Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
K-Drs. /AG3-91

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3
Entscheidungskriterien sowie Kriterien
für Fehlerkorrekturen

Geowissenschaftliche Kriterien – Papier der Vorsitzenden der AG 3

Stand 10.02.2016

Entsprechend der Beschlusslage der 15. Sitzung der AG 3 am 17. Dezember 2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 4

Tabellenverzeichnis 5

I. Vorbemerkung der Vorsitzenden 7

II. Verwendete Kommissionsdokumente 8

1. Ziel 10

2. Begriffsbestimmungen 14

3. Geowissenschaftliche Ausschlusskriterien 15

3.1. Großräumige Vertikalbewegungen 15

3.2. Aktive Störungszonen 15

3.3. Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit 16

3.4. Seismische Aktivität 16

3.5. Vulkanische Aktivität 16

3.6. Grundwasseralter 17

4. Geowissenschaftliche Mindestanforderungen 19

4.1. Gebirgsdurchlässigkeit 19

4.2. Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs 20

4.3. Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs 20

4.4. Maximale Tiefe des Einlagerungsbereichs 24

4.5. Fläche des Endlagers 24

4.6. Erkenntnisse zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hinsichtlich des Nachweiszeitraums 25

5. Geowissenschaftliche Abwägungskriterien 26

5.1. Gewichtungsgruppe 1: Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises 26

5.1.1. Anforderung 1: Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser im Endlagerniveau 26

5.1.2. Anforderung 2: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper, insbesondere von Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich 29

5.1.3. Anforderung 3: Gute räumliche Charakterisierbarkeit 41

5.1.4. Anforderung 4: Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse 45

5.2. Gewichtungsgruppe 2: Absicherung des Isolationsvermögens 48

5.2.1. Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen 48

5.2.2. Anforderung 6: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten in Wirtsgesteinskörper / einschlusswirksamem Gebirgsbereich 53

5.3. Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften 56

5.3.1. Anforderung 7: Gute Gasverträglichkeit 56

5.3.2. Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit 58

5.3.3. Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine im Deckgebirge gegenüber Radionukliden **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

5.3.4. Anforderung 10: Günstige hydrochemische Verhältnisse 67

5.3.5. Anforderung 11: Günstige Bedingungen für den Bau von Verschlussbauwerken 69

5.3.6. Anforderung 12: Schützender Aufbau des Deckgebirges 69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1:	Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ A und Typ Ba aus AkEnd 2002	30
Abbildung 5-2:	Konfigurationen zwischen Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Typ Bb aus AkEnd 2002	31
Abbildung 5-3:	Schematische Darstellung von Potenzialgebieten und Endlagerbereich aus AkEnd 2002	35
Abbildung 5-4:	Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit nicht bis gering kriechfähigem (duktilem) Materialverhalten [nach LUX 2002]	50
Abbildung 5-5:	Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem (duktilem) Materialverhalten [nach LUX 2002]	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Transport durch Grundwasser: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien 27

Tabelle 5-2: Transport durch Grundwasser: Bewertungsgrößen der Diffusionsgeschwindigkeit für den Wirtsgesteinstyp TONSTEIN 27

Tabelle 5-3: Platzhalter - Transport durch Grundwasser: Bewertungsgrößen der Diffusionsgeschwindigkeit für den Wirtsgesteinstyp SALZ 28

Tabelle 5-4: Platzhalter - Transport durch Grundwasser: Bewertungsgrößen der Diffusionsgeschwindigkeit für den Wirtsgesteinstyp KRISTALLIN 28

Tabelle 5-5: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien 36

Tabelle 5-6: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper: Ersatzweise anwendbare Indikatoren bei fehlenden Informationen zur Abstandsgeschwindigkeit 39

Tabelle 5-7: Gute räumliche Charakterisierbarkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien 42

Tabelle 5-8: Gute Prognostizierbarkeit der langfristigen Stabilität: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien 46

Tabelle 5-9: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums 52

Tabelle 5-10: Geringe Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums 55

Tabelle 5-11: Gute Gasverträglichkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums 57

Tabelle 5-12: Gute Temperaturverträglichkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums 59

Tabelle 5-13: Hohes Rückhaltevermögen im Deckgebirge: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

I. Vorbemerkung der Vorsitzenden

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

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

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

Kommentiert [Oline1]: ID 1001

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

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

Gelb unterlegte Textpassagen sind lediglich als Lesehinweise zu verstehen.

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

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

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

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.

Kommentiert [AK1-2]: Beispielkommentar AK 1

Kommentiert [AK2-3]: Beispielkommentar AK 2

Kommentiert [Oline4]: Beispiel ID 1xxx

II. Verwendete Kommissionsdokumente

Verwendete Unterlagen sind:

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

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

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

- Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Raume Schleswig-Holstein (LLUR, Fr. Dr. Rosenbaum): Änderungs-/Ergänzungsvorschlag in der K-Drs. AG3- 65 (S. 24/25) bezüglich des Kriteriums „gute Charakterisierbarkeit“ (per Email, 21.12.2015)
- K-Drs. /AG3-71: Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit - Kommentar „Eckige Klammer“ zur K-Drs. / AG3-65 (Dr. Appel), 21.12.2015; Verfasser: Dr. Jan Richard Weber, BGR,

- K-Drs. /AG3-72: Kurzstellungnahme zu Beratungsunterlage K-Drs. AG 3-43 „Vorschläge zur Umformulierung bzw. Neuformulierung geowissenschaftlicher Kriterien (Verfasser: Dr. Detlef Appel) bzw. zur korrigierten Fassung vom 16. Dezember 2015 (Tischvorlage zur 15. Sitzung der AG 3 am 17.12.2015 für den Fachworkshop am 29./30.01.2016 in Berlin, 21.12.2015; Verfasser: Dr. Bernhard Fischer, MdB Steffen Kanitz
- K-Drs. /AG3-73: Dr. Appel: Neues Kriterium Deckgebirge Salzstöcke - Anforderung "Schützender Aufbau des Deckgebirges von Salzstöcken" (Gewichtungsgruppe 1) und zugehöriges Abwägungskriterium "Schutzfunktion des Deckgebirges von Salzstöcken", 21.12.2015; Verfasser: Dr. Detlef Appel
- K-Drs. /AG3-74: Textvorlagen für den Berichtsteil der AG 3, Verfasser: Min Stefan Wenzel, 22. Dezember 2015

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

- K-Drs. /AG3-64: Beratungsunterlage für die 15. Sitzung am 17. Dezember 2015 - Kriterien für Kristallin als Wirtsgestein, Datum: 13. Dezember 2015; Verfasser: Dr. Ulrich Kleemann unter Verwendung vorbereitender Papiere von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, Dr. Detlef Appel und Dr. Markus Trautmannsheimer
- K-Drs. /AG3-77: Dr. E.h. Bernhard Fischer, Prüfung der K-Drs. 157 ,,Geowissenschaftliche Kriterien - Papier der Vorsitzenden der AG 3" und "Klammertexte" zu Anforderung 2 und Anforderung 3, per Email am 08.01.2016
- K-Drs. /AG3-80: Stellungnahme zur K.-Drs.157 „Geowissenschaftliche Kriterien – Papier der Vorsitzenden der AG 3 – Stand 29.12.2015“, Verfasser: Prof. Dr.-Ing Wolfram Kudla, Datum: 08.01.2016
- Email von Herrn Min. Wenzel an die Endlagerkommission vom 19.01.2016
- Email von Herrn Dr. Appel an die Vorsitzenden der AG 3 vom 28.01.2016
- K-MAT 47: Diskussionspapier der Entsorgungskommission - Evaluation der Rand- und Rahmenbedingungen, Bewertungsgrundsätze sowie der Kriterien des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd), 10.12.2015
- Zebralog: Fachtagung "Kriterien der Standortauswahl", 29. und 30. Januar 2016: Ergebnisse der Arbeitskreise 1-5, zusammengestellt von Zebralog auf Grundlage der von den Teilnehmern eingereichten Ergebnisvorlagen sowie der Mitschriften aus den Arbeitskreisen, Version 1.0, 05.02.2016 (Datei: "Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf")
- Zebralog: Datei Export_Online_Konsultation_20160201.xlsx (tabellarische Zusammenstellung der Online-Kommentierung der K.-Drs. 157 vom 18.-31.01.2016)

1. Ziel

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

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

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.

Kommentiert [Oline5]: ID 1005, 1006, 1007, 1009, 1011, 1014, 1015, 1017, 10191 1024

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,

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.

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

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

Kommentiert [Oline6]: ID 1012

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

Kommentiert [Oline7]: ID 1025

Kommentiert [AK1-8]:
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)

Anmerkung: Hier wurde ein gedoppelter Absatz (s.o " Nach den Vorgaben des StandAG…") gelöscht. Kommentare die sich auf diesen Absatz beziehen finden sich oben

Hinweis AK1: Wirtsgesteinsspezifische Kriterien

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

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

Kommentiert [AK1-9]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.1

Hinweis AK1: Subrosions-Seen als zusätzliches Ausschlusskriterium

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

Kommentiert [AK1-10]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.6:

Hinweis AK 1: Salzstöcke als potenzielle Rohstofflagerstätten grundsätzlich ausschließen?

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

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

Kommentiert [AK1-11]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.10

Hinweis AK 2: Aggregation der Abwägungskriterien

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

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

Die Diskussion enthält auch einen Vorschlag zum weiteren Procedere:

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

Kommentiert [AK2-12]: Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf 2.1.1

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

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

Kommentiert [AK2-13]: Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf 2.1.2

Hinweis AK2: Wirtsgesteinsspezifische Kriterien

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

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

Kommentiert [AK2-14]: Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf 2.2.1

Hinweis AK2: 2.2.2: Qualitative versus quantitative Kriterien

- Für Ausschlusskriterien und Minimalanforderungen braucht es harte Kriterien.
- Bei Abwägungskriterien braucht es eher qualitative Kriterien, die nicht quantifiziert werden müssen.
- Gewichtungsgruppen sind Ansatz einer Struktur der Hierarchisierung. Hier Überarbeitungsbedarf?
- Je mehr quantifizierbare Kriterien festgelegt werden, desto mehr entsteht das Problem einer fehlenden Datenlage. Wie geht man mit Gebieten um für die es keine Daten gibt?
- Macht man Kriterien schwammiger wegen fehlender Datenlage gibt es ggf. ein Glaubwürdigkeitsproblem.
- Es muss festgelegt werden, wer zu welchem Zeitpunkt die quantitativen Kriterien überprüft oder festschreibt.

Kommentiert [AK2-15]: Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf 2.2.2

2. Begriffsbestimmungen

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

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:

Kommentiert [Oline17]:
ID 1027

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).

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. AkEnd[1]. Die dort zusammengestellten Aspekte wurde von der Arbeitsgruppe geprüft und entweder übernommen, modifiziert bzw. angepasst oder begründet nicht übernommen.

Kommentiert [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 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).

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 5.1

Die Hebungsrate von im Mittel 1 mm pro Jahr im prognostizierbaren Zeitraum wird kaum in Deutschland erreicht. Somit ist dieses Ausschlusskriterium in der Praxis verzichtbar.

3.2. Aktive Störungszonen

In der Endlagerregion 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 Störungszone“ 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 (d.h. seit etwa 34 Mio. Jahren) bis heute Bewegungen stattgefunden haben. Atektonische bzw. aseismische Vorgänge (also Vorgänge, die nicht aus den Gesetzen der Tektonik abgeleitet werden können oder nicht auf seismische Aktivitäten zurückzuführen sind), die zu ähnlichen sicherheitlichen Konsequenzen wie tektonische Störungen führen können, sind wie diese zu behandeln (s.a. AkEnd-Bericht, S. 87/88).

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 5.2

Die ESK ist mit diesem Ausschlusskriterium einverstanden. Eine Bewegungsfreiheit seit dem Rupel bedeutet, dass eine entsprechende Störungszone seit ca. 30 Millionen Jahren nicht mehr bewegt worden ist. Diese Definition entspricht nur bedingt den Aussagen, wie sie in aktuellen Dokumenten der IAEA (z. B. NS-R-3 [5], Paragraph 3.5-3.7, Begriff „capable fault“) formuliert werden. Aufgrund der sehr beschränkten Möglichkeiten, Bewegungen an geologischen Störungsflächen zu datieren, muss der Nachweis solcher Bewegungen fast ausschließlich mittels indirekter Evidenzen geführt werden (u. a. verstellte geologische und geomorphologische Horizonte, Stufen in Flussterrassen (detektiert z. B. mit hochauflösenden LiDAR-Daten), seismische und paläoseismische Evidenzen, Datierung von Fluideinschlüssen entlang der Störungszone oder von austretenden Wässern).

Die Möglichkeit aseismischer Bewegungen ist zusätzlich zu berücksichtigen, insbesondere in ton-

Kommentiert [Oline19]: ID 1038

Kommentiert [Oline20]:
ID 1036

Kommentiert [Oline21]:
ID 1037

Kommentiert [AK1-22]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.2: Vorschlag zu 3.1:
„Integrität des Gebirgsbereichs (sicherheitsrelevant) darf durch geologische Vorgänge wie Hebungen, Senkungen, Erosion, Subrosion etc. nicht beeinträchtigt werden.

1.1.7
Es ist als Kriterium wichtiger, die Nettoabtragungsrate zu betrachten:
Es muss zu jedem [Endlager] Konzept eine [maximale] Nettoabtragungsrate definiert werden.
Ziel: Die Integrität des ewG darf dadurch nicht beeinträchtigt werden.

Kommentiert [Oline23]:
ID 1039/1040

Kommentiert [Oline24]:
ID 1041

Kommentiert [AK1-25]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.2: Vorschlag zu 3.2:
„Neotektonische Bewegungen dürfen die Integrität des sicherheitsrelevanten Gebirgsbereichs nicht beeinträchtigen.“

Kommentiert [Oline26]:
ID 1044

Kommentiert [AK1-27]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.5:
Begriff der allgemeinen Störung: „Zeitraum Rupel... bis heute“ durch „im gegenwärtigen tektonischen Spannungsfeld“ ersetzen

Mögliche Definition: hat sich in glazialen Stadien bewegt + Neotektonik

Kann sich im rezenten Spannungsfeld (+ Eiszeit) bewegen

oder salzreichen Bewegungshorizonten, denn solche Bewegungen können langfristig genauso in spröde, seismisch reagierende Gesteine propagieren. Als wichtige Rahmenbedingung muss auch das gegenwärtig vorhandene Spannungsfeld im geologischen Untergrund betrachtet werden. Die vorhandenen Spannungsrichtungen lassen abschätzen, inwiefern eine bereits über längere Zeiträume inaktive Störungszone zum gegenwärtigen Zeitpunkt reaktiviert werden könnte und wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass sich dieses Spannungsfeld im geologischen Untergrund über die nächste Million Jahre verändern wird.

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 erwarten sind. Das Endlager muss in einem neu aufzufahrenden Bergwerk errichtet werden. Das Wirtsgestein und insbesondere der einschlusswirksame Gebirgsbereich dürfen nicht durch früher abgeteufte Bohrungen in ihrer Einschlussfunktion beeinträchtigt sein. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss unverritzt sein.

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

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

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

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 5.3

Die ESK ist mit dem Ausschlusskriterium einverstanden. In einem seismisch mehrheitlich ruhigen Land wie Deutschland ist das seitens AkEnd formulierte Ausschlusskriterium als konservativ anzusehen. Aufgrund der Tatsache, dass ein Endlager im geologischen Untergrund nach Verschluss ein voll verfülltes System darstellt, wird eine weitere Verschärfung unter Einbeziehung der Zone 1 als nicht sinnvoll angesehen.

Die ESK hat das Verständnis, dass bei diesem Kriterium die gültige DIN in der jeweils aktuellen Fassung anzuwenden ist.

3.5. Vulkanische Aktivität

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

Kommentiert [Oline28]: ID 1048

Kommentiert [Oline29]: ID 1050

Kommentiert [Oline30]: ID 1045

Kommentiert [AK1-31]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.2: Vorschlag zu 3.3:
Letzten Satz in 1. Absatz streichen, da „unverritzt“ spätestens bei untertägiger Erkundung schlicht unhaltbar wird. Außerdem „Bohrungen“ durch Bohrungen und bergbauliche Tätigkeit“ ersetzen.
Zu diskutieren: Schutzzonen um bestehende Verritzungen ausweisen, um Standortregionen nur partiell zu verkleinern

Kommentiert [Oline32]: ID 1049

Kommentiert [Oline33]: ID 1051, 1052

Kommentiert [AK1-34]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.2: Vorschlag zu 3.4:
Erdbebenzone 1 nur für obertägig (und ggfs. Auffahrungs- und Betriebsphase) notwendig. Untertägige Analgen separat betrachten - daher eher als Abwägungskriterium zu behandeln

Diskussion:
DIN ist in diesem Fall nicht anwendbar (hier herrscht Unstimmigkeit)

1.1.5:
Ersetzen durch KTA 2201.1? (ggf. sinngemäß, weil nur für KKW anwendbar)

Kommentiert [AK1-35]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.2: Vorschlag zu 3.5:
Generelles Problem: Nirgends ist der Begriff „Standortregion“ definiert, aber laufend wird darauf verwiesen

Kommentiert [AK1-36]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.2: Vorschlag zu 3.5:
Sicherheitszone um bekannte Aktivitäten festlegen; Extrapolation in Zukunft nicht möglich.

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

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 5.4

Die ESK unterstützt das Ausschlusskriterium samt zusätzlichem Sicherheitssaum von 10 km um potenziell gefährdete Bereiche. Die Darstellung des AkEnd wird als noch heute gültig angesehen.

Der auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland auftretende Vulkanismus ist ausschließlich als so genannter Intra-Platten-Vulkanismus zu bezeichnen. Am Oberrhein und Egergraben steht er beispielsweise im Zusammenhang mit größeren extensiven Störungssystemen in der kontinentalen Platte. Ohne anhaltende Aktivität der begleitenden Störungssysteme sind die vulkanischen Zentren von beschränkter Lebensdauer. So sind beispielsweise die süddeutschen Vulkangebiete (Kaiserstuhl, Urach, Hegau) nur über wenige Millionen Jahre aktiv gewesen und es lässt sich mit manteltomographischen Methoden zeigen, dass unterhalb der Kruste heute keine thermischen Anomalien mehr existieren.

Als Folge einer vulkanischen Aktivität können die lokale Geologie und damit auch die geologische Prognose verkompliziert werden. Ein geophysikalischer Nachweis vulkanischer Gänge ist hinsichtlich Tiefe und Größe beschränkt. Entlang der Gänge können Wasserfließwege vorhanden sein. Darum sollte aus Sicht der ESK solchen Gebieten im Sinne einer Risikominimierung grundsätzlich ausgewichen werden.

3.6. Grundwasseralter

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

Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. im Einlagerungsbereich dürfen keine jungen Grundwässer vorliegen. Diese Grundwässer dürfen daher kein Tritium und / oder (fast kein) C-14 enthalten.

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

Formulierungsvorschläge aus NS folgen

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

Es wurde während der Sitzung der AG 3 am 17.12.2015 vereinbart, dass für das Ausschlusskriterium ,,Grundwasseralter" zur Quantifizierung der Ergänzung ,,fast kein

Kommentiert [Oline37]: ID 1053

Kommentiert [Oline38]: ID 1055

Kommentiert [Oline39]: ID 1056

Kommentiert [AK1-40]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.2: zu 3.6:
„ewG nimmt nach Stand von Wissenschaft und Technik nicht nachweisbar am hydrologischen Kreislauf teil."

Momentane Begriffe wie „jung" oder „(fast) kein" sind nicht definiert und damit unbrauchbar. Zudem gestatten immer verfeinerte Analysemethoden den Nachweis immer kleinerer Mengen fast jedes Isotops. Besser: gar keine Methode/Isotop explizit vorgeben!

1.1.8
Vorschlag:
"Im ewG dürfen keine geochemischen oder isotopen-hydrogeologische Hinweise auf holozänes Grundwasser vorliegen.
Erläuterung: Angabe von einzelnen Parametern nicht zielführend, sehr Standortspezifisch; Methoden können sehr verschieden sein,
[daher offenere Formulierung mit dem Schwerpunt der Altersbeurteilung].

C14" die zulässige Konzentration von Dr. Appel und Prof. Kudla vorgeschlagen werden soll.

Herr Dr. Appel, 27.01.2016

Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. im Einlagerungsbereich dürfen keine jungen Grundwässer vorliegen. Diese Grundwässer dürfen daher kein Tritium und ~~/ oder (fast kein) 14C~~ keinen Kohlenstoff-14 enthalten.

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

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

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 5.5

Das vom AkEnd formulierte Kriterium ist aus Sicht der ESK sinnvoll. Mit dem Hinweis des AkEnd, dass die Erfüllung dieses Kriteriums kein hinreichender Beleg für ein ausreichend hohes Grundwasseralter ist, ist die ESK einverstanden.

Einschränkend ist anzumerken, dass Informationen zu Tritium- und Kohlenstoff-14-Gehalten in Grundwässern flächendeckend a priori nicht vorhanden sind. Das Ausschlusskriterium „Grundwasseralter" ist daher u. U. erst nach Erkundungsbohrungen und Probenahmen anwendbar. Selbst wenn solche Daten zur Verfügung stehen, könnte der Fall eintreten, dass in einer vertikalen Abfolge von wasserführenden und –stauenden Gesteinsschichten nur einzelne Schichten mit Daten belegt sind. Aus Sicht der ESK ist damit fragwürdig, ob eine Anwendung dieses Ausschlusskriteriums über größere Flächen im ersten Schritt eines Auswahlverfahrens sinnvoll ist, oder ob das Kriterium „Grundwasseralter" eher unter den Mindestanforderungen aufgelistet werden sollte.

4. Geowissenschaftliche Mindestanforderungen

Kommentiert [Oline41]: ID 1058, 1085

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.

Kommentiert [Oline42]: ID 1057

Kommentiert [Oline43]: ID 1059/1060, 1061, 1062, 1063

Erläuterung: Grundsätzlich gilt, dass die Gebirgsdurchlässigkeit möglichst gering sein soll, damit ein advektiver Flüssigkeitstransport vermieden wird und allenfalls ein diffusiver Stofftransport erfolgt (s.a. AkEnd-Bericht, S. 95 und S. 113-129). Ein poröses Gestein hat einen Durchlässigkeitsbeiwert k_f von etwa 10^{-10} m/s, wenn 0,00001 cm^3 einer Flüssigkeit mit einer Viskosität von 1 mPa•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.

Herr Dr. Kleemann (K-Drs. /AG3-64)

Kriterienvorschlag

Es wird vorgeschlagen, den Kriteriensatz zur Gewährleistung der bestmöglichen Endlagersicherheit auch auf Kristallingesteine anzuwenden und kein zusätzliches Kristallin-Kriterium aufzunehmen. Dies bedeutet, dass das Kriterium Gebirgsdurchlässigkeit das Auffinden von homogenen und ungestörten Bereichen voraussetzt. Hierbei sind die Anforderungen nach dem ASTER-Projekt hilfreich. 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.

Durch einen Zusatz zum Kriterium Gebirgsdurchlässigkeit sollte sichergestellt werden, dass der Nachweis sehr geringer Durchlässigkeit auch durch weitere Barrieren erfolgen kann, selbst wenn im Wirtsgestein der Nachweis der Einhaltung dieses Kriteriums nicht möglich ist. Mit dieser Formulierung soll eine Endlagerung in Kristallin unter dichten Deckschichten (Ton/Salz) ermöglicht werden:

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).

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 6.1

Die ESK ist mit der gewählten Mindestanforderung und deren Quantifizierung in Ton- und Salinargesteinen einverstanden. Für kristalline Wirtsgesteine, für die der AkEnd keine Kriterien entwickelt hat, ist die Anwendung dieser Mindestanforderung nicht sachgerecht. Wie *[in Kapitel 1]* beschrieben müsste in kristallinen Wirtsgesteinen, in denen die Einschlusswirkung der

geologischen Barriere mit hoher Wahrscheinlichkeit weder den AkEnd-Kriterien *[1]* noch den BMU-Sicherheitsanforderungen *[3]* qualitativ genügt, der Einschluss daher durch technische Barrieren erreicht werden. Hierzu müssten separate Mindestanforderungen an die Gebirgsdurchlässigkeit für das kristalline Wirtsgestein entwickelt werden.

4.2. Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss mindestens 100 m mächtig sein.

Kommentiert [Oline44]: ID 1064, 1065, 1066, 1067 1083

Erläuterung: siehe AkEnd-Bericht, S. 95.

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 6.2

Die ESK ist mit einer Mindestanforderung durch eine minimale Mächtigkeit von 100 m einverstanden. Sie verweist darauf, dass die Abmessungen des ewG je nach Wirtsgestein und Konzept unterschiedliche Bedeutung haben. Sofern mit einer Migration von Radionukliden durch das Wirtsgestein zu rechnen ist, ist die Mächtigkeit im Hinblick auf mögliche Migrationszeiten und -raten von Bedeutung. Dabei ist zu beachten, dass die beiden Mindestanforderungen Gebirgsdurchlässigkeit und Mächtigkeit in direkter Abhängigkeit zueinander sowie zum hydraulischen Gradienten stehen. Ist mit einer solchen Migration nicht zu rechnen, stehen Integritätsbetrachtungen sowie eine mögliche Migration durch geotechnische Barrieren bei der Ausweisung des ewG im Vordergrund. Soll der Einschluss durch technische Barrieren erfolgen, so ist eine Wirtsgesteinsformation auszuweisen, die die entsprechend zu definierenden einschlusswirksamen Bereiche (ewB) über den Betrachtungszeitraum von einer Million Jahren schützt.

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.

Kommentiert [Oline45]: ID 1068, 1071

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).

Kommentiert [Oline46]: ID 1070

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, 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.

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.

Kommentiert [Oline47]: ID 1074

Kommentiert [Oline48]: ID 1073

Kommentiert [Oline49]: ID 1072

Kommentiert [Oline50]: ID 1069

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.

Kommentiert [Oline51]: ID 1075

Zitierte Schriften

AKEND - Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (2002): Auswahl-verfahren 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. Sönnke, 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.

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 Salzschwebe 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 Grund-wasser die Subrosion infolge der Aufsättigung und der sich dann einstellenden Dichteschichtung des Grundwassers schnell zum Erliegen kommt.

Kommentiert [Oline52]: ID 1078

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 betrachten[2]. 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.

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

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

Die flächenmäßige Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss sich aus Sicht

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

Kommentiert [AK1-53]:
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!

Kommentiert [AK2-54]:
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
Verschiedenltich wird angeführt, dass eie wTieenlage ggf. als Abwägngskriterium relevant ist

Kommentiert [Oline55]: ID 1079, 1080, 1081

Kommentiert [Oline56]: ID 1082

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 Schachtanlage 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.

4.6. Erkenntnisse zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich hinsichtlich des Nachweiszeitraums

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

Erläuterung: siehe AkEnd-Bericht, S. 95.

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 6.7[3]

Aus Sicht der ESK ist diese Mindestanforderung von besonderer Wichtigkeit. Bei der Betrachtung eines Standortes ist nicht nur die Frage zu stellen, inwiefern die geforderten Eigenschaften heute vorliegen, sondern es muss auch sichergestellt werden, dass diese günstigen Eigenschaften auch über die Dauer des Isolationszeitraumes von einer Million Jahre erhalten bleiben bzw. dass deren Erhaltung mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann. Dabei werden seitens AkEnd die Mindestanforderungen bezüglich „minimaler Teufe“ *[(Kapitel 6.3)]*, „maximaler Teufe“ *[(Kapitel 6.4)]* sowie „Gebirgsschlaggefährdung“ *[(Kapitel 6.6)]* ausgeklammert. Bezüglich der ersten beiden lässt sich argumentieren, dass deren Einhaltung bereits durch das Ausschlusskriterium der „großräumigen Vertikalbewegung“ oder durch erhöhte Anforderungen bezüglich minimaler Teufe abgedeckt werden kann. Gebirgsschlaggefährdete Gebirgsbereiche sind über die Mindestanforderung ausgeschlossen.[4]

Kommentiert [Oline57]: ID 1083

Kommentiert [AK2-58]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
2.1.6
Der AK 2 hat diesbezüglich über die Aspekte Nachbetriebsphase / Langzeitsicherung eines Endlagers – Betrachtungszeitraum Mio. Jahre diskutiert, u.a. über eine Abschichtung der Anforderungen:

Vorschlag zur Anpassung der Ausschluss / Abwägungskriterien auf das zum jeweiligen Zeitpunkt tatsächliche Gefährdungspotenzial und den daran abzuleitenden Schutzzielen bzw. Anforderungen an Barrieresysteme:
zu Beginn der Einlagerung hohe Anforderung,
mit der Lagerdauer sinkende Anforderung

Kommentiert [Oline59]: ID 1084

[3] Anmerkung: Dort unter dem Titel "Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen"

[4] Anmerkung: Die Mindestanforderung "keine Gebirgsschlaggefährdung wurde frühzeitig von der AG 3 nicht weiter verfolgt.

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 in der Größenordnung von einer Million Jahren gewährleistet. Nachdem Standortregionen bzw. Teilgebiete ausgewählt worden sind, die die Mindestanforderungen erfüllen, soll mit Hilfe der nachfolgend genannten Abwägungskriterien beurteilt werden, ob eine insgesamt günstige geologische Gesamtsituation vorliegt. Die günstige geologische Gesamtsituation ergibt sich nicht aus der besonders guten Erfüllung eines einzelnen Kriteriums, sondern aus der Summe der Erfüllung aller Kriterien.

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

5.1.1. Anforderung 1: Kein oder langsamer Transport durch Grundwasser im Endlagerniveau

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**, ausgedrückt als Abstandsgeschwindigkeit, sollte **möglichst gering**, d. h. deutlich kleiner als 1 mm pro Jahr, 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**, erfasst durch den effektiven Diffusionskoeffizienten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, sollte **möglichst gering** sein (kleiner 10^{-11} m²/s).

Kommentiert [AK2-60]: Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf 2.1.2:

a) andere Reihung der Abwägungskriterien? (Vorschlag u.a. von Herrn Thomauske)

b) Fusion der Gewichtungsgruppe 2 und 3

c) Anforderung 5 und 11 zu einer neuen Gewichtungsgruppe 3 "bergbautechnische Kriterien"

Kommentiert [Oline61]: ID 1184, 1185

Kommentiert [AK2-62]: Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf 2.1.2: Betonung: Abwägung führt nicht zum Ausschluss

Kommentiert [AK2-63]: Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf 2.1.3: Diskussion unter der Überschrift "Wirtsgesteinsspezifische Kriterien"

Vorschlag:
Systematische Prüfung des Katalogs anhand der Stärken und Schwächen der Wirtsgesteine. Werden durch die Kriterien alle Stärken der Wirtsgesteine adressiert. Bisher entscheidet alles eher „salzlastig".

Tendenz geht zu gesteinsunabhängigen Kriterien, jedenfalls für Gewichtungsgruppe 1 Aber Sorptionskoeffizient z.B. muss gesteinsspezifisch sein (Kristallin sollte keine Klüfte enthalten)

Wirtsgesteinsspezifische Kriterien zum Vergleich unterschiedlicher Ton, Salz, Granitformationen untereinander (Konsens, u.a. Min, Wenzel)
Vergleich der bestmöglichen Standorte in Ton, Salz und Granit auf Grund von quantitativen und qualitativen Kriterien (Konsens)

Kommentiert [Oline64]: ID 1119, 1120

Kommentiert [Oline65]: ID 1096

Kommentiert [Oline66]: ID 1086, 1089

Kommentiert [Oline67]: ID 1098

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	**Gebirgsdurchlässigkeit** [m/s]	< 10^{-12}	10^{-12} - 10^{-10}	
Diffusionsgeschwindigkeit	**effektiver Diffusionskoeffizient** [m^2/s]	< 10^{-11}	10^{-11} - 10^{-10}	> 10^{-10}

Kommentiert [Oline68]: ID 187

Der **effektive Diffusionskoeffizient** als Maß für die Diffusionsgeschwindigkeit in konkreten Gesteinsvorkommen liegt als Information zunächst flächendeckend nicht vor. **Hilfsweise** kann daher der **Gesteinstyp als Indikator für die Diffusionsgeschwindigkeit** herangezogen werden.

Kommentiert [Oline69]: ID 1095

In Abhängigkeit vom Gesteinstyp wird die Diffusionsgeschwindigkeit durch unterschiedliche charakteristische Merkmale bestimmt:

Bei Sedimentgesteinen sind **geringe Permeabilität und Porosität** Merkmale eines geringen effektiven Diffusionskoeffizienten. Indikatoren dafür sind bei Tonstein die **absolute Porosität** und der **diagenetische Verfestigungsgrad** des Gesteins.

Kommentiert [Oline70]: ID 1088

Die entsprechende Bewertungsgröße **für Tonstein** lautet daher:

Kommentiert [Oline71]: ID 1090

- Das Gestein sollte über eine geringe absolute Porosität und einen hohen diagenetischen Verfestigungsgrad verfügen.

Kommentiert [Oline72]: ID 1092

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

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

Für andere Gesteinstypen müssen für die Eigenschaft "Diffusionsgeschwindigkeit" noch entsprechende **Abwägungsmaßstäbe** oder Analoga aufgestellt werden. Hierzu müssten Tabellen Tabellen ähnlich der Tabelle 5-2 auch für die Wirtsgesteinstypen Salz und Kristallin entwickelt werden. Die beiden nachfolgenden Tabellen (Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4) beinhalten daher noch keine Angaben, sondern sind als entsprechende Platzhalter zu verstehen.

Tabelle 5-3: Platzhalter - Transport durch Grundwasser: Bewertungsgrößen der Diffusionsgeschwindigkeit für den Wirtsgesteinstyp SALZ

Kommentiert [Oline73]: ID 1097

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Diffusionsgeschwindigkeit				

Tabelle 5-4: Platzhalter - Transport durch Grundwasser: Bewertungsgrößen der Diffusionsgeschwindigkeit für den Wirtsgesteinstyp KRISTALLIN

Kommentiert [Oline74]: ID 1091

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Diffusionsgeschwindigkeit				

Mögliche (weitere) Indikatoren für das Fehlen einer Grundwasserbewegung bzw. für eine nur geringe Grundwasserbewegung, für die in AkEnd (2002) mangels belastbarer Informationen keine Kriterien abgeleitet worden sind:

- auf Dauer trockenes Gestein
- Temperaturverteilung im tiefen Untergrund
- teufenabhängige Zunahme der Grundwasserdichte

Kommentiert [Oline75]: ID 1093

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.1

Der AkEnd fordert eine geringe Migration von Schadstoffen aus dem ewG, lange Grundwasserlaufzeiten und Radionuklidtransportzeiten.

Die ESK ist der Meinung, dass die hier angesprochenen Forderungen eine sinnvolle Ergänzung für die Mindestanforderungen an die Gebirgsdurchlässigkeit darstellen. Wie *[in Kapitel 6.1]* ausgeführt, sind aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften für salinare, tonige und kristalline Wirtsgesteine auch unterschiedliche Ansätze zum Nachweis und daher auch zur Exploration und Messung der Gebirgsdurchlässigkeit und den damit verknüpften Transportprozessen zu verfolgen.

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.

Kommentiert [Oline76]: 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 in der Größenordnung von einer Million Jahren bewirkt (rechnerische Ableitung unter Voraussetzung idealer Barrierewirkung).

Kommentiert [Oline77]: 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)

Kommentiert [Oline78]: 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.

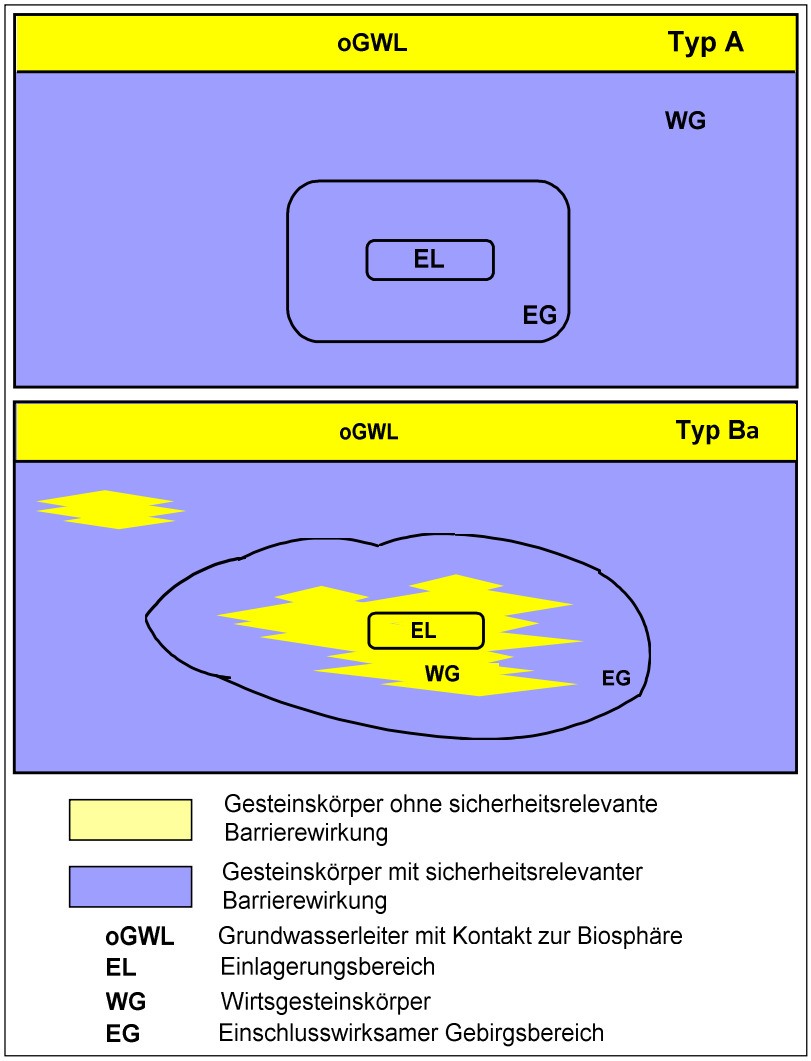
Kommentiert [Oline79]: ID 1109

  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 Tonsteinfolgen gegeben sein (s. Abbildung 5-2 oben).

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

Kommentiert [Oline80]: ID 1110



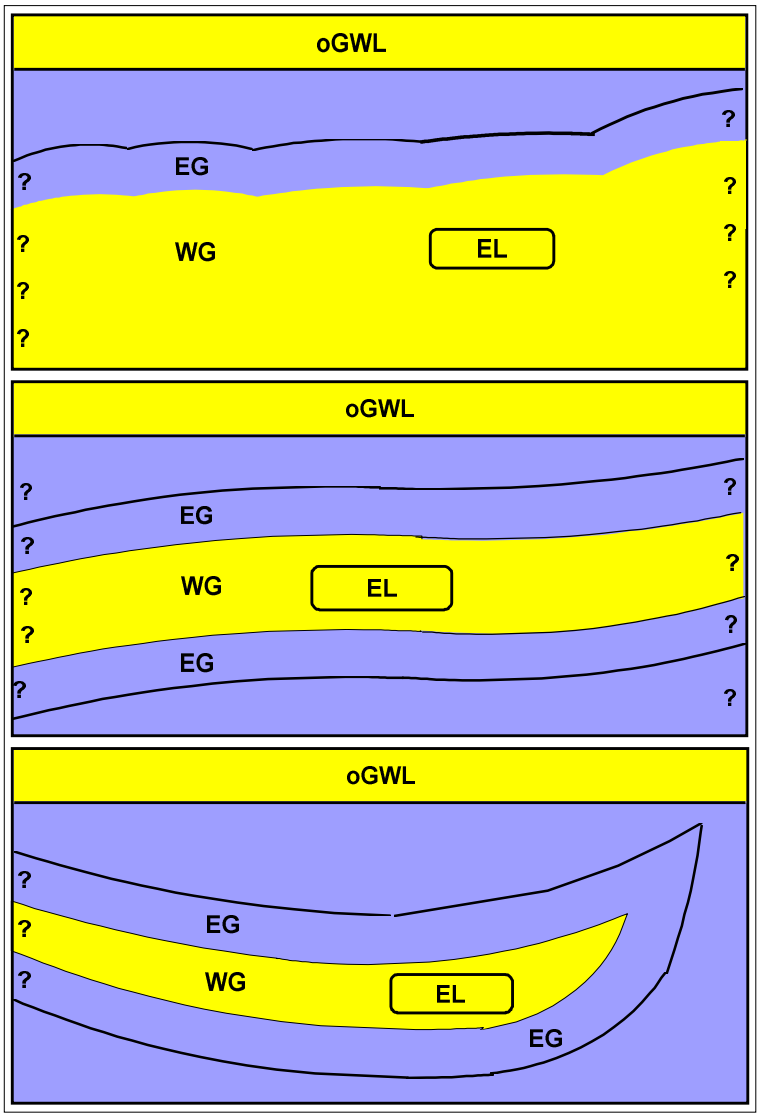
Quelle: AkEnd (2002)

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

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

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

Kommentiert [Oline81]: ID 1111



Quelle: AkEnd (2002)

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

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

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

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

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

Kommentiert [Oline82]: ID 1106

Kommentiert [Oline83]: ID 1113

Kommentiert [Oline84]: ID 1107, 1108

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

- Der **spezifische hydraulische Gradient**[5] über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich sollte so gering sein, dass die aus der Nachbarschaft solcher Gesteinskörper resultierenden Potenzialkontraste die **rechnerische induzierte Abstandsgeschwindigkeit über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich** selbst bei Zugrundelegung einer Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs von 10^{-10} m/s und einer effektiven Porosität von 10 % **nicht über Werte von 1 mm/a** ansteigen lassen (s.a. AkEnd 2002, S.142).

Formulierungsvorschläge aus NS folgen

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

[5] Das Kriterium des spezifischen hydraulischen Gradienten bezieht sich auf Tonsteinvorkommen innerhalb heterogen aufgebauter Sedimentgesteinsfolgen.

In K-Drs./AG3-46, die u.a. Grundlage für die vorliegende Unterlage ist, nimmt der Autor auf S. 11 zunächst eine nicht gekennzeichnete Änderung gegenüber der Formulierung des AkEnd vor, indem er von einem spezifischen hydraulischen Gradienten "über den ewG" statt "im ewG" spricht. An gleicher Stelle nimmt er dann eine gekennzeichnete Änderung bzw. Detaillierung der ursprünglichem AkEnd-Forderung nach einem hydraulischen Gradienten < 10^2 vor, die sich lt. Fußnote auf Tonsteinvorkommen innerhalb heterogen aufgebauter Sedimentfolgen bezieht.

Hier sollte wieder zur ursprünglichen AkEnd-Formulierung „im“ zurückgekehrt werden.

Herr Dr. Appel, 27.01.2016

Anforderung 2: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper, insbesondere von Wirtsgestein und einschlusswirksamem Gebirgsbereich (Kriterium "spezifischer hydraulischer Gradient" bzw. ersatzweise vorgeschlagenes Kriterium "rechnerische induzierte Abstandsgeschwindigkeit")

In mehreren Unterlagen zu den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und in AG-3-Sitzungen ist die mit inhaltlichem Hintergrund und Aussagekraft der genannten Kriterien zur Beurteilung induzierter Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bei Tonstein verbundene Problematik behandelt worden. Bedenken beruhen u.a. auf der für die Anwendung beider Kriterien zu unterstellenden Gültigkeit des Darcy-Gesetzes in sehr gering durchlässigen Tonsteinen und der Vorgabe unrealistisch niedriger Werte für die Beurteilungsgröße spezifischer hydraulischer Gradient.

Durch das niedersächsische Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) jüngst nach den Vorgaben des AkEnd-Kriteriums "spezifischer hydraulischer Gradient" auf Basis von Daten zu potenziellen Endlagerstandorten mit Tonstein durchgeführte Berechnungen der induzierten Abstandsgeschwindigkeit stärken die Zweifel an der Bewertungsgröße "rechnerische Abstandsgeschwindigkeit". Beispielsweise wäre an den bisher positiv beurteilten potenziellen Standorten Zürcher Weinland (Schweiz) und Bure (Frankreich) die rechnerische Abstandsgeschwindigkeit deutlich größer als 1mm/a.

Vorschlag
Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, die Kriterien mit den Ansätzen "spezifischer hydraulischer Gradient" und "rechnerische Abstandsgeschwindigkeit" aufzugeben. An die Stelle der Kriterien sollte der Hinweis treten, dass zur Vermeidung "kritischer" induzierter Abstandsgeschwindigkeiten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ein niedriger hydraulischer Gradient erforderlich ist. Die inhaltliche Auseinandersetzung mit den relevanten hydraulischen Standortgegebenheiten sollte im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen geführt werden. Dabei ist zu beachten, dass für die Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle ins Auge gefasste Tonsteinformationen mit geringer Gebirgsdurchlässigkeit in der Regel gegenüber unter- und überlagernden Gesteinsfolgen mit höherer Gebirgsdurchlässigkeit auffällig abweichende (meist deutlich erhöhte) hydraulische Potenziale aufweisen. Umfassende Informationen dazu und zu den genauen Ursachen liegen in frühen Verfahrensphasen in der Regel nicht vor.

In dieser Zeit können für die (vorläufige) Beurteilung ersatzweise folgende Indikatoren eingesetzt werden:

Indikator a

Anschluss von wasserleitenden Schichten in Nachbarschaft zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich an ein hohes hydraulisches Potenzial (AKEND 2002, S. 144).

Zugehörige Kriterien

- Ein Anschluss an ein hohes Potenzial sollte möglichst nicht gegeben sein. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn in unmittelbarer Nähe unterhalb und oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. des Wirtsgesteinskörpers keine Gesteinskörper mit hohem Potenzial bzw. hoher Potenzialdifferenz vorhanden sind.
- Der hydraulische Widerstand der leitenden Schicht zwischen Potenzialanschluss und Endlagerposition sollte groß sein, d. h. der Abstand sollte groß und die Gebirgsdurchlässigkeit klein sein.

Tabelle 5-xxx: Günstige Konfiguration der Gesteinskörper: Ersatzweise anwendbarer Indikator bei fehlenden Informationen zur Abstandsgeschwindigkeit

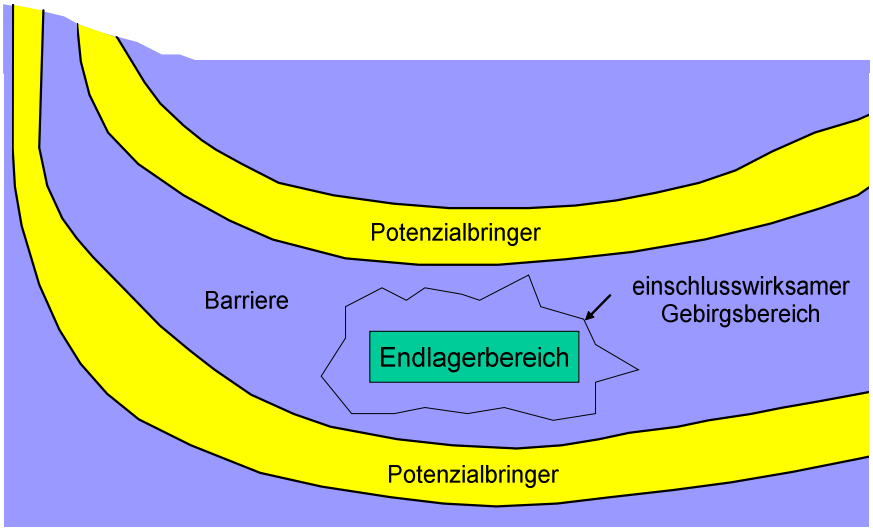
Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	**Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums** [Dimension]	**Wertungsgruppe**		
		günstig	**bedingt günstig**	**weniger günstig**
Indikator a Anschluss von wasserleitenden Schichten an hohes hydraulisches Potenzial	Vorhandensein von Gesteinskörpern mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung bzw. Verstärkung der GW-bewegung durch den ewG ermöglichen können.	Keine Grundwasser-leiter als mögliche Potenzialbringer in unmittelbarer Nachbarschaft zum Wirtsgestein/ ewG vorhanden	Grundwasser-leiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein / ewG, jedoch ohne erhöhtes Potenzial	Grundwasser-leiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein / ewG vorhanden

Indikator b (ergänzend zu AKEND 2000)

Hydraulische Potenziale im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. Wirtsgesteinskörper, die auffällig von der zu erwartenden hydrostatischen Potenzialverteilung abweichen und / oder deutliche Unterschiede zu benachbarten Grundwasser leitenden Gesteinskörpern aufweisen, können ein Hinweis auf geringe Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. Wirtsgesteinskörpers und damit auf günstige hydraulische Barrierewirkung sein. Das gilt dann, wenn gezeigt werden kann, dass die aktuell und in der jüngeren geologischen Vergangenheit bestehenden hydraulischen Verhältnisse (hydraulische Eigenschaften der Gesteinskörper, Potenzialdifferenzen) nicht ausgereicht haben, um in fernerer geologischer Vergangenheit verursachte anomale Potenziale bzw. Potenzialunterschiede abzubauen. Voraussetzung für eine solche Interpretation ist, dass die Auffälligkeiten für die gesamte geforderte Fläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gelten und die Ursachen dafür plausibel abgeleitet werden können.

Anmerkung Herr Dr. Appel: Die vereinbarte Einfügung der Fußnote "Das Kriterium bezieht sich auf Tonstein als Wirtsgestein innerhalb heterogen aufgebauter Sedimentgesteinsfolgen" entfällt, wenn der vorgeschlagenen Aufgabe der Kriterien und der Übernahme eines neuen Textes zum Thema Gradient / Abstandsgeschwindigkeit (s. Vorschlag oben) gefolgt wird.

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



Quelle: AkEnd 2002

Tabelle 5-5: 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	Barrieren**mächtigkeit** [m]	> 150	100 – 150	50 -100
	Grad der **Umschließung**[6] 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	**Fläche**nhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit [Vielfaches des Mindest-flächenbedarfs (z. B. für Salz 3 km² und Ton 10 km²)] [7]	>> 2-fach	etwa 2-fach	<< 2-fach
Vorhandensein von Gesteinskörpern mit erhöhtem hydraulischen Potenzial [8]				

[6] Angaben zu den Wertungsgruppen modifiziert nach telefonischer Abstimmung mit Herrn Dr. Appel

[7] Die genauen Flächenbedarfe sind noch festzulegen!

[8] 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

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
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] [9]	<< 0,1	0,1 - 1	> 1

Kommentiert [Oline86]: ID 1103

Kommentiert [Oline87]: ID 1099 (mm/a?)

Kommentiert [Oline85]: ID1104

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.

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

Indikator a

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

hydraulischen Gradienten selbst die dadurch verursachte Abstandsgeschwindigkeit (≤ 1 mm/a) als eigentlich gesuchte Größe erhoben werden.

[9] Das Vorhandensein von Gesteinskörpern mit erhöhtem hydraulischem 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.

Zugehörige Kriterien

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

Kommentiert [Oline88]: ID 1105

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.

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

Indikator b (in Ergänzung zu AkEnd 2002)

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

gesamte geforderte Fläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gelten und die Ursachen dafür plausibel abgeleitet werden können.

Zugehöriges Kriterium

Die hydraulischen Drücke im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. generell im gering durchlässigem Wirtsgestein sollten von den auf Grund der Tiefenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereich **zu erwartenden hydrostatischen Drücken** bzw. von den in unter- bzw. überlagernden möglichen Potenzialbringern herrschenden Drücken **deutlich und plausibel 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. [10]	keine Grundwasser-leiter als mögliche Potenzial-bringer in unmittelbarer Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschluss-wirksamen Gebirgs-bereich vorhanden	Grundwasser-leiter in Nach-barschaft zum Wirtsgestein / einschluss-wirksamen Gebirgs-bereich vorhanden, jedoch ohne erhöhtes Potenzial	Grundwasser-leiter in Nach-barschaft zum Wirtsgestein / einschluss-wirksamen Gebirgsbereich vorhanden
Hydraulische Drücke (Indikator b)	Abweichung von hydrostatischen Erwartungswerten und/oder benachbarten Potenzialbringern			

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

Die seitens AkEnd angegebenen Zahlenwerte lassen sich in Abhängigkeit von der vorhandenen

[10] 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 eischlusswirksamen 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.

Barrieremächtigkeit wie folgt zusammenfassen *(Auszug aus der Tabelle auf Seite 108 [1]*):

Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Barrierenmächtigkeit [m]	> 150	100-150	50-100
Grad der Umschließung des Wirtsgesteins durch einschlusswirksamen Gebirgsbereich	vollständig	unvollständig	keine Angabe des AkEnd
Teufe 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 km² und Ton 10 km²)]	> 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 Barrierenmächtigkeit 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 Barrierenmächtigkeit 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 Barrierenmächtigkeit 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 Schachtanlage Asse II rückzuholende Abfälle, Urantails etc.) aufnimmt, zwingend eine ausreichende räumliche Trennung der Einlagerbereiche vorzusehen ist.

5.1.3. Anforderung 3: Gute räumliche Charakterisierbarkeit

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

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

Zugehörige Kriterien

Ermittelbarkeit

- Die **charakteristischen Eigenschaften** der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den Wirtsgesteinskörper[11] aufbauenden **Gesteinstypen** sollten eine **geringe Variationsbreite** aufweisen und **räumlich möglichst gleichmäßig verteilt** sein.
- **Bei tektonisch überprägten geologischen Einheiten** sollte **die Überprägung möglichst gering sein.** Das Ausmaß der Überprägung wird abgeleitet aus den Lagerungsverhältnissen unter Berücksichtigung von **Bruch- und Faltentektonik**. **Salzstrukturen** sollten möglichst großräumige Verfaltungen der Schichten mit unterschiedlichen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften aufweisen.

Das Land Schleswig-Holstein hat bezüglich der Komplexität der Strukturen folgenden Ergänzungsvorschlag für den zweiten Spiegelstrich eingebracht:

Vorschlag des Landes Schleswig Holstein (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume), (per Email, 21.12.2015)

Bei tektonisch überprägten geologischen Einheiten sollte die Überprägung möglichst gering sein. Das Ausmaß der Überprägung wird abgeleitet aus den Lagerungsverhältnissen unter Berücksichtigung von Bruch- und Faltentektonik. Salzstrukturen sollten möglichst großräumige Verfaltungen der Schichten mit unterschiedlichen mechanischen und hydraulischen Eigenschaften aufweisen. Strukturen, die aufgrund ihrer Komplexität mit den verfügbaren Untersuchungsmethoden nicht mit

[11]

Herr Dr. Appel, 27.01.2016

(als Fußnote)

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

hinreichender Zuverlässigkeit ermittelbar sind, werden ausgeschlossen.

Kommentiert [Oline89]: ID 1115, 1116

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

Ohne Hervorhebung und Erläuterung wurde in K-Drs./AG3-46, welche Grundlage für die vorliegende Unterlage ist, vom Autor das vom AkEnd formulierte Kriterium

"Die Gesteinstypen und ihre charakteristischen Eigenschaften sollen innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs räumlich gleichmäßig verteilt sein"

umgewandelt in:

"Die charakteristischen Eigenschaften der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den Wirtsgesteinskörper aufbauenden Gesteinstypen sollen eine geringe Variationsbreite aufweisen und räumlich möglichst gleichmäßig verteilt sein."

Es sollte die AkEnd-Formulierung übernommen werden, da der Autorenvorschlag zu Irritationen bei der Bewertung von Salzstöcken führen kann, die aus verfalteten Schichtfolgen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften bestehen können. Der ewG wird aber in besonders gut geeigneten Salzstöcken in sehr homogenem Salz, z.B. im Hauptsalz der Staßfurtfolge, ausgewiesen, das sich durch ein hohes Einschlussvermögen auszeichnet. Die gleichen Maßstäbe für ewG und Wirtsgestein festzulegen, ist daher nicht sinnvoll.

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 5-7: Gute räumliche Charakterisierbarkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	**Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums** [Dimension]	**Wertungsgruppe**		
		günstig	**bedingt günstig**	**weniger günstig**
Ermittelbarkeit der Gesteinstypen und ihrer charakteristischen	Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im	gering	deutlich, aber bekannt bzw. zuverlässig	erheblich und/oder nicht zuverlässig

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper	einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper		erhebbar	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
	für Salzstrukturen (Salzstöcke) gilt:	große ovale Salzstrukturen		kleine rundliche bzw. schmale gestreckte Salzstrukturen
Übertragbarkeit der Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	Fazies regional einheitlich	Fazies nach bekanntem Muster wechselnd	Fazies nach nicht bekanntem Muster wechselnd

Kommentiert [Oline90]: ID1024

Das Land Schleswig-Holstein hat bezüglich der Tabelle 5-7 folgenden Änderungsvorschlag eingebracht:

Vorschlag des Landes Schleswig Holstein (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume) (per E-Mail 21.12.2015)

Tabelle 5-7 neu: Gute räumliche Charakterisierbarkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Ermittelbarkeit der Gesteinstypen und ihrer charakteristischen Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich /	Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper	gering	deutlich, aber bekannt bzw. zuverlässig erhebbar	erheblich und/oder weniger zuverlässig erhebbar

Wirtsgesteinskörper	Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im ein-schlusswirksamen Ge-birgsbereich / Wirtsge-steinskörper und ihrer Eigenschaften	gleichmäßig	kontinuierli-che, vorherseh-bare räumliche Veränderun-gen	diskontinuier-liche, weniger genau vor-hersagbare räumliche Verän-derungen
	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 (eng-ständig zer-blockt, Abstand < 100 m), gefaltet
	für Salzstrukturen (Salzstöcke) gilt: **:auf Grundlage der Ergebnisse d. Proj. INSPEE nicht haltbar*	große ovale Salzstruk-turen		kleine rundliche bzw. schmale gestreckte Salzstrukturen
Übertragbarkeit der Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	Fazies regional einheitlich	Fazies nach bekanntem Muster wechselnd	Fazies nach nicht bekanntem Muster wechselnd

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.3

Der AkEnd fordert eine hohe Zuverlässigkeit bei der Sicherheitsbewertung, eine große Planungssicherheit für das Endlagerbergwerk und geringen Erkundungsaufwand.

Die ESK begrüßt das durch den AkEnd formulierte Abwägungskriterium. Die letzten Jahrzehnte haben insbesondere auf dem Gebiet der seismischen Charakterisierbarkeit aufgrund verbesserter Methoden in der Datenauswertung erhebliche Fortschritte gemacht.

Das seitens AkEnd vorgebrachte Argument des „geringen Erkundungsaufwandes“ sollte aus Sicht der ESK nur mit Bedacht verwendet werden. Wenn ein geringer Erkundungsaufwand bedeutet, dass auch die Auswertung der Daten einfach ist und die Interpretationsmöglichkeiten der Daten beschränkt sind, ist dies zu begrüßen.

Bei der räumlichen Charakterisierbarkeit besteht die Abwägung zwischen dem Informationsgewinn einerseits und der dabei erfolgenden Schädigung des geologischen Untergrundes andererseits. Bei geophysikalischen Methoden muss nur in sehr beschränktem Rahmen (Aufzeitbohrungen, Kalibrationsbohrungen) mit einer Schädigung des Untergrundes gerechnet werden.

Der AkEnd hatte zur Beschreibung des Abwägungskriteriums Unterkriterien formuliert *(vgl. [1], Kapitel 4.1.4.4)*:

a) die Ermittelbarkeit der Gesteinstypen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (darunter die räumliche Verteilung der Eigenschaften der Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und das Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit) und

b) die Übertragbarkeit der Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich.

Aus Sicht der ESK könnte das Abwägungskriterium noch schärfer gefasst werden, in dem es begrifflich durch „Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit“ ersetzt wird. Für dieses Kriterium ließe sich in Anlehnung an das Vorgehen des AkEnd formulieren:

Kriterium: Die den ewG bzw. die Wirtsgesteinsformation charakterisierenden Gesteinstypen und ihre sicherheitsrelevanten Eigenschaften sollten räumlich möglichst homogen verteilt sein.

Abwägung: Räumliche Verteilung der Gesteinstypen und die Variabilität ihrer charakteristischen Eigenschaften des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs:

Verteilung der Gesteinstypen	gleichmäßig	kontinuierliche räumliche Veränderungen	diskontinuierliche räumliche Veränderungen
Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit	gering	kontinuierliche räumliche Veränderungen	diskontinuierliche räumliche Veränderungen
Wertungsgruppe	günstig	bedingt günstig	weniger günstig

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 in der Größenordnung 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 langfriste 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.

Kommentiert [Oline91]: ID 1117

Tabelle 5-8: 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 der wesentlichen sicherheitstragenden Merkmale: „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 der wesentlichen sicherheitstragenden Merkmale: „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 der wesentlichen sicherheitstragenden Merkmale, 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

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.4

Der AkEnd fordert eine hohe Zuverlässigkeit bei der Sicherheitsbewertung für lange Zeiträume, eine gute Begründbarkeit der Szenarien zur Schadstofffreisetzung und -ausbreitung und Reduzierungsmöglichkeiten bei den Unsicherheiten.

Die ESK ist mit diesem Abwägungskriterium einverstanden. Auch hier lässt sich aus Sicht der ESK jedoch eine Präzisierung vornehmen: Der AkEnd listet drei sicherheitsrelevante „Merkmale“ auf, die Mächtigkeit, Ausdehnung und Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs. Alternativ zu dieser scheinbar abschließenden Auflistung schlägt die ESK eine allgemeinere Formulierung vor, die sowohl auf die Beständigkeit der relevanten sicherheitstechnischen Merkmale als auch auf die Prognostizierbarkeit der Veränderung der

sicherheitsrelevanten Merkmale abhebt:

Kriterium: Die wesentlichen sicherheitsrelevanten Merkmale des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sollten sich seit einigen Millionen Jahren nicht wesentlich verändert haben.

Abwägung: Veränderung der wesentlichen sicherheitsrelevanten Merkmale des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs:

Veränderung der Merkmale des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale über einen Zeitraum > 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale über einen Zeitraum von 1 Mio. bis 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betrachtungsmerkmale über einen Zeitraum bis 1 Mio. Jahre
Wertungsgruppe	günstig	bedingt günstig	weniger günstig

5.2. Gewichtungsgruppe 2: Absicherung des Isolationsvermögens

5.2.1. Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen

Kommentiert [Oline92]: ID 1121

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

Kommentiert [Oline93]: ID 1128

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

Kommentiert [Oline94]: ID 1022

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

- Über eine Kontursicherung hinausgehend sollte kein tragender Ausbau erforderlich sein, um mit der Eigentragfähigkeit des Gebirges zusammen standsichere Grubenbaue zu erhalten.

Kommentiert [Oline95]: ID 1123, 1125 (1127)

- In den geologischen Barrieren sollten durch die Auffahrung des Endlagers und den Ausbau keine die Langzeitsicherheit beeinträchtigenden Sekundärpermeabilitäten erzeugt werden
- Die Funktionstüchtigkeit von geotechnischen Barrieren (z. B. Querschnittsabdichtungen) sollte durch konturnahe Gebirgsentfestigung nicht über ein unvermeidbares Maß hinaus herabgesetzt werden

Ausgehend von diesen Sachverhalten[12] werden zwei Indikatoren für das Vorliegen von in diesem Sinne günstigen geomechanischen Verhältnissen formuliert, auf die die unten genannten Kriterien ausgerichtet sind:

Kommentiert [Oline96]: ID 1129

Indikator 1

Das Gebirge wirkt geomechanisch als Haupttragelement.

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

Kommentiert [Oline97]: ID 1127

[12] 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.

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

Indikator 2

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

Kommentiert [Oline98]: ID 1126

Kommentiert [Oline99]:

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

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

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

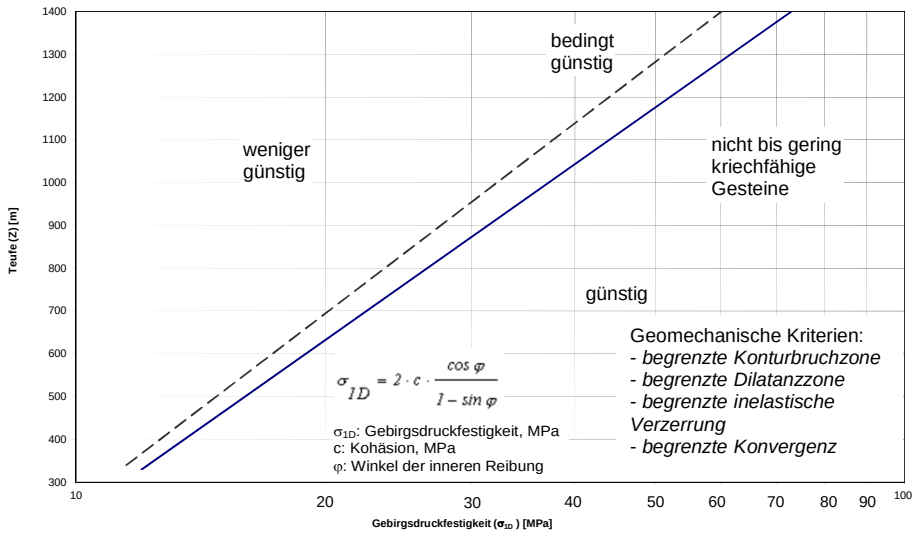
Zugehöriges Kriterium

- Die **Neigung zur Ausbildung mechanisch induzierter Sekundärpermeabilitäten** im Wirtsgestein / im einschlusswirksamen Gebirgsbereich **außerhalb einer konturnahen entfestigten Auflockerungszone** um die Endlagerhohlräume sollte **möglichst gering** sein.

Das Vorgehen bei der Kriterienentwicklung und die Herleitung der Beurteilungsmaßstäbe wird in AkEnd (2002) bzw. in den dort zugrunde gelegten Arbeiten (s.a. K-MAT 12-20 und K-MAT 12-21)[13] ausführlich beschrieben. Danach besteht bei Berücksichtigung bestimmter **gebirgsartbezogener** Vorgaben ein Zusammenhang zwischen Teufenlage eines Grubenbaus und der Gebirgsfestigkeit, die zur Beurteilung der Neigung zur Ausbildung von Sekundärpermeabilitäten genutzt werden kann. Bei der Anwendung des Abwägungskriteriums wird zwischen Gesteinen mit elastisch-sprödem und elastisch-gering plastischem / gering kriechfähigem Materialverhalten einerseits und Gesteinen mit ausgeprägtem Kriechverhalten andererseits unterschieden (s. Abbildung 5-4 u. Abbildung 5-5).

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

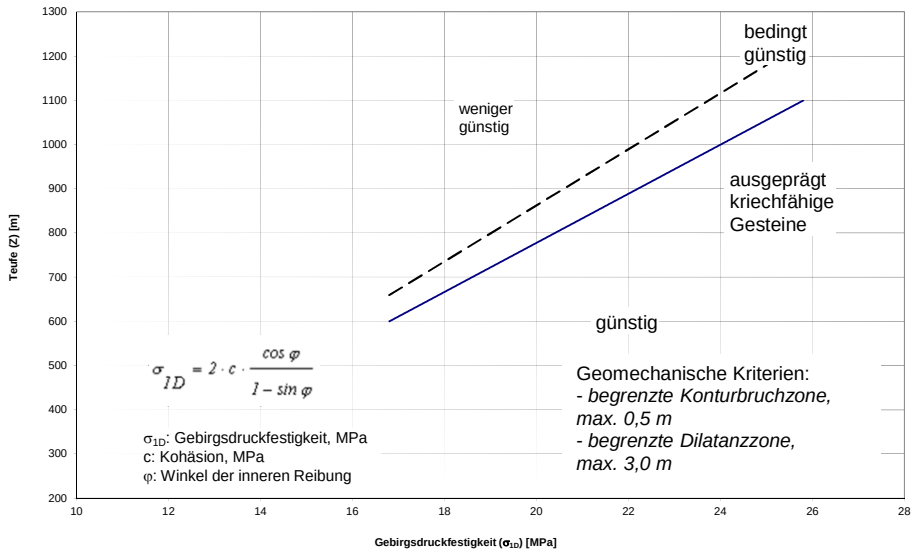
Abbildung 5-4: Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit nicht bis gering kriechfähigem (duktilem) Materialverhalten [nach LUX 2002[14]]



Quelle: nach Lux 2002

[14] 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 (duktilem) Materialverhalten [nach LUX 2002[15]]



Quelle: nach Lux 2002

[15] 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 5-9: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Neigung zu mechanisch bedingten Sekundär-permeabilitäten außerhalb einer konturnahen entfestigten Auflockerungszone[16]	Zulässige Teufenlage in Abhängigkeit von der repräsentativen Gebirgs-druckfestigkeit, zu entnehmen dem Lagebezug der Endlagerteufe zur Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestig-keit: Abbildung 5-4: Festgesteine mit nicht bzw. gering kriechfähigem Materialverhalten; Abbildung 5-5: Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem Materialverhalten	Die zu be-wertende Teufe liegt unterhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Ge-birgsdruck-festigkeit.	Die zu be-wertende Teufe liegt mäßig (< 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Ge-birgsdruck-festigkeit.	Die zu be-wertende Teufe liegt deutlich (> 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Ge-birgsdruck-festigkeit.

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

Der AkEnd fordert eine Minimierung von Schädigungen der Barrierensysteme 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.

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

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

Schadstofffreisetzung aus dem tiefen geologischen Untergrund in die Biosphäre kann insbesondere über die Migration fluider 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.

Kommentiert [Oline100]: ID 1136

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 Risssysteme entstehen können und zwar dann, wenn unter der Einwirkung zukünftiger geogener oder anthropogener Beanspruchungen

Kommentiert [Oline101]: 1130 (und/oder?)

- 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 unvertretbar großen Sekundärpermeabilität.

Kommentiert [Oline102]: ID 1138, 1139

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

- Die **Veränderbarkeit der Gebirgsdurchlässigkeit** sollte **möglichst gering** sein. Dazu sollte die repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs gleich der repräsentativen Gesteinsdurchlässigkeit sein. Dies bedeutet, dass das Gebirge keine bei der Bestimmung der Gesteinsfestigkeit nicht erfassbare Trennfugen / Klüfte aufweisen darf.

  Kommentiert [Oline103]: ID 1034

- Die **Barrierenwirkung** der Gebirgsformation gegenüber der Migration von Flüssigkeiten oder Gasen (unter geogener und auch teilweise anthropogener Beanspruchung) sollte **aus** geowissenschaftlicher**, geotechnischer oder bergbaulicher Erfahrung ableitbar** sein. Folgende Sachverhalte können zur Einschätzung verwendet werden:
  - Rezente Existenz als wasserlösliches Gestein
  - Fossile Fluideinschlüsse
  - Unterlagernde wasserlösliche Gesteine
  - Unterlagernde Vorkommen flüssiger oder gasförmiger Kohlenwasserstoffe
  - Heranziehung als hydrogeologische Schutzschicht bei Gewinnungsbergwerken
  - Aufrechterhaltung der Abdichtungsfunktion auch bei dynamischer Beanspruchung
  - Nutzung von Hohlräumen zur behälterlosen Speicherung von gasförmigen und flüssigen Medien
- Das Gestein sollte unter in situ-Bedingungen geogen eine plastisch-viskose Deformationsfähigkeit ohne Dilatanz aufweisen (Bewertungsgröße: **Duktilität des Gesteins**).

  Kommentiert [Oline104]: ID 1132, 1133

- **Risse/Risssysteme im Gestein** sollten **bei Beanspruchungsinversion** (zunehmende isotrope Beanspruchung und abnehmende deviatorische Beanspruchung) **geohydraulisch wirksam verschlossen** werden (Bewertungsgröße: Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Rissschließung).

  Kommentiert [Oline105]: ID 1139, 1141, 1142

- **Risse/Risssysteme im Gestein** sollten **nach der Rissschließung geomechanisch wirksam verheilt** sein (Bewertungsgröße: Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch **Rissverheilung**).

  Kommentiert [Oline106]: ID 1131

Tabelle 5-10: 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 Gesteins-durchlässigkeit [Maß ist die Wasserdurchlässigkeit in m/s]	< 10	≤ 100	> 100
	Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen	Die Gebirgs-formation / der Gesteinstyp wird un-mittelbar / mittelbar anhand eines oder mehrerer der o.g. Sach-verhalte Er-fahrungsbe-reiche als ge-ring durchläs-sig bis geo-logisch dicht identifiziert, auch unter geogener / technogener Beanspru-chung.	Die Gebirgs-formation / der Gesteinstyp ist man-gels Erfah-rung nicht un-mittelbar / mit-telbar als ge-ring durchläs-sig bis geolo-gisch dicht zu charakteri-sieren.	Die Gebirgs-formation / der Gesteins-typ wird unmittelbar/ mittelbar anhand eines Erfahrungs-bereichs als nicht hinrei-chend gering durchlässig identfiziert.
	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 aus-geprägt	spröde-duktil bis elasto-viskoplastisch wenig ausgeprägt	spröde, linear-elastisch
Rückbildbarkeit von Rissen	Rückbildung der Sekundär-permeabilität durch Rissschließung	Die Riss-schließung erfolgt auf-grund duk-tilen Mate-rialverhaltens unter Aus-gleich von Oberflächen-rauhigkeiten im Grundsatz vollständig.	Die Riss-schließung erfolgt durch mechanische Rissweiten-verringerung in Verbindung mit sekundären Mechanis-men, z. B. Quelldefor-mationen.	Die Riss-schließung erfolgt nur in beschränktem Maße (z. B. bei sprödem Materialver-halten, Ober-flächenrau-higkeiten, Brücken-bildung).

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	**bedingt günstig**	**weniger günstig**
	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

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.6

Der AkEnd fordert ein robustes Verhalten der Barrierengesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bei Beanspruchung, d. h. eine geringe Wahrscheinlichkeit für die Bildung von Wasserwegsamkeiten oder ~~(nach hohem)~~ [ein hohes] Selbstheilungsvermögen.

Aus Sicht der ESK ist dieses Abwägungskriterium sinnvoll gewählt worden. Sie weist darauf hin, dass ein hohes Selbstheilungsvermögen bei kristallinem Wirtsgestein nicht vorliegt. Bei Standorten mit kristallinem Wirtsgestein müssen die Wahrscheinlichkeiten zur Bildung von Wasserfließpfaden in besonderem Maße betrachtet werden. Das robuste Verhalten darf nicht nur auf den jetzigen Zustand des Gesamtsystems, sondern muss auch auf potenzielle zukünftige Entwicklungen angewendet werden.

5.3. Gewichtungsgruppe 3: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften

5.3.1. Anforderung 7: Gute Gasverträglichkeit

Endgelagerte radioaktive Abfälle können bei Kontakt mit Wasser oder Lösungen durch Korrosion und Radiolyse Gase bilden. In der Nachbetriebsphase eines Endlagers kann es zur Gasbildung kommen, wenn Flüssigkeit an die Abfallbehälter gelangt und diese korrodieren. Die Gasbildung kann zu einem Druckaufbau im einschlusswirksamen Gebirgsbereich führen. Die Gasmengen und die Gasbildungsraten müssen im Rahmen der Szenarienanalyse abgeschätzt werden. Durch den

Gasdruckaufbau kann die Integrität der geologischen Barriere gefährdet werden, wenn der Gasdruck den Frac-Druck überschreitet.

Kommentiert [Oline107]: ID 1143, 1145

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

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

Zugehörige Kriterien

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

Tabelle 5-11: Gute Gasverträglichkeit: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums

Kommentiert [Oline108]: ID 1144, 1147

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Gasbildung	Wasserangebot im Wirts-gestein	trocken	feucht und dicht (Gebirgsdurchlässigkeit < 10^{-11} m/s)	feucht

Kommentiert [Oline109]: ID 1146

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.7

Der AkEnd fordert die Beherrschung der Gasentwicklung aus den Abfällen, so dass keine Beeinträchtigung der Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zu besorgen ist.

Die Betrachtungen des AkEnd beruhen im Wesentlichen auf der Berücksichtigung der Auswirkung von Gasen auf die Barrierenintegrität. Sie haben nach wie vor Gültigkeit: So wird in einer Zusammenfassung des derzeitigen F&E-Standes durch die OECD/NEA *[7]* auf die Gasbildung durch anaerobe Metallkorrosion und Radiolyse sowie Gasbildung insbesondere in schwach und mittel radioaktiven Abfällen durch die Zersetzung organischer Stoffe und durch mikrobielle Aktivitäten verwiesen.

Durch den AkEnd wird dargelegt, dass Gase sowohl die Barrierenintegrität gefährden als auch als Transportmedium für Radionuklide wirken können. Der AkEnd verweist auch auf den Zielkonflikt „Einschluss versus Vermeidung eines Druckaufbaus“, der letztlich zur Ableitung der oben zitierten AkEnd-Kriterien geführt hat. Darüber hinaus legt die OECD/NEA *in [7]* jedoch auch die Bedeutung radioaktiver Gase bzw. flüchtiger Radionuklide dar und verweist außerdem auf mögliche

Auswirkungen auf geochemische Bedingungen. Die Ableitung sinnvoller Strategien im Umgang mit der Problematik und ihrer sicherheitsanalytischen Bewertung war Gegenstand zahlreicher EU-Projekte (PEGASUS, EVEGAS, PROGRESS, GASNET, FORGE).

Im Rahmen der Standortauswahl kann *laut [7, OECD/NEA]* auf eine Vermeidung von Gasbildung durch Korrosion durch die Bevorzugung trockener Formationen hingewirkt werden. Dies entspricht dem korrespondierenden AkEnd-Kriterium.

Aus Sicht der ESK ist das o. g. Kriterium *[Kap. 7.7]* daher nach wie vor sinnvoll und richtig. Die ESK verweist aber auch darauf, dass weiterhin intensive Forschung und Entwicklung zur Gasproblematik betrieben wird. Diese sollte verfolgt und in regelmäßigen Abständen evaluiert werden, ob sich Konsequenzen für die Standortauswahl ergeben.

Der AkEnd verweist zusätzlich zum o. g. Kriterium auf die besondere Problematik der Einlagerung verschiedener Abfallarten – gerade im Hinblick auf die Gasproblematik:

- Die räumliche Trennung verschiedener Abfallarten ist unter Sicherheits- und Nachweisaspekten unerlässlich *(Zitat aus [1], S. 28)*.
- Im Hinblick auf die sicherheitstechnisch als besonders bedeutsam angesehene Gasentwicklung ergeben sich aus der Forderung nach langzeitiger Isolation der Abfälle gegenüber dem Transport mit dem Grundwasser einerseits und der Vermeidung kritischer Gasdrücke im Endlager andererseits z. T. schwierig miteinander zu vereinbarende Anforderungen an die geologischen Standortverhältnisse. Dieses Problem ist durch die räumliche Trennung verschiedener Abfallarten allein nicht lösbar und erfordert gegebenenfalls technische Maßnahmen (*Zitat aus [1], S. 28*, die technischen Maßnahmen betreffen z. B. die Wahl Behältermaterial oder Gaspufferstrecken).
- Für die beiden Abfallströme sind jeweils unterschiedliche geologische Voraussetzungen als besonders günstig zu bezeichnen. Unter Abwägung der genannten Punkte ist daher bezüglich der Gasproblematik die Einlagerung der Wärme entwickelnden radioaktiven Abfälle einerseits und der radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung andererseits an zwei adäquaten Standorten oder an einem Standort in adäquate Wirtsgesteine unter Sicherheits- und Nachweisaspekten sinnvoll bzw. unerlässlich *(modifiziertes Zitat aus [1], S. 176)*.

Auch diese Sicht wird durch *[7, OECD/NEA]* bestätigt. Es ergibt sich also die Notwendigkeit, rechtzeitig im Standortauswahlprozess Klärung bezüglich des einzulagernden Inventars herzustellen, da dies Auswirkungen auf die Standortauswahlkriterien hat.

5.3.2. 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

Kommentiert [AK2-110]: Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
2.1.4
Änderung der Anforderung 8 bzw. des Indikators:
Keine pauschale Festlegung von gesteinsspezifischen Grenztemperaturen, sondern den Indikator „geringe Temperatur im Einlagerungshorizont“ wählen, der Wirtsgesteinsübergreifend ist.

Kommentiert [Oline111]: ID 1151

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

Kommentiert [Oline112]: ID 1154

Zugehörige Kriterien

Kommentiert [Oline113]: ID 1167

- 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.

Kommentiert [Oline114]: ID 1149

Kommentiert [Oline115]: ID 1152

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

Tabelle 5-12: 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 thermo-mechanisch gestörten Umgebung um Einlagerungshohlräume [m]	< 10	10 - 50	> 50
	Zugfestigkeit [MPa] im Nah-bereich (etwa 10 m bis 50 m) um Endlager bei einer Kontakttemperatur von 100°C für			
	Granit	> 13	≥ 8	< 8
	Tonstein	> 8	≥ 4	< 4
	Steinsalz	> 2	1 - 2	< 1

Kommentiert [Oline117]: ID 1150

Kommentiert [Oline116]: ID 1155 (s.a. 1154)

Kommentiert [Oline118]: ID 1148, 1156

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

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

Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit

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

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

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

Ergänzung Niedersachsen:

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

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

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

Zugehörige Kriterien

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

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

Ergänzung Niedersachsen:

- *[Da wässrige Lösungen in allen Wirtsgesteinen angetroffen werden können, sollte in allen Wirtsgesteinen zur Vermeidung erhöhter Gasdrücke die Temperatur unterhalb des Siedepunktes von Wasser verbleiben (Druckabhängigkeit beachten).]*

Kommentiert [Oline119]: ID 1157

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

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 Einlagerungsgebinde kommt es infolge der Erwärmung zu einer Ausdehnung des Gebirges bzw. zu einem Anstieg der Druckspannungen und daher nicht zu einer Aufweitung oder Neubildung von Wegsamkeiten. Gleichzeitig kommt es in weiter entfernten Gebirgsbereichen, die weniger erwärmt werden, zu einer Absenkung der Druckspannungen und damit zu einer Verschiebung des Spannungszustands hin zu ungünstigen Spannungsbedingungen. Diese Verschiebung hin zu ungünstigen Spannungsbedingungen erfolgt umso stärker, je

größer die Temperaturerhöhung im Einlagerungsbereich ist und je größer der Temperaturgradient im Gebirge ist. Temperaturerhöhung und Temperaturgradient sind umso kleiner, je größer die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität des Wirtsgesteins sind. Günstig sind daher zur Vermeidung thermomechanisch bedingter Barrierenbeeinträchtigungen eine große Wärmeleitfähigkeit und eine hohe Wärmekapazität des Wirtsgesteins.

Inwieweit eine Begrenzung der maximalen Temperatur der einzulagernden Gebinde dazu beitragen kann, ungünstige Temperaturauswirkungen 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.

Kommentiert [Oline120]: 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 Endlagergebinde 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 Sattdampfdruck 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 Bentonitbuffern 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

Kommentiert [Oline121]: ID 1162, 1164

100°C begrenzt werden muss.

Mineralogische Temperaturverträglichkeit

In einigen Sicherheitskonzepten für Endlager in den Wirtsgesteinstypen Ton und Kristallin spielen das Quellvermögen und Sorptionsvermögen von eingebrachtem Bentonit eine Rolle. Daher muss in diesen Konzepten sichergestellt werden, dass die notwendige Sorptionsfähigkeit und das notwendige Quellvermögen des Bentonits nicht durch thermisch bedingte Mineralumwandlungen beeinträchtigt werden. Quellfähigkeit und Sorptionsvermögen von Bentonit sinken, wenn der im Bentonit vorhandene Smektit in Illit umgewandelt wird. Die Illitisierung von Smektit beginnt bereits bei Temperaturen unterhalb 100°C und ist umso intensiver, je höher die Temperatur ist. Auch für die mineralogische Temperaturverträglichkeit des Wirtsgesteins kann daher die Frage gelten, ob in dem jeweiligen Wirtsgestein ein Bentonitbuffer erforderlich ist.

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

Kommentiert [Oline122]: ID 1163

Mineralumwandlungen können außerdem Auswirkungen auf die Barriereeigenschaftenn 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:

Indikator	***günstig***	***weniger günstig***

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)

Kommentiert [Oline123]: 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.

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

5.3.3. Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine im Deckgebirge gegenüber Radionukliden

Kommentiert [Oline124]: ID 1170

Kommentiert [Oline125]: ID 1170, 1171, 1174

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

Das Ausmaß der Sorption hängt sowohl von der mineralogischen Zusammensetzung der durchströmten Gesteine als auch vom hydrochemischen Milieu des Tiefenwassers ab. Tonminerale, Mangan-, Eisen- und Aluminium-Oxide, -Hydroxide und -Oxihydrate sowie organische Substanz (z.B. Kohle, Torf) stellen - zumindest unter bestimmten hydrochemischen Milieubedingungen - gute Sorbenten dar. Von den hier interessierenden

Gesteinstypen, die als Wirtsgestein bzw. einschlusswirksamer Gebirgsbereich in Frage kommen, trifft das – im Hinblick auf die Zusammensetzung - vor allem auf Tonstein zu. Granit und vergleichbare kristalline Gesteinstypen, aber auch Steinsalz und die meisten damit vergesellschafteten Gesteinstypen weisen hingegen ein generell schwaches Sorptionsvermögen auf, während sie in anderer Hinsicht Vorteile gegenüber anderen Gesteinstypen aufweisen können. Die Bedeutung des Rückhaltevermögens ist daher im Rahmen der abwägenden Gesamtbetrachtung von Endlagersystemen zu beurteilen.

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

In Sicherheitsbetrachtungen wird als Maß für die Beurteilung des Sorptionsvermögens üblicherweise der lineare Sorptionskoeffizient Kd herangezogen. Ein Kd-Wert von 0,001 m^3/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 (Kd-Wert) sollte für die Mehrzahl der langzeitrelevanten Radionuklide größer oder gleich 0,001 m^3/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.

Kommentiert [Oline126]: ID 1169, 1173

Tabelle 5-13: Hohes Rückhaltevermögen im Deckgebirge: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen des Kriteriums

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Hohe Sorptionsfähigkeit der Gesteine des Deckgebirges	Anteil und Verteilung von Ton / Tonstein / tonreichen Gesteinen im Deckgebirge von Salzstöcken zwischen Salzspiegel und	Ton / Tonstein / tonreiche Gesteine in zusammen-hängender Verbreitung im	Ton / Tonstein / tonreiche Gesteine in lückenhafter Verbreitung im	Ton / Tonstein / tonreiche Gesteine als isolierte Einzelvor-kommen in

	Biosphäre	Deckgebirge	Deckgebirge	Gesteins-serien mit geringer Sorptions-fähigkeit

Formulierungsvorschläge aus NS folgen

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

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

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.).

Kommentiert [Oline127]: ID 1177

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 eignungshöffige Standorte frühzeitig aus dem Verfahren ausscheiden könnten.]

Kommentiert [Oline128]: ID 1178

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.

5.3.4. Anforderung 10: Günstige hydrochemische Verhältnisse

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

Günstige hydrochemische Verhältnisse in einer geologischen Formation werden unter anderem durch ein reduzierendes geochemisches Milieu, geringe Konzentrationen an Komplexbildnern und Kolloiden sowie neutrale bis leicht alkalische pH-Bedingungen bei niedrigem CO_2-Partialdruck charakterisiert. Unter derartigen Bedingungen sind geringe Löslichkeiten von Radionukliden zu erwarten.

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

Im Zuge der Kriterienentwicklung hat der AkEnd geprüft (AKEND 2002), inwieweit sich auf der Basis damals zugänglicher Daten quantitative bzw. qualitative Kriterien für die genannten Indikatoren ableiten lassen (LARUE et al. 2001). Dabei wurden auch das schrittweise Vorgehen bei einer Standortauswahl und die beim jeweiligen Verfahrensschritt voraussichtlich vorliegenden Kenntnisse und Daten berücksichtigt.

gegenwärtige Kenntnisstand zum Chemismus von Tiefenwässern in Deutschland und die heterogene Verbreitung verschiedener Grundwassertypen auf engem Raum lässt derzeit[17] allerdings keine flächendeckenden Aussagen zur Charakterisierung und Beurteilung von Standortregionen und Standorten auf der Basis hydrochemischer Kriterien zu. Insbesondere bei Grundwässern im für die Errichtung eines Endlagers vorgesehenen Tiefenbereich ist das Wissen über die hydrochemischen Verhältnisse dafür zu lückenhaft. Zuverlässige Aussagen sind daher

[17] Angaben aus AKEND 2002. Bedürfen der Überprüfung / Aktualisierung.

erst bei genauerer regionaler bzw. standortspezifischer Betrachtung auf Basis entsprechender Daten möglich.

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

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

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

K-MAT 47 (ESK, Evaluation der Kriterien des AkEnd), Kap. 7.10

Der AkEnd fordert eine Reduzierung von Freisetzung und Transport von Radionukliden.

ESK: Die Grund- und Porenwasserzusammensetzungen beeinflussen die Radionuklidlöslichkeiten und damit den Radionuklidquellterm entscheidend. Zudem hängen Sorptions- und Diffusionsverhalten der Radionuklide sowie Kolloidbildung und Kolloidtransport von den hydrochemischen Bedingungen ab. Diese sind nicht nur zur Zeit der Erkundung zu betrachten, sondern auch deren mögliche Entwicklung über den gesamten Isolationszeitraum muss betrachtet werden. In diesem Sinne stellen günstige hydrochemische Verhältnisse aus Sicht der ESK ein sinnvolles, jedoch in Abhängigkeit von Wirtsgestein und Endlagerkonzept zu präzisierendes Abwägungskriterium dar: Die hydrochemischen Verhältnisse spielen sowohl im Hinblick auf eine mögliche Degradation technischer und geotechnischer Barrieren als auch im Hinblick auf das Freisetzungs- und Migrationsverhalten von Schadstoffen eine Rolle. Da je nach Konzept Barrieren in unterschiedlicher Weise ausgelegt werden und mit unterschiedlicher Verfügbarkeit von Fluiden und unterschiedlichem Freisetzungs- und Migrationsverhalten zu rechnen ist, hängt eine Präzisierung des Kriteriums vom Endlagerkonzept und vom Wirtsgestein ab.

Es ist außerdem zu beachten, dass sich die hydrochemischen Bedingungen in Endlagersystemen über längere Zeiträume bedingt z. B. durch einen möglicherweise vorhandenen Betonausbau des Endlagers und unterschiedliche Stoffinventare der eingelagerten Abfälle verändern können. Insbesondere bei der Einlagerung unterschiedlicher Abfallarten können solche Änderungen signifikant und komplex werden. Dies ist bei der Einschätzung der Auswirkungen hydrochemischer Randbedingungen durch entsprechende Analysen zu berücksichtigen.

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

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

Kommentiert [Oline129]: ID 1179

5.3.6. Anforderung 12: Schützender Aufbau des Deckgebirges

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

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

Kommentiert [AK1-130]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
1.1.3
Im AK 1 wurde diesbezüglich das Thema "Deckgebirge als Mindestanforderung?" diskutiert, ohne konkretes Ergebnis/ohne Vorschlag an die AG 3.

1.1.6
Subrosion, bzw. Einbruchsee

Kein Konsens in der Frage, junge Subrosionssees (Einbruchseen) über einem Salzstock als 7. Ausschlusskriterium zu nennen.
Bitte an die Kommission, das Argument noch mal ernsthaft und wissenschaftlich zu prüfen
Einbruchseen sind zwar leicht zu erkennen, es gibt aber auch Subrosionsvorgänge, die nicht so leicht zu erkennen sind.

Prognosen der Subrosion müssen beachtet werden.

Kommentiert [AK2-131]:
Ergebnisse_Fachtagung_Version1.pdf
2.1.5
Schutz vor Subrosion
Zweifelhaft, ob eine Anforderung an das Deckgebirge zur Begrenzung von Subrosion sinnvoll ist,

Zweifelhaft, welche Rolle der Deckgebirgsaufbau für die Subrosion überhaupt hat.

Der aktuelle Deckgebirgsaufbau kann für begrenzte Zeit einem Sicherheitsvorteil bringen und muss daher als Abwägungskriterium berücksichtigt werden. Die Sicherheit des Endlagers darf aber nicht vom Deckgebirgsaufbau abhängen, daher kann es keine Mindestanforderung bzw. Ausschlusskriterium darstellen

2.2.3
Es gibt Befürworter für ein schützendes Deckgebirge über einem Salzstock und andere, die sagen, es ist nicht wichtig (nächste Eiszeit macht es irrelevant)

Bedeutung der Subrosion für Salzstöcke (aktiv? allgemein zum Erliegen gekommen?)

Bedeutung des schützenden Deckgebirges für Kristallin?

Schützendes Deckgebirge ist in anderen Ländern ein Abwägungskriterium. (Bsp.: Schweiz)

Diskussion der Bedeutung des Erfüllungsgrades: • . Es soll das radiologische Schutzziel nicht nur gerade so erreicht werden, sondern bestmöglich.

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.

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 einschluss-wirksamen Gebirgsbereich (ewG) bzw. "Schutz des ewG" zu. Unter den bei der Standort-

auswahl im Vordergrund stehenden geologischen Barrieren übernimmt das Deckgebirge über dem ewG dessen Schutz gegen Einwirkungen von oben bzw. außen. Bei Salzstöcken hat wegen der Wasserlöslichkeit des Wirtsgesteins sowie wegen Wasserlöslichkeit bzw. Wasserleitvermögen mit ihm vergesellschafteter Gesteinskörper und der allgemein vertikalen Ausrichtung der Schichten der Schutz gegen (selektive) Subrosion und ihre möglichen Aus-wirkungen durch ein schützendes Deckgebirge herausragende Bedeutung.

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

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

Kommentiert [Oline132]: ID 1181

Kommentiert [Oline133]: ID 1180

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

Kommentiert [Oline134]: 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.“

Kommentiert [Oline135]: ID 1182