

gas

**bildung, abbau und
transport in
geologischen tiefenlagern**

nagra ● aus verantwortung

In einem verschlossenen Tiefenlager für radioaktive Abfälle entstehen Gase

Gas im Sicherheitsnachweis berücksichtigt

Die Nagra muss gemäss ENSI den Nachweis für die Langzeitsicherheit des Tiefenlagers erbringen und aufzeigen, dass das Schutzkriterium eingehalten wird: Die maximale Strahlendosis, die durch ein Tiefenlager zusätzlich für die Bevölkerung entstehen darf, liegt bei 0,1 Millisievert pro Jahr. Dies ist rund ein Fünfzigstel der durchschnittlichen Strahlenbelastung pro Jahr für eine Person in der Schweiz. Mögliche Einflüsse des Gases auf die Sicherheitsbarrieren eines Tiefenlagers müssen studiert werden. Auch Massnahmen zur Verringerung der Gasbildung und deren unerwünschte Auswirkungen sind zu evaluieren.

In einem verschlossenen Tiefenlager für radioaktive Abfälle laufen chemische Prozesse ab. Dabei entstehen Gase. Neben Kohlendioxid und Methan aus dem Abbau organischer Abfälle ist es grösstenteils Wasserstoff, der bei der Korrosion von Metallen unter Sauerstoffausschluss entsteht. Das Gas kann sich innerhalb der Lager-ebene entlang der verfüllten Kavernen, Stollen und Tunnel ausbreiten. Es bewegt sich auch in das angrenzende Tongestein Opalinuston (vgl. Glossar). Weitere chemische und mikrobielle Prozesse, welche Gas verbrauchen, wirken einer Ansammlung von Gas und somit einem Druckaufbau entgegen (vgl. Erklärungen auf Seite 6). Eng mit der Bewegung von Gas ist auch die Bewegung von Wasser verbunden, das in den Poren des Opalinustons vorkommt. Gas kann dieses Porenwasser verdrängen. Bildung, Abbau und Transport von Gas laufen sehr langsam ab.

Intakte Sicherheitsbarrieren gewährleisten

Die Fähigkeit eines Tiefenlagers, Radionuklide zurückzuhalten, hängt von intakten Sicherheitsbarrieren

(vgl. Glossar) ab. Die Bildung und Ansammlung von Gas könnten sich auf eine der Barrieren auswirken. Das Wirtgestein Opalinuston ist die natürliche Sicherheitsbarriere, welche besonders wichtig für die Langzeitsicherheit des Tiefenlagers ist. Opalinuston enthält viele kleine flüssigkeitsgefüllte Poren. Der Stofftransport durch ihn hindurch erfolgt sehr langsam durch Diffusion, von Pore zu Pore (vgl. Abb. auf Seite 3). Ein intaktes Porensystem unterstützt den langfristigen Einschluss der Radionuklide. Risse im Opalinuston verschliessen sich durch das Aufquellen des Tons von selbst.

Auswirkungen von Gas fundiert untersucht

Seit 1997 beschäftigt sich die Nagra intensiv mit den Auswirkungen von Gas auf die Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers. Sie untersucht und modelliert die möglichen Prozesse bei der Bildung, beim Abbau und Transport von Gas in Experimenten; zum Beispiel im Felslabor Mont Terri (vgl. Abb. unten).

Nagra



Im Felslabor Mont Terri wird die Korrosion von Metallen unter realistischen Bedingungen untersucht. Bei den Metallen handelt es sich um Kupfer und Kohlenstoffstahl.

Verschiedene Prozesse führen zu Gasbildung in einem Tiefenlager

Korrosion von Metallen

Tiefenlager enthalten Metalle: in den radioaktiven Abfällen, in Einbauten wie Felsankern und Stützbögen sowie als Material für die Abfallbehälter. Der grösste Anteil an Gas entsteht durch die Korrosion von Metallen. Stahl kommt am häufigsten vor und korrodiert in einem Tiefenlager sehr langsam unter Bildung von Wasserstoffgas. Diese chemische Reaktion erfolgt unter Sauerstoffausschluss und erfordert Wasser, das in einem Tiefenlager als Porenwasser vorhanden ist. Auch die Korrosion von Aluminium und Zink oder Metalllegierungen aus Nickel erfordert Wasser und führt zu Wasserstoffgas.

Porenwasser im Opalinuston

Wasser ist in Gesteinen wie Opalinuston nicht als fließendes Wasser, sondern nur in Form von Porenwasser vorhanden. Dieses bewegt sich nach dem Verschluss eines Tiefenlagers aus dem angrenzenden Opalinuston in die Lagerkammern mit den Abfällen. Das Wasser führt zu Metallkorrosion und zur Zersetzung der organischen Abfälle. Dabei entstehen Gase und es baut sich Druck auf, der das Wasser

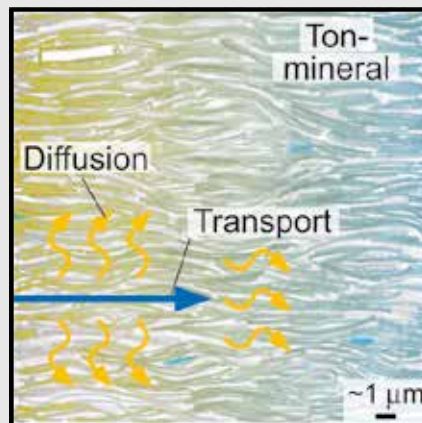
teilweise wieder aus dem Tiefenlager hinausdrängt (vgl. Abb. unten): ins Wirtgestein oder in die Zugangsbauwerke zum Tiefenlager. Sind schliesslich alle Metallteile korrodiert und alle organischen Stoffe abgebaut, sinkt der Gasdruck und es gelangt wieder mehr Wasser ins Tiefenlager. Die Geschwindigkeit, mit der das Porenwasser und allenfalls darin gelöste Radionuklide aus dem Tiefenlager wandern, ist so langsam, dass das Schutzkriterium des ENSI (vgl. Kasten Seite 2) zu jeder Zeit eingehalten wird.

Zersetzung organischer Abfälle

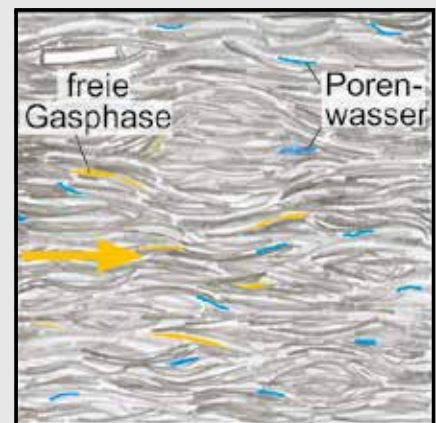
Vor allem SMA-Tiefenlager enthalten neben metallischen auch organische Abfälle. Dazu gehören hauptsächlich diverse Kunststoffabfälle und Ionenaustauscherharze (vgl. Glossar). Bei der Zersetzung organischer Abfälle entstehen vorwiegend Gase wie Kohlendioxid und Methan, deren Anteil jedoch weniger als ein Zehntel der gesamten Gasmenge im Tiefenlager beträgt. Die Zersetzung unter Sauerstoffausschluss verläuft langsam und benötigt Bakterien sowie Wasser. Bakterien sind nur aktiv, wenn es genügend grosse Poren, Wasser und Nährstoffe hat.

Nagra

Beschreibung des Gastransports in Tongesteinen



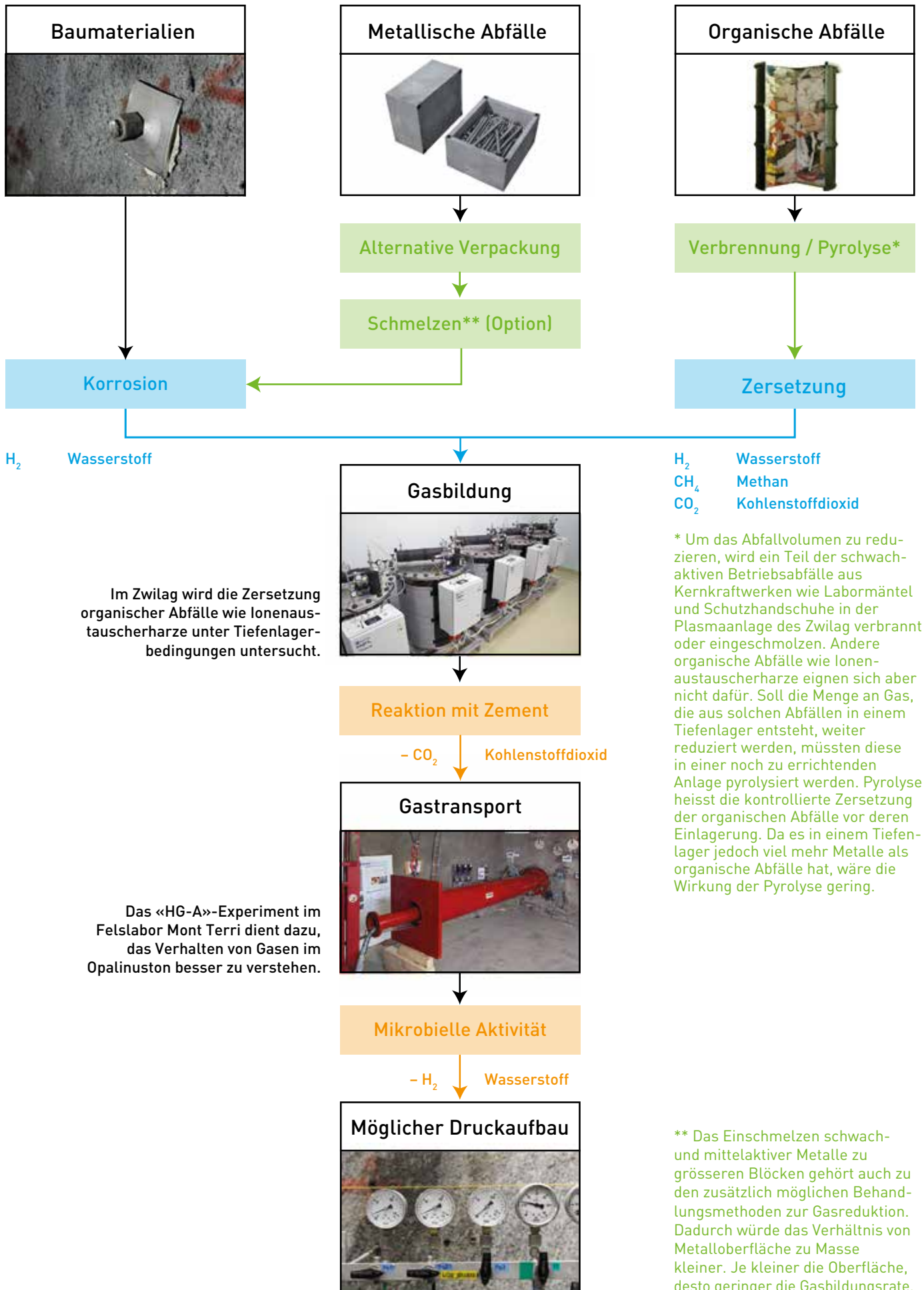
Transport & Diffusion des gelösten Gases in der flüssigen Phase
(«Einzelphase»)



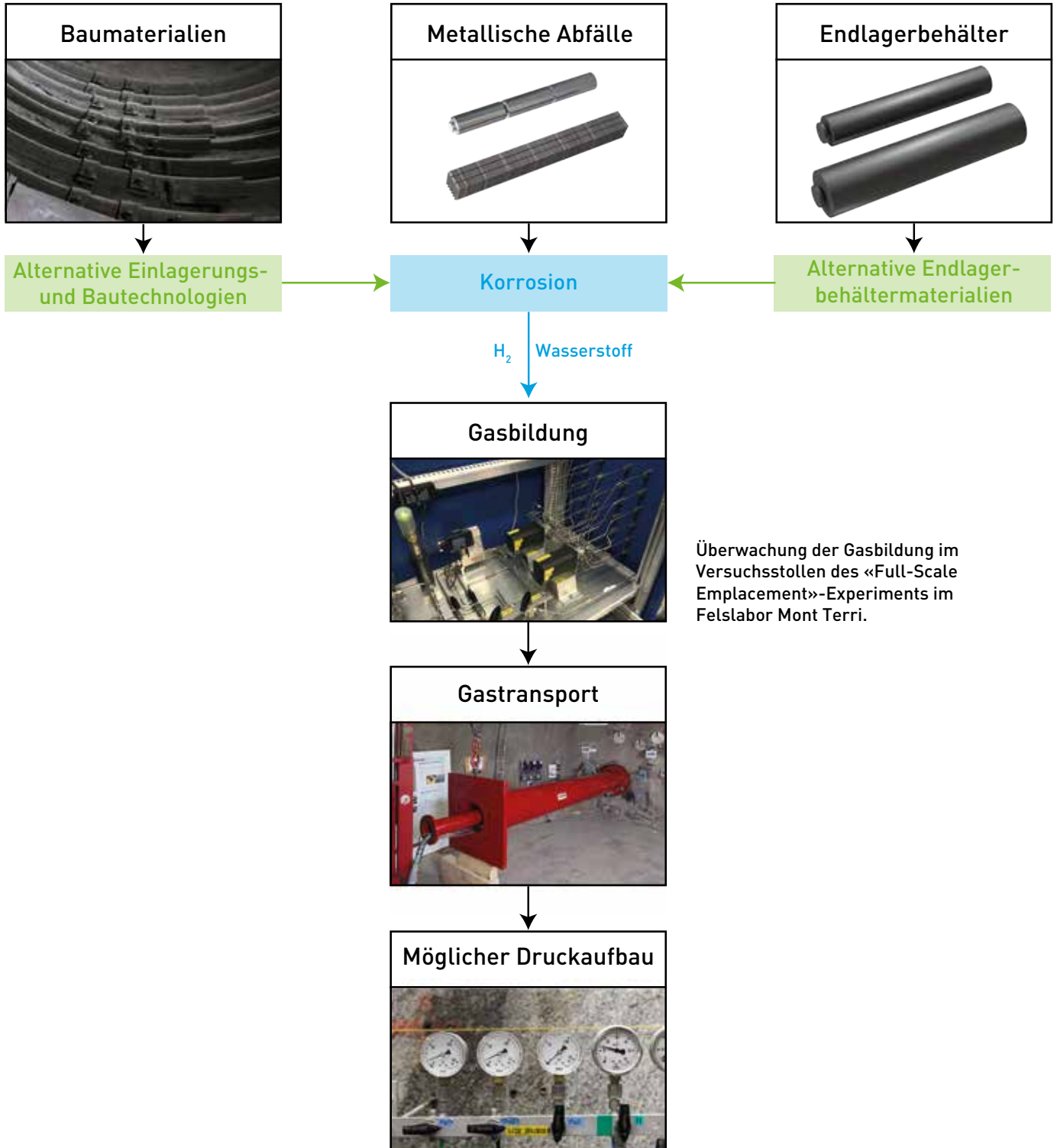
Fluss von nicht mischbaren Stoffen in einem porösen Medium
(«Zweiphasenfluss»)

Gas löst sich im Porenwasser und wandert dann von Pore zu Pore durch das Gestein. Wird der Druck in der Gasphase höher, kann es zu einer Verdrängung von Porenwasser kommen.

Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle



Tiefenlager für hochaktive Abfälle



- Blau:** Prozesse, die zur Gasbildung führen
- Orange:** Prozesse, die Gas verbrauchen
- Grün:** Prozesse und Massnahmen, die die Gasmengen reduzieren

Verschiedene Massnahmen könnten die Folgen der Gasproduktion im Tiefenlager weiter einschränken

In beiden Lagertypen wird die Gasproduktion von Wasserstoff dominiert, welcher hauptsächlich aus der Korrosion von Kohlenstoffstahl entsteht. Die Gasbildung könnte durch verschiedene Massnahmen und Prozesse reduziert werden:

Alternative Einlagerungs- und Bautechnologien

Mit Berechnungen wurde beispielsweise abgeschätzt, welchen Einfluss in einem HAA-Lager Stahlschienen des Transportsystems zur Einlagerung oder Stahlbögen zur Tunnelauskleidung auf die Gasproduktion haben. Falls notwendig, könnte zu deren Ersatz zusätzliche Entwicklungs- und Ingenieursarbeit geleistet werden.

Alternative Behältermaterialien

Die Nagra sieht derzeit gasdicht verschweisste Zylinder aus Kohlenstoffstahl mit einer Wanddicke von 14 Zentimetern vor. In einem HAA-Lager stammt 80 Prozent des Gases aus der Korrosion dieser Behälter. Ein grosser Teil davon liesse sich im Betrachtungszeitraum (vgl. Textkasten Seite 7) durch alternative Behältermaterialien reduzieren. Deshalb testet

die Nagra Behälter aus Kohlenstoffstahl mit Kupferbeschichtung, die resistenter gegen Korrosion ist (vgl. Abb. unten). Auch Beschichtungen aus Nickel oder Titan werden beurteilt. Es gibt auch Überlegungen dazu, bei SMA-Abfällen die Abfallbehälter aus Metall vor der Einlagerung durch andere Behälter zu ersetzen. Korrodiert weniger Metall, entsteht weniger Gas.

Gasverbrauchende Mikroben

Im Opalinuston des Felslabors Mont Terri wurden sulfatreduzierende Bakterien nachgewiesen. Unter Sauerstoffausschluss verwenden diese beispielsweise Wasserstoffgas sowie den Nährstoff Sulfat für ihren Energiestoffwechsel. Es gibt auch Bakterien, die Methangas nutzen. Wie beide Bakterienarten zu einer Reduktion des Gasdrucks beitragen können, wird derzeit untersucht.

Reaktion mit Zement

Die Kavernen in einem SMA-Tiefenlager werden mit Zementmörtel verfüllt. Zement fixiert CO_2 chemisch, wodurch der Gasdruck kleiner wird.

NWMO



Prototyp
eines Stahlbehälters mit
Kupferbeschichtung

Auch unter ungünstigen Bedingungen sind Gase beherrschbar und kein Sicherheitsproblem

Mit dem **Betrachtungszeitraum** – gemäss Vorgaben des ENSI – wird die Zeitspanne bezeichnet, die in den Modellen für die Berechnungen für die Sicherheitsanalysen für ein Tiefenlager herangezogen wird. Der Betrachtungszeitraum beträgt 1 Million Jahre für das HAA-Lager beziehungsweise 100 000 Jahre für das SMA-Lager.

Die Nagra untersucht experimentell, wie Opalinuston sowie die Stollenverfüllung aus Bentonit bei unterschiedlichen Gasdrücken reagieren. Zudem kann sie mit weiteren Experimenten und Modellrechnungen die zu erwartende Gasmenge und den Gasdruck – während des Betrachtungszeitraums (vgl. Kasten links) – gut abschätzen.

Sicherheitskriterien eingehalten

Die Analysen und Berechnungen ergeben, dass die Gasproduktion – selbst unter pessimistischen Annahmen – die Sicherheitsfunktionen des Wirtgesteins und der technischen Barrieren (vgl. Glossar) im SMA- und im HAA-Lager nicht beeinträchtigt. In allen untersuchten Fällen ist eine genügende Sicherheitsmarge vorhanden.

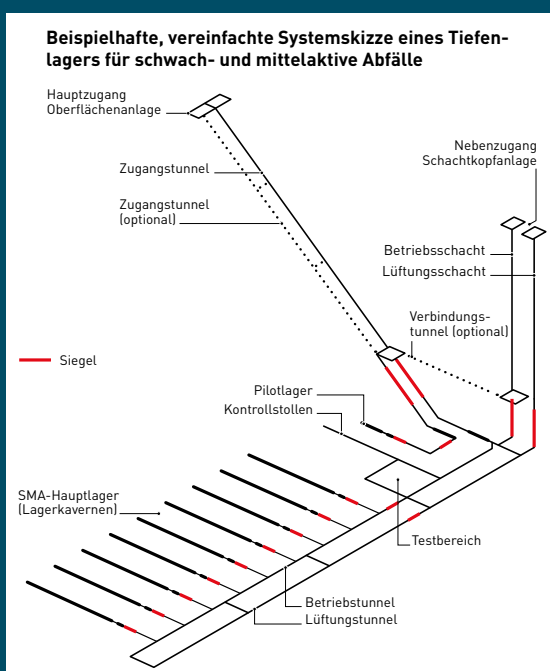
Ableitung von Gas

Gas bewegt sich entlang der Stollenwände durch die Auflockerungszone (vgl. Glossar) weiter in den Opalinuston. Bei den zu erwartenden Drücken löst sich das Gas im Porenwasser des Opalinustons und kann durch die Poren wegdiffundieren. Entstände noch mehr Gas, kann sich dieses nicht mehr vollständig im Porenwasser lösen. Gas

sammelt sich dann, bildet eine Gasphase und kann Porenwasser verdrängen. Mit der Zeit wird auch das angesammelte Gas abgeleitet. Damit sich die Drücke in den Stollen nicht zu sehr aufbauen, kann Gas zusätzlich mit baulichen Massnahmen wie gasdurchlässige Siegel (vgl. Abb. unten) durch die Stollen in die Zugangsbauwerke abgeleitet werden. Diese Siegel halten Radionuklide zurück. International wird intensiv an der Optimierung dieser Siegel geforscht. Auch im Felslabor Grimsel läuft dazu ein standortunabhängiger Versuch im Massstab 1:1.

Modelle weiter optimieren

Die Nagra hat 2016 in einem Bericht (vgl. NTB 16-03) die in diesem Faltblatt zusammengefassten Fakten ausführlich erläutert. Sie wird in den nächsten Jahren die diesbezüglich verbleibenden Ungewissheiten mit gezielten Forschungsaktivitäten weiter reduzieren. Zudem wird sie die heute schon realistischen Modelle für die verschiedenen Prozesse experimentell weiter verfeinern.



Claudio Köppel; Nagra

In einem Tiefenlager verschliessen mehrere Siegel die Stollen und Kavernen mit den radioaktiven Abfällen sowie die Zugangsbauwerke (z. B. Betriebsschacht, Zugangstunnel). Die gasdurchlässigen Siegel wirken als Barriere für Wasser und halten gelöste radioaktive Substanzen zurück. Somit kann Gas nicht nur direkt aus den Lagerkammern ins umliegende Gestein entweichen, sondern auch kontrolliert den Zugangsbauwerken zugeführt und durch diese ins umliegende Gestein abgeleitet werden. Auf ihrer langen Wanderung durch den Opalinuston hindurch werden die gelösten radioaktiven Substanzen ebenfalls zurückgehalten und zerfallen auch weiter. Somit liegt die maximale Strahlendosis an der Erdoberfläche stets weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts (siehe auch Kasten Seite 2).

Glossar – Erläuterungen

Ein Tiefenlager wird in der Schweiz im geringdurchlässigen Wirtgestein Opalinuston gebaut. Hochaktive Abfälle werden in Lagerstollen und schwach- und mittelaktive Abfälle in Lagerkavernen entsorgt. Lagerstollen und -kavernen werden auch als Lagerkammern bezeichnet.

Sicherheitsbarrieren eines Tiefenlagers

Die technischen und geologischen Sicherheitsbarrieren sorgen für den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle im Tiefenlager. Zu den technischen Sicherheitsbarrieren gehören die Abfallmatrix (z. B. Zement oder Glas), die Endlagerbehälter und die Verfüllung von Lagerstollen mit Bentonit beziehungsweise von Lagerkavernen mit Zementmörtel. Der Opalinuston sorgt mit den angrenzenden Gesteinsschichten als geologische Barriere für langfristige Stabilität und trägt erheblich zur Rückhaltung der Radionuklide bei.

Auflockerungszone

Das Ausbrechen von Stollen und Kavernen im Opalinuston führt zu einer kleinen Auflockerung des Gesteins um die Hohlräume herum. Diese sogenannte Auflockerungszone besitzt lokal eine erhöhte Durchlässigkeit für Wasser und Gase. Sie schliesst sich jedoch nach einigen Jahren wieder.

Ionenaustauscherharze

Diese dienen in Kernkraftwerken (KKW) zur Reinigung von Wasserkreisläufen. Sind die Harze erschöpft, fallen sie als zu konditionierende, radioaktive Abfälle an. Die Harze werden in den KKW so vorbehandelt, dass sie zwischen- und endlagerfähig sind: Möglichst viel Wasser wird durch Abtropfen oder Trocknen der Harze entfernt. Anschliessend werden diese mit Polystyrol, Zement oder Bitumen verfestigt.

HAA: Hochaktive Abfälle aus Kernkraftwerken wie beispielsweise verbrauchte Brennelemente

SMA: Schwach- und mittelaktive Abfälle wie Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken

ENSI: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat



WWW

Zum Weiterlesen

- «Production, consumption and transport of gases in deep geological repositories according to the Swiss disposal concept». NTB 16-03, Dezember 2016
- «The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland». NTB 16-02, Dezember 2016
- «Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen». NTB 16-01, Dezember 2016
- Themenheft «Entsorgungsprogramm – daran arbeiten wir», Dezember 2016

Sie finden die Dokumente unter www.nagra.ch → Publikationen/Downloads.

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
Postfach 280
CH-5430 Wettingen

Tel 056 437 11 11
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch
www.nagra-blog.ch

nagra ● **aus verantwortung**