

Geschäftsstelle

<p style="text-align: center;">Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. 209f</p>
--

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 des Kommissionsmitgliedes Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla
zur Anforderung 8 „Gute Temperaturverträglichkeit“
für die 31. Sitzung der Kommission am 15. Juni 2016

Anforderung 8 „Gute Temperaturverträglichkeit“ als Abwägungskriterium streichen

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla
Datum 10.06.2016

Nach ausführlichem Studium des Gutachtens „Wärmeentwicklung/Gesteins-verträglichkeit“ [1], erstellt von der Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mit Datum vom Februar 2016 und weiteren Diskussionen mit Fachkollegen **soll das Kriterium „Gute Temperaturverträglichkeit“ als wirtsgesteinsunabhängiges Abwägungskriterium komplett gestrichen werden, da es keine Indikatoren für dieses Kriterium gibt, die für alle Wirtsgesteine gleichermaßen gelten.** Dies wird nachfolgend begründet.

1. Wärmeeintrag in das Wirtsgestein und dessen Auswirkungen

Im Nahbereich um ein Wärme entwickelndes Abfallgebäude kommt es zu einer Temperaturerhöhung des Wirtsgesteins. Durch die Einlagerung vieler Abfallgebäude in Kammern oder in Bohrlöchern wird ein großer Teil des Endlagers und weit darüber hinaus (vertikal und horizontal) erwärmt. Die eingetragene Wärme soll je nach Endlagerkonzept und Wirtsgestein (!) schnell oder langsam in das anstehende Gebirge abfließen. Folgende Sachverhalte müssen trotz des Wärmeeintrages bei der Endlagerauslegung erfüllt sein:

1. Die eingetragene Wärme darf nicht zu Gebirgsspannungen führen, dass Wasserwegsamkeiten aktiviert werden bzw. es zu einer Verletzung des Dilatanzkriteriums und des Minimalspannungskriteriums im eWG kommt.
2. Es dürfen keine schädlichen Mineralumwandlungen auftreten.

Zu 1.

Durch die eingetragene Wärme und den Abfluss der Wärme in das Gebirge entstehen Temperaturgradienten. Infolge der Temperaturgradienten entstehen im Wirtsgestein Spannungen. Die entstehenden Spannungen können unter Verwendung thermomechanischer Stoffmodelle im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen berechnet werden. Ein Endlager ist so zu planen, dass es durch die eingetragene Wärme nicht zu Temperaturspannungen kommt, die zu einer Verletzung des Dilatanzkriteriums und des Minimalspannungskriteriums (= Fluiddruckkriterium) im einschlusswirksamen Gebirgsbereich führen. Dadurch wird sichergestellt, dass keine Wasserwegsamkeiten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (eWG) entstehen und damit das Einschlussvermögen des eWG nicht beeinträchtigt wird. Die Forderung, dass das Dilatanzkriterium und das Fluiddruckkriterium im einschlusswirksamen Gebirgsbereich nicht verletzt werden darf, gilt immer und ist im Rahmen der Sicherheitsuntersuchungen nachzuweisen.

Zu 2.

Des Weiteren dürfen Temperaturerhöhungen nicht Mineralumwandlungen hervorrufen, die zu einer Veränderung von sicherheitsrelevanten Gebirgseigenschaften und damit zur Beeinträchtigung der Barrierewirksamkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches führen. Sofern die Wärmeentwicklung soweit reicht, gilt dies auch für die geotechnischen Barrieren in jedem Wirtsgestein, sofern sie einen hohen Anteil an Tonmineralen (Bentonit) enthalten. Ob diese Frage bei geotechnischen Barrieren relevant ist, ist eine Frage der Endlagerauslegung (d.h. des zugrunde liegenden Endlagerkonzeptes) und nicht eine Frage des Standortes bzw. der Standortauswahl.

Die Auswirkungen von Mineralumwandlungen müssen auch bei allen Endlagerkonzepten berücksichtigt werden, bei denen ein barrierewirksamer Bentonitbuffer zwischen Abfallgebäude und Wirtsgestein eingebaut wird. Siehe dazu z.B. [1] S.77. Dies hat erst einmal nichts mit der Standortauswahl zu tun.

2. Zur Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität

Für alle Wirtsgesteine und für alle Endlagerkonzepte gilt, dass eine Temperaturerhöhung (bei gleicher Geometrie des Endlagers) umso geringer ist, je höher die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität des Wirtsgesteins sind. Ein schneller Abfluss der Wärme ist jedoch nicht in allen Wirtsgesteinen erwünscht. Salz hat eine hohe Wärmeleitfähigkeit (etwa 6 W/mK bei 0°C und etwa 2 W/mK bei 200°C) [1]. Tonstein hat eine wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeit (Unterkreidetone etwa 1,6 bis 2,5 W/mK parallel der Schichtung und etwa 1,4 bis 1,5 W/mK senkrecht zur Schicht) [1]. Dabei gilt:

- a) Im Salz ist eine hohe Wärmeleitfähigkeit günstig, da dann die Wärme schnell abfließt und damit das Endlager nur eine geringe Fläche benötigt.
- b) Im Tonstein wird auf Grund der geringeren Wärmeleitfähigkeit eine größere Endlagerfläche benötigt. Eine höhere Temperatur (bis ca. 150°C; darüber liegen nicht ausreichend wissenschaftliche Daten vor) über längere Zeit an der Außenfläche des Behälters ist aber im Tonstein durchaus günstig, da dadurch Bakterien abgetötet werden, bzw. das Bakterienwachstum verringert wird (siehe [1] Seite 86-90). Die niedrigere Wärmeleitfähigkeit im Tonstein bewirkt, dass die Temperatur am Behälter länger relativ hoch bleibt.

Die höhere Wärmeleitfähigkeit ist also im Salz günstig (da kleinere Endlagerfläche benötigt wird) und die niedrigere Wärmeleitfähigkeit im Tonstein günstig, da die Temperatur über längere Zeit am Behälter hoch bleibt.

Im Salz spielen Bakterien an den Behältern bei Temperaturen über 110°C keine Rolle, da im Salz Bakterien kein günstiges Milieu vorfinden und gleichzeitig der Wassergehalt des Salzes wesentlich niedriger ist als der des Tonsteins (siehe [1] Seite 2).

Für Kristallingestein (Wärmeleitfähigkeit etwa 1,5 – 3,4 W/mK, [1] Seite 119) ist hinsichtlich des Wärmeabflusses immer das Zusammenspiel des Kristallingesteins mit dem mehrere Dezimeter dicken Bentonitbuffer (Wärmeleitfähigkeit etwa 1,0 – 1,3 W/mK) zu beachten. Der Wärmeabfluss ist also letztlich von der Endlagerauslegung abhängig.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass eine hohe Wärmeleitfähigkeit nicht unbedingt per se positiv ist. Ob sie positiv sich auswirkt, hängt vom Endlagerkonzept und vom Wirtsgestein ab. Deswegen ist Wärmeleitfähigkeit kein geeigneter Indikator für das Kriterium „Gute Temperaturverträglichkeit“, wenn dieses Kriterium wirtsgesteinsunabhängig sein soll.

Würde man eine hohe Wärmeleitfähigkeit fordern, würde dies letztlich auf eine Wirtsgesteinspriorisierung hinauslaufen. Denn es ist seit Jahrzehnten bekannt, dass Salz die höchste Wärmeleitfähigkeit hat, und Tonstein und Kristallingestein wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeiten (siehe dazu auch das Abb. 3.1 Seite 20 in [1]). Letztlich würde nur ein Vergleich zwischen Wirtsgesteinen vorgenommen werden, aber nicht ein Vergleich zwischen Standorten in unterschiedlichen Wirtsgesteinen.

Für einen Vergleich zwischen Standorten im gleichen Wirtsgestein (z.B. Vergleich Standort „Tonstein 1“ mit „Tonstein 2“) ist aber die unterschiedliche Leitfähigkeit kein entscheidungsrelevanter Parameter, da sich die Wärmeleitfähigkeit am Standort „Tonstein 1“ nur sehr gering bis gar nicht von der Wärmeleitfähigkeit am Standort „Tonstein 2“ unterscheiden wird.

Ähnliche Ausführungen gelten sinngemäß auch für die spezifische Wärmekapazität. Der Kürze halber wird darauf verzichtet.

3. Zu Mineralumwandlungen

Der Wärmeeintrag darf nicht zu die Barriereigenschaften schädigenden Mineralumwandlungen führen.

In **Steinsalz** (und Anhydrit) sind auch bei Temperaturen über 100°C keine Mineralumwandlungen bekannt „*und bei reinen Thermometamorphosen ohne zusätzliche Beteiligung einer Lösungsphase auch nicht zu erwarten*“ (siehe [1] Seite 58).

Im **Tonstein** kann z.B. eine Maximaltemperatur von 150°C an der Außenfläche des Behälters zugrunde gelegt werden. Örtlich ist der Bereich auf etwa 1 m bis 2 m um den Behälter beschränkt. Der Zeitraum, in dem diese Temperatur erreicht wird, beträgt nur etwa 600 bis 800 Jahre. „*In diesem Zeitraum sind keine nennenswerten Illitierungen, thermomechanischen Sulfatreduktionen und Kerogenumwandlungen zu erwarten. Die Auswirkungen der Zementierung durch Silica- und Illitneubildung auf die Barrierewirkung des Wirtsgesteins bei Temperaturen von bis zu 150°C kann als vernachlässigbar gering beurteilt werden. Die als positiv zu bewertende Smektitisierung von Illiten ist in dieser Zeit zwar möglich, findet aber nur in unbedeutendem Ausmaß statt.*“ (siehe Zusammenfassung in [1] Seite 3). Eine Mineralumwandlung ist damit auch für Tonstein unter den Endlagerbedingungen (150°C auf etwa 600-800 Jahre) nicht relevant. Es sei hier ausdrücklich noch auf die Tabelle 1.1 auf Seite 5 in [1] hingewiesen, in der die Temperatureffekte bei Tonstein zusammenfassend bewertet sind.

Bei **Kristallingestein** ist die Erwärmung des Wirtsgesteins in der Regel gering, da dieses eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Tonstein hat und zusätzlich um die Abfallbehälter ein mehrere Dezimeter dicker Bentonitbuffer vorhanden ist, der wiederum eine geringere Wärmeleitfähigkeit als das Kristallingestein hat. Eine Mineralumwandlung im Wirtsgestein ist nicht zu erwarten. Für den Bentonitbuffer gelten die gleichen Ausführungen wie oben. Der Bentonitbuffer ist wieder konzeptspezifisch und nicht standortspezifisch. Insofern ist er für die Entwicklung einer standortspezifischen Anforderung und der Ableitung eines Indikators zur Prüfung dieser Anforderung nicht geeignet.

Fazit: Die Aufstellung eines Indikators hinsichtlich Mineralumwandlungen, mit dem die Eignung von Standorten wirtsgesteinsunabhängig beurteilt werden kann, ist nicht möglich und auch nicht notwendig.

4. Zur Maximaltemperatur

Es wurde unter anderem vorgeschlagen, die Maximaltemperatur an der Außenseite des Abfallbehälters generell in allen Wirtsgesteinen auf 100° zu begrenzen. Diese Festlegung ist nicht sinnvoll, da auf diese Weise die positiven Eigenschaften von bestimmten Wirtsgesteinen (z.B. Salz) nicht vollständig ausgenutzt werden können und bei Tonstein das Bakterienwachstum nicht begrenzt wird. Die Frage der Festlegung einer Maximaltemperatur an der Außenseite des Behälters muss im Rahmen der Endlagerkonzepterstellung festgelegt werden. Die zulässige Außentemperatur an der Außenseite des Behälters ist vom Wirtsgestein an der Außenseite des Behälters bzw. Buffer an der Außenseite des Behälters abhängig. Sie ist also eine Frage des Wirtsgesteines bzw. des Buffers. Sie taugt nur zu einem Wirtsgesteinsvergleich. Sie ist nicht eine Frage, die für einen Standortvergleich taugt.

Die tatsächlich sich einstellende Außentemperatur an einem Abfallbehälter ist dagegen von der Endlagerauslegung (insbesondere vom Abstand der Behälter) abhängig.

5. Maximaltemperatur und Rückholung

Die Festlegung einer Maximaltemperatur an der Außenseite des Behälters ist auch nicht notwendig, damit die Behälter später rückgeholt bzw. geborgen werden können. Der Betreiber muss bei der Einreichung der Genehmigungsunterlagen für das Endlager ebenfalls ein Konzept einreichen, wie die Behälter zurückgeholt werden können (Rückholungskonzept). Im Zuge dessen muss er auch nachweisen, dass das Endlagerbergwerk im Zuge der Rückholung so bewettert werden kann, dass bergtechnische Arbeiten zur Rückholung der Abfallgebinde möglich sind. Wenn der Betreiber diesen Nachweis nicht erbringen kann (was nach heutigem Stand der Technik auch bei 200°C Außentemperatur am Behälter im eingebautem Zustand erbracht werden kann), muss er sein Endlagerkonzept ändern.

6. Bentonitbuffer als Indikator

Grundsätzlich sind Endlagerkonzepte hinsichtlich der Temperaturverträglichkeit günstiger zu bewerten, wenn sie keinen Bentonitbuffer um die Abfallgebinde benötigen. Die Frage, ob in einem Endlagerkonzept ein Bentonitbuffer um ein Abfallgebinde vorgesehen wird, ist aber eine Frage des Konzeptes bzw. des Konzeptes in Verbindung mit dem Wirtsgestein. Sie eignet sich aber nicht dazu, einen Standort als günstig oder weniger günstig zu bewerten. Sie dient eher dazu die Eignung von bestimmten Wirtsgesteinen als günstig oder weniger günstig zu bewerten.

7. Abstand zwischen temperaturempfindlichen Schichten als Indikator

Verschiedentlich wurde vorgeschlagen, den Abstand zwischen zwei Kaliflözen als Indikator für die Temperaturverträglichkeit zu verwenden. Der Abstand zwischen zwei Kaliflözen (z.B. 300 m) ist in der allgemeinen Form ebenfalls nicht geeignet, einen Standort als günstig oder weniger günstig einzustufen. Dieses Kriterium wäre auf Salz beschränkt. Allgemein müsste temperaturempfindlichen Schichten zugrunde legen. Der Abstand von temperaturempfindlichen Schichten ist aber als alleiniges Kriterium ebenfalls nicht geeignet, da hier immer die Konstellation der Schichten, die Art der Schichten, die berechnete Temperatur bei den Schichten in Betracht gezogen werden muss. Im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen muss natürlich die Temperaturerhöhung im Bereich der temperaturempfindlichen Schichten berechnet und bewertet werden.

8. Die Zugfestigkeit als Indikator

Der Parameter „Zugfestigkeit“ (siehe im AK-End-Bericht) ist alleine ebenfalls nicht geeignet, die Temperaturverträglichkeit zu bewerten. Der Parameter Zugfestigkeit geht als einer von vielen Parametern in die thermo-mechanischen Untersuchungen zur Berechnung der Spannungen in einem Endlagerbergwerk ein. Der Parameter kann aber nicht alleine bewertet werden.

9. Die Ausdehnung der thermo-mechanisch gestörten Zone als Indikator

Der Parameter „Ausdehnung der thermo-mechanisch gestörten Umgebung um die Einlagerungshohlräume“ (siehe AK-End Bericht) ist ebenfalls nicht geeignet für die Beurteilung der Temperaturverträglichkeit. Denn was heißt „thermo-mechanisch gestört“? Eine Temperaturerhöhung in einem großen Bereich im eWG ist unschädlich, unabhängig wie groß dieser Bereich ist, solange die oben genannten Kriterien (Dilatanzkriterium und Minimalspannungskriterium) im eWG eingehalten sind.

10. Fazit

Ein Abwägungskriterium „Gute Temperaturverträglichkeit“ als wirtgesteinsunabhängiges Abwägungskriterium soll nicht in den Endbericht aufgenommen werden, da es keine Indikatoren für dieses Kriterium gibt, die für alle Wirtsgesteine gleichermaßen gelten und eine Bewertung von Standorten erlauben.

Die Temperaturverträglichkeit – genauer: die Auswirkungen der erhöhten Temperatur durch die Wärme entwickelnden Abfälle auf das Wirtsgestein und die geotechnischen Verschlussbauwerke (Versatz, Schacht- und Streckenverschlüsse) – muss bzw. müssen im Rahmen von Sicherheitsuntersuchungen ermittelt und bewertet werden. Die Auswirkungen der Temperaturerhöhungen sind wesentliche Bewertungsgrundlage für das Endlager. Bereits in K.-Drs. 211b zu den Sicherheitsuntersuchungen ist deshalb in der Liste der Sicherheitsuntersuchungen unter Nr. 15 und 16 aufgeführt:

- „15. *Untersuchungen zur Veränderung der geochemischen und katalytischen Bedingungen auf Grund der Temperaturerhöhung im Einlagerungsbereich*
16. *Untersuchungen zur Temperaturerhöhung und darauf aufbauend zur Änderung der geochemischen Verhältnisse im Grundwasserleiter des Deckgebirges“*