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind im Folgenden in Tendgültige Anzahl Anforderungen und als Anforderung formuliert und in drei Gewichtungsgruppen [Gruppen] gegliedert, die sich zunächst an der Bedeutung der Anforderung für das zentrale Ziel des Einschlusses im ewG orientieren:

Gewichtungsgruppe 1: Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises

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

Gewichtungsgruppe 2: Absicherung des Isolationsvermögens

- Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen
- Anforderung 6: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten in Wirtsgesteinskörper / einschlusswirksamem Gebirgsbereich

Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften

- Anforderung 7: Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung Gasverträglichkeit
- Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit
- Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gegenüber Radionukliden
- Anforderung 10: Günstige hydrochemische Verhältnisse
- Anforderung 11: Günstige Bedingungen für den Bau von Verschlussbauwerken
- [Anforderung xxx12: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine im Deckgebirge gegenüber Radionukliden]

[Noch ohne abschließende Zuordnung zu einer Gewichtungsgruppe]

- [Anforderung xxx13: Schützender Aufbau des Deckgebirges]

1 · [Anforderung xxx14: Günstige Randbedingungen für Fehlerkorrekturen]

2 · [Anforderung xxx15: Günstige Voraussetzungen zur Vermeidung des Aufbaus zu
3 hohen Gasdrucks]

4
5 Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien kommen erstmals in Schritt 2 der Phase 1 des
6 Standortauswahlverfahrens zur Anwendung und gelten ab dann für den gesamten weiteren
7 Abwägungsprozess bis zum Abschluss der Phase 3 mit der Auswahl des Endlagerstandorts. Sie
8 dienen in Schritt 2 der Phase 1 zunächst der Ausweisung von Teilgebieten mit günstigen
9 geologischen Voraussetzungen. In Schritt 3 der Phase 1 sollen sie im Rahmen einer vertiefenden
10 Abwägung zusammen mit repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und der
11 Anwendung planungswissenschaftlicher Kriterien, dazu dienen, Standortregionen für die
12 übertägige Erkundung auszuweisen (Abschluss Phase 1).

13 In den Phasen 2 und 3 treten auf Basis der zunehmenden standortbezogenen Informationen aus
14 der übertägigen und untertägigen Erkundung schrittweise Sicherheitsuntersuchungen (s.a. **[Kapitel**
15 **6.5.1 des Kommissionsberichts]**) auf Basis noch generischer Endlagerkonzepte hinzu, die mit dem
16 Kenntnisgewinn iterativ verfeinert und an die Standortverhältnisse angepasst werden. Aus dem
17 Vergleich der jeweils betrachteten Standortregionen bzw. Standorte ergeben sich zum Abschluss
18 der Phase 2 Vorschläge für die untertägige Erkundung und schlussendlich der Vorschlag für den
19 Standort mit der bestmöglichen Sicherheit (Abschluss Phase 3).

20 Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien dienen in diesem Prozess **[als Prüfgegenstände]**
21 **[Prüfkriterien]**. Ihre Gruppierung und Reihenfolge beinhaltet dabei zunächst keine explizite
22 Bedeutungshierarchie und auch keine quantitativ fassbare Gewichtung.

23 Allerdings kommt in der Zuordnung zu einer der Gewichtungsgruppen zum Ausdruck, dass die
24 Abwägungskriterien im Hinblick auf die Sicherheit des auszuwählenden Standorts unterschiedliche
25 Bedeutung haben, die z.T. auch **[konzeptspezifisch]** **[wirtsgesteinsspezifisch]** unterschiedlich sein
26 können und dass dieser Unterschied bei der Abwägung zu berücksichtigen ist. Auch
27 Kombinationswirkungen können abwägungsrelevant sein. Es ist daher nicht sinnvoll a priori eine
28 **[gewichtungsdominierte Aggregierungsvorschrift]** **[Gewichtungsvorschrift]** abzuleiten. Aus diesem
29 Grund sind in jedem Prozessschritt alle Anforderungen mit ihren zugehörigen Kriterien
30 entsprechend dem jeweiligen Informationsstand zu betrachten und abzuprüfen. Es kann auch
31 grundsätzlich keine der Anforderungen unter Verweis auf andere Anforderungen in der
32 Betrachtung entfallen.

33 Für Bewertung und Vergleich der jeweils zu betrachtenden Standortregionen bzw. Standorte ist ein
34 verbal-argumentativer Abwägungsprozess erforderlich. Auf formale Aggregationsregeln,
35 insbesondere solche mit kompensatorischer Aggregierung der Einzelergebnisse der
36 Kriterienanwendung, wird verzichtet. Die abwägende vergleichende Gesamtbetrachtung aller
37 Anforderungen erfolgt mit dem Ziel, Standortregionen bzw. Standorte mit möglichst günstiger
38 Gesamtausprägung ihrer sicherheitsgerichteten geologischen Merkmale auszuweisen,
39 Unterschiede anhand sicherheitsbezogener Vorteile und Nachteile der Standortregionen bzw.
40 Standort transparent zu machen und hieraus eine Auswahl für den jeweils folgenden
41 Prozessschritt abzuleiten. In diesem Schritt können auf Basis des erzielten Kenntnisgewinns die
42 Vorteile und Nachteile sowie die daraus ableitbare Sicherheit der Standorte vertieft überprüft und
43 bewertet werden. Im Verlauf dieses Prozesses gewinnen die Ergebnisse der detaillierter
44 werdenden Sicherheitsuntersuchungen gegenüber den Abwägungskriterien an Bedeutung. Über
45 Sensitivitätsanalysen können robustere von weniger robusten Merkmalskombinationen

unterschieden werden. Dabei sind auch Änderungen in der anfänglichen Rangfolge sowie Rücksprungmöglichkeiten zu zunächst zurückgestellten Standorten mit zu bedenken.

5.1. Gewichtungsgruppe 1: Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises

Kommentar [Oline46]: ID 1119, 1120

5.1.1. Anforderung 1: Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Kommentar [sal47]: Geändert gem. K-Drs AG3-116 in der überarbeiteten Fassung vom 07.04.2016. Die ursprünglichen Online-Kommentare des Ausgangstextes wurden von Herrn Dr. Appel bei der Überarbeitung mit berücksichtigt.

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

Zugehörige Kriterien

- Die Grundwasserströmung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, ausgedrückt als **Abstandsgeschwindigkeit**, sollte möglichst gering, d. h. deutlich kleiner als 1 mm pro Jahr (s. Tab. 5-1), sein.
- Das **Grundwasserangebot** im einschlusswirksamen Gebirgsbereich sollte möglichst gering sein. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich sollte daher aus Gesteinstypen bestehen, die erfahrungsgemäß eine geringe Gebirgsdurchlässigkeit aufweisen.
- Die **Diffusionsgeschwindigkeit** im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, erfasst durch den effektiven Diffusionskoeffizienten, sollte möglichst gering (kleiner 10^{-11} m²/s) sein.

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

Als Indikator für die Beurteilung von Grundwasserströmung und Grundwasserangebot werden die charakteristischen Gebirgsdurchlässigkeiten der ins Auge gefassten Wirtsgesteinstypen Steinsalz, Tonstein und Kristallin benutzt (AKEND 2002, S. 114ff). Da zunächst auch dazu keine Informationen vorliegen werden, kommt der Gesteinstyp selbst als Indikator für die Gebirgsdurchlässigkeit zum Einsatz (AKEND 2002, S. 121):

Indikator "Gesteinstyp" für Gebirgsdurchlässigkeit, Abstandsgeschwindigkeit und Grundwasserangebot

Zugehöriges Kriterium

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich sollte aus Gesteinstypen bestehen, die erfahrungsgemäß geringe Gebirgsdurchlässigkeiten aufweisen (die dafür in Tab. 5-1 für die Bewertungsgröße

1 Grundwasserangebot angegebenen Werte gelten auch für die Bewertungsgröße
2 Abstandsgeschwindigkeit).

3

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

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

17 Mögliche weitere Indikatoren für das Fehlen einer Grundwasserbewegung bzw. für eine nur
18 geringe Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, für die in AKEND (2002)
19 keine Kriterien abgeleitet wurden, sind:

20 · auf Dauer "trockenes" Gestein (AKEND 2002, S. 113)

21 · Temperaturverteilung im tiefen Untergrund (AKEND 2002, S. 121ff)

22 · teufenabhängige Zunahme der Grundwasserdichte (AKEND 2002, S. 126)

23 · "tatsächliches" Alter des Grundwassers im einschlusswirksamen Gebirgsbereich]

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

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

32 Im Hinblick auf den diffusiven Stofftransport durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist
33 sicher zu stellen, dass die Migrationszeiten von Radionukliden möglichst dem geforderten
34 Isolationszeitraum entsprechen (AKEND 2002, S. 127ff). Daher muss die Ausdehnung des
35 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs auf die Diffusionsgeschwindigkeit der Radionuklide
36 abgestimmt werden: Dazu wird als Modell eine 50 m mächtige Barriere angenommen, die einseitig
37 mit einer erhöhten Ausgangskonzentration eines idealen Tracers beaufschlagt wird. Die geforderte
38 geringe Diffusionsgeschwindigkeit bedeutet, dass die Konzentration des Tracers bei Austritt aus
39 dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich über einen Zeitraum von einer Million Jahren unterhalb

1 von 1 % der Ausgangskonzentration verbleibt. Dies ist bei einem effektiven Diffusionskoeffizienten
 2 $< 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ der Fall (Zuweisung der Werte zu den Wertungsgruppen in Tab. 5-1).⁷⁾

3

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] ⁸⁾ [m ² /s]	$< 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-10}$	$> 10^{-10}$

Kommentar [D.A.48]: In der AG3 zu besprechen

4

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

10

⁷⁾ Wichtige diffusionsbezogene Aspekte der sicherheitlichen Beurteilung von Diffusion im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen (u.a. Abhängigkeit des Diffusionskoeffizienten von Ionentyp, Ionenspezies, Gesteinstyp, Temperatur und Diffusionsrichtung, Interaktion mit Sorption) werden hier nicht berücksichtigt.

⁸⁾ Vorschlag in Drs. AG3-36: Diffusionskoeffizient für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25°C

1 Dies trifft bei Tonstein zu⁹⁾. Hier nehmen Diffusionsgeschwindigkeit und effektiver
 2 Diffusionskoeffizient wie die Porosität mit zunehmendem Kompaktions- bzw. Verfestigungsgrad
 3 des Gesteins generell ab, so dass beide Eigenschaften als Indikatoren in Frage kommen:

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

6 Zugehöriges Kriterium

7 Der einschlusswirksame Gebirgsbereich sollte aus Gestein(en) mit geringer absoluter Porosität
 8 und hohem 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 ¹⁰⁾		
		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.
 13 Quantitative Zusammenhänge zwischen den Parametern sind allerdings nicht immer deutlich,
 14 selbst wenn eine Korrelation zwischen dem effektiven Diffusionskoeffizienten und der
 15 Durchlässigkeit festgestellt wird (z.B. KUVA et al. 2014¹¹⁾). Belastbare Aussagen zur
 16 Unterscheidung und Abgrenzung unterschiedlich günstiger Gesteinskörper im Hinblick auf die
 17 Diffusionsgeschwindigkeit sind daher allein auf Basis von Indikatoren, also ohne gezielte Erhebung
 18 der effektiven Diffusionskoeffizienten, nicht möglich.

19 Bei unversehrtem Steinsalz ist der effektive Diffusionskoeffizient gelöster (und gasförmiger) Stoffe
 20 wegen der sehr geringen Porosität des Gesteins für die Standortauswahl ohne Bedeutung.

Kommentar [D.A.49]: In der AG3 zu besprechen

⁹⁾ *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.*

¹⁰⁾ *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.*

¹¹⁾ *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.- https://www.researchgate.net/profile/Marja_Siitari-Kauppi/publication/269420557_Gas_Phase_Measurements_of_Porosity_Diffusion_Coefficient_and_Permeability_in_Rock_Samples_from_Olkiluoto_Bedrock_Finland/links/55adee4008ae98e661a4499f.pdf?inViewer=0&pdfJsDownload=0&origin=publication_detail.*

Kommentar [sa150]: s.a. K-Drs. AG3-110 (Appel) in der geänderten Fassung vom 07.04.2016, eingefügt auf Seite 37

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

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

Kommentar [Oline51]: ID 1101

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

Zugehörige Kriterien

Die **barrierewirksamen Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs** müssen über eine **Mächtigkeit** verfügen, die eine Isolation der Radionuklide über einen Zeitraum einer Million Jahren bewirkt (rechnerische Ableitung unter Voraussetzung idealer Barrierewirkung).

Kommentar [Oline52]: ID 1100

Der **Endlagerbereich** (Konfigurationstyp A in AkEnd 2002) **bzw.** der **Wirtsgesteinskörper** (Konfigurationstyp Ba in AkEnd 2002) **sollte** von den barrierewirksamen Gesteinen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs **umschlossen sein.** (s. Abbildung 5-1)

Kommentar [Oline53]: ID 1102

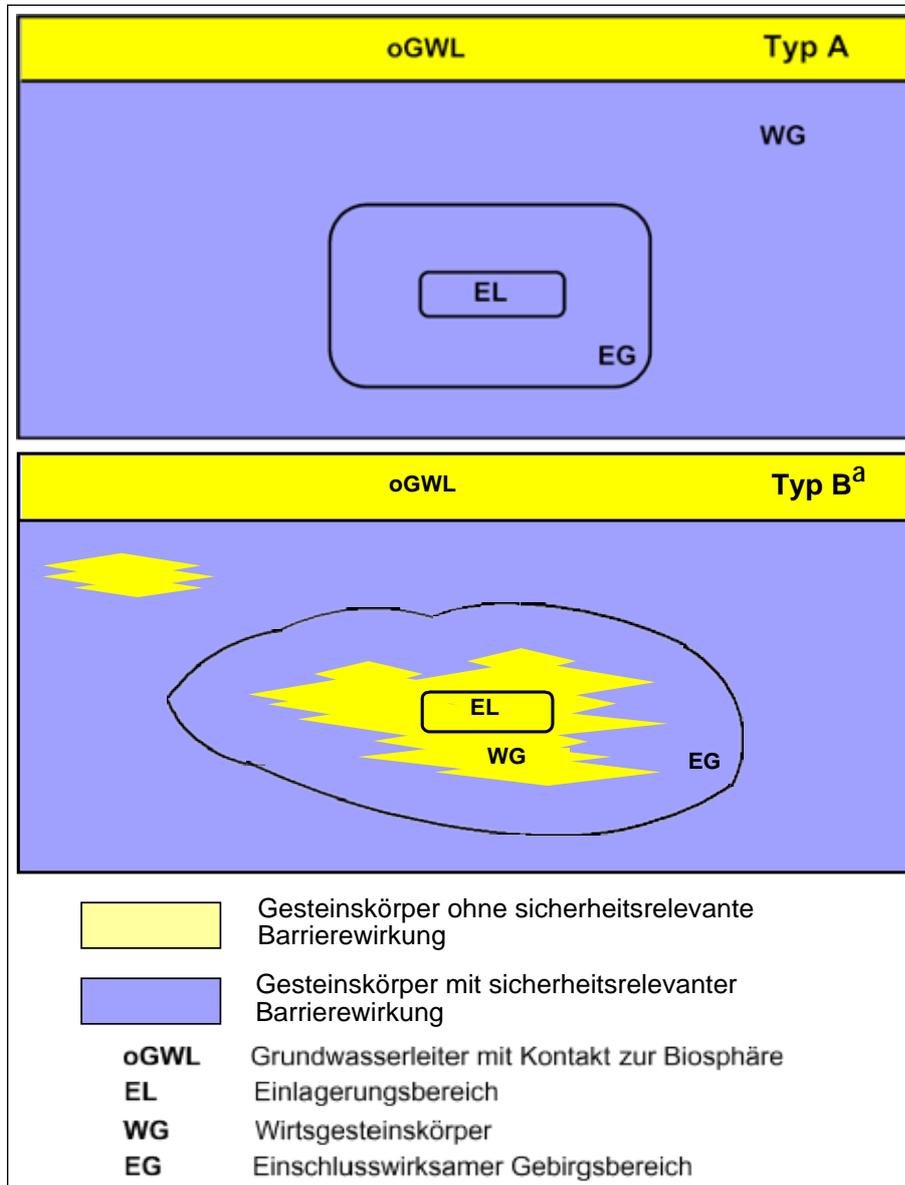
Handelt es sich bei Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich um unterschiedliche Gesteinskörper und wird der Wirtsgesteinskörper nicht vollständig vom einschlusswirksamen Gebirgsbereich umschlossen (Konfigurationstyp Bb in AkEnd 2002, s. Abbildung 5-2), dann kann die Anordnung beider Einheiten allein selbst dann keinen ausreichenden Beitrag zu einer "günstigen geologischen Gesamtsituation" leisten, wenn sie die geforderten Gesteinseigenschaften aufweisen.

Kommentar [Oline54]: ID 1109

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

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

Abbildung 5-1: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ A und Typ B^a aus AkEnd 2002



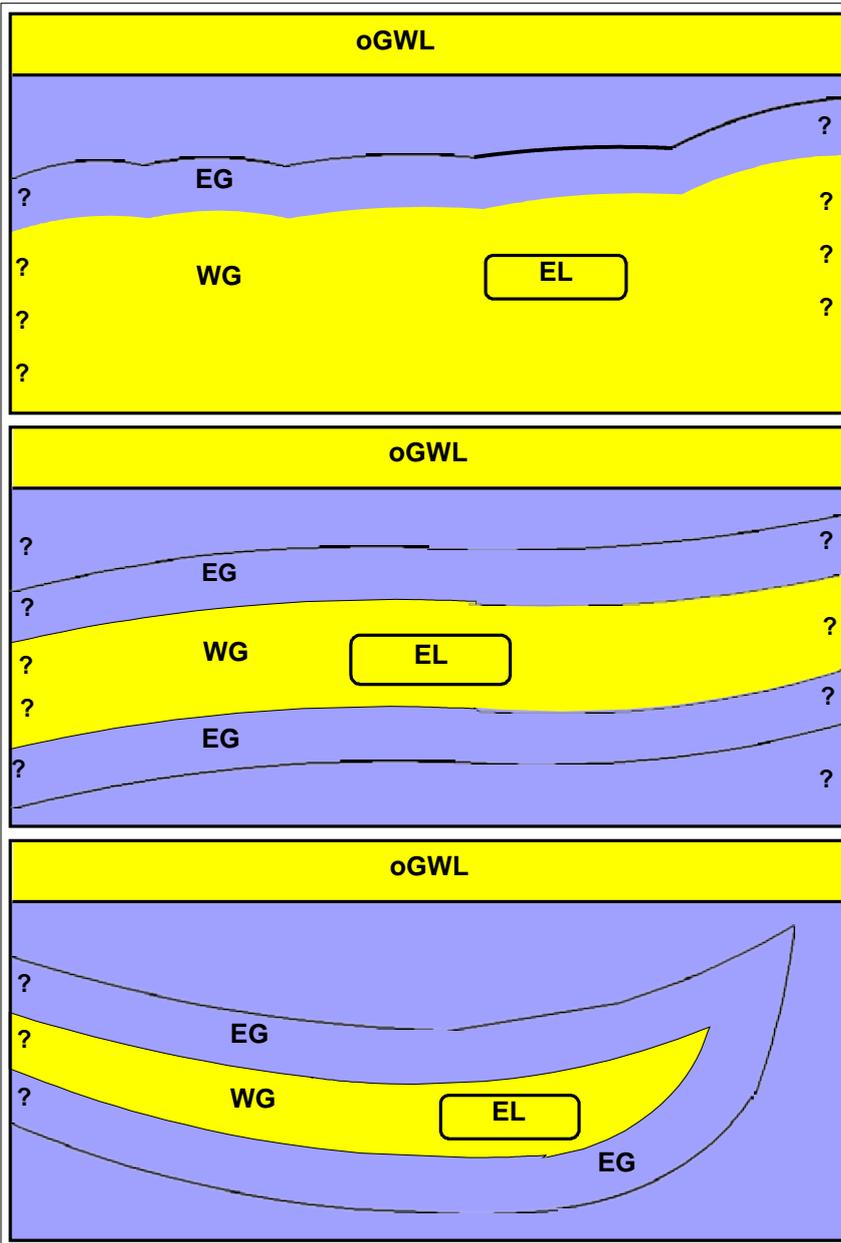
Quelle: AkEnd (2002)

- 1 Erläuterung zu Abbildung 5-1:
- 2 Typ A: Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist Teil eines Wirtsgesteinskörpers mit sicherheitsrelevanter
- 3 Barrierewirkung.
- 4 Typ B: Der Wirtsgesteinskörper hat keine sicherheitsrelevante Barrierewirkung und bildet mit dem
- 5 einschlusswirksamen Gebirgsbereich unterschiedliche Konfigurationen. Die Darstellung entspricht dabei

- 1 dem Typ Ba: Das Wirtsgestein ist vollständig vom einschlusswirksamen Gebirgsbereich umschlossen.
- 2 Die Darstellung ist schematisch und ohne Maßstab.

Abbildung 5-2: Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ Bb aus AkEnd 2002

Kommentar [Oline56]: ID 1111



Quelle: AkEnd (2002)

1 Erläuterung zu Abbildung 5-2:

2 Konfigurationstyp Bb: Geologische Strukturen mit unterschiedlicher Anordnung von Wirtsgesteinskörper und
3 einschlusswirksamem Gebirgsbereich. Die Darstellung ist schematisch und ohne Maßstab, „?“ bedeutet
4 „weitere Ausdehnung noch zu erkunden“. Legende siehe Abbildung 5-1.

5 Die **Teufe der Oberfläche des** erforderlichen **einschlusswirksamen Gebirgsbereichs** sollte
6 unter einschränkender Beachtung tiefenabhängiger gebirgsmechanischer Risiken möglichst
7 groß sein, um die **Robustheit** des Endlagersystems gegenüber natürlichen Einwirkungen auf
8 den einschlusswirksamen Gebirgsbereich von außen und **Sicherheitsreserven** zu
9 gewährleisten.

Kommentar [Oline57]: ID 1106

10 Tiefenabhängige **gebirgsmechanische Risiken** bestehen **insbesondere beim**
11 **Wirtsgesteinstyp Ton / Tonstein**. Sie werden außer durch die tiefenabhängige Gebirgsdruck-
12 und Temperaturzunahme auch durch die petrographische und mineralogische
13 Zusammensetzung, den Grad der Konsolidierung des Gesteins und die örtlichen
14 Gebirgsspannungsverhältnisse beeinflusst.

15 Bei der Anwendung der Kriterien sind gegebenenfalls regionsspezifische Einwirkungsszenarien
16 zu beachten. Deren etwaigen nachteiligen Auswirkungen auf den Einschluss ist dann
17 gegebenenfalls durch die **rechtzeitig abgestimmte Vorgabe** einer regionsbezogenen
18 maximalen Tiefe und bei der bewertungsrelevanten Eigenschaft "Robustheit und
19 Sicherheitsreserven" in Tabelle 5-3 durch die Vorgabe einer abweichenden **regionsbezogenen**
20 **Mindesttiefe** zu begegnen. Ein Beispiel hierfür ist die für eine künftige Eiszeit zu besorgende
21 Entstehung tiefer subglazialer Rinnen in Teilgebieten der norddeutschen Tiefebene.

22 Der **einschlusswirksame Gebirgsbereich** muss über eine **räumliche Ausdehnung** verfügen,
23 die größer ist als das für das Endlager rechnerisch erforderliche Volumen. Damit besteht
24 Spielraum für eine flexible Endlagerauslegung, u. a. um Platz brauchende **Rückholungskonzepte**
25 berücksichtigen zu können, einschließlich Sicherheitsabständen. **Eingangsgröße** für die
26 Abwägung ist die bei einschläger Lagerung benötigte Fläche.

Kommentar [Oline58]: ID 1113

Kommentar [Oline59]: ID 1107,
1108

27
28

1 Die Nachfolgende Einfügung von Herrn Dr. Appel entspricht im Ursprung seinem Vorschlag aus
2 K.-Drs. AG3-110. Die durchgeführten Änderungen (im Änderungsmodus nachvollziehbar) wurden
3 von Herrn Dr. Appel mit Schreiben vom 07.04.2016 veranlasst.

4 Bei potenziellen Endlagerstandorten mit Tonstein als Wirtsgestein kann der einschlusswirksame
5 Gebirgsbereich von wasserleitenden Formationen mit erhöhtem hydraulischem Potenzial
6 ("Potenzialbringer") unter- und/oder überlagert werden (s. Abb. 5-3). Ein dadurch verursachter
7 hydraulischer Gradient kann unter Umständen zur **Induzierung bzw. Verstärkung der**
8 **Grundwasserströmung** und damit auch des Radionuklidtransports **im einschlusswirksamen**
9 **Gebirgsbereich** führen. ~~Diffusion könnte dadurch ihre für Tonstein mit geringer~~
10 ~~Gebirgsdurchlässigkeit charakteristische Bedeutung als dominierender Transportmechanismus~~
11 ~~verlieren.~~ Die ~~daraus resultierende induzierte~~ Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers im
12 einschlusswirksamen Gebirgsbereich ~~sollte nach AKEND (2002) auch bei nur bedingt günstiger~~
13 ~~Gebirgsdurchlässigkeit nicht >1 mm/a nicht überschreiten (s. Kriterium Grundwasserströmung in~~
14 ~~Kapitel 5.1.1) sein.~~

15 Sind mögliche Potenzialbringer vorhanden, ist daher der Einfluss des resultierenden Gradienten
16 auf Grundwasserbewegung und Radionuklidtransport im einschlusswirksamen Gebirgsbereich
17 zu beurteilen. ~~Nach den von potenziellen Standorten für die Endlagerung hoch radioaktiver~~
18 ~~Abfälle mit gering durchlässigem Tonstein als Wirtsgestein in Frankreich und der Schweiz~~
19 ~~vorliegenden Informationen ist eine quantitative Beurteilung der induzierten~~
20 ~~Grundwasserbewegung mittels Abwägungskriterium wahrscheinlich nicht möglich:~~

21 ~~Die auf Grundlage der realen hydraulischen Gradienten an diesen Standorten nach den~~
22 ~~Vorgaben in AKEND (2002) errechneten Abstandsgeschwindigkeiten liegen deutlich über 1~~
23 ~~mm/a. Hinzu kommt, dass Tonsteinformationen mit sehr geringer Gebirgsdurchlässigkeit~~
24 ~~gegenüber unter- und überlagernden Gesteinsfolgen mit höherer Gebirgsdurchlässigkeit auffällig~~
25 ~~abweichende (meist deutlich erhöhte) hydraulische Potenziale (Porenwasserdrücke) aufweisen~~
26 ~~können.~~

27 ~~Die abschließende inhaltliche Auseinandersetzung mit den relevanten hydraulischen~~
28 ~~Standortgegebenheiten kann erst im Rahmen vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen geführt~~
29 ~~werden. Eine quantitative Beurteilung der möglicherweise induzierten~~
30 ~~Abstandsgeschwindigkeit kann erfahrungsgemäß aber erst im Rahmen vorläufiger~~
31 ~~Sicherheitsuntersuchungen erfolgen,~~ wenn entsprechende Informationen vorliegen. Bis dahin
32 können - bei geeigneter Datenlage - für die (vorläufige) Beurteilung einer möglichen Induzierung
33 bzw. Verstärkung der Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich und den
34 abwägenden Vergleich von Standortregionen / Standorten ersatzweise folgende Indikatoren
35 eingesetzt werden:

36 Indikator "Potenzialbringer"

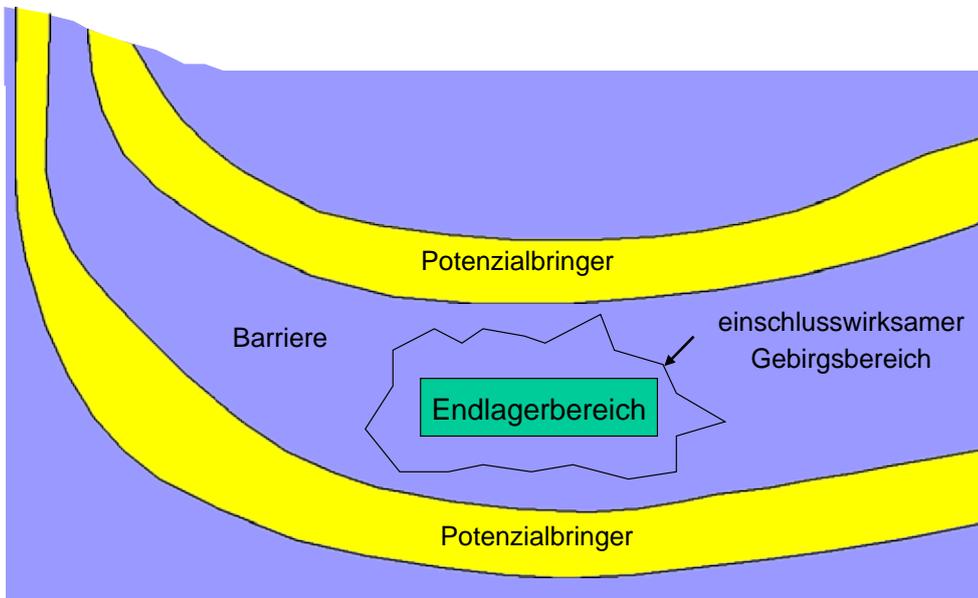
37 Anschluss von wasserleitenden Schichten in Nachbarschaft zu einem m-einschlusswirksamen
38 Gebirgsbereich aus Tonstein an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet
39 (AKEND 2002, S. 144 und Abb. 5.3).

Kommentar [D.A.60]: Die gestrichenen Passagen resumieren die Entwicklung des Kriteriums in der AG3 und haben erläuternden Charakter. Sie sind für das Verständnis des vorgeschlagenen Vorgehens nicht erforderlich.

Kommentar [D.A.61]: Die gestrichenen Passagen resumieren die Entwicklung des Kriteriums in der AG3 und haben erläuternden Charakter. Sie sind für das Verständnis des vorgeschlagenen Vorgehens nicht erforderlich.

Kommentar [D.A.62]: konkretere Formulierung

Abbildung 5-3: Schematische Darstellung von Potenzialgebieten und Endlagerbereich aus AkEnd 2002



Quelle: AkEnd 2002

1

2 Zugehörige Kriterien

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

12 Indikator Auffällige hydraulische Potenziale

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

19 Das gilt dann, wenn gezeigt werden kann, dass die aktuell und in der jüngeren geologischen
 20 Vergangenheit bestehenden hydraulischen Verhältnisse (hydraulische Eigenschaften der
 21 Gesteinskörper, Potenzialdifferenzen) nicht ausgereicht haben, um in fernerer geologischer

1 Vergangenheit verursachte anomale Potenziale bzw. Potenzialunterschiede abzubauen.
2 Voraussetzung für eine solche Interpretation ist, dass die Auffälligkeiten für die gesamte
3 geforderte Fläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gelten und die Ursachen dafür
4 plausibel abgeleitet werden können.

5

6 An dieser Stelle wurden Eckige Klammern von Min. Wenzel, Dr. Fischer und Dr. Appel aus K.-Drs. AG3-91c
7 gelöscht, die sich auf den alten Text bezogen und dem neuen Text nicht mehr zuzuordnen sind.

8

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 Umschließung ¹² 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.	Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter Geländeoberfläche]	> 500	300 – 500	
	Alternativ-Vorschlag von Herrn Prof. Kudla	Tonstein und Salzstöcke und Salz in flacher Lagerung: Sollvorgabe >500 m	Tonstein und Salzstöcke und Salz in flacher Lagerung: Sollvorgabe >500 m	Tonstein und Salzstöcke und Salz in flacher Lagerung: Sollvorgabe >500 m
Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit [Vielfaches des Mindestflächenbedarfs (z. B. für Salz 3 km ² und Ton 10 km ²)] ¹³	>> 2-fach	etwa 2-fach	<< 2-fach
<u>Indikator "Potenzialbringer" bei Tonstein</u> <u>Anschluss von wasserleitenden Schichten in unmittelbarer Nähe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. des</u>	<u>Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung bzw. Verstärkung der Grundwasserbewegung im</u>	<u>Keine Grundwasserleiter als mögliche Potenzialbringer in unmittelbarer Nachbarschaft</u>		<u>Grundwasserleiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgs-</u>

Kommentar [sal63]: Umgang mit dieser Alternative zur darüber liegenden Zeile muss von der AG 3 noch vereinbart werden.

Kommentar [D.A.64]: Appel: Ob Grundwasserleiter vorhanden sind, wird sich relativ früh im Verfahren beantworten lassen, ob ein (relevant) erhöhtes Potenzial vorhanden ist, wahrscheinlich erst dann, wenn auch die Beurteilung der Grundwassergeschwindigkeit möglich ist. Daher hier keine Zwischenkategorie.

¹² Angaben zu den Wertungsgruppen modifiziert nach telefonischer Abstimmung mit Herrn Dr. Appel

¹³ Die genauen Flächenbedarfe sind noch festzulegen!

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
<u>Wirtsgesteinskörpers an ein hohes hydraulisches Potenzial verursachendes Gebiet</u>	<u>Einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können.</u>	zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden		bereich vorhanden
Vorhandensein von Gesteinskörpern mit erhöhtem hydraulischen Potenzial ¹⁴				
Vorschlag für neues Kriterium zur Vermeidung der Aufprägung erhöhten Potenzials: Durch benachbarte Potenzialbringer (Gesteinskörper mit erhöhtem hydraulischen Potenzial) induzierte Grundwasserströmung durch Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich (gilt i.W. für Tonstein)	Rechnerische Abstandsgeschwindigkeit über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den Wirtsgesteinskörper (bei Gebirgsdurchlässigkeit 10^{-10} m/s und effektiver Porosität 0,1) [m/s] ¹⁵	$\ll 0,1$	0,1–1	> 1

Kommentar [Oline66]: ID 1103

Kommentar [Oline67]: ID 1099 (mm/a?)

Kommentar [Oline65]: ID1104

1

Herr Dr. Fischer (K.-Drs./AG3-77 vom 08.01.2016)

In der letzten Zeile der Tabelle in K.-Drs./AG3-46 bzw. in vorliegender Unterlage in Tabelle 5-5 wird analog auf einen hydraulischen Gradienten „über den“ und nicht „im“ ewG abgehoben und zudem das Kriterium auf den gesamten Wirtsgesteinskörper (unkommentiert) erweitert, wobei es neu eingefügt einschränkend heißt „gilt im Wesentlichen (i.W.) für Tonstein“. Hier sollte wieder zur ursprünglichen AkEnd-Formulierung zurückgekehrt werden.

2

¹⁴ Das Vorhandensein von Gesteinskörpern mit erhöhtem hydraulischen Potenzial ist ein abwägungsrelevanter Sachverhalt. Der spezifische hydraulische Gradient ist jedoch eher eine fragwürdige Beurteilungsgröße. Der in AKEND 2002 für frühe Verfahrensphasen vorgeschlagene Indikator "Anschluss von Schichten..." (oder ein ähnlicher Ansatz) ist möglicherweise besser geeignet. Soweit entsprechende Informationen vorliegen, sollte statt des hydraulischen Gradienten selbst die dadurch verursachte Abstandsgeschwindigkeit (≤ 1 mm/a) als eigentlich gesuchte Größe erhoben werden.

¹⁵ Das Vorhandensein von Gesteinskörpern mit erhöhtem hydraulischen Potenzial ist ein abwägungsrelevanter Sachverhalt. Der spezifische hydraulische Gradient ist jedoch eher eine fragwürdige Beurteilungsgröße. Das gilt auch für die hier mit Vorbehalt ersatzweise eingeführte Größe Abstandsgeschwindigkeit, die gewählt wurde, um Parametergleichheit mit dem Kriterium Grundwasserströmung herzustellen. Der in AKEND 2002 für frühe Verfahrensphasen vorgeschlagene qualitative Indikator "Anschluss von Schichten..." (oder ein ähnlicher Ansatz) ist möglicherweise besser geeignet und wurde in veränderter Form beibehalten (s. Fußnote 8). Soweit bzw. sobald entsprechende Informationen vorliegen sollte statt des hydraulischen Gradienten selbst die damit sowie mit Gebirgsdurchlässigkeit 10^{-10} m/s und effektiver Porosität 0,1 ermittelte rechnerische Abstandsgeschwindigkeit benutzt werden.

1 In frühen Phasen des Auswahlverfahrens liegen die zur Anwendung des Kriteriums zur
2 Bestimmung und Bewertung des **spezifischen hydraulischen Gradienten über den**
3 **einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. der daraus resultierenden rechnerischen**
4 **Abstandsgeschwindigkeit** erforderlichen Informationen wahrscheinlich nicht vor. Dann können
5 ersatzweise das Vorhandensein potenzialbringender Grundwasserleiter und die relevanten
6 Eigenschaften der für die Existenz erhöhter Potenziale in Frage kommenden Einheiten zur
7 Beurteilung herangezogen werden. Dazu können folgende Indikatoren zur Anwendung kommen:

8 Indikator a

9 Anschluss von wasserführenden / wasserleitenden Schichten in Nachbarschaft zum
10 einschlusswirksamen Gebirgsbereich an ein hohes hydraulisches Potenzial.

11 Zugehörige Kriterien

12 · Ein Anschluss an ein hohes Potenzial sollte möglichst nicht gegeben sein. Das ist insbesondere
13 dann der Fall, wenn in unmittelbarer Nähe unterhalb und oberhalb des einschlusswirksamen
14 Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteinskörpers **keine Gesteinskörper mit hohem Potenzial**
15 **bzw. hoher Potentialdifferenz** vorhanden sind.

Kommentar [Oline68]: ID 1105

16

Herr Dr. Fischer (K.-Drs. /AG3-77 vom 08.01.2016)

In Fortführung der Veränderung der Tabelle 5-5 wird das zugehörige AkEnd-Kriterium

"Ein Anschluss an ein hohes Potential sollte möglichst nicht gegeben sein."

ohne jegliche Beschränkung auf Ton, d.h. gültig für alle Wirtsgesteine, durch nachfolgende Formulierung ergänzt:

"Das ist insbesondere dann der Fall, wenn in unmittelbarer Nähe unterhalb und oberhalb des ewG bzw. des Wirtsgesteinskörpers keine Gesteinskörper mit hohem Potential bzw. Potentialdifferenz vorhanden sind."

Die dargestellte Vorgehensweise wirft erhebliche Fragen zur Verfahrensweise selbst, ihrer Zielstellung sowie der Rechtfertigung des Ergebnisses und zu den Konsequenzen auf. Offensichtlich genügen Salzstöcke, deren Wirtsgesteinskörper unmittelbar an eiszeitliche Rinnen mit hoher Potentialdifferenz grenzen, dieser Anforderung formell nicht. Tatsächlich ist dies jedoch belanglos, wenn zwischen der eiszeitlichen Rinne und dem ewG mehrere hundert Meter mächtiges, praktisch undurchlässiges Salz liegen und die Subrosionsrate gering ist. Die vorgeschlagene Ergänzung ist daher zu streichen oder wenigstens unmissverständlich zu präzisieren.

Im Übrigen ist die Handhabung der vorgeschlagenen Ergänzung grundsätzlich schwierig, da sie bei einem Nachweiszeitraum von 1 Mio. Jahre an die Grenzen der Prognostizierbarkeit der hydraulischen Bedingungen außerhalb und insbesondere oberhalb des ewG stößt.

17

18 · Der hydraulische Widerstand der leitenden Schicht zwischen Potenzialanschluss und
19 Endlagerposition sollte groß sein, d. h. die Transportlänge sollte groß und die
20 Gebirgsdurchlässigkeit klein sein.

21

1 Indikator b (in Ergänzung zu AkEnd 2002)

2 **Hydraulische Drücke im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. Wirtsgesteinskörper,**
 3 **die auffällig von der zu erwartenden hydrostatischen Druckverteilung abweichen, und / oder**
 4 **deutliche Druckunterschiede zu benachbarten Grundwasser (gering) leitenden**
 5 **Gesteinskörpern aufweisen,** können ein Hinweis auf die günstige hydraulische Barrierewirkung
 6 und damit geringe Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw.
 7 Wirtsgesteinskörpers sein. Das gilt dann, wenn gezeigt werden kann, dass die aktuell und in der
 8 jüngeren geologischen Vergangenheit bestehenden hydraulischen Verhältnisse (hydraulische
 9 Eigenschaften der Gesteinskörper, Potenzialdifferenzen) nicht ausgereicht haben, um in fernerer
 10 geologischer Vergangenheit verursachten anomalen Druckunterschiede abzubauen.
 11 Voraussetzung für eine solche Interpretation ist aber, dass die die Auffälligkeiten für den für die
 12 gesamte geforderte Fläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gelten und die Ursachen
 13 dafür plausibel abgeleitet werden können.

14 Zugehöriges Kriterium

15 **Die hydraulischen Drücke im einschlusswirksamen Gebirgsbereich** bzw. generell im gering
 16 durchlässigem Wirtsgestein sollten von den auf Grund der Tiefenlage des einschlusswirksamen
 17 Gebirgsbereich **zu erwartenden hydrostatischen Drücken** bzw. von den in unter- bzw.
 18 überlagernden möglichen Potenzialbringern herrschenden Drücken **deutlich und plausibel**
 19 **erklärbar** abweichen.

Tabelle 5-6: — Günstige Konfiguration der Gesteinskörper: Ersatzweise anwendbare Indikatoren bei fehlenden Informationen zur Abstandsgeschwindigkeit

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Anschluss an hohes Potenzial (Indikator a)	Vorhandensein von Gesteinskörpern mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung bzw. Verstärkung der Grundwasserbewegung durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können. ¹⁶	keine Grundwasserleiter als mögliche Potenzialbringer in unmittelbarer Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden	Grundwasserleiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden, jedoch ohne erhöhtes Potenzial	Grundwasserleiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden

¹⁶ Das Vorhandensein von Gesteinskörpern mit erhöhtem hydraulischem Potenzial ist ein abwägungsrelevanter Sachverhalt. Der spezifische hydraulische Gradient ist jedoch eher eine fragwürdige Beurteilungsgröße. Der in AKEND 2002 für frühe Verfahrensphasen vorgeschlagene Indikator "Anschluss von Schichten..." (oder ein ähnlicher Ansatz) ist möglicherweise besser geeignet und wurde in veränderter Form beibehalten. Soweit entsprechende Informationen vorliegen sollte statt des hydraulischen Gradienten selbst die unter Verwendung der rechnerisch Abstandsgeschwindigkeit durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den Wirtsgesteinskörper (≤ 1 mm/a) benutzt werden. Das gilt auch für die hier mit Vorbehalt ersatzweise eingeführte Größe Abstandsgeschwindigkeit, die gewählt wurde, um Parametergleichheit mit dem Kriterium Grundwasserströmung herzustellen.

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Hydraulische Drücke (Indikator b)	Abweichung von hydrostatischen Erwartungswerten und/oder benachbarten Potenzialbringern			

1
2

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.2

Die seitens AkEnd angegebenen Zahlenwerte lassen sich in Abhängigkeit von der vorhandenen Barrieremächtigkeit wie folgt zusammenfassen (Auszug aus der Tabelle auf Seite 108 [1]):

Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Barrieremächtigkeit [m]	> 150	100-150	50-100
Grad der Umschließung des Wirtsgesteins durch einschlusswirksamen Gebirgsbereich	vollständig	unvollständig	keine Angabe des AkEnd
Tiefe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter Geländeoberfläche]	> 500	300-500	keine Angabe des AkEnd
Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit [Vielfaches des Mindestflächenbedarfs (z. B. für Salz 3 km ² und Ton 10 km ²)]	> 2-fach	2-fach	< 2-fach
Spezifischer hydraulischer Gradient (bei Gebirgsdurchlässigkeit 10 ⁻¹⁰ m/s und effektiver Porosität 0,1)	<< 10 ⁻²	etwa 10 ⁻²	>> 10 ⁻²

Die Zahlenwerte zur Barrieremächtigkeit beruhen auf Angaben aus [1], Tabelle 4.6, unter Ansatz des Darcy-Gesetzes und der Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit. Hieraus ergibt sich eine Fließstrecke im Nachweiszeitraum von einer Million Jahre, welche der geforderten Barrieremächtigkeit entspricht. Formal ist das Vorgehen richtig, in der Realität jedoch sind die Gradienten über sehr geringdurchlässige Gesteinsschichten deutlich höher (Faktor 10) anzusetzen.

Zur Anforderung an die Barrieremächtigkeit scheinen die Zahlenwerte einleuchtend zu sein (je mächtiger, umso besser), deren quantifizierte Ableitung hat jedoch auch Schwächen. In der Tabelle wird das Kriterium des spezifischen hydraulischen Gradienten (bei vorgegebener Gebirgsdurchlässigkeit und effektiver Porosität) quantifiziert. Aus Sicht der ESK könnte ein solches Vorgehen auch kontraproduktiv sein. Dichte Gesteinspakete weisen ein höheres Potenzial auf als durchlässige (vgl. [1], Abbildung 4.8). Die Anforderung nach einem Gestein des ewG mit geringer hydraulischer Leitfähigkeit und einem geringen Potenzial erscheint unnötig. Soll das Kriterium erhalten werden, könnte dieser Aspekt auch unter dem Ausschlusskriterium "Gebirgsdurchlässigkeit" zugeschlagen werden, ohne Zahlenwerte vorzugeben (da die Durchlässigkeiten, hydraulischen Gradienten, Kluftdurchlässigkeiten und Klufthäufigkeiten

einander bezüglich Stofftransport gegenseitig beeinflussen).

Weiter wird in der Tabelle die Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs quantifiziert. Nach heutigen Erkenntnissen würden die Teufen je nach Regionen und Wirtsgesteinen angepasst werden. Der vom AkEnd eingesetzte Wert von 500 m orientierte sich an der Möglichkeit von externen Eingriffen in das System (aufgrund der durch flächige (fluviatile) Erosion oder glazialen Tiefenschurf bestimmten minimalen Tiefe) einerseits und an der maximalen Tiefe andererseits. Nach heutigem Kenntnisstand muss in Norddeutschland über eine Million Jahre mit mehrfacher Eisüberfahrung und damit verknüpfter glazialer Tiefenwirkung von 300 bis 500 m gerechnet werden.

Bezüglich der „flächenhaften Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit“ ist zu diskutieren, ob die seitens AkEnd angesetzten Mindestausdehnungen heutzutage angesichts der aktuellen Abfallmengen und der angedachten Möglichkeit eines Standortes mit mehreren separaten Lagerteilen für die neben den Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen zusätzlich einzulagernden Abfälle noch zutreffend sind. Außerdem ist abzuklären, inwieweit sich der Flächenbedarf dadurch ändert, dass in einem Endlager, das neben den Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen auch radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (nicht Konrad-gängige Abfälle, aus der Schachanlage Asse II rückzuholende Abfälle, Urantails etc.) aufnimmt, zwingend eine ausreichende räumliche Trennung der Einlagerbereiche vorzusehen ist.

1

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

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

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

12 Zugehörige Kriterien

13 **Ermittelbarkeit**

14 · Die **charakteristischen Eigenschaften** der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den
15 Wirtsgesteinskörper¹⁷ aufbauenden **Gesteinstypen** sollten eine **geringe Variationsbreite**
16 aufweisen und **räumlich möglichst gleichmäßig verteilt** sein.

17 · **Bei tektonisch überprägten geologischen Einheiten** sollte die **Überprägung möglichst**
18 **gering sein**. Das Ausmaß der Überprägung wird abgeleitet aus den Lagerungsverhältnissen
19 unter Berücksichtigung von **Bruch- und Falten tektonik**. **Salzstrukturen** sollten möglichst
20 großräumige Verfaltungen von solchen Schichten aufweisen, die unterschiedliche mechanische
21 und hydraulische Eigenschaften haben.

¹⁷ Bei der Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle in Salzstöcken des norddeutschen Tieflands wird das Wirtsgestein vom "Hauptsalz" der Staßfurt-Folge gebildet.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

Übertragbarkeit

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

Im Hinblick auf die Einheitlichkeit der Gesteinsausbildung bestehen zwischen den verschiedenen genetischen Gesteinsgruppen (Sedimentgesteine, magmatische Gesteine und metamorphe Gesteine) deutliche Unterschiede. Zu ihrer genaueren Bewertung bedarf es daher unterschiedlicher Bewertungsmaßstäbe. Deren abschließende Spezifizierung ist erst nach Kenntnis des Gesteinstyps des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und gegebenenfalls des Wirtsgesteins möglich. Insofern ist die Festlegung der Wertungsgruppen für Sedimentgesteine und metamorphe Gesteine auf Basis des Fazies-Begriffs vorläufig.

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	Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	Fazies regional einheitlich	Fazies nach bekanntem Muster	Fazies nach nicht bekanntem

Kommentar [sal69]: Aus der Diskussion der AG3 am 6.4.: Grundsätzlich prüfen, ob dies für alle Abw.-Kriterien gelten kann, die NICHT mit Mindestanforderungen verknüpft sind.

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Gebirgsbereich			wechselnd	Muster wechselnd

Kommentar [sal69]: Aus der Diskussion der AG3 am 6.4.: Grundsätzlich prüfen, ob dies für alle Abw.-Kriterien gelten kann, die NICHT mit Mindestanforderungen verknüpft sind.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23

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

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

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

Zugehöriges Kriterium

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

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	weniger günstig
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:</u> hier: „Gebirgsdurchlässigkeit“ 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

1

2

1 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
4 Zielsetzung besteht aus geotechnischer bzw. gebirgsmechanischer Sicht darin, im anstehenden
5 Gebirge ein standsicheres Grubengebäude mit Infrastrukturgrubenbauen und
6 Endlagerungshohlräumen ohne nachhaltige Schädigung des umgebenden Gebirges (Rissbildung)
7 sowie mit möglichst geringem Aufwand an technischen Sicherungsmitteln (kein tragender Ausbau)
8 für die jeweilig vorgesehene Betriebszeit auslegen zu können.

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

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

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

33 Ausgehend von diesen Sachverhalten¹⁸ werden zwei Indikatoren für das Vorliegen von in diesem
34 Sinne günstigen geomechanischen Verhältnissen formuliert, auf die die unten genannten Kriterien
35 ausgerichtet sind:

36 Indikator 1

37 Das Gebirge wirkt geomechanisch als Haupttragelement.

38 Das Gebirge wird als **Haupttragelement** angesehen, wenn von ihm die Beanspruchung aus
39 Auffahrung und Betrieb ohne planmäßigen tragenden Ausbau bei verträglichen Deformationen

¹⁸ 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 aufgenommen werden kann (abgesehen von einer Kontursicherung, z. B. **sehr wenig** Anker -
2 Maschendraht).

3 Indikator 2

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

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

11 Bei der planmäßigen Beschränkung der Gebirgsentfestigung und Gebirgsauflockerung auf
12 konturnahe Bereiche ist die intakte geologische Barriere in ihrer räumlichen Ausdehnung
13 zumindest für den Ist-Zustand eindeutig charakterisierbar (durch Berechnungen) und exemplarisch
14 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
20 Wirtsgestein / im einschlusswirksamen Gebirgsbereich **außerhalb einer konturnahen**
21 **entfestigten Auflockerungszone** um die Endlagerhöhlräume sollte **möglichst gering** sein.

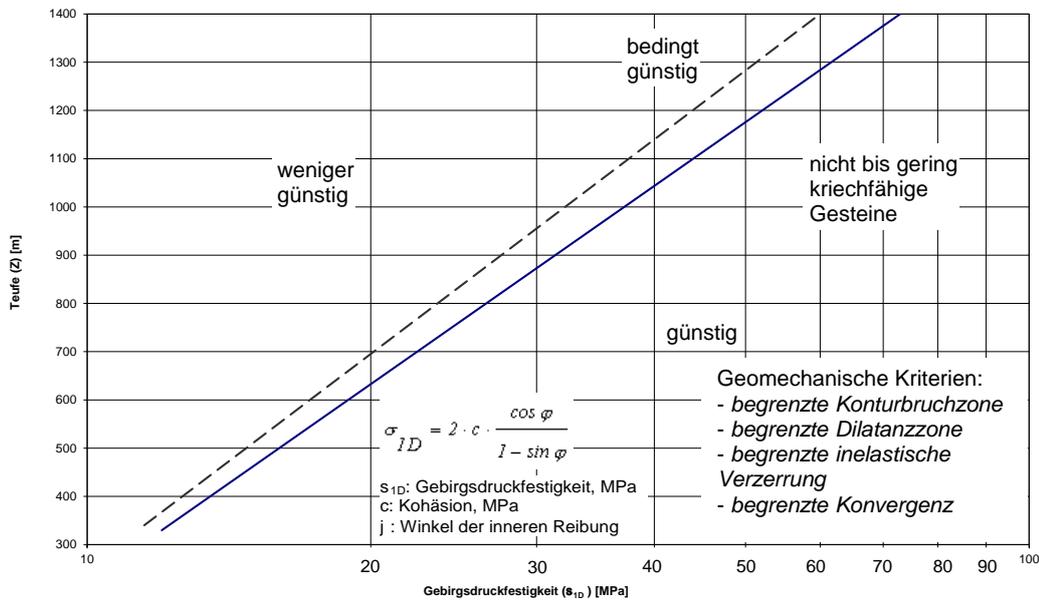
22

23 Das Vorgehen bei der Kriterienentwicklung und die Herleitung der Beurteilungsmaßstäbe wird in
24 AkEnd (2002) bzw. in den dort zugrunde gelegten Arbeiten (s.a. K-MAT 12-20 und K-MAT 12-21)¹⁹
25 ausführlich beschrieben. Danach besteht bei Berücksichtigung bestimmter **gebirgsartbezogener**
26 Vorgaben ein Zusammenhang zwischen Teufenlage eines Grubenbaus und der Gebirgsfestigkeit,
27 die zur Beurteilung der Neigung zur Ausbildung von Sekundärpermeabilitäten genutzt werden
28 kann. Bei der Anwendung des Abwägungskriteriums wird zwischen Gesteinen mit elastisch-
29 sprödem und elastisch-gering plastischem / gering kriechfähigem Materialverhalten einerseits und
30 Gesteinen mit ausgeprägtem Kriechverhalten andererseits unterschieden. Die diesbezüglichen
31 Zuordnungen der Gebirgsdruckfestigkeit zur Endlagerteufe in -s- Abbildung 5-4 und- Abbildung
32 5-5) kann im Rahmen der Abwägung bei der Standortauswahl zur orientierenden Einschätzung
33 herangezogen werden.

Kommentar [sa170]: In der AG 3 ist noch abschließend zu diskutieren, ob die Abbildungen rausfallen, was dann aber Auswirkungen auf die Tabelle 5.9 haben würde, die dann ebenfalls in der jetzigen Form so keinen Bestand hätte

¹⁹ Alle: Prof. Lux, TU Clausthal, s. K-MAT 12: Dem AkEnd zugrunde liegende Unterlagen

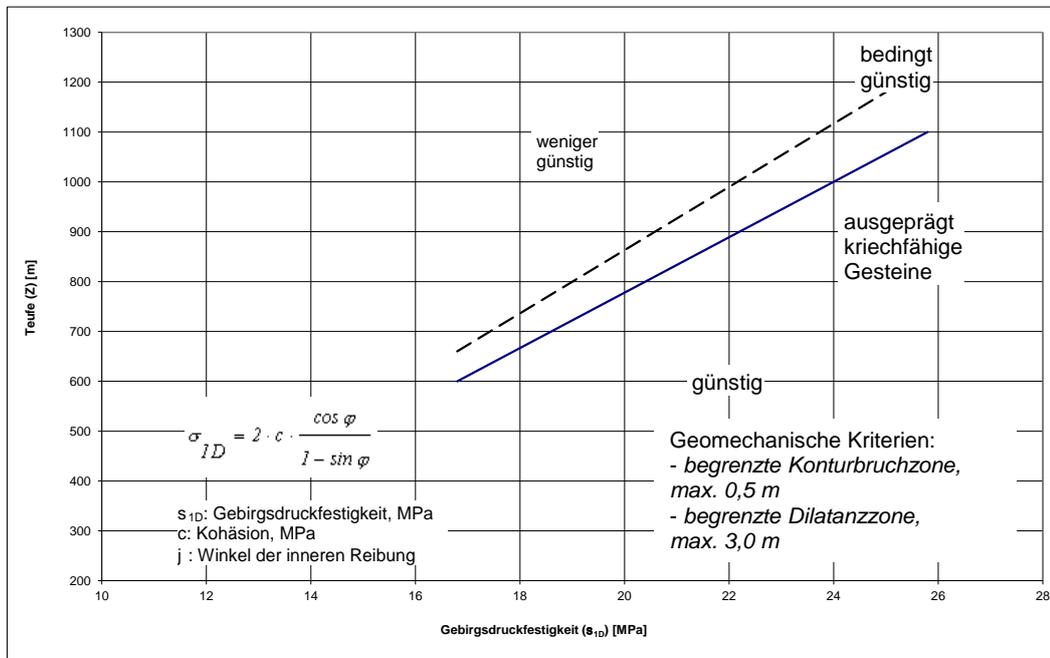
Abbildung 5-4: Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit nicht bis gering kriechfähigem (duktilem) Materialverhalten [nach LUX 2002²⁰]



Quelle: nach Lux 2002

²⁰ s. K-MAT 12-21:Lux 2002: Entwicklung und Fundierung der Anforderung „Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen“, Teil B: Weiterführende laborative und rechnerische Untersuchungen, TU Clausthal, Dezember 2002

Abbildung 5-5: Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten [nach LUX 2002²¹]



Quelle: nach Lux 2002

1
2

²¹ s. K-MAT 12-21:Lux 2002: Entwicklung und Fundierung der Anforderung „Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen“, Teil B: Weiterführende laborative und rechnerische Untersuchungen, TU Clausthal, Dezember 2002

Tabelle 5-6: **Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums**

Kommentar [sal71]: zu beachten: eine Streichung der vorangestellten Abbildungen hätte auch Auswirkungen auf die Tabelle (s. gelbe Markierungen)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Neigung zu mechanisch bedingten Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer konturnahen entfestigten Auflockerungszone ²²	Zulässige Teufenlage in Abhängigkeit von der repräsentativen Gebirgsdruckfestigkeit, zu entnehmen dem Lagebezug der Endlagerteufe zur Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit: Abbildung 5-4: Festgesteine mit nicht bzw. gering kriechfähigem Materialverhalten; Abbildung 5-5: Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem Materialverhalten	Die zu bewertende Teufe liegt unterhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.	Die zu bewertende Teufe liegt mäßig (< 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.	Die zu bewertende Teufe liegt deutlich (> 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.

1

2

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.5

Der AkEnd fordert eine Minimierung von Schädigungen der Barriersysteme durch Bau und Betrieb des Endlagerbergwerks.

Die ESK ist mit dem Abwägungskriterium einverstanden. Die natürlichen Barrieren werden aufgrund ihrer Eigenschaften gewählt und eine einmal getroffene Wahl kann nicht geändert werden. Bei den technischen Barrieren kann das Design gegebenenfalls nachträglich an neuere Erkenntnisse bzw. technische Entwicklungen oder vorgefundene Verhältnisse angepasst werden. In diesem Sinne gilt das Kriterium besonders für Schädigungen der geologischen Barriere. Dabei ist auch der Einfluss der beim Auffahren verwendeten Techniken zu berücksichtigen und gegebenenfalls technische Alternativen beim Ausbruch und dem Ausbau der Untertagebauten zu betrachten und hinsichtlich deren Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit zu prüfen.

3

²² Das Kriterium steht in engem Zusammenhang mit den unter Anforderung 2 (Konfiguration / Tiefe) diskutierten Problemen

Kommentar [sal72]: Aus der Diskussion der AG3 am 6.4.: Verhältnis Wirtsgestein/ewG ist noch zu diskutieren

5.2.2. Anforderung 6: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten in Wirtsgesteinskörper / einschlusswirksamen Gebirgsbereich

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

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

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

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

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

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

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

Zugehörige Kriterien

Kommentar [sal73]: NS prüft, ob ggf. noch Ergänzungen aus der AllgBergV sinnvoll eingebracht werden können.

- 1 · Die **Veränderbarkeit der Gebirgsdurchlässigkeit** sollte **möglichst gering** sein. Dazu sollte
2 die repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gleich der
3 repräsentativen Gesteinsdurchlässigkeit sein²³. ~~Dies bedeutet, dass das Gebirge keine bei der~~
4 ~~Bestimmung der Gesteinsfestigkeit nicht erfassbare Trennfugen / Klüfte aufweisen darf.~~
- 5 · Die **Barrierenwirkung** der Gebirgsformation gegenüber der Migration von Flüssigkeiten oder
6 Gasen (unter geogener und auch teilweise anthropogener Beanspruchung) sollte **aus**
7 geowissenschaftlicher, **geotechnischer oder bergbaulicher Erfahrung ableitbar** sein.
8 Folgende Sachverhalte können zur Einschätzung verwendet werden:
- 9 - Rezente Existenz als wasserlösliches Gestein
 - 10 - Fossile Fluideinschlüsse
 - 11 - Unterlagernde wasserlösliche Gesteine
 - 12 - Unterlagernde Vorkommen flüssiger oder gasförmiger Kohlenwasserstoffe
 - 13 - Heranziehung als hydrogeologische Schutzschicht bei Gewinnungsbergwerken
 - 14 - Aufrechterhaltung der Abdichtungsfunktion auch bei dynamischer Beanspruchung
 - 15 - Nutzung von Hohlräumen zur behälterlosen Speicherung von gasförmigen und
16 flüssigen Medien

- 17 · Das Gestein sollte unter in situ-Bedingungen geogen eine plastisch-viskose
18 Deformationsfähigkeit ohne Dilatanz aufweisen (Bewertungsgröße: Duktilität des Gesteins).
- 19 · Risse/Risssysteme im Gestein sollten bei Beanspruchungsinversion (zunehmende isotrope
20 Beanspruchung und abnehmende deviatorische Beanspruchung) geohydraulisch wirksam
21 verschlossen werden (Bewertungsgröße: Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch
22 Risssschließung).
- 23 · Risse/Risssysteme im Gestein sollten nach der Risssschließung geomechanisch wirksam verheilt
24 sein (Bewertungsgröße: Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung).

- 26 · Gesteinsbereiche mit einer, unter in situ-Bedingungen, plastisch-viskosen Deformationsfähigkeit
27 ohne Dilatanz sind im Hinblick auf diese Anforderung als günstig einzustufen (Bewertungsgröße:
28 Duktilität des Gesteins).
- 29 · Die Eigenschaft eines Gesteinsbereichs, dass Risse/Risssysteme bei Beanspruchungsinversion
30 (zunehmende isotrope Beanspruchung und abnehmende deviatorische Beanspruchung)
31 geohydraulisch wirksam verschlossen werden, ist im Hinblick auf die Anforderung als günstig
32 einzustufen (Bewertungsgröße: Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung).
- 33 · Die Eigenschaft eines Gesteinsbereichs, dass Risse/Risssysteme nach der Risssschließung
34 geomechanisch wirksam verheilen, ist als günstig einzustufen (Bewertungsgröße: Rückbildung
35 der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung).

Kommentar [sa174]: Aus der Diskussion der AG 3 am 6.4.: Im nächsten Durchgang grundsätzlich prüfen, ob bei der Beschreibung der Abwägungskriterien der Abwägungsaspekt stärker betont werden sollte, damit der Eindruck entsteht, dass das jeweilige Abwägungskriterium zu einer absoluten Wertung hinsichtlich der Standorteignung führt.

²³ Dies bedeutet, dass das Gebirge keine bei der Bestimmung der Gesteinsfestigkeit nicht erfassbare Trennfugen / Klüfte aufweisen darf

Tabelle 5-7: 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
	Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen	Die Gebirgsformation / der Gesteinstyp wird un-mittelbar / mittelbar anhand eines oder mehrerer der o.g. Sachverhalte Erfahrungsbereiche als gering durchlässig bis geologisch dicht identifiziert, auch unter geogener / technogener Beanspruchung.	Die Gebirgsformation / der Gesteinstyp ist man-gels Erfahrung nicht un-mittelbar / mittelbar als gering durchlässig bis geologisch dicht zu charakterisieren.	Die Gebirgsformation / der Gesteinstyp wird un-mittelbar/ mittelbar anhand eines Erfahrungsbereichs als nicht hinreichend gering durchlässig identifiziert.
	Duktilität 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 Aus-gleich von Oberflächen-rauhigkeiten	Die Riss-schließung erfolgt durch mechanische Rissweiten-vereinerung in Verbindung mit sekundären Mechanismen, z. B.	Die Riss-schließung erfolgt nur in beschränktem Maße (z. B. bei sprödem Materialverhalten, Oberflächen-rauhigkeiten,

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
		im Grundsatz vollständig.	Quelldeformationen.	Brückenbildung).
	Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung	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	Bewertung überwiegend "weniger günstig": Bildung von dauerhaften sekundären Wasserwegsamkeiten zu erwarten

1

2 **5.3. Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften**

3 **5.3.1. Anforderung 7: Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der**
4 **Gasbildung**

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

12 Im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen sind auch Auswirkungen des Zweiphasenflusses auf die
13 Radionuklidmigration und Migration radioaktiver Gase zu beachten. Im Rahmen von
14 Sicherheitsbetrachtungen sind auch Auswirkungen des Zweiphasenflusses auf die
15 Radionuklidmigration, dilatanzgesteuerte Gasmigration sowie die Migration radioaktiver Gase zu
16 beachten.

17 Zur Beurteilung der Auswirkung der Gasbildung auf die Sicherheit des Endlagers, insbesondere
18 auf die Einschussfunktion von einschlusswirksamem Gebirgsbereich und zugehörigen
19 geotechnischen Barrieren, sind die maximal mögliche Gasmenge, die unter

1 Endlagerungsbedingungen aus dem Abfall gebildet werden kann, sowie die Gasbildungsrate
 2 (Volumen pro Jahr) von Bedeutung. Die Gasmenge wird im Wesentlichen von der Art und den
 3 Inhaltstoffen der Abfälle, durch die Feuchte in den Abfallgebinden sowie durch das Grundwasser-
 4 bzw. Salzlösungsangebot an die Gebinde bestimmt. Die Gasbildungsrate hängt ab von der
 5 Temperatur, der Feuchte und dem chemischen Milieu am Einlagerungsort bzw. im Gebinde.

6 Zugehörige Kriterien

7 Die Gasbildung **der Abfälle** sollte **unter Endlagerbedingungen möglichst gering** sein.

Tabelle 5-8: Gute Bedingungen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gasbildung
Gasverträglichkeit: 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 ⁻¹¹ m/s)	feucht

8
9

10 **5.3.2. Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit**

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

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

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

27 Zugehörige Kriterien

28 Im unmittelbar um die Einlagerungshohlräume liegenden Gestein darf es bei Temperaturen
 29 kleiner 100°C nicht zu Mineralumwandlungen kommen, welche die Barrierewirkung des
 30 einschlusswirksamen Gebirgsbereichs unzulässig beeinflussen.

Kommentar [AK2-75]:
 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.

Kommentar [sal76]: Aus der Diskussion der AG 3 am 6.4.: abgestimmter Vorschlag der "Sub-AG" Temperaturverträglichkeit erforderlich, untr Einbeziehung der Hinweise von BGR (s.a. Drs. AG3-71 und des Gutachtens Wärmeentwicklung/Gesteinsverträglichkeit nach dessen Abnahme

Kommentar [Oline77]: ID 1151

Kommentar [Oline78]: ID 1154

Kommentar [Oline79]: ID 1167

Kommentar [Oline80]: ID 1149

Kommentar [Oline81]: ID 1152

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

3

Tabelle 5-9: 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	Ausdehnung der thermomechanisch gestörten Umgebung um Einlagerungshohlräume [m]	< 10	10 - 50	> 50
	Zugfestigkeit [MPa] im Nahbereich (etwa 10 m bis 50 m) um Endlager bei einer Kontakttemperatur von 100°C für			
	Granit Tonstein Steinsalz	> 13 > 8 > 2	³ 8 ³ 4 1 - 2	< 8 < 4 < 1

Kommentar [Oline83]: ID 1150

Kommentar [Oline82]: ID 1155 (s.a. 1154)

Kommentar [Oline84]: ID 1148, 1156

4

- 5 Zur Anforderung "Gute Temperaturverträglichkeit" hat die AG 3 zusätzliche Erläuterungen
 6 eingeholt. Die AG3 hat Herrn Minister Wenzel gebeten, eine Begründung für ein
 7 Temperaturkriterium "100°C" zu formulieren und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und
 8 Rohstoffe (BGR), eine Begründung für ein Temperaturkriterium "200°C" beizusteuern. Beide
 9 Beiträge werden nachfolgend wiedergegeben:

10

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 Feuchteeintrag (z.B. durch Salzgrusversatz; Lösungseinschlüsse) kritisch zu bewerten. Die Anwesenheit von inhomogenen Bereichen im Salz (Salztonlagen, Anhydritvorkommen, Carnalliteinschlüssen 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 des Siedepunktes von Wasser verbleiben (Druckabhängigkeit beachten).]*

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der

Kommentar [Oline85]: ID 1157

Kriterien: Anmerkung: Tabelle muss angepasst werden

1

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (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.

Permeabilitätserhöhungen 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 Einlagerungsgebirge 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 Gebirge dazu beitragen kann, ungünstige Temperatureffekte 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.

Kommentar [Oline86]: ID 1158, 1159, 1160

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 Endlagergebilde 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 Teufe. 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.

Kommentar [Oline87]: ID 1162, 1164

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.

Kommentar [Oline88]: ID 1163

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)

Kommentar [Oline89]: ID 1165, 1166, 1168

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.8

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
3
5.3.3. **Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine einschlusswirksamen 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

Zu den Deckgebirgskriterien (Anforderung 9, Anforderung 12) wurde auf der Sitzung am 02.02. eine weitere Abstimmungsrunde Appel/Wenzel/Fischer vereinbart. 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 (Anforderung 12 f) durch die Abstimmungsgruppe Appel/Wenzel/Fischer 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.

Kommentar [Oline90]: ID 1170

Kommentar [Oline91]: ID 1170, 1171, 1174

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 milieu-spezifischen 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.

Kommentar [Oline92]: ID 1169, 1173

Tabelle 5-10: 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
<u>Sorptionsfähigkeit der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs</u>	<u>Kd-Wert für folgende langzeitrelevante Radionuklide $\geq 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$</u>	<u>Uran, Protactinium, Thorium, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Palladium, Jod, Cäsium, Chlor</u>	<u>Uran, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Cäsium</u>	--

Formulierungsvorschläge aus NS folgen

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 **5.3.3-5.3.4. Anforderung 10: Günstige hydrochemische Verhältnisse**

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

10 Günstige hydrochemische Verhältnisse in einer geologischen Formation werden unter anderem
11 durch ein reduzierendes geochemisches Milieu, geringe Konzentrationen an Komplexbildnern und
12 Kolloiden sowie neutrale bis leicht alkalische pH-Bedingungen bei niedrigem CO₂-Partialdruck
13 charakterisiert. Unter derartigen Bedingungen sind geringe Löslichkeiten von Radionukliden zu
14 erwarten.

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

24 Im Zuge der Kriterienentwicklung hat der AkEnd geprüft (AKEND 2002), inwieweit sich auf der
25 Basis damals zugänglicher Daten quantitative bzw. qualitative Kriterien für die genannten
26 Indikatoren ableiten lassen (LARUE et al. 2001). Dabei wurden auch das schrittweise Vorgehen

1 bei einer Standortauswahl und die beim jeweiligen Verfahrensschritt voraussichtlich vorliegenden
2 Kenntnisse und Daten berücksichtigt.

3 Der gegenwärtige Kenntnisstand zum Chemismus von Tiefenwässern in Deutschland und die
4 heterogene Verbreitung verschiedener Grundwassertypen auf engem Raum lässt derzeit²⁴
5 allerdings keine flächendeckenden Aussagen zur Charakterisierung und Beurteilung von
6 Standortregionen und Standorten auf der Basis hydrochemischer Kriterien zu. Insbesondere bei
7 Grundwässern im für die Errichtung eines Endlagers vorgesehenen Tiefenbereich ist das Wissen
8 über die hydrochemischen Verhältnisse dafür zu lückenhaft. Zuverlässige Aussagen sind daher
9 erst bei genauerer regionaler bzw. standortspezifischer Betrachtung auf Basis entsprechender
10 Daten möglich.

11 Andererseits können folgende hydro- und geochemische Parameter mit Einfluss auf Löslichkeit
12 und Transportverhalten von Radionukliden als Indikatoren für günstige hydrochemische
13 Bedingungen hinsichtlich Radionuklidlöslichkeit und -transport herangezogen werden. Folgende
14 Zusammenhänge lassen sich benennen:

- 15 · Das tiefe Grundwasser in Wirtsgestein / im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll sich mit
16 den Gesteinen im chemischen Gleichgewicht befinden.
- 17 · Im Bereich des Tiefenwassers sollte ein pH-Wert von 7-8 vorliegen.
- 18 · Im Bereich des Tiefenwassers sollten günstige Redoxbedingungen (anoxisch-reduzierendes
19 Milieu) vorliegen.
- 20 · Der Gehalt an Kolloiden im Tiefenwasser sollte möglichst gering sein.
- 21 · Der Gehalt an Komplexbildnern und die Karbonatkonzentration im Tiefenwasser sollten gering
22 sein.

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

26

27

28 **5.3.4-5.3.5. Anforderung 11: Günstige Bedingungen für den Bau von** 29 **Verschlussbauwerken**

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

36

37

Kommentar [sal93]: Aus der Diskussion der AG3 am 6.4.; Es muss noch einmal über den Erhalt oder die Streichung oder Ergänzung dieses Kriteriums beraten werden

²⁴ Angaben aus AKEND 2002. Bedürfen der Überprüfung / Aktualisierung.

1 **5.3.6. Anforderung 12 : Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine im Deckgebirge von**
2 **Salzstöcken gegenüber Radionukliden**

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

5 **Hierzu wurde auf der Sitzung am 02.02. eine weitere Abstimmungsrunde Appel/Wenzel/Fischer**
6 **vereinbart**

7
8 **Zur Anforderung "Hohes Rückhaltevermögen des Deckgebirges gegenüber Radionukliden"**
9 **(Gewichtungsgruppe 3) und zugehöriges neues Abwägungskriterium "Hohe Sorptionsfähigkeit der**
10 **Gesteine des Deckgebirges" haben Herr Dr. Fischer und Herr MdB Kanitz wie folgt**
11 **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)

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. Es kann daher auch nicht sinnvoll mit anderen Kriterien, die auf einen guten Einschluss im ewG gerichtet sind, abgewogen werden und ist im hohem Maße nachrangig gegenüber anderen in Kriterien noch nicht erfassten Aspekten (Kriechfähigkeit, geringer Wassergehalt des Salzes im ewG, weitgehend abgeschlossene Halokinese, etc.).

Darüber hinaus ist es mit erheblichen Prognoseungewissheiten behaftet.

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.

12
13
14 **5.3.5-5.3.7. Anforderung 132: Schützender Aufbau des Deckgebirges**

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

16 **Hierzu wurde auf der Sitzung am 02.02. eine weitere Abstimmungsrunde Appel/Wenzel/Fischer**
17 **vereinbart**

Vorschlag Dr. Appel (K.-Drs. AG3-70)

Tabelle 5-11: Hohes Rückhaltevermögen im Deckgebirge: Eigenschaften,

Kommentar [sa194]: Bezüglich der Deckgebirgskriterien hat sich eine Abstimmungsgruppe (Appel/Fischer/Wenzel) konstituiert, von dort kommt ein neuer Vorschlag, ggf. für eine wirtsgesteinsübergreifende Befassung

Kommentar [Oline95]: ID 1177

Kommentar [Oline96]: ID 1178

Kommentar [AK1-97]:
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.

Kommentar [AK2-98]:
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?)

Kommentar [sa199]: Bezüglich der Deckgebirgskriterien hat sich eine Abstimmungsgruppe (Appel/Fischer/Wenzel) konstituiert, von dort kommt ein neuer Vorschlag, ggf. für eine wirtsgesteinsübergreifende Befassung

Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums

<u>Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums</u>	<u>Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums</u>	<u>Wertungsgruppe</u>		
		<u>günstig</u>	<u>bedingt günstig</u>	<u>weniger günstig</u>
Hohe Sorptionsfähigkeit der Gesteine des Deckgebirges	Anteil und Verteilung von Ton / Tonstein / tonreichen Gesteinen im Deckgebirge von Salzstöcken zwischen Salzspiegel und Biosphäre	Ton / Tonstein / tonreiche Gesteine in zusammenhängender Verbreitung im Deckgebirge	Ton / Tonstein / tonreiche Gesteine in lückenhafter Verbreitung im Deckgebirge	Ton / Tonstein / tonreiche Gesteine als isolierte Einzelvorkommen in Gesteinsserien mit geringer Sorptionsfähigkeit

1

2

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

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.

Die Existenz zahlreicher Salzstöcke in Norddeutschland mit sehr unterschiedlichen Deckgebirgskonfigurationen beweist hingegen, dass selbst bei direktem Kontakt des Salzspiegels mit Grundwasser die Subrosion rasch zum Erliegen kommt und es keines besonderen Schutzes durch das Deckgebirge bedarf.

Maßgebliche Faktoren für Subrosion sind die 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.

3

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 Standortauswahl 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.

Kommentar [Oline100]: ID 1181

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.

Kommentar [Oline101]: ID 1180

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)

Kommentar [Oline102]: ID 1183

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.“

Kommentar [Oline103]: ID 1182

1
2
3 **5.3.8. [Anforderung NEU14: Günstige Randbedingungen für Fehlerkorrekturen]**

4 Platzhalter für ein ggf. zu ergänzendes Kriterium.

Kommentar [sal104]: Platzhalter für ein ggf.- zu ergänzendes Kriterium (Vorschlag Niedersachsen). Es ist hierzu noch keine Einordnung in eine Kriteriengruppe erfolgt.

5
6 **5.3.9. [Anforderung NEU15: Günstige Voraussetzungen zur Vermeidung des Aufbaus zu**
7 **hohen Gasdrucks]**

8 Platzhalter für ein ggf. zu ergänzendes Kriterium.

Kommentar [sal105]: Platzhalter für ein ggf.- zu ergänzendes Kriterium aus der Diskussion der AG 3 am 6.4. zur Gasproblematik (s.a. Anforderung 7 - Minimierung der Gasbildung).
Möglicher Indikator:
Gasspeichervermögen, ggf. auch Möglichkeit zur technischen Herstellung von Gasspeichervolumina (z.B. Raum für künstliche Porenspeichervolumina)
Es ist hierzu noch keine Einordnung in eine Kriteriengruppe erfolgt