

Internationale Fortschritte bei der Schaffung von Endlagern

Die Behandlung und Endlagerung radioaktiver Abfälle nimmt seit Jahrzehnten sowohl unter Wissenschaftlern und Kraftwerksbetreibern als auch in der öffentlichen Auseinandersetzung eine Schlüsselrolle ein. In der Tat war die Bedeutung der Entsorgung bereits frühzeitig erkannt worden: Bereits 1957, drei Jahre bevor das erste Kernkraftwerk den Betrieb aufnahm, wies die Deutsche Atomkommission auf die Notwendigkeit hin, radioaktive Abfälle sicher beseitigen zu können. In den 1960er-Jahren begann ein breit angelegtes Forschungsprogramm für die Endlagerung. Die Wahl von Gorleben als Erkundungsstandort erfolgte 1977 noch im überparteilichen Konsens. Die Erkundung des Standorts wurde jedoch aus politischen Gründen nach 23 Jahren im Jahr 2000 gestoppt und erst mit Ablauf des so genannten „Moratoriums“ nach dem 1. Oktober 2010 wieder aufgenommen. Im Zuge der politischen Verhandlungen über eine neue Standortsuche wurde die Erkundung Ende 2012 erneut unterbrochen. Am 28. Juni 2013 beschloss der Deutsche Bundestag mit dem Standortauswahlgesetz^[1] eine neue Standortsuche. Während in Deutschland zumindest bei der Suche nach einem Standort für die Endlagerung wärmeentwickelnder, hochradioaktiver Abfälle noch einmal bei Null angefangen wird, sind andere Länder bereits kurz vor dem Ziel.

Hier soll eine kurze Übersicht über den Stand der Planung sowie den Bau und Betrieb von Endlagern in ausgewählten Kernenergieländern gegeben werden.

1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe, für radioaktive Abfälle geeignete Endlager zu schaffen, ist nicht grundsätzlich neuartig. Sie ist weitgehend vergleichbar mit derjenigen für chemisch-toxische Abfälle. Beide Abfallarten benötigen langfristig sichere Endlager, die für möglichst lange Zeiträume verhindern, dass schädliche Substanzen in die Biosphäre gelangen. Das setzt voraus, dass zwischen den Abfällen und der Biosphäre wirksame Barrieren für eine so lange Zeit existieren, wie die jeweiligen Abfälle eine potenzielle Gefahr darstellen. Für chemisch-toxische Abfälle sind einige Endlager in Betrieb, darunter mehrere in Deutschland, unter anderem in Herfa-Neurode, einem ehemaligen Kalisalz-Bergwerk^[2].

Die radioaktiven Abfälle teilt man üblicherweise in zwei Gruppen ein:

- Der wärmeentwickelnde, hochradioaktive Abfall (HLW = High-level waste) fällt nur in Kernkraftwerken und im Kernbrennstoffkreislauf an. Im Wesentlichen ist dies der verglaste Abfall aus der Wiederaufarbeitung gebrauchter Brennelemente. Bei der sogenannten direkten Endlagerung, das heißt ohne Wiederaufarbeitung, werden die gebrauchten Brennelemente selbst bzw. die aus ihnen entnommenen Brennstäbe eingelagert. Kennzeichnend für HLW sind starke Wärmeentwicklung und lange Halbwertszeiten.
- Schwach- und mittlerradioaktive Abfälle (Low-level waste (LLW), Intermediate-level waste (ILW)) mit vernachlässig-

barer Wärmeentwicklung fallen nicht nur in Kernkraftwerken und Einrichtungen des Brennstoffkreislaufs an, sondern auch in vielen Industriezweigen, in der Medizin sowie in der physikalischen, chemischen und biologischen Forschung. Typische betriebliche Abfälle aus Kernkraftwerken sind kontaminierte Schutzkleidung, Filter sowie ausgetauschte Bauteile.

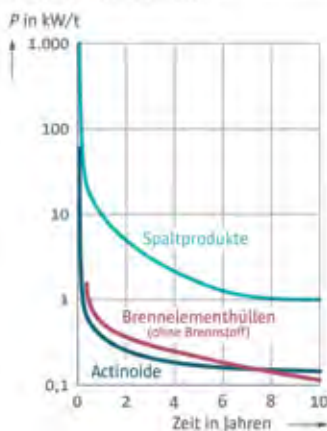
Schwach- und mittlerradioaktive Abfälle machen etwa 90 Prozent des Gesamtvolumens an radioaktiven Abfällen und ein Prozent der zu entsorgenden Radioaktivität aus. Die hochradioaktiven Abfälle mit einem Volumenanteil von etwa zehn Prozent enthalten rund 99 Prozent der gesamten Radioaktivität.

Es gibt zwei Unterschiede zwischen radioaktiven und chemisch-toxischen Abfällen, die bei der Endlagerung eine Rolle spielen:

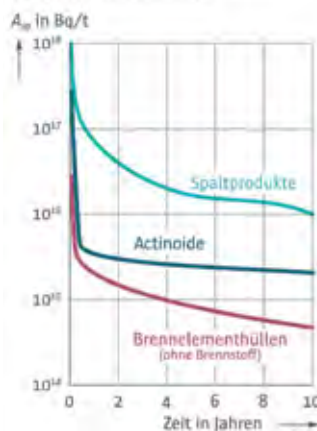
- Die Radioaktivität des „Atommülls“ nimmt im Laufe der Zeit ab und erreicht schließlich ungefährliche Werte. Dieser Vorgang des Abklingens läuft bei schwach- und mittlerradioaktiven Abfällen schneller ab als bei hochradioaktiven.
- Im Zuge dieses Abklingvorgangs produziert der hochradioaktive Abfall – im Laufe der Zeit abnehmende – Wärme, die bei der Wahl des Wirtsgesteins und der räumlichen Auslegung eines Endlagers berücksichtigt werden muss.

Beide Vorgänge veranschaulicht Abbildung 1.

Abklingen der spezifischen Wärmeleistung bei bestrahltem Brennstoff



Abklingen der spezifischen Aktivität bei bestrahltem Brennstoff



Anfangsanreicherung: 3,5% U-235
Abbrand: 30.000 MWd/t

Abb. 1: Abklingen der spezifischen Wärmeleistung und der spezifischen Aktivität von verbrauchtem Kernbrennstoff.
(Quelle: Deutsches Atomforum, Basiswissen Kernenergie)

Im Vergleich zu chemisch-toxischen Abfällen ist das Aufkommen an radioaktiven Abfällen gering. Nach einer Mitteilung der Bundesregierung (Bundestagsdrucksache 17/14278 vom 28. Juni 2013) werden in Deutschland bis zum Jahr 2080 (also einschließlich Stilllegung und Rückbau sämtlicher Kernkraftwerke) insgesamt rund 305.000 Kubikmeter an endlagergerechten Abfallgebinden mit schwach- und mittelradioaktiven Abfällen anfallen, die für das Endlager Konrad bestimmt sind. Diese Zahl enthält auch den bereits vorhandenen Bestand an Abfällen und setzt sich folgendermaßen zusammen (Tabelle 1). In diesen Zahlen sind die in den Endlagern Asse II und Morsleben eingelagerten Abfälle nicht enthalten.

Verursacher	Volumen, m ³
Kernkraftwerksbetreiber (u. a. Betriebsstoffe, Rückbau KKW)	173.442
Kerntechnische Industrie (u. a. Kernbrennstoff)	13.744
Einrichtungen der öffentlichen Hand (u. a. Rückbau Forschungsreaktoren)	107.430
Landessammelstellen (sonstige Industrie, Medizin)	10.700
Summe	305.316

Tabelle 1: Aufkommen an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen in Deutschland für das Endlager Konrad bis zum Jahr 2080, nach Verursachern.

(Quelle: Bundestagsdrucksache 17/14278 vom 28.06.2013)

An Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen, zumeist hochradioaktiv, prognostiziert das Bundesamt für Strahlenschutz bis zum Betriebsende der noch bestehenden Kernkraftwerke ein Aufkommen von Abfallgebinden mit einem Gesamtvolumen – einschließlich des vorhandenen Bestands – von 28.100 Kubikmetern. Davon stammen 1.435 Kubikmeter aus der Wiederaufarbeitung gebrauchter Brennelemente. Der überwiegende Teil von fast 26.700 Kubikmetern betrifft die direkte Endlagerung gebrauchter Brennelemente aus Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren^[3].

Vergleichswerte für chemisch-toxische Abfälle: Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes wurden allein im Jahr 2012 rund 170.000 Tonnen, die als gefährliche Stoffe klassifiziert wurden, in Untertage-Deponien, also geologische Tieflager in ehemaligen Salzbergwerken, verbracht^[4]. Die größte dieser Untertage-Deponien ist Herfa-Neurode in Hessen mit einer jährlichen Einlagerungskapazität von 200.000 Tonnen.

2 Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen

Für alle radioaktiven Abfälle sehen die Entsorgungskonzepte der einzelnen Staaten heute vor, diese zu verfestigen, lagerfähig zu verpacken und für eine ausreichend lange Zeit gegenüber der Biosphäre zu isolieren.

Für schwach- und mittelradioaktive Abfälle gibt es bereits in verschiedenen Ländern Endlager, andere Länder bereiten derartige Endlager vor. Die meisten haben sich für oberflächennahe Endlagerung entschieden. Schweden und Finnland haben im Küstenbereich der Ostsee oberflächennahe Felskavernen als Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle geschaffen und in Betrieb genommen. Deutschland, Kanada und die Schweiz haben sich für alle Arten radioaktiver Abfälle für geologische Tieflagerung entschieden (siehe Tabelle 2).

Land	Standort	Typ	Status
Belgien	Dessel	oberflächennah	in Vorbereitung
Deutschland	Asse II	geologisch (Steinsalz)	geschlossen (Versuchsendlager, Rückholung wird untersucht)
	Morsleben	geologisch (Steinsalz)	geschlossen
	Konrad	geologisch (Eisenerz)	genehmigt (Betrieb nicht vor 2019, Verzögerungen wahrscheinlich)
Finnland	Olkiluoto	Kaverne (Granit)	in Betrieb
	Loviisa	Kaverne (Granit)	in Betrieb
Frankreich	La Manche	oberflächennah	geschlossen
	L' Aube	oberflächennah	in Betrieb
Großbritannien	Drigg	oberflächennah	in Betrieb
	Dounreay	oberflächennah	in Betrieb
Japan	Rokkasho Mura	oberflächennah	in Betrieb
Kanada	Kincardine (Ontario)	geologisch (Kalkstein)	im Genehmigungsverfahren
Schweden	Forsmark (SFR)	Kaverne (Granit)	in Betrieb
Schweiz	noch nicht entschieden	geologisch	geplant
Spanien	El Cabril	oberflächennah	in Betrieb
USA	6 Einrichtungen „Waste Isolation Pilot Plant“ (WIPP) für Abfälle aus Nuklearwaffenprogrammen bei Carlsbad, New Mexico	oberflächennah	in Betrieb
		geologisch (Steinsalz)	in Betrieb

Tabelle 2: Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle in ausgewählten Ländern^[5].

3 Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen

Für hochradioaktive – und zum Teil auch für schwach- und mittelradioaktive Abfälle mit langen Halbwertszeiten – verfolgen alle Länder das Konzept der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen. Das Spektrum geeigneter Gesteinsformationen ist breit und von der Geologie eines Landes abhängig. Vielversprechende Gesteinsarten sind zum Beispiel Granit, Steinsalz und Tongestein. In einigen Ländern werden auch Basalt und Kalkstein in Betracht gezogen. Das wesentliche Kriterium ist die Langzeitstabilität der Barrieren und ihre Fähigkeit zur Rückhaltung der Schadstoffe gegen eine Freisetzung in die Biosphäre. Alle Endlagerkonzepte sehen eine Kombination von natürlichen (geologischen) und ingenieurtechnischen Barrieren in der Weise vor, dass die Abfälle sicher von der Umwelt abgeschlossen sind.

Forschungs- und Entwicklungsprogramme zur Untertage-Lagerung von radioaktiven Abfällen sind in großem Umfang seit Jahrzehnten im Gange. In den USA begannen sie schon in den 1950er-Jahren, in Deutschland und anderen Ländern in den 1960er-Jahren. Zu dieser Thematik gibt es eine enge internationale Zusammenarbeit. In einer ganzen Reihe von Ländern sind Untertage-Laboratorien geschaffen worden, die der Gewinnung von Grundlagenwissen wie auch von Standortdaten für Planung, Betrieb und Stilllegung des Endlagers dienen. Eine Übersicht für ausgewählte Länder gibt Tabelle 3. Deutschland hatte in der Endlagerforschung eine führende Position, nicht zuletzt durch das Erkundungsbergwerk Gorleben.

Trotz politischer Widerstände gegen die Schaffung von Endlagern haben einige Länder bereits wichtige Meilensteine erreicht. Am weitesten vorangekommen sind Finnland, Schweden und Frankreich.

Land	Wiederaufarb. Dir. Endlager	Programmbeschreibung	Untertage-Labors	Kandidaten für Endlager-Standorte	Geologie
Belgien	X	Untersuchung Ton-Formation in Boom mit HADES auf Eignung für alle Art von radioaktiven Abfällen.	HADES URF, Mol	Mol	Ton
Deutschland	X ¹⁾ X ²⁾	Untersuchung Standort Gorleben seit 1979, aber von 2000 bis 2010 suspendiert sowie seit 2012. Neubeginn der Standortsuche 2013 beschlossen (Standortauswahlgesetz). Gorleben bleibt Kandidat.	Asse II (Einlagerung und Forschung abgeschlossen)	Gorleben und zu suchende Standorte	Steinsalz, Ton oder Granit
Finnland	X	Standort durch Parlament gebilligt. Genehmigungsverfahren seit Ende 2012. Baubeginn für 2015, Betrieb ab 2022 geplant.	Onkalo	Olkiluoto	Granit
Frankreich	X	Referenzkonzept ist geologisches Tieflager mit Rückholbarkeit. Genehmigungsverfahren ab 2015, Betrieb ab 2025 geplant.	Bure	Bure	Tongestein
Großbritannien	X	Grundsatzentscheidung 2006 für geologische Tieflagerung für hoch- und mittelradioaktive Abfälle. Suche nach interessierten Gemeinden für Endlagerstandort	-	-	-
Japan	X	Zwei Untertage-Labors im Bau	Mitunami Horonobe (auf Hokkaido)	-	Granit Sedimentgestein
Kanada	X	Konzeptdemonstration im „Whiteshell Underground Research Laboratory“ (URL) in Lac du Bonnet, Manitoba	Pinawa, Manitoba	-	Granit
Russland	X	Standortentscheidung für 2025 geplant. Untertage-Labor in Granit geplant.	Schelesnogorsk (nahe Krasnojarsk)	30 mögliche Standorte in 18 Regionen identifiziert	Granit
Schweden	X	Standort Östhammar bei Forsmark 2009 entschieden. Genehmigungsverfahren seit 2011. Baubeginn für 2019, Betrieb ab 2025 erwartet.	Stripa (bis 1992) HRL Äspö	-	Granit
Schweiz	X X	Technische Machbarkeit eines Endlagers von Regierung 2006 bestätigt. 3 Standortregionen mit Opalinuston in der Nordostschweiz in engerer Wahl	Grimmel Mont Terri	3 Regionen zur Wahl	Granit Opalinuston
Spanien	X	Prüfung möglicher geologischer Formationen abgeschlossen. Mittelfristig nur Verfolgung der Aktivitäten des Auslands.	-	-	Granit Ton (Salz)
USA	X	Die von Präsident und Kongress 2002 beschlossene Standortentscheidung für Yucca Mountain wurde 2009 aufgehoben. Neue Standortsuche geplant.	Yucca Mountain (Nevada)	offen	offen

¹⁾ Wiederaufarbeitung bis Mitte 2005 zugelassen ²⁾ Direkte Endlagerung seit 1994 zugelassen

Tabelle 3: Programme für Endlager für hochradioaktive Abfälle.

(Quellen: Websites der Endlager-Institutionen der einzelnen Länder)

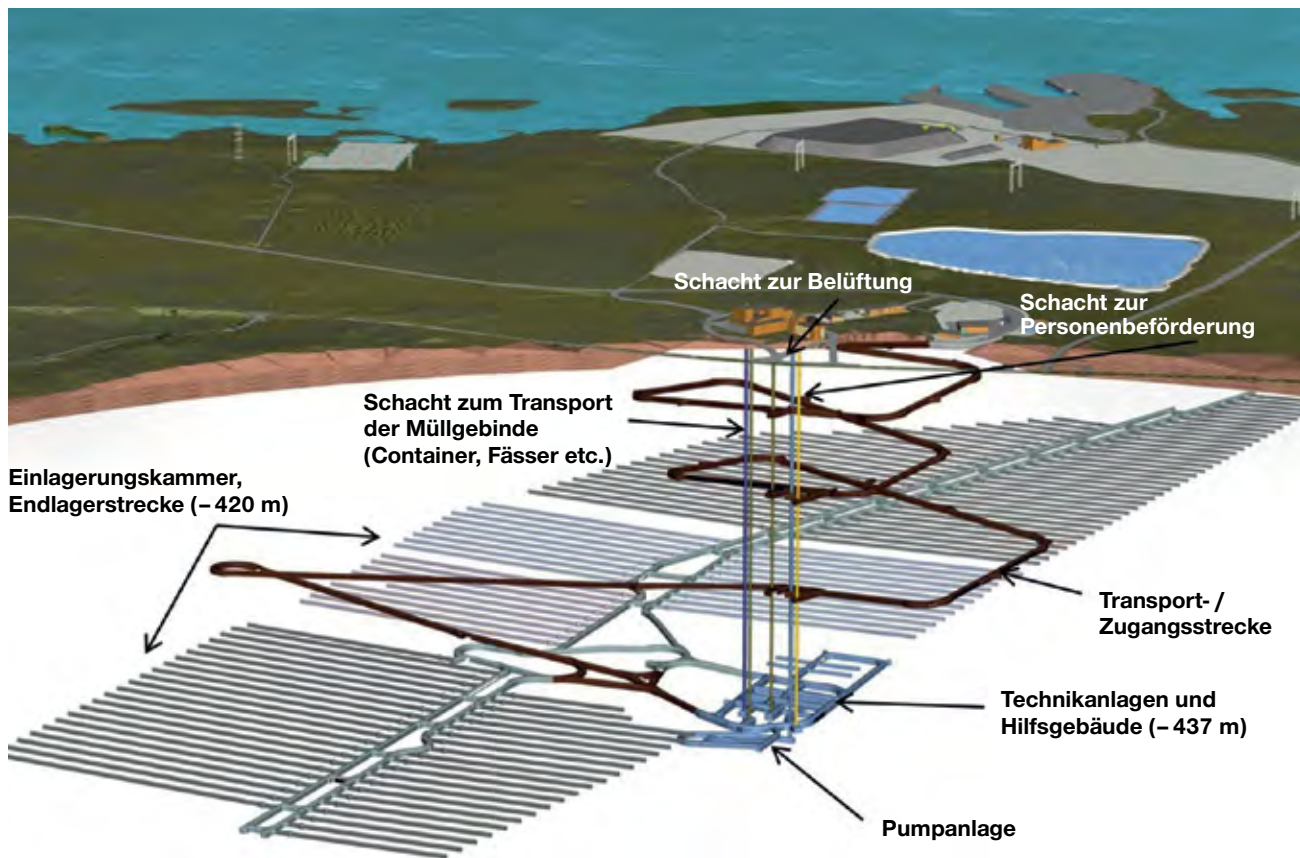


Abb. 2: Skizze des finnischen Endlagers für gebrauchte Brennelemente und andere hochradioaktive Abfälle am Standort Olkiluoto. (Quelle: Posiva Oy)

3.1 Finnland: Dem Ziel am nächsten^[6]

Nach derzeitigem Planungsstand wird Finnland als erstes Land ein Endlager für hochradioaktive Abfälle bzw. gebrauchte Brennelemente in Betrieb nehmen. Schweden wird in geringem zeitlichem Abstand folgen.

In Finnland sind die Betreiber der beiden Doppelblock-Kernkraftwerke Loviisa und Olkiluoto für Schaffung und Betrieb von Endlagern selbst verantwortlich. Der Import und Export von radioaktiven Abfällen ist unzulässig. An beiden Standorten sind bereits Endlager für schwach- und mittlerradioaktiven Abfall in Betrieb. Finnland hat sich von Anfang an gegen die Wiederaufarbeitung und für die direkte Endlagerung gebrauchter Brennelemente entschieden. Für das Endlager für gebrauchte Brennelemente wurde 1995 das gemeinsame Unternehmen Posiva Oy (www.posiva.fi) gegründet, an dem Olkiluoto-Betreiberin TVO 60 Prozent und Loviisa-Betreiberin Fortum 40 Prozent der Anteile halten. Auf Grund eines Regierungsbeschlusses von 1983 wurden von 1986 bis 2000 vier Standorte, darunter die beiden Kernkraftwerksstandorte, in unterschiedlichen Regionen Finnlands obertägig und mit Tiefbohrungen erkundet. Nachdem sich alle diese Standorte als geeignet erwiesen, wählte Posiva zur Minimierung der erforderlichen Transporte Olkiluoto aus. Mit großer Mehrheit unterstützten der Gemeinderat von Eurajoki, in deren Gebiet Olkiluoto liegt, und die ansässige Bevölkerung diese Entscheidung. Die Regierung billigte die Standortwahl im Dezember 2000 und legte eine maximale Kapazität von 4.000 t verbrauchtem Kernbrennstoff fest, ausreichend für die vier in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke über eine Betriebsdauer von 60 Jahren. Das Parlament ratifizierte diese Regierungsentscheidung

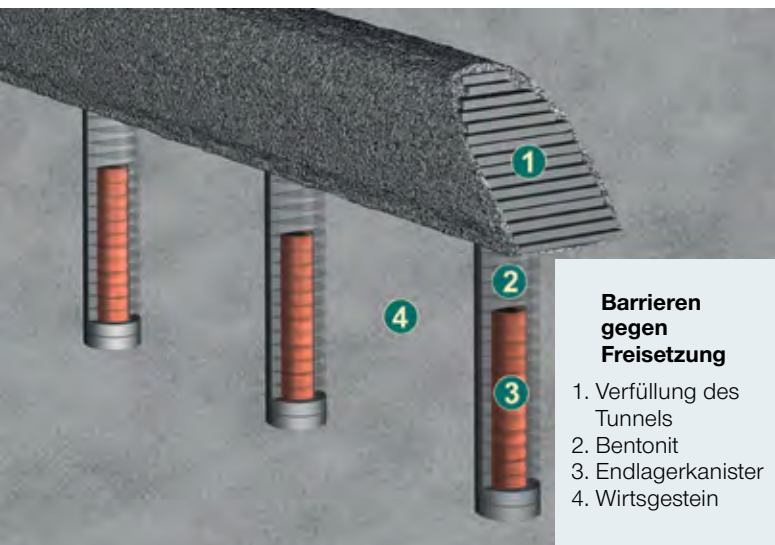
im Mai 2001 mit 159:3 Stimmen nahezu einstimmig, mit Unterstützung auch durch die Mehrzahl der grünen Abgeordneten. Im Zuge der Regierungs- und Parlamentsentscheidung zum Bau des fünften Kernkraftwerks (Olkiluoto 3) im Januar bzw. Mai 2002 wurde eine Erweiterung der Kapazität des Endlagers um den verbrauchten Brennstoff dieses Blockes gebilligt. Die Kapazität ist auf 9.000 t verbrauchten Kernbrennstoff ausgelegt.

Bis zum Jahr 2015 soll das Untertage-Labor Onkalo alle für Genehmigung und Bau des Endlagers erforderlichen Daten liefern, anschließend sollen das Endlager und die zugehörige Konditionierungsanlage errichtet werden. Ende 2012 wurde bei der atomrechtlichen Genehmigungsbehörde STUK die Baugenehmigung beantragt. Ab 2022 soll die Einlagerung in 400–700 m Tiefe in einer Granitformation erfolgen.

Das Einlagerungskonzept ist identisch mit dem schwedischen „KSB-3-Konzept“: Die kompletten Brennelemente werden in gusseiserne Behälter eingebracht, die mit einer fünf Zentimeter dicken Kupferhülle umgeben sind und luftdicht zugeschweißt werden. Das soll die Behälter für mindestens 100.000 Jahre vor Korrosion schützen (Abbildung 3). Die Behälter mit einem Außendurchmesser von 1,05 m und einer Länge von etwa 5 m werden stehend oder liegend in Felsbohrungen eingebracht und die Zwischenräume mit Bentonitringen und -scheiben verfüllt. Das Bentonit schützt gegen Zutritt von Wasser an die Behälter, da es sich bei Aufnahme von Feuchtigkeit ausdehnt und damit etwaige Spalte abdichtet. Die Endlagerung erfolgt rückholbar. Nach etwa 100 Jahren soll das Endlager versiegelt werden. Während der Betriebszeit des Endlagers wird das Verhalten eingelagerter Abfälle im Untertage-Labor beobachtet.



Abb. 3: Jeder Einlagerungsbehälter nimmt mehrere Brennelemente auf. (Quelle: Posiva Oy)



Barrieren gegen Freisetzung
 1. Verfüllung des Tunnels
 2. Bentonit
 3. Endlagerkanister
 4. Wirtsgestein

Abb. 4: Barrieren gegen Freisetzung radioaktiver Stoffe im schwedischen und finnischen Endlagerkonzept. (Quelle: Posiva Oy)

3.2 Schweden: Gleichfalls auf der Zielgeraden

Auch in Schweden ist die Endlagerung in Granit vorgesehen. In Schweden sind, wie in Finnland, die Betreiber der Kernkraftwerke für die Durchführung der Entsorgung verantwortlich. Sie haben hierfür die gemeinsame Gesellschaft SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB, www.skb.se) gegründet, die zugleich für Transporte und Zwischenlagerung zuständig ist. Für schwach- und mittelradioaktive Abfälle der ursprünglich zwölf, jetzt (nach der Stilllegung von Barsebäck) noch zehn Kernkraftwerke betreibt SKB nahe beim Kernkraftwerk Forsmark seit 1988 ein oberflächennahes Endlager etwa 50 m unter der Ostsee. Gebrauchte Brennelemente werden seit 1985 im zentralen Zwischenlager CLAB nahe beim Kernkraftwerk Oskarshamn aufbewahrt.

1977 nahm SKB die Forschungsarbeiten für ein Endlagerkonzept auf und richtete im ehemaligen Eisenerz-Bergwerk Stripa ein Labor für Einlagerungstechnik ein. 1983 veröffentlichte sie in dem Bericht „KBS-3“ ihr Konzept einer Einkapselung gebrauchter Brennelemente, mit dem die natür-

lichen, durch die Gesteinsformation gegebenen Barrieren durch zusätzliche ingenieurtechnische Barrieren ergänzt werden sollen (siehe Abschnitt 3.1 und Abbildung 4). Später verlagerten sich die Forschungsarbeiten auf das bei Oskarshamn in einer Tiefe von 460 m gelegene Hard Rock Laboratory Äspö, das von 1990 bis 1995 errichtet wurde.

Von 1993 bis 2000 führte SKB für acht verschiedene Standorte, die Interesse an der Ansiedlung des Endlagers gezeigt hatten, Machbarkeitsstudien durch. Zwei der Standorte (Storuman und Malå) schieden auf Grund von ablehnenden Gemeinderatsentscheidungen aus. Von den übrigen sechs erschienen fünf als geeignet. Von diesen zog SKB die Standorte Östhammar (bei Forsmark), Oskarshamn und Tierp in die engere Wahl. Die Gemeinderäte von Östhammar und Oskarshamn genehmigten die Durchführung von Erkundungsbohrungen, Tierp lehnte ab und schied damit aus. Nach Abschluss der Erkundung entschied sich SKB im Jahre 2009 für den Standort Östhammar als Endlager – zur Enttäuschung der Gemeinde Oskarshamn. Gleichzeitig wurde aber entschieden, die Einkapselungsanlage in Oskarshamn in unmittelbarer Nachbarschaft des Zwischenlagers CLAB zu bauen. SKB erwartet die Baugenehmigung für das Endlager und die Einkapselungsanlage spätestens 2019. Das Endlager könnte dann etwa 2025 betriebsbereit sein.

3.3 Frankreich: Endlager in Tongestein

Frankreich hat sich für die Wiederaufarbeitung gebrauchter Brennelemente entschieden. Demzufolge sind für das Endlager die hochradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung vorgesehen. Hinzu kommen mittelradioaktive Abfälle mit langer Halbwertszeit wie zum Beispiel Grafitbauteile aus den früheren Gas-Grafit-Reaktoren. Für die direkte Endlagerung von Brennelementen ohne Wiederaufarbeitung wurde die Machbarkeit in Tongestein ebenfalls nachgewiesen. In den 1970er- und 1980er-Jahren gab es verschiedene Versuche der französischen Regierung, potenziell geeignete Standorte für ein Endlager in Ton, Schiefer, Salz und Granit zu untersuchen. Man stieß aber auf große Widerstände, vor allem bei Landwirten, die um die Absatzmöglichkeiten ihrer Produkte fürchteten, falls in ihrer Nähe ein Endlager errichtet würde. 1990 stoppte die Regierung die Standort-suche und beauftragte eine parlamentarische Kommission unter Leitung des Abgeordneten Christian Bataille, einen Vorschlag für das weitere Vorgehen zu erarbeiten. Daraus resultierte ein einstimmig verabschiedetes Gesetz vom Dezember 1991, mit dem die Entscheidung über das Endlagerkonzept auf 2006 verschoben und ein darauf ausgerichtetes Forschungsprogramm definiert wurde, zu dem auch Untertage-Laboratorien in eignungshöffigen Formationen gehören sollten^[7].

Die „Bataille-Mission“ hatte 30 Kommunen gefunden, die zur Aufnahme eines solchen Labors bereit waren. Die nationale Entsorgungsgesellschaft ANDRA (Agence nationale pour la gestion de déchets radioactifs, www.andra.fr) wählte nach Voruntersuchungen daraus drei Standorte aus, zwei davon in Ton, einen in Granit. Im Dezember 1998 genehm-



Abb. 5: Untersuchung der Eigenschaften von Tongestein im Untertage-Labor in Bure, Frankreich. (Quelle: ANDRA)

Die Regierung der ANDRA die Errichtung eines Untertage-Labors in einer 150 Millionen Jahre alten Tonformation bei Bure (an der Grenze zwischen den Departements Meuse und Haut-Marne im Nordosten Frankreichs). Das Labor dient der Untersuchung der Eignung des Standorts für ein Endlager. Auf der Basis der bis 2005 erzielten Ergebnisse („Dossier 2005 Argile“) verabschiedete die Nationalversammlung 2006 ein Gesetz, das bis 2015 den Genehmigungsantrag und bis 2025 die Einrichtung des Endlagers in der Region vorsieht^[8]. Die Abfälle sollen für mindestens 100 Jahre rückholbar sein. Für die Kapazitätsplanung des Endlagers wird eine Betriebsdauer aller bestehenden Kernkraftwerke von 50 Jahren zugrunde gelegt. Daraus ergibt sich ein Volumen von ca. 10.000 m³ bzw. 60.000 Kokillen an hochradioaktiven Abfällen und ca. 70.000 m³ bzw. 180.000 Gebinden an mittelradioaktiven Abfällen mit langer Halbwertszeit.

Auf dem ausgedehnten Gelände der Tonformation von Bure hat ANDRA ein Areal von 30 km² für die ober- und unterirdischen Anlagen des Endlagers Cigéo (Centre industriel de stockage géologique des déchets radioactifs) ausgewählt und im März 2010 die Zustimmung der Regierung erhalten. Die Platzierung der beiden Betriebsgelände (für die Handhabung der Abfallgebände und für den Bau des Zugangstunnels) wurde mit der aus lokalen Vertretern, ANDRA, Industrieunternehmen und dem Staat gebildeten Kommission (Comité de Haut Niveau) im Februar 2013 abgestimmt. Das Projekt Cigéo und das Vorgehen bei seiner Verwirklichung ist in^[9] und^[10] näher beschrieben.

Der Genehmigungsantrag für das Endlager soll im Jahr 2015 gestellt werden. Im Vorfeld fand vom 15. Mai bis zum 15. Dezember 2013 eine öffentliche Debatte über Sinn, Zweck und Grundzüge des Projekts statt (www.debatpublic-cigeo.org).

3.4 Schweiz: Opalinuston im Zürcher Weinland als erste Wahl

In der Schweiz ist die Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, www.nagra.ch) für die Zwischen- und Endlagerung zuständig. Genossenschafter sind der Bund und die Kernkraftwerksbetreiber. Es sind

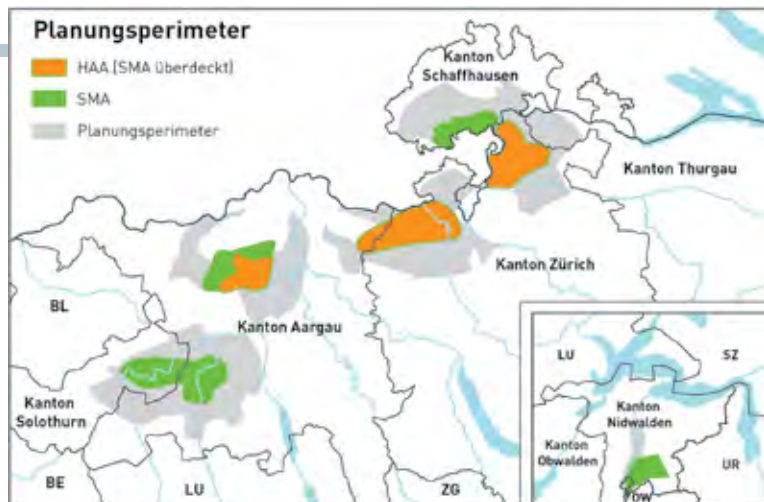


Abb. 6: Mögliche Standortgebiete für Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle bzw. für hochradioaktive Abfälle in der Schweiz. (Quelle: Nagra)

zwei geologische Tiefenlager vorgesehen, eines für hochradioaktive und langlebige mittelradioaktive Abfälle und eines für schwach- und sonstige mittelradioaktive Abfälle.

Für hochradioaktive Abfälle (einschließlich gebrauchter Brennelemente) und langlebige mittelradioaktive Abfälle hat die Nagra im Dezember 2002 bei den schweizerischen Bundesbehörden den Entsorgungsnachweis eingereicht, der sich auf die Erkundung von Opalinuston bei Benken im Zürcher Weinland stützt. Die Dokumentation fußt auf Untersuchungen der Nagra in der Nordschweiz seit Mitte der 1980er-Jahre sowie den Experimenten im Felslabor Mont Terri und belegt die grundsätzliche Machbarkeit der geologischen Tiefenlagerung unter Einhaltung der behördlich vorgegebenen Schutzziele. Nagra weist auch verschiedene Reserveoptionen zum Standort Benken aus. Der Entsorgungsnachweis bedeutet keine Standortwahl. Er begründet jedoch, weshalb dem Opalinuston als Wirtsgestein und dem Zürcher Weinland als Untersuchungsgebiet erste Priorität zukommt. Der Bundesrat (die schweizerische Regierung) hat den Machbarkeitsnachweis 2006 gebilligt und hat am 2. April 2008 im „Sachplan geologische Tiefenlager“ das weitere Vorgehen zur Wahl von je einem Endlagerstandort für schwach- und mittelradioaktive Abfälle sowie für hochradioaktive und langlebige mittelradioaktive Abfälle festgelegt^[11],^[12]. Der Zeitplan sieht den Betriebsbeginn für das erstgenannte Endlager um das Jahr 2030, für das zweitgenannte Endlager um 2040 vor.

Der Sachplan definiert ein Vorgehen in drei Etappen:

- In der ersten Etappe von 2008–2011 war die Festlegung möglicher Standortgebiete vorgesehen, was auch geschah: Die Nagra hat sechs mögliche Standortgebiete benannt, von denen drei für beide Abfallkategorien in Frage kommen. Alle Standorte liegen in der Nordostschweiz in Gebieten mit Opalinuston. Nach Prüfung der Vorschläge durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und die Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) hat der Bundesrat 2011 allen sechs Vorschlägen zugestimmt und sie in den Sachplan aufgenommen.
- In der zweiten Etappe, für die etwa zehn Jahre angesetzt werden, sollen die Vorschläge verglichen und mindestens zwei Standorte ausgewählt werden. Zugleich sollen

mögliche Standortareale für die Oberflächenanlagen festgelegt werden.

- Die dritte umfasst die Standortwahl und das Rahmenbewilligungsverfahren. Daran schließen sich – getrennt für die beiden Tiefenlager – die Baubewilligung für ein Felslabor am gewählten Standort, die Exploration unter Tage, das Baubewilligungsverfahren für das Tiefenlager, der Bau von Lagerkavernen beziehungsweise von Lagerstollen und die Betriebsbewilligung an.

Für das Tiefenlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle wird ein Kavernenvolumen von ca. 100.000 m³ benötigt. Es soll in einer Tiefe von 300–500 m angelegt werden. Das Volumen an hochradioaktiven Abfällen wird bei einer unterstellten Betriebsdauer der fünf Kernkraftwerke von 50 Jahren auf 7.300 m³ geschätzt. Die Einlagerung soll rückholbar erfolgen.

3.5 USA: Zurück auf „Anfang“

In den USA ist bereits seit 1999 ein Endlager nach dem Konzept der geologischen Tieflagerung in Betrieb, nämlich die Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) bei Carlsbad, New Mexico. Es ist nicht für wärmeentwickelnden hochradioaktiven Abfall bestimmt, sondern für transuranische Abfälle aus der Forschung sowie aus der Produktion von Atomwaffen^[13].

Was die Schaffung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle betrifft, hat die Situation in den USA eine gewisse Ähnlichkeit mit der in Deutschland: Ein weit fortgeschrittenes Projekt wurde aufgegeben und nun soll die Standortsuche wieder bei Null beginnen.

Für die Endlagerung von gebrauchten Brennelementen und anderen hochradioaktiven Abfällen war Yucca Mountain vorgesehen. Der gesetzliche Auftrag aus dem Jahr 1982^[14] war, einen geeigneten Standort für eine Kapazität von 70.000 t zu suchen. In den USA gibt es zur Zeit rund 65.000 t gebrauchte Brennelemente von Kernkraftwerken^[15]. Hinzu kommen rund 7.000 t hochradioaktive Abfälle aus dem öffentlichen Bereich. Der Genehmigungsantrag beschränkte sich auf die gesetzlich vorgegebenen 70.000 t, das mögliche Fassungsvermögen von Yucca Mountain wird auf mindestens 130.000 t veranschlagt. Der Standort liegt im Bundesstaat Nevada in der Nähe des ehemaligen Atomwaffen-Testgeländes in einer Wüstenregion. Der für das Endlager vorgesehene Berg besteht aus vulkanischem Schmelz-Tuffstein. Nachdem zunächst eine Reihe von Standorten in verschiedenen Gegenden der USA in die engere Wahl gezogen worden waren, beschloss 1987 der Kongress, nur Yucca Mountain weiter zu verfolgen. Seitdem gibt es in Nevada eine starke Opposition gegen das Projekt; Nye County, der Kreis in dem der Standort liegt, befürwortet aber das Vorhaben bis heute. Nach etwa 20-jähriger Erkundung zog der damalige Energieminister Spencer Abraham im Februar 2002 die Bilanz, dass der Standort nach den vom Energieministerium für Yucca Mountain aufgestellten Kriterien für ein Endlager geeignet sei, und empfahl dem Präsidenten, an diesem Standort ein Endlager zu verwirklichen. Eine entsprechende Absicht teilte der Präsident dem Kongress mit. Abgeordnetenhaus und

Senat billigten die Absicht und verwarfen damit ein Veto des Gouverneurs von Nevada. Am 3. Juni 2008 reichte das Energieministerium die Antragsunterlagen für die Genehmigung des Endlagers bei der Nuclear Regulatory Commission (NRC) ein.

Im Wahlkampf um die Präsidentschaft versprach Barack Obama 2008, das Projekt Yucca Mountain einzustellen. Die Gründe dafür sind nicht fachlicher, sondern politischer Natur (ebenso wie im Fall Gorleben). Bald nach Amtsantritt (20. Januar 2009) gab Obama eine entsprechende Entscheidung bekannt und begann, das Projekt finanziell auszutrocknen. Am 3. März 2010 erklärte das Energieministerium gegenüber der NRC, dass es den Genehmigungsantrag zurückzieht. Politiker verschiedener Bundesstaaten gingen gerichtlich gegen die Einstellung des Genehmigungsverfahrens vor, da dies ein Verstoß gegen den Beschluss des Kongresses sei. Verschiedene Rechtsverfahren sind noch nicht abgeschlossen. Mangels Budgetmitteln ruht das Genehmigungsverfahren seit September 2011.

Im Januar 2010 beauftragte Präsident Obama eine aus Politikern und Fachleuten besetzte Kommission („Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future“), Vorschläge für eine neue Entsorgungsstrategie zu machen. Diese empfahl in ihrem Abschlussbericht vom Januar 2012 die Errichtung eines zentralen Zwischenlagers für gebrauchte Brennelemente, die Schaffung einer selbstständigen Behörde für die Endlagerung gebrauchter Brennelemente und sonstiger hochradioaktiver Abfälle, die Beibehaltung der Zielsetzung der Endlagerung in einem geologischen Tiefenlager und eine Weiterführung der Debatte über eine Wiederaufarbeitung gebrauchter Brennelemente^[15]. Im Januar 2013 legte das Energieministerium seine darauf aufbauende Entsorgungsstrategie vor^[16]. Sie sieht bis 2021 den Bau einer Pilotanlage für ein Zwischenlager, bis 2025 die Fertigstellung des großtechnischen Zwischenlagers und bis 2048 die Fertigstellung des Endlagers vor. Alle Ziele sollen konsens-basiert erreicht werden.

Am 27. Juni 2013 brachte eine aus Senatoren beider Parteien zusammengesetzte Gruppe im Senat den Entwurf für ein als „Nuclear Waste Administration Act“ bezeichnetes Gesetz ein, das den Empfehlungen der „Blue Ribbon Commission“ und der Entsorgungsstrategie der Regierung entspricht^[17].

4 Schlussbemerkung

Die Schaffung von Endlagern für hochradioaktive Abfälle ist, wie an einigen Beispielen gezeigt wurde, kein unlösbares Problem. Einige Länder haben dabei große Fortschritte gemacht^[18]. Drei von ihnen, nämlich Finnland, Schweden und Frankreich, sind dem Ziel bereits nahe. Deutschland wird aus politischen Gründen mit der Standortsuche für ein Endlager von vorn beginnen.

Auch wenn die Einlagerung hochradioaktiver und stark wärmeentwickelnder Abfälle erst dann beginnen kann, wenn die Wärmeentwicklung auf ein bestimmtes Maß zurückgegangen ist, sollte die heutige Generation die Schaffung geeigneter Endlager nicht weiter vor sich herschieben und damit nachfolgenden Generationen aufbürden.

Literatur

- [1] Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und zur Änderung anderer Gesetze (Standortauswahlgesetz – StandAG)
- [2] Website der Untertage-Deponie Herfa-Neurode <http://www.ks-entsorgung.com/standorte/neurode.cfm>
- [3] Radioaktive Abfälle: Abschlussbericht des AkEnd, Dez. 2002, S. 15–16
http://www.bfs.de/de/endlager/faq/langfassung_abschlussbericht_akend.pdf
siehe auch Bundesamt für Strahlenschutz <http://www.bfs.de/de/endlager/abfaelle/prognose.html>
- [4] Abfallentsorgung 2012: Statistisches Bundesamt, S. 24
https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/Ergebnisbericht_Abfallentsorgung.pdf?__blob=publicationFile
- [5] Länderberichte der World Nuclear Association (WNA) <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/>
- [6] Website der Finnischen Behörde für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit STUK: Final waste disposal in Finland.
http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinjatteet/loppusijoitus-suomessa/en_GB/loppusijoitus/
- [7] Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (bekannt als „Loi Bataille“)
<http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=INDX9100071L#>
- [8] Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000240700&dateTexte=>
- [9] Dossier über das geplante französische Endlager Cigéo
http://www.andra.fr/download/site-principal/document/dossiers-de-presse/dp_cigeo_avril_2013.pdf
- [10] Rapport HCTISN vor Debatte 2013 http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/Rapport_GT_Cigeo_vf_cle8a687d.pdf
- [11] Schweizerisches Bundesamt für Energie, Standortsuche für geologische Tiefenlager
<http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/index.html?lang=de>
- [12] Schweizerische Eidgenossenschaft, Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil, 2008
http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/index.html?lang=de&dossier_id=05195
- [13] Website der Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) <http://www.wipp.energy.gov>
- [14] Nuclear Waste Policy Act of 1982 (mit Änderungen) http://energy.gov/sites/prod/files/edg/media/nwpa_2004.pdf
- [15] Bericht der Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, Januar 2012
http://energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/brc_finalreport_jan2012.pdf
- [16] Strategy for the management and disposal of used nuclear fuel and high-level radioactive waste. U.S. Department of Energy, Januar 2013
<http://energy.gov/sites/prod/files/Strategy%20for%20the%20Management%20and%20Disposal%20of%20Used%20Nuclear%20Fuel%20and%20High%20Level%20Radioactive%20Waste.pdf>
- [17] Entwurf „Nuclear Waste Administration Act“, 27. Juni 2013
http://www.energy.senate.gov/public/index.cfm/files/serve?File_id=dc0abb66-3edf-4927-9baa-8bd789e0bee4
- [18] Eine Übersicht über weitere Länder findet sich bei der DBE <http://www.dbe.de/de/unsere-aufgabe/endlagerung-weltweit/europa/index.php>

Es ist untersagt, diese Publikation in ihrer Gesamtheit oder Teile davon, egal in welcher Form, ohne schriftliche Einwilligung zu reproduzieren. Ein Verstoß gegen diese Bestimmungen kann straf- und zivilrechtliche Folgen haben.

Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Abbildungen ähnlich. Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben und Informationen dienen ausschließlich Werbezwecken und stellen kein Angebot zum Abschluss eines Vertrages dar. Sie dürfen weder als Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie noch als Zusicherung einer allgemeinen oder speziellen Beschaffenheit, Gebrauchstauglichkeit oder Eigenschaft verstanden oder ausgelegt werden. Die getroffenen Aussagen beruhen, auch wenn sie zukunftsgerichtet sind, auf Erkenntnissen, die uns zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Publikation zur Verfügung standen. Maßgeblich für Art, Umfang und Eigenschaften unserer Lieferungen und Leistungen ist ausschließlich der Inhalt konkreter Verträge.

Herausgeber und Copyright (2014):
AREVA GmbH
Unternehmenskommunikation C-G

Paul-Gossen-Straße 100
91052 Erlangen, Deutschland
Tel. +49 9131 900 93300
Fax: +49 9131 900 94411

unternehmenskommunikation@areva.com
www.areva.com

Redaktion: Wolfgang Breyer, kerntext