

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3
Entscheidungskriterien sowie Kriterien
für Fehlerkorrekturen

Beratungsunterlage zu TOP 13 der 20. Sitzung am 23. März 2016

Überarbeitung zu K-Drs./AG3-91a Geowissenschaftliche Kriterien
Kap. 5.1.1.

Anforderung 1, Abwägungskriterium „Diffusionsgeschwindigkeit“

Verfasser: Dr. Detlef Appel, Datum 18.03.2016

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. /AG3-116</p>
--

K-Drs. AG3-91c, Kap. 5.1.1., Anforderung 1, Abwägungskriterium "Diffusionsgeschwindigkeit"

Überarbeitung Appel, 18.03.2016

Vorbemerkung

Zur Darstellung des Abwägungskriteriums "Diffusionsgeschwindigkeit" unter Anforderung 1 in K-Drs. 157, der Vorgängerversion zu AG3-91c, hat es mehrere kritische Kommentare gegeben. Sie können weitgehend darauf zurückgeführt werden, dass Auskopplung und Kürzung des Textes aus dem AkEnd-Bericht (2002) die Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit der AkEnd-Überlegungen beeinträchtigt haben. Die nachfolgenden **Änderungen bzw. Ergänzungen** sollen diesen Mangel beheben. Sie stützen sich teilweise auf Hinweise in K-Drs. AG3-36.

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

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

*Als Indikator für die Beurteilung von **Grundwasserströmung und Grundwasserangebot** werden die charakteristischen Gebirgsdurchlässigkeiten der ins Auge gefassten Wirtsgesteinstypen Steinsalz, Tonstein und Kristallin benutzt (AKEND 2002, S. 114ff). Da zunächst auch dazu keine*

Informationen vorliegen werden, kommt der Gesteinstyp selbst als Indikator für die Gebirgsdurchlässigkeit zum Einsatz (AKEND 2002, S. 121):

Indikator "Gesteinstyp" für Gebirgsdurchlässigkeit, Abstandsgeschwindigkeit und Grundwasserangebot

Zugehöriges Kriterium

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

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

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

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

- auf Dauer "trockenes" Gestein (AKEND 2002, S. 113)
- Temperaturverteilung im tiefen Untergrund (AKEND 2002, S. 121ff)
- teufenabhängige Zunahme der Grundwasserdichte (AKEND 2002, S. 126)

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

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

¹⁾ Wichtige diffusionsbezogene Themen der sicherheitlichen Beurteilung von Diffusion im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen (u.a. Abhängigkeit des Diffusionskoeffizienten von Ionentyp, Ionenspezies, Gesteinstyp, Temperatur und Diffusionsrichtung, Interaktion mit Sorption) werden hier nicht berücksichtigt.

Im Hinblick auf den diffusiven Stofftransport durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist sicher zu stellen, dass die Migrationszeiten von Radionukliden möglichst dem geforderten Isolationszeitraum entsprechen (AKEND 2002, S. 127ff). Daher muss die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs auf die Diffusionsgeschwindigkeit der Radionuklide abgestimmt werden: Dazu wird als Modell eine 50 m mächtige Barriere angenommen, die einseitig mit einer erhöhten Ausgangskonzentration eines idealen Tracers beaufschlagt wird. Die geforderte geringe Diffusionsgeschwindigkeit bedeutet, dass die Konzentration des Tracers bei Austritt aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich über einen Zeitraum von einer Million Jahren unterhalb von 1 % der Ausgangskonzentration verbleibt. Dies ist bei einem effektiven Diffusionskoeffizienten $< 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ der Fall (Zuweisung der Werte zu den Wertungsgruppen in Tab. 5-1).

Tabelle Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument.-1: Transport durch Grundwasser: Eigenschaften, Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren und Erfüllungsfunktionen der Kriterien

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße ^[A1] bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Grundwasserströmung	Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers [mm/a]	< 0,1	0,1 - 1	> 1
Grundwasserangebot	Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps [m/s]	< 10^{-12}	10^{-12} - 10^{-10}	
Diffusionsgeschwindigkeit	Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps bei der erwarteten Gebirgstemperatur ²⁾ im einschlusswirksamen Gebirgsbereich [m^2/s]	< 10^{-11}	10^{-11} - 10^{-10}	> 10^{-10}

Zum effektiven Diffusionskoeffizienten [A2] liegen als Maß für die Diffusionsgeschwindigkeit in konkreten Gesteinsvorkommen zu Beginn des Standortauswahlverfahrens keine ausreichenden Information vor. Da der Diffusionskoeffizient (wie auch die Gebirgsdurchlässigkeit) generell vom Porenvolumen des Gesteins abhängig ist, kann hilfsweise die absolute Porosität als Indikator für die Diffusionsgeschwindigkeit in Frage kommen.

²⁾ Vorschlag in Drs. AG3-36: Diffusionskoeffizient für titriertes Wasser bei 25°C

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

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

Zugehöriges Kriterium

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich sollte aus Gestein(en) mit geringer absoluter Porosität und hohem diagenetischen Verfestigungsgrad_[A3] bestehen.

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

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums [Dimension]	Wertungsgruppe ⁴⁾		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Diffusionsgeschwindigkeit	Absolute Porosität	< 20 %	20 % - 40 %	> 40 %
	Verfestigungsgrad	Tonstein	fester Ton	halbfester Ton

Die Abhängigkeit von Diffusionsgeschwindigkeit bzw. effektivem Diffusionskoeffizienten (auch der Gebirgsdurchlässigkeit) von der Porosität ist grundsätzlich auch bei kristallinen Gesteinen erkennbar. Quantitative Zusammenhänge zwischen den Parametern sind allerdings nicht immer deutlich, selbst wenn eine Korrelation zwischen dem effektiven Diffusionskoeffizienten und der Durchlässigkeit festgestellt wird (z.B. KUVA et al. 2014⁵⁾). Belastbare Aussagen zur Unterscheidung und Abgrenzung unterschiedlich günstiger Gesteinskörper im Hinblick auf die

³⁾ Umfassende Darstellung der Ableitung und Anwendung von Indikatoren bei: MAZUREK, M., GAUTSCHI, A., MARSCHALL, P., VIGNERON, G., LEBON, P., DELAY, J. (2008): Transferability of geoscientific information from various sources (study sites, underground rock laboratories, natural analogues) to support safety cases for radioactive waste repositories in argillaceous formations.- Physics and Chemistry of the Earth 33 (2008), S. 95-105, Elsevier Ltd.

⁴⁾ Die für die absolute Porosität festgelegten Grenzen zwischen den Wertungsgruppen sind als näherungsweise gültige Angaben zu verstehen, in strengem quantitativen Sinn treffen sie aber nicht für alle Tonsteinformationen zu.

⁵⁾ Kuva, J., Voutilainen, M., Kekäläinen, P., Siitari-Kauppi, M., Timonen, J. & Koskinen, L. (2014): Gas Phase Measurements of Porosity, Diffusion Coefficient, and Permeability in Rock Samples from Olkiluoto Bedrock, Finland.- Transp Porous Med, DOI 10.1007/s11242-014-0432-2, Springer Science+Business Media.- https://www.researchgate.net/profile/Marja_Siitari-Kauppi/publication/269420557_Gas_Phase_Measurements_of_Porosity_Diffusion_Coefficient_and_Permeability_in_Rock_Samples_from_Olkiluoto_Bedrock_Finland/links/55adee4008ae98e661a4499f.pdf?inViewer=0&pdfJsDownload=0&origin=publication_detail.

Diffusionsgeschwindigkeit sind auf Basis von Indikatoren, also ohne gezielte Erhebung der effektiven Diffusionskoeffizienten, daher nicht möglich.