

Unterirdische Endlagerung aus internationaler Sicht

Bericht über das IAEA-OECD/NEA-Symposium in Otaniemi/Finnland

Vom 2. bis 6. 7. 79 veranstalteten IAEA und OECD/NEA in Otaniemi bei Helsinki/Finnland das „Internationale Symposium über die untertägige Lagerung von radioaktiven Abfällen“, wel-

Die fünfte Veranstaltung in der Reihe der seit 1965 von IAEA und OECD gemeinsam veranlaßten Symposien zu Entsorgungsfragen ließ eine weltweite Übereinstimmung über die Eignung der untertägigen Lagerung radioaktiver Abfälle erkennen. Alle Kernenergieländer haben Studien und Versuchsprogramme unternommen, deren bisherige Ergebnisse auf annehmbare Lösungsmöglichkeiten hinweisen. Neben dem Überblick über die nationalen Programme bot sich Gelegenheit für einen Informationsaustausch über technische, wissenschaftliche und juristische Aspekte der verschiedenen Entsorgungsvarianten.

ches von den finnischen Gastgebern hervorragend organisiert war.

In zehn Sitzungen wurden 69 Vorträge vor etwa 420 Teilnehmern aus 35 Staaten und sechs internationalen Organisationen gehalten. Die Schwergewichte lagen in der Darstellung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der einzelnen Staaten und der jeweiligen nationalen Endlagerungskonzepte sowie in Untersuchungen über die Endlagerung in Steinsalzformationen, in kristallinen und in Sedimentgesteinen. Mit den thermischen Auswirkungen wärmeentwickelnder Abfälle auf die jeweilige geologische Formation beschäftigten sich neun Vorträge. Der

Anschrift der Verfasser:

Dr. K. Kühn, Dipl.-Chem. E.-P. Uerpmann, Institut für Tieflagerung der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Wissenschaftliche Abteilung, Berliner Str. 2, 3392 Clausthal-Zellerfeld.

Migration von Radionukliden widmeten sich sieben Arbeiten, Sicherheitsbeurteilungen und Genehmigungsfragen wurden in zehn Vorträgen diskutiert.

Insgesamt wurde der Eindruck vermittelt, daß sich in allen Ländern, in denen Kernenergie zur Stromerzeugung benutzt wird oder werden soll, umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen in Bearbeitung finden. Damit hat sich diese Methode weltweit durchgesetzt. Unterschiedlich ist natürlich der Stand der einzelnen nationalen Programme. Die führenden Länder, wie die USA und die Bundesrepublik Deutschland, haben baureife Konzepte entwickelt. Solche Länder, welche mit der Nutzung der Kernenergie erst beginnen wollen, wie z.B. Dänemark, Iran oder Polen, haben ihre Programme zur Endlagerung radioaktiver Abfälle erst vor kurzem begonnen.

Die nationalen Programme werden im folgenden kurz dargestellt.

Europäische Gemeinschaften (2 Vorträge)

Ein Teil des Programms der Europäischen Gemeinschaften wird von der *Gemeinsamen Forschungsstelle* in Ispra bearbeitet. Dabei handelt es sich um experimentelle Arbeiten zur Ausbreitung von langlebigen Radionukliden in geologischen Formationen und um die Erstellung einer Methode für Störfall- und Sicherheitsanalysen für Endlager in geologischen Formationen.

Der weitaus größere Teil des EG-Programms wird in Form einer Beteiligung an den jeweiligen nationalen Programmen der Mitgliedsstaaten abgewickelt. Die Beteiligung ist dabei sowohl finanzieller als auch kommunikativer Art, so daß allen Mitgliedsstaaten alle F&E-Ergebnisse der Partner zur Verfügung stehen. Im Rahmen dieser Programme untersuchen Frankreich und Großbritannien kristalline Gesteine mit dem Schwerpunkt Granit, Belgien und Italien Tonformationen sowie die Niederlande und die Bundesrepublik Deutschland Salzstöcke für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Bundesrepublik Deutschland (7 Vorträge)

Das Ziel des Programms der Bundesrepublik Deutschland bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle ist die Errichtung eines Endlagers im Salzstock von Gorleben innerhalb eines integrierten Entsorgungszentrums. Die *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* ist für dieses Vorhaben verantwortlich. Die Mehrzahl der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen wird von der Entwicklungsgemeinschaft Tief Lagerung sowie von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ausgeführt. Das *Salzbergwerk Asse* spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle als Pilotanlage und Versuchsfeld.

Das bundesdeutsche Endlagerkonzept schließt die Injektion tritiumhaltiger Abwässer in geeignete geologische Formationen und die Sicherstellung des abgetrennten gasförmigen Krypton-85 in oberflächennahen Bauwerken am Standort des Entsorgungszentrums ein. Weitere Endlagermöglichkeiten werden im Rahmen von F&E-Vorhaben untersucht, so z.B. die Einlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen in Salzkavernen, die Eignung des stillgelegten *Eisenerzbergwerkes Konrad* als Endlager für Abfälle aus Kernkraftwerken und aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen sowie die Entwicklung eines in situ-Verfestigungsverfahrens für schwach- und mittelradioaktive Abfälle.

Die zunehmende internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Endlagerung unterstützt das Programm der Bundesrepublik Deutschland wesentlich.

Belgien (2 Vorträge)

Die belgischen F&E-Arbeiten beziehen sich auf die Eignungsuntersuchungen einer Tonformation, welche sich unter dem Forschungszentrum von Mol befindet. Sie beinhalten Geländeuntersuchungen, experimentelle Arbeiten mit Modellsubstanzen und mathematische Modelle. Dabei werden geologische, geophysikalische, hydrogeologische, chemische und mineralogische Untersuchungen über die Tonschichten durchgeführt. Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit Möglichkeiten des Ionenaustausches, mit geomechanischen Fragestellungen und mit der Migration von Ionen. Ein erstes Konzept der Auslegung eines Endlagers in der Tonformation liegt vor. Zu dessen Vorbereitung soll in Kürze eine experimentelle Einlagerungsstation am vorgesehenen Standort errichtet werden.

Dänemark (1 Vortrag)

Im Auftrag der dänischen Elektrizitätsversorgungsunterneh-

men sollen in einem zweijährigen Untersuchungsprogramm einige dänische Salzstöcke ausgewählt und untersucht werden. Das Programm soll sicherstellen, daß ein Salzdom für die Endlagerung von hochradioaktivem Abfall geeignet ist. Die Arbeiten werden sich auf geologische, geophysikalische und hydrogeologische Untersuchungen erstrecken. Daneben wird Materialprüfung betrieben, um Basisdaten für Planung und Sicherheitsdokumentation der Einlagerung bereitzustellen.

DDR (2 Vorträge)

In der DDR werden seit einigen Jahren schwach- und mittelaktive Abfälle im Endlager von Morsleben eingelagert. Dieses Endlager befindet sich im Salzsattel von Bartensleben nahe der Grenze zur Bundesrepublik. Auch übergreifende Forschungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle werden dort durchgeführt. Die beiden angekündigten Vorträge wurden leider kurzfristig zurückgezogen.

Finnland (3 Vorträge)

Finnland besitzt zwei Kernreaktoren und zwei weitere befinden sich im Bau. Eine Planungsstudie zur Endlagerung wurde 1977 begonnen. Erste vorläufige Ergebnisse zeigen, daß die Möglichkeiten, hochradioaktive Abfälle tief in bestimmte Formationen des finnischen Grundgebirges einzulagern, verhältnismäßig gut sind. Außerdem besteht die Möglichkeit, stillgelegte Bergwerke für die Einlagerung schwachradioaktiver Abfälle zu benutzen. Die lockeren Quartärlagerungen Finnlands kommen nur für die Vergrabung äußerst niedrig aktiver Abfälle in Betracht.

Frankreich (5 Vorträge)

Neben der Vorstellung der laufenden Labor- und Modelluntersuchungen zur Nutzung von Granitmassiven (hauptsächlich zur Wärmeausbreitung und Nuklidretention) berichteten die Franzosen über neuere Ergebnisse vom Oklo-Naturreaktor und deren Schlussfolgerungen auf die Endlagerung sowie über die Kapillarkwirkung von Sanden unterschiedlicher Körnungen, die als zusätzliche Sicherheitsbarrieren bei gewissen Endlagertechniken Verwendung finden können.

Großbritannien (6 Vorträge)

Die gegenwärtig geübte Praxis schließt die Benutzung der oberflächennahen Vergrabung von schwachradioaktivem Abfall ein. Forschungsarbeiten zur Eignungsanalyse geologischer Formationen innerhalb Großbritanniens im Hinblick auf eine sichere Art der Einlagerung langlebiger Abfälle höherer Aktivität wurden begonnen, wobei sich das Interesse auf Granitmassive konzentriert. Darüber hinaus werden alle Möglichkeiten beurteilt, damit man der besten Lösung des nationalen Bedarfs näherkommt. Eine detaillierte Systemanalyse der Abfälle, ihrer Endlagerungsanforderungen und der Endlagermedien einschließlich der Versenkung im Meer wurde angeregt mit dem Ziel, die Beurteilung innerhalb des nächsten Jahrzehntes fertigzustellen.

Indien (1 Vortrag)

Seit einer Reihe von Jahren arbeiten in Indien an verschiedenen Orten Anlagen zur Zwischen- und Endlagerung von festem schwach- und mittelradioaktivem Abfall. Für die Endlagerung von verfestigtem hochradioaktivem Abfall sind die Arbeiten so weit fortgeschritten, daß eine Eingrenzung möglicher Lagerorte auf einige wenige Kandidaten erfolgt ist. Im einzelnen werden magmatische Basisgesteine, Basalt und metamorphe Gesteine, aber auch Sedimentgesteine untersucht.

Iran (1 Vortrag)

Beruhend auf den geologischen und seismotektonischen Gegebenheiten des Landes wurden fünf Gebiete für zukünftige Untersuchungen vorgeschlagen. Es wird vermutet, daß im Vergleich mit Salz- und Tonformationen Granite im Iran die geeignetsten Einlagerungsgesteine bilden, da diese in ihrer Einheitlichkeit, Stabilität und Abmessung bekannt sind.

Italien (1 Vortrag)

Die Eignungsuntersuchungen an Tongestein als geologisches Lagermedium für langlebige Abfälle werden in Zusammenarbeit mit den *Europäischen Gemeinschaften* ausgeführt. Untersucht werden die Temperaturverteilung innerhalb der geologischen Formation, die geochemischen Barrieren und die Analyse der Arbeitsvorgänge bei der Einlagerung.

Japan (1 Vortrag)

In Japan beginnt man ebenfalls mit der Suche nach geologischen Formationen, welche sich für eine Endlagerung radioaktiver Abfälle eignen könnten. Die Forschungsvorhaben beschäftigen sich mit Auslaugversuchen an simulierten hochradioaktiven Glasprodukten bei höherer Temperatur und höheren Drücken. Erste Temperaturversuchsfelder mit elektrischen Erhitzern und beschreibende Rechenmodelle wurden erstellt. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf Granitformationen.

Kanada (4 Vorträge)

Das kanadische Programm berücksichtigt die Endlagerung abgebrannter Brennelemente und abgetrennter verfestigter Abfälle in Gesteinsformationen des Kanadischen Schildes mit dem Schwergewicht auf Granitintrusionen. Das Entwicklungsprogramm wird etwa zwanzig Jahre benötigen und schließt verschiedene Regierungsstellen, Universitäten und die Industrie ein.

Die erste Phase hat das Ziel, das zugrunde gelegte Konzept einer Endlagerung im tiefen Untergrund des Kanadischen Schildes durch geowissenschaftliche Untersuchungen in seiner Richtigkeit zu bestätigen. Ende 1981 soll ein Standort für eine Demonstrationsanlage ausgewählt sein. Die Errichtung der Anlage wird sich anschließen, deren Betrieb für das Ende der achtziger Jahre erwartet wird. Nach erfolgreichem Probetrieb soll die routinemäßige Endlagerung um die Jahrhundertwende aufgenommen werden.

Das Programm unternimmt große Anstrengungen zur vollständigen Unterrichtung der Öffentlichkeit.

Niederlande (1 Vortrag)

Die Forschungsarbeiten der Niederlande zur Endlagerung aller Abfallkategorien beziehen sich auf Untersuchungen im Steinsalz. Dreidimensionale Rechenprogramme zur Temperaturverteilung in Salzdomen wurden erstellt. Parameterstudien über die Bohrlochanordnung und Beschickungszeiten für die Einlagerung hochradioaktiver Abfälle wurden durchgeführt.

Polen (1 Vortrag)

Die relativ jungen polnischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten beschäftigen sich mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Steinsalzformationen. Für die hochradioaktiven Abfälle wurden Rechenprogramme erstellt, mit der die Wärmeausbreitung im Salz beschrieben werden kann.

Schweden (8 Vorträge)

Nach der Veröffentlichung des KBS-Reports hat der *Geologische Dienst Schwedens (SGU)* während der zwei vergangenen Jahre ein intensives geologisches Programm zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im kristallinen Grundgebirge ausgeführt. Dieses Programm beinhaltet Studien zur Standortauswahl sowohl in Süd- als auch in Nordschweden einschließlich geologischer, geophysikalischer und hydrogeologischer Studien. In Ergänzung dieser Arbeiten wird ein besonderes Forschungsgebiet für detaillierte Untersuchungen benutzt, die sich auf Methoden der Standortfestlegung beziehen.

Die Vorstellung von zusätzlichen künstlichen Barrieren im schwedischen Endlagerkonzept in Form von sehr dickwandigen Kupfer- oder Titan-Blei-Behältern sowie in Form von Bentonit-Auskleidungen von Bohrlöchern löste eine lebhafte Diskussion über die Zweckmäßigkeit solcher künstlichen Barrieren aus.

Neben der Endlagerung von hochaktiven Abfällen im kristallinen Grundgebirge bestehen in Schweden auch Pläne, schwach- und mittelaktive Abfälle im Granit endzulagern, allerdings in geringeren Tiefen.

Das F&E-Programm in der Stripa-Mine wird gemeinsam mit den USA ausgeführt (s.d.).

Schweiz (2 Vorträge)

In der Schweiz werden innerhalb der nächsten fünf Jahre mit einem Kostenaufwand von ca. 200 Mio. Sfr. verschiedene poten-

tielle Gesteine und Lagerorte untersucht. Es sind dies Anhydrit, Tonsteine und Mergel sowie kristalline Gesteine wie Granite, Gneis und Schiefer. Mögliche Lagerorte befinden sich teilweise über dem Grundwasserspiegel, andere enthalten stagnierendes fossiles Wasser. Auch an der Methodik einer Sicherheitsanalyse für ein Endlager wird gearbeitet.

Sowjetunion (7 Vorträge)

Auch in der Sowjetunion befindet sich ein breit gefächertes F&E-Programm zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen in Bearbeitung. Untersucht werden Steinsalz, Ton, Granit, Porphyrit, Diabas, Tuff u.a. Bei den theoretischen und Laboruntersuchungen liegt das Schwergewicht eindeutig auf Steinsalz.

Es war schon vor dem Symposium bekannt, daß in der Sowjetunion flüssige schwach- und mittelradioaktive Abfälle in aufnahmefähige geologische Speicherhorizonte eingepreßt werden. Neu war jedoch, daß diese Methode nun auch für flüssige Abfälle aus Kernkraftwerken direkt angewendet werden soll. Es wurde sogar erwähnt, daß diese Endlagermethode bei der Standortwahl von Kernkraftwerken als Kriterium mit berücksichtigt werden soll, wobei gleichzeitig ein wirtschaftlicher Vergleich mit der Bituminierung durchgeführt wird.

Wie oft bei Veranstaltungen mit sowjetischer Beteiligung war es nahezu unmöglich, exakte oder detaillierte Angaben über geologische Formationen oder gar über Standorte zu erhalten.

Tschechoslowakei (1 Vortrag)

Gute Erfahrungen konnten mit der Endlagerung in einem trockenen stillgelegten Kalksteinbergwerk gewonnen werden. In dieses wurden jedoch nur schwachaktive Abfälle von Isotopenanwendern und Forschungsinstituten eingelagert. Die zur Verfügung stehende Lagerkapazität dieses Bergwerks ist verhältnismäßig klein. Zur Auswahl einer Endlagerstätte für Abfälle aus Kernkraftwerken wurden 51 verfügbare Lagerorte begutachtet. Aus diesen wurden die zwei bestgeeigneten ausgewählt.

USA (10 Vorträge)

Das US-Programm geht davon aus, daß die ersten Endlager bergmännisch hergestellte Anlagen sein werden. Begrenzte Untersuchungen über die Endlagerung in Sedimenten der Tiefsee und in sehr tiefen Bohrlöchern werden weitergeführt. Dies erlaubt ihre Entwicklung als alternative Lösungen. Das Untersuchungsprogramm zur Auswahl geeigneter Lagerorte wird ausgedehnt, damit eine größere Vielfalt der geologischen Formationen betrachtet wird.

Trotzdem stehen nach wie vor Steinsalzformationen an erster Stelle. Die „*Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)*“ im südöstlichen New Mexico ist so weit gediehen, daß nach Klärung einiger politischer Fragen mit dem Bau begonnen werden kann. Auch das erste Endlager für radioaktive Abfälle aus kommerziellen kerntechnischen Anlagen wird in einer Salzformation errichtet, und zwar in einem Salzstock der Golfküste. Für dessen Auswahl läuft derzeit ein umfangreiches Standortuntersuchungsprogramm.

Größere Anstrengungen werden zur Ermittlung von grundlegenden wissenschaftlichen Informationen über das zu erwartende Aussehen und Verhalten des Endlagersystems unternommen. Experimentelle Versuche mit gekapselten abgebrannten Brennelementen sind in einer Anlage geplant, die derzeit errichtet wird. Das jetzt laufende F&E-Programm zur Endlagerung schließt Feldversuche in Salzdomen im Südosten der USA, in flachgelagerten Salzformationen und in tiefen Basaltvorkommen ein. Allgemeine Versuche und Vorerkundung möglicher Lagerorte in anderen Medien, wie z.B. Granitformationen, werden fortgesetzt oder in Kürze begonnen. Erwähnt werden muß in diesem Zusammenhang das beispielhafte schwedisch-amerikanische Gemeinschaftsprojekt der Stripa-Mine in Schweden, in der zahlreiche geowissenschaftliche Experimente zur Endlagerung in einem Granitvorkommen ausgeführt werden.

K. Kühn, E.-P. Uerpmann, Clausthal-Zellerfeld