Nationales Begleitgremium
FÜR EIN FAIRES VERFAHREN

Unterlage TOP 2 / 68. Sitzung des NBG

Datum: 10.11.2022

Sitzungsunterlage
Thema: Grenztemperatur

Eingebracht von: Fachgruppen Geologie und Grundlagendaten und Sicherheit und Strahlenschutz

Hintergrund

In der 68. Sitzung des Nationalen Begleitgremiums (NBG) wird ein Austausch zwischen der Vorsitzenden der Entsorgungskommission (ESK) und dem Gremium stattfinden. Prof. Dr. Barbara Reichert, die ESK-Vorsitzende, kommt damit der Einladung des NBG zu einem Austausch über die von der ESK im Mai 2022 veröffentlichte Stellungnahme zum 100 Grad Celsius Kriterium in § 27 (4) des Standortauswahlgesetzes nach.

Die Fachgruppen Geologie und Grundlagendaten und Sicherheit und Strahlenschutz hatten sich bereits in einer gemeinsamen Sitzung im August diesen Jahres mit dem Thema Grenztemperatur befasst, daraus ist die folgende Zusammenstellung rund um Thema Grenztemperatur entstanden.

Historische Einordnung

Das Thema der Grenztemperatur war bereits im der Entsorgungskommission ein strittiges Thema. Es wurde dort in der AG 3: Gesellschaftliche und technisch-wissenschaftliche Entscheidungskriterien sowie Kriterien für Fehlerkorrekturen vorbereitet. Dazu wurden auch eine Literaturstudie durch die Bundesgesellschaft für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), sowie ein Gutachten durch die Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) erstellt (K-MAT 55 und K-MAT 64) . Unter den Mitgliedern gab es vielfältige Diskussion um die Frage der Grenztemperatur (s. K-Drs.209j,209g, 209f, 209e). Am Ende wurde dieses als eines von drei strittigen Themen in einer Kleingruppe diskutiert und ein Kompromiss erzielt, dennoch gab es dazu mehrere Sondervoten (vgl. Abschlussbericht der Endlagerkommission).

Im Rahmen des Gesetzgebungsverfahrens fand auch eine Anhörung mehrerer Experten*innen im Umweltausschuss statt. Zwei der Experten*innen rieten dort zu einer Streichung des § 27 Abs. 4 (vgl. Ausschussdrucksache 18(16)526-L und Ausschussdrucksache 18(16)526-H)

Gesetzestext

Das Standortauswahlgesetz (StandAG) schreibt in § 27 Absatz 4 Folgendes zur Grenztemperatur vor:
„Solange die maximalen physikalisch möglichen Temperaturen in den jeweiligen Wirtsgesteinen aufgrund ausstehender Forschungsarbeiten noch nicht festgelegt worden sind, wird aus Vorsorgegründen von einer Grenztemperatur von 100 Grad Celsius an der Außenfläche der Behälter ausgegangen“.

Bedeutung der Grenztemperatur für das Standortauswahlverfahren

Die Festlegung einer Grenztemperatur kann u.a. Auswirkungen haben auf:

- Prozesse im umgebenden Gestein (sowohl in positiver als auch negativer Form)
- die Materialeigenschaften des Behälters
- die Größe des Einlagerungsbereichs
- die Kosten des Endlagerbauwerks und dessen Betrieb
- den Aufwand einer etwaigen Rückholung bzw. Bergung
- den benötigten Zeitraum für die Zwischenlagerung

Sie ist dadurch ein zentraler Aspekt bei der Optimierung des Endlagersystems. Diese ist Bestandteil der Bewertung der Sicherheit des Endlagers im Rahmen der Sicherheitsuntersuchungen (vgl. § 12 EndlSiAnfV).

Einflussfaktoren auf die Temperatur an der Außenfläche eines Behälters

Es gibt drei wesentliche Einflussfaktoren auf die Temperatur an der Außenfläche eines eingelagerten Behälters:

- die Entwicklung der Wärmeleistung des Inhalts des Behälters
- die Auslegung des Bergwerks und die räumliche Anordnung der Behälter zueinander
- Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität des den Behälter umgebenden Materials (Versatz bzw. Buffer und Wirtsgestein)

Bedeutung von veränderten Temperaturen für die drei Wirtsgesteine

Steinsalz besitzt eine hohe Wärmeleitfähigkeit und hohe spezifische Wärmekapazität und kann daher die durch hoch radioaktive Abfälle erzeugte Wärme gut aufnehmen und verteilen. Zugleich können mit der Wärmeentwicklung durch die Einlagerung hoch radioaktiver Abfälle temperaturabhängige Prozesse verbunden sein, von denen folgende besondere Sicherheitsrelevanz besitzen:

Mit der Temperaturerhöhung setzt eine Volumenzunahme des Salzgebirges (thermische Expansion) ein. Hierdurch werden die Spannungszustände im Salzgebirge selbst wie auch im Neben- und Deckgebirge gerade in den ersten Jahrhunderten nach Verschluss des Endlagers verändert. Dies kann zu einer Erhöhung des Fluiddrucks im Gestein und einer möglichen Gefährdung der Barriereintegrität führen.

Die plastische Verformung (Salzkriechen) wird ab Temperaturen von ≥ 50-100 °C, verstärkt ab 70 °C beobachtet. Sie führt zu einer Verringerung bzw. Schließung von Hohlräumen im Wirtsgestein und zur Kompaktion des als Versatzmaterial verwendeten Salzgrus, was sich auf den sicheren Einschluss der Abfälle prinzipiell positiv auswirkt.

Im Wirtsgestein vorhandene Hydratsalze zersetzen sich bzw. schmelzen ab einer vom Mineral und Druck abhängigen Temperatur und geben dadurch Kristallwasser frei. Dies geschieht bei den jeweiligen Hydratsalzen bei sehr unterschiedlichen Temperaturen: Carnallit gibt durch reine Dehydratation bereits ab 80 °C, durch Schmelzen ab 153-167 °C, Bischofit ab 155-220 °C, Polyhalit ab 230 °C, Kieserit ab 335 °C Wasser ab. Die vor allem im Dachbereich von Salzstöcken vorkommenden Minerale Gips und Kainit setzen ab 120 °C bzw. 150 °C Wasser frei. Durch diese Prozesse können Radionuklide transportiert und durch Lösung von Steinsalz weitere Wegsamkeiten für Fluide im Wirtsgestein geschaffen werden.

Durch den Prozess der Perkolation (Migration von Lösungen in Steinsalz) kann sich die Durchlässigkeit (Permeabilität) und der Fluiddruck im Wirtsgestein erhöhen. In einigen Untersuchungen wurde generell eine Erhöhung der Permeabilität mit zunehmenden Temperaturen ab ≥ 150 °C durch Perkolation festgestellt. Andere Untersuchungen können diesen Prozess nicht nachweisen und sehen lokale mechanische Schädigungen oder lokal auftretende erhöhte Fluiddrücke als Ursache für eine höhere Permeabilität in Steinsalz.

In **Tongestein** mit seiner niedrigen Wärmeleitfähigkeit sind folgende temperaturabhängige Prozesse für die Sicherheitsrelevanz wichtig:

Mit einer Temperaturerhöhung werden in Tongestein vielfältige Zersetzungs- und Umwandlungsprozesse beobachtet: In verschiedenen Temperaturfenstern (ab 50-60 °C, bei 150-190 °C und < 240-270 °C) findet eine Umwandlung des Tonminerals Smektit in das Tonmineral Illit statt. Durch Umwandlungsprozesse von Tonmineralen kann im Bereich von 60-150 °C kann auch Quarz neu gebildet werden. Gase wie CO_2 und H_2S können sich z.B. durch die Zersetzung von Karbonatmineralen ab 50 °C, durch Umwandlung des Minerals Pyrit (ab 150 ° C) oder der organischen Gehalte im Tongestein (ab 150 °C, bei hohen Gehalten ab 80 °C) bilden. Alle diese Prozesse wirken sich ungünstig auf die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtsgesteins aus: Quellvermögen, plastische Eigenschaften des Tongesteins und seine Fähigkeit, Radionuklide zu binden (Sorptionsfähigkeit) nehmen ab. Durch Gasbildung kann der Fluiddruck erhöht werden und die Endlagerbehälter können einer frühzeitigen Korrosion unterliegen.

Die Temperaturerhöhung führt in Tongestein zunächst zu einer Erhöhung des Volumens (Expansion). Ab dem Überschreiten der einer bestimmten Übergangstemperatur, die u.a. von der Festigkeit des Tongesteins abhängt, schlägt der Prozess in eine Volumenabnahme (Kontraktion) um, die sich nicht zurückbildet, wenn die Temperatur wieder abnimmt. Im Detail ist das Ausdehnungsverhalten von Tongestein nur bis zu Temperaturen von ≤ 150 °C untersucht.

Kristallingesteine sind aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte generell unempfindlich gegenüber Temperaturerhöhungen. In diesem Wirtsgestein sind daher insbesondere Prozesse zu beachten, die durch Temperaturerhöhungen in vorhandenen Klüften und anderen Trennflächen im Gestein wirken. Die bisherigen Endlagerkonzepte mit kristallinem Wirtsgestein sehen vor, als Versatzmaterial bzw. Buffer um die Endlagerbehälter eine Mischung aus verschiedenen Tonmineralen (Bentonit) als Material zu verwenden. In diesem Buffer sind die bereits für Tongestein genannten Prozesse bei Temperaturerhöhung von Bedeutung.

Auch durch die Aktivität von Mikroorganismen im Wirtsgestein oder Buffer können die Endlagerbehälter einer frühzeitigen Korrosion unterliegen und durch Gasbildung der Fluiddruck erhöht werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist die mikrobielle Aktivität auf Temperaturen von ≤ 122 °C begrenzt.

Temperaturerhöhungen können damit insbesondere in Salzgesteinen und Tonen als Wirtsgestein oder Buffermaterial vielfältige und komplexe Prozesse auslösen. Diese beeinflussen die sicherheitsrelevanten Eigenschaften überwiegend negativ, können sich in einigen Fällen (z.B. Salzkriechen, Unterbinden der mikrobiellen Aktivität) aber auch positiv auswirken. Negativ und positiv wirkende Prozesse treten zudem bei unterschiedlich hohen Temperaturen und teilweise in breiten Temperaturbereichen auf.

Offene Fragen

Aus der Beschäftigung mit dem Thema Grenztemperatur wurden in den Fachgruppen Geologie und Grundlagendaten und Sicherheit und Strahlenschutz bisher folgende offenen Fragen formuliert:

- Sind die erforderlichen Kenntnisse und Daten bereits verfügbar, um die physikalisch maximal möglichen Temperaturen an der Außenfläche Abfallgebinde zu Wirtsgestein und Buffer neu zu bewerten?
- Würde eine Aufhebung der derzeit gültigen Grenztemperatur von 100 Grad Celsius an der Außenfläche der Behälter die Endlagersuche im Steinsalz bevorzugen?
- Welcher zusätzliche Forschungsbedarf besteht für flach lagernde Steinsalze?
- Schränkt eine konzept- und standortunabhängige Vorabfestlegung einer maximalen Temperatur die Optimierung von Endlagerkonzepten ein? Wenn ja, welchen Einfluss hat diese Einschränkung auf die zu erwartende Sicherheit des Endlagers?
- Kann eine Rückholung bzw. Bergung bei höheren maximal möglichen Temperaturen tatsächlich realisiert werden? Welche Aspekte sind dabei kritisch?

Zusammenfassung des Inhalts des ESK Papiers

Die ESK plädiert in ihrer Stellungnahme für ein Abweichen von einer einheitlichen Grenztemperatur von 100 °C. Die drei Hauptargumente dafür sind:

- Das Vorsorgeprinzip rechtfertigt keine Festlegung einer einheitlichen Grenztemperatur für alle drei Wirtsgesteine
- Der Stand von Forschung und Entwicklung ist ausreichend, um die sicherheitsrelevanten Auswirkungen des Wärmeeintrags in ein Endlager zu bewerten, ggf. sind konzept-, wirtsgesteins- und standortspezifisch weitere Arbeiten nötig
- Die Temperatur sollte ein Auslegungsparameter der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen sein, so wird auch das Risiko umgangen, dass Untersuchungsräume allein aufgrund des 100 °C Kriteriums frühzeitig aus dem Verfahren ausscheiden, obwohl deren sonstige Eigenschaften für einen Verbleib im Verfahren sprechen.