

Geschäftsstelle

Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. 209j
--

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

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

Vorschlag der Kommissionsmitglieder Dr. Detlef Appel und Stefan Wenzel
zum Abwägungskriterium Temperaturverträglichkeit
für die 32. Sitzung der Kommission am 20. Juni 2016

**Vorliegende Drucksache ersetzt
die Drucksache K-Drs. 209 g.**

Anforderung 8: Gute Temperaturverträglichkeit

Die mit der Einbringung wärmeentwickelnder Abfälle in ein Endlager verbundene Temperaturerhöhung (und die daraus resultierenden Temperaturgradienten) in den die Abfallbehälter umgebenden geotechnischen Barrieren und im ewG bzw. Wirtsgestein, können komplexe und nach Art, Intensität und Reichweite positive und negative Auswirkungen haben. Dies ist von vielen Faktoren abhängig, wie z. B. vom Ausmaß des Wärmeeintrags, vom Wirtsgesteinstyp und von dessen Erscheinungsform bzw. standortspezifischer Ausprägung, vom verfolgten Sicherheits- und Lagerkonzept und von weiteren standortspezifischen Randbedingungen.

Beispielsweise verbinden sich positive Erwartungen damit, dass die Temperaturerhöhung beim Wirtsgesteinstyp Steinsalz zur Beschleunigung der Konvergenz und damit zum rascheren Einschluss der Abfälle im ewG führt. Andererseits verursachen Temperaturerhöhung im Gebirge und nachfolgende Abkühlung Gebirgsspannungen, die zur Entstehung oder Wiederbelebung von Wegsamkeiten im ewG und seiner Umgebung führen und so das Einschlussvermögen beeinträchtigen können.

Das Wirtsgestein und insbesondere der ewG sollen daher so beschaffen sein, dass temperaturbedingte Änderungen der Gesteinseigenschaften und wärmeinduzierte Gebirgsspannungen durch Expansion der Gesteine und ihrer Fluide während der anfänglichen Erwärmung nach Einlagerung und der anschließenden Abkühlung nicht zu einem Festigkeitsverlust und zur Bildung von Wasserwegsamkeiten führen können.

Im Wesentlichen ist bei der Beurteilung thermisch induzierter Veränderungen zwischen den Auswirkungen auf den gebirgsmechanischen Spannungszustand im ewG und das umgebenden Gebirge einerseits und mineralogischen Veränderungen des Wirtsgesteins andererseits zu unterscheiden¹⁾:

Prozesse, die bei erhöhter Einlagerungstemperatur auf Grund ihres Potenzials zur Ausbildung von **thermisch-induzierten Sekundärpermeabilitäten** kritisch diskutiert werden, beziehen sich auf thermomechanisch bedingte Rissbildung, auf thermisch oder radiolytisch induzierte Gasbildung und den dadurch induzierten Druckaufbau sowie auf die Migration von Lösungen/Wasserdampf („Thermomigration“) bei erhöhtem Feuchteeintrag (z.B. durch Salzgrusversatz; Lösungseinschlüsse). Bei Temperaturen größer 120°C kann im Salzgestein die Ausbildung eines temperatur- und druckbedingten Porennetzwerkes durch statische Perkolation nicht ausgeschlossen werden²⁾. Bei Tonstein und Bentonit ist die thermisch induzierte Gasbildung in der Offenhaltungsphase vor Einspannung im Gebirge zu besorgen, welche zur Desintegration des Tonsteins/Bentonits führen kann. Die Unterschreitung der Siedetemperatur gewährleistet in diesem Falle den Erhalt der Integrität des ewG während des anfänglichen Wärmeeintrags nach Einlagerung.

Eine Erhöhung der Sekundärpermeabilität kann andererseits auch durch **Mineralumwandlungen** erfolgen. Zu diesen mineralogischen Veränderungen zählen

¹⁾ s. dazu AkEnd (2002), S. 177ff

²⁾ Ghanbarzadeh et al. (2015)

insbesondere die Kristallwasserabgabe von Salzmineralen (z.B. Carnallit, Kieserit, Polyhalit) und die Illitisierung bei Ton und Betonit, die eine Beeinträchtigung des Quellvermögens bewirkt. Letzteres führt bei Endlagerkonzepten für Tonstein und Kristallin (bei Kristallin auf Grund der Bentonitbarriere) im Allgemeinen zur Begrenzung der Temperatur innerhalb der geotechnischen Barriere auf 100 °C. Die aus mineralogischer Sicht auf Grund guter Temperaturverträglichkeit für Kristallin zu erwartenden Vorteile können also in diesem Punkt nicht ausgenutzt werden.

[Da durch die Temperaturerhöhung in geotechnischen Barrieren und umgebendem Gebirge Prozesse mit unterschiedlichen negativen oder positiven Konsequenzen für die Endlagersicherheit ausgelöst, beschleunigt oder verstärkt werden können, sind Festlegungen von wirtsgesteinsspezifisch oder gar allgemein gültigen Grenztemperaturen und ihre Anwendung zur zuverlässigen Vermeidung nachteiliger Konsequenzen für die Endlagersicherheit nur bedingt geeignet. In der Praxis werden daher im Rahmen von im Verfahrensablauf standortspezifisch zu verfeinernden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen modellmäßige Betrachtungen bzw. (gekoppelte) Modellrechnungen zu Intensität und Reichweite der thermischen, mechanischen und hydraulischen Auswirkungen des Wärmeeintrags durchzuführen sein, um auf der Basis der Ergebnisse den Wärmeeintrag mit den Abfällen steuern und seine Auswirkungen beherrschen zu können³⁾.

Die von der Kommission beauftragten Gutachten unterlegen allerdings, dass sich ein niedriger Wärmeeintrag positiv auf die Gesteinseigenschaften auswirkt, kritische Prozesse gemindert werden oder nicht mehr zum Tragen kommen. Ein konservativer Ansatz bei der Festlegung einer Grenztemperatur⁴⁾ würde noch bestehenden Lücken im Prozessverständnis und der Einhaltung von Sicherheitsreserven Rechnung tragen. Eine Rückholbarkeit der Abfälle, die bei den für Salz bisher angenommen Einlagerungstemperaturen weit oberhalb der Bedingungen des konventionellen Bergbaus liegt, würde überdies deutlich erleichtert. Die Kommission empfiehlt daher aus Vorsorgegründen, eine Grenztemperatur von 100 °C nicht zu überschreiten.]

Kriterienableitung

Im Rahmen der Standortauswahl muss nachvollziehbar sicher gestellt werden, dass der ewG und das überlagernde Deckgebirge (einschließlich des Nebengebirges, soweit möglicherweise betroffen) so beschaffen sind, dass temperaturbedingte Änderungen der Gesteinseigenschaften sowie thermomechanische Gebirgsspannungen nicht zu einem Festigkeitsverlust und der Bildung von Sekundärpermeabilitäten führen. Die Ableitung der Kriterien im Rahmen des Standortauswahlverfahrens muss daher die Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihre Ausdehnung bewerten, sowie die Temperaturstabilität der Wirtsgesteins im Rahmen von Mineralumwandlungen abschätzen. Es lassen sich folgende Kriterien ableiten:

Zugehörige Kriterien

³⁾ Die Einhaltung von in bergbaulichen Verordnungen und Regeln festgelegten Sicherheitsabständen um Bergwerkshohlräume ist hiervon nicht berührt.

⁴⁾ Als Grenztemperatur wird hier die Temperatur am Kontakt Einlagerungsbehälter zu Wirtsgestein/ geotechnischer Barriere verstanden.

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

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

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße bzw. Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Temperaturstabilität des Gesteins	Temperatur , bei der es zu Mineralumwandlungen in den Gesteinen kommt [°C]	> 120	100 - 120	< 100
Thermisch-/thermo-mechanisch bedingte Sekundärpermeabilität ⁵	Ausdehnung der Eindringtiefe der thermisch-/thermo-mechanisch bedingten Sekundärpermeabilität [m]	< 10	10 - 50	> 50

Erläuterungen, die nicht in den Bericht aufgenommen werden sollen:

⁵⁾ Die in der Wertungsgruppe nach AKEND (2002) eingetragenen Zahlenwerte bedürfen einer Überprüfung und ggfs. Anpassung.

Die Indikatoren (Tabelle 5.8) wurden vom AkEnd (2002) übernommen, lediglich die Bewertungsgröße zur thermisch bedingten Sekundärpermeabilität wurde leicht angepasst, um auch den Prozess der (statischen) Perkolation mit abbilden zu können.

Zugspannungen:

Der Indikator „Zugspannungen“ entfällt, wie bereits in der letzten Kommissionssitzung beschlossen. In den Indikator zur thermo-mechanisch bedingten Sekundärpermeabilität fließt der Kennwert Zugfestigkeit indirekt mit ein, da bei einer geringen Zugfestigkeit auch eine vergrößerte Auflockerungszone zu erwarten ist.

Wärmeleitfähigkeit/Wärmekapazität :

Einen Indikator zur Wärmeleitfähigkeit/Wärmekapazität, wie mehrfach vorgeschlagen, lässt sich nicht nachvollziehbar ableiten. Eine Wertung mittels Wärmeleitfähigkeit würde nur in einem Vergleich der Wirtsgesteine per se sinnvoll sein, nicht aber in einem Abwägungsprozess im Auswahlverfahren. Es ist bereits im Vorfeld bekannt, dass reines Steinsalz mit den Werten, die bisher in der Diskussion waren (Tabelle Seite 44 in K-Drs. 209b) als „günstig“ einzustufen wäre, Tonsteine (und Bentonit) sowie Kristallingesteine, wären als „weniger günstig“ einzustufen. In die mittlere Wertung von „bedingt günstig“ kann kein Wirtsgestein eingeordnet werden.

Die Prozesskette zum Wärmeeintrag sieht u. E. wie folgt aus:

- 1.) Durch die Abfälle wird eine Wärmeleistung in das Endlager eingebracht. Dadurch entsteht ein Temperaturfeld. Die Ausprägung des Feldes ist abhängig von der
 - der Energiedichte
 - der Wärmeleitfähigkeit
 - der Wärmekapazität
 - initiales Temperaturfeld
- 2.) Das Temperaturfeld verursacht ein Spannungsfeld. Dessen Ausprägung ist abhängig von
 - thermischer Ausdehnungskoeffizient
 - mechanische Materialparameter
 - initiales Spannungsfeld
- 3.) Die Spannungen führen zu Auflockerungen und Erhöhung der Durchlässigkeit. Dies ist abhängig von
 - Dilatanzgrenze des Gesteins

Alle in den Spiegelstrichen angegebenen Größen beeinflussen den Prozess und haben Einfluss auf die Entstehung durchlässiger Bereiche. Einzelne Parameter herauszugreifen und als Kriterium für die Temperaturverträglichkeit heranzuziehen ist wenig sinnvoll. Es sein denn, es sind einzelne Parameter zu identifizieren, die maßgeblichen Einfluss haben.

Die Berechnungen der dilatanten Zone und die im Ergebnis um eine Strecke ausgewiesene Mächtigkeit des dilatanten Bereichs ist ein Maß für den Einfluss der Wärmeleistung auf die Entwicklung durchlässiger Bereiche. Darin subsummierte sind alle einfließenden Parameter.

Deshalb ist die Mächtigkeit der durch Wärmeeinbringung erzeugten dilatanten Bereiche ein geeignetes Maß für die Bewertung der Wärmeverträglichkeit (siehe thermisch-/thermo-mechanisch bedingte Sekundärpermeabilität).