

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

**Beratungsunterlage zu TOP 3
der 6. Sitzung**
Zusammenfassung des Kurzvortrages
von Dr. Walter Steininger

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. 74</p>
--

6. Sitzung der Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ am 5.12.2014
Themenschwerpunkt „Internationale Erfahrungen“

Aktuelle internationale Forschungsschwerpunkte

Walter Steininger
Projektträger Karlsruhe

Endlagerprojekte sind vielschichtig und komplex: dies ist durch die Abhängigkeit von technisch-wissenschaftlichen und sozio-technisch-ökonomischen Bedingungen, deren Wechselwirkungen, sowie durch sehr lange Projektlaufzeiten gegeben. Daraus resultieren die großen Herausforderungen im Verlauf eines solchen Projektes.

Die Art und Weise der international vorgesehenen und angewandten Praxis bei der Realisierung eines Endlagers für hoch radioaktive Stoffe (Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung) in tiefen geologischen Formationen (in mehreren hundert Metern Tiefe) ist das Vorgehen in Stufen und Phasen. Der stetige Bezug zur Sicherheitsbewertung des Endlagersystems ist in jeder Stufe einzuhalten: das Primat der Sicherheit zählt.

In der Regel erfolgt die Umsetzung eines Projektes wie dies in Abbildung 1 illustriert wird. Abweichungen können, abhängig von nationalen gesetzlichen Randbedingungen, auftreten. Die Stufen enthalten Phasen, deren unterschiedliche Dauer durch den Einfluss wissenschaftlich-technischer und nicht-technischer Maßnahmen (z.B. Genehmigungen), bestimmt ist. /1/, /2/

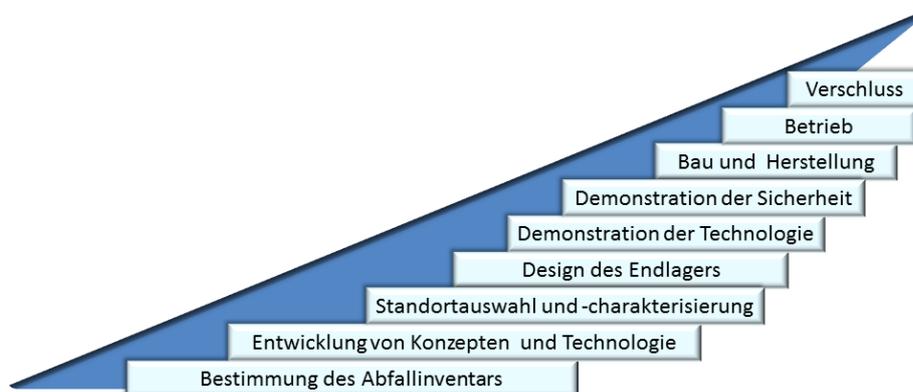


Abb. 1: Stufenweise Umsetzung der Realisierung eines Endlagers in tiefen geologischen Formationen (nach /5/)

Forschung

Eine nationale Endlagerorganisation (Waste Management Organisation (WMO), Vorhabenträger) ist im Kreis der Akteure im Umfeld eines Endlagerprojekts für dessen Umsetzung verantwortlich. Ziele des Auftrages sind: Bau, Betrieb und Verschluss eines Endlagers und die Bereitstellung der dafür notwendigen Grundlagen für die

Sicherheitsnachweise sowie die Anträge für die Genehmigungen. In der Regel ist die WMO auch für die spezifischen wissenschaftlich-technisch orientierten Aufgaben zuständig. Ein weiterer wesentlicher Akteur ist die Regulierungsbehörde, die funktional getrennt und unabhängig von der nationalen Endlagerorganisation agiert (EU-Richtlinie) /4/. In Schweden wird beispielsweise das Forschungsprogramm im dreijährigen Rhythmus durch die schwedische Endlagerorganisation SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) verfasst und der Regulierungsbehörde SSM (Strålsäkerhetsmyndigheten) vorgelegt, die es begutachtet und der Regierung vorschlägt. In Kraft tritt dieses Programm erst nach einer erneuten positiven Begutachtung durch unabhängige Gutachter.

Jedes Endlagerprojekt wird von einem Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations- (FED) Programm als Mittel zur Umsetzung dieser Aufgaben begleitet. Dabei ist generell darauf zu achten, dass die notwendigen institutionellen Forschungsressourcen verfügbar sind. Auch in einem FED-Programm spiegelt sich üblicherweise die stufen- und phasenweise Vorgehensweise wider, d.h., dass mit zunehmendem Reifegrad des Endlagerprojektes auch das Forschungsprogramm anzupassen sein wird. Mit zunehmendem Voranschreiten im Endlagerprojekt – ausgehend von grundlagenorientierten, nicht standortspezifischen (sogenannte generische) Untersuchungen – gewinnen die standortspezifisch-ausgelegten Arbeiten nach der Standortauswahl zunehmend an Bedeutung. Die FED-Programme werden zeitlich-inhaltlich ausgerichtet, d.h. eine Fokussierung auf FED-Schwerpunkte geht damit in diesen Phasen einher. Eine Fortführung von Forschungsaktivitäten wird auch für die Phasen nach der Genehmigung eines Endlagers notwendig bleiben und wird auch in der Betriebsphase, konzeptbedingt und z.B. fokussiert auf genehmigungsbedingte Sicherheitsnachweise, -fortzuführen sein. /3/

	Generische Untersuchungen und Konzeptentwicklung	Auswahl von Wirtsgestein und Standort	Technologieentwicklung und Endlagerdesign	Technologieentwicklung und Endlagerbau	Fertigung im industriellen Maßstab und Endlagerbetrieb
Sicherheitsstrategie und Methodik	Entwicklung der Methodik für die Sicherheitsbewertung	Anwendung der Methodik im Sicherheitsnachweis und Verbesserung der Methoden	Anwendung der Methodik im Sicherheitsnachweis und Verbesserung der Methoden	Anwendung der Methodik im Sicherheitsnachweis	Anwendung der Methodik im Sicherheitsnachweis
Langzeitsicherheit: wissenschaftliche und technische Basis	Grundlagen orientierte Forschung	Fokussierte Forschung zu Wirtsgesteins- und EBS-Aspekten	In Situ Experimente und Verbesserung der Datenbasis/ Systemverständnis	Forschung fokussiert auf Restthemen, großmaßstäbliche In Situ Experimente und Komponententests	Untersuchung des Komponentenverhaltens unter Standortbedingungen Monitoring
Anlagen- und Komponenten Design	Untersuchung von Konzeptvarianten	Auf spezifische Wirtsgesteine zugeschnittene Endlagerkonzepte	Komponenten- und Entwurfsdesign Studien zur Betriebs-Sicherheit	großmaßstäbliche Prototypen sind konstruiert großtechnischer Entwurf	Produktion im Großmaßstab und Betrieb
Standort-spezifische Eigenschaften	Erkundung potenzieller Wirtsgesteine auf der Grundlage verfügbarer Informationen	Wirtsgesteincharakterisierung und standortspezifische Untersuchungen	Detaillierte Standortcharakterisierung Auffahrung	Bau wichtiger untertägiger Einrichtungen, Bestimmung der Gesteinseigenschaften für das endgültige Design	Bau, Bestätigung des bestimmungsgemäßen Verhaltens Monitoring

Forschung , Entwicklung, Demonstration

Abb. 2: Realisierung eines Endlagerprojektes durch ein Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations- (FED) Programm (nach /5/)

Abb. 2 zeigt die auf internationaler Erfahrung beruhende, allgemeine Einteilung in der Vorgehensweise, die bei der Entwicklung eines Endlagers angewendet wird. Die FED-Aktivitäten (helle Felder) reflektieren den aktuellen Stand der Technik in der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen. Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass mit zunehmender Programmreife diejenigen Aktivitäten, die sich mit der eigentlichen Standortcharakterisierung befassen, abnehmendes Gewicht bekommen. Zunehmend an Bedeutung gewinnen aber die Aktivitäten, die mit der sog. On-site confirmation, d.h. der standort-/wirtsgesteinspezifischen Bestätigung (z.B. Wissenstand, Daten, Eigenschaften des Standortes, Prozesse), einhergehen. In dieser Phase steht die Klärung system- und konzeptspezifisch notwendiger Fragestellungen, vor allem im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis, im Fokus; davon werden auch die FED-Aktivitäten zunehmend dominiert. Auch die Sicherheitsnachweise (Safety Case) werden in der Regel dem stufenweisen Vorgehen folgen.

Beispielsweise liegt in der Stufe „Generische Untersuchungen und Konzeptentwicklung“, hinsichtlich der „Standortspezifischen Eigenschaften“ der Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten auf der Erkundung potenzieller Wirtsgesteine. In der nächsten, zeitlich und wissensbestimmt fortgeschrittenen Stufe, liegt der Fokus bereits auf der Charakterisierung der ausgewählten wirtsgesteins- und standortspezifisch ausgerichteten Untersuchungen. Grundlagen orientierte Forschung dient in der Stufe „Generische Untersuchungen und Konzeptentwicklung“, dazu, die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für die Bewertung der Langzeitsicherheit bereitzustellen. In der nächsten Stufe werden wirtsgesteinsspezifische und die technische Barrieren betreffende Fragestellungen behandelt.

Jede Stufe ist damit mit Forschungsaktivitäten unterschiedlichen Detaillierungsgrades, Inhalts und Tiefgangs untersetzt, die durch eine Vielzahl von naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen durchzuführen sind. Begleitet werden nationale Aktivitäten durch internationale Kooperationen mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung und Zielstellung, um wissenschaftliche, technische, sicherheitstechnische und auch finanzielle Synergien zu nutzen.

Dieses schrittweise Vorgehen in einem FED-Programm hat große Vorteile. Erstens kann auf unvermeidbare Einflüsse von außen und Wechselwirkungen im Prozess reagiert werden, zweitens ist anfängliches großes Detailwissen zur Bearbeitung der Probleme nicht notwendig und kann im Zuge der Weiterentwicklung erreicht werden. Konsequenterweise ist daher Flexibilität ein wichtiges Merkmal von FED-Programmen, um sowohl für Neues offen zu sein, als auch korrigierend auf evtl. Fehlentwicklungen oder Fehler zu reagieren.

Siting

Der im angelsächsischen verwendeten Begriff „Siting“ ist ein umfassender, weil er den ganzen Prozess der Auswahl eines passenden Standorts für ein Endlager beschreibt /1/. Er besteht aus den Phasen „Konzept und Planung“, „Standortauswahl“, „Standortcharakterisierung“ und „Standortbestätigung“. Die in Abb. 1 angeführte Stu-

fe ist die wesentliche, weil sie im Realisierungsprozess eines Endlagerprojektes die größten Herausforderungen mit sich bringt.

Der Reifegrad in der Realisierung von Endlagerprojekten für hoch radioaktive Stoffe in Europa und auch weltweit ist sehr heterogen. Wird der Fortschritt eines Endlagerprojektes daran gemessen, dass sowohl aus wissenschaftlich-technischer Sicht als auch unter Einbeziehung aller Begleitmaßnahmen (z.B. politisch-regulatorisch-partizipativ) der endgültige Standort ausgewählt wurde, dann sind die Endlagerprojekte in Finnland und Schweden weltweit führend und am weitesten fortgeschritten. Es folgen die Projekte der Schweiz, Frankreich, Ungarn und Tschechien, die im Standortauswahlprozess bereits weit fortgeschritten sind und Standortregionen ausgewählt bzw. deutlich eingegrenzt haben.

Ausschließlich unter wissenschaftlich-technischen Gesichtspunkten betrachtet, sind aus heutiger Sicht die für Auswahl, Charakterisierung und Bestätigung eines Standortes verfügbaren Methoden, Techniken und Verfahren der geowissenschaftlichen Disziplinen weitgehend vorhanden und werden in den Endlagerprojekten eingesetzt.

Für die untertägige Standortcharakterisierung sind, je nach wissenschaftlicher Fragestellung, disziplinabhängige Verfahren und Methoden zu verwenden (z.B. aus Hydrologie, Geo-/Radiochemie, Geologie, etc.), die dem Stand der Technik entsprechen sollen. Dies hat die stetige, durch Forschung begleitete Weiterentwicklung im Rahmen der Programmdurchführung zur Folge.

Forschungsschwerpunkte

In allen nationalen Endlagerprogrammen weltweit ist die Endlagerung von hoch radioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen vorgesehen. Die dafür geeigneten Konzepte (bezogen auf das Endlagersystem, Barrieren, Verschlussysteme, Behälter, etc.) sind entweder grundsätzlich entwickelt oder befinden sich in der Entwicklung.

Alle internationalen Endlagerprojekte haben, unabhängig von ihrem individuellen Fortschritt, ein auf das favorisierte Konzept (bezogen auf das Endlagersystem) abgestimmtes FED-Programm. Daher werden auch die Anteile Forschung, Entwicklung und Demonstration, und damit die Hauptgewichte, programmspezifisch unterschiedlich sein. Für alle Programme wichtige Schlüsselthemen, die durch angemessene Forschung grundsätzlich und programmspezifisch prioritär zu bearbeiten sind, werden in der Strategischen Forschungsagenda der europäischen Technologieplattform „Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste“ /4/ aufgeführt. Diese Themen sind:

- Verschluss- und Versiegelung des Endlagers (Schacht-, Strecken-, Bohrlochverschlüsse als geotechnische Barrieren): Entwicklung und Test der Technik, Nachweis der Machbarkeit und der Sicherheit
- Verhalten der technischen Barrieren (Behälter) und der Abfälle

- Verhalten des Wirtsgesteins (in Hinsicht z.B. auf thermische, mechanische, hydraulische, geochemische Beeinflussungen)
- Betrachtungen zum Langzeitverhalten (Evolution) des Endlagers im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis (z.B. Klimaänderungen)
- Einfluss von Mikroben
- Monitoring des Endlagers

Viele der FED-Aktivitäten sind einerseits standortspezifisch, d.h. national zu bearbeiten, andererseits werden sie – soweit sinnvoll und als notwendig erachtet - auch im Kontext internationaler Kooperationen (bilateral, multilateral) durchgeführt. In den meisten solcher internationaler Aktivitäten sind deutsche Einrichtungen involviert.

Ein wesentlicher Teil dieser Kooperationen besteht in der Beteiligung an gemeinsamen Experimenten in Untertagelaboren, in denen unter weitgehend realitätsnahen, d.h. auch für ein zukünftiges Endlager geltende, Bedingungen gearbeitet werden kann. /5/ Arbeiten zu den genannten Schwerpunkten werden in der Schweiz in den Felslaboren Grimsel (Kristallingestein) und Mont Terri (Tongestein) sowie in Frankreich im Untertagelabor Meuse/Haute Marne (Bure, Tongestein), in Schweden im Hard Rock Laboratory Äspö (Kristallingestein) und in Finnland im ONKALO(Kristallingestein) durchgeführt.

Finnland und Schweden mit den weltweit am weitest fortgeschritten Endlagerprogrammen

Die Standorte in Finnland (Olkiluoto) und Schweden (Forsmark) sind ausgewählt. Die für die Genehmigung notwendigen standortspezifischen Sicherheitsanalysen wurden erstellt, die Genehmigungen für den Bau wurden eingereicht und der Beginn der Bauphase ist absehbar.

Die Forschungsschwerpunkte der FED-Programme sind in diesen beiden Endlagerprojekten jetzt auf das standortspezifische Endlagersystem und seine Beschreibung fokussiert: die Sicherheitsanforderungen sind zu erfüllen. /6/ Der Fokus ist auf folgendes gerichtet: Wirtsgesteincharakterisierung und Charakterisierung der geologischen Barriere am Standort, Untersuchungen zum Langzeitverhalten (Evolution) des Endlagersystems sowie Untersuchungen zu den technischen und geotechnischen Barrieren.

Die Wirtsgesteinscharakterisierung erfolgt dabei sowohl an der Oberfläche als auch Untertage. Wesentliche Bestandteile der Untersuchungen sind das Umweltmonitoring von der Oberfläche aus, das im Umkreis des Standortes (Fauna, Flora, Grundwasser-/Wassersystem) erfolgt. Damit sollen die Grunddaten (Referenzdaten) ermittelt, die u.a. dazu dienen sollen die Evolution des Standortes über lange Zeiten modellmäßig zu beschreiben.

In Finnland wird mit ONKALO in 450 m Tiefe eine Einrichtung gebaut, die einer sehr fortgeschrittenen Form eines direkt am Standort und in der geologischen Formation liegenden Untertagelabors entspricht und sich genau in der Tiefenlage befindet, in

der das spätere Endlager errichtet werden soll. Wirtsgesteincharakterisierung und Grundwasserverhalten, zwei der wichtigsten Untersuchungen, erfolgen damit direkt vor Ort. Auch Studien zur Reaktion des Systems auf die Auffahrung des Bergwerks sowie der Test baulicher Maßnahmen und Designstudien sind vorgesehen.

Aufgrund der langen zu betrachtenden Zeiträume werden Klimaänderungen (u.a. der Einfluss von Eiszeiten) und die damit zusammenhängenden Folgen für Endlagersysteme im Hinblick auf die sicherheitstechnische Bewertung generell in Endlagerprogrammen, wenn auch mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad, betrachtet. Im finnischen und schwedischen Endlagerprojekt ist ein wesentliches zu betrachtendes Szenario „Einfluss und die Auswirkung zukünftiger Eiszeiten auf das Langzeitverhalten des Endlagersystems und seiner, insbesondere technischen, Komponenten (Behälter, Verschlüsse)“. Nun sind nicht alle Phänomene und Prozesse aufgrund der Dauer ihres Ablaufs in endlicher Zeit im Labor experimentell nachzustellen. Zur begleitenden Unterstützung von Laboruntersuchungen und Experimenten in Untertage-labors werden Studien von Naturanaloga (Natürliche Systeme, in denen ähnliche Prozesse, wie sie in einem Endlager erwartet werden, vorkommen) betrachtet. Dieser Ansatz wird im internationalen Vorhaben „Greenland Analogue Project“ (unter Beteiligung kanadischer, amerikanischer, schwedischer und finnischer Wissenschaftler) verfolgt, in dem solche Phänomene anhand von Untersuchungen (Bohrkerne, Grundwasser) an einem Gletscher in Grönland studiert werden. Die Ergebnisse dieses Projektes fließen in die entsprechenden Modelle und Sicherheitsbewertungen für die Standorte mit ein. /7/

Im Fokus nicht nur der finnisch/schwedischen FED-Aktivitäten, sondern auch der Aktivitäten einer Reihe anderer Endlagerprojekte stehen die Untersuchungen, die sich mit technischen Problemen und der Machbarkeit von Verschlussystemen auseinandersetzen. Dies ist eine besondere Herausforderung, weil zum einen die industrielle Machbarkeit gezeigt werden soll und zum anderen Informationen und Daten zu gewinnen sind, die es gestatten, das Verhalten unter Endlagerbedingungen zu studieren und damit über längere Zeiträume Aussagen zu machen, so dass damit eine Unter-setzung sicherheitsrelevanter Anforderungen erfolgen kann. Im zurzeit maßgeblichen internationalen, durch die Europäische Kommission mitfinanzierten, Projekt DOPAS (Full Scale Demonstration of Plugs and Seals) werden in Technikumsversuchen und in Untertagelaboren in großmaßstäblichen Experimenten diese Fragestellungen bearbeitet. /8/

Fazit

Bei Betrachtung der internationalen Vorgehensweise zur Durchführung von Endlagerprojekten – insbesondere bei den fortgeschrittenen Programmen - zeigen sich folgende Gemeinsamkeiten:

- stufen-/phasenweises Vorgehen bei der Realisierung eines Endlagerprojektes unter Berücksichtigung sowohl der technisch-wissenschaftlichen als auch der nicht-technischen Aspekte (u.a. Berücksichtigung gesetzliche Rahmenbedingun-

gen, organisatorischer Verantwortlichkeiten, Begleitprozesse, Öffentlichkeitsbeteiligung),

- fundiertes, flexibles, den Reifegrad des Projektes spiegelndes Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrations-Programm, das eine prioritätengesteuerte Vorgehensweise ermöglicht,
- Peer Nationaler und internationaler Peer Review der Endlagerprojekte, der FED-Programme und der Sicherheitsnachweise,
- Internationale Kooperation ist für die Umsetzung nationaler Endlagerprojekte notwendig, weil z.B. wissenschaftlich-technische, sicherheitsbezogene sowie finanzielle Synergien genutzt werden können, Informations- und Erfahrungsaustausch zu Endlagerprogrammen, Endlagerkonzepten und Forschungsfragen erfolgen kann und eine Möglichkeit besteht, den Wissensstand im internationalen Bereich zu bestätigen.

Referenzen

- /1/ Geological disposal facilities for radioactive waste: specific safety guide, Vienna, International Atomic Energy Agency,
- /2/ Aspekte eines Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle, Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung – DAEF, Oktober 2014
- /3/ P. Zuidema, Challenges in Establishing a National Programme for Research, Development and Demonstration, EURADWASTE 2013, Vilnius
- /4/ RICHTLINIE 2011/70/EURATOM DES RATES vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, L 199/48 Amtsblatt der Europäischen Union 2.8.2011
- /5/ Strategische Forschungsagenda, www.igdtp.eu
- /6/ Underground Research Laboratories (URL): Radioactive Waste Management NEA/RWM/R(2013) 2, February 2013, www.oecd-nea.org
- /7/ Forschungsprogramme, z.B.
- Schweden: TR-13-18 RD&D Programme 2013 Programme for research, development and demonstration of methods for the management and disposal of nuclear waste, September 2013
- Finnland: Nuclear Waste Management at Olkiluoto and Loviisa Powerplant: Review of Current Status and Future Plans for 2013-2015, Posiva Oy, May 2013
- /8/ Greenland Analogue Project, www.skb.se
- /9/ Dopas, www.posiva.fi/dopas