

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3
Entscheidungskriterien sowie Kriterien
für Fehlerkorrekturen

**Beratungsunterlage zu TOP 4 der 15. Sitzung der AG 3
am 17. Dezember 2015**

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien, Kurzfassung auf Basis AkEnd
(2002), 2.Version vom 16. November 2015

Verfasser Dr. Detlef Appel (K-Drs. /AG3-46)

Hier: Anmerkungen von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla vom 6. Dezember
2015

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. /AG3-59</p>

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla 2015_12_06](#)

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien Kurzfassung auf Basis AKEND (2002)

Entwurf, vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen von Kudla vom 06.12.2015](#)

Vorbemerkungen

Der nachfolgende Text "xxx1.4 Geowissenschaftliche Anforderungen und Abwägungskriterien sowie zugehörige Wertungsgruppen" schließt inhaltlich an Kommissionsdrucksache AG 3-38 "Einführung in ein Kapitel Abwägungskriterien" an. Er stellt eine gekürzte Auskopplung aus Kapitel 4.1.4 des AkEnd-Berichtes von 2002 dar.

[Anmerkung 1 für Herrn Dr. Appel:](#)

[Bei allen Abwägungskriterien muss beachtet werden, dass diese nicht nur von Geowissenschaftlern im Rahmen der Standortsuche angewandt werden, sondern auch von Juristen überprüft werden. Es muss damit gerechnet werden, dass jeder nur mögliche Rechtsweg auch bestritten wird – also die korrekte Anwendung der Abwägungskriterien auch juristisch überprüft wird. Die Abwägung muss deshalb juristisch nachvollziehbar begründet werden. Das geht nur, wenn die aufgestellten Kriterien auch ausreichend scharf formuliert sind, und in der ersten \(bzw. zweiten\) Phase überhaupt konkret erkundet werden.](#)

[Anmerkung 2 für Herrn Dr. Appel:](#)

[Es muss irgendwo vorab klargestellt werden, dass ein Standort mit einer günstigen geologische Gesamtsituation nicht das oberste Ziel des Standortsuchverfahrens ist \(auch wenn der AKEnd dies - und damit auch Sie es – so artikuliert haben\) sondern, oberstes Ziel ist es, die übergeordneten Schutzziele in Abschnitt 3 der BMU-Sicherheitsanforderungen und die konkreten Schutzziele in den Abschnitten 6.1 bis 6.5 der BMU-Sicherheitsanforderungen einzuhalten. Damit **kann eine**](#)

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06

Teilgebietsauswahl bzw. eine Regionenauswahl bzw. Standortauswahl nicht alleine nach geologischen Kriterien erfolgen, sondern es muss ein Endlagerkonzept (=Endlagervorplanung) aufgestellt werden (angepasst an die jeweilige Standortsuchphase und angepasst an das zu beurteilende Wirtsgestein) und anschließend müssen auf Basis der vorhandenen geologischen Situation und dem Endlagerkonzept Sicherheitsuntersuchungen erfolgen (in der ersten Suchphase können diese generischer Natur sein). Danach muss unter Zugrundelegung der in der Region bzw. am Standort vorgefundenen geologischen Parameter, dem erarbeiteten Endlagerkonzept und den Sicherheitsuntersuchungen das Teilgebiet bzw. die Region bzw. der Standort beurteilt werden und untersucht werden, ob die konkreten Schutzziele (Abschnitte 6.1 bis 6.5 der BMU-Sicherheitsanforderungen) eingehalten werden können. Gerade wenn man verschiedene Teilgebiete bzw. Regionen bzw. Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen vergleichen will, ist dies wichtig!!! Nur ein Vergleich auf Basis von geologischen Kriterien, Endlagerkonzept, und Sicherheitsuntersuchungen ist Stand der Wissenschaft und Technik! Nicht aber der Vergleich alleine auf Grund geologischer Kriterien. Deshalb schlage ich folgenden Text als Vorspann vor.

Die Kriterien des AkEnd zielen darauf ab, einen Endlagerstandort mit einer günstigen geologischen Gesamtsituation zu finden. Dies war zum Zeitpunkt der Abfassung des AKEnd-Berichtes Stand von Wissenschaft und Technik. Der Stand von Wissenschaft und Technik hat sich jedoch in den letzten 15 Jahren weiterentwickelt. Übergeordnete und konkrete Schutzziele wurden definiert (siehe Abschnitte 3 und 6 der BMU-Sicherheitsanforderungen). Heute (2016) ist es Ziel des Standortsuchverfahrens einen Standort zu finden, bei dem die Einhaltung der Schutzziele in Abschnitt 3 und Abschnitt 6 der BMU-Sicherheitsanforderungen nachgewiesen werden kann. Damit kann eine Teilgebietsauswahl bzw. eine Regionenauswahl bzw. Standortauswahl nicht alleine nach geologischen Kriterien erfolgen, sondern es muss ein Endlagerkonzept (=Endlagervorplanung) aufgestellt werden (angepasst an die jeweilige Standortsuchphase und angepasst an das zu beurteilende Wirtsgestein). Anschließend müssen auf Basis der vorhandenen

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06

geologischen Situation und dem Endlagerkonzept Sicherheitsuntersuchungen erfolgen (in der ersten Suchphase können diese generischer Natur sein). Danach muss unter Zugrundelegung der in der Region bzw. am Standort vorgefundenen geologischen Parameter, dem erarbeiteten Endlagerkonzept und den Sicherheitsuntersuchungen das Teilgebiet bzw. die Region bzw. der Standort beurteilt werden und untersucht werden, ob die konkreten Schutzziele (Abschnitt 6 der BMU-Sicherheitsanforderungen) eingehalten werden können. Gerade wenn man verschiedene Teilgebiete bzw. Regionen bzw. Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen vergleichen will, ist dies wichtig.
In dieser Ausarbeitung werden nur die geologischen Abwägungskriterien behandelt und deren Bewertung dargestellt (die Ausschlusskriterien und die Mindestanforderungen werden in K.-Drs. ??? behandelt) . Eine Gesamtbewertung eines Teilgebietes bzw. einer Region bzw. eines Standortes ist alleine mit der Bewertung der geologischen Abwägungskriterien noch nicht möglich.

Die innere Logik des AkEnd-Kapitels mit den übergeordneten allgemeinen geologischen Anforderungen im Hinblick auf eine günstige geologische Gesamtsituation für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle, den darauf bezogenen Abwägungskriterien zur vergleichenden Beurteilung der anforderungsrelevanten Sachverhalte, den dabei anzuwendenden Beurteilungsgrößen (bzw. Indikatoren, soweit die Beurteilungsgrößen mangels Information (noch) nicht anwendbar sind) und den zugehörigen Wertungsgruppen bleibt erhalten.

Abgesehen von nicht erkannten Übernahmeirrtümern und -fehlern sind die Darstellungen der Ziele und wesentliche Sachverhaltshintergründe für die Kriterienableitung mit den inhaltlichen Hauptpunkten übernommen worden. Inhaltlich übernommen wurden auch alle vollständig ausformulierten Kriterien mit den zugehörigen Beurteilungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen. Veränderungen durch Appel sind (in Fußnoten) erläutert.

Kommentar [WK1]: Der Abschnitt muss angepasst werden. Auf Grund des Textes oben

Kommentar [WK2]: Streichen. Der Text muss so lange und von so vielen Personen Korrektur gelesen werden, bis es keine Übernahmeirrtümer und nicht erkannte Fehler mehr gibt

Gelöscht: Ü

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Im AkEnd-Bericht beschriebene Indikatoren, für die keine Festlegungen für die Wertungsgruppen getroffen worden sind, werden zwar erwähnt, aber nicht näher behandelt (Beispiel: Temperaturverteilung im tiefen Untergrund).

Die Kriterien unter einer Anforderung sind zusammen mit den zugehörigen Beurteilungsgrößen und Wertungsgruppen in jeweils einer Tabelle (Form entsprechend Tabelle 4.3 in AKEND 2002) übernommen worden, um den Zusammenhang deutlich zu machen.

Inhaltliche Änderungen, insbesondere Ergänzungen, gegenüber dem in der 13. Sitzung der AG 3 andiskutierten Entwurf vom 19.10.2015 sind rot markiert: Umfangreichere Änderungen / Ergänzungen zu Anforderung 2 (günstige Konfiguration / Tiefe) - derzeit ohne überzeugende Lösung für die damit verbundene gebirgsmechanische Problematik, die auch unter Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen (Kriterium Neigung zur Ausbildung mechanisch induzierter Sekundärpermeabilitäten) aufscheint.

Kommentar [WK3]: Wenn es keine überzeugende allgemeingültige formulierbare Lösung gibt und auch zu AKEnd-Zeiten nicht gab, dann sollten die Kriterien **weich** formuliert werden oder gar keine Kriterien vorgegeben werden. Dadurch werden den „Standortsuchern“ (Vorhabenträger und BfE) Spielräume für Entscheidungen in einer konkreten Region bzw. einem konkreten Standort eröffnet. Das ist wichtig, damit die „Standortsucher“ nicht durch „am grünen Tisch“ aufgestellte Vorgaben bei der konkreten Entscheidung zu einer Region bzw. Standort behindert sind.

xxx1.4 Geowissenschaftliche Anforderungen und Abwägungskriterien sowie zugehörige Wertungsgruppen

Gewichtungsgruppe 1

Güte des Isolationsvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises

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 geringe Gebirgsdurchlässigkeit **und geringen Wassergehalt** aufweisen.

Kommentar [WK4]: Alleine geringe Gebirgsdurchlässigkeit ist nicht ausreichend. Entscheidend ist gerade bei der zu erwartenden Aufheizung/Erwärmung des Gesteins der Wassergehalt des Gebirges. Nur wenn der Wassergehalt per se schon gering ist, kann auch nur wenig Wasser durch die Erwärmung diffundiert werden.

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

- Die **Diffusionsgeschwindigkeit**, erfasst durch den effektiven Diffusionskoeffizienten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, sollte **möglichst gering** sein (kleiner 10^{-11} m²/s).

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	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}

Kommentar [WK5]: Mit ist nicht klar, wie man das in der ersten und zweiten Phase (Teilgebietssuche und Regionenuntersuchung von übertage) messen will. Letztlich kann doch nur die Gebirgsdurchlässigkeit an Hand von Erfahrungswerten für das Gebirge beurteilt werden. Das gilt genauso für den effektiven Diffusionskoeffizienten. Ist es da nicht letztlich besser, für die ersten zwei Phasen nur eine Vorgabe für die Gebirgsdurchlässigkeit zu machen? Die beiden anderen Bewertungsgrößen (Abstandsgeschwindigkeit und Diffusionskoeffizient) sind doch mit der Gebirgsdurchlässigkeit korreliert.

Es muss ja gerichtsfest formuliert sein.

Der **effektive Diffusionskoeffizient** als Maß für die Diffusionsgeschwindigkeit in konkreten Gesteinsvorkommen liegt flächendeckend nicht vor. Hilfsweise kann der **Gesteinstyp als Indikator für die Diffusionsgeschwindigkeit** herangezogen werden. In Abhängigkeit vom Gesteinstyp wird sie durch unterschiedliche charakteristische Merkmale bestimmt.

Gelöscht: ,

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.

Das entsprechende **Kriterium für Tonstein** lautet:

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

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	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 im Auswahlverfahren noch entsprechende
Abwägungsmaßstäbe aufgestellt werden.

Kommentar [WK6]: Das muss im Rahmen der Kommissionsarbeit noch erfolgen – und nicht erst im Standortauswahlverfahren.

Mögliche (weitere) Indikatoren für beurteilungsrelevante Sachverhalte für das Fehlen einer Grundwasserbewegung bzw. 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.

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.

Ausdehnung, Anordnung und Tiefenlage von Gesteinskörpern sind in der Regel einfacher erhebbbar 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).
- 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. Abb. xxx1.4.xxx1).

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. (s. Abb. xxx1.4.xxx2) kann die Anordnung beider Einheiten allein selbst dann keinen ausreichenden Beitrag zu

einer "günstigen geologischen Gesamtsituation" leisten, wenn sie die geforderten Gesteinseigenschaften aufweisen. Zumindest ist die barrierewirksame Funktion des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches aus Anordnung und Ausdehnung der beteiligten Gesteinskörper nicht ohne weiteres abzuleiten. In erster Näherung dürfte die einschließende Wirkung einer solchen Konfiguration davon abhängig sein, wie weitgehend das Wirtsgestein vom einschlusswirksamen Gebirgsbereich umschlossen wird und in welcher hydraulischen Position sich die Öffnung(en) im einschlusswirksamen Gebirgsbereich befindet (befinden). Sofern ein Konfigurationstyp Bb vorliegen sollte, muss nachgewiesen werden, dass kein Grundwasseraustausch in einer Million Jahren zwischen dem Grundwasser im Endlagerbereich und dem über dem ewG vorhandenen Grundwasserleiter erfolgt. Dazu ist es notwendig, die in Abbildung xxx1.4.xxx2 als Fragezeichen dargestellte Ausdehnung des ewG und des Wirtsgesteins zu kennen und zu quantifizieren.

Gelöscht: Qualität der

Gelöscht: n

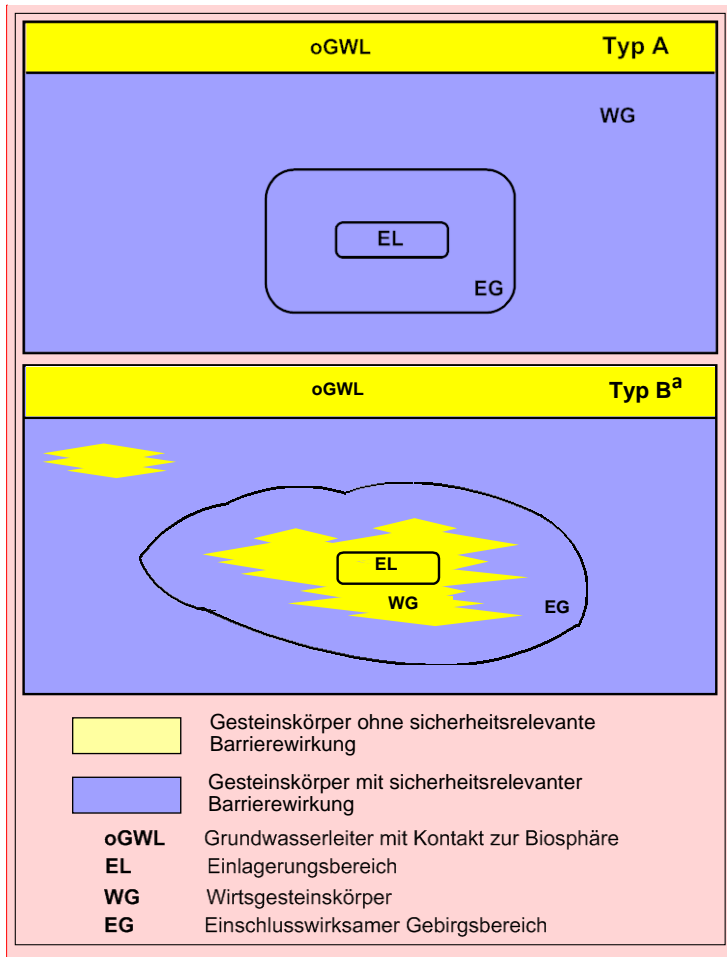
Kommentar [WK7]: Was ist damit gemeint? Ist da die Position der Schächte gemeint oder sollen das Stellen sein, an denen der ewG „undicht“ ist?

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. Dann müssen andere Gegebenheiten, wie beispielsweise große Tiefe und nachweisbar günstige hydraulische und hydrochemische Bedingungen im Endlagerbereich für den Einschluss der Abfälle im Endlager sorgen und die ungünstige Konfiguration Bb in allen Belangen ausgleichen. Eine solche dem Konfigurationstyp Bb entsprechende Situation liegt beispielsweise dem von Schreiber et al. (2015) beschriebenen Konzept einer möglichen Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle in (bevorzugt) kristallinem Wirtsgestein unterhalb mächtiger Salzfolgen der Zechsteinzeit zugrunde (s. Abb. xxx1.4.xxx2, oben).¹

Gelöscht: des Endlagers

Kommentar [WK8]: Der Satz muss gestrichen werden. Wir sollten nicht auf eine Studie Bezug nehmen, die konkret eine bestimmte Region (Thüringen) als günstig für die Endlagerung ausweist. Und sonst zitieren wir keine anderen Studien (z.B die verschiedenen BGR-Studien) . Wenn Sie etwas zu „Endlager unter Flacher Salz-Lagerung“ zitieren, dann sollte das eine Literaturstelle sein, in der nur generische Bilder dazu zu finden sind. Die AkEnd-Bilder sind auch generisch/Prinzipalskizzen.

¹ Schreiber, U., Ewert, T. u. Jentzsch, G. (2015): Geologische Potentiale zur Einlagerung von radioaktiven Abfallstoffen unterhalb von stratiformen Salzformationen - Konzeptstudie für ein alternatives Endlagermodell.- Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Biologie, Fachrichtung Geologie, 22.04.2015.



Kommentar [WK9]: In dem Bild fand ich die Bezeichnungen schon immer unklar.
Das Wirtsgestein (WG) umfasst sowohl den blauen als auch den gelben Gesteinskörper, also den „Gesteinskörper ohne sicherheitsrelevante Barrierewirkung“ als auch den „Gesteinskörper mit sicherheitsrelevanter Barrierewirkung“. Das Wirtsgestein taugt deshalb in der Bildunterschrift nicht als Unterscheidungskriterium. Deshalb wurde die Bezeichnung „Wirtsgestein“ in der Bildunterschrift von mir gestrichen (da sie unklar ist). Das Wort Wirtsgestein sollte aus der ganzen Abbildung entfernt werden.

Abbildung xxx1.4.xxx1: Haupttypen der Konfigurationen zwischen Endlager und einschlusswirksamem Gebirgsbereich (aus AKEND 2002)

Typ A: Endlager liegt vollständig im „Gesteinskörper mit sicherheitsrelevanter Barrierewirkung“. Einschlusswirksamer Gebirgsbereich ist Teil des „Gesteinskörpers mit sicherheitsrelevanter Barrierewirkung“.

Typ B: Endlager liegt im „Gesteinskörper ohne sicherheitsrelevante Barrierewirkung“.
Typ Ba: Einschlusswirksamer Gebirgsbereich umschließt den „Gesteinskörper ohne sicherheitsrelevante Barrierewirkung“ vollständig (siehe Abbildung xxx1.4.xxx1)

Gelöscht: Wirtsgestein

Gelöscht: Wirtsgestein

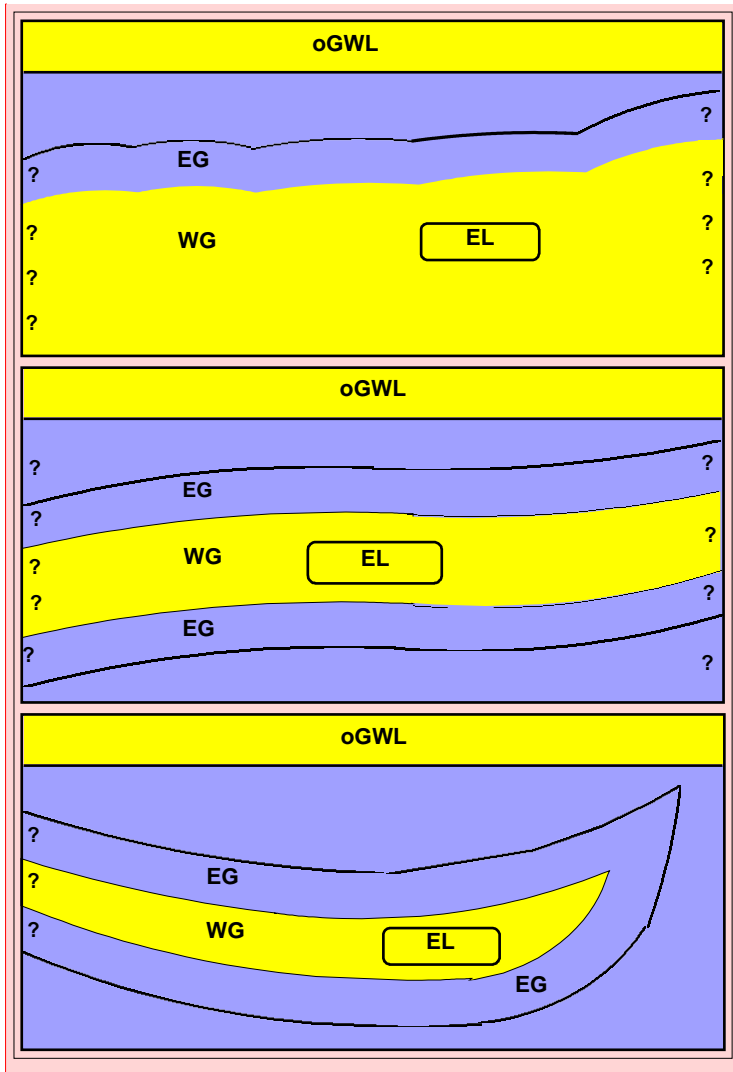
Gelöscht: sicherheitsrelevanter Bestandteil des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [_mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

[Typ Bb: Einschlusswirksamer Gebirgsbereich umschließt den „Gesteinskörper ohne sicherheitsrelevante Barrierewirkung“ nicht vollständig \(siehe Abb. xxx1.4.xxx2\).](#)

Gelöscht: Wirtsgestein ist kein sicherheitsrelevanter Bestandteil des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches (Darstellung entspricht Typ Ba: Wirtsgestein vollständig von einschlusswirksamen Gebirgsbereich umschlossen / Typ Bb s.



Kommentar [WK10]: Im Bild sollte statt WG „Gestein ohne sicherheitsrelevante Barrierewirkung“ geschrieben werden – oder WG weglassen und auf die Farbgebung in der Abb xxx1.4.xxx1 verweisen..

Abbildung xxx1.4.xxx2: Konfigurationstyp Bb (aus AKEND 2002): Geologische Strukturen mit unterschiedlichem Grad der Umschließung des „Gesteinskörpers ohne sicherheitsrelevante Barrierewirkung“ durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (schematisch, ohne Maßstab, „?“ bedeutet, dass die weitere Ausdehnung festgestellt werden muss; auf Grund verschiedener Möglichkeiten wurde als Darstellung nur ein ? gewählt, Legende siehe Abbildung xxx1.4..xxx1)

Gelöscht: Wirtsgesteinskörpers

Gelöscht: unbekannt

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

- Die **Teufe der Oberfläche des** erforderlichen **einschlusswirksamen Gebirgsbereichs** sollte unter einschränkender Beachtung tiefenabhängiger gebirgsmechanischer Risiken möglichst groß sein, um **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. **Nach gegenwärtigem Diskussionsstand kann die unter Anforderung 5 genannte positive gebirgsmechanische Vorgabe (kein massiver tragender Ausbau) nur bis in Tiefen von 700 bis allenfalls 900 m unter GOK eingehalten werden.²**

Nach gegenwärtigem Diskussionsstand muss im Einzelfall geprüft werden, ob bei der Auswahl eines Teilgebietes bzw. einer Region bzw. eines Standortes für ein Endlager die Anforderung 5 („günstige gebirgsmechanische Voraussetzung“) im Hinblick auf den Ausbau eingehalten werden kann. Für die Tiefenlage wird deshalb keine feste Vorgabe im Sinne einer Mindesttiefe bzw. einer Maximaltiefe gegeben. Für die erste Suchphase sollte aus pragmatischen Gründen von einer Tiefe von etwa zwischen 500 m und 900 m ausgegangen werden, und dann an Hand der konkret vorgefundenen gebirgsmechanischen Situation in einer Region bzw. in einem Standort entschieden werden, inwieweit ein Kompromiss zwischen

a) möglichst großer Tiefe (für ein Endlager, das gegen äußere Einwirkungen geschützt ist) und

Kommentar [WK11]: Den Satz streichen. Denn die Schweizer haben das „am grünen Tisch“ festgelegt, ohne jeden konkreten Erfahrungshintergrund. (zumindest kenne ich dazu keine Veröffentlichung, in der 700 m bis 900 m tiefe Schächte genannt sind, die dann Endlagertauglich verschlossen worden sind) Die Schweizer leben hier vom Prinzip Hoffnung. Dieses sollten wir nicht ungeprüft übernehmen. Zudem: Was ist ein „massiver Ausbau“. Spritzbeton mit Stahlbewehrung, Ausbaubögen, Systemankerung brauchen Sie in 600 m Tiefe bereits ganz genauso!

² In der Schweiz wird derzeit für das HAW-Endlager von max. 700 m Tiefe ausgegangen. Größere Tiefen wären mit massivem Ausbau und daraus resultierend wahrscheinlich mit erheblichen Problemen für die Gewährleistung der Langzeitsicherheit verbunden. Die Entwicklung / Diskussion ist weiter zu beobachten. Die Formulierung eines Abwägungskriteriums zur "bautechnischen Machbarkeit", wie in der Schweiz eingesetzt, sollte diskutiert werden.

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06

b) möglichst geringer Tiefe (für ein Endlager, das nur einen minimalen Ausbau erfordert; der Ausbau sollte so minimal wie möglich sein, damit das Endlager wieder fluiddicht verschlossen werden kann)

möglich ist.

Bei der Kriterienanwendung sind regionsspezifische Einwirkungsszenarien zu beachten, deren etwaigen nachteiligen Auswirkungen auf den Einschluss gegebenenfalls durch **rechtzeitig abgestimmte Vorgabe** einer von der Sollanforderung "Maximale Teufe" abweichende Teufe und im Abwägungskriterium Robustheit und Sicherheitsreserven abweichende **regionsbezogene Mindesttiefe** zu begegnen ist. Ein Beispiel hierfür ist die für eine künftige Eiszeit zu besorgende Entstehung tiefer subglazialer Rinnen in (Teilgebieten) der norddeutschen Tiefebene.

Gelöscht: gegebenenfalls

Gelöscht: den Festlegungen in

Gelöscht: Mindest

- 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 zum Nebengestein. Eingangsgröße ist die bei einschließiger Lagerung benötigte Fläche.
- Der **spezifische hydraulische Gradient** über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich sollte so gering sein ($\ll 10^{-2}$), **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.**³

Kommentar [WK12]: Schönes Kriterium – aber wie weist man das im Rahmen der Erkundung nach. Das lässt sich weder bei der Teilgebietsauswahl noch durch übermäßige Erkundung bei der Auswahl der Regionen sicher feststellen. Letztlich kann es nur vage geschätzt werden. Taugt es dann als Kriterium? Wie erfolgt ein Nachweis? Die Anwendung der Kriterien muss auch gerichtsfest sein!! Es muss ja damit gerechnet werden, dass alles vor Gericht überprüft wird? Wie will das ein Gutachter nachweisen?

³ Dieses Kriterium bezieht sich auf Tonsteinvorkommen innerhalb heterogen aufgebauter Sedimentgesteinsfolgen

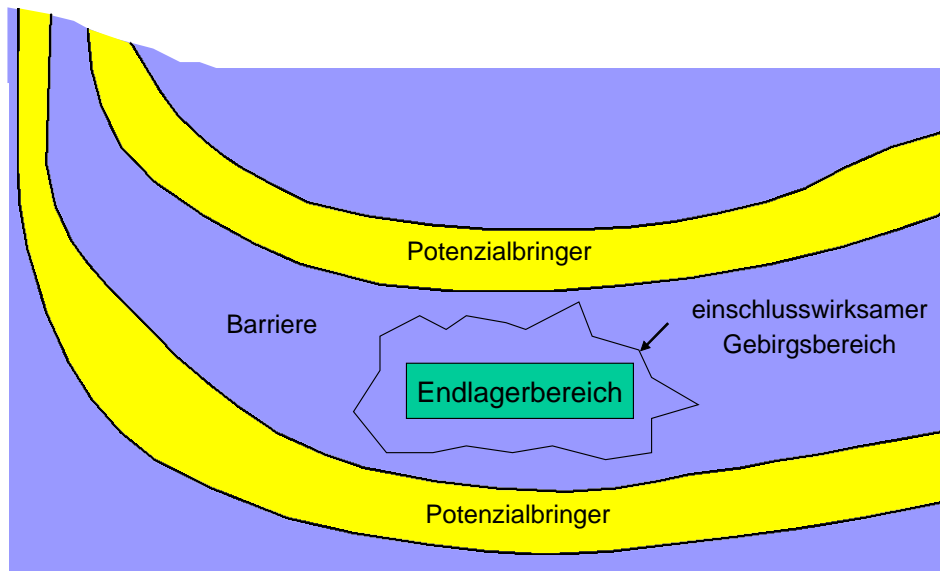


Abbildung xxx1.4.xxx3: Schematische Darstellung von Potenzialgebieten und Endlagerbereich (aus AKEND 2002)

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Barrierenwirksamkeit	Barrierenmächtigkeit [m]	> 150	100 – 150	50 -100
	Grad der Umschließung des Endlagerbereichs bzw. des Wirtsgesteinskörpers durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Vollständig (TypAa)	Unvollständig (TypBa, eventuell auch Typ Bb)	(Typ Bb)
Robustheit und Sicherheitsreserven	Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter Geländeoberfläche]	Tonstein und Salzstöcke und Salz in flacher Lagerung: Sollvorgabe	Tonstein und Salzstöcke und Salz in flacher Lagerung: Sollvorgabe	Tonstein und Salzstöcke und Salz in flacher Lagerung: Sollvorgabe

Gelöscht: > 500

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
		>500 m ↓	>500 m ↓	>500 m ↓
Volumen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit [Vielfaches des Mindestflächenbedarfs (z. B. für Salz 3 km ² und Ton 10 km ²), wobei der Mindestabstand zum seitlichen Nebengestein (Potentialbringer) 200 m betragen soll] ⁶	>> 2-fach	etwa 2-fach	<< 2-fach
Durch benachbarte Potentialbringer (Gesteinskörper mit erhöhtem hydraulischen Potenzial) induzierte Grundwasserströmung durch Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich (gilt im Wesentlichen für Tonstein)	Spezifischer hydraulischer Gradient (bei Gebirgsdurchlässigkeit 10 ⁻¹⁰ m/s und effektiver Porosität 0,1) Rechnerische Abstandsgeschwindigkeit über den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den Wirtsgesteinskörper (bei Gebirgsdurchlässigkeit 10 ⁻¹⁰ m/s und effektiver Porosität 0,1) [m/s] ⁷	<< 0,1	etwa 10 ⁻² 0,1 - 1	>> 10 ⁻³

Kommentar [WK13]: Die Sollvorgabe für die Tiefe ist in allen Wertungsgruppen absichtlich gleich gewählt. Dadurch wird es möglich auch andere Kriterien einfließen zu lassen (siehe Anf. 5). Prinzipiell gilt nach wie vor: Bei gleichen sonstigen Kriterien gilt: Je tiefer, desto besser (robuster). Die Gesamtsituation ist entscheidend.

Gelöscht: 500 - 700 m ⁴ ↑
Salzstöcke: > 800 m ⁵

Gelöscht: 300 - 500 m ↑
Tonstein: 700 - 900 m ↑
Salzstöcke: 600 - 800 m

Kommentar [WK15]: Siehe oben. Wie weist man das in den ersten 2 Phasen des Auswahlprozesses gerichtsfest nach?

Kommentar [WK14]: Was heißt „im Wesentlichen“? Das gilt doch nur für Tonstein.

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**

Gelöscht: n

⁶ Die genauen Flächenbedarfe sind noch festzulegen!

⁷ 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.

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.

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

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
	Vorhandensein von Gesteinskörpern mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung bzw. Verstärkung der Grundwasserbewegung durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können. 8	keine Grundwasserleiter als mögliche Potenzialbringer in unmittelbarer Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Grundwasserleiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden, jedoch ohne erhöhtes Potenzial	Grundwasserleiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein / einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorhanden

Kommentar [WK16]: Was ist ein „hohes Potential“ quantitativ? Was ist ein „erhöhtes Potential“ quantitativ?. Diese Frage kann doch nur bei einem relativen Vergleich zwischen 2 Standorten beantwortet werden. Damit kann aber ein einzelner Standort nicht per se eingestuft werden. Das sollte noch irgendwo aufgeschrieben werden.

8 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

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [_mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

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

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**, 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.

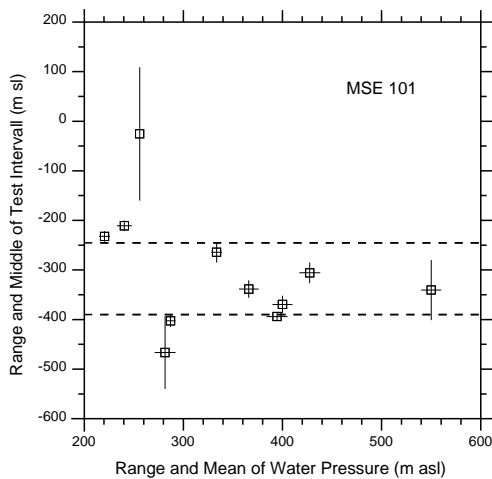
geeignet und wurde in veränderter Form beibehalten. Soweit entsprechende Informationen vorliegen sollte statt des hydraulischen Gradienten selbst die unter Verwendung der rechnerischen Abstandsgeschwindigkeit durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den Wirtsgesteinskörper (≤ 1 mm/a) benutzt werden (Satz wohl unvollständig). Das gilt auch für die hier mit Vorbehalt ersatzweise eingeführte Größe Abstandsgeschwindigkeit, die gewählt wurde, um Parametergleichheit mit dem Kriterium Grundwasserströmung herzustellen. (Herr Appel, es sollte nur der „Anschluss des ewG bzw. Wirtsgesteins an Schichten mit höherem hydraulischen Potential“ als Kriterium zum Vergleich von Regionen/ Standorten aufgeführt werden; Allen Text zur Abstandsgeschwindigkeit streichen, da dieses Kriterium in den ersten 2 Suchphasen nicht nachweisbar ist. Der Text soll damit auch entschlackt werden. Wir brauchen nicht jeden Gedankengang ausführen, sondern nur das Ergebnis des Gedankengangs, sonst verstehen das Nicht-Fachleute nicht!)

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Zugehöriges Kriterium

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



Zur Veranschaulichung des Sachverhalts die Verteilung des Wasserdrucks in Tonstein des Callovo-Oxfordiums und unter- und überlagernden (stärker wasserdurchlässigen) Gesteinen in Abhängigkeit von der Messtiefe

(Daten aus einer Bohrung am Standort Bure (ANDRA, verändert))

Kommentar [WK17]: Auch dieses Kriterium ist ja ok – aber in den ersten 2 Suchphasen liegen doch gar keine die Untersuchungsergebnisse dazu vor, um das nachzuweisen. Also komplett streichen. Die Abwägung muss gerichtsfest sein. Eine Abwägung, die sich nur auf Einschätzung und nicht auf Fakten stützt, wird meist – sinnloser Weise - um so heftiger bei Gericht beklagt und bestritten.

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

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. [\(Alternativ und nicht so substantivisch geschrieben: Um den ewG und das Wirtsgestein räumlich gut charakterisieren zu können, müssen die relevanten Gesteinstypen ermittelt werden können und ihre Eigenschaften durch Extrapolation und Interpolation auf einen größeren Bereich übertragen werden können \(Ermittelbarkeit und Übertragbarkeit\). Dies hängt maßgeblich von den ...\)](#) Beide hängen maßgeblich von den Entstehungsbedingungen der Gesteinstypen oder / und ihrer späteren Überprägung ab.

Zugehörige Kriterien

Ermittelbarkeit

- Die **charakteristischen Eigenschaften der** den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. den Wirtsgesteinskörper 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 Falten tektonik**. **Salzstrukturen** sollten möglichst großräumige Verfaltungen der Schichten [aufweisen, sofern die Schicht](#) unterschiedliche mechanischen und hydraulische Eigenschaften [besitzen](#).

Gelöscht: mit

Gelöscht: n

Gelöscht: n

Gelöscht: aufweisen

Übertragbarkeit

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

Im Hinblick auf die Einheitlichkeit der Gesteinsausbildung bestehen zwischen den verschiedenen genetischen Gesteinsgruppen (Sedimentgesteine, magmatische Gesteine und metamorphe Gesteine) deutliche Unterschiede. Zur Feststellung, inwieweit ermittelte Gesteinseigenschaften auf größere Bereiche übertragbar sind, 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 **Charakterisierung der Wertungsgruppen für Sedimentgesteine und metamorphe Gesteine auf Basis des Fazies-Begriffs vorläufig.**

Gelöscht: ihrer genaueren Bewertung

Kommentar [WK18]: Ist das nicht selbstverständlich? Und kann daher gestrichen werden.

Kommentar [WK19]: Unklar! Es wird doch nicht die Wertungsgruppe charakterisiert, sondern das Gestein

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Ermittelbarkeit der Gesteinstypen und ihrer charakteristischen Eigenschaften im einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper	Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper	gering	deutlich, aber bekannt bzw. zuverlässig erhebbar	erheblich, <u>und/oder nicht</u> zuverlässig erhebbar
	Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich / Wirtsgesteinskörper und ihrer Eigenschaften	gleichmäßig	kontinuierliche, <u>bekannte</u> räumliche Veränderungen	diskontinuierliche, <u>nicht ausreichend genau vorhersagbar</u> e räumliche Verän-

Kommentar [WK20]: Hier kann die Diskussion aufkommen, inwieweit ein Standort als „weniger günstig“ eingestuft werden kann, wenn die Eigenschaften nicht genau bekannt sind. Deshalb Text streichen und nur „nicht zuverlässig erhebbar“ belassen.

Gelöscht: nicht genau bekannt

Gelöscht: bzw.

Gelöscht: -

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
 Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
				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	intensiv gestört (engständig zerblockt, Abstand < 100 m), intensiv 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

Kommentar [WK21]: Das sollte an sich einen Ausschluss aus dem Suchverfahren bewirken

Kommentar [WK22]: Was hat das mit der Bewertungsrelevanten Eigenschaft „Übertragbarkeit“ zu tun? Hier geht es doch um die Flächenmäßige Ausdehnung? Die Zeile kann gestrichen werden, ist auch bereits beim Kriterium 2 behandelt.

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

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

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [_mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der
Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse	Veränderung der wesent- lichen sicherheitstragen- den Merkmale, insbe- sondere „Mächtigkeit“, „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	keine wesentliche Veränderung der Betracht- ungsmerk- male über einen Zeit- raum > 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betracht- ungsmerk- male über den Zeitraum von 1 bis 10 Mio. Jahre	keine wesentliche Veränderung der Betracht- ungsmerk- male über einen Zeit- raum bis 1 Mio. Jahre

Gewichtungsgruppe 2

Absicherung des Isolationsvermögens

Anforderung 5: Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen

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.

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 **geotechnischen Barrieren**, wie z. B. Streckendammbauwerken oder Schachtverschlussbauwerken, **später funktionsfähig so hergestellt werden können**, dass die Langzeitsicherheit entsprechend dem jeweiligen Stilllegungskonzept **gewährleistet ist**.

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**

Gelöscht: t

Gelöscht: die spätere Errichtbarkeit und Funktionsfähigkeit von

Gelöscht: nicht derart beeinträchtigt werden

Gelöscht: Gewährleistung der

Gelöscht: nachteilig beeinflusst

Gelöscht: wird

Gelöscht:

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Einschlusses günstige Situation charakterisieren und zur Identifizierung der entsprechenden Gebirgsverhältnisse herangezogen werden können:

Gelöscht: r Endlagerung

- **Über eine Kontursicherung hinausgehend sollte kein tragender Ausbau erforderlich** sein, um mit der Eigentragfähigkeit des Gebirges zusammenstandssichere Grubenbaue zu erhalten.
- In den geologischen Barrieren sollten durch die Auffahrung des Endlagers und den Ausbau keine die **Langzeitsicherheit beeinträchtigenden Sekundärpermeabilitäten** erzeugt werden
- Die **Funktionsfähigkeit von geotechnischen Barrieren** (z. B. Querschnittsabdichtungen) sollte durch konturnahe Gebirgsentfestigung **nicht über ein unvermeidbares Maß hinaus herabgesetzt** werden

Ausgehend von diesen Sachverhalten⁹ werden zwei Indikatoren für das Vorliegen von in diesem Sinne günstigen geomechanischen Verhältnissen formuliert, auf die die unten genannten Kriterien ausgerichtet sind:

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

Kommentar [WK23]: „sehr wenig“ bezieht sich hier auf den Vergleich zwischen Standorten

Indikator 2

Es liegt keine mechanisch bedingte Sekundärpermeabilität außerhalb einer (unvermeidbar) konturnah entfestigten Ausflockerungszone vor (EDZ – excavation

Gelöscht: Saum

⁹ Die Abwägung, die Probleme größerer Tiefe (massiver Ausbau und mögliche Folgen für Langzeitsicherheit) zugunsten größerer Einlagerungstiefe in Kauf zu nehmen, wurde vom AkEnd nicht betrachtet. Diese Abwägung muss jedoch im Rahmen der Standortsuche betrachtet werden. Bei Tonstein ist diese Abwägung ganz maßgeblich.

Gelöscht: Option

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

[damaged Zone](#)).

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 (Berechnungen) und exemplarisch belegbar (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 Endlagerhöhlräume 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 (LUX 2002a und LUX 2002b) 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

Gelöscht: Saum

Kommentar [WK24]: Ist hier wirklich „nicht detektierbar“ oder „nicht vorhanden“ gemeint. Es wird derzeit wie folgt unterschieden:
a) EDZ Excavation damaged zone = Auflockerungszone, in der die Permeabilität erhöht ist
b) EdZ Excavation disturbed zone = Zone, in der der Ausgangsspannungszustand geändert ist, aber die Permeabilität nicht geändert ist

Kommentar [WK25]: Außerhalb der EDZ gibt es keine Erhöhung der Permeabilität, deshalb zusätzlichen grundsätzlich vermeidbaren Unsicherheiten.

Kommentar [WK26]: Das ist doch zwingende Voraussetzung, sonst funktioniert doch der Integritätsnachweis und das Fluiddruckkriterium (siehe BMU2010) gar nicht. Insofern kann der Absatz davor entfallen.

Gelöscht: und nicht hinreichend quantifizierbare

Kommentar [WK27]: Eine Überschreitung der Dilatanzfestigkeit ist nicht zulässig – auch nicht moderat! Das ist auch richtig!! Siehe Abschnitt 7.2.1 von BMU-Sicherheitsanf.2010

Gelöscht: und Gebirgsauflockerung bedingt zudem eine zusätzliche Minderung der ansetzbaren hydraulischen Leistungsfähigkeit von geotechnischen Barrieren, wie Streckendämmbauwerken oder Schachtverschlussbauwerken. Eine konturnahe und vertretbare Entfestigungs-/ Auflockerungszone soll dann gegeben sein, wenn die Überschreitung der Dilatanzfestigkeit als moderat anzusehen ist und je nach Gesteinsart in unterschiedlicher Größe, grundsätzlich aber auf einige wenige Meter Stoßtiefe begrenzt bleibt.

Gelöscht: Saum

Kommentar [WK28]: Das Kriterium ist zu streichen. Denn die „Neigung zur Saumbildung“ **hängt im Wesentlichen von der Endlagerplanung und nicht vom Gebirge ab**. Das Endlager muss so geplant werden, dass es keine Sekundärpermeabilitäten außerhalb der Auflockerungszone gibt.

Kommentar [WK29]: Die Gebirgsarten müssen hier genannt werden, sonst wird der Zusammenhang in den Abbildungen allgemein verwendet und das wäre falsch.

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

kriechfähigem Materialverhalten einerseits und Gesteinen mit ausgeprägtem Kriechverhalten andererseits unterschieden (s. Abb. xxx1.4.xxx4 u. xxx1.4.xxx5).

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen des Kriteriums

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Neigung zu mechanisch bedingten Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer konturnahen entfestigten Saumzone ¹⁰	Zulässige Teufenlage in Abhängigkeit von der repräsentativen Gebirgsdruckfestigkeit, zu entnehmen dem Lagebezug der Endlagerteufe zur Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit: Abbildung xxx1.4.xxx4: Festgesteine mit nicht bzw. gering kriechfähigem Materialverhalten; Abbildung xxx1.4.xxx5: Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem Materialverhalten	Die zu bewertende Teufe liegt unterhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.	Die zu bewertende Teufe liegt mäßig (< 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.	Die zu bewertende Teufe liegt deutlich (> 10 %) oberhalb der Kurve für die maximal mögliche Teufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit.

Erläuterungen zu Abb. 1.4.xxx4 und 1.4.xxx5

Durchgezogene Linie:
Kurve für die maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit

Gestrichelte Linie:
Kurve für die gegenüber der maximal möglichen Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit um 10 % erhöhte Teufe

¹⁰ Das Kriterium steht in engem Zusammenhang mit den unter Anforderung 2 (Konfiguration / Tiefe) diskutierten Problemen, die dort und hier der Lösung harren...[Es sollte von vorne herein gefordert werden, dass ein Endlager nur im „günstigen“ Bereich erstellt werden darf und dass keine Sekundärpermeabilitäten auftreten dürfen \(außerhalb der Auflockerungszone\) Wenn man die einachsiale Druckfestigkeit \(und weitere Gebirgsparameter\) in etwa kennt, und ein realitätsnahes Stoffgesetz annimmt, das mögliches Kriechen berücksichtigt, kann man relativ schnell für ein generisches Endlager feststellen, ob eine bestimmte Tiefenlage bei einem Endlager möglich ist oder nicht.](#)

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

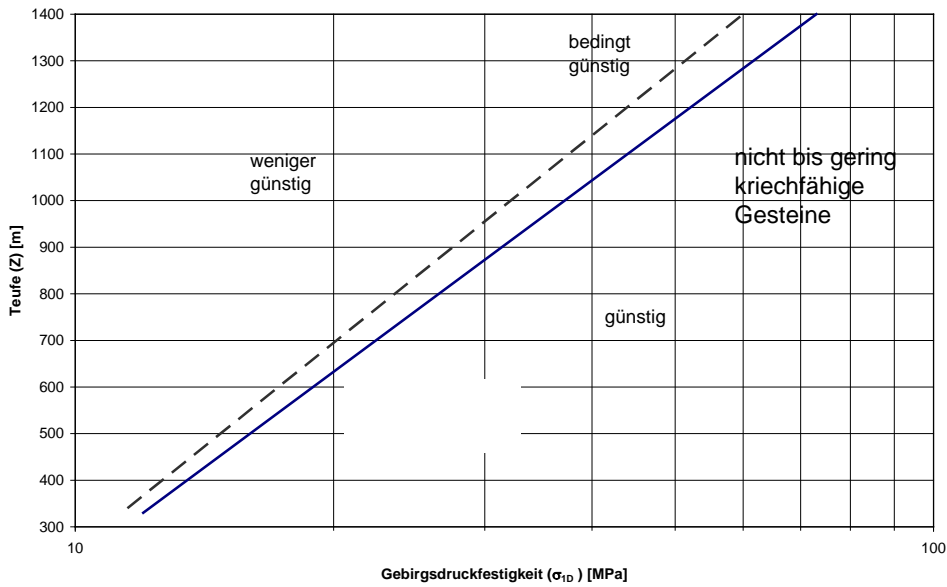


Abbildung xxx1.4.xxx4 (=AkEnd 2002: 5.1): Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit nicht bis gering kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten [aus LUX 2002a]

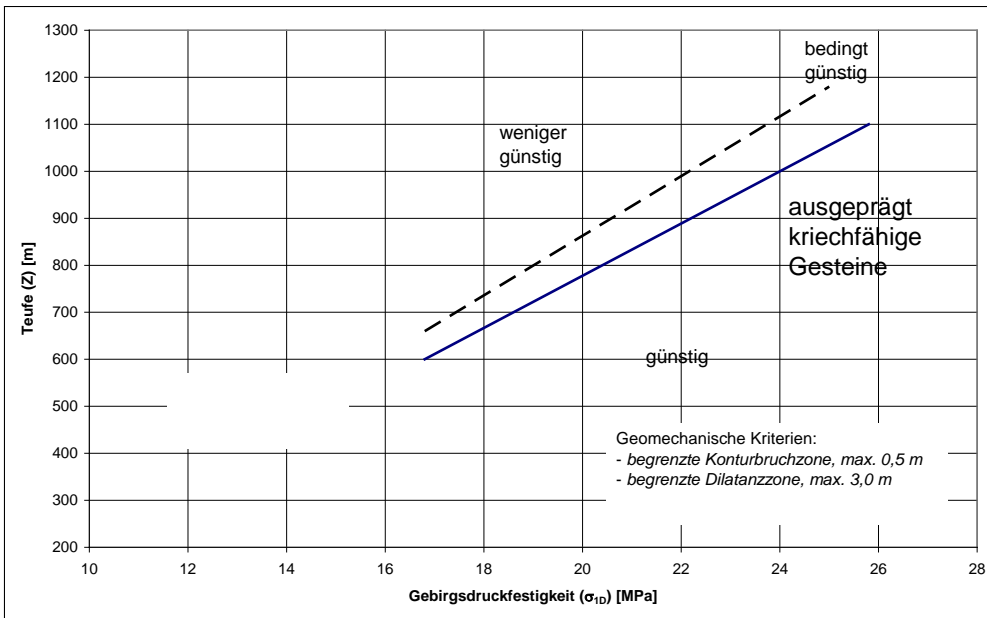


Abbildung xxx1.4.xxx5 (=AkEnd 2002: 5.2): Maximal mögliche Endlagerteufe in Abhängigkeit von der Gebirgsdruckfestigkeit für Festgesteine mit ausgeprägt kriechfähigem (duktilen) Materialverhalten [aus LUX 2002b]

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

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

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

- die Gesteine nicht hinreichend tragfähig sind, um die aufgeprägten Beanspruchungen ohne Überschreitung der Zug- sowie Dilatanz- bzw. Bruchfestigkeit aufzunehmen,

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [_mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

- 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 Gefügauflockerungen und Gefügestärkungen 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 unvergleichbar großen Sekundärpermeabilität.

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

Zugehörige Kriterien

- 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 \(weitestgehend und zukünftig\) keine Klüfte aufweisen darf.](#)

- 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 [aufweisen](#) (Bewertungsgröße: **Duktilität des Gesteins**).
- **Risse/Risssysteme im Gestein** sollten **bei Beanspruchungsinversion** (zunehmende isotrope Beanspruchung und abnehmende deviatorische Beanspruchung) **geohydraulisch wirksam verschlossen werden** (Bewertungsgröße: Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risschließung).
- **Risse/Risssysteme im Gestein** sollten **nach der Risschließung geomechanisch wirksam verheilt** sein (Bewertungsgröße: Rückbildung der mechanischen Eigenschaften **durch Rissverheilung**).

Gelöscht: Erfahrungsbereiche sind zu berücksichtigen

Kommentar [WK30]: Warum? Auch duktileres Gestein reagiert dilatant, wenn es nur schnell genug geschert wird. Die Dilatanz ist hier kein Kriterium und kann gestrichen werden.

Gelöscht: ohne Dilatanz

Gelöscht: sein

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Veränderbarkeit der vorhandenen Gebirgsdurchlässigkeit	Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit / repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit [Maß ist die Wasserdurchlässigkeit in m/s]	< 10	≤ 100	> 100
	Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen	Die Gebirgsformation / der Gesteinstyp wird unmittelbar / mittelbar anhand eines oder mehrerer der o.g. Sachverhalte als gering durchlässig bis geologisch dicht identifiziert, auch unter geogener / technogener Beanspruchung.	Die Gebirgsformation / der Gesteinstyp ist mangels Erfahrung nicht unmittelbar / mittelbar als gering durchlässig bis geologisch dicht zu charakterisieren.	Die Gebirgsformation / der Gesteinstyp wird unmittelbar / mittelbar anhand eines Erfahrungsbereichs als nicht hinreichend gering durchlässig identifiziert.
	Duktilität des Gesteins (da es keine festgelegten Grenzen gibt, ab welcher Bruchverformung ein Gestein duktil oder spröde ist, soll dieses Kriterium nur bei einem Vergleich von Standorten angewandt werden.)	Duktil / plastisch-viskos ausgeprägt	spröde-duktil bis elasto-viskoplastisch wenig ausgeprägt	spröde, linear-elastisch
Rückbildbarkeit von Rissen	Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Riss-schließung	Die Riss-schließung erfolgt aufgrund duktilen Materialverhaltens unter Ausgleich von Oberflächen- rauhigkeiten im Grundsatz	Die Riss-schließung erfolgt durch mechanische Rissweitenverringern in Verbindung mit sekundären Mechanismen, z. B.	Die Riss-schließung erfolgt nur in beschränktem Maße (z. B. bei sprödem Materialverhalten, Oberflächenrauhigkeiten,

Gelöscht:

Gelöscht: Erfahrungsbereiche

Kommentar [WK31]: Bei so einer Formulierung ist das Gebirge nicht „weniger günstig“ (das klingt viel zu positiv), sondern es ist ungeeignet. Und der Standort muss ausgeschlossen werden.

Gelöscht: s

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
 Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [_mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
		vollständig.	Quelldeformationen.	Brückenbildung).
	Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung	Rissverheilung durch geochemisch geprägte Prozesse mit erneuter Aktivierung atomarer Bindungskräfte im Rissflächenbereich		Rissverheilung nur durch <u>geogene</u> 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

Gelöscht: -

Kommentar [WK32]: Das wäre für mich ein Ausschlusskriterium

Gewichtungsgruppe 3

Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften

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](#). Im Rahmen von [Sicherheitsbetrachtungen sind auch Auswirkungen des Zweiphasenflusses auf die Radionuklidmigration und 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. [Salzlösungsangebot](#) 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.
- Der **Druckaufbau** durch die erwartete **Gasbildung der Abfälle** sollte **möglichst gering** sein.

Kommentar [WK33]: Streichen
Warum kommen jetzt hier plötzlich die schwach und mittel radioaktiven Abfälle herein? Alle davor beschriebenen Kriterien beziehen sich auf hoch radioaktive Abfälle. Dieser Bezug sollte bis zum Schluss durchgezogen werden.

Gelöscht: Gasbildung aus organischen Bestandteilen in den Abfallgebinden (**schwach- und mittelradioaktiver Abfälle**) geht in der Regel auf mikrobielle Zersetzung zurück.

Gelöscht: d

Gelöscht: bei hohen Gasbildungsraten und großen Gasmengen

Gelöscht: Die sicherheitstechnische Bedeutung des mit der Gasbildung verbundenen Druckaufbaus liegt in der Gefährdung der Integrität der Barrieren

Kommentar [WK34]: Gelöscht, da mit Migration radioaktiver Gase alles abgedeckt ist.

Gelöscht: , dilatanzgesteuerte Gasmigration sowie die

Gelöscht: L

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
 Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [_mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der

Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Gasbildung	Wasserangebot im Wirtsgestein	trocken	feucht und dicht (Gebirgsdurchlässigkeit $< 10^{-11}$ m/s)	feucht
Druckaufbau	Gebirgsdurchlässigkeit [m/s], zunächst ableitbar aus Gesteinstyp	$> 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-10}$	$< 10^{-10}$ ¹¹

Kommentar [WK35]: Die ganze Zeile streichen!! Das ist nicht vermittelbar, wenn auf der einen Seite bei der Anforderung 1 eine geringe Gebirgsdurchlässigkeit gefordert wird, und hier bei der Anforderung 7 eine hohe Gebirgsdurchlässigkeit gefordert wird. Das ist auch nicht der Öffentlichkeit vermittelbar und wird als Widerspruch wahrgenommen. Die Gasbildung muss über die Bewertungsgröße „Wasserangebot im Wirtsgestein“ gering gehalten werden. Das ist notwendig und auch hinreichend. Der Druckaufbau muss in der Szenarienanalyse berechnet, und adäquat berücksichtigt werden (z.B. eventuell durch anfangs gasdurchlässige Verschlüsse), aber der Druckaufbau darf nicht dadurch verhindert werden, dass gleich von Anfang an schon bei der Standortauswahl ein durchlässiges Gebirge gewählt wird. Das ist kontraproduktiv.

Wenn die Kriterien vor Gericht überprüft werden, wie geht ein Richter damit um? Der Richter sagt, dass hier widersprüchliche Anforderungen aufgestellt werden, und gibt dem Kläger recht (egal auf was der Kläger klagt – und zwar nur deshalb, weil die Anforderungen widersprüchlich sind). Damit ist das ganze Verfahren aushebelbar.

¹¹ Bewertungsfunktion (insbes. "weniger günstig") überprüfen! → Kann Druckabbau durch dilatanzgesteuerte Gasmigration in das Wirtsgestein (Steinsalz, Tonstein) mit geringerer Wasserdurchlässigkeit als 10^{-10} m/s im Rahmen der Standortauswahl angemessene Berücksichtigung finden (noch klären!)? [Fußnote streichen](#)

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

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 [des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches und des Wirtsgesteins](#), [Thermomechanische numerische Berechnungen unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften des Gebirges, der Versatzmaterialien und der Abfallbehälter](#), [geben Aufschluss, in welchen Bereichen um die Wärmequelle plastische Verformungen zur erwarten sind](#). [Die plastischen Verformungen dürfen nicht die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches beeinträchtigen](#). 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. 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.

Gelöscht: von Wärmequellen unterschiedlicher räumlicher Ausdehnungen

Gelöscht: Die

Gelöscht: von

Gelöscht: , wie der Zugfestigkeit

Gelöscht: ermöglicht die Angabe der Bereiche um eine Wärmequelle, in denen Brüche zu erwarten sind.

Kommentar [WK36]: Den Absatz streichen. Denn die in der Tabelle genannten Bewertungsgrößen „Ausdehnung der thermomechanisch gestörten Bereiche“ oder „Zugfestigkeit“ sind per se nicht geeignet als Anforderung an das Gestein, damit „die Bruchzone auf die unmittelbare Umgebung des Endlagers beschränkt sein soll.“

Um die genannte Anforderung zu erfüllen, braucht man ein Endlagerkonzept, ein Stoffgesetz für das Gestein, die Eingangsparameter für das Stoffgesetz. Damit werden thermomechanische Berechnungen ausgeführt und dann sieht man, wie weit die plastischen Deformationen in das Gebirge reichen.

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06

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

Gelösch: Saum

Kommentar [WK37]: Eine Neigung zu thermomechanisch gebildeten Sekundärpermeabilitäten außerhalb der Auflockerungszone darf es nicht geben und kann durch Endlagerauslegung vermieden werden.

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der Kriterien

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

Kommentar [WK38]: Woher kommen diese Zahlen? Was ist der thermomechanisch gestörte Bereich? Gehört ein Bereich, in dem die Temperatur um 3° erhöht ist, auch zum thermomechanisch gestörten Bereich? Wenn ja, dann gibt es in jedem Wirtsgestein Bereiche größer 50 m! Herr Appel, hier bitte ich um Vorlage von Berechnungen, auf die sich diese Angaben stützen. Ist damit der Bereich gemeint, in dem es zu Plastifizierungen kommt? Der Bereich ist aber nur zu beurteilen, wenn man eine Endlagervorplanung aufstellt und konkrete Berechnungen vornimmt. Er kann nicht alleine auf Grund der geologischen Verhältnisse beurteilt werden.

Ich zweifle das Kriterium überhaupt an. Was hat die geometrische Größe des thermomechanisch beanspruchten Bereiches mit der vermuteten Bildung von Sekundärpermeabilitäten zu tun.

Kommentar [WK39]: **Komplett streichen**

Wie soll denn die Zugfestigkeit des Gesteins in den Phasen 1 und 2 der Standortsuche festgestellt werden? Da kann man doch nur den Gesteinstyp feststellen und dann in Tabellenwerken nachschlagen oder aus Erfahrung die Zugfestigkeit einschätzen.

Zudem brauchen wir doch keine Festlegung eines einzelnen geomechanischen Parameters? Da könnten wir den Reibungswinkel und die Kohäsion auch gleich vorgeben.

Ob die geomechanischen Parameter in Gänze an einen konkreten Standort für ein Endlager geeignet sind, müssen geomechanische Auslegungsberechnungen erbringen. Welche Parameter hier eingehen, hängt vom verwendeten Stoffgesetz ab. Eine bestimmte Zugfestigkeit alleine zu fordern, gibt da keinen Sinn.

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Anforderung 9: Hohes Rückhaltevermögen der Gesteine gegenüber Radionukliden

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 K_d

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

herangezogen. Ein Kd-Wert von 0,001 m³/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 m³/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.

Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Wertungsgruppen der Kriterien

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

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums [Dimension]	Bewertungsgröße des Kriteriums bzw. Indikator [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
		Chlor		
	Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche	Hohe Gehalte an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche, wie Tonminerale, Fe- und Mn-Hydroxide und -Oxihydrate		

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

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 CO₂-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.

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002), Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

~~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.~~

Der gegenwärtige Kenntnisstand zum Chemismus von Tiefenwässern in Deutschland und die heterogene Verbreitung verschiedener Grundwassertypen auf engem Raum lässt derzeit¹² 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 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** vorliegen.
- Der **Gehalt an Kolloiden** im Tiefenwasser sollte **möglichst gering** sein.
- Der **Gehalt an Komplexbildnern** und die **Karbonatkonzentration** im Tiefenwasser sollten **gering** sein.

¹² Angaben aus AKEND 2002. Bedürfen der Überprüfung / Aktualisierung. [Wer macht das?](#)

D. Appel

Geowissenschaftliche Abwägungskriterien - Kurzfassung auf Basis AKEND (2002),
Entwurf vers. 2, 16.11.2015 [_mit Anmerkungen Kudla_2015_12_06](#)

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