

39

---

Beirat für Fragen des Kernenergieausstiegs (BFK)

**Rückholbarkeit / Nicht-Rückholbarkeit bei der Endlagerung  
radioaktiver Abfälle**

Erstellt im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums

**Dr. Helmut Hirsch, Hannover, im Juni 1994**

---



## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung, Begriffsbestimmungen	3
2.	Positionen zur Rückholbarkeit in verschiedenen Staaten	6
2.1	Überblick	6
2.2	Frankreich	7
2.3	Niederlande	10
2.4	USA	12
2.5	Rußland	18
2.6	Zusammenfassung: Motivationen für die Rückholbarkeit	18
2.7	Staaten, die Rückholbarkeit ablehnen	19
3.	Die Behandlung von Fragen der Rückholbarkeit in Deutschland	21
3.1	Einleitung	21
3.2	Die Diskussion der Rückholbarkeit in der Bundesrepublik 1977 - 1984	22
3.3	Aussagen zur Rückholbarkeit auf dem Endlager-Hearing 1993	34
4.	Technische Möglichkeiten	38
4.1	Einleitung, Rahmen der Betrachtung	38
4.2	Maßnahmen zur Erleichterung der Rückholbarkeit	39
4.3	Grenzen und Möglichkeiten von Überwachungsmaßnahmen	43
4.4	Denkbare Varianten einer rückholbaren Endlagerung	44
5.	Die Bewahrung von Informationen über ein Endlager	48
6.	Rückholbarkeit von spaltbarem Material als Problem	53



7.	Übergeordnete Gesichtspunkte	58
7.1	Rückholbare/nicht-rückholbare Endlagerung im Entsorgungskonzept insgesamt	58
7.2	Ethische und gesellschaftliche Aspekte	59
8.	Erfordernis weiterführender Arbeiten	62
9.	Literaturverzeichnis	64



## 1. Einleitung, Begriffsbestimmungen

Auf dem Internationalen Endlager-Hearing des Niedersächsischen Umweltministeriums in Braunschweig im September 1993 wurde unter anderem auch die Frage der Rückholbarkeit/Nicht-Rückholbarkeit bei der Endlagerung erörtert. Beiträge dazu kamen sowohl aus den vom Umweltministerium berufenen Arbeitsgruppen als auch von anderen Diskussionsteilnehmern. Ein klarer Konsens zu diesem Punkt war auf dem Endlager-Hearing nicht erkennbar; gleichzeitig wurde deutlich, daß es hier eine wichtige, in den letzten Jahren in Deutschland praktisch nicht mehr untersuchte Fragestellung vorliegt. Als eine der Aufgaben, die sich aus dem Hearing ergeben haben, war daher die Abwägung der Frage der Rückholbarkeit/Nicht-Rückholbarkeit und gegebenenfalls die Entwicklung und genauere Prüfung von Konzepten der rückholbaren Endlagerung festzuhalten.

Im Rahmen der Auswertung der Ergebnisse des Endlager-Hearings und der Planung der notwendigen Folgearbeiten befaßten sich der Endlager-Ausschuß des BFK am 21. 01. 1994, sowie der Endlager- und der Entsorgungskonzept-Ausschuß des BFK auf einer gemeinsamen Sitzung am 24. 02. 1994 auch mit diesem Punkt. Auf der Sitzung am 24. 02. 1994 wurde die Empfehlung ausgesprochen, u.a. das Thema der rückholbaren Endlagerung im Rahmen eines Beratungsauftrages vertieft zu bearbeiten.

Dieser Beratungsauftrag wurde vom Niedersächsischen Umweltministerium mit Schreiben vom 02. 05. 1994 (Z. 401-40301/30) erteilt. Im Rahmen dieses Beratungsauftrages sind die Argumente, die für bzw. gegen die verschiedenen Optionen im Zusammenhang mit der Rückholbarkeit bei der Endlagerung sprechen, unter Berücksichtigung des internationalen Erkenntnisstandes zusammenzustellen und zu bewerten. Zu berücksichtigen sind die dabei die unterschiedlichen denkbaren Motive für eine Rückholbarkeit und das Spektrum der Optionen im Hinblick



auf Rückholbarkeit. Der Problemkreis der Überwachung von Endlagern in der Nachbetriebsphase ist in die Bearbeitung mit einzubeziehen.

Zentraler Punkt soll letztlich die Frage nach sicherheitsmäßigen Vor- und Nachteilen der verschiedenen denkbaren Endlagerungsverfahren sein. Es ist zu prüfen, ob eine weitere Bearbeitung des Themas im Rahmen weiterführender Studien zielführend wäre; gegebenenfalls sind Vorgaben für solche Studien zu erarbeiten.

Unter rückholbarer Endlagerung ist dabei ein Vorgehen zu verstehen, bei dem radioaktive Abfälle mit der Absicht in ein Endlager verbracht werden, sie dort ohne zeitliche Begrenzung zu belassen, jedoch Vorkehrungen getroffen werden, eine spätere Auslagerung der Abfälle zu erleichtern. Für die Durchführung der Auslagerung ist dabei eine ausdrückliche Entscheidung erforderlich; ohne eine solche Entscheidung verbleiben die Abfälle im Endlager.

Diese Entscheidung könnte aus wirtschaftlichen Gründen erfolgen, falls die Rückgewinnung von Kernbrennstoffen aus dem Endlager, evtl. aber auch von anderen Stoffen zu einem späteren Zeitpunkt wirtschaftlich interessant wird. Sie könnte auch aus Sicherheitsgründen erfolgen, wenn unvorhergesehene Probleme im Endlager auftreten. Schließlich wäre denkbar, daß eine Rückholung erfolgt, um die Abfälle mit dem Ziel einer Reduzierung ihres Gefährdungspotentials erneut zu behandeln, mit Verfahren, die zum Zeitpunkt der Einlagerung nicht vorhersehbar waren.

Damit ist eine klare begriffliche Abgrenzung zur Zwischenlagerung gegeben, die dadurch bestimmt ist, daß eine Auslagerung verbindlich vorgesehen ist, und zwar mit definitiven zeitlichen Vorgaben.

Vor dem Hintergrund dieser Begriffsbestimmungen ist die Lagerung in einem Endlagerbergwerk mit guter Zugänglichkeit und relativ einfacher Möglichkeit der Auslagerung (durch Offenhalten des Bergwerkes), aber mit der Absicht, die Abfälle im Endlager zu belassen, wenn nicht geänderte Umstände eintreten, eindeutig als



rückholbare Endlagerung zu bezeichnen, auch wenn sie Ähnlichkeiten mit einer Zwischenlagerung aufweist.

Klarzustellen ist noch, daß es hier immer um mit dem Ziel der Entsorgung betriebene Endlagerung, und nicht um Forschungs-, Versuchs- und Demonstrationsvorhaben geht. Bei letzteren wird selbstverständlich weltweit auch rückholbare Endlagerung zu experimentellen Zwecken, für einen Zeitraum von einigen Jahren, betrieben. Die Fragestellungen sind dabei aber völlig anders gelagert und nicht Gegenstand dieses Berichtes.

Weiterhin wird auch auf Fragen der Rückholbarkeit im Zusammenhang mit Endlagerung durch oberflächennahes Vergraben - wie in zahlreichen Staaten für schwächer aktive Abfälle praktiziert - nicht eingegangen. Diese Variante der Endlagerung wird in Deutschland nicht angewendet; überdies stellt die Rückholbarkeit bei ihr ein ziemlich triviales Problem dar.

Der Bearbeiter dieses Beratungsauftrages richtet seinen Dank an die Herren D. Appel und J. Kreusch für zahlreiche nützliche Hinweise und kritische Anmerkungen. Die Verantwortung für etwaige noch existierende Schwachstellen im Text liegt jedoch ausschließlich bei ihm.



## 2. Positionen zur Rückholbarkeit in verschiedenen Staaten

### 2.1 Überblick

Dieses Kapitel beruht auf einer Durchsicht der neuesten Fachliteratur. Ein Anspruch auf Vollständigkeit kann angesichts des begrenzten Gesamtrahmens des vorliegenden Berichtes nicht erhoben werden. Eine Recherche zum Thema Rückholbarkeit wird auch dadurch erschwert, daß in den Fachartikeln aus jenen Staaten, die die Rückholbarkeit ablehnen, auf dieses Thema in der Regel überhaupt nicht bzw. allenfalls in Form von knappen Randbemerkungen eingegangen wird.

Es kann aber beispielhaft angegeben werden, welche der Kernenergie nutzenden Staaten eine Rückholbarkeit bei der Endlagerung nicht anstreben bzw. ausschließen (was in der Literatur teils ausdrücklich festgestellt wird, teils aus der Darstellung des geplanten Vorgehens geschlossen werden kann), und welche diese Möglichkeit vorsehen bzw. offenhalten wollen.

Auf die Positionen zur Rückholbarkeit in Deutschland wird, verbunden mit einer Darstellung der historischen Entwicklung der Diskussion, in Kapitel 3 gesondert und ausführlicher eingegangen.

Staaten, die Rückholbarkeit vorsehen bzw. untersuchen wollen:

Frankreich

Niederlande

Rußland

USA



Staaten, die Rückholbarkeit bei der Endlagerung nicht anstreben:

Deutschland

Finnland [RYHANEN 1993]

Italien [IAEA 1993, S. 73]

Kanada [HANCOX 1991]

Schweden [SKI&HSK 1990]

Schweiz [SKI&HSK 1990]

Spanien [HUERTAS 1993]

Tschechische Republik [MAREK 1993]

Es ist anzunehmen, daß auch in verschiedenen hier nicht genannten wichtigen Kernenergie-Staaten keine Rückholbarkeit bei der Endlagerung angestrebt wird (z.B. in Belgien, Großbritannien, Japan); dies konnte aber in dem vorgegebenen Rahmen dieser Arbeit nicht definitiv geklärt werden.

Die Begründungen für das Offenhalten bzw. Untersuchen der Rückholbarkeit sind in verschiedenen Staaten z.T. ähnlich, teilweise geht es aber auch um völlig unterschiedliche Gesichtspunkte.

## 2.2 Frankreich

Bis zum Anfang der 90er Jahre wurde in Frankreich die Rückholbarkeit bei der Endlagerung nicht angestrebt. Dies änderte sich mit dem Gesetz vom 30. Dezember 1991, das einen wichtigen Meilenstein der Entwicklung der Entsorgung in Frankreich darstellt und u.a. die Forschungen zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle betrifft [LOI 91-1381 1991].

Das Gesetz gibt die Ziele eines Programmes vor, dessen Ergebnisse nach 15 Jahren ausgewertet werden sollen. Dabei werden drei Stoßrichtungen verfolgt [RAYNAL 1993]:



1. Forschung zur Abtrennung und Transmutation langlebiger Radionuklide in diesen Abfällen.
2. Studium von Konditionierungsverfahren und Langzeit-Lagerung solcher Abfälle an der Oberfläche.
3. Studium der Möglichkeiten rückholbarer und nicht-rückholbarer Endlagerung dieser Abfälle in tiefen geologischen Formationen, insb. durch Forschung in Laboratorien im Untergrund.

Im Rahmen von Punkt 3. sind Konzepte zu untersuchen, bei denen Vorkehrungen getroffen werden, um während eines begrenzten Zeitraumes alle oder einen Teil der eingelagerten Abfälle wieder aus dem Endlager zu bergen.

Dabei wird als Vorteil gesehen, daß während einer Demonstrationsphase eine Überwachung der Abfälle und deren Umgebung möglich ist. Es wird auch darauf hingewiesen, daß eine Rückholung im Falle von signifikanten Verbesserungen bei den Behandlungstechniken der Abfälle, die eine Verringerung der langlebigen Aktivität erlauben könnten, in Frage kommen könnte. Dabei nehmen die technischen Unsicherheiten mit der Länge des Zeitraumes, für den die Rückholbarkeit gewährleistet werden soll, aus folgenden Gründen zu [HOORELBEKE 1993]:

- Begrenzte Lebensdauer der Abfallkanister
- Abnehmende Mechanische Stabilität der Hohlräume, insb. in weicherem Gestein
- Dissipation von Wärme aus den hochaktiven Abfällen sowie, im Laufe der Zeit, auch von Gasen aus Radiolyse und Korrosionsprozessen.



Es besteht ein Zielkonflikt zwischen dem sicheren Einschluß und der Zugänglichkeit der Abfälle. Zwischen dem Extrem eines verfüllten Endlagers, bei dem eine Rückholung nur mit Schwierigkeiten möglich wäre, und einer offenen Lagerung, die die Langzeitsicherheit nicht gewährleisten würde, besteht ein Spektrum von Möglichkeiten mehr oder weniger einfacher Rückholbarkeit. Jede dieser Lösungen wäre mit bestimmten Risiken und Kosten verbunden; die verschiedenen Varianten müssen nunmehr von ANDRA (Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs, die für das Langzeit-Management radioaktiver Abfälle zuständige staatliche Stelle) studiert, und ihre jeweiligen Konsequenzen abgeschätzt werden [ANDRÉ JEHAN 1992].

In einem Bericht des französischen Forschungsministers vom Dezember 1992 [CURIEN 1992], in dem u.a. die verschiedenen Möglichkeiten der (End-)Lagerung radioaktiver Abfälle erörtert werden, wird interessanterweise die rückholbare Endlagerung von abgebranntem Kernbrennstoff im tiefen Untergrund (stockage géologique profond) nicht als Option angesehen. Bei den Wiederaufarbeitungsabfällen wird unterschieden zwischen nicht-rückholbarer Endlagerung in der Tiefe und rückholbarer Lagerung im Untergrund, aber nahe der Oberfläche (enfouissement en subsurface). Es wird darauf hingewiesen, daß im letzteren Falle andere Techniken erforderlich wären, als bei der Tiefenlagerung.

Ungeachtet dessen dürfte ein wichtiger Grund für die nunmehr geplante Untersuchung der rückholbaren Endlagerung in Frankreich darin liegen, daß die Wiederaufarbeitung des gesamten abgebrannten Kernbrennstoffes langfristig nicht mehr anvisiert und die direkte Endlagerung eines Teiles dieses Brennstoffes zunehmend als attraktive Option betrachtet wird. EdF (Electricité de France, der staatliche Elektrizitätskonzern) steht mittlerweile aus Kostengründen der Wiederaufarbeitung und MOX-Nutzung in Leichtwasserreaktoren skeptischer gegenüber als früher. So soll nur ein kleinerer Teil der bis zum Jahre 2000 anfallenden Menge an abgebranntem Kernbrennstoff in La Hague aufgearbeitet werden; rd. 10.000 t werden sich bis zu diesem Zeitpunkt in Zwischenlagern angesammelt haben. Um in diesem Zusammenhang keinen zu krassen „Kurswechsel“ hin zur nicht-rückholbaren, also



definitiven direkten Endlagerung darstellen und vertreten zu müssen, wird die rückholbare Endlagerung (die die Möglichkeit einer späteren Wiederaufarbeitung offen läßt) in die Diskussion gebracht [SCHNEIDER 1990; 1991; 1994].

### 2.3 Niederlande

In den Niederlanden wird seit Beginn der 90er Jahre für die Lagerung von hochtoxischen Abfällen (was chemische und radioaktive Abfälle umfaßt) die Rückholbarkeit für die gesamte Dauer der Lagerung gefordert. Eine endgültige Form der Lagerung wird abgelehnt. Daher handelt es sich hier nicht um Endlagerung im eigentlichen Sinne des Wortes; da aber andererseits die Dauer nicht a priori durch eine verbindliche Vorgabe begrenzt wird, kann auch nicht von Zwischenlagerung gesprochen werden. Die Niederländische Regierung selbst spricht von „Langzeit-Lagerung“.

Chemische und radioaktive Abfälle werden dabei gemeinsam diskutiert, weil die mit diesen Abfällen verbundenen Probleme ähnlich gelagert sind: In beiden Fällen handelt es sich um relativ geringe Mengen, die aufgrund ihrer Toxizität langfristig von der Biosphäre isoliert werden müssen. Die gemeinsame Endlagerung ist wegen der unterschiedlichen Eigenschaften allerdings nicht vorgesehen.

Ende der 80er Jahre bestand, gestützt auf die Ergebnisse offizieller Studien, eine klare Tendenz hin zur Endlagerung dieser Abfälle in Steinsalz. Dabei wurde von dem Konsens ausgegangen, daß der Anfall hochtoxischer Abfälle nicht auf Null reduziert werden könne, obwohl eine Politik der möglichst weitgehenden Abfallvermeidung bzw. der möglichst weitgehenden Rezyklierung angestrebt wird.

Regierung und Parlament beschlossen zu diesem Zeitpunkt, grundsätzlich zu prüfen, ob das Vergraben im tiefen Untergrund eine angemessene Methode zur Isolation hochtoxischer Abfälle darstellt. Ein Endlager ohne Rückholbarkeit, mit natür-



licher Isolation der Abfälle wird dabei unter normalen Bedingungen als relativ sicher und nachsorgefrei angesehen. Dagegen können unerwartete Ereignisse dazu führen, daß die natürliche Isolation gestört wird; die Probleme werden in diesem Fall vergrößert, wenn keine Möglichkeiten zu Kontrolle, Überwachung und Intervention bestehen. Auch die Möglichkeit einer Rezyklierung zu einem späteren Zeitpunkt ist bei nicht-rückholbarer Endlagerung verschlossen.

Aus diesen Überlegungen wurde folgende Position abgeleitet: Es sind Anlagen zur Langzeit-Lagerung hochtoxischer Abfälle zu schaffen, wobei die Lagerung den ICM-Kriterien (Isolate, Control, Monitor: Isolieren, Kontrollieren, Überwachen) zu entsprechen hat. Aus Sicherheitsgründen soll die Isolation einerseits so weitgehend wie möglich sein; andererseits müssen ausreichende Möglichkeiten für Interventions- und Kontrollaktivitäten bestehen. Dies bedeutet, daß die Abfälle rückholbar sein müssen und daß der gesamte Vorgang der Lagerung reversibel sein muß. Damit ist auch der Zugriff gewährleistet, wenn später eine Rezyklierung von Abfällen erfolgen soll, bei denen dies heute noch nicht möglich ist.

Bei diesem Konzept wird zukünftigen Generationen die Pflicht zur Nachsorge auferlegt. Es wird jedoch erwartet, daß die Vorteile der Möglichkeit zu Intervention, Umwidmung und Neubestimmung des Standortes gegenüber den Nachteilen dieses Konzeptes (Zeit- und finanzieller Aufwand für die Nachsorge) überwiegen.

Eine Endlagerung im Steinsalz wird abgelehnt. Obgleich durch das Kriechverhalten desselben relativ gute natürliche Isolation gegeben wäre, werden Kontrolle und Rückholbarkeit dadurch gleichzeitig ernsthaft eingeschränkt.

Diese Position gibt lediglich die Richtung an, in der eine Lösung für die Lagerung zu suchen ist. Daher sieht die Niederländische Regierung folgende Aufgaben, die nunmehr abgearbeitet werden müssen:



- Standortunabhängige Forschung, um eine Lagermethode zu entwickeln, die für die gesamte Zeitdauer die Rückholbarkeit gewährleistet.  
Diese Forschung soll im internationalen Rahmen durchgeführt werden, insb. auch innerhalb der EU.
- Risikostudien zum Vergleich über- und unterirdischer Lagermethoden, die den hier skizzierten Grundsätzen entsprechen.  
Diese Arbeiten sollen von der Niederländischen Regierung finanziert werden.
- Weiterhin sollen die laufenden einschlägigen Forschungsarbeiten gezielt unter Berücksichtigung der Regierungsposition ausgewertet werden.

(Quelle für den Abschnitt über die Niederlande: [DUTCH GOVERNMENT 1993].)

## 2.4 USA

Soweit ersichtlich, wurden Überlegungen zur Rückholbarkeit in den USA früher als in allen anderen Staaten verbindlich begonnen und auch am konsequentesten weitergeführt. Die Zeiträume für die Gewährleistung der Rückholbarkeit werden dabei in den einschlägigen Vorschriften und bei der Endlagerplanung, soweit explizit angegeben, eher kurz angesetzt. Diese weitgehend pragmatische Herangehensweise trägt den gerade auch in den USA erhobenen Forderungen, aus ethischen Gründen (Eingriffsmöglichkeiten für künftige Generationen) die Rückholbarkeit über lange Zeiträume zu gewährleisten [GERVERS 1993], keine Rechnung.

Auch innerhalb dieses pragmatischen Rahmens haben sich die Akzente der Herangehensweise im Laufe der Jahre mehrmals verschoben. Ende der 70er Jahren wurden von der EPA (Environmental Protection Agency, Umweltschutzbehörde des Bundes) Kriterien für radioaktive Abfälle vorgeschlagen [EPA 1978],



in denen die Frage der Rückholbarkeit wenn auch in eher randlicher Form angesprochen wurde: In Kriterium No. 6 wird ausgeführt, daß bei Endlagersystemen, die alle anderen Kriterien erfüllen, u.a. auch Verfahren bzw. Techniken zur Anwendung kommen sollten, die die Rückholbarkeit der Abfälle verbessern. Dies wurde von Kritikern als zu wenig weitgehend zurückgewiesen. Es wurde die Forderung erhoben, daß die Rückholbarkeit gegeben sein müsse, solange das Endlager noch offen sei, bzw. bis gewährleistet werden könne, daß alle anzulegenden Kriterien erfüllt seien - was immer der längere Zeitraum wäre [ROTOW 1979].

Mit dem Nuclear Waste Policy Act [NWPA 1982] wurde 1982 ein Meilenstein für das weitere Vorgehen bei der nuklearen Entsorgung gesetzt. In diesem Gesetz wird in Sec. 122 gefordert, daß die Rückholbarkeit von abgebranntem Kernbrennstoff aus einem Endlager jedenfalls gegeben sein müsse, u. zw. für einen angemessenen Betriebszeitraum der Anlage. Als mögliche Gründe werden einerseits Probleme von öffentlicher Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutz genannt, andererseits die Wiedergewinnung von aus wirtschaftlicher Sicht wertvollen Bestandteilen des abgebrannten Kernbrennstoffes. In einer ergänzenden Vorschrift [CFR 1982] wird „Rückholung“ als die beabsichtigte Entnahme radioaktiver Abfälle aus jenem unterirdischen Bereich definiert, in den sie vorher zum Zweck der Endlagerung verbracht worden waren; und zwar vor dem Verschluß des Endlagers.

In einer weiteren Vorschrift [CFR 1983] erfolgt 1983 eine Neudefinition dieses Begriffes: Der Zusatz „vor dem Verschluß des Endlagers“ entfällt. Es wird klargestellt, daß die Anforderung der Rückholbarkeit eine Verfüllung nicht verhindern soll; sie impliziert keinen raschen oder einfachen Zugang zu den Abfällen zu jeder Zeit vor dem endgültigen Schließen des Endlagers. Die U.S. Nuclear Regulatory Commission geht davon aus, daß jede Rückholung ein ungewöhnliches Ereignis wäre und eine komplizierte und teure Operation darstellen kann. Die Idee ist lediglich, daß eine Rückholung nicht unmöglich oder praktisch kaum durchzuführen sein solle, falls sie sich als erforderlich herausstellt, um Gefahren für die Gesundheit und Sicherheit der Öffentlichkeit abzuwehren.



In der gleichen Vorschrift wird die Zeitdauer genauer diskutiert, wobei im übrigen stets nur noch von Rückholbarkeit von Abfällen die Rede ist, ohne Eingrenzung auf abgebrannten Kernbrennstoff wie im Nuclear Waste Policy Act.

Im Entwurfsstadium beinhaltete diese Vorschrift die Forderung, daß die Abfälle für einen Zeitraum von bis zu 110 Jahren nach Einlagerungsbeginn rückholbar sein müßten (30 Jahre für die Einlagerung, 50 Jahre zur Überprüfung des Endlagers, 30 Jahre für die Rückholung). Dieser zeitliche Rahmen wurde jedoch als zu lange kritisiert. Es wurde angemerkt, daß den durch diese Forderung hervorgerufenen zusätzlichen Kosten bei Auslegung, Konstruktion und Betrieb des Endlagers zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden wäre. Die U.S. Nuclear Regulatory Commission beschloß daher, diesen Punkt zu revidieren und allgemeiner zu formulieren.

In der endgültigen Fassung der Vorschrift wird dementsprechend festgelegt, daß die Option der Rückholung für die Dauer der Einlagerung der Abfälle sowie, im Anschluß daran, der Durchführung und Auswertung eines Untersuchungsprogrammes zur Bestätigung des Systemverhaltens offenbleiben soll. Dieses Programm soll insb. Hinweise geben, ob die technischen Barrieren sich wie vorhergesagt verhalten und ob die geologischen und hydrologischen Verhältnisse mit den vorher eingesetzten Modellen und Tests konsistent sind. Als Richtwert wird angegeben, daß eine Rückholung bis zu 50 Jahre nach Einlagerungsbeginn möglich sein soll. Dies stellt aber keine feste Vorgabe dar; unter Berücksichtigung des Zeitplanes der Einlagerung und des Bestätigung-Programmes für einen konkreten Standortes sind Modifikationen möglich [SMITH 1987].

Die Anforderung der Rückholbarkeit wurde 1985 nochmals wiederholt [CFR 1985], in der Form, daß die Wiedergewinnung des Großteils der Abfälle innerhalb eines vernünftigen Zeitraumes nach der Einlagerung nicht ausgeschlossen sein dürfe, falls unvorhergesehen Ereignisse dies erfordern würden.



Diese Anforderung wurde im Entwurfsstadium kritisiert, mit der Begründung, sie könne dazu führen, daß Endlager speziell im Hinblick auf einfache Rückholung ausgelegt würden. Dadurch könnte die Isolation der Abfälle verschlechtert sowie eine spätere Förderung aus wirtschaftlichen Gründen ermutigt werden.

Sie wurde dennoch beibehalten, mit der Klarstellung, daß es lediglich technisch machbar sein müsse, die Abfälle zurückzuholen - es würden keinerlei zusätzliche Maßnahmen oder Vorkehrungen gefordert. Damit erfüllt praktisch jedes geologische Endlager in Form eines Bergwerkes die Anforderung der Rückholbarkeit; ausgeschlossen sind lediglich Konzepte wie z.B. das Verpressen flüssiger Abfälle im tiefen Untergrund. Die praktische Bedeutung der Forderung nach Rückholbarkeit wird durch diese Interpretation sehr abgeschwächt.

Als Beispiele für Umstände, die zu der Entscheidung führen könnten, radioaktive Abfälle zurückzuholen, werden angegeben [SMITH 1987, S. 9f]:

- Natürliche Ereignisse und Prozesse: Völlig neue, unbekannte und unerwartete natürliche Phänomene in der Umgebung eines Endlagers könnten es unbenütztbar machen.
- Geologische und hydrologische Reaktionen auf Errichtung des Endlagers und Einlagerung der Abfälle: Die Aufgabe des Endlagers, oder eines Teiles davon, könnte erforderlich werden, wenn sich zeigt, daß zu große Abweichungen von dem auf der Basis von Tests und Modellrechnungen vorhergesagten Verhalten auftreten.
- Verhalten der Abfallbehälter: Es könnte sich herausstellen, daß bestimmte Abfallgebinde Defekte aufweisen, oder daß sich die technischen Barrieren nicht verhalten wie vorhergesagt. Die Rückholung von defekten Abfallgebinden oder auch aller Abfälle könnte in diesem Falle erforderlich werden.



- Betrieb des Endlagersystems: Aufgrund eines nicht korrigierbaren Mangels der Auslegung oder der Akkumulation kleiner, aber chronischer Mängel im Laufe der Zeit könnte es dazu kommen, daß das Gesamtsystem des Endlagers als nicht mehr betreibbar erscheint.
- Wiedergewinnung wertvoller Rohstoffe: Der Wert von spaltbarem Material kann möglicherweise soweit ansteigen, daß sich eine Rückholung anbietet.

Es ist festzuhalten, daß vier dieser fünf Beispiele mit Fragen der Sicherheit bzw. Umweltauswirkungen zusammenhängen; insgesamt scheint die US-Position zur Rückholbarkeit überwiegend mit Sicherheitsfragen und nur in zweiter Linie mit wirtschaftlichen Überlegungen zusammenzuhängen.

Im Hinblick auf die Machbarkeit der Rückholung wird in der selben Studie, in der insb. auch die Problematik der Rückholung nach Verfüllung des Endlagerbergwerkes untersucht wird, folgender Schluss gezogen:

Es gibt keine Anzeichen dafür, daß eine Demonstration der grundsätzlichen Machbarkeit auf der Grundlage der heutigen Technologie, ergänzt durch ein ernsthaftes Entwicklungsprogramm, nicht möglich wäre.

Es wird darauf hingewiesen, daß folgende Auslegungsmerkmale großen Einfluß auf die Rückholbarkeit haben können:

- Orientierung der Einlagerung (horizontal in Strecken oder vertikal in Bohrlöchern; diese beiden Varianten werden heute allgemein betrachtet, u.U. auch in Kombination, je nach Abfallart)
- Gegebenenfalls Auslegung der Bohrlöcher (mit oder ohne Innenauskleidung)
- Flächendichte der thermischen Leistung.



Die Orientierung der Einlagerung beeinflusst die Leichtigkeit der Rückholung und insb. auch die Auslegung der erforderlichen Geräte. Eine Innenauskleidung der Bohrlöcher würde die Rückholung erleichtern. Eine Reduzierung der Flächendichte der thermischen Leistung verringert die Gebirgstemperaturen und erleichtert damit ebenfalls die Rückholung. Der Nachteil dabei wäre ein erhöhter Flächenbedarf für das Endlager.

Für das geplante Endlager Yucca Mountain wird eine Rückholbarkeit offenbar nur für jenen Zeitraum ernsthaft betrachtet, während dessen das Endlager noch nicht verfüllt ist. Im Einklang mit dem oben angegebenen Richtwert soll die Rückholbarkeit für einen Zeitraum von 50 Jahren, gerechnet ab Einlagerungsbeginn, erhalten bleiben. Nach der Einlagerungsperiode, die 26 Jahre dauern soll, ist daher noch eine Zeitspanne von 24 Jahren vorgesehen, während der umfassende Überwachungsmaßnahmen durchgeführt werden, um Vergleiche mit dem vorhergesagten Verhalten des Endlagers zu ermöglichen. Erst nach diesem Überwachungszeitraum sollen im Rahmen des endgültigen Verschlusses die unterirdischen Bereiche verfüllt und die Schächte und Rampen permanent versiegelt werden [IAEA 1993, S. 75].

Kürzlich wurde bekannt, daß der Antragsteller DOE erwägt, die Rückholbarkeitsperiode im Endlager Yucca Mountain auf 100 Jahre zu verlängern. Motiv dafür ist, daß dann ein größerer Teil der erforderlichen Untersuchungen in diese Zeitspanne gelegt werden könne und nicht schon vor Einlagerungsbeginn durchgeführt werden müsse, sodaß Verzögerungen bei der Einlagerung vermieden werden könnten. Auch wird gehofft, durch einen längeren Rückholbarkeitszeitraum mehr Akzeptanz in der Öffentlichkeit zu gewinnen. Allerdings sind mit dieser Maßnahme beträchtliche Kosten verbunden: DOE rechnet für Instandhaltung und Überwachung des noch nicht verschlossenen Endlagers mit einem Aufwand von etwa 50 Millionen US-\$ pro Jahr [NUCFUEL 1994].



Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei noch angemerkt, daß es sich bei dem in den USA ebenfalls verfolgten Projekt einer Anlage für „Monitored Retrievable Storage“ (MRS, überwachte rückholbare Lagerung) plangemäß um ein Zwischenlager und nicht um ein Endlager mit Rückholbarkeit handelt. Diese Anlage wird vom U.S. Department of Energy geplant, um Engpässe in der Lagerkapazität für abgebrannten Kernbrennstoff und andere hochaktive Abfälle zu überbrücken, die vor der Inbetriebnahme eines Endlagers zu erwarten sind. Einlagerung in die MRS-Anlage ist für den Zeitraum von 1998 bis 2010 vorgesehen; danach sollen die Abfälle in ein Endlager verbracht werden [NUCSAFETY 1991, S. 402ff.; GERVERS 1993].

## 2.5 Rußland

Soweit aus den zugänglichen Quellen ersichtlich, wird in Rußland z.Zt. das Konzept verfolgt, in einem Bergwerk zunächst ein Langzeit-Zwischenlager einzurichten, das dann ggf. durch Verfüllung in ein Endlager übergeführt werden kann. Während der Zwischenlager-Periode soll der Zugang zu den Abfällen erhalten bleiben, um sie, falls erforderlich, zum Zwecke erneuter Behandlung oder Umverpackung wieder entnehmen zu können. Dieses Vorgehen wird als sicherer angesehen als eine Zwischenlagerung an der Oberfläche [KEDROVSKY 1993].

## 2.6 Zusammenfassung: Motivationen für Rückholbarkeit

Es ist offenkundig, daß der Begriff der „Rückholbarkeit“ in verschiedenen Staaten z.T. sehr unterschiedlich verstanden wird, was zwangsläufig dazu führt, daß auch sehr unterschiedliche Konzepte verfolgt werden.



In den Niederlanden steht der ethische Aspekt im Vordergrund, keine irreversiblen Tatsachen zu schaffen und zukünftigen Generationen - ohne zeitliche Begrenzung - Eingriffsmöglichkeiten offenzulassen. Dementsprechend wird an die Frage der Rückholbarkeit mit offenem Langzeit-Horizont herangegangen. In den USA und, soweit ersichtlich, auch in Rußland geht es dagegen lediglich darum, für einen eng begrenzten Zeitraum die Planungsgrundlagen für das Endlager nochmals zu überprüfen, bevor dieses definitiv verfüllt und sich selbst überlassen wird. (Der ethische Langzeit-Aspekt ist dabei in den USA durchaus in der Diskussion, aber bisher ohne Konsequenzen bei der Planung von Endlagern.) In Frankreich bestehen noch keine konkreten Pläne für die mögliche Realisierung einer Rückholbarkeit; es ist lediglich festgeschrieben, daß die Möglichkeiten untersucht werden müssen. Soweit bisher ersichtlich, scheint die französische Position zur Rückholbarkeit jedoch der amerikanischen näher zu stehen als der niederländischen.

## 2.7 Staaten, die Rückholbarkeit ablehnen

In der einschlägigen Literatur aus jenen Staaten, die der Rückholbarkeit eher ablehnend gegenüberstehen, wird, wie schon eingangs angemerkt, dieses Thema wenn überhaupt nur sehr knapp behandelt. In Kanada z.B. wird seit den 70er Jahren grundsätzlich davon ausgegangen, daß die Endlagerung auch der letzte und endgültige Schritt des Brennstoffzyklus sein soll und eine Isolation der Abfälle derart anzustreben sei, daß keine Verantwortung oder Last an kommende Generationen weitergegeben wird [HANCOX 1991]. In einer neueren Arbeit wird allerdings dennoch festgestellt, daß die Rückholbarkeit aus Sicherheitsgründen möglich sein soll [ALLAN 1993; zitiert nach APPEL 1994].

In Spanien ist die Rückholbarkeit ausdrücklich keine Anforderung an die Auslegung des Endlagers; es wird eine Isolation der Abfälle angestrebt, ohne daß zukünftige Generationen sich um die Integrität des Endlagers kümmern müssen [HUERTAS 1993]. Auch in Schweden und der Schweiz werden keine Anforderungen an die



Rückholbarkeit gestellt; auch Überwachung soll nach Verschluß des Endlagers nicht erforderlich sein [SKI&HSK 1990]. Das schwedische staatliche Strahlenschutzinstitut SSI weist darüber hinaus darauf hin, daß es aus Proliferationsgesichtspunkten als wünschenswert angesehen werden kann, wenn eine Rückholung von Abfällen, die spaltbares Material enthalten, möglichst schwierig ist. In diesem Zusammenhang wird die Endlagerung in tiefen Bohrlöchern genannt. SSI betont allerdings auch, daß es eine Frage der politischen Einschätzung sei, als wie wichtig der Aspekt der zukünftigen Proliferationsgefahr eingestuft werde. Transmutation der Abfälle wird nicht als eine realistische Option gesehen, mit der begründet werden könnte, die entscheidenden Schritte der Endlagerung nach zeitlich nach hinten zu verschieben [JENSEN 1993].



### 3. Die Behandlung von Fragen der Rückholbarkeit in Deutschland

#### 3.1 Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Endlagerung von Anfang an als nicht-rückholbare, wartungsfreie, langfristig sichere Verwahrung der Abfallprodukte angesehen; eine Diskussion um die Rückholbarkeit der Abfälle gab es in den Anfängen des Atomprogrammes nicht. Unter diesen Vorzeichen wurde 1967 die Einlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse begonnen.

In der ersten Phase - bis Anfang 1971 - wurden die Behälter dabei in der Kammer 4 in Viererreihen mit dazwischen freigelassenen Gängen gestapelt; an den zugänglichen Behältern wurden noch Nachkontrollen durchgeführt. Begründet wurde dies damit, daß bisher noch keinerlei Erfahrungen bei der untertägigen Einlagerung radioaktiver Abfälle vorlägen. De facto wäre in dieser Phase auch noch eine Rückholung mit relativ geringem Aufwand möglich gewesen. Die Kontrollen erbrachten jedoch keine Mängel oder Veränderungen, sodaß schließlich auf sie verzichtet wurde und die Kammer 4 im Mai 1971 verschlossen wurde [KRIEGER 1993, S.140]. Die Abfälle sind damit - wie alle anderen Abfälle, die in die Asse eingebracht wurden - nicht mehr zugänglich.

Nach der 4. Atomgesetznovelle 1976 und dem Auslaufen der für die Asse bestehenden Einlagerungsgenehmigungen Ende 1978 stand zur Diskussion, bis zum Abschluß eines (nunmehr erforderlich gewordenen) Planfeststellungsverfahrens zur Überbrückung Abfälle in der Asse unter Tage zwischenzulagern, d.h. in rückholbarer Form zu stapeln [EGT 1978, S. 6]. Diese Pläne wurden aber nicht verwirklicht.



Bei den anderen Endlagerprojekten in der Bundesrepublik wurde bisher die Möglichkeit der Rückholbarkeit von den für Planung, Errichtung und Betrieb zuständigen Stellen weder vorgesehen noch in irgendeiner Weise untersucht oder diskutiert. In dem geplanten Endlager Schacht Konrad z.B. ist geplant, schon während der Einlagerungsphase jede Kammer definitiv zu verfüllen und abzuschließen, nachdem die vorgesehene Abfallmenge eingebracht wurde. Grundsätzliche Fragen der Rückholbarkeit wurden in der Bundesrepublik jedoch Ende der 70er/Anfang der 80er Jahre zeitweise intensiv diskutiert; darauf wird unten näher eingegangen.

Auch in der ehemaligen DDR wurde eine Rückholbarkeit im Endlager Morsleben nicht vorgesehen. Einige der dort angewandten Einlagerungstechniken (insb. die in-situ-Verfestigung) würden eine Rückholung auch besonders erschweren. Es ist auch nicht ersichtlich, daß in der DDR die Frage der Rückholbarkeit jemals grundsätzlich diskutiert worden wäre. Dabei ist anzumerken, daß sich in der DDR das Problem der Endlagerung von abgebranntem Kernbrennstoff bzw. Wiederaufarbeitungsabfällen nicht stellte, da die abgebrannten Brennelemente von der Sowjetunion zurückgenommen wurden [SAAS 1990].

Eine rückholbare Einlagerung - allerdings mehr im Sinne einer untertägigen Zwischenlagerung - von radioaktiven Abfällen aus der Isotopennutzung in der Medizin war für Morsleben zu Anfang der 90er Jahre in der Diskussion [KREUSCH 1993]. Soweit bekannt, werden diese Überlegungen aber nicht weiter verfolgt.

### **3.2 Die Diskussion der Rückholbarkeit in der Bundesrepublik 1977 - 1984**

Im Jahre 1977 trat die Realisierung des seit 1974 verfolgten Konzeptes eines Nuklearen Entsorgungszentrums (NEZ), das an einem Standort Zwischenlagerung, Wiederaufarbeitung, Abfallbehandlung, Endlagerung und Fertigung von Mischoxid-Brennstoff vereinigen sollte, in eine wichtige Phase: Am 22. Februar dieses Jahres erklärte die Niedersächsische Landesregierung ihre Bereitschaft, Anträge zur



Errichtung eines NEZ am Standort Gorleben zu prüfen. Diese Anträge wurden am 31. März von der Deutschen Gesellschaft für die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) für den obertägigen Teil des NEZ, und am 28. Juli von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für das Endlager gestellt.

Am 20. Oktober 1977 stellten die Reaktorsicherheits-Kommission und die Strahlenschutz-Kommission fest, daß das NEZ grundsätzlich sicherheitstechnisch realisierbar sei [RSK 1977].

Ebenfalls im Oktober 1977 meldete sich die Arbeitsgemeinschaft Kerntechnik (AGK) der IGM/ÖTV zu Wort. Sie erhob folgende Forderung: „Überlegen sollte man sich, die Erstellung des Eingangs- und des Endlagers (in Gorleben) vorzuziehen gegenüber dem derzeitigen Zeitplan, denn dadurch ergeben sich (u.a.) folgende Vorteile: Möglichkeit für die (rückholbare) Endlagerung von unaufbereiteten Brennelementen.“ [AGK 1977, S. 9]

Die Forderung nach rückholbarer Endlagerung unaufbereiteter Brennelemente als Gegenposition zum NEZ-Konzept wurde in der Folge von der AGK weiterentwickelt und vom DGB vertreten (siehe z.B. [AGK 1979a; 1979b]). Die Rückholbarkeit bei der direkten Endlagerung wurde dabei als sehr wichtig angesehen. Die AGK sah die Offenhaltung der Option auf kommerziellen Einsatz von Schnellen Brütern als energiepolitische Notwendigkeit an; eine nicht-rückholbare Endlagerung des abgebrannten Kernbrennstoffe wurde als damit nicht verträglich angesehen.

Andererseits wurden vor allem folgende Gegenargumente gegen eine frühzeitige und definitive Entscheidung zugunsten der Wiederaufarbeitung, gefolgt von nicht-rückholbarer Endlagerung der Wiederaufarbeitungs-Abfälle, angeführt:



- Zweifel an der Wirtschaftlichkeit der Wiederaufarbeitung (diese könne erst im Zusammenhang mit dem Schnellen Brüter definitiv beurteilt werden);
- die Strahlenbelastung der Umgebung, die beim geplanten NEZ überwiegend durch das Teilprojekt Wiederaufarbeitung hervorgerufen würde;
- ungelöste Fragen im Zusammenhang mit den Arbeitsbedingungen der in der Wiederaufarbeitungsanlage Beschäftigten;
- das Störfallpotential der Wiederaufarbeitungsanlage;
- Probleme der Spaltstoffflußkontrolle.

Weiterhin wurde davon ausgegangen, daß die politische Durchsetzbarkeit der rückholbaren direkten Endlagerung besser sei als die des NEZ-Konzeptes. Damit könnten rascher die Voraussetzungen für einen Neubau von Kernkraftwerken mit LWR geschaffen, und Arbeitsplätze der im KKW-Bau Beschäftigten gesichert werden.

Besonders betont von Seiten der AGK wurde auch, daß es sich bei dem von ihr vertretenen Konzept im Wesen um ein zweistufiges handle; nach der ersten Stufe - der rückholbaren direkten Endlagerung - könne zu einem späteren Zeitpunkt auf der Grundlage eines vollständigeren Bildes zum Für und Wider frei entschieden werden, ob doch noch eine Wiederaufarbeitung und Verwertung der dabei gewonnenen Spaltstoffe erfolgen solle.

Die Forderung der Rückholbarkeit wurde dabei ausdrücklich auf abgebrannte Brennelemente eingegrenzt; für Betriebsabfälle aus den Kernkraftwerken und die aus der Wiederaufarbeitung im Ausland zurückzunehmenden Abfälle wurde an Endlagerung in der üblichen, nicht-rückholbaren Form gedacht. Der Zeithorizont der Rückholbarkeit bei abgebrannten Brennelementen war dabei relativ kurz und sollte etwa 30 Jahre umfassen.



Ein weiterer Anstoß zu Diskussion um die Rückholbarkeit wurde auf dem Gorleben-Hearing der Niedersächsischen Landesregierung (28. 03. - 03. 04. 1979 in Hannover) gegeben. Im Rahmen der Vorbereitung dieses Hearings hatte sich insb. ein Komitee von 20 internationalen Fachleuten („Gorleben International Review“) mit der Frage der sicherheitstechnischen Realisierbarkeit des NEZ einschl. Endlagers auseinandergesetzt. Im Bericht der Gorleben International Review wurde u.a. die Forderung nach einer zeitlich begrenzten (genannt wurde ein Zeitraum von 25 - 30 Jahren) Rückholbarkeit aufgestellt, wie sie zum damaligen Zeitpunkt gerade in den USA intensiv diskutiert wurde [GIR 1979, S. 7.7-35f.] Darüber hinaus wurde von den internationalen Wissenschaftlern auch die Forderung erhoben, Alternativen zur Wiederaufarbeitung (d.h. die direkte Endlagerung) zu untersuchen und noch keine definitive Entscheidung zu gunsten der Wiederaufarbeitung zu fällen [ATOMFORUM 1979, S. 265 ff.].

Der damalige Ministerpräsident Albrecht machte sich nach dem Gorleben-Hearing zwar die Forderung nach der Untersuchung von Alternativen zur Wiederaufarbeitung zu eigen, nicht jedoch die nach einer rückholbaren Endlagerung; er sprach sich zur Überbrückung der erforderlichen Zeiträume für Langzeitzwischenlager aus [ALBRECHT 1979].

Es ist also festzuhalten, daß die Diskussion der rückholbaren Endlagerung, die in der Bundesrepublik Deutschland Ende der 70er/Anfang der 80er Jahre geführt wurde, praktisch ausschließlich im Zusammenhang mit der direkten Endlagerung in Gang gesetzt wurde (die einzige Ausnahme stellt die o.g. Forderung nach zeitlich begrenzter Rückholbarkeit dar, die im Bericht der Gorleben International Review ohne speziellen Bezug auf direkte Endlagerung aufgestellt worden war). Es war auch vor allem der Gesichtspunkt der direkten Endlagerung, der in der Folge weiterentwickelt und auch aufgegriffen wurde; Fragen der rückholbaren Endlagerung traten in der Diskussion sehr rasch in den Hintergrund. Entsprechend der Aufgabenstellung des vorliegenden Beratungsauftrages wird aber in der Folge auf die Diskussion „Wiederaufarbeitung oder direkte Endlagerung“ nicht weiter eingegan-



gen. Es soll vielmehr die Auseinandersetzung um die Rückholbarkeit, soweit sie noch geführt wurde, genauer dargestellt werden.

Zunächst werden hier die wichtigsten Argumente pro Rückholbarkeit sowie die Gegenpositionen, die u.a von der Reaktorsicherheitskommission und Vertretern des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK), der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und anderen staatlichen Institutionen eingenommen wurden, kurz dargestellt. (Die Darstellung stützt sich in erster Linie auf die genannten Papiere der AGK, eine zusammenfassende Darstellung der Diskussion aus dem KfK [CLOSS 1982] sowie auf persönliche Aufzeichnungen des Bearbeiters dieses Beratungsauftrages, der zum damaligen Zeitpunkt selbst an den einschlägigen Diskussionen mitgewirkt hat.)

#### Wirtschaftlich orientierte Argumente:

- Rückholbare direkte Endlagerung bewahrt Freiheitsgrade für spätere energiepolitische Entscheidungen: Die Wahl zwischen großtechnischer Wiederaufarbeitung und kommerzieller Brütternutzung einerseits, und endgültiger direkter Endlagerung andererseits, bleibt offen.

Gegenposition: Bei späterem Einstieg in die großtechnische Brütternutzung kann auf Plutonium, das in während einer Zwischenphase direkt endgelagerten Brennelementen enthalten ist, verzichtet werden. Es ist nämlich davon auszugehen, daß das Tempo des Brüterausbaues mit dem Umfang der Kernenergienutzung insgesamt, also zunächst der installierten LWR-Kapazitäten, zusammenhängt und z.B. bei geringer LWR-Kapazität nicht innerhalb kurzer Zeit ein intensiver Brüter-Zubau erfolgen wird. Das in den laufend entladenen Brennelementen enthaltene Plutonium wird also den Bedarf der Brüter decken können.

- Die Rückholbarkeit läßt darüber hinaus auch die Möglichkeit offen, zu einem späteren Zeitpunkt auch andere in den Brennelementen - oder auch Wie-



der Aufarbeitungsabfällen - enthaltene Rohstoffe wiederzugewinnen; z.B. Zirkon, Molybdän, Ruthenium, Rhodium, Palladium.

Gegenposition: Im Hinblick auf abgebrannte Brennelemente ist es - falls sich eine solche Rohstoffgewinnung in der Zukunft als wirtschaftlich attraktiv erweisen sollte - zunächst naheliegend, diese Rohstoffe gleich bei der Wiederaufarbeitung der laufend entladenen Brennelemente abzutrennen. Eine Abtrennung aus Brennstoff, der dazu eigens aus dem Endlager rückgeholt werden müßte, erscheint dagegen als sehr aufwendig. Eine spätere Abtrennung von Wertstoffen aus WA-Abfällen dagegen erscheint insgesamt problematisch, da dabei auch Pu abgetrennt werden könnte, und sich daher komplexe Fragen der Spaltstoffflußkontrolle stellen.

Anmerkung: Die Gegenposition berücksichtigt allerdings nicht die Möglichkeit, daß in einer Zukunft ohne (große) Kernenergieprogramme auch rückholbar endgelagerte Brennelemente eine attraktive Rohstoffquelle darstellen könnten.

An Sicherheitsfragen orientierte Argumente:

- Angesichts der geplanten Endlagerung im Salz: Es bestehen in der Fachwelt Zweifel an der Eignung von Salz als Wirtsgestein für ein Endlager; es liegen noch keine ausreichenden Testergebnisse und experimentell abgesicherte Eignungsnachweise vor. Dies spricht dafür, die Möglichkeit der Rückholbarkeit offen zu lassen.

Gegenposition: Es steht fest, daß Salz ein geeignetes Endlagermedium ist (dies wurde u.a. mit den Endlagerplänen in den USA begründet). Die Aussagekraft von Tests ist ohnehin begrenzt, da die Langzeitsicherheit letztlich nur mittels analytischer Methoden, und nicht experimentell, nachgewiesen werden kann.

Anmerkung (unter Berücksichtigung des Endlager-Hearings 1993): Die Eignung von Salz ist bis heute kontroverses Thema, wenn auch klar ist, daß es im Einzelfall



nicht nur auf die Wahl des Wirtsgesteins, sondern besonders auch auf die Eigenschaften des Gesteins am ausgewählten Standort ankommt.

- Es könnte in Zukunft möglich werden, durch Verfahren der Transmutation in großem Maßstab langlebige Radionuklide in stabile bzw. kurzlebige umzuwandeln und damit die Langzeit-Toxizität der endzulagernden Abfälle drastisch zu reduzieren.

Gegenposition: Die Möglichkeiten der Transmutation können bereits zum Zeitpunkt der Diskussion (d.h. um 1980) beurteilt werden: Sie brächte nur ein unwesentlich verringertes Langzeit-Risiko, dagegen ein deutlich erhöhtes Risiko durch die Wiederaufarbeitungsschritte, die zur Abtrennung der fraglichen Radionuklide erforderlich wären, mit sich. Selbst wenn sich das Potential der Transmutation in Zukunft anders darstellen würde, würde man sich dann wohl darauf konzentrieren, die laufend anfallenden Abfälle entsprechend zu behandeln, und darauf verzichten, die vergleichsweise geringen Abfallmengen aus einer Übergangsphase noch nachträglich umzuwandeln.

Anmerkung: Die Gegenposition geht von einer Zukunft mit großem Kernenergieprogramm aus. In einer kernenergiefreien Zukunft könnte es als durchaus lohnend angesehen werden, die - absolut gesehen u.U. gar nicht so geringen - bereits endgelagerten Abfallmengen zwecks Reduzierung der Langzeit-Toxizität zu behandeln.

- Die Klassifizierung von Abfällen (LAW, MAW, HAW) berücksichtigt Handhabungs-, aber keine Freisetzungsparemeter. Die Konditionierung der Abfälle ist dem Endlager nicht optimal angepaßt. Eine Umkonditionierung zu einem späteren Zeitpunkt könnte erforderlich werden, was Rückholbarkeit voraussetzt.



Gegenposition: Sicherheitsanalysen haben gezeigt, daß auch beim derzeitigen Standard der Konditionierung die mögliche Strahlenbelastung durch ein Endlager weit unter der natürlichen Strahlenbelastung liegt.

Anmerkung: Die Konditionierungstechniken wurden seit den frühen 80er Jahren weiterentwickelt; ebenso die Klassifizierungsschemata für Abfälle. Bei der Endlagerplanung wird heute das Freisetzungsverhalten der Abfälle explizit berücksichtigt. Auch besteht weitgehender Konsens darin, daß die geologischen, und nicht die technischen, Barrieren den Hauptbeitrag zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit liefern müssen. Dessen ungeachtet ist - auch angesichts der eingeschränkten Belastbarkeit von Sicherheitsanalysen - nicht völlig von der Hand zu weisen, daß Erkenntnisse bei der Endlagerung eine Neukonditionierung bzw. Neuverpackung von Abfällen erforderlich machen können.

- Bezüglich der Sicherheit des Endlagers ist die klare Festlegung eines Barrierenkonzeptes erforderlich, das bisher fehlt. Außerdem fehlt eine ausreichende Basis zur Bewertung des Risikos. Jeglicher Sicherheitsbewertung fehlt damit die Objektivität und Belastbarkeit; eine nicht rückholbare Endlagerung könnte schon allein deshalb nur schwer vertreten werden.

Gegenposition: Ein ausreichend ausgearbeitetes Barrierenkonzept sowie eine ausreichende Basis für Risikobewertungen und -vergleiche sind vorhanden.

Anmerkung: Die Methodik zu Sicherheitsbewertung von Endlagern ist zweifellos seit den frühen 80er Jahren weiterentwickelt worden. Dennoch bleiben große Unsicherheiten bei Langzeit-Prognosen bestehen.

- Die Rückholbarkeit ermöglicht die Prüfung der Umhüllung der Abfälle. In der Kerntechnik gilt der Grundsatz, daß für jede Komponente, die nicht wiederholt prüfbar ist, das Versagen unterstellt werden muß.



Gegenposition: Die Sicherheit im Endlager wird durch die geologischen Barrieren, nicht durch die technischen Barrieren garantiert.

Abgesehen von der Diskussion um die möglichen Vorteile der rückholbaren Endlagerung wurde von den Kritikern dieses Konzeptes auch darauf hingewiesen, daß mit der Offenhalten der Rückholbarkeit eine Reihe von sicherheitstechnischen Nachteilen unmittelbar verbunden sei, nämlich [ESK 10 1979; RSK 1979]:

- Der Transport in das unterirdische Lager und wieder heraus bewirkt eine höhere Strahlenbelastung des Personals als oberirdische Zwischenlagerung.
- Bei einem rückholbaren Lager im tiefen Untergrund ist Bewetterung erforderlich; dies bedingt sicherheitstechnische Probleme. Möglicherweise ist sogar aktive Wärmeabfuhr erforderlich, was erheblichen technischen Aufwand mit sich brächte.
- Das Bergwerk muß wegen der Rückholbarkeit langfristig und weiträumig offengehalten werden. Im Falle eines Laugeneinbruchs werden die geotechnischen Barrieren (Verfüllung) daher nicht wirksam; im Vergleich zu einem optimierten oberirdischen Bauwerk wird die Sicherheit dadurch erheblich reduziert.
- Die rückholbar endgelagerten Brennelemente müßten entweder für die Endlagerung konditioniert werden, was ein Weiterverarbeitung praktisch unmöglich machen würde, oder sie werden in einer für die Weiterverarbeitung geeigneteren Form gelagert, was kaum endlagergerecht sein dürfte.

Es ist festzuhalten, daß sich diese Gegenargumente offenbar davon ausgehen, daß eine Rückholung vor der Verfüllung erfolgen müßte und daß nach Verfüllung



definitiv die Grenze zur nicht-rückholbaren Endlagerung überschritten ist. Diese Voraussetzung ist nicht zwingend.

Insgesamt begründeten in der um 1980 stattfindenden Diskussion die Befürworter der Rückholbarkeit ihre Position mit der Notwendigkeit des Offenhaltens von Optionen sowie dem Hinweis auf die Grenzen des gegebenen Wissens- und Erfahrungsstandes im Hinblick auf Sicherheitsfragen. Die Gegner der Rückholbarkeit setzten für die Zukunft eine entwickelte Kernenergiewirtschaft mit Wiederaufarbeitung und Brüter voraus, und sahen die Möglichkeit der Rückholbarkeit für in einer Zwischenphase direkt endgelagerte Brennelemente als weitgehend uninteressant an. Sie sahen den Wissensstand in allen wichtigen Fragen der Endlagerung als ausreichende Basis für irreversible Entscheidungen an. Schließlich verwiesen sie auch auf mit der Rückholbarkeit direkt verbundene Sicherheitsnachteile.

Der Zeithorizont der Betrachtungen zur Rückholbarkeit lag bei einigen Jahrzehnten, also etwa in der Lebenszeit der jetzigen sowie der unmittelbar folgenden Generation.

Der Gesichtspunkt der Eingriffs- und Kontrollmöglichkeiten für zukünftige Generationen spielte weder in der Argumentation der Rückholbarkeits-Befürworter, noch der Gegner eine Rolle.

Wie oben bereits erwähnt, wurden in den 80er Jahren Konzepte zur Direkten Endlagerung weiter untersucht und entwickelt, während der Aspekt der Rückholbarkeit zunehmend in den Hintergrund trat. Die zeitliche Abfolge der Entwicklung bis zum Jahre 1984 sei hier noch kurz skizziert:

In dem Entwurf des Forschungs- und Entwicklungsschwerpunktes „Andere Entsorgungstechniken für abgebrannten Kernbrennstoff“ vom 29. 09. 1980 [FESAE 1980] wird noch festgestellt: „Bei der Planung eines Endlagerbergwerks für abgebrannte Brennelemente sollte [angesichts der Einbringung von Wertstoffen in das



Endlager] auch der Frage der evtl. Rückholbarkeit dieser Wertstoffe Aufmerksamkeit gewidmet werden. Falls sich hierfür brauchbare technische Lösungen angeben lassen, ist damit zugleich auch eine Antwort gefunden auf die gelegentlich erhobene Forderung, die Rückholbarkeit endgelagerter radioaktiver Abfälle für einen möglichst langen Zeitraum offenzuhalten.“

Ein knappes Jahr später war nur noch davon die Rede, daß „im Rahmen von FESAE [Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt Andere Entsorgungstechniken] untersucht werden [sollte], mit welchem Aufwand die mit endgültiger Absicht eingelagerten Brennelemente notfalls wieder aus dem Endlagerbergwerk entfernt werden können“ [AE 1 1981, S. 13]. Statt der Suche nach „brauchbaren technischen Lösungen“ für die Rückholbarkeit wurde also nur noch untersucht, mit welchem Aufwand bei nicht-rückholbarer Endlagerung „notfalls“ doch noch eine Rückholung erfolgen könnte.

1983 erklärte die Reaktorsicherheitskommission in ihren sogenannten Kriterien zur Endlagerung [RSK 1983], Rückholbarkeit bei der Endlagerung sei „nicht erforderlich“.

Im Januar 1984 wurde im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsschwerpunktes „Andere Entsorgungstechniken“ noch eine Studie der Zugänglichkeit von Brennelementen vorgelegt, die nicht-rückholbar im Salz endgelagert wurden [SAE 1984].

In dieser Studie wird unter der Annahme, daß ein Zugang zu den Endlagerbehältern aus wirtschaftlichen Gründen angestrebt wird, untersucht, ob dieser Zugang mit den heutigen Mitteln und nach den heute geltenden Bestimmungen zum Zeitpunkt 100 Jahre nach der Einlagerung erreicht werden kann. Dieser Zeitpunkt wurde für die Bewetterung als ungünstigster Fall angesehen (maximale Temperaturen an den Grenzflächen zwischen Versatz und Salz). Das Endlager wird als - ohne Rücksichtnahme auf Rückholbarkeit - ordnungsgemäß verfüllt und verschlossen angenommen.



Um den Zugang zu den Endlagergebinden zu ermöglichen, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: Es muß ein für den Menschen erträgliches Klima eingestellt werden; und das neu aufzufahrende Grubengebäude muß standfest sein.

Die Studie kommt zu folgenden Ergebnissen:

Eine Auskühlung des gesamten Endlagerbereiches ist technisch nicht vertretbar; jedoch ist eine Klimatisierung der Strecken durch Sonderbewetterung ohne großen Aufwand möglich. Dadurch entstehen im streckennahen Salz jedoch große Temperaturgradienten; Risse im Salz sind zu erwarten. Ob durch diese Risse die Standfestigkeit beeinträchtigt wird, kann aus heutigem Wissensstand nicht entschieden werden.

Eventuell könnte die Begehbarkeit des Grubengebäudes dadurch erreicht werden, daß der hohe Temperaturgradient in eine wärmedämmende Isolierschicht gelegt wird. Eine endgültige Aussage könnte jedoch erst nach Vorliegen genauerer Kenntnisse über das Salzverhalten bei hohen Temperaturen und bei Abkühlung getroffen werden.

Damit war in der fachlichen Diskussion der Rückholbarkeit als einer u.U. anzustrebenden Möglichkeit zum Offenhalten von Optionen für fast 10 Jahre praktisch das letzte Wort gesprochen. Im Rahmen der Entwicklung der direkten Endlagerung fand eine Auseinandersetzung mit der Rückholbarkeit zwar weiter statt, aber nur noch im Zusammenhang mit den Sicherheitskontrollen (safeguards) des Endlagers: Die Rückholung zwecks Abzweigung und Mißbrauch des spaltbaren Materials, also als Gefahrenmoment, wurde weiter betrachtet.

Die Aussagen der Studie von 1984 wurden dabei weiterentwickelt. Nach dem derzeitigen Stand erscheint es als möglich, eine größere Zahl von Endlagerbehältern mit abgebranntem Kernbrennstoff aus einem verschlossenen Endlager zu holen. Aufgrund der gewaltigen technischen und wirtschaftlichen Anstrengungen, die zu



diesem Zwecke erforderlich wären, wird allerdings davon ausgegangen, daß eine Geheimhaltung solcher Aktivitäten nicht möglich wäre. Die Anlagen zum Abteufen der Schächte und die entstehenden Gesteinshalden wären durch Überwachungsmaßnahmen an der Oberfläche leicht zu erkennen [LOMMERZHEIM 1994].

Neue Anstöße für die Diskussion der Rückholbarkeit als ein u.U. anstrebenswertes Ziel dagegen wurden in Deutschland erst wieder auf dem Internationalen Endlager-Hearing des NMU im September 1993 gegeben.

### 3.3 Aussagen zur Rückholbarkeit auf dem Endlager-Hearing 1993

In den Berichten der vier vom Niedersächsischen Umweltministerium eingesetzten Arbeitsgruppen zum Endlager-Hearing wurde die Frage der Rückholbarkeit wiederholt angesprochen, aber nicht umfassend analysiert und bewertet. Vor allem die Arbeitsgruppe Eignungsnachweis befaßte sich allerdings mehrfach und relativ intensiv mit dieser Frage. Bei den Diskussionen auf dem Hearing selbst tauchte dieser Punkt immer wieder auf; insgesamt wurde deutlich, daß es sich hier um ein Thema handelt, bei dem weiterer Klärungs- und Diskussionbedarf besteht.

Im Bericht der Arbeitsgruppe Schutzziele wird auf die Möglichkeit hingewiesen, daß eine Rückholung aus wirtschaftlichen Gründen in der Zukunft interessant werden könnte. Als realistischer Zeitraum dafür werden 50 bis 100 Jahre nach Ende des Einlagerungsbetriebes angesehen [IRLWECK 1993]. In einem anderen Zusammenhang wird auf den Zielkonflikt hingewiesen, der zwischen der Gewährleistung der Sicherheit durch gestaffelte Barrieren einerseits, und dem Offenhalten einer Zutrittsmöglichkeit zum Zwecke von Überwachung, Reparatur oder Rückholung andererseits besteht. Es wird gefordert, dem sicheren Einschluß der radioaktiven Stoffen die erste Priorität zu geben - auch wenn dies auf Kosten der Reparatur- und Rückholungsmöglichkeiten geht [FLÜELER 1993].



Die Arbeitsgruppe Barrieren befaßt sich in ihrem Bericht mit der Rückholbarkeitsfrage ausschließlich im Zusammenhang mit der Frage „Direkte Endlagerung oder Wiederaufarbeitung“. Dabei beschränkt sie sich darauf, kurz auf die Bedeutung dieses Punktes hinzuweisen [AG-BA 1993, Kap. 6.4].

Die Arbeitsgruppe Standortvorauswahl weist in ihrer Einleitung darauf hin, daß z.B. in den USA von verschiedenen Stellen untersucht wird, ob rückholbare Endlagerung bzw. rückholbare Langzeitlagerung den Interessen zukünftiger Generationen mehr dienen würde als die nicht-rückholbare Endlagerung. Es wird festgestellt, daß ein auf Rückholbarkeit beruhendes Konzept für die Standortvorauswahl Konsequenzen haben könnte. Der Hauptteil des Berichtes behandelt diesen Punkt jedoch nicht weiter [AG-SV 1993, Kap. 1]. In dem Anhang über die Situation in den USA wird darauf hingewiesen, daß die nicht-rückholbare Endlagerung in den USA kritisiert wird, da bei diesem Konzept mögliche Verbesserungen des technologischen Standards in der Zukunft nicht ins Kalkül gezogen würden. Aus dieser Sicht sollten keine irreversiblen Entscheidungen getroffen werden, die verhindern, daß zukünftige Generationen korrigierend eingreifen bzw. ihre eigenen alternativen Lösungen auswählen. Der Autor des Anhanges tendiert selbst zu der Auffassung, daß rückholbare Langzeitlagerung - ob über oder unter Tage - die beste Strategie sein könnte [GERVERS 1993].

Im Bericht der Arbeitsgruppe Eignungsnachweis wird die Möglichkeit der „langfristigen Zwischenlagerung in Bergwerken“ diskutiert (die Ähnlichkeiten mit der rückholbaren Endlagerung aufweist). Die Arbeitsgruppe kommt zu dem Schluß, daß bei der Endlagerung mit Rückholbarkeit der Abfälle ein unauflösbarer Zielkonflikt zwischen der für Wartung und Überwachung erforderlichen Zugangsmöglichkeit und der Langzeitsicherheit besteht: „Die gemeinsame Umsetzung der Vorteile beider Strategien ist nicht möglich. Schließlich stellen die für Überwachung und Reparatur von Lagereinrichtungen und die Rückholung der Abfälle erforderlichen Zugangswege zugleich Zutrittswege für Wasser an den Abfall und Ausbreitungswege für Radioknuklide aus dem Lager in die Biosphäre dar.“



In diesem Zusammenhang wird auch auf die Risiken einer Zwischenlagerung in übertägigen Einrichtungen hingewiesen, die sich aus ihrer Lage innerhalb der Biosphäre und der Möglichkeit von Störfällen aufgrund technischer Defekte und durch menschliches Versagen ergeben. Es wird gefordert, daß Endlagerung nicht mit dem Vorbehalt einer späteren Rückholung, und Zwischenlagerung in jedem Falle nur mit einem festgelegten Zeithorizont erfolgen soll [AG-EN 1993, Kap. 3.1].

Daran schließt eine Diskussion der Frage an, ob eine möglichst frühzeitige Endlagerung anzustreben wäre. Dabei wird einerseits auf die noch offenen Probleme bei der Endlagerung - nicht zuletzt im Zusammenhang mit den Nachweis der Langzeitsicherheit - verwiesen, andererseits aber darauf, daß auch die Einschätzung des Verhaltens künftiger Generationen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist und nicht davon ausgegangen werden kann, daß sich diese Generationen insgesamt vernünftiger verhalten werden als die Menschen heute. Weiterhin ist die Forderung zu beachten, daß der mutwillige Zugang zu Kernbrennstoffen mit dem Ziel, Material für die Waffenproduktion zu gewinnen, möglichst erschwert werden soll. Dies würde für baldige Endlagerung in möglichst nicht-rückholbarer Form - etwa in tiefen Bohrlöchern statt in einem Bergwerk - sprechen [AG-EN 1993, Kap. 3.3].

Dieser Punkt wird in einem Anhang genauer aufgegriffen. Dabei wird festgestellt, daß besonders in einer Zukunft ohne Kernenergienutzung im großen Maßstab das in einem Endlager enthaltene Plutonium einen attraktiven Rohstoff zum Waffenbau darstellen könnte [KABERGER 1993].

Direkt auf das Arbeitsgruppenthema bezogen wird im Bericht der Arbeitsgruppe Eignungsnachweis schließlich auch noch darauf hingewiesen, daß bei rückholbarer Lagerung in einem Langzeit-Zwischenlager der Eignungsnachweis anders geführt werden müßte als bei nicht-rückholbarer Endlagerung. Andere Ausbreitungsmechanismen und Expositionssituationen sind zu berücksichtigen; die Frage des (mutwilligen) Zuganges spielt eine besondere Rolle: „In den Eignungsnachweis werden eher sicherheits- und überwachungstechnische sowie gesellschaftliche Aspekte als solche des Radionuklidtransportes einfließen“ [AG-EN 1993, Kap. 3.4].



In der Diskussion auf dem Hearing stand im Zusammenhang mit der Rückholbarkeit die Frage der Verantwortlichkeit gegenüber künftigen Generationen im Vordergrund. Die in den Berichten der Arbeitsgruppen enthaltenen Aussagen wurden vorgebracht. J. Gervers wies im Zusammenhang mit seiner Forderung nach Rückholbarkeit darauf hin, daß als Konsequenz eines solchen Ansatzes Salzgestein wegen seines Kriechverhaltens als Wirtsgestein ausscheide.

Von den Beiträgen, die im Rahmen der öffentlichen Diskussion gehalten wurden, ist besonders erwähnenswert ein Statement eines Vertreters der Niederländischen Regierung, der die in Kapitel 2.3 dargestellte Position vortrug [DUTCH GOVERNMENT 1993]. Weiterhin ist ein Beitrag der Arbeitsgruppe IANUS zu erwähnen, in dem gefordert wurde, daß die radioaktiven Abfälle für einen unbegrenzten Zeitraum bewacht und kontrolliert oberirdisch gelagert werden sollen [KALINOWSKI 1993].



#### 4. Technische Möglichkeiten

##### 4.1 Einleitung, Rahmen der Betrachtung

Die Auswertung der bisher weltweit durchgeführten Überlegungen zur Rückholbarkeit legt es nahe, grundsätzlich zwischen kurzfristig (d.h. hier: für Zeiträume von bis zu etwa 100 Jahren) und langfristig (d.h. zeitlich unbegrenzt) angelegter Rückholbarkeit zu unterscheiden.

Die Betrachtung darf sich dabei nicht nur auf mögliche Maßnahmen zur Erleichterung der Rückholbarkeit (also die Gestaltung eines „rückholungsfreundlichen“ Endlagers) beschränken. Wichtig ist auch die Frage nach den Möglichkeiten der Überwachung des Zustandes eines Endlagers. Ausreichende Überwachungsmöglichkeiten sind die Voraussetzung dafür, daß eine Rückholung aus Sicherheitsgründen überhaupt gezielt erfolgen kann; denn schließlich muß eindeutig erkennbar sein, ob bzw. wann eine Rückholung erforderlich ist. Auch bei einer Rückholung aus anderen Gründen es wäre für die Planung der Maßnahmen sehr hilfreich, über aktuelle Informationen über den Zustand des Endlagers zu verfügen.

Diese Themen werden in dem vorliegenden Kapitel behandelt. Die noch weiter greifende Frage nach der Bewahrung von Information über Ort, Anlage und Inhalt des Endlagers über sehr lange Zeiträume - eine notwendige Voraussetzung der langfristigen Rückholbarkeit - wird in Kapitel 5 aufgegriffen. In Kapitel 6 wird weiterhin die hier zunächst ausgeklammerte Frage nach möglichen Nachteilen der Rückholbarkeit, soweit die Abfälle waffenfähiges Spaltmaterial enthalten, diskutiert.



## 4.2 Maßnahmen zur Erleichterung der Rückholbarkeit

Maßnahmen zur Erleichterung der Rückholbarkeit müssen folgende drei Bereiche betreffen: Die Auslegung der Abfallgebinde und deren Verpackung; die Auslegung des Endlagerbergwerkes; sowie die Wahl des Wirtsgesteines.

Eine weitere Maßnahme kann darin bestehen, das Endlager nicht zum frühestmöglichen Zeitpunkt in den Endzustand (vollständige Verfüllung) zu bringen, sondern es - teilweise oder vollständig - offenzuhalten.

Die denkbaren Maßnahmen zur Erleichterung der Rückholbarkeit werden in der Folge dargestellt. Ihre zeitliche Reichweite wird kurz diskutiert; mögliche Nachteile werden angeführt.

### Abfallgebinde und Verpackung:

- a) Keine extrem großen und schweren Gebinde. Damit wird die Rückholung auf Dauer erleichtert. Bei der direkten Endlagerung steht diese Anforderung aber mit dem Bestreben im Konflikt, aus Strahlenschutzgründen möglichst ganze Brennelemente zu verpacken und auf ein Zerschneiden - das ein Einfüllen der Stücke in kleinere Kokillen ermöglichen würde - zu vermeiden.
- b) Verpackung möglichst stabil, mit möglichst langer Standzeit. Damit wird die Rückholung erleichtert, solange die Integrität der Behälter noch gegeben ist. Zu beachten ist allerdings ein möglicher Zielkonflikt mit Anforderung a).
- c) Behälter mit Abschirmfunktion. Hier gilt im wesentlichen auch das bei b) gesagte. Das Problem der für die Handlung erforderlichen Abschirmung entschärft sich im übrigen im Laufe des ersten Jahrtausends aufgrund des Zerfalles der meisten Spaltprodukte.



- d) Temperatur der Abfallgebinde niedrig halten (bei wärmeentwickelnden Abfällen). Diese Maßnahme ist langfristig für den Zeitraum wirksam, währenddessen die Wärmeentwicklung noch eine Rolle spielt. Sie erfordert allerdings längere oberirdische Zwischenlagerung zum Abklingen und/oder eine Verteilung der Radionuklide auf ein größeres Abfallvolumen, woraus wiederum größerer Platzbedarf im Endlager folgt.

Auslegung des Endlagerbergwerkes:

- e) Größere Abstände bei Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle. Dadurch wird, wie durch Maßnahme d), die Gebirgstemperatur niedriger gehalten. Der damit verbundene Nachteil ist ein größerer Flächenbedarf im Endlager.
- f) Lagerung in Strecken bzw. Kammern statt in Bohrlöchern. Eine solche Lagerung wird z.T. ohnehin, und zwar völlig unabhängig von Fragen der Rückholbarkeit, vorgesehen bzw. als mögliche Variante in Erwägung gezogen. Die Zugangsmöglichkeiten werden dadurch langfristig verbessert; während der Einlagerungsphase wird ein erhöhter Aufwand für den Strahlenschutz erforderlich.
- g) Bei Lagerung in Bohrlöchern: Verrohrung derselben. Das Schließen der Bohrlöcher durch Konvergenz wird behindert; dadurch würde eine Entnahme für die Standzeit der Verrohrung erleichtert. Andererseits kann auch ein Wasser-(Laugen-)zutritt dadurch erleichtert werden.
- h) Maßnahmen zur Erleichterung des Auffindens der Abfälle. Solche Maßnahmen können z.B. das Einfärben von Versatzmaterial einschließen. Sie sind dauerhaft wirksam und mit keinen Nachteilen verbunden.



Wahl des Wirtsgesteins:

Die drei weltweit am häufigsten untersuchten bzw. für eine Endlagerung ins Auge gefaßten Gesteinstypen sind Salz, Granit und Ton.

Salz ist aufgrund seines Kriechverhaltens, insb. bei höheren Temperaturen, als besonders „rückholungsfeindlich“ anzusehen. Bessere Voraussetzungen für eine Rückholbarkeit dürften grundsätzlich im Granit existieren, der sich durch hohe Gesteinsfestigkeit auszeichnet und auch bei höheren Temperaturen die Auffahrung standfester Grubenbaue gestattet.

Tongesteine zeigen eine große Variabilität und dürften insgesamt im Hinblick auf Rückholungsfreundlichkeit zwischen Salz und Granit liegen. Während plastische Tone wenig tragfähig sind, weisen Tongesteine und Tonschiefer eine höhere Festigkeit auf. Bei den plastischen Tönen besteht weiterhin das Problem geringer thermischer Stabilität.

Verfüllen oder Offenhalten des Endlagers:

Bei den deutschen Endlagern bzw. Endlagerprojekten ist vorgesehen, daß die Endlagerkammern bzw. -strecken jeweils versetzt werden, sobald sie mit Abfall verfüllt sind. Die Verfüllung der sonstigen Hohlräume mit Versatzmaterial soll ohne nennenswerte Zeitverzögerung erfolgen, nachdem die letzten Abfälle in das Endlager verbracht wurden.

Zweifelloos hat demgegenüber das Offenhalten der Kammern und Strecken für einen gewissen Zeitraum im Hinblick auf die Rückholbarkeit Vorteile: Der Zugang zu den Abfallgebinden ist ohne weiteres möglich. Darüber hinaus kann das Endlager umfassend überwacht werden; insb. können folgende Punkte laufend überprüft werden:



- Konvergenz, Spannungszustände im Gebirge,
- Wasserzuflüsse: Orte, Mengen, Zusammensetzung,
- Gebindezustand, u.a. durch Monitore in der Abluft.

Diesen Vorteilen steht allerdings eine Reihe schwerwiegender Nachteile gegenüber. Durch den Wegfall der stabilisierenden Wirkung der Verfüllung beschleunigt sich die Konvergenz; Spannungsumlagerungen im Gebirge erfolgen schneller, es kommt mehr Dynamik in das gesamte System. Dadurch kann auch die Wahrscheinlichkeit eines Wassereinbruches erhöht werden. Aufgrund der besseren Ausbreitungsbedingungen im offenen Grubengebäude und den besseren Zulaufmöglichkeiten zu den Abfällen ist bei einem Wassereinbruch weiterhin mit schlimmeren Auswirkungen zu rechnen.

Das Offenhalten der Einlagerungsbereiche bewirkt außerdem verstärkte Radionuklidemissionen mit der Abluft. Zusätzliche Maßnahmen zum Schutze der Beschäftigten sowie zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach Strahlenschutzverordnung können erforderlich werden.

Im Falle eines Wassereinbruches sind grundsätzlich Gegenmaßnahmen (Abpumpen des Wassers, bzw. rasches Auslagern der Abfälle) denkbar. Insbesondere bei einem Bergwerk im Salz können aber die Zuflußraten rasch zunehmen, sodaß Gegenmaßnahmen u.U. nur in unzureichendem Maße durchgeführt werden können.

Möglichkeiten der Überwachung bestehen im übrigen auch bei einem Endlagerkonzept mit rascher Verfüllung; während der Bau- und Betriebsphase sind Überwachungsmaßnahmen auch bei den deutschen Endlagerprojekten in den zugänglichen Bereichen vorgesehen.



Insgesamt scheinen bei einer Endlagerung im Salz die Nachteile des Offenhaltens die Vorteile zu überwiegen. Eine etwas andere Situation könnte im Granit gegeben sein, in dem die Konvergenz sehr viel langsamer abläuft. Zwar treten in Granit regelmäßig Wasserzuflüsse auf, doch ist die Wahrscheinlichkeit eines unvorhersehbaren katastrophalen Wassereinbruches geringer als im Salz.

Ein Offenhalten des Endlager-Bergwerkes über Jahrhunderte und länger erscheint in keinem Falle als attraktive Variante. Genauer zu prüfen wäre allerdings die Frage, ob ein Offenhalten für wenige Jahrzehnte nach Ende der Einlagerung (wie in dem US-Endlager Yucca Mountain vorgesehen) soviel mehr an sicherheitsrelevanten Informationen zu sammeln gestattet, daß es trotz der damit verbundenen Gefahren von Interesse wäre. Dabei wäre zu berücksichtigen, welche Unterschiede in der Einschätzung sich ggf. bei verschiedenen Wirtsgesteinen, insb. Salz und Granit, ergeben.

#### **4.3 Grenzen und Möglichkeiten von Überwachungsmaßnahmen**

Auf die Möglichkeiten zur Überwachung eines offenen Endlagerbergwerkes braucht hier nicht weiter eingegangen zu werden; dieser Punkt ist weitgehend trivial. Nicht trivial ist dagegen die Frage nach den Möglichkeiten, durch gezielte Überwachungsmaßnahmen auch aus einem verschlossenen Bergwerk noch sicherheitsrelevante Informationen zu erhalten.

Es erscheint grundsätzlich möglich, durch „verlorene Sensoren“ einfacher Bauart und mit hoher Redundanz bestimmte Zustandsgrößen im Bereich des Endlagers zu messen; z.B. Temperaturen durch den Einsatz temperaturabhängiger Widerstände. Ähnliche Meßverfahren wurden in der Asse angewandt, allerdings nicht von der Oberfläche aus. Schwieriger wäre Datenerfassung über geodynamische Sensoren, die komplizierter aufgebaut sind und daher kaum die erforderliche Zuverlässigkeit erreichen könnten [JENTZSCH 1994].



Auch mit einfachen, passiven Systemen dürfte die erreichbare Lebensdauer von Sensoren und Leitungen aber bestenfalls in der Größenordnung von etwa 100 Jahren liegen. Derartige Überwachungssysteme können also zur langfristig rückholungsfreundlichen Gestaltung eines Endlagers kaum beitragen.

Für beliebige Zeiträume besteht die Möglichkeit, über Grundwassermeßstellen zu überwachen, ob Radionuklide aus dem Endlager in das oberflächennahe Grundwasser gelangt sind. Eine solche Überwachung gestattet ggf. die gezielte Durchführung von Gegenmaßnahmen wie Nutzungseinschränkungen beim Grundwasser. Als „Frühwarnsystem“ für eine erforderliche Rückholung ist sie allerdings nicht geeignet, da sie gerade bei einem gut gewählten Endlagerstandort erst zu einem sehr späten Zeitpunkt (erheblich später als die Flutung des Endlagers) anzeigt, daß Emissionen aus dem Endlager stattfinden, bzw. stattgefunden haben. Der Versuch einer Rückholung in einer solchen Situation, ohne genauere Informationen über die Situation im Endlager und seiner Umgebung, könnte dazu führen, daß sich die Lage noch weiter verschlechtert, wirft Arbeitsschutz-Probleme auf und erscheint insgesamt mehr als zweifelhaft.

#### **4.4 Denkbare Varianten einer rückholbaren Endlagerung**

Aus den bisherigen Überlegungen können zwei Varianten abgeleitet werden, wie eine rückholbare Endlagerung u.U. in sinnvoller Form durchgeführt werden könnte. Diese Varianten unterscheiden sich in Zielsetzung und Zeithorizont beträchtlich.

##### Kurzfristige Rückholbarkeit aus offenem Endlagerbergwerk:

Für Zeiträume von einigen Jahrzehnten kann die Rückholbarkeit prinzipiell durch Offenhalten des Bergwerkes gewährleistet werden. Aufgrund der in diesem Falle gegebenen guten Überwachungsmöglichkeiten ist eine Auslagerung des Abfalls



aus Sicherheitsgründen oder anderen Motiven möglich. Im Vordergrund steht hier das Interesse an einer Überprüfung der Vorhersagen über das Verhalten des Endlagersystems.

Erforderlich ist in diesem Fall, daß die erwarteten Erkenntnisse vorher möglichst präzise definiert werden und die Überwachung gezielt nach diesen Vorgaben erfolgt. Weiterhin sind verbindliche Kriterien erforderlich, mit deren Hilfe entschieden wird, wann gegebenenfalls welche Maßnahmen ergriffen werden.

Das Teilsystem „geologische Barriere“ kann allerdings durch das kurzfristige Offenhalten nicht wesentlich besser beurteilt werden. Insbesondere können bei einem Endlagerbergwerk, das unterhalb des Grundwasserspiegels liegt, keine Erkenntnisse über den Endzustand des verfüllten Endlagers gewonnen werden. Ein begrenzter Erkenntnisgewinn über das Verhalten des Wirtsgesteins im Nahfeld ist allerdings möglich. Da die Langzeitsicherheit ausschließlich von der geologischen Barriere abhängt, trägt diese Variante insgesamt kaum zur Erhöhung der Langzeitsicherheit bei.

Zu klären wäre hier noch, welche Zeiträume - auch in Abhängigkeit vom Wirtsgestein - für das Offenhalten maximal noch vertretbar wären. In diesem Falle wäre primär die Frage zu stellen, wie sehr die Risiken gegenüber einem verfüllten Bergwerk erhöht werden. Falls die - z.B. politische - Vorgabe bestünde, daß eine Zugänglichkeit der Abfälle für einen bestimmten Zeitraum auf jeden Fall gegeben sein muß, ergäbe sich dagegen eine andere Vergleichsbasis: Es müßte ein Risikovergleich zwischen einem offenen Endlagerbergwerk einerseits, und einem Zwischenlager an oder nahe der Oberfläche andererseits vorgenommen werden.

#### Verfülltes, „rückholungsfreundliches“ Endlager:

Bei Realisierung der in 4.2 diskutierten Maßnahmen könnte ein verfülltes Endlager langfristig rückholungsfreundlich ausgelegt werden. Eine Rückholung aus wirtschaftlichen Gründen oder mit dem Ziel, die Abfälle mittels neuer Technologien



erneut zu behandeln, könnte so erleichtert werden. Für eine Rückholung aus Sicherheitsgründen würde dagegen die Basis fehlen; es könnte nicht rechtzeitig erkannt werden, ob bzw. wann eine solche Rückholung zweckmäßig wäre.

Die technische Machbarkeit der in 4.2 angegebenen Maßnahmen zur Erleichterung der Rückholung steht weitgehend außer Frage. Klärungsbedarf besteht hier im Hinblick auf die Kosten dieser Maßnahmen -- gerade wenn an eine spätere Rückholung aus wirtschaftlichen Gründen gedacht wird, gewinnt der Aspekt an Bedeutung, welche Mehrkosten zum Offenhalten dieser Möglichkeit noch sinnvoll sind.

Eine weitere Frage, die evtl. noch weiter untersucht werden sollte, wäre die nach den Möglichkeiten, trotz der in 4.3 beschriebenen technischen Probleme eine Überwachung über längere Zeiträume soweit zu realisieren, daß sie als Frühwarnsystem für eine Rückholung aus Sicherheitsgründen dienen und die rückholungs-freundliche Auslegung des Endlagers damit auch insoweit praktisch ausgenützt werden kann.

Auch in diesem Falle wären verbindliche Kriterien als Basis der Rückholung erforderlich. Aus Sicherheitsgründen müßte diese u.U. kurzfristig erfolgen; somit bleibt die Frage offen, ob die erforderlichen Maßnahmen gegebenenfalls rasch genug durchgeführt werden könnten.

Für den Fall, daß eine langfristige Kontrolle und Überwachung der Abfälle mit Eingriffsmöglichkeit als erforderlich angesehen wird, kommt eine rückholbare Endlagerung nicht in Betracht. Es müßten Konzepte für eine „Langzeitlagerung“ entwickelt werden, wie sie z.B. von der Niederländischen Regierung (siehe Kapitel 2.3) und von IANUS/Nuclear Guardianship Forum (siehe Kapitel 3.3) vertreten werden.

Ein solches Lager könnte, um einen besseren Schutz vor äußeren Einwirkungen zu erzielen, unterirdisch (oberflächennah oder auch im tieferen Untergrund) angelegt werden. Es wäre nach grundlegend anderen Gesichtspunkten zu errichten und



zu betreiben als ein Endlager. Das größte Problem in diesem Zusammenhang besteht zweifellos darin, eine ausreichende institutionelle Stabilität zu erreichen, die die kontinuierliche Kontrolle und Überwachung des Lagers auf dem erforderlichen technischen Niveau und den Zugang zu den Abfällen über sehr lange Zeiträume sicherstellt.

Voraussetzung dafür, daß die rückholungsfreundlichen Eigenschaften eines Endlagers überhaupt irgendwann - aus welchem Grund auch immer - genutzt werden können, ist die langfristige Bewahrung ausreichender Informationen über das Endlager. Dieser Punkt ist nicht nur im Zusammenhang mit Fragen der Rückholbarkeit von Bedeutung; er wird auch im Hinblick auf die Vermeidung von ungewolltem menschlichem Eindringen in das Endlager diskutiert (s. dazu Kapitel 5).

Bei der Bewertung von Konzepten der rückholbaren Endlagerung ist schließlich auch von großer Bedeutung, daß - abgesehen von den sicherheitstechnischen Vor- und Nachteilen verschiedener Herangehensweisen - bei Endlagern, die spaltbares Material in nennenswerten Mengen enthalten, Rückholungsfreundlichkeit und auch Bewahrung von Informationen als gravierender Nachteil angesehen werden kann, da sie den Zugriff zwecks militärischen Mißbrauchs erleichtern. Die Frage der Sicherheitskontrollen (safeguards) für Endlager, die im Zusammenhang mit der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente ohnehin zu klären ist, gewinnt besondere Schärfe, wenn durch gezielte Maßnahmen der Zugriff noch erleichtert wird. Auf diese Probleme wird in Kapitel 6 eingegangen.



## 5. Die Bewahrung von Informationen über ein Endlager

Die langfristige Bewahrung von Informationen über ein Endlager ist einerseits eine Grundvoraussetzung für späteren gezielten Zugriff zwecks Rückholung der Abfälle oder auch zwecks Durchführung von Reparaturmaßnahmen. Aufgrund der Schwierigkeit, aktuelle Informationen über den Zustand des Endlagers zu beschaffen, hat der letztere Punkt allerdings nur eine sehr eingeschränkte Bedeutung (vgl. Kapitel 4.3). Andererseits kann dadurch vermieden werden, daß das Endlager unbeabsichtigt bei bergmännischen Aktivitäten angebohrt oder angefahren wird.

In den meisten Staaten wurde diesem Problemkreis bisher schon deshalb wenig Aufmerksamkeit geschenkt, weil bei den meisten Endlagerprogrammen auf Rückholbarkeit kein Wert gelegt wird. Im Hinblick auf das unbeabsichtigte menschliche Eindringen besteht bisher weitgehender Konsens darüber, daß von administrativen Kontrollen nur für relativ kurze Zeit (100 - 500 Jahre) Kredit genommen werden kann. In diesem Zusammenhang ist allerdings von Interesse, daß der RSK-Ausschuß Endlagerung kürzlich die Erarbeitung von Vorschlägen forderte, wie das Wissen um das Endlagerbergwerk für ca. 10.000 Jahre erhalten werden könne [RSK 1993].

Soweit dem Verfasser bekannt, gibt es jedenfalls noch in keinem Staat verbindliche Vorschriften über die langfristige Bewahrung der Information über Endlager. Das Thema wurde allerdings, vor allem in den USA und den skandinavischen Staaten, bereits vertieft erörtert und untersucht. Die folgenden Ausführungen stützen sich weitgehend auf eine neuere skandinavische Studie [KAN-1.3 1993].

Ausgehend von den oben genannten Motiven für die Bewahrung der Information behandelt diese Studie u.a. die folgenden zentralen Fragestellungen:



- Welche Informationen sollen aufbewahrt werden?
- Wie soll diese Aufbewahrung erfolgen?

Der ins Auge gefaßte Zeitraum wird nicht genau eingegrenzt; es wird grundsätzlich festgestellt, daß es sich um „long time periods“ handelt. Eine Präzisierung erfolgt dahingehend, daß davon ausgegangen wird, daß eine Bewahrung der Informationen bis zur nächsten Eiszeit ins Auge gefaßt wird. Diese wird in den skandinavischen Ländern u.U. schon in einigen 1.000 Jahren, spätestens jedoch in etwa 50.000 Jahren erwartet. Es wird aber auch betont, daß die Bewahrung über das erste Jahrtausend als am wichtigsten angesehen wird. Einerseits ist ein großer Teil der Spaltprodukte nach Ablauf dieses Zeitraumes zerfallen; andererseits sind alle Überlegungen über menschliche Verhaltens- und Vorgehensweisen, die über diesen Zeitraum hinausgehen, mit großen Unsicherheiten behaftet.

Als die wichtigsten Informationen, unabhängig davon, wer sie zu welchem Zweck benötigt, werden folgende angesehen:

- Die geographische Lage des Endlagers. Der Wert aller anderen Informationen ist stark herabgesetzt, wenn diese nicht bekannt ist.
- Grunddaten zu den Abfällen wie Radionuklid-Inventar, chemische und physikalische Eigenschaften usw..
- Auslegung des Endlagers, Geometrie, technische und natürliche Barriersysteme usw..
- Die gesamte Datenbasis mit allem Hintergrund-Material, die in die Sicherheitsanalyse des Endlagers eingegangen ist.

Die Datenbasis für die Sicherheitsanalyse wird dabei als wichtiger angesehen als diese Analyse selbst, da davon ausgegangen wird, daß zukünftige Generationen



auf dieser Grundlage fähig sein werden, selbst Kalkulationen zur Sicherheit des Endlagers vorzunehmen und nach ihren Ergebnissen zu handeln.

Weitere wertvolle Informationen wären zum Beispiel:

- Gesetze und sonstige allgemeine Informationen aus der und über die Gesellschaft, die das Endlager angelegt hat.
- Die endgültige Sicherheitsanalyse des Endlagers selbst.
- Aufzeichnungen über den Betrieb des Endlagers, wie z.B. Verzeichnisse der Strahlenbelastung des Personals, die Datenbasis über die Abfälle, und Aufzeichnungen über die Betriebsabläufe.

Für das „Wie“ der Informationsbewahrung wird eine Strategie dargestellt, die aus drei Komponenten besteht: Archive, Markierungen (Monumente), und die Bewahrung von Information in der Gesellschaft.

In Archiven können detailliertere Informationen aufbewahrt werden. Es wird eine Speicherung auf Papier oder Mikrofilm vorgeschlagen, die von speziellen Techniken weit weniger abhängig ist als eine Speicherung mittels digitaler Medien. Es wird angenommen, daß Papier bei entsprechender Lagerung eine Haltbarkeit über 1000 Jahre und länger besitzen kann, bei Mikrofilm wird von einer Haltbarkeit über 200 Jahre ausgegangen.

Markierungen können eine Lebensdauer von mehreren 1000 Jahren erreichen. Sie eignen sich naturgemäß nicht zur Bewahrung detaillierter Informationen; jedoch können sie Hinweise auf Archive geben, die sonst u.U. mit dem Standort gar nicht in Verbindung gebracht würden.

Flankierend dazu können Informationen und auch bestimmte Grundeinstellungen (z.B. Archive nicht als Bürde zu sehen, sondern als eine Sicherung des Rechtes



auf Information) im Schul- und Rechtswesen usw. in der Gesellschaft erhalten werden. Auch auf die Möglichkeit der Weitergabe durch Mythen und Sagen wird hingewiesen.

Es wird empfohlen, daß bis zum Zeitpunkt des Verschließens des Endlagers der Betreiber die Verantwortung für die Zusammenstellung der zu archivierenden Informationen usw. trägt. Danach soll die gesamte Verantwortung für die Maßnahmen zu Bewahrung von Information auf die Regierung übergehen.

An weiteren Untersuchungen wird empfohlen:

- Einschätzung von Gefahren für das Endlager und den Möglichkeiten, durch Einsatz von Informationssystemen diese Gefahren zu verringern.
- Ermittlung der Kosten-Effektivität verschiedener Maßnahmen zur Bewahrung von Information.
- Genauere Überlegungen zu den Informationen, die gespeichert werden sollen, und den Verfahren, um Informationen zu extrahieren und zusammenzufassen.

Der erste dieser drei Punkte betrifft vor allem die mit unbeabsichtigtem menschlichem Eindringen in das Endlager zusammenhängenden Probleme; die beiden letzteren sind auch im Zusammenhang mit der Rückholbarkeit von Bedeutung.

Das entscheidende Problem bei der Informationsbewahrung über lange Zeiträume dürfte nach Meinung des Bearbeiters dieses Beratungsauftrages nicht in den Kosten oder den technischen Möglichkeiten der Speicherung von Information liegen, sondern in der langfristigen institutionellen Stabilität, die Voraussetzung für den Zugriff auf Archive ist - also letztlich in den gesellschaftlichen Verhältnissen.



Aufgrund der großen Bedeutung des Themas wäre es zu begrüßen, wenn es in Zukunft auch in Deutschland größere Aufmerksamkeit fände und systematisch untersucht würde. Dabei wäre auch der Frage nachzugehen, ob sich aus diesen Untersuchungen Konsequenzen für das Vorgehen bei der Endlagerplanung und beim Eignungsnachweis ergeben.



## 6. Rückholbarkeit von spaltbarem Material als Problem

Bei einem Endlager, das spaltbares Material enthält, bedeutet Rückholungsfreundlichkeit zugleich verbesserten Zugriff und damit erleichterten Mißbrauch dieses Materials. Dies betrifft vor allem Endlager mit abgebranntem Kernbrennstoff oder stark plutoniumhaltigen Abfällen und würde natürlich besonders auch für die Endlagerung von konditioniertem Plutonium - z.B. aus verschrotteten Kernwaffen - gelten.

Im Rahmen der Untersuchungen zur direkten Endlagerung in Deutschland wird auch die Frage der Sicherheitskontrollen (safeguards) untersucht. Die potentiellen Endlagerbetreiber (DBE) gehen dabei davon aus, daß solche Sicherheitskontrollen machbar sind. Für die Nachbetriebsphase wird insb. darauf verwiesen, daß die bergmännischen Aktivitäten zur Rückholung des Brennstoffes keinesfalls geheim zu halten und leicht zu entdecken wären [LOMMERZHEIM 1994; BIURRUN 1994].

Weiterhin wird häufig darauf hingewiesen, daß in einer Welt, in der Kernenergie in großem Maßstab genutzt wird, verschiedene erheblich attraktivere Möglichkeiten zur Abzweigung oder Beschaffung von spaltbarem Material bestünden, als dieses mit großem Aufwand aus einem Endlager zu holen (z.B. Abzweigung aus Wiederaufarbeitungs- oder MOX-Fertigungsanlagen, oder Herstellung in einem geheim errichteten Produktionsreaktor mit eigener kleiner Wiederaufarbeitungsanlage -- vgl. den Fall Nord-Korea).

Das Argument der leichten Überwachbarkeit steht und fällt mit der Dauerhaftigkeit kontrollierender Institutionen, die keineswegs über Jahrtausende garantiert werden kann. Es ist durchaus denkbar, daß summarische Informationen über Lage und Inhalt des Endlagers lange Zeiträume überdauern, während längst keine systematischen Kontrollen mehr durchgeführt werden, ja das Bewußtsein der Notwendig-



keit solcher Kontrollen bei den vorhandenen staatlichen Stellen gar nicht mehr besteht.

Das Argument der fehlenden Motivation einer Abzweigung aus einem Endlager trifft dann nicht mehr zu, wenn in einer post-nuklearen Welt allenfalls noch kleine Atomanlagen zu Forschungszwecken und Isotopenproduktion betrieben werden, aber spaltbare Stoffe nicht mehr in großen Mengen an der Erdoberfläche hantiert werden. In einer solchen Situation könnte eine Endlager eine wichtige und attraktive Quelle z.B. für eine Regierung sein, die sich Atomwaffen beschaffen möchte.

Das Bestreben, Informationen über Endlager zu bewahren und diese rückholungs-freundlich auszulegen, steht also in Konflikt mit dem Ziel, einen Mißbrauch von spaltbarem Material möglichst wirksam zu verhindern. Dieser Zielkonflikt könnte nur mit dem Konzept einer bewachten Langzeitlagerung vollständig aufgelöst werden.

Das Problem der Abzweigung von Spaltmaterial stellt sich dabei für lange Zeiträume; der Zeithorizont ist durchaus vergleichbar dem, für den Analysen der Strahlenbelastung der Umgebung des Endlagers angestellt werden müssen.

Typisches Reaktorplutonium in abgebranntem Kernbrennstoff verändert im Laufe der Jahre und Jahrtausende aufgrund der stark unterschiedlichen Halbwertszeiten verschiedener Plutonium-Isotope seine Zusammensetzung. Es bleibt von der isotopischen Zusammensetzung her für etwa 70.000 Jahre für den Bombenbau attraktiv; nach dieser Zeit sind noch über 10 % der Ausgangsmenge vorhanden. Innerhalb eines „Zeitfensters“ von etwa 20.000 bis 50.000 Jahre nach Einlagerung ist es aufgrund seiner isotopischen Zusammensetzung sogar besser zur Herstellung von Waffen geeignet als bei Einlagerung (erheblich geringere Wärmeentwicklung; etwas geringerer Neutronenhintergrund; geringere Oberflächen-Strahlung).

Auch die Abtrennung ist in diesem Zeitfenster erleichtert, da der „Selbstschutz“ des abgebrannten Kernbrennstoffes bereits sehr stark reduziert ist - die Neutronen-



Quellstärke beträgt weniger als 1 % des Ausgangswertes, die gamma-Quellstärke weniger als 0,01 %.

Plutonium mit ungünstiger Isotopen-Zusammensetzung kann grundsätzlich durch Verfahren der Isotopentrennung in dem für den Bau von Sprengkörpern besonders geeigneten Pu-239 angereichert werden. Bei normalem Reaktor-Plutonium sind dazu allerdings sehr aufwendige Verfahren (Laser-Isotopen-Trennung) erforderlich. Mit konventionellen Anreicherungsverfahren, die für die Trennung von U-235 und U-238 entwickelt wurden, lassen sich die Isotope Pu-238, Pu-239 und Pu-240 nicht ausreichend separieren, da ihre Gewichtsunterschiede zu gering sind.

Zum Zeitpunkt 70.000 Jahre nach Einlagerung und später besteht das Plutonium in den abgebrannten Brennelementen praktisch nur noch aus Pu-239 und Pu-242. Eine Abtrennung des Pu-239 ist dann auch mit einfachen Anreicherungsverfahren möglich. Unter der Annahme, daß das Wissen über solche Verfahren in der post-nuklearen Zukunft noch vorhanden ist, verlängert sich der Zeitraum, für den von dem Endlager eine Proliferationsgefahr ausgeht, auf 250.000 Jahre [SWAHN 1992].

Da es zweifelhaft ist, daß ein Sicherheitskontroll-(safeguards-)System für die erforderlichen langen Zeiträume aufrechterhalten werden kann, stellt sich die Frage, unter welchen Umständen auf safeguards verzichtet werden könnte. Formal-juristisch wird dies in den einschlägigen Vorschriften der Internationalen Atomenergie-Organisation IAEA geregelt. Die Dokumente INFCIRC/66/Rev. 2 und INFCIRC/153 [IAEA 1965; 1971] geben verschiedene Bedingungen für die Beendigung von safeguards an. Im hier gegebenen Zusammenhang relevant ist die Festlegung, Material könne aus safeguards entlassen werden, wenn es „praktisch unwiederbringlich“ („practicably irrecoverable“) sei. Diese Forderung stellt auch aus technischer Sicht ein vernünftiges Kriterium dar.

Die bisher weltweit vorrangig verfolgten Endlager-Konzepte erfüllen diese Forderung nicht (vgl. Kapitel 3.3 zur prinzipiellen Rückholbarkeit aus Salz). Es gibt je-



doch eine Reihe von Konzepten, die in verschiedenen Ländern zumindest schon angedacht wurden und die einer praktischen Unwiederbringbarkeit nahekommen. Insbesondere werden in einer schwedischen Studie [SWAHN 1992] genannt::

- Geologische Endlagerung in sehr tiefen Bohrlöchern (z.B. in USA und Schweden studiert, früher auch in Dänemark).
- Lagerung unter dem Meeresboden.
- Verbringung in den Weltraum.
- Verbringung in das arktische oder antarktische Packeis (hier wäre nach Ansicht des Bearbeiters dieses Beratungsauftrages allerdings noch zu klären, ob damit tatsächlich die Unwiederbringbarkeit gewährleistet werden könnte).

In der genannten Studie werden diese Varianten untereinander und mit dem KBS-3 Endlagerkonzept, verschiedenen Verfahren zur Verdünnung und Verteilung sowie verschiedenen Verfahren zur Transmutation verglichen. Dabei werden die Kriterien der Schwierigkeit der Rückholung, Kosten, Sicherheit und Akzeptanz angelegt. Der Autor der Studie kommt zu dem Ergebnis, daß die Lagerung in sehr tiefen Bohrlöchern unter diesen Gesichtspunkten am günstigsten einzuschätzen ist - evtl. im Rahmen einer internationalen Lösung kombiniert mit der Lagerung im Meeresboden. Er empfiehlt weiterhin, den Ort des Endlagers möglichst zu tarnen und die Informationen über das Lager gezielt zu „vergessen“ - was bei einem Endlager unter dem Meeresboden u.U. besonders einfach sein könnte.

Ähnliche Überlegungen im Hinblick auf die Lagerung in sehr tiefen Bohrlöchern wurden auch von der Arbeitsgruppe „Eignungsnachweis“ auf dem Endlager-Hearing angestellt (vgl. Kapitel 3.3).



Der Gesichtspunkt der Mißbrauchsgefahr muß bei der Diskussion der Rückholbarkeit/Nicht-Rückholbarkeit der Endlagerung mit berücksichtigt werden, soweit es sich um Abfälle handelt, die spaltbares Material enthalten. Es handelt sich dabei keineswegs um einen Punkt von untergeordneter Bedeutung: Während die radiologischen Gefahren, die von einem Endlager ausgehen, im wesentlichen regional begrenzt sind, können die Proliferationsgefahren globale Auswirkungen haben.

Allerdings wäre es auch nicht zielführend, wegen der Gefahr einer zukünftigen Rückholung spaltbarer Stoffe aus dem Endlager die direkte Endlagerung abzulehnen und stattdessen Wiederaufarbeitung zu fordern. Durch die Wiederaufarbeitung abgebrannter Kernbrennstoffe werden zum Zeitpunkt der Durchführung, in oberirdischen Anlagen, durch die relativ gute Zugänglichkeit und die bestehenden Abzweigungsmöglichkeiten sehr große Probleme geschaffen. Im übrigen müssen auch in einem Kernenergiesystem mit Leichtwasserreaktoren und Wiederaufarbeitung nennenswerte Plutoniummengen (wenn auch geringere als im Falle der direkten Endlagerung) in abgebrannten Brennelementen schließlich endgelagert werden.



## 7. Übergeordnete Gesichtspunkte

### 7.1 Rückholbare/nicht-rückholbare Endlagerung im Entsorgungskonzept insgesamt

Eine wichtige Rolle bei der Planung und Realisierung der Entsorgung insgesamt kann die Frage der Rückholbarkeit im Zusammenhang mit der direkten Endlagerung spielen, wenn Rückholbarkeit gezielt die Möglichkeit offenhalten soll, zu einem späteren Zeitpunkt doch noch wiederaufzuarbeiten. Dies steht aber zur Zeit nicht zur Diskussion: im Gegenteil besteht zur Zeit aus wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Gründen ein klarer Trend zur definitiven direkten Endlagerung.

Im Rahmen einer Kernenergie-Ausstiegspolitik spricht auch nichts dafür, die Frage der Rückholbarkeit zwecks evtl. Wiederaufarbeitung wieder aufzuwerfen.

Es stellt sich allerdings die Frage, ob die Rückholbarkeit aus Sicherheitsgründen angestrebt werden soll. Aufgrund der begrenzten Mengen bei einem Ausstiegs-Szenario wäre eine Rückholung eher realisierbar; ebenso aber eine oberirdische oder oberflächennahe Zwischenlagerung bis zur definitiven Klärung der Endlagerfrage.

Auch im Rahmen einer Politik der weiteren Nutzung der Kernenergie dürfte kaum Interesse an einer rückholbaren Endlagerung von abgebranntem Kernbrennstoff bestehen. Der Trend zur nicht-rückholbaren direkten Endlagerung besteht auch aus Kostengründen; ihre Akzeptanz bei den Kernkraftwerksbetreibern ist gegeben und bedarf keiner Förderung durch das Offenhalten der Option späterer Wiederaufarbeitung. Das bedeutet: Es besteht zur Zeit keine starke Rückkoppelung zwischen der Frage Rückholbarkeit/Nicht-Rückholbarkeit und dem Entsorgungskonzept insgesamt.



Rückholbarkeit als Sicherheitsgründen für einen begrenzten Zeitraum - etwa nach US-Vorbild - könnte als Maßnahme angesehen werden, um die Akzeptanz in der Öffentlichkeit zu fördern, sowie, um es Behörden und politischen Entscheidungsträgern leichter zu machen, die Verantwortung für Endlager zu übernehmen.

Daraus könnte sich eine „Feigenblatt“- oder Alibifunktion der Rückholbarkeit entwickeln, mit der während der Errichtung des Endlagers argumentiert wird, während später der Sachzwang der bereits erfolgten Einlagerung und der Schwierigkeit der tatsächlichen Rückholung den Ausschlag dafür gibt, die Abfälle doch dort zu belassen, wo sie nun einmal schon sind. Dies gilt nicht zuletzt angesichts der großen Abfallmengen, um die es bei laufender Produktion schließlich gehen würde - wohin sollten sie ausgelagert werden?

Insgesamt zeigt sich auch hier wieder, daß im Falle einer Ausstiegspolitik erheblich mehr Spielraum für eine sicherheitsmäßige Optimierung der Entsorgung besteht. Auch über die Rückholbarkeit sollte letztlich nur im Zusammenhang mit dem Kernenergieausstieg ernsthaft diskutiert werden.

Die Frage der langfristigen Rückholbarkeit transzendiert die aktuelle Frage nach der Wahl des Entsorgungskonzeptes.

## 7.2 Ethische und gesellschaftliche Aspekte

Bei den ethischen Fragen steht folgender Zielkonflikt im Mittelpunkt:

- Einerseits sollen zukünftigen Generationen, die keine Vorteile von der Produktion der radioaktiven Abfälle haben, keine Aufgaben bzw. Lasten hinterlassen werden, und insb. auch keine Lager, von denen Proliferationsgefahren ausgehen.



- Andererseits sollen zukünftigen Generationen Eingriffsmöglichkeiten offengehalten werden, damit diese nach ihren Vorstellungen Veränderungen oder Reparaturen an dem Endlager vornehmen können, bis hin zu einer Rückholung der Abfälle.

Die Forderung, daß grundsätzlich Eingriffsmöglichkeiten für zukünftige Generationen nicht ausgeschlossen sein sollen, wird auch von Vertretern offizieller Institutionen erhoben [RÖTHEMEYER 1994], allerdings nur in sehr allgemeiner Form:

„Generally, safety and the limitation of the burden on future generations require a sealed repository without the necessity of a particular control and monitoring programme; a perfect technical system, however, does not exist and future generations ought to have the possibility for surveillance and responsible action including reparability/retrievability.“ Daraus wird die Folgerung gezogen:

„Repository construction and sealing in a way that renders surveillance and reparability unnecessary, but not impossible.“

Die Entscheidungen gehen über das technisch/naturwissenschaftliche hinaus; die technischen Überlegungen können lediglich den Rahmen aufzeigen, innerhalb dessen politisch-ethische Entscheidungen möglich sind, d.h.:

- Wenn weitgehende langfristige Kontrolle und Überwachung gewünscht wird
  - dann sollen keine Endlager, sondern „Langzeit-Lager“ errichtet werden, die nach wesentlich anderen Gesichtspunkten auszulegen sind.
- Wird eine solche Kontrolle dagegen nicht gewünscht, bietet sich die nicht-rückholbare Endlagerung an. Dabei kann u.U. eine mehrere Jahrzehnte umfassende Überwachungsphase mit Rückholmöglichkeit vorgesehen werden, damit vor dem endgültigen Verschuß noch ein höherer Grad der Bestätigung der Vorhersagen über das Verhalten des Endlagers erreicht werden kann (die Möglichkeiten, dabei Informationen zu gewinnen, die für die Beurteilung der Langzeitsicherheit relevant sind, sind allerdings sehr begrenzt - vgl. Kapitel 4.4). Wird darüber hinaus die Nicht-Rückholbarkeit



ausdrücklich als Tugend angesehen, um den größtmöglichen Schutz des spaltbaren Materials zu erzielen, wären allerdings Konzepte wie die Lagerung in sehr tiefen Bohrlöchern zu erwägen, bei denen von Anfang an praktisch keine Rückholbarkeit mehr gegeben ist.

- Ein möglicher Kompromiß könnte in Form des „rückholungsfreundlichen“ Endlagers realisiert werden. Eine gezielte Rückholung aus Sicherheitsgründen könnte bei einem solche Lager allerdings, soweit heute ersichtlich, kaum realisiert werden (mangelnde Information über den aktuellen Zustand!). Außerdem erleichtert die „Rückholungsfreundlichkeit“ auch den illegalen Zugriff.

Bei kontrollierter Langzeit-Lagerung stellt sich auch die Kostenfrage. Kosten, die über sehr lange Zeiträume anfallen, scheinen aufgrund der „Abzinsung“ kein besonderes Problem darzustellen. Allerdings setzt diese Herangehensweise ein bestimmtes Wirtschaftssystem voraus; es ist offen, ob sich das Kostenproblem in der Zukunft nicht völlig anders stellen könnte. Bei einer geringen Zahl von Lagern dürften die Kosten allerdings letztlich nicht das entscheidende Problem darstellen, sondern die Gewährleistung ausreichender institutioneller Stabilität.

Pointiert kann hier wie folgt zusammengefaßt werden: Die Entscheidung, ob Rückholbarkeit oder nicht, ist im Falle der kurzfristigen Rückholbarkeit (während einer verlängerten Phase der Überwachung des Endlagers zur Verifikation der Voraussetzungen zum Systemverhalten) praktisch ausschließlich eine technische Entscheidung, bei der die Frage im Vordergrund steht, ob die Vorteile des Informationsgewinns insgesamt die Nachteile der erhöhten Gefahr eines Wassereinbruches überwiegen oder nicht. Bei der langfristigen Rückholbarkeit bzw. Zugänglichkeit handelt es sich aber um eine politisch-ethische Entscheidung.



## 8. Erfordernis weiterführender Arbeiten

Die Möglichkeit und Sinnhaftigkeit weiterführender Arbeiten wurde in den vorhergegangenen Kapiteln bereits an verschiedenen Stellen diskutiert. Zusammenfassend kann die Bearbeitung folgender Punkte empfohlen werden:

- Vor- und Nachteile der kurzfristigen Rückholbarkeit nach US-Vorbild aus technischer Sicht. Vorweg ist festzulegen, welche Wirtsgesteine hier berücksichtigt werden sollen. Als erster Schritt wäre dann ein Katalog der während der Phase des Offenhaltens des Endlagers zu überprüfenden Fragestellungen und Parameter zu erstellen, sowie ein darauf abgestimmter Katalog der dazugehörigen Maßnahmen. Weiterhin wäre zu klären, welche Erkenntniszuwächse im Hinblick auf die Sicherheit des Endlagers, insb. die Langzeitsicherheit, dabei zu erwarten sind.  
Ergänzend wäre eine Betrachtung der durch das Offenhalten verursachten Risiken durchzuführen. Vergleichsbasis dabei ist ein verfülltes Endlager; u.U. auch ein oberirdisches Zwischenlager. Auf dieser Grundlage kann die Frage beantwortet werden, ob ein Offenhalten des Endlagers für begrenzte Zeit sinnvoll wäre; auch der gegebenenfalls einzuhaltende Zeitrahmen könnte in etwa festgelegt werden.
- Möglichkeiten der Überwachung eines verfüllten Endlagers von der Oberfläche aus, über längere Zeiträume (mehrere Jahrhunderte oder länger). Auch die Frage der Kriterien für eine Rückholung und des Zeitrahmens für Interventionsmöglichkeiten ist dabei zu prüfen. Ziel dabei ist, bessere Grundlagen für die Beurteilung der möglichen Vorteile eines „rückholungsfreundlichen“ Endlagers zu bekommen.
- Möglichkeiten der Bewahrung von Informationen über Jahrtausende. Solche Untersuchungen wären auch im Zusammenhang mit dem Themenkreis



„human intrusion“ von Interesse. Sie könnten nützliche Erkenntnisse auch für den Fall liefern, daß zu einem späteren Zeitpunkt entschieden wird, daß Informationen über Endlager-Standorte möglichst rasch „vergessen“ werden sollen. Zu berücksichtigen wäre dabei auch, ob sich aus diesen Untersuchungen Konsequenzen für das Vorgehen bei der Endlagerplanung und beim Eignungsnachweis ergeben können.

Im Hinblick auf die langfristige (Jahrhunderte und länger) Rückholbarkeit bei leichter Zugänglichkeit ist aus technisch/naturwissenschaftlicher Sicht zu sagen, daß sie sowohl bei Lagerung in einem Bergwerk als auch in Bauten an der Oberfläche gegenüber dem Verbringen in ein verfülltes Endlager sicherheitstechnische Nachteile mit sich bringt. Das Hauptproblem beim offenen Bergwerk stellt dabei die Gefahr des Wassereinbruches, beim Lager an der Oberfläche die Bedrohung durch Einwirkungen von Außen dar.

Falls eine langfristige Kontrolle und Überwachung der radioaktiven Abfälle mit Eingriffsmöglichkeit als erforderlich angesehen wird, müßten neue Konzepte für eine „Langzeitlagerung“ entwickelt werden, die diese Nachteile nach Möglichkeit ausgleichen. Ob eine solche Kontrolle und Überwachung anzustreben ist, ist eine Frage, die die technisch/naturwissenschaftliche Ebene transzendiert; Untersuchungen auf dieser Ebene könnten nichts zu ihrer Klärung beitragen.



## 9. Literaturverzeichnis

Zur Zitierweise von Beiträgen zum internationalen Endlager-Hearing des Niedersächsischen Umweltministeriums, 21. - 23. 09. 1993: Da die offizielle Dokumentation zum Endlager-Hearing z.Zt. noch nicht vorliegt, wird wie folgt vorgegangen: Beiträge, die einer Person zuzuordnen sind (Mitglied einer Arbeitsgruppe oder sonstige/r Diskussionsteilnehmer/in) werden entsprechend der auch sonst üblichen Zitierweise mit Familiennamen und Jahr zitiert. Zitate aus Berichten von Arbeitsgruppen, die der gesamten Gruppe zuzuordnen sind, werden mit der Bezeichnung der Arbeitsgruppe und dem Jahr zitiert; die entsprechende Kapitelnummer aus diesem Bericht wird im Text angegeben.

- |                  |  |
|------------------|--|
| AE1 1981         | Andere Entsorgungstechniken - Zielsetzung und Aufbau der Systemstudie Andere Entsorgungstechniken; KfK, Ber. AE Nr. 1, August 1991   |
| AGK 1977         | Sachstandsbericht zur Entsorgung von Kernkraftwerken der AGK der IGM/ÖTV, 1977   |
| AGK 1979a        | Sachstandsbericht zur Entsorgung von Kernkraftwerken der AGK der IGM/ÖTV, September 1979   |
| AGK 1979b        | Sicherheitsvergleich von Entsorgungskonzepten (Fassung B), AGK der IGM/ÖTV, Dezember 1979  |
| ALBRECHT 1979    | Regierungserklärung von Ministerpräsident Albrecht, Hannover, 16. 05. 1979   |
| ALLAN 1993       | Allan C.J. & Whitaker S.H.: The basis for confidence in the evaluation of the long term safety of nuclear fuel waste disposal; Proceedings of the int. conference Safewaste '93, Avignon, 13. - 18. 06. 1993, Vol. 1: Plenary Sessions, S. 278-287 |
| ANDRÉ JEHAN 1992 | André Jehan R. et al.: Etude du confinement des déchets à vie longue par des structures géologiques; RGN No. 5, Septembre-Octobre 1992, S. 414-419   |



- APPEL 1994 Appel D. & Kreusch J.: Entwicklung von Grundlagen für ein Verfahren zur Auswahl und Beurteilung der Langzeitsicherheit von Endlagerstandorten; erstellt im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums, Abschlußbericht - Entwurf, Gruppe Ökologe u. PanGeo, Hannover, Februar 1994
- ATOMFORUM 1979 Rede-Gegenrede, Symposium der Niedersächsischen Landesregierung zur grundsätzlichen sicherheitstechnischen Realisierbarkeit eines integrierten nuklearen Entsorgungszentrums; Deutsches Atomforum, Bonn, 1979
- BIURRUN 1994 Biurrun E. et al.: Safeguards and Spent Fuel Direct Disposal - The Role of Repository Verification and Reexamination; Jahrestagung Kerntechnik '94, Stuttgart, 17. - 19. 05. 1994, Tagungsbericht S. 266-269
- CFR 1982 Nuclear Waste Policy Act of 1982 - General Guidelines for the Recommendation of Sites for the Nuclear Waste Repositories (Final Siting Guidelines); 10 CFR Part 960, 1982
- CFR 1983 Disposal of High-Level Radioactive Wastes in Geologic Repositories - Licensing Procedures; 10 CFR Part 60, 1983
- CFR 1985 Environmental Standards for the Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High-Level and Transuranic Radioactive Wastes; 40 CFR Part 191, Final Rule, 19. 09. 1985
- CLOSS 1982 Closs K.D.: Pro- und Contra-Argumente zur „Rückholbaren Endlagerung“; Kernforschungszentrum Karlsruhe, 21. 09. 1982
- CURIEN 1992 Le Traitement des produits de la fin du cycle électronucléaire et la contribution possible de Superphénix; Rapport du Ministre de la Recherche et de l'Espace à Monsieur la Premier Ministre, Paris, 17. 12. 1992 („Rapport Curien“)
- DUTCH GOVERNMENT 1993 The Position of the Dutch Government on Deep Burial - The Dutch Government's position on whether deep burial is a feasible and suitable method of disposal for waste (The National Environmental Policy Plan [NEPP], action point 62), 14. 05. 1993
- EGT 1978 Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung - Jahresbericht 1978; Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Kernforschungszentrum Karlsruhe



- ESK 10 1979      Stellungnahme des Sachverständigenkreises ESK 10 des BMFT zur Zwischen- und Endlagerung nichtaufgearbeiteter Brennelemente, 1979
- EPA 1978          Criteria for Radioactive Waste; proposed by EPA, FR Vol. 43, No. 221, 17. 11. 1978
- FESAE 1980      Entwurf des Forschungs- und Entwicklungsschwerpunktes „Andere Entsorgungstechniken für abgebrannte Kernbrennstoffe“, Bonn, Stand vom 29. 09. 1980
- FLÜELER 1993    Flüeler T.: Plädoyer für die Erweiterung und Verschärfung der Schutzziele; Beitrag im Rahmen der Arbeitsgruppe Schutzziele des Endlager-Hearings, Braunschweig 1993
- GERVERS 1993    Gervers J.: Site selection experience in USA; Beitrag im Rahmen der Arbeitsgruppe Standortvorauswahl des Endlager-Hearings (Appendix A3), Braunschweig 1993
- GIR 1979          Bericht der Gorleben International Review - Über den Antrag zur Errichtung eines Nuklearen Entsorgungszentrums bei Gorleben; erstellt im Auftrag der Niedersächsischen Landesregierung, Hannover, April 1979
- HANCOX 1991      Hancox W.T. & Nuttall K.: The Canadian approach to safe, permanent disposal of nuclear fuel waste, Nuclear Engineering and Design 129 (1991), S.109-117
- HUERTAS 1993    Huertas F. & Ulibarri A.: Reference Concepts for the Final Disposal of LWR Spent Fuel and Other High Activity Wastes in Spain; Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prag, Vol. 1, S. 309-317
- HOORELBEKE 1993    Hoorelbeke J.-M. & Raimbault P.: The Conceptual Design of Deep Geological Disposal in France: A Basis for Research and Development; Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prag, Vol. 1, S. 519-525
- IAEA 1965          The IAEA safeguards system of 1965-68, INFCIRC/66/Rev. 2; IAEA, Wien, 1965
- IAEA 1971          The IAEA model NPT safeguards agreement of 1971, INFCIRC/153; IAEA, Wien, 1971
- IAEA 1993          Report on Radioactive Waste Disposal; IAEA Technical Reports Series No. 349, Wien, 1993



- IRLWECK 1993 Irlweck K.: Beitrag zur Arbeitsgruppe Schutzziele des Endlager-Hearings, Braunschweig, 1993
- JENSEN 1993 Jensen M.: SSI's Review of SKB's Research Program 1992; SSI-rapport 93-21, Statens stralskyddsinstitut, Stockholm, 1993
- JENTZSCH 1994 Persönliche Mitteilung von Prof. Jentzsch anlässlich der Sitzung der Ausschüsse Endlagerung und Entsorgungskonzept des Beirates für Fragen des Kernenergieausstiegs, Hannover, 27. 05. 1994
- KABERGER 1993 Kaberger T.: Managing Spent Nuclear Fuel For a Post Nuclear Era; Beitrag im Rahmen der Arbeitsgruppe Eignungsnachweis des Endlager-Hearings (Anhang 1.1), Braunschweig, 1993
- KAN-1.3 1993 Conservation and Retrieval of Information - Guidance for Formulation of a Strategy to Inform Future Societies about Nuclear Waste Repositories; Nordic Nuclear Safety Research Program, Working Group KAN-1.3, Draft Version, Stockholm, 22. 06. 1993
- KEDROVSKY 1993 Kedrovsky O.L. et al.: Technological Parameters of Underground Facilities for Long-Term Storage of High-Temperature Sources; Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prag, Vol. 1, S. 343-347
- KREUSCH 1993 Kreusch J. & Neumann W.: Kurzgutachten zur Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle aus der Medizin; erstellt im Auftrag der Fraktion Bündnis 90/Grüne im Landtag Sachsen-Anhalt, Gruppe Ökologie, Hannover, August 1993
- KRIEGER 1993 Krieger K.-H. et al.: Gefahrenabschätzung für die Schachtanlage Asse; erstellt im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums, NLF Hannover, OBA Clausthal-Zellerfeld, Bergamt Goslar, 1993
- LOI 91-1381 1991 Loi no. 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs
- LOMMERZHEIM 1994 Lommerzheim A. et al.: Safeguards and Spent Fuel Direct Disposal - The Retrievability of Spent Fuel after Repository Closure; Jahrestagung Kerntechnik '94, Stuttgart, 17. - 19. 05. 1994, Tagungsbericht S. 262-265



- MAREK 1993 Marek J.: Conceptual Approach to Radioactive Waste Management in Czeck Republic; Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prag, Vol. 1, S. 97-100
- NWPA 1982 Nuclear Waste Policy Act of 1982 (42 USC Secs. 10101-10226)
- NUCFUEL 1994 Nuclear Fuel, May 23, 1994, S. 2f.
- NUCSAFETY 1991 Nuclear Safety, 32-3, 1991
- RAYNAL 1993 Raynal M. & Tison J.L.: Scientific and Technical Objectives of Underground Laboratories in France; Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prag, Vol. 1, S. 505-511
- RÖTHEMEYER 1994 Röthemeyer H. & Warnecke E.: Radioactive waste management - the international approach; Kerntechnik 59, No. 1-2, 1994, S. 7-13
- RYHANEN 1993 Ryhanen V. & Palmu J.: Spent Fuel Management of the Finnish Nuclear Power Plants; Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prag, Vol. 1, S. 93-96
- RSK 1977 Grundsätzliche sicherheitstechnische Realisierbarkeit des Entsorgungszentrums - Beurteilung und Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission (RSK) und der Strahlenschutzkommission (SSK) vom 20. 10. 1977
- RSK 1979 Stellungnahme der Reaktorsicherheitskommission zu sicherheitstechnischen Fragestellungen der Entsorgung, 16. 05. 1979
- RSK 1983 Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk; Reaktorsicherheitskommission, Bundesanzeiger 35, Nr. 2, 05. 01. 1983, S. 45-46
- RSK 1993 Protokoll der 53. Sitzung des RSK-Ausschusses Endlagerung, 10. 12. 1993
- SAAS 1990 Die Entsorgung von radioaktiven Abprodukten aus der Anwendung der Atomenergie in der Deutschen Demokratischen Republik; Staatliches Amt für Atomicherheit und Strahlenschutz, Report SAAS-381, Berlin, 1990



- SAE 1984 Studie zur Überprüfung der Zugänglichkeit von abgebrannten Brennelementen in einem Endlager; Systemstudie Andere Entsorgungstechniken, Technischer Anhang 10, Gg. Noell GmbH, Januar 1984
- SCHNEIDER 1990 Schneider M.: Die Plutoniumindustrie; Restrisiko Nr. 6, Greenpeace, Hamburg, April 1990, S. 27-36
- SCHNEIDER 1991 Schneider M.: Industrial and Strategic Aspects of the Plutonium Fuel Cycle in France; Proceedings, International Conference on Plutonium, Omiya, 02.-04. 11. 1991, S. 175-187
- SCHNEIDER 1994 Persönliche Mitteilung von M. Schneider an den Autor, Hannover, 29. 04. 1994
- SKI&HSK 1990 Regulatory Guidance for Radioactive Waste Disposal - an Advisory Document; Statens Kärnkraftinspektion/ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, SKI Technical Report 90, 1990
- SMITH 1987 Smith L.A.: Preliminary Review of Retrieval Issues for a High-Level Nuclear Waste Repository in Salt; Office of Nuclear Waste Isolation - Battelle Memorial Institute, Technical Report BMI/ONWI-673, November 1987
- SWAHN 1992 Swahn J.: The Long-Term Nuclear Explosives Predicament; Technical Peace Research Group, Institute of Physical Resource Theory, Göteborg, 1992