

Die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen in anderen Ländern

von Dr. Bernhard Kienzler und Dr. Klaus Gompper
e-mail Bernhard.Kienzler@energie-fakten.de und Klaus.Gompper@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Die Endlagerung in Deutschland wird in einem vorangegangenen Beitrag behandelt; die entsprechenden Konzepte in anderen Ländern werden nachfolgend aufgelistet.

Eine Endlagerung im Wirtsgestein „Steinsalz“ wird in den USA für Abfälle aus der Kernwaffenproduktion durchgeführt. Die besonders langen Halbwertszeiten dieser Abfälle spielen hier eine wichtige Rolle. Eine Anlage ist seit 1999 in Betrieb. Da sich in der Umgebung Rohstofflagerstätten befinden, hat hier die Möglichkeit späterer menschlicher Einwirkungen Bedeutung.

Eine Endlagerung im Wirtsgestein „Granit“ ist in Schweden und in Finnland beabsichtigt. Das Sicherheitskonzept basiert auf

einem Kupferbehälter, der gegen das Gestein mit Ton abgedichtet wird. Bei Wasseraufnahme quillt der Ton und verhindert so den weiteren Wasserzutritt. Das Konzept ist weit fortgeschritten und wird gegenwärtig in einem Untertagelabor demonstriert.

Die Endlagerung im Wirtsgestein „Ton“ ist in der Schweiz, in Frankreich und in Belgien vorgesehen. Auch hier spielen die Quelleigenschaften von Ton sowie die hohe Sorptionskapazität dieser Gesteine eine wesentliche Rolle. Forschungsarbeiten unter Tage sind in diesen Ländern im Gange.

Für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle aus der zivilen Kernenergienutzung im Wirtsgestein „Tuff“ läuft in den USA

das Genehmigungsverfahren. Das ausgewählte Gebiet erhält nur wenig Niederschläge (Wüste) und ist nur dünn besiedelt. Das Endlager soll offen gehalten werden, um eine leichte Rückholbarkeit der Abfälle über einen gewissen Zeitraum zu ermöglichen.

Für die Langzeitsicherheit spielen bei allen Konzepten Mehrbarrierensysteme eine entscheidende Rolle. Zum Nachweis der Langzeitsicherheit sind Extrapolationen beobachteter Phänomene alleine nicht ausreichend. In begleitenden Forschungsarbeiten werden deshalb die in den Barrieren langfristig ablaufenden physikalisch/chemischen Prozesse untersucht und quantifiziert.

Die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen in anderen Ländern

von Dr. Bernhard Kienzler und Dr. Klaus Gompper

e-mail Bernhard.Kienzler@energie-fakten.de und Klaus.Gompper@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

In einem [vorangehenden Beitrag](#) ist ein allgemeiner Überblick über die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland und die dabei verfolgten Konzepte für hochradioaktive Abfälle zu finden. Der vorliegende Beitrag listet die verschiedenen Endlagerkonzepte für hochradioaktive bzw. für actinidenhaltige, langlebige radioaktive Abfälle auf, wie sie außerhalb Deutschlands entwickelt wurden.

Endlagerung in Steinsalz (USA)

Die Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) in New Mexico (USA) für die Endlagerung von schwachradioaktiven, actinidenhaltigen Abfällen aus der Kernwaffenproduktion befindet sich in einer tiefen Salzformation. Diese Anlage nimmt seit März 1999 radioaktive Abfälle auf. Die für die Endlagerung in WIPP bestimmten Actiniden-Abfälle (TRU) enthalten Radionuklide mit langen Halbwertszeiten. Das Sicherheitskonzept beruht wesentlich auf einer effektiven Begrenzung der Actinidenlöslichkeit im Nahbereich. Dies wird durch ein ge-

eignetes chemisches Milieu erreicht, das durch Magnesiumoxid als Versatzmaterial eingestellt wird. In der Umgebung des WIPP-Standortes befinden sich große Kalisalzlager und potentielle Kohlenwasserstofflager (Erdgas, Erdöl). Wegen der Möglichkeit der Exploration dieser Rohstoffvorkommen haben für den Sicherheitsnachweis menschlichen Einwirkungen an diesem Standort eine große Relevanz.

Endlagerung in Granit (Schweden, Finnland)

Bei den skandinavischen Endlagerkonzepten ist beabsichtigt, die Endlagerbehälter aus Sphäroguss herzustellen und mit einem 5 cm dicken Kupfer-Mantel (Overpack) zu versehen. In dem ursprünglich in Schweden entwickelten KBS-3 Konzept ist vorgesehen, die einzelnen Kanister in vertikalen Bohrungen einzulagern. Das Endlager besteht aus einem System von Tunneln im Abstand von 25 Metern in einer Tiefe von mehreren hundert Metern. Das Tunnelsystem ist durch Transportstrecken verbunden.

Die Bohrlöcher für die Endlagerbehälter werden in einigen Metern Abstand voneinander von der Tunnelsohle nach unten gebohrt. Die Kanister werden von einer Bentonitbarriere (ca. 0,3 m) umgeben, die bei Aufnahme von Wasser quillt. Der Ton verhindert dadurch nicht nur den Wasserzutritt zum Endlagerbehälter, sondern schützt auch die Behälter vor Gebirgsbewegungen. Dieses Konzept ist weit fortgeschritten und das Verfahren wird gegenwärtig im schwedischen UntertageLabor Äspö Hard Rock Laboratory demonstriert. Die Wärmeleistung der Abfälle und die Abstände der Lagerbehälter werden so gewählt, dass die Temperaturen im Wirtsgestein maximal 100 °C betragen. Das granitische Wirtsgestein bietet mechanisch und chemisch stabile Bedingungen im Endlagerbereich und begrenzt den Zutritt von Lösungen. Sollte trotzdem Radioaktivität aus den eingelagerten Abfällen freigesetzt werden, hält die Bentonitbarriere die Radionuklide durch Sorptionsprozesse zurück. Nach Beendigung der Einlagerung

LANGFASSUNG

sollen die Strecken mit einer Mischung aus Bentonit und zerkleinertem Gestein verfüllt werden.

Die Sicherheit des skandinavischen Endlagerkonzepts basiert auf mehreren technischen und natürlichen Barrieren, die die Freisetzung der Radioaktivität verhindern oder zumindest verzögern. Die Barrieren bestehen aus dem abgebranntem Kernbrennstoff selbst, dem doppelwandigem Behälter und dem Bentonit, der diesen umschließt. Als natürliche Barriere gilt die mehrere 100 Meter mächtige Gesteinsschicht zwischen dem Endlagerbereich und der Biosphäre.

Endlagerung in Ton (Schweiz, Frankreich, Belgien)

Der Opalinuston ist ein homogenes Tongestein, welches über große Teile der Nordschweiz und dem angrenzenden Süddeutschland gleichförmig abgelagert wurde. Ein engeres Untersuchungsgebiet wurde in der Schweiz im Zürcher Weinland ausgewählt, welches die Grundanforderungen an ein geologisches Endlager erfüllt, nämlich geologische Langzeitstabilität, günstige Wirtgesteinseigenschaften, Robustheit gegenüber Störeinflüssen, Explorierbarkeit, Prognostizierbarkeit und Flexibilität bezüglich des Standorts. Im Jahr 2003 legte die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) einen „Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochradioaktive Abfälle sowie langlebige mittelaktive Abfälle“ vor, in dem ein bautechnischer Entwurf, eine Synthese der geowissenschaftlichen Unter-

suchungen und die sicherheitsmäßige Beurteilung eines Tiefenlagers im Opalinuston dargestellt sind. Das in der Schweiz vorgeschlagene Endlagerkonzept im Opalinuston verzichtet auf zementierte bzw. betonierte Strukturelemente. Die Endlagerbehälter werden auf Sockel aus kompaktiertem Bentonit abgelegt und die verbleibenden Hohlräume mit Hilfe einer Förderleitung mit pelletisiertem Ton verfüllt. Beim Zutritt von Lösungen quillt der Ton, baut das Wasser in seine Struktur ein und dichtet so das Endlager gegen Lösungstransport ab.

Zuständig für die Endlagerung in Frankreich ist die Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs). Der Standort Bure im Departement Meuse/Haute-Marne wurde von der Andra für die Einrichtung eines Forschungs-/Erkundungsbergwerks in der Callovo Oxford Tonformation ausgewählt. Die Schächte sind weitgehend abgeteuft und mit der Erstellung der untertägigen Einrichtungen wurde begonnen. Eine eingehende wissenschaftliche Untersuchung bezüglich der Permeabilität, der Stabilität und der generellen Eigenschaften (mechanisch, hydraulisch, chemisch, usw.) der Tonschicht ist die Voraussetzung zur Beurteilung der Eignung dieses Gesteins für die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle. Das französische Endlagerkonzept sieht horizontale bzw. vertikale Bohrungen in die Tonformation für mehrere Behälter mit verglasten hochradioaktiven Abfällen vor, wie sie von COGEMA hergestellt werden. Eine endgültige

Festlegung ist bisher noch nicht getroffen. Die horizontalen Bohrungen werden mit Tonpuffermaterial ausgekleidet und mit Edelstahlauskleidungen (Linern) versehen. Im Falle der vertikalen Bohrungen ist keine Auskleidung geplant. Zur Einlagerungsstrecke hin werden die Bohrungen durch Verschlussstopfen auf der Basis von Ton abgedichtet. Zwar ist in Frankreich die Wiederaufarbeitung abgebrannter Kernbrennstoffe vorgesehen, das Endlagerkonzept beinhaltet aber auch die Einlagerung abgebrannter Brennelemente in Stahlbehältern entweder unterhalb der Fahrbahn der Einlagerungsstrecke oder in horizontale mit Auskleidungen versehenen Bohrlöchern. Wie für verglaste hochradioaktive Abfälle sollen diese Strecken mit tonbasierten Versatzstoffen verschlossen werden. Um die Wärmeabfuhr von den Abfallprodukten zu verbessern kann den tonbasierten Versatzstoffen Graphit beigemischt werden. Durch Zugabe von Quarzsand lässt sich das Quellvermögen tonbasierter Versatzstoffe steuern, um die Druckbelastung auf die Barrieren infolge der Quellvorgänge des Tons zu optimieren. Die Wärmeleistung der Abfälle und die Abstände der Lagerbehälter werden so gewählt, dass die Temperaturen im Tongestein maximal 100 °C betragen. Die Festlegung auf diese Temperatur wird damit begründet, dass im Falle höherer Temperaturen interlamellares Wasser freigesetzt wird und sich damit die Quellfähigkeit der Tone wesentlich verschlechtert.

In Belgien wird die Wirtsfor-

LANGFASSUNG

mation „Boom Clay“ im Bereich des Forschungszentrums Mol im Untertagelabor „HADES“ hinsichtlich seiner Eignung für die Endlagerung untersucht. Die gewählte Tiefe beträgt ca. 220 m und die Planungen sind darauf ausgerichtet, dass ein Endlager im Jahr 2035 in Betrieb gehen kann. Das gegenwärtige Konzept basiert auf dem so genannten „supercontainer“ welcher die verglasten hochradioaktiven Abfälle bzw. die abgebrannten Brennelemente enthält. Diese befinden sich in einem Overpack aus Stahl. Die Abfälle sind dann in einer Betonmatrix eingeschlossen, die durch eine Stahlhülle stabilisiert ist. Die Auslegungstemperatur beträgt für dieses Wirtsgestein 100 °C.

Endlagerung in Tuff (USA)

Die Politik der USA bezüglich der permanenten Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen wurde im Jahr 1982 durch ein Gesetz festgelegt (Nuclear Waste Policy Act of 1982). Auf Empfehlung der Regierung genehmigte der Kongress 2002 das Endlagerprojekt für hochradioaktive Abfälle in Yucca Mountain, wo ab 2010 der ersten radioaktiven Abfälle aus den 103 US-Atomkraftwerken eingelagert werden soll. Das Gebiet um Yucca Mountain, Nevada, ist gekennzeichnet durch eine Geologie aus vulkanischem Tuff, einem Wüstenklima, geringer Vegetation und einer geringen Bevölkerungsdichte. Die derzeitigen Planungen sehen eine Einlagerungskapazität von 70.000 t radioaktiver Abfälle vor, darunter 63.000 t abgebrannte Brennelemente aus kommerziellen Kernkraftwerken. Den Rest bilden

abgebrannte Brennelemente aus militärisch genutzten Reaktoren und verglaste hochradioaktive Abfälle aus den militärisch genutzten Wiederaufarbeitungsanlagen.

Das gegenwärtig verfolgte Endlagerungskonzept (OCRWM, 2004a) umfasst ein etwa 50 Meilen großes Tunnelsystem. Der Abfall soll ferngesteuert von den Transportbehältern in speziell ausgelegte Abfallbehälter verpackt werden. Die Abfallbehälter sind zweischalig ausgelegt, einer äußeren Schicht aus einer hochkorrosionsbeständigen Metalllegierung (Alloy-22: etwa 60% Nickel, 22% Chrom, 13% Molybdän, 3% Wolfram) und einer inneren Schicht aus Edelstahl. Die Abfallbehälter werden mit Schienenfahrzeugen in das Endlager gefahren und anschließend mit Robotern in die horizontalen Ablagerungsstrecken eingelagert. Jeder Behälter wird zusätzlich mit einem Tropfschild ("drip shield") aus korrosionsbeständigem Titan überdeckt, das als Schutz vor Feuchtigkeit und Steinschlag dient (OCRWM, 2004b). Dem Titan-Tropfschild und dem Alloy-22-Mantel werden hohe Lebensdauern zugeschrieben. Es wird erwartet, dass insbesondere durch die Wirkung des Tropfschildes höchstens 1 Prozent aller Abfallbehälter über einen Zeitraum von 80.000 Jahren ihre Funktion verlieren. Die Auslegung des Tunnelsystems unter Tage soll die Offenhaltung des Endlagers für mindestens 100 Jahre gewährleisten, um eine Rückholbarkeit der Abfälle über einen gewissen Zeitraum (100-200 Jahre) zu ermöglichen. Aus diesem Grund sollen die Einlage-

strecken in diesem Zeitraum nicht verfüllt werden. Die Wärmeleistung der Abfälle ist im Yucca Mountain Konzept sehr hoch: An den Behälterwände sollen die Temperaturen unter 350 °C liegen. An den Streckenwänden werden maximale Temperaturen im Bereich von 165-185 °C etwa 75-85 Jahren nach Schließung des Endlagers erwartet.

Langzeitsicherheit

Der Nachweis der Langzeitsicherheit basiert in allen Konzepten auf dem Mehrbarriersystem, wobei die Bedeutung der technischen, geotechnischen und natürlichen Barrieren unterschiedlich gewichtet wird. Die verwendeten Theorien bezüglich der zeitlichen und der räumlichen Skala werden aber immer wieder hinterfragt. Dies hängt mit dem allgemeinen Problem langfristiger Vorhersagen zusammen, die kaum auf vorhergehenden Erfahrungen basieren können. Die zeitliche Extrapolation von beobachteten Phänomenen ist alleine nicht ausreichend. Es müssen vielmehr die zu Grunde liegenden physikalischen/chemischen Prozesse hinreichend verstanden werden. Hierzu dienen ergänzende Forschungsarbeiten im Labor und in Untertagelaboratorien sowie die [Untersuchung von natürlichen Analoga](#). ■