

Vorgehensweise zur Beherrschung von Gasen in einem Endlager im Salzgestein

N. Müller-Hoeppe

DBE TECHNOLOGY GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine

Zusammenfassung

Der Einfluss der Gasbildung auf die Endlagersicherheit wird immer wieder diskutiert. Dies gilt insbesondere, wenn das Wirtsgestein sehr dicht ist, wie z.B. Salzgestein. Ungeachtet einer Vielzahl phänomenologischer und sicherheitsanalytischer Untersuchungen wurden systematische Ansätze zur Beherrschung von Gasen im Endlager bisher nicht entwickelt. In diesem Beitrag wird eine systematische Vorgehensweise beschrieben, die ingenieurtechnisch angewendet wird, um unerwünschte Einwirkungen zu beherrschen. Am Beispiel Gasbildung in Folge Metallkorrosion und mikrobieller Zersetzung werden Optionen bzw. eine Kombination von Optionen zur Beherrschung von Gasen für ein Endlager im Salzgestein aufgezeigt.

Einleitung

Gase bzw. Gasbildung führen in einem Endlager im Salzgestein ggf. zu ungünstigen Einwirkungen auf die einschlusswirksamen, natürlichen und technischen Barrieren wie Hauptsalz, Schacht- und Streckenverschlüsse in Form erhöhter Gasdrücke. Dieser Sachverhalt wird insbesondere diskutiert, wenn die Verschlussbauwerke die an sich gewünschte hohe Dichtigkeit aufweisen und die geologische Barriere intakt und ebenfalls dicht ist. Bei höher permeablen Barrieren kann die Einwirkung Gasdruck i.d.R. vernachlässigt werden. Im Falle dichter Barrieren ist zu prüfen, ob und inwieweit erhöhte Gasdrücke auftreten können, da dichte geologische und geotechnische Barrieren zwangsläufig zu einer Begrenzung des für die Gasbildung notwendigen Feuchtigkeitsangebotes führen. Im Salinar selbst ist nur ein geringes Feuchtigkeitsangebot vorhanden. Ggf. ist Vorsorge zu treffen, dass die erhöhten Gasdrücke nicht zu einer Schädigung der dichten geologischen und geotechnischen Barrieren führen.

Vorkommen und Bildung von Gasen im Endlager im Salzgestein

Im Hinblick auf Gase im Endlager ist zu berücksichtigen, dass im ungestörten Salzgestein natürliche Gasvorkommen vorhanden sind. Diese Gase können grundsätzlich durch eine auffahrungsbedingte Druckentlastung mobilisiert werden. Diese auffahrungsbedingte Gasfreisetzung ist bergbaubedingt und erfolgt vor Einlagerung radioaktiver Abfälle. Die Beherrschung dieser Art von Gasfreisetzung ist Stand der

Technik im Bergbau, für die Nachbetriebsphase eines Endlagers ist sie ohne Bedeutung. Es besteht durch die Erkundung die Möglichkeit, natürliche Gasvorkommen größeren Ausmaßes zu umgehen. Weiterhin kann die spätere Mobilisierung natürlicher Gase durch die thermische Einwirkung von wärmeentwickelnden, radioaktiven Abfällen erfolgen. Die Freisetzung von natürlichen Gasen durch das Einbringen von Wärme in das Salinar wurde z.B. im Rahmen des Demonstrationsversuchs zur thermischen Simulation der Streckenlagerung (TSS) festgestellt /1/. Eine detaillierte Quantifizierung erfolgte nicht. Auch wurde das Verdampfen kleiner Mengen freier Salzfeuchte bei hohen Temperaturen festgestellt. Sie kondensiert jedoch in Bereichen geringerer Temperatur wieder und führt deshalb nicht zum Druckaufbau an sicherheitstechnisch relevanten Barrieren. In diesem Beitrag wird daher auf die natürlich im Salinar vorkommenden Gase nicht weiter eingegangen.

Des Weiteren ist eine Gruppe von Gasen zu betrachten, die durch die Einlagerung von Behältern mit radioaktiven Abfällen erst entstehen. In /2/ sind folgende Gasbildungsmechanismen aufgeführt:

- Radiolyse
- Metallkorrosion
- Mikrobielle Zersetzung
- Sonstige

Bei der Radiolyse wird die innere und die äußere Radiolyse unterschieden. Die innere Radiolyse findet im Abfallgebilde selbst statt. Sie ist bei schwach und mittelaktiven Abfällen durch die geringe Aktivität begrenzt und vernachlässigbar. Bei hochaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen ist die innere Radiolyse durch die geringe Menge an Material im Behälter begrenzt, das durch Radiolyse aufgespalten werden kann. Dies gilt, solange keine Feuchtigkeit in das Abfallgebilde Zutritt. Die äußere Radiolyse kann bei schwach- und mittelaktiven Abfällen ebenfalls vernachlässigt werden. Bei hochaktiven Abfällen und ausgedienten Brennelementen ist die Radiolysegasbildung abhängig von der Abschirmung und vom vorhandenen Wasserangebot. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Zusammenhang mit Radiolyse auch gebundenes Wasser zu berücksichtigen ist. Dies betrifft im Salinar das in der Salzstruktur gebundene Kristallwasser. Die Menge an Radiolysegas wird jedoch im Vergleich zu den anderen o.g. Gasbildungsmechanismen als gering eingestuft und in diesem Beitrag nicht gesondert betrachtet.

Als relevante Gasbildungsmechanismen werden Metallkorrosion und mikrobielle Zersetzung betrachtet. Dabei gelten folgende, einschränkende Bedingungen für die Bildung relevanter Gasmengen:

- Die Bildung relevanter Gasmengen in Folge Metallkorrosion ist nur möglich bei Vorhandensein maßgeblicher Metallmengen sowie von freier Feuchte bzw. Salzlösung
- Mikrobielle Zersetzung setzt nur ein, wenn organische Stoffe vorhanden sind sowie Mikroorganismen bzw. alternative Zersetzungsprozesse möglich sind

Die Gasbildungsprozesse Metallkorrosion und mikrobielle Zersetzung benötigen mindestens zwei unabhängige Komponenten, um zu einer Gasbildung zu führen. Fehlt eine der Komponenten oder ist sie stark limitiert, führt dieser Sachverhalt automatisch zu einer Begrenzung der Gasbildung und wirkt einen möglichen Druckaufbau an den Barrieren entgegen.

Sonstige Gasbildungsmechanismen sind in /2/ aufgeführt, werden aber hier nicht betrachtet, da sie mit Ausnahme der Hydrolyse von Aluminium als nicht relevant eingestuft werden. Aluminium kommt in größeren Mengen jedoch nur in einigen Arten schwach aktiver Abfälle vor.

Ingenieurmäßige Vorgehensweise zur Begegnung ungünstiger Einwirkungen

Wie bereits ausgeführt, stellt erhöhter Gasdruck auf der Innenseite von dichten Barrieren eine ingenieurmäßig ungünstige Einwirkung dar. In den Grundlagen des europäischen technischen Regelwerks für Baukonstruktionen /3/ sind die grundsätzlichen Maßnahmen, mit denen ungünstigen Einwirkungen - in /3/ als Gefahren bezeichnet - begegnet werden kann, wie folgt systematisiert:

- (1) Eliminieren der Gefahr am Gefahrenherd selbst
- (2) Umgehen der Gefahr durch Änderung der Absicht und/oder der Bauwerkskonzeption
- (3) Bewältigen der Gefahr durch Überwachung, Kontrollen oder Warnsysteme usw.
- (4) Überwältigen der Gefahr durch Vorhalten von Reserven
- (5) Übernehmen der Gefahr als akzeptiertes Risiko

Diese Vorgehensweise ist deshalb im Rahmen bautechnischer Nachweise akzeptiert. Sie ist sinngemäß auch auf geotechnische Barrieren anwendbar und in /4/5/ weiter konkretisiert.

Konkretisierung der ingenieurmäßigen Vorgehensweise

Konkretisiert man die o.g. abstrakt formulierte Vorgehensweise im Hinblick auf Maßnahmen zur Beherrschung der Einwirkung erhöhter Gasdrücke auf natürliche oder geotechnische Barrieren, ergeben sich folgende Optionen:

- (1) Vermeidung der Gasbildung bzw. Begrenzung der Gasbildung durch geeignete technische Maßnahmen
- (2) Entwicklung eines technischen Endlagerkonzeptes, das trotz Gasbildung nicht zu erhöhten Gasdrücken führt
- (3) Bewältigen der Gase durch Kontrollen und Warnsysteme (Option ist eingeschränkt auf die Betriebsphase des Endlagers)
- (4) Auslegen der Barrieren auf erhöhte Gasdrücke
- (5) Übernahme der Gefahr Barrierenschädigung in Folge erhöhter Gasdrücke als akzeptiertes Risiko

Wie bereits aufgeführt, ist die Option (3) auf die Betriebsphase des Endlagers beschränkt. Weiterhin bietet sich an, die Betrachtung von Option (5) zu Gunsten der Prüfung von Option (1), (2) und (4) zurückzustellen.

Zuerst sollte Option (1) geprüft werden, da ein Vermeiden ungünstiger Einwirkungen i.d.R. nicht nur die sicherste sondern auch die preiswerteste Lösung ist. Die Vermeidungsstrategie zielt im betrachteten Fall Metallkorrosion und mikrobielle oder sonstige Zersetzung von Organika darauf, jeweils eine der beiden unabhängigen Komponenten zielgerichtet zu limitieren und damit automatisch die Gasbildung gering zu halten. Die Nachweisbarkeit dieser Limitierung ist dabei zu gewährleisten.

Im Hinblick auf die Metallkorrosion ist grundsätzlich unerheblich, was begrenzt wird, die Metallmenge oder die freie Feuchte. Dabei sind in Bezug auf die Metallmenge betriebliche Sicherheitsanforderungen konkurrierend zu berücksichtigen. Deshalb ist im ersten Schritt zielführend, zu prüfen, inwieweit die Menge an freier Feuchtigkeit natürlich begrenzt ist /2/ und - falls erforderlich - welche technischen Maßnahmen die freie Feuchte reduzieren und wie zuverlässig diese Limitierung des Feuchteangebots nachweisbar ist.

In Bezug auf die mikrobielle Zersetzung organischer Stoffe ist festzustellen, dass die Zahl der Mikroorganismen im Salz sehr gering ist. Natürliche und historische Analoga zeigen die nur sehr kleinen Umsatzraten, jedoch ist die Prognostizierbarkeit über lange Zeiträume ebenso wie bei sonstigen Zersetzungsprozessen nur schwer zu belegen. Wird jedoch die Menge der organischen Stoffe begrenzt, folgt daraus automatisch eine Begrenzung der Gasmenge in Folge mikrobieller Zersetzung. Dabei sollte im ersten Schritt geprüft werden, inwieweit die Menge der Organika sinnvoll begrenzt bzw. minimiert werden kann.

Allerdings sollte eine Vermeidung bzw. Limitierung der Gasbildung nur innerhalb technisch vernünftiger Grenzen durchgeführt werden und nach diesem Schritt die Gasbildungsrate und akkumuliert die potentielle Gasmenge abgeschätzt werden. Ggf. ist die verbleibende Gasmenge so gering, dass ergänzend die Einrichtung kleiner, isolierter Gassammelräume bzw. die Nutzung natürlich vorhandener Gassammelräume in Form isolierter Anhydritschollen im Sinne der Anwendung von Option (2) die zielführende Variante ist.

Unterstellt man für diesen hier hypothetisch diskutierten Fall den erfolgreichen Nachweis der Begrenzung der Gasdrucks, wäre die Einwirkung erhöhter Gasdruck auf die dichten Barrieren vermieden und Option (4) müsste nicht mehr betrachtet werden. Diese Umgehung von Option (4) ist besonders vielversprechend, da bei Anwendung von Option (4) zu berücksichtigen ist, dass bei entsprechenden Randbedingungen analog zu Speicherkavernen Gasdrücke in der Größenordnung des petrostatischen Druckes der tiefsten Teufe angesetzt werden müssen. Die nachweisliche Beherrschung dieser hohen Gasdrücke über längere Zeiträume ist nach derzeitigem Kenntnisstand schwierig.

Ergebnis

Der Prozess Gasbildung in Folge Metallkorrosion sowie mikrobieller und sonstiger Zersetzung von Organika und seine Auswirkung wurden im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen für Endlager im Salz schon betrachtet, insbesondere für schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Es wurde dabei von der Umsetzung eines großen Anteils bzw. der vollständigen Umsetzung der Metalle und des organischen Materials ausgegangen. Das Feuchteangebot war kein limitierender Faktor. Dabei wurde nicht systematisch betrachtet, inwieweit ein großes Feuchteangebot der gestörten Endlagerentwicklung zuzuordnen ist, bei der i.d.R. eine Schädigung der einschlusswirksamen Barrieren bereits vorliegt.

Die Fragestellung, wie sich ein ungünstig erhöhter Gasdruck auf die dichten Barrieren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente systematisch vermeiden lässt, wurde bisher nicht untersucht. Orientierende Ergebnisse zur Gasbildungsrate sind in /2/ angegeben.

Vor dem Hintergrund neuer Erkenntnisse zu Permeations- bzw. Infiltrationsprozessen /6/ sollte ergänzend zur akkumulierten Gasmenge auch die Gasbildungsrate ermittelt werden. Neuere Ergebnisse sowie empirische Erfahrung zeigen, dass sehr kleine Druckaufbauraten nicht zur Schädigung dichter Barrieren führen. Diese Ergebnisse müssen jedoch weitergehend abgesichert werden.

Literatur

- /1/ Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, PTE, Thermische Simulation der Streckenlagerung – Demonstrationsversuch zur Direkten Endlagerung durchgeführt im Salzbergwerk Asse gefördert vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Informationsbroschüre, 1994
- /2/ Müller, W.: Gas Generation from Radioactive Waste Disposal in Different Host Rocks – A Comparison, Proc. Int. Conf. Radioactive Waste Disposal, DISTEC 2000, Berlin, Sept.4-6, 2000
- /3/ SIA, Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken, Dokumentation 260, N 5148-11, 1982
- /4/ DIN EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Teil 1: Deutsche Fassung EN 1990:2002, Stand Oktober 2002
- /5/ DIN EN 1997-1, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln: Deutsche Fassung EN 1997-1:2004, Stand Oktober 2005
- /6/ Lux, K.-H.: Zum langfristigen Tragverhalten von verschlossenen Solegefüllten Salzkavernen – ein neuer Ansatz zu physikalischer Modellierung und numerischer Simulation – Theoretische und laborative Grundlagen, Erdöl Erdgas Kohle 121, Heft 11, 2005