

Analyse der  
Entsorgungssituation in der  
Bundesrepublik Deutschland  
und Ableitung von  
Handlungsoptionen unter der  
Prämisse des Ausstiegs aus der  
Atomenergie

---

**Gruppe Ökologie**

**Auftraggeberin:  
Heinrich Böll Stiftung**

**Heinrich Böll Stiftung**

**Analyse der Entsorgungssituation in der  
Bundesrepublik Deutschland  
und Ableitung von Handlungsoptionen unter  
der Prämisse des Ausstiegs aus der Atomenergie**

**Abschlußbericht**

**Auftraggeber:**

**Heinrich Böll Stiftung**

**Hannover, August 1998**

## Bearbeitung:

Dipl.-Geol. Jürgen Kreuzsch <sup>1)</sup>  
Dipl.-Phys. Wolfgang Neumann <sup>1)</sup>  
Dr. Detlef Appel <sup>2)</sup>

- 1) Gruppe Ökologie e.V.  
Kleine Düwelstraße 21  
30 171 Hannover  
Tel.: 0511 - 85 30 55
- 2) PanGeo - geowissenschaftliches Büro  
Ibykusweg 23  
30 629 Hannover  
Tel.: 0511 - 95 86 710

**Inhaltsverzeichnis****Seite****Kurzfassung:**

<b>1</b>	<b>Einleitung und Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zusammenfassende Darstellung der derzeitigen Entsorgungssituation in Deutschland</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Die Entsorgungsstrategie</b>	<b>9</b>
3.1	Ableitung der Entsorgungsstrategie	9
3.1.1	Voraussetzungen und Rahmenbedingungen	9
3.1.2	Arten und Mengen an radioaktiven Abfällen	10
3.1.3	Übertägige Entsorgungsschritte	11
3.1.3.1	Brennelemente und HAW-Kokillen	11
3.1.3.2	Sonstige radioaktive Abfälle	15
3.1.3.3	Zusammenfassende Darstellung der dezentralen übertägigen Entsorgungsstrategie	18
3.1.4	Endlagerung	19
3.2	Die Entsorgungsstrategie in Kürze	24
<b>4</b>	<b>Handlungsbedarf</b>	<b>26</b>

**Hauptteil: Analyse der Entsorgungssituation in der Bundesrepublik Deutschland und Ableitung von Handlungsoptionen**

<b>H-1</b>	<b>Das deutsche Entsorgungskonzept</b>	<b>H-1</b>
<b>H-2</b>	<b>Zuständigkeiten, neuere Entwicklungen und Akteure bei der Entsorgung</b>	<b>H-7</b>
H-2.1	Überblick über die Zuständigkeiten bei der Entsorgung	H-7
H-2.2	Änderungen der gesetzlichen Grundlagen zur Entsorgung	H-10

H-2.3	Wichtige Akteure und Randbedingungen	H-13
H-2.3.1	Energieversorgungsunternehmen	H-14
H-2.3.2	Konsensgespräche (1993 - 1997)	H-17
H-2.3.3	Für die Entsorgung wichtige Gremien und Institutionen	H-20
H-2.4	Privatisierung im Bereich der Entsorgung	H-30
H-2.5	Internationalisierung bei der Entsorgung	H-33
H-2.5.1	Diskussionsstand	H-33
H-2.5.2	Vor- und Nachteile der Internationalisierung	H-36
H-2.5.3	Schlußfolgerungen zur Internationalisierung der Endlagerung	H-37
<b>H-3</b>	<b>Die radioaktiven Abfälle</b>	<b>H-39</b>
H-3.1	Klassifizierung der radioaktiven Abfälle	H-39
H-3.2	Bestand an radioaktiven Abfällen	H-41
H-3.3	Prognosen zum Anfall radioaktiver Abfälle und zu benötigten Lagerkapazitäten	H-43
H-3.3.1	Mengenprognosen für bestrahlte Brennelemente	H-44
H-3.3.2	Prognose der Zwischenlagerkapazität für Brennelemente	H-46
H-3.3.3	Mengenprognose für wärmeentwickelnde Abfälle (ohne Brennelemente)	H-49
H-3.3.4	Lagerkapazitätsprognosen für wärmeentwickelnde Abfälle (ohne Brennelemente)	H-50
H-3.3.5	Mengenprognosen für gering wärmeentwickelnde Abfälle	H-51
H-3.3.6	Lagerkapazitätsprognosen für gering wärmeentwickelnde Abfälle	H-54
<b>H-4</b>	<b>Übertägige Entsorgungsschritte</b>	<b>H-57</b>
H-4.1	Übertägige Entsorgungsschritte für radioaktive Abfälle (ohne bestrahlte Brennelemente)	H-57

H-4.2	Grundlegende Entsorgungsstrategien für bestrahlte Brennelemente	H-62
H-4.2.1	Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung	H-63
H-4.2.2	Entsorgungsstrategie mit Direkter Endlagerung	H-65
H-4.2.3	Entsorgungsstrategie mit Transmutation	H-68
H-4.3	Detailbetrachtung einzelner Entsorgungsschritte für bestrahlte Brennelemente	H-71
H-4.3.1	Wiederaufarbeitung	H-72
H-4.3.1.1	Wiederaufarbeitungsverträge	H-72
H-4.3.1.2	Wiederaufgearbeitete Kernbrennstoffe	H-75
H-4.3.1.3	Wiederaufarbeitungsabfälle	H-77
H-4.3.1.4	Sicherheitsaspekte bei der Wiederaufarbeitung	H-79
H-4.3.2	Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente	H-80
H-4.3.2.1	Zwischenlagertechnik	H-80
H-4.3.2.2	Zentrale/dezentrale Zwischenlagerung	H-82
H-4.3.2.3	Genehmigungssituation für Brennelementzwischenlager	H-87
H-4.3.3	Konditionierung bestrahlter Brennelemente	H-90
H-4.3.4	Transporte bestrahlter Brennelemente	H-94
H-4.3.5	Entsorgungsvorsorgenachweis	H-96
H-4.4	Vergleich der übertragigen Entsorgungsstrategien bzw. Pfade und ihre Umsetzbarkeit	H-100
H-4.4.1	Technik	H-100
H-4.4.2	Sicherheit	H-101
H-4.4.3	Proliferation	H-102
H-4.4.4	Abfallmengen	H-104
<b>H-5</b>	<b>Endlagerung</b>	<b>H-106</b>
H-5.1	Endlagerungskonzeption in Deutschland	H-106
H-5.2	Anforderungen an Standortauswahl und Eignungsnachweis für Endlager	H-112

---

H-5.2.1 Rahmenbedingungen und Grundanforderungen	H-112
H-5.2.2 Methodische Anforderungen	H-114
H-5.3 Vorgehensweise bei der Standortauswahl in Deutschland	H-127
H-5.3.1 Kriterienkataloge	H-127
H-5.3.1.1 BGR-Kriterien 1977	H-128
H-5.3.1.2 Gorleben-Kriterien	H-130
H-5.3.1.3 RSK-Kriterien	H-130
H-5.3.1.4 BGR-Kriterien 1994/1995	H-132
H-5.3.2 Bisherige Suchverfahren	H-135
H-5.3.3 Bewertung der bisherigen Vorgehensweise bei der Standortauswahl	H-138
H-5.4 Der Nachweis der Langzeitsicherheit in Deutschland: Die Methode Sicherheitsanalyse	H-139
H-5.4.1 Abriß der historischen Entwicklung der Methode Sicherheitsanalyse	H-140
H-5.4.2 Darstellung der Methode Sicherheitsanalyse	H-142
H-5.4.2.1 Vorgehensweise bei der Sicherheitsanalyse	H-142
A.5.4.2.2 Die Aussagekraft der mit der Sicherheitsanalyse ermittelten Ergebnisse	H-147
H-5.4.3 Bewertung der Methode Sicherheitsanalyse	H-154
H-5.4.4 Entwicklungsmöglichkeiten der Sicherheitsanalyse	H-159
H-5.4.5 Konsequenzen der unzureichenden Aussagekraft der Sicherheitsanalyse	H-163
H-5.5 Internationale Zusammenarbeit im Bereich der Endlagerung	H-164
H-5.6 Situation an den deutschen Endlagerstandorten	H-166
H-5.6.1 Standort Asse	H-166
H-5.6.2 Geplantes Endlager Gorleben	H-168
H-5.6.3 Geplantes Endlager Konrad	H-173
H-5.6.4 Morsleben	H-176

H-5.7	Zusammenfassende Bewertung der Endlagersituation in Deutschland und allgemeine Schlußfolgerungen	H-179
H-5.8	Alternatives Endlagerkonzept	H-181
<b>H-6</b>	<b>Kosten und Wirtschaftlichkeit</b>	<b>H-185</b>
H-6.1	Kostenvergleich Wiederaufarbeitung - Direkte Endlagerung	H-185
H-6.2	Wesentliche Kostenblöcke und kostensensible Maßnahmen der Entsorgung	H-186
H-6.3	Mögliche Kosten eines Ausstiegs aus der Wiederaufarbeitung	H-189
H-6.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Sicherheit	H-190
H-6.5	Folgerungen aus Wirtschaftlichkeits- bzw. Kostenbetrachtungen	H-191
<b>H-7</b>	<b>Die Entsorgung radioaktiver Abfälle in ausgewählten Ländern</b>	<b>H-193</b>
H-7.1	Zielsetzung und Vorgehensweise	H-193
H-7.2	Frankreich	H-193
H-7.3	Kanada	H-198
H-7.4	USA	H-204
H-7.5	Schweiz	H-212
H-7.6	Niederlande	H-221
H-7.7	Zusammenfassende Bewertung	H-223
<b>H-8</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>H-225</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

	<b>Seite</b>
<b>Kurzfassung:</b>	
Abb. 1	Umgangsschritte der empfohlenen Entsorgungsstrategie für bestrahlte Brennelemente 25
<b>Hauptteil:</b>	
Abb. H-1	Schematische Darstellung des Brennstoffkreislaufs. H-4
Abb. H-2:	Zuständigkeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle. H-9
Abb. H-3:	Klassifizierung radioaktiver Abfälle. H-40
Abb. H-4:	Flußdiagramm für den Umgang mit radioaktiven Abfällen. H-60
Abb. H-5:	Flußdiagramm zur Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung. H-64
Abb. H-6:	Flußdiagramm zur Entsorgungsstrategie mit Direkter Endlagerung. H-67
Abb. H-7:	Flußdiagramm zur Entsorgungsstrategie mit Transmutation. H-70
Abb. H-8:	Arbeitsschritte eines Verfahrens für Standortauswahl und Nachweis der Langzeitsicherheit bei Endlagern für radioaktive Abfälle. H-117
Abb. H-9:	Ergebnis der Sicherheitsanalyse: Potentielle Strahlenexposition durch Einzelnuklide und maßgebliche Gesamtstrahlenexposition (Summe) in Abhängigkeit von der Zeit. H-145
Abb. H-10:	Ablaufdiagramm eines Sicherheitsnachweises für ein Endlager. H-146

**TABELLENVERZEICHNIS****Seite****Kurzfassung:**

Tab. 1: Abfallarten und Abfallmengen bei den drei gewählten Szenarien 10

**Hauptteil:**

Tab. H-1:	Bestand radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland.	H-42
Tab. H-2:	In der Bundesrepublik zu entsorgende bestrahlte Brennelemente.	H-45
Tab. H-3:	Prognostizierter Anfall wärmeentwickelnder Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland bis 2010.	H-50
Tab. H-4:	Prognostizierter Anfall gering wärmeentwickelnder Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland bis 2010	H-53
Tab. H-5:	Vertragsmengen für die Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Kernbrennstoffe	H-72
Tab. H-6:	Transporte bestrahlter Brennelemente im Jahr 1997	H-95
Tab. H-7:	Zusammenfassung der in verschiedenen Studien ermittelten Entsorgungskosten	H-186
Tab. H-8:	Kostenangaben zu verschiedenen Elementen der Entsorgung	H-187
Tab. H-9:	Kostenansätze für wichtige Positionen bei der Entsorgung	H-187
Tab. H-10:	Fixe und variable Kosten für Maßnahmen im Entsorgungsbereich.	H-188

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

AECB	Atomic Energy Control Board (Kanada)
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd.
ALG	Abfallager Gorleben
AKW	Atomkraftwerk
ANDRA	Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (Frankreich)
ASK	Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (Schweiz)
AtG	Atomgesetz
AtVfV	Atomrechtliche Verfahrensordnung
BA	Betriebsabfälle
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BBergG	Bundesberggesetz
BE	Brennelemente
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Entwicklung
BMI	Bundesministerium des Inneren
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BNFL	Britisch Nuclear Fuels Ltd.
BZA	Brennelement-Zwischenlager Ahaus
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique (Frankreich)
COGEMA	Compagnie Générale Des Matières Nucléaires
COVRA N.V.	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (NL)
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH
DOE	Department of Energy (USA)
DSC	Dry Storage Container
DWR	Druckwasserreaktor
EC	Europäische Kommission
EndlagerVIV	Endlagervorausleistungsverordnung
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
EPR	Deutsch-französisches Projekt für einen europäischen Druckwasserreaktor
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
EURATOM	European Atomic Energy Community
EVEREST	Projekt: Evaluation of Elements Responsible for the Dose Equivalent Associated with the Final Storage of Radionuclide Waste
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EWN	Energiewerke Nord
F+E	Forschung und Entwicklung
FZK	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

---

GEISHA	Studie: Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz- und Hartgesteinen
GNS	Gesellschaft für Nuklear-Service mbH
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH
GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
HAA	Hochaktive Abfälle
HAW	Hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
HLW	High Level Radioactive Waste
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (Schweiz)
HTR	Hochtemperaturreaktor
IAEA	Internationale Atomenergieagentur
ICM-Kriterien	Isolate, Control, Monitor - Kriterien
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IfR	Institut für Reaktorsicherheit
INTRAVAL	International Transport Code Validation Study
IRUS	Intrusion Resistant Underground Structure
KEWA	Kernbrennstoff-Wiederaufarbeitungsgesellschaft
KGR	Kernkraftwerk Greifswald
KKS	Kernkraftwerk Stade
KNE	Kommission für Nukleare Entsorgung
KSA	Kommission für die Sicherheit der Atomanlagen
KTA	Kerntechnischer Ausschuß
LAW	Low Active Waste
LLW	Low Level Radioactive Waste
LWR	Leichtwasserreaktoren
MAA	Mittelaktive Abfälle
MAW	Medium Active Waste
MIF	Radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie, Forschung
MPC	Multi-Purpose Canister Concept
MOX	Mischoxid-Brennelement
NAGRA	Schweizer Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NatSchG	Naturschutzgesetz
NEA	Nuclear Energy Agency
NEPP	National Environmental Policy Plan
NEZ	Nukleares Entsorgungszentrum
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
NMU	Niedersächsisches Umweltministerium
NRC	Nuclear Regulatory Commission (USA)
NWPA	Nuclear Waste Policy Act
NWPAA	Nuclear Waste Policy Amendment Act
OCRWM	Office of Civilian Radioactive Waste Management (USA)
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development
PAGIS	Projekt: Performance Assessment of Geological Isolation System
PE	PreussenElektra AG

PKA	Pilot-Konditionierungsanlage
PSE	Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG
SA	Stilllegungsabfälle
SAA	Schwachaktive Abfälle
SNF oder SPNF	Spent Nuclear Fuel
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
SWR	Siedewasserreaktor
TBL	Transportbehälterlager
THTR	Thorium-Hochtemperaturreaktor
TRU	Transuran-Abfälle
tSM	Tonnen Schwermetall
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UVPG	Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung
VdEW	Vereinigte deutsche Elektrizitätswerke
VdTÜV	Vereinigung der Technischen Überwachungsvereine
VEBA	Vereinigte Elektrizitäts und Bergwerks AG
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WA	Wiederaufarbeitung
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
WAU	Wiederaufarbeitung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WWER	Wassermoderierter, wassergekühlter Energie-Reaktor (Reaktor sowjetischer Bauart)
ZAB	Zwischenlager für abgebrannten Brennstoff
ZLN	Brennelement-Zwischenlager Nord

## 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Bei der Nutzung der Atomenergie fallen radioaktive Abfälle an, die teilweise für äußerst lange Zeiträume eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen. Auch im Falle eines Ausstiegs aus der Atomenergienutzung müssen die bis dahin angefallenen Abfälle möglichst sicher „entsorgt“ werden. Dazu bedarf es einer Vielzahl von übertägigen Maßnahmen (z.B. Zwischenlagerung, Transporte) sowie abschließend der Endlagerung.

Die Entsorgungsfrage führt jedoch zu einem Handlungsdilemma: Sie erfordert Lösungen für die langfristig sichere Beseitigung der radioaktiven Abfälle, obwohl dafür - speziell im Bereich der Endlagerung - gegenwärtig immer noch viele offene Fragen bestehen. Hinzu tritt, daß sämtliche Entsorgungsschritte das Risiko der unkontrollierten Freisetzung radioaktiver Stoffe beinhalten.

Aus dieser Zwangslage führen letztendlich nur zwei Schritte, die unlösbar miteinander verbunden sind:

- Der Ausstieg aus der Atomenergienutzung begrenzt die Menge der zu entsorgenden radioaktiven Abfälle und beseitigt die Risiken des Reaktorbetriebs.
- Der Versuch, für die auch bei einem Ausstieg zu beseitigenden Abfälle ein hinsichtlich aller wichtigen Aspekte (vorrangig Sicherheit) optimiertes Entsorgungskonzept zu finden.

Mit der von der Heinrich Böll Stiftung im März 1998 an die Gruppe Ökologie Hannover e.V. vergebenen Studie „Entsorgungsstrategie“ werden, unter der Voraussetzung des Ausstiegs aus der Atomenergie, Möglichkeiten und Bedingungen für die Entsorgung aufgezeigt. Um Mißverständnisse zu vermeiden, muß deutlich darauf hingewiesen werden, daß die in dieser Studie zur Diskussion gestellte Entsorgungsstrategie nicht verwechselt werden darf mit einer risikofreien Lösung der Entsorgungsfrage. Die mit der Entsorgung zusammenhängenden Probleme und Risiken können vielmehr lediglich verringert werden. Der Ausstieg ist dazu eine unabdingbare Voraussetzung. Andernfalls werden durch das weitere Anwachsen der Mengen an radioaktiven Abfällen auch die Probleme bei der Entsorgung noch größer werden als sie schon sind. Daher kann die vorgestellte Entsorgungsstrategie auch nicht als Argument für die weitere Nutzung der Atomkraft dienen, weil dann die notwendige Voraussetzung für die Entsorgungsstrategie nicht mehr erfüllt ist.

Die generelle Aufgabenstellung der Studie besteht somit darin, unter der Prämisse des Ausstiegs aus der Atomenergienutzung Hinweise für eine mögliche Strategie zum Umgang mit den radioaktiven Abfällen zu geben. Zu diesem Zweck wird die aktuelle Entsorgungsdiskussion in Deutschland in Hinblick auf das Entsorgungskonzept, das Abfallaufkommen, die übertägigen Entsorgungsschritte, die Endlagerproblematik sowie ausgewählte weitere Aspekte analysiert.

Auf dieser Grundlage werden - ausgehend von den überhaupt verfügbaren Techniken bzw. sonstigen Möglichkeiten - Bausteine identifiziert, die für die Entsorgungsstrategie brauchbar sein können. Hierbei werden verschiedene Kriterien, insbesondere aber Sicherheitsüberlegungen, berücksichtigt. Schließlich werden diese Bausteine zu einer Entsorgungsstrategie zusammengeführt.

Die vorgeschlagene Strategie erhebt nicht den Anspruch, alle auch beim Ausstieg aus der Atomenergienutzung auftretenden Probleme zu lösen. Dafür bestehen auch heute noch zu viele offene Fragen, die aber gleichfalls angesprochen werden. Sie soll vielmehr Grundlage für eine umfassende und konstruktive Diskussion darüber sein, was im Falle eines Ausstiegs mit den radioaktiven Abfällen geschehen soll.

Es liegt auf der Hand, daß im Rahmen dieser Studie nicht alle Aspekte hinreichend berücksichtigt bzw. detailliert dargestellt werden können. Die Studie gibt vielmehr eine Systematik vor, aber nicht die Konkretisierung in jedem Einzelfall. Der Schwerpunkt der Studie liegt auf den naturwissenschaftlich-technischen Aspekten der Entsorgung. Andere Gesichtspunkte, zum Beispiel rechtliche Fragen, werden nicht oder nur am Rande behandelt.

Die Studie besteht aus zwei Teilen: In der Kurzfassung wird - ausgehend von einer zusammenfassenden Darstellung der Analyse der Entsorgungssituation in Deutschland (Kap. 2) - die Entsorgungsstrategie in knapper Form vorgestellt (Kap. 3). Dabei werden für die ausgewählten Bausteine bzw. Handlungspfade kurze Begründungen gegeben. Darüber hinaus werden offene Fragen identifiziert, und es werden Empfehlungen bzw. Handlungsvorschläge gegeben (Kap. 4). Im Hauptteil der Studie werden die Hintergründe für die Auswahl der Strategiebausteine ausführlich behandelt. Dabei wird u.a. auf folgende Themenbereiche eingegangen:

- Das deutsche Entsorgungskonzept,
- Art und Menge der radioaktiven Abfälle sowie Prognose der Lagerkapazitäten,
- Übertägige Entsorgungsschritte,
- Vergleich der übertägigen Entsorgungsstrategien mit Berücksichtigung von Wiederaufarbeitung, Direkter Endlagerung und Transmutation,
- Endlagerung mit besonderer Berücksichtigung der deutschen Endlagerkonzeption, der Anforderungen an Standortauswahl und Eignungsnachweis sowie der Situation an den deutschen Endlagerstandorten,
- Kosten- und Wirtschaftlichkeitsaspekte bei der Entsorgung,
- Die Entsorgungssituation in ausgewählten Ländern und Vergleich mit der Situation in Deutschland.

## 2 Zusammenfassende Darstellung der derzeitigen Entsorgungssituation in Deutschland

### Allgemeine Aspekte

- Die deutsche **Entsorgungskonzeption** mit Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente muß aus heutiger Sicht in wesentlichen Teilen als gescheitert angesehen werden, da ihre Hauptziele (sichere Entsorgung der Atomkraftwerke, Minimierung der Belastung von Mensch und Umwelt, Optimierung der Entsorgungskosten) nicht erreicht worden sind. Der angestrebte geschlossene Brennstoffkreislauf wurde niemals realisiert und ist auch nicht realisierbar. Ebenfalls nicht erfüllt ist die Anforderung des Atomgesetzes nach schadloser Verwertung der radioaktiven Abfälle. Eine Anpassung oder Fortentwicklung der deutschen Entsorgungskonzeption an die in den letzten Jahren deutlich veränderten Randbedingungen (z.B. geringere Abfallmengen, kaum Fortschritte bei der Endlagerung) hat gleichfalls nicht stattgefunden und konnte auch im Rahmen der Konsensverhandlungen zur Zukunft der Atomenergie nicht erreicht werden.

Vor dem skizzierten Hintergrund ist festzustellen, daß die für den Betrieb der Atomkraftwerke erforderliche gesicherte Entsorgung auf technischer Ebene nicht gewährleistet ist. Die seit 1994 für alle bestrahlten Brennelemente zulässige Direkte Endlagerung ist kein wirklicher konzeptioneller Fortschritt. Sie stellt lediglich eine späte Anpassung an unvermeidliche Entsorgungsnotwendigkeiten dar (so ist z.B. die Direkte Endlagerung abgebrannter MOX-Brennelemente in jedem Fall, d.h. auch bei Beibehaltung der Wiederaufarbeitung, notwendig).

- Mit den jüngeren **Änderungen der gesetzlichen Grundlagen** der Entsorgung (Artikelgesetz 1994, 8. Novelle des Atomgesetzes 1998) ist keine wirkliche Neuorientierung oder Anpassung der Entsorgungskonzeption an veränderte Randbedingungen gegeben. Vielmehr soll damit die Nutzung der Atomenergie abgesichert werden. Im Gefolge dieser Änderungen sind erhebliche negative Auswirkungen zu erwarten (v.a. Nachrüstung von Atomkraftwerken, standortunabhängiges Prüfverfahren, Enteignungsmöglichkeiten bei der Endlagerung, Verlängerung von Übergangsfristen).
- Hinsichtlich **wichtiger Akteure** läßt sich für die Energieversorgungsunternehmen (EVU) feststellen, daß diese - ungeachtet von Differenzen über die Nutzung der Atomenergie - vorrangig an verlässlichen Rahmenbedingungen für eine langfristig angelegte Stromversorgung interessiert sind, da sie primär die Realisierung ökonomischer Vorteile suchen.

Bei den Beratungs-, Gutachter- und Normungsgremien sowie den Großforschungszentren zeigt sich, daß Ursprung und Aufgabenstellung einiger Institutionen in der Förderung der Atomenergie liegen. Die Zusammensetzung und teilweise auch die Aufgabenstellung von Beratungsgremien führen dazu, daß die nach außen propagierte Neutralität tatsächlich nicht zuverlässig gewährleistet ist (z.B. Reaktor-Sicherheitskommission - RSK). Teilweise liegt eine historisch gewachsene institutionelle und zum Teil persönliche Interessensverflechtung zwischen einzelnen Institutionen und Bera-

tungsgremien vor, die an der nach außen getragenen Objektivität, insbesondere der Beratungsorgane des Bundes, zumindest Zweifel weckt.

Die Begutachtung zu Bau und Betrieb von Atomanlagen ist in weiten Bereichen der Kerntechnik praktisch monopolisiert. In den meisten Bundesländern ist der regionale Technische Überwachungsverein (TÜV) quasi Generalgutachter der zuständigen Behörden im Rahmen von Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren für alle Anlagen. Für die Bearbeitung und Begutachtung konzeptioneller und strategischer Fragen, meist im Aufgabengebiet des Bundesumweltministeriums, wird in der Regel die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) herangezogen. Es hat eine erhebliche Kompetenzverlagerung bezüglich der Sicherheit kerntechnischer Anlagen aus den Behörden in diese beiden Gutachterorganisationen stattgefunden. Dadurch und wegen der noch zunehmenden Monopolisierung ist dem behördlichen Handeln die Vielfalt von Philosophien und Ansätzen verlorengegangen, und es ist zumindest in Einzelfällen eine zu starke fachliche Abhängigkeit der atomrechtlichen Behörden von diesen Gutachterorganisationen entstanden.

Internationale Institutionen wie beispielsweise die Internationale Atomenergieagentur (IAEA) oder EURATOM sind durch ihre Statuten oder Verträge eindeutig auf die Förderung der Atomenergienutzung festgelegt.

- Die vorgesehene **Privatisierung der Endlagerung** soll im wesentlichen Effizienz- und Kostenvorteile bringen und das Verursacherprinzip stärken. Diese möglichen Vorteile dürfen jedoch nur dann realisiert werden, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind (v.a. Vorrang der Sicherheit vor der Wirtschaftlichkeit). Weitere juristische und administrative Probleme können sich möglicherweise durch die in Zusammenhang mit der Privatisierung vorgesehene Übertragung der Genehmigungszuständigkeit auf das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ergeben.
- Auch bei der Diskussion um eine **Internationalisierung der Endlagerung** stehen Kostenvorteile im Vordergrund.
- **Wirtschaftlichkeits- und Kostenanalysen** zeigen, daß die Direkte Endlagerung kostengünstiger ist als die Wiederaufarbeitung. Dies gilt auch bei Kündigung der Wiederaufarbeitungs-Neuverträge und die damit verbundene Zahlung von Pönalen. Bei der Entsorgung stellt die Endlagerung den größten einzelnen Kostenblock dar. Dabei ist die Konzentration auf ein Endlager für alle Abfälle auch aus Kostengründen vorteilhaft.

Insgesamt liefern die Kosten- bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen trotz ihrer unvermeidlichen Unsicherheiten deutliche Hinweise darauf, daß die Entsorgung unter Ausstiegsbedingungen kostengünstiger realisiert werden kann als unter den gegenwärtigen Randbedingungen.

## Radioaktive Abfälle und Zwischenlagerkapazitäten

- Es sind bisher ca. 160.000 m<sup>3</sup> **radioaktive Abfälle** durch die Nutzung der Atomenergie zur Stromproduktion in der Bundesrepublik angefallen. Von den Abfällen mit geringer Wärmeentwicklung sind 62.000 m<sup>3</sup> in der Asse und im Endlager Morsleben endgelagert. Die zukünftigen Abfallmengen hängen vor allem vom Zeitpunkt der Stilllegung der Atomkraftwerke ab. Erreichen alle Atomkraftwerke die von den Betreibern gewünschte Betriebszeit von rund 50 Jahren (ohne Neubau), so werden insgesamt ca. 412.000 m<sup>3</sup> zu entsorgen sein. Bei einem baldigen Ausstieg aus der Atomenergie verringert sich die Menge je nach Ausstiegsszenario bei Bezug auf das Jahr 2010 auf 142.000 bis 166.000 m<sup>3</sup>. Dazu kommen später noch ca. 66.000 m<sup>3</sup> Abrißabfälle.
- Der Betrieb der Reaktoren hat bisher **bestrahlte Brennelemente** mit ca. 8.600 tSM (Tonnen Schwermetall) produziert. Davon sind ca. 5.400 tSM zur Wiederaufarbeitung oder zum endgültigen Verbleib ins Ausland verbracht worden. Erreichen alle Atomkraftwerke die von den Betreibern gewünschte Betriebszeit von rund 50 Jahren (ohne Neubau), werden noch Brennelemente mit insgesamt knapp 20.000 tSM zu entsorgen sein. Bei einem Ausstieg würden (je nach Szenario) zwischen 4.300 und 9.300 tSM zur Endlagerung anstehen (s. Tab. 1).
- Die **Zwischenlagerkapazitäten** in Deutschland betragen ca. 171.000 m<sup>3</sup> für gering wärmeentwickelnde Abfälle aus der Atomenergienutzung und 13.300 tSM für bestrahlte Brennelemente. Diese verfügbaren Kapazitäten reichen bei einem zügigen Ausstieg aus der Atomenergienutzung für die anfallenden Abfälle rein rechnerisch aus. Die angegebene Lagerkapazität für Brennelemente enthält jedoch auch die Lagerbecken an den Reaktoren, die nicht zur längerfristigen Lagerung genutzt werden sollten.

## Übertägiger Umgang mit Brennelementen

Die in der Bundesrepublik bis zur Atomgesetzänderung von 1994 obligatorische **Entsorgungsstrategie für bestrahlte Brennelemente** bestand in der Wiederaufarbeitung der Kernbrennstoffe. Auch nach der Zulassung der Direkten Endlagerung änderte sich bis 1998 kaum etwas. Für die Zukunft dürfte sich hingegen die Direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente durchsetzen. Aus technischen Gründen ist jedoch keine sofortige Einlagerung der Brennelemente in ein Endlager möglich, so daß zusätzliche übertägige Umgangsschritte notwendig sind. Die theoretisch mögliche Entsorgungsstrategie mit Abtrennung und anschließender Transmutation (Umwandlung) von Radionukliden zur Reduzierung des Gefährdungspotentials der radioaktiven Abfälle befindet sich für die meisten Nuklidarten noch im vortechnischen Bereich der Grundlagenuntersuchungen. Zu den aktuellen und realitätsnahen Einzelschritten ist festzustellen:

- Es gibt zwei Vertragsphasen zur **Wiederaufarbeitung** bundesdeutscher Brennelemente im Ausland: Die sogenannten Altverträge mit einem Vertragsvolumen von ca. 5.700 tSM und die nach der Aufgabe der Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf geschlossenen Neuverträge mit ca. 3.000 tSM. Während die Altverträge einen hohen Grad an Verbindlichkeit besitzen, bestehen bei den Neuverträgen größere Spielräume für die Aufkündigung. Dem stehen auch völkerrechtliche Vereinbarungen zwischen den Regierungen nicht entgegen.

Die Wiederaufarbeitung ist eine aufwendige und mit hohem Sicherheitsrisiko verbundene Technologie, die auch die Möglichkeit der Abzweigung von Spaltstoffen stark begünstigt. Der ursprünglich mit der Wiederaufarbeitung verbunden geglaubte Wiedereinsatz der Kernbrennstoffe in Reaktoren (MOX-Brennelemente) kann nur in geringem Umfang stattfinden. Auch mit der Verarbeitung und dem Reaktoreinsatz des abgetrennten Kernbrennstoffs sind zusätzliche Sicherheitsrisiken verbunden. Durch die Wiederaufarbeitung wird außerdem das Volumen des zu entsorgenden Abfalls stark erhöht. Die Wiederaufarbeitung widerspricht dem Ziel einer möglichst sicheren Entsorgung.

- Bei der Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung spielt die **Zwischenlagerung** eine zentrale Rolle. Die eingesetzten Zwischenlagertechniken sind die nasse Lagerung in Becken und die trockene Lagerung in Behältern. Bei einer längerfristigen Zwischenlagerung ist die Behälterlagerung - insbesondere bei Berücksichtigung von Verbesserungsmöglichkeiten - sicherheitstechnisch günstiger. Allerdings ist auch sie nicht risikofrei. Die längerfristige Zwischenlagerung kann grundsätzlich wie gegenwärtig zentral (zwei Zwischenlagerstandorte für Brennelemente aus allen Reaktoren) oder dezentral (an jedem Reaktorstandort) erfolgen.

Neben den für die eher kurz- bis mittelfristige Lagerung vorgesehenen Lagerbecken der Reaktoren und dem nur noch für eine Übergangsfrist in Betrieb befindlichen Naßlager in Greifswald gibt es in der Bundesrepublik drei Behälterlager: In Gorleben und Ahaus sind zwei baugleiche Zwischenlager mit jeweils einer Kapazität von fast 4.000 tSM auf 420 Stellplätzen in Betrieb. Diese Kapazität kann jedoch nicht voll für die anfallenden Brennelemente genutzt werden. In Gorleben sind ca. 160 Stellplätze für Wiederaufarbeitungsabfälle reserviert. In Ahaus sind 50 Stellplätze mit Hochtemperaturreaktor-Brennelementbehältern belegt. Das Behälterzwischenlager in Greifswald wird voraussichtlich im Sommer 1998 genehmigt und hat bei 80 Stellplätzen eine Kapazität von 620 tSM. In diesem Lager sollen jedoch nur Brennelemente aus den stillgelegten DDR-Reaktoren gelagert werden.

- Für die Endlagerung der bestrahlten Brennelemente ist eine **Konditionierung** (Einbringen der Brennelemente in eine Stahlbüchse, dichte Verschließung der Büchse, Verpacken der Büchse in einen Behälter) notwendig. Es gibt gegenwärtig die beiden Optionen „POLLUX-System“ und „Kapselung“ für die Konditionierung. Beide haben Vor- und Nachteile, sind aber grundsätzlich umsetzbar. Eine dezentrale Entsorgungsstrategie würde durch die Kapselung begünstigt.
- Jährlich finden in Deutschland **Transporte** von etwa 100 Behältern mit bestrahlten Brennelementen statt. Bei einem schweren Unfall ist die Freisetzung radioaktiver Stoffe mit anschließender Strahlenbelastung der Bevölkerung nicht auszuschließen. Auch beim unfallfreien Transport können Strahlenbelastungen auftreten. Deren Auswirkungen sind wissenschaftlich zur Zeit heftig umstritten.

In Zusammenhang mit den jüngsten Vorkommnissen beim Transport radioaktiver Abfälle (Kontaminationen an Transportbehältern) wird die geforderte Zuverlässigkeit der Betreiber in Zweifel gezogen.

## Endlagerung

Hinsichtlich der **generellen Situation** der Endlagerung in Deutschland ist festzustellen: Es steht trotz langjährigen Reaktorbetriebs kein Endlager für die Beseitigung der radioaktiven Abfälle (einschließlich der abgebrannten Brennelemente) zur Verfügung. Sämtliche früheren Zeitpläne für den Betriebsbeginn der geplanten Endlager Gorleben und Konrad sind hinfällig. Das der Bundesrepublik durch den Anschluß der DDR zugefallene und derzeit betriebene Endlager Morsleben ändert an dieser Situation nichts. Angesichts seiner ungünstigen Eignungsmerkmale ist der Weiterbetrieb dieses Endlagers vielmehr ein Hinweis darauf, daß die Bundesregierung Sicherheitsaspekten nicht mehr unbedingt höchste Priorität einräumt. Weiterhin bleibt festzuhalten:

- Die Festlegung auf Steinsalz als einzigem (bis heute) ernsthaft verfolgtem **Endlagermedium** (Wirtsgestein) beruht nicht auf einem aus geowissenschaftlicher Sicht unerläßlichen wissenschaftlichen und systematischen Vergleich der in der Bundesrepublik grundsätzlich in Frage kommenden Gesteinstypen. Diese Festlegung war daher seit Beginn der intensiven Endlagerungsdiskussion (nach Benennung erster Standorte) fachlich umstritten. Erst in jüngster Zeit werden von offiziellen Stellen auch andere Medien näher betrachtet. Von Interesse sind hierbei Hartgesteine (kristalline Gesteine), in denen ein **Endlagerkonzept** mit stärkerer Bedeutung technischer Barrieren verwirklicht werden könnte. Die Bundesrepublik ist an der Hartgesteins-Endlagerforschung im Ausland beteiligt.
- Die richtige frühe konzeptionelle Entscheidung "**alle Abfälle in ein gezielt zu errichtendes Endlager**" ist mit der Erkundung der Schachanlage Konrad ohne sicherheitsbezogene Begründung aufgehoben worden.
- Verbindliche **Regeln für Standortauswahl und den Nachweis der Langzeitsicherheit** von Endlagern sind zu spät entwickelt worden (sogenannte "Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" der RSK von 1983). Wegen unzureichender Qualität sind sie zudem keine Hilfe für die angemessene Standortauswahl und den Eignungsnachweis. Aufgrund der Unschärfe und Dehnbarkeit der Vorgaben werden sie von den zuständigen Institutionen heute zur fachlichen Legitimierung des Weiterbetriebs des aus Sicherheitsgründen ungeeigneten Endlagers Morsleben benutzt.
- Sämtliche Standortentscheidungen wurden ohne bzw. ohne methodisch angemessenes und nachvollziehbares **Standortauswahlverfahren** gefällt. Stattdessen wurde auf zufällig verfügbare (Asse, Konrad, letztendlich auch Morsleben) Standorte zurückgegriffen bzw. es wurde ein Standort (Gorleben) aus anderen als sicherheitsorientierten Gründen festgelegt. Diese Vorgehensweise ist aus wissenschaftsmethodischer Sicht unakzeptabel und führt außerdem zwangsläufig zu erheblichen Akzeptanzproblemen, und zwar sowohl innerhalb der Fachwissenschaften als auch bei der durch die Vorhaben direkt oder indirekt betroffenen Bevölkerung.
- Wegen der mit der Endlagerung verbundenen sehr langen Prognosezeiträume stoßen Wissenschaft und Technik beim **Nachweis der Langzeitsicherheit** an die Grenzen ihres Erkenntnis- und Prognosevermögens. Die in der Bundesrepublik allein als Nachweismethode vorgegebene Sicherheitsanalyse ist auf dieses Problem nicht ausgerich-

tet. Sie ist daher als methodisches Instrument für den Nachweis der Langzeitsicherheit bei Endlagern bei alleiniger Anwendung nicht geeignet.

Auch beim Ausstieg aus der Atomenergie besteht die Notwendigkeit der Endlagerung. Die Langzeitsicherheit eines Endlagers muß vor Einlagerungsbeginn belegt werden. Ein exakter naturwissenschaftlich-technische Nachweis der Langzeitsicherheit kann wegen der langen zu betrachtenden Zeiträume allerdings nicht erbracht werden. Zudem kann eine Fehlbeurteilung nicht korrigiert werden. Daher muß zwingend wenigstens ein Beurteilungsverfahren eingesetzt werden, das von der Fachwelt, der interessierten Öffentlichkeit und den Verfahrensbeteiligten akzeptiert werden kann. Ein solches Verfahren existiert bisher zwar noch nicht, jedoch sind die Anforderungen an ein solches Verfahren formuliert sowie erste Verfahrensschritte bereits erarbeitet worden.

- Auch wichtige materielle Grundanforderungen an Endlagerstandorte stehen bereits fest und schlagen sich teilweise in bestehenden Kriterienkatalogen für die Standortauswahl nieder. Sie können aus der Funktion der geologischen Barriere im Rahmen des Multibarrierensystems abgeleitet werden und betreffen diejenigen Barriereeigenschaften, die den Zutritt von Grundwasser an die Abfälle bzw. die Freisetzung von Radionukliden in das Grundwasser und ihren Transport mit dem Grundwasser in die Biosphäre verhindern bzw. nachhaltig verzögern. Das sind die vor allem die Wasserdurchlässigkeit der beteiligten Gesteinskörper und ihr Rückhaltevermögen gegenüber Radionukliden.
- Die Anwendung grundsätzlicher materieller Standortanforderungen und bereits existierender methodischer Anforderungen zeigt, daß bei alle vier **Endlagerstandorten** in Deutschland erhebliche materielle und/oder Verfahrensmängel zu verzeichnen sind:
  - Das „Versuchsendlager“ **Asse** hat erhebliche Standsicherheitsprobleme, weshalb Teile des Grubengebäudes gegenwärtig verfüllt werden.
  - Beim Endlager **Morsleben** sind grundsätzliche Anforderungen an die geologische Barriere nicht erfüllt (z.B. Laugenzutritt aus dem Deckgebirge, zu geringe Salzüberdeckung, unzureichende Standsicherheit von Teilen des Grubengebäudes).
  - Beim geplanten Endlager **Gorleben** weist die für die Langzeitsicherheit wichtige Barriere Deckgebirge unzureichende Eigenschaften auf (z.B. relativ schnelle Grundwasserbewegung, direkter Kontakt des Grundwassers mit der Salzstockoberfläche). Diese negativen Merkmale können durch die Barriere Salzstock nicht kompensiert werden. Der Standort erfüllt außerdem wichtige Standortsuchkriterien der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) von 1995 nicht.
  - Beim geplanten Endlager **Konrad** bestehen erhebliche Zweifel an der Planrechtfertigung (Bedarf des Endlagers). Zudem liegt bis heute unter anderem kein schlüssiger Nachweis der Langzeitsicherheit vor.
  - Der Betrieb der Endlager **Morsleben** bzw. **Konrad** (geplant) widerspricht dem Grundsatz „ein Endlager für alle Abfälle“. Darüber hinaus ist keiner der vier Endlagerstandorte auf der Grundlage eines systematischen Suchverfahrens ausgewählt worden.

### **3 Die Entsorgungsstrategie**

Die unter der Voraussetzung des Ausstiegs aus der Atomenergienutzung entwickelte Entsorgungsstrategie besteht aus verschiedenen Bausteinen bzw. Schritten, die aus einer Vielzahl möglicher Optionen ausgewählt worden sind. Dies gilt insbesondere für den überragenden Umgang mit den radioaktiven Abfällen, und hierbei vor allem für abgebrannte Brennelemente. Mögliche Optionen sowie die Begründungen für die Auswahl bestimmter Bausteine werden im Hauptteil der Studie ausführlich dargelegt. Im folgenden werden die wesentlichen Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Schritte der Entsorgungsstrategie sowie die mit ihrer Umsetzung verbundenen Konsequenzen in geraffter Form dargestellt.

#### **3.1 Ableitung der Entsorgungsstrategie**

##### **3.1.1 Voraussetzungen und Rahmenbedingungen**

Die Ableitung der Entsorgungsstrategie beruht auf folgenden Annahmen und Rahmenbedingungen:

###### **Ausstieg aus der Atomenergienutzung**

Die Wahl der Entsorgungsstrategie hängt in starkem Maße ab von Art und Menge der anfallenden Abfälle sowie ihrem Anfall in Abhängigkeit von der Zeit. Grundvoraussetzung für die vorgeschlagene Entsorgungsstrategie ist der Ausstieg aus der Nutzung der Atomenergie. Dadurch wird die Menge der Abfälle begrenzt.

###### **Ausstiegsszenarien**

Die beim Ausstieg aus der Nutzung der Atomenergie anfallenden Abfälle und der Zeitpunkt ihres Anfalls sind von der konkreten Ausstiegsabwicklung abhängig. Zur Identifizierung des Einflusses des Ausstiegsablaufs auf die Abfallmengen und die Möglichkeit des Umgangs mit ihnen werden drei verschiedene Ausstiegsszenarien betrachtet. Ausgewählt wurden das Szenario „Sofortausstieg“ (Abschalten aller Reaktoren 1999), das „Szenario 2004“ (Abschalten der letzten Reaktoren 2004) und das „BfS-Szenario“ (Abschalten der letzten Reaktoren 2010). Mit den Szenarien „Sofortausstieg“ und „BfS-Szenario“ wird eine mögliche Bandbreite für den Ausstieg aufgespannt. Das „Szenario 2004“ liegt zwischen den beiden anderen Szenarien und berücksichtigt bei den Restlaufzeiten auch juristische Vorgaben. Für jedes Szenario werden die insgesamt anfallenden Abfälle (Art und Menge), ihr Anfall in der Zeit sowie die erforderlichen Lager- und Behandlungskapazitäten abgeschätzt.

###### **Aufgabe der Wiederaufarbeitung**

Es wird vorausgesetzt, daß mit dem Ausstiegsbeschluß auch die Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland aufgegeben wird. Dies bedeutet mindestens die Kündigung der Wiederaufarbeitungs-Neuverträge. Es wird allerdings davon ausgegangen, daß die Altverträge mit COGEMA bis 1999 abgearbeitet sein werden und von einem Wiederaufarbeitungsverbot nicht mehr berührt werden. Die Notwendigkeit der Aufgabe der Wiederaufarbeitung, gerade auch aus Sicherheitsgründen, wird in der Studie aufgezeigt.

**Sicherer Einschluß der stillgelegten Atomkraftwerke**

Die bei der Umsetzung des Ausstiegs stillgelegten Atomkraftwerke werden - soweit möglich und sicherheitstechnisch vertretbar - dem sicheren Einschluß zugeführt und nicht schnell abgerissen. Die Kraftwerke werden dadurch für einen längeren Zeitraum (einige Jahrzehnte, mindestens bis das Endlager zur Verfügung steht) in einen möglichst sicheren Ruhezustand gebracht. In begründeten Ausnahmefällen, z.B. bei nicht kontrollierbaren Emissionen aus der Anlage, kann bzw. muß allerdings ein zügiger Abriß durchgeführt werden.

Der sichere Einschluß wird aus zwei Gründen gewählt: Zum einen ist er in der Regel aus sicherheitstechnischen Gründen zu bevorzugen. Zum anderen führt der schnelle Abriß dazu, daß innerhalb weniger Jahre erhebliche zusätzliche Abfallmengen anfallen, die mit den vorhandenen (Zwischenlager-)Kapazitäten nicht aufgefangen werden können. Die vorgeschlagene Entsorgungsstrategie wäre dann in der vorliegenden Form nicht umsetzbar. Vielmehr müßten entweder erhebliche Zwischenlagerkapazitäten neu errichtet werden, das Endlager Morsleben weiterbetrieben oder das Endlager Konrad relativ schnell in Betrieb gehen.

**3.1.2 Arten und Mengen an radioaktiven Abfällen**

Unter den in Kap. 3.1.1 beschriebenen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen ergeben sich in Abhängigkeit vom gewählten Ausstiegsszenario die in Tab. 1 bis zum Jahr 2010 anfallenden Abfallmengen:

Abfallart	Szenario 1 „Sofortausstieg“	Szenario 2 „Szenario 2004“	Szenario 3 „BfS-Szenario“
bestrahlte Brennelemente	4.325 tSM	6.247 tSM	9.288 tSM
sonstige wärmeentwickelnde Abfälle	7.020 m <sup>3</sup>	7.340 m <sup>3</sup>	7.640 m <sup>3</sup>
gering wärmeentwickelnde Abfälle <sup>1)</sup>	142.000 m <sup>3</sup>	154.200 m <sup>3</sup>	166.300 m <sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Ohne Berücksichtigung endgelagerter Abfälle und des noch zur Verfügung stehenden Einlagerungsvolumen im ERAM

**Tab. 1: Abfallarten und Abfallmengen bei den drei gewählten Szenarien (tSM = Tonnen Schwermetall)**

Danach ist vor allem bei den Abfällen mit dem höchsten Gefährdungspotential, den Brennelementen, ein deutlicher Unterschied zwischen den Szenarien festzustellen: Bei dem auf einen relativ längerfristigen Ausstieg angelegten Szenario 3 hat sich die Menge der zu entsorgenden bestrahlten Brennelemente gegenüber dem Szenario 1 (Sofortausstieg) mehr als verdoppelt. Allein deswegen sollte ein möglichst schneller Ausstieg aus der Atomenergienutzung angestrebt werden. Die im Vergleich dazu geringen Unterschiede bei den anderen Abfällen haben ihre Ursache in den großen Abfallmengen, die unabhängig vom Ausstiegs-

zenario entsorgt werden müssen. Es sind dies hauptsächlich die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und der bereits vorhandene Bestand an Abfällen.

### 3.1.3 Übertägige Entsorgungsschritte

#### 3.1.3.1 Brennelemente und HAW-Kokillen

Von den drei untersuchten grundsätzlichen Entsorgungsstrategien Wiederaufarbeitung, Direkte Endlagerung und Transmutation müssen die Wiederaufarbeitung und die Transmutation aus sicherheitstechnischen Gründen abgelehnt werden. Für den Umgang mit abgebrannten Brennelementen bleibt somit der aus Sicherheits-, aber auch aus Wirtschaftlichkeitsgründen, günstigere (jedoch ebenfalls nicht risikofreie) Weg der Direkten Endlagerung.

Da bei der Direkten Endlagerung wiederum verschiedene Pfade möglich sind, muß der optimale (im Sinne des geringsten Risikos) Pfad identifiziert werden. Insgesamt werden dafür sieben mögliche Entsorgungspfade entwickelt (zentrale und dezentrale Pfade sowie Mischformen). Um eine begründete Auswahl treffen zu können, werden diese Pfade einer vergleichenden Bewertung unterzogen. Dabei werden folgende Kriterien angewandt:

- Möglichst geringe Strahlenbelastung durch Freisetzungen sowie Direktstrahlung im Normalbetrieb und bei Unfällen,
- möglichst kleines Risiko für Stör- bzw. Unfälle durch möglichst geringe Zahl und zeitliche Kürze von Umgangsschritten (Handhabungen und Transporte),
- möglichst geringes Abfallvolumen,
- möglichst hohe Proliferationssicherheit.

Im Ergebnis zeigen sich klare Vorteile für den rein dezentralen Entsorgungspfad mit Behälterlagerung. Dieser Pfad besteht aus folgenden Einzelschritten (siehe Abb. 1):

- Entladung der Brennelemente aus dem Reaktorkern und Überführung in das Naßlager des Reaktors,
- Zwischenlagerung im Naßlager für mindestens fünf Jahre,
- Kapselung (d.h. endlagerfähige Vorkonditionierung) im Lagerbecken,
- Überführung in ein separates Zwischenlager am Kraftwerksstandort mit trockener Zwischenlagerung in Behältern (ca. 30 - 40 Jahre),
- Transport zum Endlager, sobald dieses verfügbar ist,
- am Endlagerstandort Einbringen der Kapsel in ein Overpack (bei Bohrlochlagerung) bzw. in einen Pollux-Behälter (bei Streckenlagerung),
- Endlagerung.

Dieser Pfad weist zwar aus sicherheitstechnischer Sicht Vorteile auf, ist jedoch nur dann umsetzbar, wenn entsprechende dezentrale (Zwischenlager-)Kapazitäten zeitgerecht verfügbar sind. Die Überprüfung dieses Sachverhaltes zeigt, daß abgesehen von wenigen Ausnahmen diese Kapazitäten verfügbar gemacht werden können. Dabei sind auch die ebenfalls in Behältern zwischenzulagernden hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAW-Kokillen) berücksichtigt worden. Nicht diskutiert werden die WWER-Brennelemente aus

Greifswald und Rheinsberg, da sie im Zwischenlager Nord in Greifswald gelagert werden sollen, das nur für diese Brennelemente zur Verfügung steht.

### **Bestrahlte Brennelemente**

#### **Empfohlener Umgangsschritt: Zwischenlagerung im Naßlager**

Zwischenlagerung im Naßlager des Atomkraftwerks, bis das Behälterlager am Standort annahmefähig ist (aber mindestens fünf Jahre).

#### **Kapazität:**

Die Lagerbeckenkapazitäten an den Kraftwerkstandorten sind unterschiedlich groß. Sie reichen aber zunächst für jedes Kraftwerk zur Lagerung des weit überwiegenden Teils der bereits angefallenen bzw. während der Restlaufzeit noch anfallenden Brennelemente aus.

#### **Probleme:**

An einigen Kraftwerksstandorten ist die Kapazität des jeweiligen Naßlagers unter den Bedingungen der Szenarien 2 oder 3 nicht für alle Brennelemente ausreichend. Bei Szenario 1 sind für einige wenige Brennelemente der Kraftwerke Stade und Philippsburg 1 individuelle Lösungen nötig.

#### **Optionen:**

Reicht die Naßlagerkapazität einzelner Kraftwerke nicht aus und steht noch kein dezentrales Lager zur Verfügung, wird eine Zwischenlagerung in einem zentralen Behälterzwischenlager notwendig.

#### **Empfohlener Umgangsschritt: Kapselung**

Die unzerlegten Brennelemente werden im Lagerbecken in einer Stahlbüchse mit aufgeschweißtem Deckel gekapselt.

#### **Kapazität:**

Eine Einrichtung zur Kapselung kann in jedem Lagerbecken realisiert werden (bei älteren Reaktoren eventuell erst nach Abschaltung).

#### **Probleme:**

Die routinemäßige Kapselung im Lagerbecken ist bisher noch nicht Genehmigungsstand bei bundesdeutschen Kraftwerken. Deshalb muß die Kapselung sicherheitstechnisch noch detailliert geprüft werden.

#### **Optionen:**

Sollte sich die Kapselung im Lagerbecken wider Erwarten als sicherheitstechnisch nicht sinnvoll erweisen, müßte auf eine Vorkonditionierung verzichtet werden. Dies würde den Wegfall einer Freisetzungsbremse für die Zwischenlagerung bedeuten und eventuell zusätzliche Probleme bei der Handhabung mit den Brennelementen nach der langjährigen Zwischenlagerung verursachen. Darüber hinaus wären insgesamt mehr Handhabungsvorgänge von der Entladung aus dem Lagerbecken bis zur Endlagerung und damit auch eine technisch aufwendigere Anlage zur endlagerfähigen Konditionierung notwendig.

**Empfohlener Umgangsschritt: Dezentrale Zwischenlagerung**

Die gekapselten Brennelemente werden am jeweiligen Kraftwerk in Behältern im Behälterlager zwischengelagert. Nach Abschluß der zügigen Überführung der Brennelemente in das Behälterlager werden die Naßlager unter Berücksichtigung der jeweils festgelegten Restlaufzeit eines Kraftwerkes außer Betrieb genommen.

Kapazität:

Muß durch Neubau sichergestellt werden.

Probleme:

Einige sicherheitstechnische Bedingungen müssen für die Behälterlagerung verbessert werden. Sollte die Inbetriebnahme des Zwischenlagers an einzelnen Kraftwerken nicht rechtzeitig erfolgen können, so müssen die entsprechenden Brennelemente in zentralen Zwischenlagern gelagert werden.

Optionen:

Zentrale Zwischenlagerung. Die Nutzung dieser Option, die gegenwärtig praktiziert wird, weist sicherheitstechnisch ein höheres Risiko auf: Es sind mehr Handhabungen der Behälter, eine größere Zahl von Transporten sowie längere Transportwege notwendig. Zudem fällt eine größere Mengen Sekundärabfall an.

**Empfohlener Umgangsschritt: Endlagerfähige Konditionierung**

Die Konditionierung geschieht direkt am Endlager durch Einbringen der Kapsel in Overpack (Bohrlochlagerung) bzw. Pollux (Streckenlagerung).

Kapazität:

Direkt am Endlager zu schaffen.

Probleme:

Am Endlager muß eine (allerdings einfache) „heiße Zelle“ eingerichtet werden.

Optionen:

Findet keine dezentrale Vorkonditionierung (Kapselung) statt, müßte über die einfache „heiße Zelle“ hinaus eine Konditionierungsanlage am Endlagerstandort errichtet werden. Aufgrund der dann am Endlagerstandort notwendigen Arbeitsvorgänge ist logistisch fraglich, ob der Ablauf „Anlieferung - Konditionierung - Endlagerung“ ohne größere Pufferlagerkapazitäten und die damit wiederum verbundenen häufigeren Handhabungen möglich wäre.

Die Nutzung der Pilot-Konditionierungsanlage in Gorleben (PKA) wäre wegen der Entfernung zum Endlagergelände selbst bei einem Endlager Gorleben unsinnig, da ein zusätzlicher Transport mit Entladen und Beladen des Behälters einschließlich aller notwendigen Eingangs- und Ausgangsmessungen sowie weiterer Strahlenschutzmaßnahmen notwendig wäre. Bei einem anderen Endlagerstandort als Gorleben kämen als Argument gegen die PKA noch die erhebliche Verlängerung des Transportweges und der zweimal notwendige Verkehrsträgerwechsel in Dannenberg (Schiene/Straße, Straße/Schiene) mit den entsprechenden Behälterhandhabungen hinzu.

### **Hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAW)**

Die HAW-Kokillen werden von den Wiederaufarbeitungsfirmen den Verursacherkraftwerken entsprechend den angelieferten bestrahlten Brennelementen zugeordnet.

#### **Empfohlener Umgangsschritt: Transport in dezentrale Zwischenlager und Zwischenlagerung**

Die HAW-Kokillen sind in die kraftwerkseigenen dezentralen Zwischenlager zu transportieren und dort zusammen mit den abgebrannten Brennelementen zwischenzulagern.

#### **Kapazität:**

Muß bei der Dimensionierung der dezentralen Brennelementlager (Behälterlager) berücksichtigt werden.

#### **Probleme:**

Die Produktkontrolle für die Kokillen muß hinterfragt werden. Sollten Transporte vor der Annahmefähigkeit eines dezentralen Zwischenlagers nicht zu vermeiden sein, müßten diese Kokillen-Behälter in eines der zentralen Zwischenlager gebracht werden.

#### **Optionen:**

Zentrale Zwischenlagerung der HAW-Kokillen. Dies wäre grundsätzlich im Transportbehälterlager Gorleben (TBL) möglich. Diese Option wird für den Fall, daß dezentrale Zwischenlager zur Verfügung stehen, als nicht sinnvoll angesehen. Das TBL ist wegen des Fehlens eines Bahnanschlusses und des damit verbundenen Verkehrsträgerwechsels ungeeignet, eine größere Zahl von Behältern aufzunehmen. Hinzu kommt, daß noch kein Endlagerstandort für diese Abfälle zur Verfügung steht und dies in nächster Zeit auch nicht zu erwarten ist. Eine weitere Option wäre der Verbleib der Kokillen in den Wiederaufarbeitungsanlagen, bis in Deutschland ein Endlager zur Verfügung steht. Da es sich dabei um einen Zeitraum von 30 bis 40 Jahren handeln würde, gehen wir davon aus, daß dies nicht umsetzbar ist.

#### **Empfohlener Umgangsschritt: Endlagerfähige Konditionierung der HAW-Kokillen**

Nur im Falle der Streckenlagerung ist das Einbringen in Pollux-Behälter notwendig. Bei Bohrlochlagerung stellt die Kokille bereits das Endlagergebilde dar und könnte am Endlager aus dem Transport- und Lagerbehälter entnommen werden.

#### **Kapazität:**

Direkt am Endlagerstandort problemlos herstellbar bzw. es ist dieselbe Einrichtung wie für die Brennelemente nutzbar.

#### **Probleme:**

Am Endlager muß eine heiße Zelle eingerichtet werden. Dies wäre bei Bohrlochlagerung auch im Falle eines Endlagers Gorleben notwendig, da auf dem Weg von der PKA zum Endlager ca. 1 km öffentliche Straße zu benutzen ist.

#### **Optionen:**

Bei zentraler Zwischenlagerung der Kokillen-Behälter im Transportbehälterlager Gorleben wäre (für den Fall der Streckenlagerung) auch eine endlagerfähige Konditionierung in den Pollux Behälter in der PKA möglich.

### **3.1.3.2 Sonstige radioaktive Abfälle**

Unter sonstigen radioaktiven Abfällen werden hier zum einen die Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung verstanden, zum anderen mit Ausnahme der HAW-Kokillen aber auch die Abfälle mit Wärmeentwicklung (zu den Mengen s. Tab. 1). Bei den in der Bundesrepublik anfallenden Abfällen der zuletzt genannten Kategorie handelt es sich jedoch um relativ geringe Mengen. Für die folgende Betrachtung werden die Abfälle in drei Teilmengen unterteilt: In der Bundesrepublik anfallende Betriebs- und Forschungsabfälle, aus der Wiederaufarbeitung im Ausland stammende Abfälle (ohne HAW-Kokillen) und Stilllegungsabfälle aus nach 1995 stillgelegten Reaktoren.

#### **Betriebs- und Forschungsabfälle**

Diese radioaktiven Abfälle fallen in großer Vielfalt in Kraftwerken, sonstigen Anlagen der kerntechnischen Industrie und Forschungseinrichtungen an. Dementsprechend werden auch sehr unterschiedliche Konditionierungsverfahren eingesetzt. Es kann hier daher nur eine verkürzte, für den größten Teil der Abfälle gültige Darstellung erfolgen. Eine Randbedingung der Betrachtung ist, daß von den bisher angefallenen Abfällen dieser Art bereits ein Teil in den zentralen Abfallagern in Gorleben, Mitterteich und Stadland zwischengelagert ist.

Die als radioaktive Abfälle definierten Stoffe lagern (eventuell vorbehandelt) in der verursachenden Atomanlage. Die dann folgenden Umgangsschritte sollen sein:

#### **Empfohlener Umgangsschritt: Endlagerfähige Konditionierung**

Die Abfälle sind am Verursacherstandort zu konditionieren (dies entspricht auch der „Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht an eine Landessammelstelle abgeliefert werden“ des Bundesumweltministeriums). Verzicht auf Verbrennung von Abfällen (Sonderabfälle ausgenommen).

#### **Kapazität:**

Die Konditionierung ist zum großen Teil mit mobilen Konditionierungsanlagen möglich, die in der Bundesrepublik zur Verfügung stehen. Darüber hinaus sind an einigen Atomanlagenstandorten ortsfeste Konditionierungseinrichtungen installiert.

#### **Probleme:**

Die endgültigen Endlagerungsbedingungen für die konditionierten Abfälle werden erst nach Genehmigung eines Endlagers festgelegt. Dies gilt unabhängig von Konditionierungsart und -ort.

#### **Optionen:**

Konditionierung in zentralen Anlagen. Aufgrund der großen Mengen an radioaktiven Abfällen führt dies zu einer Vielzahl von Transporten mit Strahlenbelastungen für eine größere Bevölkerungsgruppe und dem Risiko von Unfällen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe.

**Empfohlener Umgangsschritt: Dezentrale Zwischenlagerung**

Die noch anfallenden konditionierten Abfälle sind an den Verursacherstandorten zwischenzulagern.

Kapazitäten:

An vielen Standorten sind ausreichende Kapazitäten vorhanden. Dies gilt insbesondere für die Forschungsanlagen und für Kraftwerksstandorte, die in letzter Zeit ihre Zwischenlagermöglichkeiten erweitert haben. Bei den Ausstiegsszenarien 2 und 3 (s.S. 9) reicht bei integraler Betrachtung die Lagerkapazität an den Kraftwerksstandorten nicht aus. Bei einem etwas längerfristigen Ausstieg (entsprechend Szenario 3) würde auch die zusätzliche Nutzung der vorhandenen zentralen Zwischenlager nicht ausreichen (s. auch Handlungsempfehlungen Kap. 4).

Probleme:

Es sind bereits größere Mengen Abfälle in zentralen Zwischenlagern gelagert. Aus Gründen der Minimierung von Handhabungen und Transporten sollten diese Abfälle dort verbleiben.

Optionen:

Zentrale Zwischenlagerung der Abfälle aus Kraftwerken und Anlagen der kerntechnischen Industrie. Aufgrund der großen Mengen an radioaktiven Abfällen führt dies zu einer Vielzahl von Transporten mit Strahlenbelastungen für eine größere Bevölkerungsgruppe und dem Risiko von Unfällen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe. Deshalb sollte die zentrale Zwischenlagerung soweit wie möglich vermieden werden. Die Option zentrale Zwischenlagerung in gegenwärtig bereits vorhandenen Zwischenlagern ist diskussionswürdig für Abfälle, die aus nachvollziehbaren Gründen extern (z.B. in Forschungsanlagen) konditioniert worden sind. Für andere Abfälle muß bei die dezentralen Kapazitäten übersteigenden Mengen abgewogen werden, ob ein Kapazitätszubau an den betroffenen Standorten oder eine Nutzung der vorhandenen zentralen Kapazitäten sicherheitstechnisch günstiger ist.

**Wiederaufarbeitungsabfälle**

Für die Wiederaufarbeitungsabfälle aus dem Ausland (ohne HAW-Kokillen) ist bisher nicht endgültig klar, ob sie überhaupt bzw. in welcher Form sie in die Bundesrepublik zurückgeliefert werden. Die folgenden Aussagen sind unter diesem Vorbehalt zu sehen. Die Abfälle werden von den Wiederaufarbeitungsfirmen - unabhängig von ihrem Verbleib in der Bundesrepublik - entsprechend den angelieferten bestrahlten Brennelementen den Verursacherkraftwerken zugeordnet. Es ist davon auszugehen, daß die Abfälle bereits nach den gültigen Bedingungen endlagerfähig konditioniert sind. Zu berücksichtigen ist auch, daß die Lieferung - eventuell mit Ausnahme einer einzigen Abfallkategorie - nach gegenwärtigem Stand erst ab dem Jahr 2008 erfolgen soll.

**Empfohlener Umgangsschritt: Transport in dezentrale Zwischenlager und Zwischenlagerung**

Die Abfälle sind in die dezentralen Zwischenlager an den Kraftwerkstandorten zu transportieren und dort zwischenzulagern.

Kapazität:

Müßte, falls nicht vorhanden, geschaffen werden.

Probleme:

Die Produktkontrolle für diese Abfälle muß überprüft werden.

Optionen:

Die zentrale Zwischenlagerung dieser Abfälle ist gegenwärtig in Ahaus und Gorleben vorgesehen. Der Nachteil von Ahaus ist, daß ein neuer Standort für die Abfallagerung eingerichtet würde, da das Lager für die Abfälle gegenwärtig zwar genehmigt, aber noch nicht errichtet ist. Der Nachteil von Gorleben ist die ungünstige Lage ohne Bahnanschluß. Außerdem ist das Zwischenlager Gorleben nur für einen Teil der Abfälle genehmigt. Für den anderen Teil der Abfälle wären möglicherweise aufgrund ihrer Wärmeentwicklung bauliche Änderungen notwendig. Eine weitere Option wäre das Zwischenlager Nord (ZLN). Hier sind allerdings die ungünstige geographische Lage (lange Transportwege) und ebenfalls eventuelle Probleme hinsichtlich der Wärmeentwicklung für einen Teil der Abfälle festzustellen. Darüber hinaus existiert die politische Zusage an die Bevölkerung, das ZLN nur für Abfälle aus Greifswald und Rheinsberg zu nutzen.

### Stillegungsabfälle

Die in Tab. 1 (s. S. 10) genannten Abfallmengen enthalten keine Stillegungsabfälle, die in im Rahmen des Ausstiegsgesetzes stillgelegten Atomanlagen anfallen. Für diese Anlagen wird, wie bereits ausgeführt, der sichere Einschluß vorgeschlagen. Der überwiegende Anteil der Stillegungs- und Abrißabfälle fällt also erst an, wenn ein annahmefähiges Endlager zur Verfügung steht. Diese Abfälle brauchen deshalb hier nicht weiter betrachtet zu werden. Für die bis zum sicheren Einschluß anfallenden Abfälle werden folgende Umgangsschritte vorgeschlagen:

#### **Empfohlener Umgangsschritt: Endlagerfähige Konditionierung**

Konditionierung dieser Abfälle am Stillegungsstandort.

Kapazität:

Die Konditionierung ist zum großen Teil mit mobilen Konditionierungsanlagen möglich, die in der Bundesrepublik zur Verfügung stehen. Darüber hinaus sind an einigen Atomanlagenstandorten ortsfeste Konditionierungseinrichtungen installiert.

Probleme:

Die endgültigen Endlagerungsbedingungen für die konditionierten Abfälle können erst nach Genehmigung eines Endlagers festgelegt werden. Dies gilt unabhängig von Konditionierungsart und -ort.

Optionen:

Konditionierung in zentralen Anlagen. Dies führt allerdings zu unnötigen Transporten mit Strahlenbelastungen für eine größere Bevölkerungsgruppe und dem Risiko von Unfällen mit Freisetzung radioaktiver Stoffe.

### **Empfohlener Umgangsschritt: Dezentrale Zwischenlagerung**

Die konditionierten Abfälle sind am Anlagenstandort zwischenzulagern.

#### Kapazität:

Sollte die vorhandene Zwischenlagerkapazität am Standort nicht ausreichen, ist die Lagerung der Abfälle im sicheren Einschluß (also innerhalb des Kraftwerks) zu prüfen.

#### Probleme:

Wenn sich im Einzelfall herausstellt, daß aus schwerwiegenden Gründen kein sicherer Einschluß möglich ist, müssen am Standort zusätzliche Zwischenlagerkapazitäten geschaffen werden.

#### Optionen:

Zentrale Zwischenlagerung. Hierzu müßten neue Zwischenlagerkapazitäten geschaffen werden.

### **3.1.3.3 Zusammenfassende Darstellung der dezentralen übertägigen Entsorgungsstrategie**

Insgesamt bietet die vorgeschlagene dezentrale übertägige Entsorgung radioaktiver Abfälle im Rahmen der Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung die beste Möglichkeit zur Risikoreduzierung.

Die bestrahlten Brennelemente werden am jeweiligen Kraftwerksstandort vorkonditioniert und dort, soweit möglich, gemeinsam mit den HAW-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung längere Zeit zwischengelagert. Eine längerfristige Zwischenlagerung ist für diese wärmeentwickelnden Abfälle sowieso notwendig (ca. 30 - 40 Jahre). Damit wird auch die Zeit verfügbar, um die in Kap. 3.1.4 für den Bereich Endlagerung vorgeschlagenen Maßnahmen umzusetzen.

Kurzfristige Engpässe (aufgrund der Dauer bis zur Inbetriebnahme von dezentralen Zwischenlagern bei gleichzeitig knappen Kapazitäten in den Lagerbecken) bei einigen Kraftwerken müssen durch Verbringung der betroffenen Brennelemente in ein zentrales Zwischenlager behoben werden. Hierzu wäre im Einzelfall vorher noch die Möglichkeit von Alternativen zu prüfen. Eine solche - möglicherweise unumgängliche - begrenzte Nutzung der zentralen Zwischenlager stellt das vorgeschlagene dezentrale Konzept keinesfalls in Frage. Es wären auf jeden Fall weit unter 10% der Brennelementmengen davon betroffen. Die genaue Menge hängt vom jeweiligen Ausstiegsszenario ab.

Für alle übrigen radioaktiven Abfälle ist ebenfalls ein weitgehend dezentrales übertägiges Entsorgungskonzept umsetzbar. Für einige Standorte von Kraftwerken und der kerntechnischen Industrie ist allerdings zu entscheiden, ob hier ein Zubau von Kapazitäten erfolgen oder vorhandene zentrale Kapazitäten genutzt werden sollten. Dies gilt für einen Teil der noch anfallenden Abfälle, aber auch für Abfälle aus der Wiederaufarbeitung.

Als wichtige Konsequenzen des gewählten dezentralen übertägigen Entsorgungskonzeptes sind zu nennen:

- Es müssen dezentrale Zwischenlagerkapazitäten für bestrahlte Brennelemente an den Kraftwerksstandorten geschaffen werden.
- Die Pilot-Konditionierungsanlage (PKA) ist für die endlagerfähige Konditionierung von Brennelementen und anderen Abfällen überflüssig. Auch die zur Zeit in der Diskussion befindlichen Optimierungsaufgaben der PKA für die Zwischenlagerung werden hinfällig.
- Die endlagerfähige Konditionierung der Brennelemente muß erst unmittelbar vor der Einlagerung in das Endlager erfolgen. Die Entscheidung Bohrloch- oder Streckenlagerung im Endlager sollte vorrangig unter den Sicherheitsaspekten der Endlagerung bzw. unter Berücksichtigung der letztlich gewählten Endlagerkonzeption (s. Kap. 3.1.4) entschieden werden. Mit der gegebenenfalls notwendigen Konzipierung des Endlagerbehälters kann ebenfalls bis zur konkreten Kenntnis der Standortverhältnisse des Endlagers gewartet werden.

### **3.1.4 Endlagerung**

#### **Strategische Vorgaben**

Bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle sind im Rahmen der vorgeschlagenen Entsorgungsstrategie - unabhängig vom Wirtsgestein bzw. Endlagerstandort - die folgenden strategisch wirksamen Vorgaben einzuhalten, die vor allem auf die Gewährleistung der Langzeitsicherheit und den sicherheitsoptimierten Betrieb abzielen:

#### Ein Endlager für alle Abfälle

Durch die Konzentration auf ein zentrales Endlager ergeben sich gegenüber der Endlagerung in mehreren Bergwerken deutliche Vorteile. Dazu gehören die Vermeidung von Fehlern bei Standortsuche und Eignungsnachweis, Sicherheitsgewinne durch Verzicht auf unnötige Bergwerkshohlräume und -schächte sowie Akzeptanzgewinn durch Beschränkung auf die unbedingt notwendige Endlagerkapazität. Außerdem verringert sich der Zeit- und Kostenaufwand für Standortsuche und -erschließung sowie Endlagerbetrieb. Diese strategische Option drängt sich beim Ausstieg aus der Kernenergienutzung geradezu auf, da dann zweifelsfrei kein Bedarf nach mehr als einem Standort besteht.

Das zentrale Endlager muß wegen der Beibehaltung der nationalen Verantwortlichkeit für die Abfälle in Deutschland liegen. Unter der Prämisse des Ausstiegs ist für vorrangig aus Kostengründen diskutierte internationale Endlagerlösungen kein Bedarf, weil damit entweder ein Teil der durch den Ausstieg gerade zu vermeidenden Risiken importiert wird (falls Deutschland Abfälle aus anderen Ländern aufnimmt), oder aber Risiken werden exportiert (Endlagerung deutscher Abfälle im Ausland).

### Eigenes Endlagerbergwerk

Die Endlagerung erfolgt in einem eigens dafür zu errichtenden Endlagerbergwerk: Bei der Nachnutzung ehemaliger Gewinnungsbergwerke ist erfahrungsgemäß mit gravierenden Sicherheitsproblemen zu rechnen (Beispiele: Asse, Morsleben), da beim Betrieb von Gewinnungsbergwerken endlagerspezifische Sicherheitsaspekte nicht betrachtet werden.

### Konzentrationsprinzip

Die Verteilung von Radionukliden aus dem Endlager in Geosphäre und Biosphäre ist - soweit irgend möglich - durch dauerhaft emissionsfreie, zumindest emissionsarme Ablagerung der Abfälle zu verhindern. Daraus ergeben sich weitreichende Anforderungen an die Funktionstüchtigkeit der (geo-)technischen und natürlichen (geologischen) Barrieren des Endlagers. Die Einhaltung der Anforderungen an die geologische Barriere muß durch sorgfältiges systematisches Vorgehen bei der Auswahl des Wirtsgesteins, bei der Standortauswahl und beim Eignungsnachweis für den letztlich gewählten Standort sichergestellt werden.

### Keine Rückholbarkeit der Abfälle

Das Endlager ist nach Beendigung der Einlagerung rasch zu verfüllen und zu verschließen. Dadurch werden der Zugang von Menschen an die Abfälle und der Zutritt von Wasser an die Abfälle über Schächte und Bergwerkshohlräume verhindert, zumindest stark behindert. Bei einem Endlager in der grundwasserführenden Zone der Geosphäre kann Grundwasser andernfalls (in Abhängigkeit von den standortspezifischen Verhältnissen) früh in das Endlager eindringen. Bei solchen Bedingungen, wie sie bei Endlagern in Deutschland unvermeidlich herrschen, steht daher die längerfristige Rückholbarkeit der Abfälle durch Offenhalten des Zugangs zu ihnen in unauflösbarem Zielkonflikt mit der primären Sicherheitsanforderung, nämlich Verhinderung bzw. Behinderung von Wasserzutritt an den Abfall durch (geo-)technische Barrieren. Demgegenüber zeichnet sich der von der Option "Rückholbarkeit" erhoffte Hauptvorteil (Entwicklung einer ungefährlicheren Entsorgungstechnik, insbesondere Transmutation) nicht ab. Aus demselben Grund ist auch die ungezielte und unbestimmte Langzeitlagerung von Abfällen in einem übertägigen Lager abzulehnen. Diese Einschätzung steht einer Zwischenlagerung von Abfällen auch über längere Zeiträume als gegenwärtig vorgesehen nicht entgegen, vorausgesetzt sie erfolgt mit konkreter Zielsetzung und für einen absehbaren begrenzten Zeitraum.

### Keine Notwendigkeit für Wartungs-, Reparatur- und Überwachungsmaßnahmen

Nach Stilllegung und Verschluß des Bergwerks dürfen Maßnahmen zur Wartung, Reparatur und Überwachung des Endlagers bzw. von Anlagenteilen nicht erforderlich sein. Die Verzichtbarkeit solcher Maßnahmen ist im Rahmen des Eignungsnachweises für das Endlager zu belegen. Das ergibt sich zwangsläufig aus der Tatsache, daß wegen der langen Zeiträume, für die radioaktive Abfälle eine Gefahr für die Umwelt darstellen, und wegen der Unzugänglichkeit der Abfälle weder eine falsche Standortentscheidung korrigiert noch Reparaturmaßnahmen durchgeführt werden können.

Die Umsetzung dieser Anforderungen setzt die zielgerichtete Entwicklung einer geeigneten Endlagerkonzeption sowie die Anwendung eines nachvollziehbaren methodisch angemessenen Verfahrens bei Standortsuche und Eignungsnachweis für den letztlich ausgewählten Endlagerstandort voraus. Dem Minimierungsgebot des Atomgesetzes muß durch die systematische Suche nach dem relativ besten Standort Rechnung getragen werden, und zwar unabhängig von der Frage, ob der beste Standort überhaupt gefunden werden kann. Da alle Standorte positive und negative Eigenschaften aufweisen, ist dabei zwingend vergleichend

vorzugehen. Das ist in der Vergangenheit nicht bzw. nur in unzulänglicher Weise geschehen. Ein entsprechendes Verfahren für Standortauswahl und Eignungsnachweis, das fachlicher und gesellschaftlicher Kritik standhält, liegt gegenwärtig erst in Ansätzen vor und muß daher unbedingt (weiter-)entwickelt werden.

Der Vergleich der gegenwärtigen Endlagersituation in Deutschland mit den genannten Prinzipien zeigt, daß nur zwei befolgt werden ("keine Rückholbarkeit der Abfälle", "keine Notwendigkeit für Wartungs-, Reparatur- und Überwachungsmaßnahmen"). Die Vorgaben "ein Endlager für alle Abfälle", "eigenes Endlagerbergwerk" und "Konzentrationsprinzip" waren zwar ursprünglich einmal Bestandteil der bundesdeutschen Endlagerungsstrategie, sind zwischenzeitlich jedoch grundsätzlich bzw. an einzelnen Standorten aufgegeben worden. Sicherheitsaspekte sind dabei nicht berücksichtigt worden.

Hinsichtlich der Forderungen "ein Endlager für alle Abfälle" und "eigenes Endlagerbergwerk" ist festzustellen, daß allein der Standort Gorleben für alle Arten radioaktiver Abfälle gedacht ist. Die in Betrieb befindlichen bzw. geplanten Endlager (Morsleben bzw. Konrad) können wärmeproduzierende Abfälle nicht aufnehmen. Die Forderungen sind dort also nicht erfüllbar. Beide Standorte sind unter strategischen Gesichtspunkten überflüssig. Beim Standort Gorleben wird zudem das Konzentrationsprinzip nicht befolgt.

## **Konzeptionelle und methodische Probleme**

### Endlagerkonzeption

Die deutsche Endlagerkonzeption ist auf Salz als Wirtsgestein zugeschnitten. In anderen Ländern (z.B. Kanada, Schweden) wird eine abweichende Endlagerkonzeption mit Hartgestein (Kristallin) als Wirtsgestein verfolgt. Deutschland ist lediglich an der „Kristallinforschung“ beteiligt. Die Hartgesteinskonzeption ist durch stärkere Gewichtung der technischen und geotechnischen Barrieren gegenüber der geologischen Barriere gekennzeichnet und weist gegenüber dem Salzkonzept möglicherweise entscheidende Vorteile auf. Sie ist wegen des Vorkommens entsprechender Gesteinstypen prinzipiell auch in Deutschland umsetzbar und sollte daher auf der Grundlage der Erfahrungen in anderen Ländern detailliert auf Sicherheitsvorteile gegenüber dem Salzkonzept geprüft werden. Auch im Bereich der Nachweisführung kann die Hartgesteinskonzeption Vorteile gegenüber der Salzkonzeption aufweisen. Klärende Vorarbeiten sind in jüngster Zeit bereits geleistet worden.

Nach der vergleichenden Überprüfung beider Endlagerkonzeptionen ist endgültig zu entscheiden, ob das Salzkonzept oder das Hartgesteinskonzept weiterverfolgt wird. Die Standortsuche wird erst dann begonnen, wenn die Konzeptfrage geklärt ist.

### Standortauswahl und Eignungsnachweis

Die tatsächlichen bzw. geplanten deutschen Endlagerstandorte sind nicht auf Grundlage sorgfältiger und nachvollziehbarer Auswahl benannt worden. Die systematische und nachvollziehbare Standortauswahl mit frühzeitiger Beteiligung der Öffentlichkeit ist aber Grundvoraussetzung für ein sicheres und allgemein akzeptiertes Endlager. Sie muß zusammen mit dem Eignungsnachweis ein methodisch schlüssiges Gesamtverfahren ergeben. Das gegenwärtig praktizierte Verfahren für den Eignungsnachweis ist mit schwerwiegenden Mängeln

behaftet. Ein geeignetes Verfahren ist über die bereits vorhandenen Ansätze hinaus zu entwickeln.

## **Konsequenzen**

Die Endlagerung stark wärmeproduzierender radioaktiver Abfälle ist frühestens nach Ablauf der erforderlichen Abklingzeit möglich. Das wird etwa um die Jahre 2030 - 2035 der Fall sein. Wird den Vorschlägen zum übertägigen Umgang mit den Abfällen gefolgt (s. Kap. 3.1.3), stehen bis zur Bereitstellung eines zentralen Endlagers ausreichende Zwischenlagerkapazitäten zur Verfügung. Daraus folgt, daß die (Weiter-)Entwicklung eines Verfahrens für Standortsuche und Eignungsnachweis, seine Anwendung und die Erschließung eines Endlagers nicht unter Zeitdruck erfolgen müssen. Dies darf allerdings nicht dazu führen, daß die entsprechenden Aufgaben auf die lange Bank geschoben werden.

Für den Umgang mit den vier Standorten geplanter bzw. existierender Endlager in Deutschland ergeben sich aus der Anwendung der Grundanforderungen zusammengefaßt folgende Konsequenzen:

### Standort Asse

Fortsetzung der Verfüllung zur Stabilisierung des Grubengebäudes.

### Standort Morsleben

Die weitere Einlagerung ist wegen gravierender und nicht heilbarer Sicherheitsmängel der geologischen Barriere sofort zu beenden. Die bereits laufenden Arbeiten am Stilllegungs- und Verfüllkonzept sind druckvoll weiterzuführen und umzusetzen.

### Standort Konrad

Für das geplante Endlager am Standort Konrad besteht kein Bedarf: Die dafür vorgesehenen schwach wärmeentwickelnden Abfälle können solange übertage zwischengelagert werden, bis das zentrale Endlager zur Verfügung steht. Der (Parallel-)Betrieb von Konrad und einem zusätzlichen Endlager für stärker wärmeentwickelnde Abfälle widerspricht der strategischen Forderung nach einem zentralen Endlager; zudem ist er ökonomisch unsinnig. Trotz des fortgeschrittenen Verfahrensstandes sind wesentliche sicherheitsrelevante Aspekte bisher nicht abschließend geklärt (z.B. Nachweis der Langzeitsicherheit). Das Verfahren ist aus den genannten Gründen abzubrechen.

### Standort Gorleben

Das geplante Endlager Gorleben ist für alle Arten von Abfälle, also auch wärmeproduzierende hochaktive Abfälle, vorgesehen. Gegen diesen Standort sprechen allerdings wichtige Sicherheitsargumente: Der Störfall „Wasser- bzw. Laugeneinbruch“ in das Endlager mit anschließender Freisetzung von Radionukliden ins Deckgebirge kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Da das Deckgebirge nachgewiesenermaßen gravierende Mängel aufweist, muß der Salzstock selbst praktisch die gesamte Sicherheitslast (Langzeitsicherheit) tragen. Bei der Barriere Deckgebirge ginge die Verringerung der Radionuklidkonzentrationen auf dem Transportweg in die Biosphäre in nach dem Konzentrationsprinzip unzulässigem Ausmaß auf Verdünnung zurück. Der Standort ist danach als nicht geeignet zu bewerten und aufzugeben.

Gegen die Standorte Gorleben, Konrad und Morsleben spricht zudem, daß grundlegende methodische Anforderungen (systematische Standortsuche, vergleichende Standortbewertung) nicht erfüllt sind.

Sollte für diese aus fachlicher Sicht gebotene Konsequenz auf der Ebene der politischen Willensbildung keine tragfähige Mehrheit zu finden sein, ist im Sinne eines objektivierbaren, transparenten und akzeptanzfördernden Verfahrens eine vergleichende Bewertung des Standortes Gorleben mit anderen potentiell geeigneten Standorten vorzunehmen. Mindestens ist eine detaillierte vergleichende Bewertung Gorlebens mit denjenigen Salzstrukturen durchzuführen, die im Rahmen eines Suchverfahrens der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe im Jahre 1995 anhand von Kriterien als untersuchungswürdig ermittelt worden sind. Erreicht Gorleben bei diesem Vergleich keinen Spitzenplatz, ist der Standort gleichfalls aufzugeben. Nach einer vorläufigen Beurteilung gehört Gorleben nicht einmal in die Gruppe der untersuchungswürdigen Standorte.

### 3.2 Die Entsorgungsstrategie in Kürze

Die unter der Voraussetzung des Ausstiegs aus der Atomenergienutzung entwickelte Entsorgungsstrategie sieht in ihren Grundzügen wie folgt aus (exemplarisch für die problematischsten Abfälle, abgebrannte Brennelemente, in Abb. 1 dargestellt):

- Unter Sicherheitsaspekten kommt nur die Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung in Frage. Hierzu ist ein möglichst schneller Ausstieg aus der Wiederaufarbeitung erforderlich.
- Für den übertägigen Umgang mit den radioaktiven Abfällen wird eine dezentrale Vorgehensweise vorgeschlagen: Die abgebrannten Brennelemente, die aus der Wiederaufarbeitung stammenden HAW-Kokillen sowie ein großer Anteil der sonstigen radioaktiven Abfälle werden an den jeweiligen Kraftwerksstandorten in Behälterlagern zwischengelagert. Für Brennelemente und HAW-Kokillen sind dazu neue Behälterlager zu errichten. Die Brennelemente werden im Kraftwerk vorkonditioniert. Die endlagerfähige Konditionierung wird für die meisten Abfälle gleichfalls an den jeweiligen Kraftwerksstandorten durchgeführt. Die endlagerfähige Verpackung der Brennelemente und ggf. der HAW-Kokillen findet direkt am noch nicht feststehenden Endlagerstandort statt.
- Bei der Endlagerung der radioaktiven Abfälle sind strategisch wirksame Vorgaben einzuhalten, die vor allem auf die Sicherstellung der Langzeitsicherheit und den sicherheitsoptimierten Betrieb abzielen. Zu diesen Vorgaben gehören: Zentrales Endlager für alle Abfälle, Berücksichtigung des Konzentrationsprinzips, keine Rückholbarkeit der Abfälle sowie keine Notwendigkeit für Wartungs-, Reparatur- und Überwachungsmaßnahmen. Unter der Prämisse des Ausstiegs ist zudem eine nationale Endlagerlösung anzustreben.

Das Endlager Morsleben ist möglichst schnell zu schließen. Die Endlagerprojekte Gorleben und Konrad sind nicht weiterzuverfolgen. Stattdessen wird eine neue Standortsuche für ein zentrales Endlager für alle Arten an radioaktiven Abfällen vorgeschlagen. Vor dieser Standortsuche sind verschiedene grundsätzliche Aspekte zu klären. Dazu gehören insbesondere die Konzeptentscheidung (Salz- oder Hartgesteinskonzept), die Klärung methodischer Fragen zur Standortsuche und zum Nachweis der Langzeitsicherheit sowie die Akzeptanzfrage.

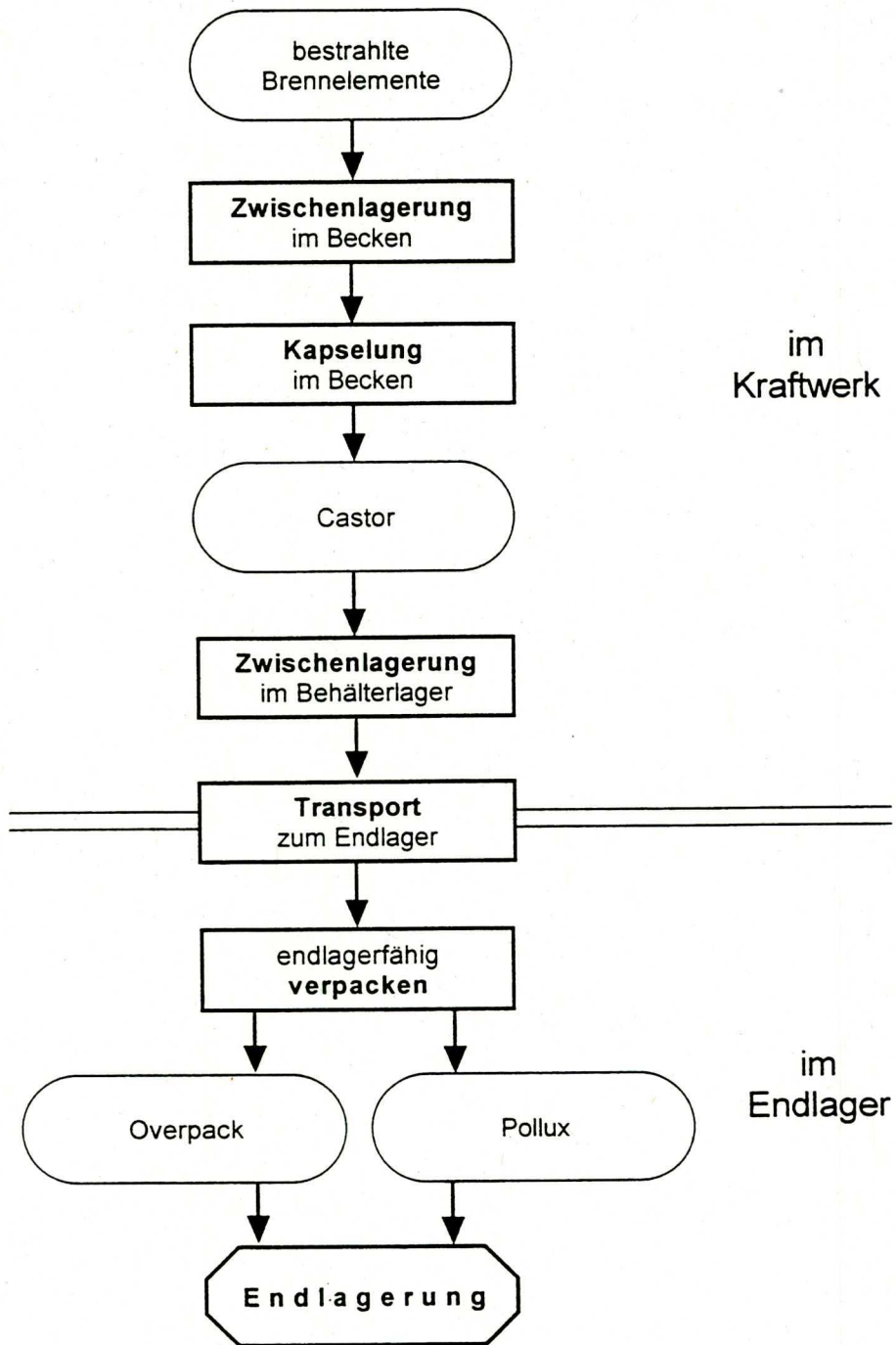


Abb. 1: Umgangsschritte der empfohlenen Entsorgungsstrategie für bestrahlte Brennelemente

## 4 Handlungsbedarf

Die Entsorgungsgrundsätze bzw. die Anforderungen im Entsorgungsvorsorgenachweis von 1980 stimmen inhaltlich nicht mehr mit der Entwicklung in den letzten 20 Jahren überein. Es besteht also Bedarf an einer Überarbeitung. Dieser Bedarf ist auch bei Verabschiedung eines Ausstiegsgesetzes gegeben. Der Entsorgungsvorsorgenachweis sollte dann eng an die durch das Gesetz festgelegten allgemeinen Vorgaben gebunden werden. Es ist ein konkreter Nachweis für Umgang und Verbleib der vorhandenen und während der Restlaufzeit noch anfallenden radioaktiven Abfälle (einschließlich Brennelemente) zu verlangen. Für die konkrete Festlegung der Anforderungen an den Entsorgungsvorsorgenachweis sollten die juristischen und technischen Randbedingungen überprüft werden.

Die Behälterlagerung ist die Zwischenlagertechnologie mit den im Vergleich zu existierenden Alternativen geringsten Risiken. Die Behälterlagerung für eine große Zahl von Brennelementen ist allerdings nur bei Verbesserungen des jetzigen Sicherheitsniveaus akzeptabel. Hierzu sollte kurzfristig eine sicherheitstechnische Analyse von Behälter und Lagergebäudestruktur als Grundlage für sicherheitstechnische Verbesserungen durchgeführt werden.

Die grundsätzliche Umsetzbarkeit der Kapselung von Brennelementen in Lagerbecken ist gegeben. Um eventuelle Probleme zu identifizieren und gegebenenfalls beseitigen zu können, sollte möglichst kurzfristig eine detaillierte sicherheitstechnische Analyse der Kapselung von Brennelementen in Lagerbecken (einschließlich des Konzeptes „Frühe Kapselung“) in Auftrag gegeben werden.

Eine vertraglich vereinbarte Voraussetzung ist die Lieferung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung im Ausland in zwischenlagerfähiger Form. Sollte an den Wiederaufarbeitungsanlagen bereits eine endlagerfähige Konditionierung auf Grundlage der in der Bundesrepublik aktuell gültigen Einlagerungsbedingungen für ein Endlager erfolgen, so ist nach bundesdeutschen Vorschriften die Produktkontrolle sicherzustellen. Der aktuelle Sachstand ist für alle Abfallkategorien bei BFS und GNS zu ermitteln (auch zu den HAW-Kokillen von der COGEMA), um die Möglichkeiten für die Lieferungen zu überprüfen.

Bei einer Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung mit dezentraler Zwischenlagerung der bestrahlten Brennelemente kommt es an einigen Kraftwerksstandorten zu Engpässen, bis das dezentrale Standortlager annahmefähig ist. Es ist zur Zeit nicht auszuschließen, daß dann Brennelemente in ein zentrales Zwischenlager verbracht werden müssen. Für die betroffenen Standorte ist zu ermitteln, um wieviele Brennelemente es sich jeweils handelt und welche Alternativen zum Abtransport in ein zentrales Zwischenlager existieren.

Für die Zwischenlagerkapazitäten von radioaktiven Abfällen liegen für diese Studie nur Verursachergruppen-spezifische Volumenangaben vor. Daher werden im wesentlichen integrale Betrachtungen vorgenommen. Die konkreten Zwischenlagerkapazitäten an den einzelnen Kraftwerksstandorten sind zu ermitteln und dahingehend zu beurteilen, ob ggf. eine Erweiterung sinnvoll ist.

Eine der Randbedingungen für die in Kapitel 3 vorgeschlagene Entsorgungsstrategie ist der sichere Einschluß der stillzulegenden Atomkraftwerke. Es ist ein Kriterienkatalog zu entwickeln, anhand dessen zu entscheiden ist, ob anstelle des sicheren Einschlusses der zügige Abriß umgesetzt werden muß.

Das bisher auf das Wirtsgestein Steinsalz ausgerichtete deutsche Endlagerkonzept sollte überprüft werden. Hierbei ist zu klären, ob ein auf Hartgestein (Kristallin) beruhendes Endlagerkonzept Vorteile mit sich bringt.

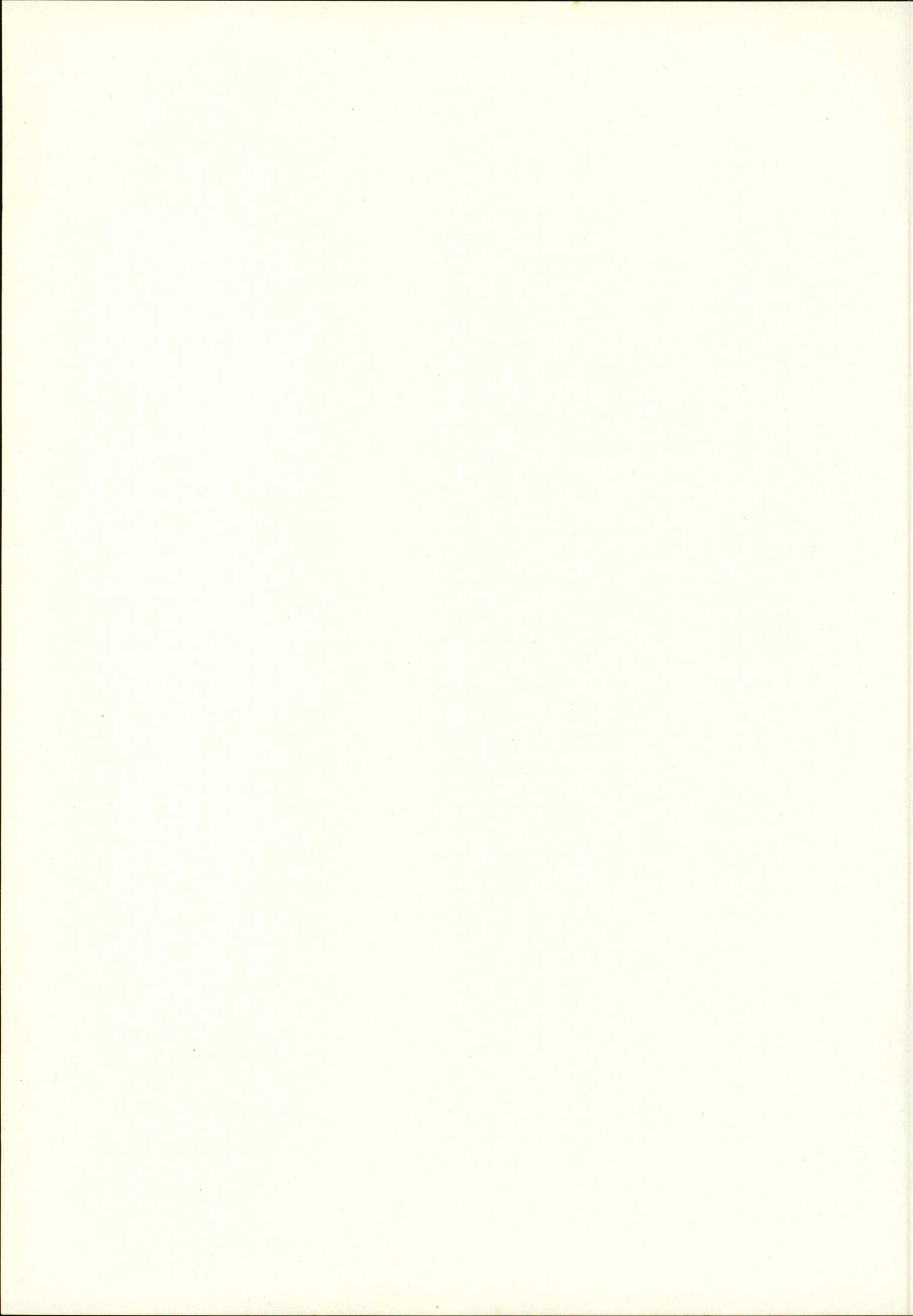
Die von der RSK erarbeiteten „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ von 1983 sollten aufgegeben bzw. völlig neu formuliert werden, da sie weder Sicherheitskriterien im eigentlichen Sinn darstellen noch dem erreichten Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Letzteres gilt insbesondere auch hinsichtlich der Anforderung, den Nachweis der Langzeitsicherheit allein mittels Sicherheitsanalyse zu führen.

Entwicklung eines in sich schlüssigen Verfahrens für Standortsuche und Eignungsnachweis. Dabei sind die Besonderheiten der Entsorgungskonzeption (Direkte Endlagerung, Wirtsgestein) zu berücksichtigen. Für die Standortsuche liegen bereits inhaltliche Ansätze vor, die überprüft und gegebenenfalls übernommen werden können. Für den Eignungsnachweis sind neue Bewertungsansätze zu erarbeiten, die stärker auf die methodischen Probleme abgestellt sind, die sich aus dem langen Zeitraum, für den sichere Endlagerung gewährleistet werden muß, ergeben. Hierzu liegen ebenfalls Ansätze vor. Die bisher überragende Bedeutung von Modellrechnungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit ist zu relativieren. Mit der Standortsuche nach dem zentralen Endlager darf erst dann begonnen werden, wenn die konzeptionellen und methodischen Fragen geklärt sind.

In verschiedenen Ländern mit fortgeschrittenen Entsorgungsprogrammen sind sinnvolle Ansätze, zum Beispiel im Bereich Endlagerung, entwickelt worden. Hier besteht die Möglichkeit, die entsprechenden Erkenntnisse und Erfahrungen für die weitere Vorgehensweise in Deutschland zu nutzen. Dies gilt beispielsweise für den kanadischen Ansatz, mittels einer unabhängigen Kommission den kritischen Dialog mit der Bevölkerung und Experten vor grundsätzlichen Entscheidungen zu treffen.

Bei den die Bundesregierung in Sicherheitsfragen beratenden Gremien sollte geprüft werden, inwieweit ein vielfältigeres wissenschaftliches Meinungsspektrum zu einer offeneren Diskussion von Fragen der Sicherheit kerntechnischer Anlagen führen kann. Dies gilt insbesondere für RSK und SSK. Darüber hinaus läßt sich durch eine Neuorientierung der wissenschaftlichen Sachverständigen anderer Institutionen (z.B. GRS, Forschungszentren) problem- und zielorientierter nutzen.

In Zusammenhang mit der Durchsetzung der vorgeschlagenen Entsorgungsstrategie sollte eine wirksame Öffentlichkeitsarbeit (Information, offene Diskussion) geleistet werden. Eine Auseinandersetzung über Projekte allein im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Öffentlichkeitsbeteiligung (Planfeststellungsverfahren) ist nicht ausreichend, da grundsätzliche Entscheidungen zu diesem Zeitpunkt bereits gefallen sind.



## **Hauptteil**

### **Analyse der Entsorgungssituation in Deutschland und Ableitung von Handlungsoptionen**



## Analyse der Entsorgungssituation in der Bundesrepublik Deutschland und Ableitung von Handlungsoptionen

### H-1 Das deutsche Entsorgungskonzept

Im folgenden wird ein kurzer Überblick über Entwicklung und wesentliche Elemente der deutschen Entsorgungskonzeption gegeben. Er dient der besseren Einordnung der in den folgenden Kapiteln dargestellten Teilbereiche der Entsorgung in die übergeordnete Konzeption. Zusätzlich wird die Entsorgungskonzeption bewertet.

Anfang der siebziger Jahre entwickelte die Bundesregierung unter Federführung des damaligen Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) eine Konzeption für die nukleare Entsorgung, die die Wiederaufarbeitung abgebrannter Kernbrennstoffe, Spaltstoffrückführung (v.a. „Verwertung“ im Schnellen Brutreaktor), Abfallbehandlung sowie Zwischen- und Endlagerung zu einem „integrierten Entsorgungssystem“ zusammenfaßte. Ihren rechtlichen Niederschlag fanden diese Vorstellungen in der 4. Novelle des Atomgesetzes (AtG) von 1976. Zentraler Punkt für die Umsetzung der Vorschläge war der neu in das AtG eingeführte § 9a, in dem der Vorrang der sogenannten **schadlosen Verwertung** radioaktiver Reststoffe vor ihrer geordneten Beseitigung festgeschrieben wurde. Damit war die Wiederaufarbeitung als „Regel-Entsorgungspfad“ festgelegt (BTD 1977, Anlage 1). In den „Grundsätzen zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke“ vom 06. Mai 1977 wurde neben dem Vorrang der Wiederaufarbeitung insbesondere auch die Randbedingungen zur Erfüllung der Entsorgungsvorsorge konkretisiert (Mindestvoraussetzungen zur Entsorgung in Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke).

Zur Realisierung der Entsorgungskonzeption war das Nukleare Entsorgungszentrum (NEZ) vorgesehen. Das NEZ sollte alle zur geordneten Entsorgung bestrahlter Brennelemente notwendigen Anlagen (v.a. Wiederaufarbeitung, Brennstoffverarbeitung, Konditionierung radioaktiver Abfälle, Zwischen- und Endlagerung) an einem Standort zusammenfassen. Durch die schon früher erfolgte Festlegung auf das Endlagergestein Salz (s. Kap. H-5.1) mußte für das NEZ ein Standort im Bereich eines geeigneten Salzstocks gefunden werden. Im Februar 1977 benannte die niedersächsische Landesregierung den Salzstock von Gorleben als Endlagerstandort, obwohl eine vorher durchgeführte Standortsuche drei andere Salzstöcke bevorzugt hatte (s. Kap. H-5.2.2). Damit lag dann auch der Standort für das NEZ fest. Die Bundesregierung akzeptierte im Juli 1977 diese Standortfestlegung.

Dagegen erhob sich zunehmender Widerstand der Bevölkerung. Als Experten dann auch noch auf dem Gorleben-Hearing in Hannover auf das Risiko katastrophaler Unfälle beim NEZ hinwiesen, stellte der damalige niedersächsische Ministerpräsident Albrecht angesichts der bevorstehenden Landtagswahl in seiner Regierungserklärung am 15. Mai 1979 fest, daß die Wiederaufarbeitung (und damit das Kernstück des NEZ) derzeit politisch nicht durchsetzbar sei.

Die Konsequenzen aus der Aufgabe des NEZ zogen die Regierungschefs von Bund und Ländern in ihrem „Beschluß zur Entsorgung der Kernkraftwerke“ vom 28.09.1979 (BTD 1983, Anlage 2). Ein Kernpunkt dieses Beschlusses war die Entscheidung, daß die Anlagen zur nu-

klaren Ver- und Entsorgung nun nicht mehr an einem Ort zusammengefaßt errichtet werden müssen. Darüber hinaus wurde vereinbart, daß neben dem integrierten Entsorgungskonzept mit Wiederaufarbeitung auch andere Entsorgungstechniken, insbesondere die Direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente, auf ihre Realisierbarkeit hin untersucht werden sollten. Dies geschah durch die Projektgruppe "Andere Entsorgungstechniken". Der Vorrang der Wiederaufarbeitung blieb jedoch unangetastet.

Die am 19.03.1980 erlassenen „Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke“ (BTD 1983, Anlage 3) stellen eine Fortschreibung der entsprechenden Grundsätze vom 06.05.1977 dar. Diese nach wie vor gültigen Grundsätze legen fest, wie der Nachweis der Entsorgung für Kernkraftwerke im einzelnen zu führen ist. Sie lassen ausdrücklich zu, daß die erforderliche Entsorgungsvorsorge durch „realistische Planung“ erbracht werden kann, die sich auf die Fortschritte bei der Verwirklichung des integrierten Entsorgungskonzeptes oder anderer Entsorgungstechniken abstützt. Darüber hinaus wird der grundsätzliche Vorrang der Wiederaufarbeitung nochmals bekräftigt.

Im Entsorgungsbericht der Bundesregierung von 1983 werden die einzelnen Schritte der auf den „Grundsätzen“ beruhenden Entsorgungskonzeption konkretisiert (BTD 1983, S. 4). Es war u.a. vorgesehen, so rasch wie möglich eine Wiederaufarbeitungsanlage zu errichten (bis spätestens Ende der 90er Jahre betriebsbereit), das Endlager Konrad Ende der 80er Jahre in Betrieb zu nehmen und die Betriebsbereitschaft des „Sicherstellungs- und Endlagers des Bundes“ (d.h. Endlager Gorleben) bis spätestens Ende der 90er Jahre herzustellen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Direkten Endlagerung wurden mit Beschluß der Bundesregierung vom 23. Januar 1985 bewertet (BTD 1988, Anlage 3). Dabei wurde festgestellt, daß die Direkte Endlagerung gegenüber der Entsorgung mit Wiederaufarbeitung keine entscheidenden sicherheitsmäßigen Vorteile aufweist und für den Nachweis der Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke nicht in Anspruch genommen werden kann. Die zügige Verwirklichung einer deutschen Wiederaufarbeitungsanlage wurde deshalb weiterhin für notwendig gehalten. Begründet wurde der Vorrang der Wiederaufarbeitung mit der Einsparung an Natururan, der Verringerung der anfallenden Menge an hochaktiven Abfällen und der Senkung des Anteils langlebiger radioaktiver Substanzen in den endzulagernden Abfällen (BTD 1988, s. Kap. H-2.2). Bereits damals stand allerdings fest, daß eine beliebig häufige Rezyklierung von Kernbrennstoffen nicht möglich ist und daher ein Teil der Brennelemente auf jeden Fall direkt endgelagert werden muß.

Die Standortwahl für die Wiederaufarbeitungsanlage fiel schließlich 1982 auf Wackersdorf. Der Baubeschluß erfolgte 1984, und trotz massiver Widerstände schien die Wiederaufarbeitungsanlage Wirklichkeit zu werden. Eine völlig überraschende Entwicklung setzte 1989 ein, als die Energieversorgungsunternehmen die Planung für die Wiederaufarbeitungsanlage aufgaben. Am 27.12.1989 wurde der Genehmigungsantrag zurückgenommen, womit ein wesentliches Element der nationalen Entsorgungskonzeption entfiel. Die Bundesregierung hielt dennoch am Vorrang der Wiederaufarbeitung fest (BTD 1992, S. 6).

An die Stelle der nationalen Wiederaufarbeitung trat die Wiederaufarbeitung abgebrannter deutscher Brennelemente in französischen und britischen Wiederaufarbeitungsanlagen, obwohl die Bundesregierung noch in ihrem Entsorgungsbericht von 1988 die Auffassung vertreten hatte, die Wiederaufarbeitung im Ausland stelle keine Alternative zur Wiederaufarbeitung im Inland dar (BTD 1988, S. 7). Bereits ein Jahr später wurde die Wiederaufarbei-

tung im Ausland als Teil des integrierten Entsorgungskonzeptes und damit des Entsorgungsvorsorgenachweises - quasi als Ersatz der Wiederaufarbeitung in Wackersdorf - von der Bundesregierung anerkannt (BMU 1989, BTD 1989).

Das am 29. Juli 1994 in Kraft getretene Atomrechtsänderungsgesetz führte durch Neufassung des § 9a AtG zur Aufweitung der Entsorgungskonzeption. Danach hat die sogenannte schadlose Verwertung bestrahlter Brennelemente durch Wiederaufarbeitung nicht länger Vorrang vor ihrer geordneten Beseitigung. Damit ist die Gleichwertigkeit der beiden Entsorgungswege „Wiederaufarbeitung“ und „Direkte Endlagerung“ gegeben.

Als direkte Folge der neuen Gesetzeslage und damit einhergehender Kündigung einiger Wiederaufarbeitungsverträge gewinnt ein bis dahin relativ unbeachtetes Element der Entsorgungskonzeption, nämlich die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente, verstärkte Bedeutung. Diese Brennelemente müssen, sofern sie für die Direkte Endlagerung vorgesehen sind, langfristig zwischengelagert werden. Damit ist ein neues Konfliktfeld (Stichwort CASTOR-Transporte) eröffnet.

Mit der 8. Novelle des Atomgesetzes (AtG) 1997/98 (s. Kap. H-2.2) wurden schließlich weitere Änderungen im Bereich der Entsorgung eingeführt (v.a. Privatisierung Endlagerung, Enteignung bei Endlagerung).

### **Kurzbewertung der Entsorgungskonzeption**

Theoretischer Grundgedanke der deutschen Entsorgungskonzeption war - zumindest bis 1994 - der sogenannte geschlossene Brennstoffkreislauf (s. Abb. H-1), d.h. die sogenannte schadlose Verwertung der abgebrannten Brennelemente. Die Hauptziele der Entsorgungskonzeption sind bis heute die sichere Entsorgung der Kernkraftwerke, die Minimierung der (Strahlen-)Belastung von Mensch und Umwelt sowie die Optimierung der Entsorgungskosten.

Eine Bewertung der Entsorgungskonzeption muß sich daran orientieren, ob die Denkfigur des geschlossenen Brennstoffkreislauf überhaupt realisierbar ist und inwieweit die Hauptziele erreicht worden sind. Ohne bereits an dieser Stelle auf Details einzugehen (s. hierzu Kapitel H-4.3.1), ist dazu folgendes festzustellen:

#### Geschlossener Brennstoffkreislauf:

Ein der Öffentlichkeit in Zusammenhang mit der Entsorgung immer wieder dargestelltes Prinzip ist das des sogenannten „geschlossenen Kernbrennstoffkreislaufs“. Es beruht auf der „Wiederverwertung“ der bei der Wiederaufarbeitung aus den abgebrannten Brennelementen gewonnenen Kernbrennstoffe Uran und Plutonium als MOX-Brennelemente in Atomkraftwerken (ursprünglich vorgesehen war hauptsächlich der Einsatz von Plutonium in „Schnellen Brütern“). Damit sollten Uranrohstoffe eingespart werden und die spaltbaren Stoffe Uran und Plutonium quasi in einem Kreislauf geführt werden.

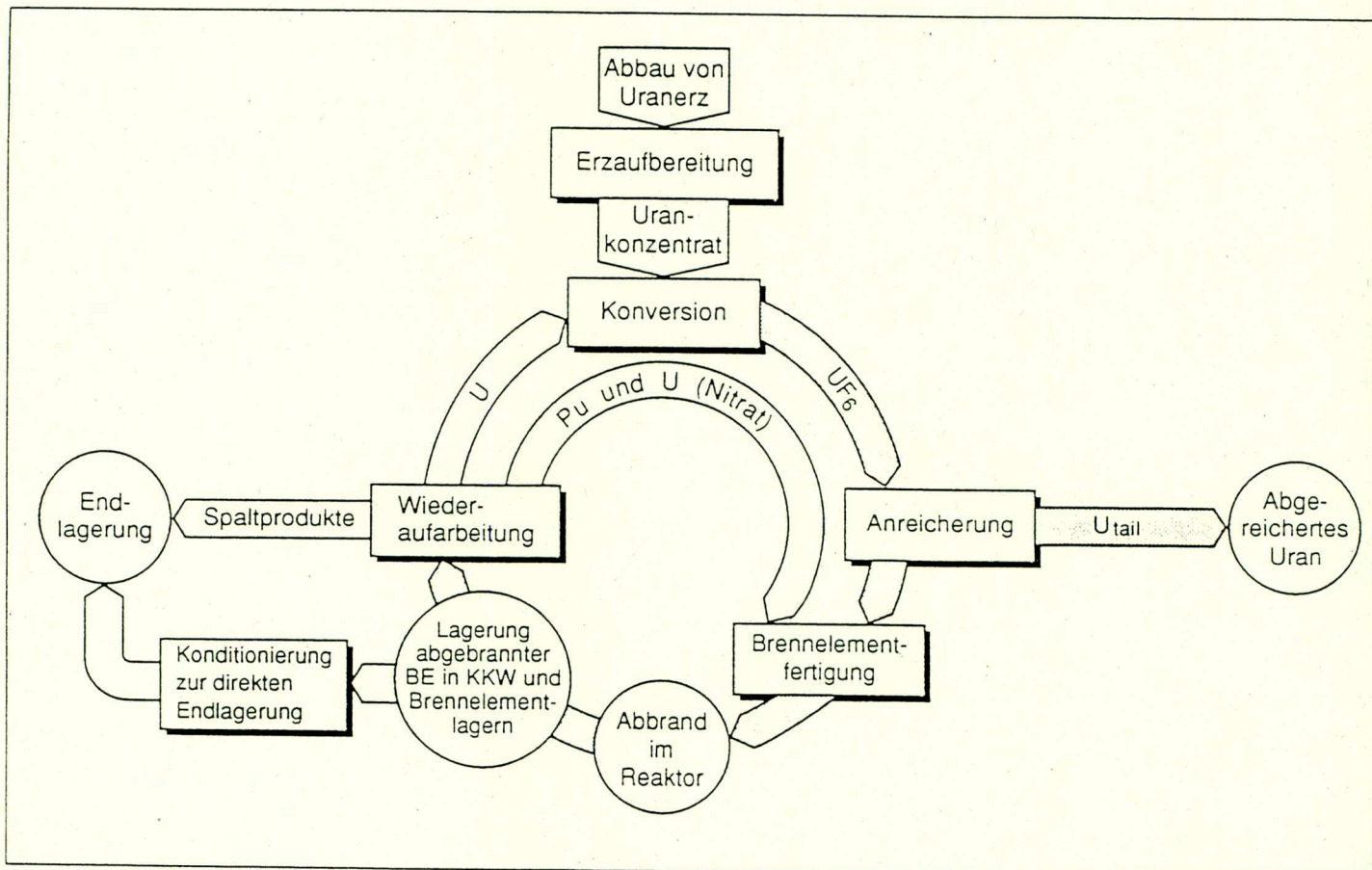


Abb. H-1:

Schematische Darstellung des Brennstoffkreislaufs

Quelle: SEITZ & FINCKH (1994)

Dieser geschlossene Brennstoffkreislauf war jedoch von Anfang an - auch wenn das NEZ oder die Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf errichtet worden wären - eine Fiktion. Der Brennstoffkreislauf ist nämlich an verschiedenen Stellen offen: So ist es auch beim Einsatz von MOX-Brennelementen notwendig, zusätzlich frischen Uranbrennstoff (von „ausen“ kommend) einzusetzen. Weiterhin ist auch im bei der Wiederaufarbeitung anfallenden radioaktiven Abfall ein Rest von Kernbrennstoff enthalten, der dem Kreislauf entzogen wird. Abgesehen davon wird in der Bundesrepublik Deutschland aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wiederaufgearbeitetes Uran so gut wie gar nicht eingesetzt. Und das bei der Wiederaufarbeitung abgetrennte Plutonium kann mangels ausreichender Brennelementfabrikationskapazitäten und Einsatzmöglichkeiten in Reaktoren nur zum Teil wiederverwertet werden. So wächst trotz des angeblichen Brennstoffkreislaufs mit Einsatz des aus der Wiederaufarbeitung stammenden Plutoniums in MOX-Brennelementen für Leichtwasserreaktoren die Menge an nicht verwertbarem und letztendlich endzulagernden Plutonium und Uran an. Die Anforderung des Atomgesetzes nach „schadloser Verwertung“ wird allein aus diesen Gründen schon nicht erfüllt.

Zusätzlich ist der Brennstoffkreislauf an anderen Stellen zwangsläufig offen: Zum einen im Bereich der Uranerzgewinnung und -aufbereitung, zum anderen bei der Endlagerung der nicht vermeidbaren radioaktiven Abfälle. So produziert allein der Uranerzbergbau sehr große Abfallvolumina: Der Abbau von 200 Mio t Uranerz in den Wismut-Minen der ehemaligen DDR hinterließ beispielsweise ca. 320 Mio m<sup>3</sup> Abraum und ca. 200 Mio m<sup>3</sup> giftige und radioaktive Aufbereitungsrückstände. Solche bei Abbau und Verarbeitung der Uranerze anfallenden Abfälle finden sich in riesigen Mengen in Australien, Kanada und etlichen anderen Ländern, in denen Uranerz in großem Maßstab abgebaut wird. Schließlich müssen die im sogenannten Kernbrennstoffkreislauf anfallenden radioaktiven Abfälle für sehr lange Zeiten durch Endlagerung sicher von der Biosphäre isoliert werden. Nicht vergessen werden darf weiterhin, daß auch die zum Kernbrennstoffkreislauf gehörenden Anlagen, und hier insbesondere die Wiederaufarbeitung, über Abluft und Abwasser zusätzlich, selbst im störungsfreien Normalbetrieb, erhebliche Mengen an radioaktiven Stoffen freisetzen (s. Kap. H-4.3.1.4).

Insgesamt ist also festzustellen, daß der Begriff „geschlossener Kernbrennstoffkreislauf“ ein irreführender Begriff war und ist. Er suggeriert ein in sich geschlossenes (autarkes) System und verharmlost so die vielfältigen Möglichkeiten der Freisetzung radioaktiver Stoffe bei der Nutzung der Atomenergie, speziell auch im Bereich der Entsorgung. Immerhin haben auch die Betreiber inzwischen zugestanden, daß sich die Mehrfachzyklisierung in größerem Umfang aus technischen und ökonomischen Gründen als nicht sinnvoll erwiesen hat (GNS 1993).

#### Hauptziel sichere Entsorgung der Kernkraftwerke

Von einer sicheren Entsorgung der Atomkraftwerke kann keine Rede sein: Abgesehen von den gescheiterten Plänen einer großen deutschen Wiederaufarbeitungsanlage beruht der Entsorgungsnachweis heute auf Hilfskonstruktionen (Zwischenlagerung) und einer fragwürdigen Problemverlagerung ins Ausland (Wiederaufarbeitung und teilweise Zwischenlagerung in Frankreich und Großbritannien). Im Bereich der Endlagerung schließlich sind sämtliche früheren Zeitpläne inzwischen hinfällig. Die Illusion einer sicheren Entsorgung wird nur durch bedenkliche Änderungen der Sicherheitsphilosophie (Endlager Gorleben und Morsleben, s. Kap. H-5.3) bzw. die rechtlich umstrittene Inanspruchnahme des mit schweren

Sicherheitsmängeln behafteten ehemaligen DDR-Endlagers Morsleben (s. Kap. H-5.6.4) aufrecht erhalten.

#### Hauptziel Minimierung der Belastung von Mensch und Umwelt

Die aufgezeigten Mängel haben weiterhin zur Folge, daß von einer Minimierung der Belastung von Mensch und Umwelt durch radioaktive Stoffe keine Rede sein kann. Hier ist nicht zuletzt auf die Wiederaufarbeitung deutscher Kernbrennstoffe im Ausland zu verweisen, bei der eine systematische radiologische Verseuchung der Umwelt in Kauf genommen wird (s. Kap. H-4.3.1). Letztendlich widerspricht die Gesamtstruktur des integrierten Entsorgungskonzepts dem Minimierungsgebot und der schadlosen Verwertung.

#### Hauptziel Optimierung der Entsorgungskosten

Allein das gescheiterte Projekt einer deutschen Wiederaufarbeitung hat den Steuerzahler und Stromverbraucher Milliardenbeträge gekostet. Auch das Festhalten an der Wiederaufarbeitung im Ausland ist eindeutig teurer als die Direkte Endlagerung. Hinzu kommen die Ausgaben für insgesamt drei (mit Asse vier) Endlagerstandorte, obwohl ein Endlager für alle Abfallarten sowohl unter Kosten- als auch Sicherheitsgesichtspunkten vorzuziehen wäre. Von einer Optimierung der Entsorgungskosten kann keine Rede sein (s. Kap. H-6).

### **Fazit**

Die deutsche Entsorgungskonzeption muß aus heutiger Sicht in wesentlichen Teilen als gescheitert angesehen werden, da seine Hauptziele nicht erreicht worden sind. Auch der geschlossene Brennstoffkreislauf wurde niemals realisiert und kann auch nicht realisiert werden. Gleichfalls nicht erfüllt ist die Anforderung des AtG nach schadloser Verwertung. Es ist nicht einmal zu der überfälligen Anpassung oder Fortentwicklung der deutschen Entsorgungskonzeption an veränderte Randbedingungen (z.B. geringere Installierung von Kraftwerksleistung als vorgesehen, geringere Abfallvolumina) gekommen. Vor dem skizzierten Hintergrund ist festzustellen, daß die für den Betrieb der Atomkraftwerke zwingend erforderliche Entsorgung bis heute nicht gewährleistet ist.

Demgegenüber bietet sich die seit 1994 für alle bestrahlten Brennelemente zulässige Direkte Endlagerung aus verschiedenen Gründen als Ersatz für das gescheiterte integrierte Entsorgungskonzept an. Hierfür sind jedoch einige grundlegende Voraussetzungen zu erfüllen, ohne die auch bei der Direkten Endlagerung die Gefahr besteht, daß mittels Hilfs- bzw. Scheinlösungen ein unzureichender Entsorgungsvorsorgenachweis konstruiert wird. Zu diesen Voraussetzungen gehören u.a. der planmäßige Austieg aus der Atomenergienutzung, das Verbot der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente sowie Vermeidung des alleinigen Entsorgungsvorsorgenachweises durch Zwischenlagerung.

## **H-2 Zuständigkeiten, neuere Entwicklungen und Akteure bei der Entsorgung**

### **H-2.1 Überblick über die Zuständigkeiten bei der Entsorgung**

In Deutschland stützt sich die nukleare Entsorgung im wesentlichen auf das Atomgesetz (AtG) und auf die „Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen“ (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV). Daneben müssen noch weitere Gesetze (z.B. Bundesberggesetz - BBergG, Verwaltungsverfahrensgesetz - VwVfG) und spezielle Verordnungen (z.B. Atomrechtliche Verfahrensverordnung - AtVfV, Endlagervorausleistungsverordnung - EndlagerVfV) beachtet werden.

#### Zuständigkeiten Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle

Für die Konzeptentwicklung, den Bau und den Betrieb von Zwischenlagern sind die Verursacher der radioaktiven Abfälle, also die Energieversorgungsunternehmen (EVU), zuständig. Die Zwischenlagerung erfolgt derzeit an den Standorten der Atomkraftwerke (als kurz- und mittelfristige Lagerung gedacht) und an zentralen Standorten (als längerfristige Lagerung gedacht). Die Zwischenlagerung an den Standorten wird von den jeweiligen EVU selbst durchgeführt. Entwicklung, Bau und Betrieb der zentralen Zwischenlager wird von der Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS), einer gemeinsamen Tochtergesellschaft der atomkraftwerksbetreibenden EVU, durchgeführt. Dabei bedient sich die GNS bei Bau und Betrieb zum Teil wiederum eigener Tochtergesellschaften (z.B. Brennelementlager Gorleben GmbH zu 100%, Brennelement-Zwischenlager Ahaus GmbH mit einer Beteiligung von 55%).

Die Genehmigung und die Aufsicht während des Betriebes der Zwischenlager obliegen staatlichen Behörden. Die Zuständigkeiten für die Zwischenlagerung sind in die Bereiche Kernbrennstoffe (hier bestrahlte Brennelemente einschließlich hochaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung) und sonstige radioaktive Abfälle zu unterteilen.

Die interne Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen in den Abklingbecken bzw. Kompaktlagern der Atomkraftwerke unterliegt nach § 24 Abs. 2 AtG der Genehmigung und Aufsicht eines Ministeriums als oberster Landesbehörde des jeweiligen Standortbundeslandes. Die zentrale, also externe Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente sowie der hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen unterliegt nach § 23 Abs. 1 Nr. 4 AtG der Genehmigung durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und nach § 24 Abs. 1 AtG der Aufsicht der am Zwischenlagerstandort zuständigen Landesbehörde.

Die Zwischenlagerung aller übrigen radioaktiven Abfälle unterliegt nach § 24 Abs. 1 AtG der Genehmigung und Aufsicht durch Landesbehörden oder, im Falle der Zwischenlagerung im Rahmen der Anlagengenehmigung für Kraftwerke, nach § 24 Abs. 2 AtG durch die obersten Landesbehörden.

### Zuständigkeiten Konditionierung radioaktiver Abfälle

Für die Konzeptentwicklung, den Bau und Betrieb von Konditionierungsanlagen sind ebenfalls die EVU verantwortlich. Die Durchführung erfolgt in der Regel entweder durch die GNS oder durch andere Firmen der Atomenergieindustrie (z.B. Siemens, NUKEM).

Die Konditionierung von bestrahlten Brennelementen und hochaktiven Abfällen unterliegt nach § 24 Abs. 2 AtG der Genehmigung und Aufsicht der obersten Landesbehörde des Anlagenstandortes.

Die Konditionierung aller übrigen radioaktiven Abfälle unterliegt nach § 24 Abs. 1 AtG der Genehmigung und Aufsicht durch Landesbehörden oder, im Falle der Konditionierung im Rahmen der Anlagengenehmigung für Kraftwerke, nach § 24 Abs. 2 AtG durch die obersten Landesbehörden.

### Zuständigkeiten Endlagerung radioaktiver Abfälle

Bis zur Novelle des AtG 1997/98 (s. Kap. H-2.2) fiel gesetzlich die Verantwortung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle allein der öffentlichen Hand zu. Die Bundesregierung hatte die Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle einzurichten, zu betreiben und zu beaufsichtigen. Um seinem gesetzlichen Auftrag bezüglich Errichtung, Betrieb und Aufsicht von Bundesanlagen zur Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle gemäß AtG wahrnehmen zu können, hat der Bund das BfS mit Hauptsitz in Salzgitter eingerichtet (ab 01.11.1988). Weiterhin ist das BfS zuständig für die Erstattung der Bundeshaushaltskosten durch die Abfallverursacher. Die Genehmigung von Endlagern wurde (im Rahmen von Planfeststellungsverfahren) in Bundesauftragsverwaltung den Bundesländern übertragen. Die Aufsicht über das BfS sowie die oberste Aufsicht über die Genehmigungsbehörden der Bundesländer hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Die Zuständigkeiten sind in Abbildung H-2 grafisch dargestellt.

Für die Errichtung von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle ist nach § 23 Abs. 1 Nr. 1 AtG also das BfS zuständig. In dieser Funktion tritt das BfS im Rahmen atomrechtlicher Planfeststellungsverfahren als „Antragsteller“ auf. Zuständige Genehmigungsbehörde (atomrechtliche Planfeststellungsbehörde) ist nach § 24 Abs. 2 AtG jeweils das als oberste Landesbehörde zuständige Ministerium des Bundeslandes, in dem die entsprechende Anlage liegt (z.B. für die Endlager Konrad und Gorleben das niedersächsische Umweltministerium).

Das BfS wiederum bedient sich zur Planung, Errichtung und Betrieb von Endlagern eines Dritten, und zwar der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) mit Sitz in Peine. Zu den von der DBE betriebenen Anlagen gehören das Erkundungsbergwerk Gorleben, die Schachanlage Konrad und das Endlager Morsleben. Gesellschafter der 1979 gegründeten DBE sind zu gleichen Teilen die GNS, die Industrieverwaltungsgesellschaft AG, die Noell GmbH und die Saarberg-Interplan GmbH. Über die GNS sind auch die EVU an der DBE beteiligt.

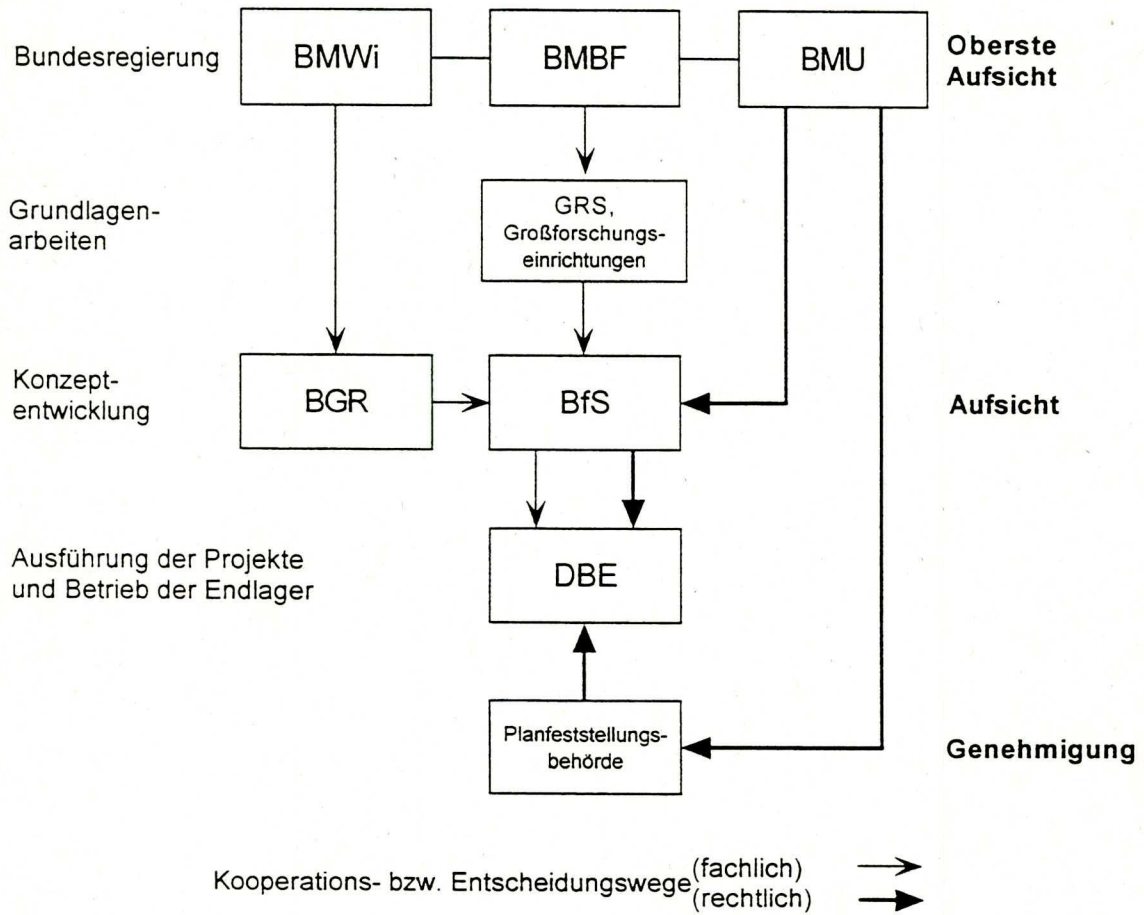


Abb. H-2: Zuständigkeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle

Die Aufsicht über den Betrieb der Endlager wurde vom BMU ebenfalls dem BfS in sogenannter Eigenüberwachung übertragen. Innerhalb des BfS ist die Aufsicht über den Endlagerbetrieb in einer von Errichtung und Betrieb der Endlager getrennten Abteilung organisiert. Diese Eigenüberwachung wird derzeit für das Endlager Morsleben bereits praktiziert. Am Beispiel Morsleben ist auch deutlich die Problematik der Aufgabenkonzentration von Betrieb und Aufsicht (bei den geplanten Endlagern kommen noch Konzeptentwicklung und Errichtung hinzu) in einer Behörde zu erkennen. Die Bewertung von Änderungsanträgen und von Begutachtungsergebnissen werden praktisch ohne externe Kontrolle durchgeführt. Die Behördenmitarbeiter der Eigenüberwachungsabteilung und dem Fachbereich für den Betrieb des Endlagers unterstehen demselben direkten Vorgesetzten (Vizepräsident des BfS), sitzen im selben Gebäude in Salzgitter und nehmen wahrscheinlich gemeinsam an internen Fortbildungsmaßnahmen teil.

## **H-2.2 Änderungen der gesetzlichen Grundlagen zur Entsorgung**

In den vergangenen Jahren sind zwei Änderungen gesetzlicher Regelungen vorgenommen worden, die nicht zuletzt für die Entsorgung von großer Bedeutung sind: Das Artikelgesetz Kohle/Kernenergie von 1994 sowie die 8. Novelle zum Atomgesetz von 1997/98. Die wesentlichen Inhalte beider Änderungen sollen kurz vorgestellt werden.

### **Artikelgesetz Kohle/Kernenergie**

Nach dem Scheitern der ersten Runde der Energiekonsensverhandlungen 1993 beschloß die Bundesregierung, energiepolitische Weichenstellungen im Rahmen eines Gesetzes zur Sicherung des Einsatzes von Steinkohle in der Verstromung und zur Änderung des Atomgesetzes (Artikelgesetz) vorzunehmen. Das am 29.07.1994 in Kraft getretene Gesetz enthält, abgesehen von Regelungen zur Steinkohleverstromung, zwei wesentliche Modifizierungen der rechtlichen Rahmenbedingungen für Errichtung und Betrieb von Atomkraftwerken.

#### Beherrschung von Störfällen:

Die erste Änderung bezieht sich auf die vorgeschriebene Risikovorsorge für zukünftige neue Atomkraftwerke. In § 7 AtG wurde ein Absatz 2a eingefügt, der für die nächste Generation von Atomkraftwerken nicht nur die sichere Verhinderung des Eintritts der auslegungsbestimmenden Störfälle, sondern darüber hinaus für den unerwarteten Fall ihres Eintritts die Beherrschung der Störfälle dergestalt fordert, daß sie zu keinen radiologischen Auswirkungen außerhalb des Anlagengeländes führen dürfen. Die Auswirkungen auch schwerer Störfälle sollen also auf das Anlagengelände begrenzt bleiben.

#### Direkte Endlagerung:

Die zweite Änderung betrifft die Entsorgung. Durch Änderung des § 9a Abs. 1 AtG werden Wiederaufarbeitung und Direkte Endlagerung als gleichberechtigte Optionen nebeneinander anerkannt. Damit wird den Betreibern der Atomkraftwerke eine weitere Entsorgungsoption eröffnet.

Die durch die Option Direkte Endlagerung hervorgerufenen Konsequenzen für die Entsorgung sind noch nicht vollständig zu übersehen, da die 1980 formulierten Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge für Atomkraftwerke noch unverändert Gültigkeit haben. Insbesondere befürchten die Atomkraftwerkbetreiber, daß die der Direkten Endlagerung notwendigerweise vorausgehende jahrzehntelange Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente nicht von allen Landesregierungen als ausreichender Entsorgungsnachweis anerkannt werden könnte (s. auch H-4.3.5).

### **Novelle zum Atomgesetz von 1997/98**

Die Änderungen des AtG (8. Novelle zum AtG) sind am 01.05.1998 in Kraft getreten. Der Novelle enthält neben den Regelungen zur Umsetzung einer EURATOM-Richtlinie über die grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Abfälle und weiterer fachlicher Einzelregelungen folgende Eckpunkte:

#### Sicherheit bestehender Anlagen:

Sicherheitsverbesserungen/Nachrüstungen bei bestehenden Anlagen (u.a. Atomkraftwerken) dürfen in Abhängigkeit von technischen Möglichkeiten und der Verhältnismäßigkeit gegebenenfalls auch so durchgeführt werden, daß der jeweils gültige Stand von Wissenschaft und Technik, wie er für neu zu errichtende Anlagen gefordert wird, nicht erreicht wird. Dies bedeutet, daß Nachrüstungen an vorhandenen Atomanlagen auch dann durchgeführt werden dürfen, wenn dabei der Standard einer Neuanlage nicht erreicht wird.

#### Standortunabhängiges Prüfverfahren:

Diese Regelung soll dazu beitragen, langfristig die Option auf eine neue Reaktorgeneration aufrechtzuerhalten (BMU 1997). Dazu wird, bei Zuständigkeit des BfS, die Möglichkeit eines standortunabhängigen Prüfverfahrens geschaffen. Nach Meinung des BMU soll das standortunabhängige Prüfverfahren die Genehmigung für ein konkretes Vorhaben nicht ersetzen. Konkret wird in diesem Zusammenhang derzeit in der Öffentlichkeit das deutsch-französische Projekt eines europäischen Druckwasserreaktors (EPR) genannt. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß dieses Prüfverfahren auch andere Linien, z.B. den gegenwärtig von Siemens entwickelten SWR 1000, betreffen würde.

#### Privatisierung der Endlagerung:

Die Gesetzesänderung schafft die Voraussetzung zur Privatisierung der Endlagerung. Dabei ist an ein zweistufiges Verfahren gedacht. Zunächst wird der Bund einen Privatunternehmer mit Errichtung und Betrieb des Endlagers beleihen. Später dann soll die Aufgabe einem Zwangsverband aller relevanten Abfallverursacher (v.a. EVU), zum Beispiel in Form einer öffentlich-rechtlichen Körperschaft, völlig übertragen werden. Nach der Privatisierung übernimmt das BfS von den obersten Landesbehörden die Zuständigkeit für die Genehmigung von Endlagern.

#### Enteignungsvorschriften für Endlagerung:

In das AtG sind zur Standortsicherung während Erkundung, Errichtung und Betrieb von Endlagern für radioaktive Abfälle Vorschriften für die Enteignung von Grundstücken und

Bergrechten aufgenommen worden. Hiermit wird die Möglichkeit geschaffen, örtliche Grundeigentümer, die die ober- und unterirdische Nutzung ihrer Grundstücke (z.B. für Erkundungszwecke) verweigern, zu enteignen.

Verlängerung von Übergangsfristen des Einigungsvertrages:

Die Übergangsfristen für atomtechnische Einrichtungen in den neuen Bundesländern (Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente Greifswald, Unterrichtsreaktoren, Endlager Morsleben) werden um fünf Jahre verlängert. Diese Änderung zielt insbesondere auf das Endlager Morsleben hin, dessen Betriebsdauer vom Jahr 2000 auf das Jahr 2005 verlängert werden soll.

Definition für kernbrennstoffhaltige Stoffe:

Das novellierte AtG enthält eine quantitative Abgrenzung zwischen Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen. Ab einem Gehalt von insgesamt 15 Gramm bzw. einer Konzentration von 15 Gramm Kernbrennstoff pro 100 kg gelten Stoffe als Kernbrennstoffe. Bisher gab es nur in der Strahlenschutzverordnung eine solche Abgrenzung für Abfälle. Danach waren Abfälle als Kernbrennstoffe einzuordnen, wenn pro 100 kg Abfall mehr als 3 g Kernbrennstoff enthalten waren.

**Bewertung der Gesetzesänderungen**

Für die o.g. Änderungen des AtG werden stichwortartig die von fachlicher Seite wesentlichen Einwände vorgestellt. Hinsichtlich der 8. Novelle des AtG liegen umfangreiche Stellungnahmen vor (STELLUNGNAHMEN 1997), auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden kann.

Beherrschung von Störfällen:

Die Forderung nach einer Begrenzung der radiologischen Auswirkungen auch schwerer Störfälle auf das Anlagengelände ist eine Wunschvorstellung. Der dabei unterstellte „inhärent sichere“ Reaktor existiert nicht und ist - nach allen Erfahrungen mit hochkomplexen technischen Systemen - auch nicht zu verwirklichen. Diese gesetzliche Anforderung hat vor allem die Funktion, die Akzeptanz für neue Atomkraftwerke zu erhöhen.

Direkte Endlagerung:

Im Prinzip ist die Öffnung der Entsorgungsoption „Direkte Endlagerung“ zu begrüßen, da sie bei einem Ausstieg aus der Atomenergienutzung der einzig gangbare Entsorgungsweg ist. Die gleichzeitige Aufrechterhaltung der Option „Wiederaufarbeitung“ kann auch als Versuch verstanden werden, die desolante Situation im Bereich der Entsorgungsvorsorge weiterhin zu verschleiern.

Sicherheit bestehender Anlagen:

Der mögliche Verzicht auf Nachrüstungen gemäß Stand von Wissenschaft und Technik bei bestehenden Atomanlagen kann unter Berücksichtigung der anzulegenden Maßstäbe „technische Möglichkeiten der Anlage“ und „Verhältnismäßigkeit“ dazu führen, daß die

durchsetzbaren Sicherheitsverbesserungen umso niedriger sind, je schlechter der aktuelle Anlagenzustand ist oder je geringer der ökonomische (Rest-)Wert der Anlage ist.

Standortunabhängiges Prüfverfahren:

Durch das vorgelagerte Prüfverfahren beim BfS besteht die Gefahr, daß eine Genehmigungsvoraussetzung nicht mehr umfassend durch Sachverständige der Genehmigungsbehörde geprüft werden kann (lediglich standortspezifische Teilaspekte wären noch Prüfgegenstand), da wesentliche genehmigungsrelevante Gesichtspunkte bereits vorher abgehandelt werden. Damit einhergehend ist eine deutliche Einschränkung der Öffentlichkeitsbeteiligung zu befürchten.

Beim deutsch-französischen Projekt eines europäischen Druckwasserreaktors (EPR) wurde noch über das vorgelagerte Prüfverfahren hinaus gegangen und schon die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durch behördliche Sachverständigenprüfungen begleitet.

Privatisierung der Endlagerung:

Siehe hierzu speziell Kap. H-2.4.

Enteignungsvorschriften:

Die Enteignungsregelung zielt konkret auf das geplante Endlager Gorleben, wo der Zugriff auf Grundstücke und Salzrechte von Grundeigentümern erzwungen werden soll.

Verlängerung der Übergangsfristen:

Dadurch wird vor allem die weitere Einlagerung radioaktiver Abfälle im Endlager Morsleben ermöglicht, obwohl die geologische Barriere an diesem Standort nachgewiesenermaßen unzureichend ist und auch ein belastbarer Langzeitsicherheitsnachweis bis heute aussteht.

Definition für kernbrennstoffhaltige Stoffe:

Nach momentaner Einschätzung wird die Definition der kernbrennstoffhaltigen Abfälle in der Strahlenschutzverordnung durch das novellierte AtG hinfällig. Der Bereich von Abfällen, die nicht nach Atomgesetz behandelt werden müssen, wird damit ausgedehnt. Die zulässige Kernbrennstoffkonzentration erhöht sich um den Faktor 5, ohne das die Stoffe als Kernbrennstoffe behandelt werden müssen. Damit würden u.a. genehmigungsrechtliche Probleme für den Umgang mit Altabfällen (z.B. Mol- bzw. Blähfässer aus dem Faßlager in Gorleben) beseitigt.

## **H-2.3 Wichtige Akteure und Randbedingungen**

Jenseits der naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen hängen Entscheidungen über die Vorgehensweise bei der Entsorgung wesentlich von grundsätzlichen Positionen handelnder Akteure zur Nutzung der Atomenergie sowie von der (auch wirtschaftlichen) Interessenslage

dieser Akteure ab. Die Entsorgung ist also eingebettet in einen übergeordneten Rahmen, der sich je nach Position und/oder Interessenlage anders darstellt.

Im folgenden wird ein Überblick über die Positionen wesentlicher Akteure gegeben, wobei der Schwerpunkt auf dem Entsorgungsbereich liegt. Die Darstellung beruht auf veröffentlichten bzw. sonstwie zugänglichen Äußerungen, insbesondere auch in Zusammenhang mit den Energie- bzw. Entsorgungskonsensgesprächen 1993, 1995 und 1997. Im Rahmen dieser Arbeit kann die Darstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder gar eine detaillierte Analyse einzelner Positionen erheben. Allerdings sollen doch Grundzüge dessen erkennbar werden, was bereits zugestanden, gefordert oder als möglich betrachtet wird oder betrachtet worden ist.

Die Darstellung behandelt in Kap. H-2.3.1 schwerpunktmäßig Ansichten/Aussagen der Energieversorgungsunternehmen (EVU). In Kap. H-2.3.2 werden Verhandlungspositionen während der Konsensverhandlungen dargestellt. Als dritte Gruppe der Akteure werden in Kapitel H-2.3.3 Gremien und Institutionen betrachtet, die für Beratung, Begutachtung sowie Forschung und Entwicklungen zur Atomenergie in der Bundesrepublik die größte Relevanz besitzen.

### **H-2.3.1 Energieversorgungsunternehmen (EVU)**

Einen wesentlichen Anstoß für die erste Runde der Energiekonsensgespräche 1993 lieferte ein Schreiben der damaligen Vorstandsvorsitzenden von RWE und VEBA an Bundeskanzler Kohl, in dem sie Überlegungen für einen Energiekonsens darlegen (GIESKE & PILTZ 1992). PILTZ (1993) präzisiert diese Vorschläge, indem er „Bausteine“ für einen Entsorgungskonsens anbietet. Sie bestehen im Kern darin, die vorhandenen Atomkraftwerke bis zum im Konsens festzulegenden Ende ihrer technischen/wirtschaftlichen Lebensdauer zu nutzen, die Wiederaufarbeitung nach Auslaufen der Altverträge (vor 1989 abgeschlossen) aufzugeben, die Endlager Morsleben und Konrad in Betrieb zu nehmen sowie nach einem Alternativstandort für das geplante Endlager Gorleben bei gleichzeitiger Schaffung ausreichender Zwischenlagerkapazitäten zu suchen. Darüber hinaus fordert er, die zukünftige Option für die Nutzung der Atomenergie offenzuhalten, indem alle Verhandlungspartner darauf verzichten, ein Präjudiz zu schaffen, sei es für die Fortsetzung der Atomenergienutzung, sei es für den endgültigen Ausstieg. Konkrete Ergebnisse hinsichtlich der Option sollen im Laufe eines langfristigen Einigungsprozesses erarbeitet werden.

Der Vorstandsvorsitzende der Bayernwerke HOLZER (1993) fordert unmißverständlich, daß kein Bauernopfer durch vorzeitiges Abschalten einzelner Kraftwerke/Anlagen gebracht werden dürfe. Er fordert weiterhin eine gesicherte Entsorgung (u.a. durch zügige Inbetriebnahme des Endlagers Konrad und die Erfüllung der Altwiederaufarbeitungsverträge) sowie das Offenhalten einer realen Option für die weitere Nutzung der Atomenergie. Dabei könne die Option Atomenergie nur dann offengehalten werden, wenn die Atomenergie weiterhin aktiv genutzt wird. Er weist weiterhin auf die Möglichkeit einer speziellen süddeutsch-französischen Achse durch bilaterale Kooperation bei der Nutzung der Atomenergie hin.

Ein Mitglied des Vorstandes der Energie-Versorgung Schwaben erklärt, daß die EVU im Interesse eines gesicherten Betriebs der Atomkraftwerke zu einer Befristung der Lebensdauer einzelner Anlagen auf 40 Jahre bereit wären (STÄBLER 1993). Im Hinblick auf einen Energiekonsens fordert er jedoch - im Gegensatz zu PILTZ (1993) - Klarheit über die zukünftige Option Atomenergie, d.h. kein Offenhalten der Entscheidung. Seiner Meinung nach müssen die EVU zur Vermeidung des sogenannten „Fadenrisses“ an Entwicklung und Bau des neuen europäischen Druckwasserreaktors (EPR) unverrückbar festhalten. Weiterhin sieht er mittelfristig die Möglichkeit des Ausstiegs aus der Plutoniumwirtschaft (Kündigung der Wiederaufarbeitungs-Neuverträge, Aufgabe MOX-Einsatz, Direkte Endlagerung). Er fordert die schnelle Inbetriebnahme der Endlager Morsleben und Konrad sowie eine Weiterführung der Erkundungsarbeiten in Gorleben. Gleichzeitig schließt er für die Endlagerung internationale Lösungen sowie u.U. einen anderen Endlagerstandort als Gorleben nicht aus. Mit Blick auf die beabsichtigte Atomgesetznovelle (s. Kap. H-2.2) bekräftigt er, daß eine Privatisierung der Endlagerung für die EVU nicht in Frage kommt. Seiner Meinung nach erkennen die EVU bei aller unternehmerischer Verantwortung, sich für ihre Grundhaltung einzusetzen, das Primat der Politik an. Diese ist gefordert, verlässliche Rahmenbedingungen für eine langfristig angelegte Entwicklung der Stromversorgung zu schaffen. STÄBLER (1994) begrüßt die Zulassung der Direkten Endlagerung als Entsorgungsmöglichkeit, da sie ein beträchtliches Kostensenkungspotential eröffnet. Damit kommt aber der langfristigen Zwischenlagerung zentrale Bedeutung zu.

Der Vorstandsvorsitzende der PreussenElektra, HARIG (1995), äußert sich zur Rolle der Elektrizitätswirtschaft dahingehend, daß der Unternehmenszweck der EVU nicht der Betrieb von Atomkraftwerken, sondern die Stromversorgung sei. Die EVU nutzen die Atomenergie weil und solange sie die günstigste Stromquelle ist. Seiner Meinung nach erkennen die EVU ausdrücklich das Primat der Politik für ihre unternehmerischen Entscheidungen an. Wenn die Gesellschaft Atomenergie nicht mehr zuläßt, werden die EVU dieses eher akzeptieren, als ihre Kräfte zur Änderung der Gesellschaft zu verschleißern.

Seiner Meinung nach sind aus Sicht der EVU für folgende Aspekte Vereinbarungen herbeizuführen: Politisch ungestörter Betrieb vorhandener Atomkraftwerke, die sachgerechte Entsorgung des nuklearen Abfalls sowie die Frage einer Option für die Zukunft der Atomenergie. Hinsichtlich der Entsorgung werden die EVU den Weg der Direkten Endlagerung akzeptieren, wenn er Rechtssicherheit bietet. Bis dahin kann die Wiederaufarbeitung nicht aufgegeben werden. Mit Blick auf die Option Atomenergie stellt er fest, daß die EVU ohne breiten Konsens zur Nutzung der Atomenergie keine neuen Atomkraftwerke bauen werden. Des weiteren müßten neue Atomkraftwerke die im Artikelgesetz von 1994 festgelegten Sicherheitsanforderungen (s. Kap. H-2.2) erfüllen und kostengünstiger sein als die Alternativen zur Stromversorgung.

Nach STRASSBURG (1996), Leiter des Zentralbereichs Ausland der RWE, ist ungeachtet der Beurteilung der Atomenergie zumindest ein Entsorgungskonsens notwendig, der die geänderten Rahmenbedingungen hinsichtlich des aus den siebziger Jahren stammenden Entsorgungskonzeptes zu berücksichtigen hat. Er fordert „Klarheit“ und belastbare Bedingungen zur Schaffung geeigneter und ausreichender Endlagerkapazitäten. Dabei soll das Kriterium der Kostengünstigkeit ein wesentlicher Prüfstein sein, da die Atomenergiebetreibenden EVU nur zur Erstattung der „notwendigen Kosten“ verpflichtet seien. Er rechnet angesichts der erwarteten Kostenvorteile der direkten Endlagerung mit einer „Rückverlagerung“ der nu-

klaren Entsorgung nach Deutschland. Die Endlagerung ist seiner Meinung nach auf jeden Fall eine vom Staat wahrzunehmende Aufgabe.

OBERMEIER (1996), Vorstandsvorsitzender der VIAG, fordert einen Entsorgungskonsens unter Ausklammerung der Themen „Laufzeiten der in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke“ und „Option für einen möglichen Neubau“, da die Entsorgung das drängendste Problem sei. Seiner Meinung nach sind Fortschritte in der Entsorgungsfrage von grundsätzlicher Bedeutung für die Akzeptanz der Atomenergie, da eine Lösung der Entsorgung auch die gegenwärtige Blockade bei der Atomenergie nachhaltig aufbrechen könne. Hinsichtlich der Endlagerproblematik kann er sich eine Konzentration auf ein Endlager vorstellen, wenn das Endlager Konrad bestandskräftig genehmigt ist und gleichzeitig die Eignung von Gorleben festgestellt worden sei. Bis zu diesem Zeitpunkt sei die Aufgabe eines der beiden Standorte kategorisch ausgeschlossen.

Bayernwerk-Vorstandsmitglied WILD (1997) stellte klar, daß das Bayernwerk einen Entsorgungsmix aus Wiederaufarbeitung und direkter Endlagerung für sinnvoll hält. Er sieht keinerlei Bedarf für ein zusätzliches Zwischenlager in Süddeutschland und auch keinen Anlaß für „Endlagerhektik“, sofern die vorhandenen Zwischenlager genutzt werden können. Seiner Meinung nach gehört der Atomenergie die Zukunft, auch wenn derzeit in Deutschland kein Bedarf für den Neubau oder Ersatz eines Reaktors vorhanden ist. Sollte sich ein solcher Bedarf abzeichnen, muß ein genehmigungs- und wettbewerbfähiges Reaktorkonzept vorliegen. Er begrüßt die 8. Novelle des AtG (s. dazu Kap. H-2.2), da durch sie die Option zur weiteren Nutzung der Atomenergie in Deutschland offengehalten wird.

FARNUNG (1997), Vorstandsvorsitzender der RWE Energie AG, äußert sich zum Entsorgungskonzept dahingehend, daß die Zwischenlagerung bis 2025/2030 ein wesentlicher Baustein des Entsorgungskonzeptes sei. Wegen der in Gorleben und Ahaus vorhandenen und mindestens bis 2010 reichenden Zwischenlagerkapazitäten wendet er sich entschieden gegen ein zusätzliches Zwischenlager in Süddeutschland.

### **Zusammenfassende Bewertung:**

Die angeführten Aussagen maßgeblicher Vertreter der EVU lassen zumindest folgende Schlußfolgerungen zu:

- Es bestehen offensichtlich unterschiedliche Meinungen darüber, mit welchem Nachdruck die weitere Nutzung der Atomenergie in Deutschland verfolgt werden soll. Insbesondere die Bayernwerke nehmen hierbei eine deutlich weniger kompromißbereite Haltung ein als west- und norddeutsche EVU.
- Die EVU sind an verlässlichen Rahmenbedingungen für eine langfristig angelegte Stromversorgung interessiert, da sie primär die Realisierung ökonomischer Vorteile suchen. Auch wenn die EVU - insbesondere die süddeutschen - die Atomenergie befürworten, so wird sie doch nicht als Selbstzweck angesehen. Wichtiger ist es den EVU, unter verlässlichen Rahmenbedingungen ihren Geschäften nachgehen zu können. Vor diesem Hintergrund erscheint es nicht ausgeschlossen, daß die EVU sich mit einer klaren politischen Entscheidung auch gegen die weitere Nutzung der Atomenergie

arrangieren können, wenn sie im Gegenzug langfristig verlässliche Rahmenbedingungen für ihre wirtschaftlichen Aktivitäten erhalten.

- Die Direkte Endlagerung als weitere und kostengünstige Entsorgungsoption (s. Kap. H-6) wird von den EVU begrüßt. Das gleichzeitige Festhalten an der Wiederaufarbeitung ist wahrscheinlich dahingehend zu interpretieren, daß die Gefahr gesehen wird, bei der direkten Endlagerung allein über die Zwischenlagerung keinen Entsorgungsnachweis führen zu können. Interessant sind weiterhin die Ablehnung der Endlagerprivatisierung durch die EVU (sie wären vorrangig davon betroffen, s. Kap. H-2.2), die Ablehnung eines zusätzlichen Zwischenlagers in Süddeutschland sowie die relative Offenheit hinsichtlich einer Alternative zum Endlager Gorleben.

### **H-2.3.2 Konsensgespräche (1993 - 1997)**

Die in Zusammenhang mit den beiden Energiekonsensrunden 1993 und 1995 sowie der Gespräche über einen Entsorgungskonsens (1997) entwickelten Positionen der Verhandlungspartner (i.w. SPD und Bundesregierung) werden im folgenden, soweit sie schriftlich vorliegen und die Entsorgung betreffen, zusammenfassend dargestellt. Dieser Überblick zeigt zumindest die Handlungsmöglichkeiten bei der Entsorgung, die von den Verhandlungspartnern unter den spezifischen Verhandlungsbedingungen gesehen wurden. Auf die bei den Energiekonsensrunden gleichfalls bedeutsamen Aspekte „Zukunft der deutschen Steinkohle/Kohleverstromung“ und „Energiesparen/CO<sub>2</sub>-Minderung u.ä.“ wird dabei nicht eingegangen.

#### Energiekonsensrunde 1993:

Ein vom damaligen Bundesumweltminister Töpfer und dem niedersächsischen Ministerpräsidenten Schröder erarbeitetes (Kompromiß-)Papier zum Energiekonsens weist hinsichtlich der Atomkraftnutzung folgende Eckpunkte auf (PE 1993):

- Keine konkreten Jahreszahlen zur Befristung der Laufzeit der Atomkraftwerke,
- Bau eines neuen Referenzreaktors allein durch die Industrie,
- erneuter kommerzieller Einstieg in die Atomenergie in Abhängigkeit von einer Zweidrittelmehrheit im Deutschen Bundestag,
- Moratorium bis 2005 für das Endlager Gorleben; zwischenzeitlich Erkundung anderer Standorte, ggf. auch im europäischen Raum,
- Anerkennung der Zwischenlagerung als Entsorgungsnachweis für hochaktive Abfälle,
- Genehmigung des Endlagers Konrad vorbehaltlich der Rechte Dritter,
- Weiterbetrieb des Endlagers Morsleben,
- Erfüllung der Altverträge zur Wiederaufarbeitung in Frankreich und England bis 1998 bzw. 2002. Danach Direkte Endlagerung der abgebrannten Brennelemente,
- Verarbeitung des aus der Wiederaufarbeitung stammenden Plutoniums in MOX-Brennelementen.

Energiekonsensrunde 1995:

Nach dem Scheitern der ersten Energiekonsensrunde 1993 wurde 1995 ein zweiter Anlauf zur Fortführung der Konsensgespräche unternommen. Ausweislich der Protokolle der Konsensrunden vom 24.05.1995 (PROTOKOLL 1995a) und 21.06.1995 (PROTOKOLL 1995b) ist festzustellen, daß ein Konsens im wesentlichen deshalb nicht zustande kam, weil über die Zukunft der Atomenergienutzung (v.a. Option auf neue Reaktortypen) kein Ergebnis erzielt werden konnte.

Im Vorfeld dieser zweiten Konsensrunde wurde im Bundesumweltministerium ein Positionspapier zur weiteren Entwicklung der Kernenergie erarbeitet (BMU 1995). Es enthält - abgesehen von der grundlegenden Forderung nach Aufrechterhaltung der Option für den Neubau von Reaktoren - hinsichtlich der Entsorgung folgende Ausführungen:

- Die Wiederaufarbeitung im Ausland soll nicht gänzlich ausgeschlossen werden, weil sonst Handlungsalternativen der EVU beschnitten würden.
- Funktionswandel der Pilotkonditionierungsanlage in Gorleben hin zu einer „Service-Station“ für zwischengelagerte CASTOR-Behälter.
- Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente an den Kraftwerksstandorten erscheint möglich, da erfahrungsgemäß keine Akzeptanzprobleme.
- Überlegungen in Richtung auf ein Endlager für alle Abfälle.
- Fortsetzung der Erkundung des geplanten Endlagers Gorleben. Ein Moratorium für Gorleben sowie die Erkundung alternativer Endlagerstandorte werden als technisch machbar angesehen, allerdings werden politische Risiken gesehen. Ein Moratorium für Gorleben könnte im Rahmen eines Gesamtkonsenses in Betracht gezogen werden, wenn Konrad in Betrieb geht.
- Veränderungen des Endlagerkonzepts aus politischen Erwägungen heraus sind nur gemeinsam mit den EVU möglich.
- Weiterbetrieb des Endlagers Morsleben über das Jahr 2000 hinaus (Grund: zusätzlicher Deckungsbeitrag für die Schließungskosten der Grube; die Problematik der geologischen Situation am Standort wird indirekt anerkannt).

Nach dem Scheitern der zweiten Energiekonsensrunde griff der niedersächsische Ministerpräsident Schröder ein Angebot von Bundesumweltministerin Merkel für eine überparteiliche Lösung der ungeklärten Fragen der Energiepolitik auf. Mit Schreiben vom 14.05.1996 legt er Eckpunkte für eine Fortschreibung des Entsorgungskonzeptes fest (SCHRÖDER 1996). Wesentliche Punkte dabei sind:

- Direkte Endlagerung wird zum Regelfall der Entsorgung.
- Ein Endlager für alle Arten von radioaktiven Abfällen. Der Standort muß bis 2025 festgelegt sein. Bis dahin sind alternative Standorte außerhalb Niedersachsens zu suchen und zu untersuchen. Betriebsbeginn des Endlagers ab 2030.
- Zügige positive Entscheidung der Planfeststellung Konrad. Planfeststellung Konrad wird solange nicht genutzt, bis ein Endlagerstandort (vorrangig Gorleben bei Eignung) feststeht oder hochaktiver Abfall auch in Konrad oder im Ausland endgelagert werden kann.
- Eignungsprüfung Gorleben wird zügig zum Ergebnis gebracht.

- Nutzung Endlager Morsleben über Jahr 2000 hinaus.
- Bis 2030 Zwischenlagerung des Atommülls. Festlegung, daß Zwischenlagerung für EVU als Entsorgungsnachweis genügt ungeachtet der Verpflichtung der EVU zur Endlagerung. Koppelung Atomkraftwerkbetrieb an Zwischenlagernachweis. Bund bleibt für Bereitstellung des Endlagers verantwortlich.
- Regionalisierung der Zwischenlagerung im Sinne eines Lastenausgleichs. Brennelemente aus süddeutschen Atomkraftwerken sollen in einem neu zu errichtenden Zwischenlager in Süddeutschland zwischengelagert werden. Brennelemente aus norddeutschen Atomkraftwerken werden in Gorleben, Brennelemente aus Atomkraftwerken im Westen sollen in Ahaus zwischengelagert werden.

#### Entsorgungskonsens 1997:

Der Entsorgungskonsens sollte unter Ausklammerung strittiger Fragen der Energiepolitik (v.a. Option auf Atomkraftwerke) neue Handlungsmöglichkeiten eröffnen und eine Weiterentwicklung der Grundsätze der Entsorgungsvorsorge (s. Kap. H-1) ermöglichen. Als Basis für den Entsorgungskonsens sollte ein Papier dienen (ENTWURF 1997), das eine „Arbeitsgruppe für eine Verständigung“ entworfen hatte. Das Papier stellt eine Fortentwicklung vorheriger informeller Gespräche zwischen Schröder und Merkel dar. In diesem Papier werden auch Aussagen zu den Atomkraftwerken getroffen: Da Entscheidungen über Ersatzbauten für Atomkraftwerke frühestens 2005 getroffen werden müssen, muß erst dann entschieden werden, von welchen Energieoptionen Gebrauch gemacht wird. Die Entwicklung neuer Atomkraftwerke (EPR) ist Sache der Industrie, allerdings setzt der Staat die Sicherheitsforschung fort und hält die Rahmenbedingungen für die Kerntechnik aufrecht. Die vorhandenen Atomkraftwerke genießen rechtlich Bestandsschutz.

Hinsichtlich der Entsorgung entsprechen die Kernaussagen weitgehend denen des Schröder-Briefes vom 14.05.1996 (s.o.). Offengehalten (aber als „erstrebenswert“ angesehen) wird die Option, mit nur einem nationalen Endlager auszukommen. Voraussetzung für die zukünftige Entscheidung über das Endlager ist die Genehmigung von Konrad sowie die endgültige Eignungsaussage zu Gorleben (ca. 2005). Im Falle einer Planfeststellung für Konrad plädiert die Arbeitsgruppe für einen weiteren Ausbau von Konrad erst dann, wenn der Planfeststellungsbeschluß durch gerichtliche Überprüfung Bestandskraft erlangt hat, und sofern nicht auf der Basis einer Eignungsaussage für Gorleben das Entsorgungskonzept geändert wird (Einlagerung aller Abfallarten in Gorleben, dann Verzicht auf Konrad). Neu hinzugekommen ist die Absicht, Enteignungsmöglichkeiten ins Atomgesetz aufzunehmen. Weiterhin soll der Entsorgungsvorsorgenachweis an Fortschritte bei der Endlagerung gekoppelt bleiben. Die Pilotkonditionierungsanlage Gorleben soll bzgl. Endlagerzwecke nicht weiterverfolgt werden, und Atomtransporte sollen streitlos gestellt werden.

Die in dem Verständigungspapier gemachten Vorschläge waren innerhalb der SPD nicht unumstritten (MICHAELI 1997). Im Ergebnis scheiterte somit auch der dritte Anlauf, einen Konsens zumindest in Entsorgungsfragen herzustellen.

## **Bewertung**

Das Kernproblem der drei Konsensrunden, nämlich die Frage der zukünftigen Nutzung der Atomenergie, konnte letztendlich zwischen den Verhandlungspartnern nicht grundsätzlich gelöst werden. Ein Scheitern der Konsensgespräche war damit vorgegeben. Die von den EVU geforderten „verlässlichen Rahmenbedingungen“ (s. Kap. H-2.3.1) wären durch einen „verwässerten“ Energie- oder Entsorgungskonsens jedenfalls nicht geschaffen worden, es sei denn, eine der beiden Verhandlungsseiten hätte in der Kernfrage ein vollständiges Zugeständnis gemacht.

In den in Zusammenhang mit den Konsensgespräche erarbeiteten Vorschlägen hinsichtlich der Entsorgung spiegelt sich gleichfalls der grundlegende Konflikt. Die entsprechenden Papiere bieten letztendlich keinen in sich geschlossenen Handlungsrahmen für die Entsorgung, und auch auf die veränderten Randbedingungen bei der Entsorgung wird nur bedingt eingegangen. Gerade auch der Entwurf der Arbeitsgruppe für eine Verständigung (ENTWURF 1997) läßt den zielkonfliktbehafteten Charakter erkennen: So wird z.B. einerseits die Option, mit nur einem nationalen Endlager auskommen zu können, als erstrebenswert angesehen, andererseits jedoch sollen die Endlagerprojekte Konrad, Morsleben und Gorleben fortgeführt werden. Ein tragfähiges und in sich schlüssiges Entsorgungskonzept jedenfalls ist nicht vorgelegt worden.

Unabhängig davon sind in den Vorschlägen immerhin einzelne Gesichtspunkte angesprochen worden, die auch unter der Bedingung des Ausstiegs aus der Atomenergienutzung von Interesse sein können. Hierzu gehören:

- Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente an den Kraftwerksstandorten.
- Die Erkenntnis, daß ein Endlager für alle Abfälle Vorteile aufweist.
- Die Anerkennung der grundsätzlichen Möglichkeit einer neuen Endlagerstandortsuche.
- Die Möglichkeit eines Moratoriums am Standort Gorleben mit zwischenzeitlicher Erkundung anderer Standorte.
- Die Erkenntnis, daß die Pilotkonditionierungsanlage Gorleben nicht mehr für ihren ursprünglichen Zweck benötigt wird.

### **H-2.3.3 Für die Entsorgung wichtige Gremien und Institutionen**

In Zusammenhang mit der Nutzung der Atomenergie wurden in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von Organisationen gegründet, die im Bereich von Forschung und Entwicklung (F+E) sowie der Beratung bzw. Begutachtung tätig sind. Einige bereits bestehende Institutionen sind auch im Bereich Entsorgung aktiv geworden. Im folgenden werden die wichtigsten dieser Institutionen kurz vorgestellt.

### Reaktor-Sicherheitskommission (RSK)

Für den Bereich der Reaktorsicherheit wurde 1958 ein besonderes Beratungsgremium, die RSK, eingerichtet. Ihre Aufgabe lag und liegt darin, das für die Atomenergie jeweils zuständige Bundesministerium zu beraten. Die derzeit gültige Satzung der RSK stammt aus dem Jahre 1990 (BUNDESANZEIGER 1990).

Laut Satzung berät die RSK den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zu Sicherheitsfragen von Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen sowie des gesamten Kernbrennstoffkreislaufs. Die RSK besteht in der Regel aus 18 Mitgliedern, die in acht verschiedenen RSK-Ausschüssen arbeiten. Die Mitglieder gehören verschiedenen Fachgebieten (z.B. Reaktorphysik, Bautechnik, Geowissenschaften, Werkstoffkunde) an. Sie werden vom BMU in der Regel für drei Jahre berufen (Gesamtberufungsdauer in unmittelbarer Folge maximal sechs Jahre). Die Mitglieder der RSK sollen unabhängig und nicht an Weisungen gebunden sein. Bei Befangenheit eines Mitgliedes wird dieses von der Beratungstätigkeit ausgeschlossen. Alle Mitglieder haben gleiches Stimmrecht, wobei überstimmte Mitglieder von dem Recht Gebrauch machen können, daß ihre abweichende Meinung im Ergebnisprotokoll oder bei Veröffentlichung von Empfehlungen zum Ausdruck gebracht wird. Die Geschäftsstelle der RSK liegt beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS).

Die Mehrzahl der Mitglieder der RSK rekrutiert sich aus Institutionen, die von ihrer Aufgabe her der Förderung der Atomenergie dienen (z.B. Kernforschungszentren) oder aber am Fortgang bzw. Betrieb der Atomenergie Eigeninteresse besitzen (z.B. Kraftwerksbauer, EVU, TÜV). Insofern wird verständlich, daß namhafte Mitglieder der RSK Interessensverbänden angehören, deren Zielsetzung in der Förderung der Atomenergie besteht (z.B. Kerntechnische Gesellschaft).

Aus diesem institutionellen und persönlichen Beziehungsgeflecht ist abzuleiten, daß innerhalb der RSK bis heute eine der Atomenergie positiv aufgeschlossene Grundtendenz vorherrscht. Zwar kann der Befangenheitsparagraf 10 der RSK-Satzung direkte Interessenskonflikte von RSK-Mitgliedern in Genehmigungs- oder Aufsichtsverfahren ausschließen, an der einseitigen Ausrichtung des Gremiums ändert dies gleichwohl nichts.

Unter Berücksichtigung des erheblichen und seit Jahrzehnten wirkenden Einflusses der RSK auf Entscheidungen des für Atomenergie zuständigen Bundesministeriums bei gleichzeitiger - und bis heute gegebener - Nichtberufung von Mitgliedern, die der Atomenergie neutral oder gar skeptisch gegenüberstehen, kann es nicht verwundern, daß die Empfehlungen der RSK - zumindest im Bereich Entsorgung - auf ein möglichst reibungsloses Voranschreiten der Projekte hinzielen. Dies zeigt sich beispielsweise in der Behandlung des Endlagers Morsleben durch die RSK. Ungeachtet der zum damaligen Zeitpunkt bereits bekannten gravierenden Mängel der geologischen Barriere des Endlagers Morsleben (z.B. GRUPPE ÖKOLOGIE 1991) stellt die RSK durch eine fragliche Interpretation der von ihr selbst formulierten Sicherheitskriterien für Endlager (RSK 1983) dem Endlager mit ihren Empfehlungen (RSK 1991a) eine Art „Freibrief“ aus. Selbst Bedenken des BfS wurden von der RSK nicht ernsthaft berücksichtigt, sondern lediglich „zur Kenntnis genommen“ oder aber relativiert (RSK 1991, 1991b, 1993). Diese Handlungsweise erklärt sich angesichts der oben beschriebenen Ausrichtung der RSK. Im übrigen ist uns kein Fall bekannt, wo Minderheitenmeinungen innerhalb der RSK bei Empfehlungen im Entsorgungsbereich veröffentlicht wurden, obwohl die Möglichkeit dazu besteht.

Über die dargestellte funktionale Einbindung und Ausrichtung der RSK ist sich der BMU im klaren. Immerhin beruft er die Mitglieder der RSK. Ein in Zusammenhang mit den Konsensgesprächen entstandenes Positionspapier des BMU zur weiteren Entwicklung der Nutzung der Atomenergie (BMU 1995) läßt erkennen, daß eine durchaus mögliche ausgewogenere Zusammensetzung der RSK vom BMU nicht gewünscht wird. In dem Positionspapier wird unter Punkt 1.5 darauf hingewiesen, daß den im Rahmen der Energiekonsensverhandlungen von der SPD geforderten „Empfehlungen einer unabhängigen Gutachterkommission“ entgegengetreten werden sollte, da „durch diese Hintertür ein im Zweifel pluralistisch besetztes Gremium geschaffen [wird], das die bestehenden Einrichtungen (RSK und Gutachterorganisationen) desavouieren und damit letztendlich funktionsunfähig machen könnte“ (BMU 1995, S. 5).

Als Konsequenz aus der dargestellten Ausrichtung der RSK ist zumindest eine personelle Erneuerung der RSK zu fordern. Diese muß zu einem erweiterten (ausgewogenen) Spektrum wissenschaftlicher Anschauungen innerhalb der RSK führen, so daß die einseitige Ausrichtung der RSK gebrochen wird. Ohne eine solche Erneuerung ist die RSK nicht zu einer ausgewogenen und streng sicherheitsorientierten Beratungstätigkeit hinsichtlich der auch bei einem Ausstieg zu lösenden Entsorgungsprobleme in der Lage. Eine das gesamte Spektrum von Wissenschaft und Technik repräsentierende RSK könnte durch entsprechende Festlegungen in der RSK-Satzung geschaffen werden. Dies würde auch der Forderung der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergiepolitik“ entsprechen, die mit Mehrheit für RSK und SSK die Berufung von Sachverständigen mit unterschiedlichen Einstellungen zur Atomenergie empfohlen hat (ENQUETE 1980).

### **Strahlenschutzkommission (SSK)**

Die SSK wurde 1974 geschaffen, um das für Atomenergie zuständige Bundesministerium in allen Fragen des Strahlenschutzes zu beraten. Hervorgegangen ist die SSK aus der Fachkommission IV (Strahlenschutz) der damaligen Atomkommission. Die derzeit gültige Satzung der SSK stammt von 1990 und ist identisch mit der Satzung der RSK (BUNDESANZEIGER 1990). Die Strahlenschutzkommission besteht in der Regel aus 17 Mitgliedern verschiedener Fachbereiche (z.B. Radioökologie, Strahlenphysik, Strahlenschutztechnik), die in derzeit acht verschiedenen Ausschüssen arbeiten.

Auch bei der SSK besteht - wenn auch in geringerem Umfang - eine ähnliche Situation wie bei der RSK: Nicht wenige Mitglieder waren bzw. sind Vertreter von Institutionen (z.B. Kernforschungszentren, GSF, GRS), deren Zweck oder zumindest Interessenslage eine positive Grundeinstellung gegenüber der Atomkraft nahelegt. Die grundsätzliche Ausrichtung der SSK wurde anlässlich der konstituierenden Sitzung der SSK am 17.10.1974 in Bonn vom damals zuständigen Innenminister MAIHOFER (1974) vorgezeichnet: Danach gehört zu den Aufgaben der SSK die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Argumenten der Kritiker der Nutzung der Atomenergie. Insbesondere sei der Verunsicherung der Bürger durch polemische Kampagnen oder durch fehlende oder mangelhafte Information entgegenzutreten und sie seien mit den unvermeidbaren Risiken der Atomenergie vertraut zu machen.

Auch hinsichtlich der SSK ist - wie bei der RSK, s.o. - eine personelle Erneuerung in Richtung eines pluralistischen wissenschaftlichen Spektrums zu fordern.

### **Kerntechnischer Ausschuß (KTA)**

Aufgabe des im Jahre 1972 beim BMI gegründeten und 1986 vom BMU übernommenen Kerntechnischen Ausschusses ist es, auf den Gebieten der Kerntechnik, bei denen sich auf Grund von Erfahrungen eine einheitliche Meinung der Fachleute abzeichnet, für die Aufstellung sicherheitstechnischer Regeln zu sorgen und deren Anwendung zu fördern. Der KTA besteht aus 50 Mitgliedern, die sich aus Herstellern und Betreibern von Atomkraftwerken rekrutieren. Dazu gehören Mitarbeiter verschiedener Institutionen (TÜV, GRS, RSK, SSK), Behörden, Kernforschungseinrichtungen, Gewerkschaften, Deutsches Institut für Normung und Versicherungen. Trotz dieser heterogenen Herkunft ist durch die Satzung weitgehend sichergestellt, daß Hersteller und Betreiber sich in der Beschlußfassung durchsetzen können. Die Geschäftsstelle des KTA ist der Zentralabteilung des BfS angegliedert.

Das inzwischen umfangreiche KTH-Regelwerk ist für die Begutachtung/Bewertung kerntechnischer Anlagen, speziell der Atomkraftwerke, von entscheidender Bedeutung. Hieraus erwächst die Bedeutung der Arbeit des KTA. Die Zusammensetzung des KTA sollte deshalb überprüft und die Dominanz der Vertreter der Atomenergieindustrie beseitigt werden.

### **Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS)**

Die GRS mit Hauptsitz in Köln ist eine weitgehend von der öffentlichen Hand getragene gemeinnützige Gesellschaft, deren Aufgabe in der Beurteilung und Weiterentwicklung der technischen Sicherheit, vorrangig auf dem Gebiet der Kerntechnik, liegt. Der GRS kommt als Forschungs-, Beratungs- und Gutachterinstitution große Bedeutung zu. Hervorgegangen ist die GRS aus dem Institut für Reaktorsicherheit (IfR) der Technischen Überwachungsvereine e.V. (TÜV). Gesellschafter der GRS sind die Bundesrepublik Deutschland (46%), die Länder Bayern und Nordrhein-Westfalen (je 4%) sowie die Technischen Überwachungsvereine (TÜV) und der Germanische Lloyd (zusammen 46%).

Im Jahre 1996 hatte die GRS rund 560 Mitarbeiter, die für 118 Mio. DM technische Leistungen erbrachten. Von diesen 118 Mio. DM wurden gut 106 Mio. DM durch Aufträge der öffentlichen Hand (v.a. BMBF, BMU) finanziert. Dabei hatte das Aufgabenfeld „Sicherheit der Entsorgung und Brennstoffkreislauf“ einen Anteil von 34% (GRS 1997).

Im Aufgabenfeld Entsorgung/Brennstoffkreislauf liegen die Aktivitäten der GRS in der Beteiligung an nationalen und internationalen experimentellen Forschungsvorhaben, der Erarbeitung von Instrumentarien zur Bewertung der Endlagersicherheit für verschiedene geologische Formationen, der Analyse von Strategien des nuklearen Brennstoffkreislaufes, der Erarbeitung von Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Stoffe sowie Beratungstätigkeiten (z.B. im Verfahren Konrad sowohl für die Genehmigungsbehörde als auch für den Antragsteller BfS). 1995 wurde der Bereich Endlagersicherheitsforschung der GSF (Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit) von der GRS übernommen, so daß dem Bereich Entsorgung/Endlagerung bei der GRS wachsende Bedeutung zukommt.

Die GRS ist Mitglied im eng mit dem Deutschen Atomforum verbundenen Informationskreis Kernenergie, dessen Selbstverständnis darin besteht, die Diskussion um die Nutzung der Atomenergie durch Vermittlung von Fakten zu objektivieren und die Perspektiven einer zuverlässigen Energieversorgung aufzuzeigen (ungeachtet dieser Neutralität vermittelnden Selbstverständnisses besteht die tatsächliche Aufgabe des Informationskreises Kernenergie

bekanntermaßen darin, die Atomenergie zu fördern). Die Mitgliedschaft der GRS in diesem Informationskreis sowie ihre weitgehende finanzielle Abhängigkeit von den die Atomenergie fördernden Bundesministerien (v.a. BMU, BMBF) erlaubt zumindest Zweifel daran, ob die GRS der Nutzung der Atomenergie neutral gegenübersteht. Zu diesem Zweifel trägt die persönliche Verbundenheit der technischen Geschäftsführung (Ehrenmitgliedschaft in der Kerntechnischen Gesellschaft, deren satzungsgemäßes Ziel die Förderung der Atomenergie ist) gleichfalls bei.

Zur Änderung dieser Situation ist es notwendig, die GRS aus ihrer Verflechtung mit eindeutigen pro-Atomenergie Kräften zu lösen. Das erhebliche wissenschaftliche Potential der GRS könnte durch eine Neufestlegung der Aufgaben zur Lösung von mit dem Ausstieg verbundenen Fragestellungen genutzt werden.

### **Technische Überwachungsvereine (TÜV)**

Die ehemals auf bestimmte Regionen bezogenen TÜV wurden als eingetragene Vereine des bürgerlichen Rechts gegründet. Ihr Selbstverständnis bestand darin, als Selbstverwaltungsorgane der bundesdeutschen Wirtschaft Menschen, Umwelt und Sachgüter vor nachteiligen Auswirkungen technischer Einrichtungen zu schützen. Die Mitglieder der Vereine sind überwiegend Betreiber von Anlagen (auch Atomanlagen), was sich auch in den Führungsgremien widerspiegelt. Entsprechend liegt das Schwergewicht der Arbeit der sieben TÜV mit kerntechnischen Abteilungen bei der technischen Sachverständigentätigkeit, zu der sie von Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden im Rahmen von § 20 AtG herangezogen wurden und werden. Die ebenfalls als eingetragener Verein bundesweit gegründete Vereinigung der Technischen Überwachungsvereine (VdTÜV) übernahm im Atomenergiebereich unter anderem Beratungsaufgaben für Bundesministerien und bestimmte so die Festlegung des Standes von Wissenschaft und Technik an entscheidender Stelle mit.

Im Laufe der Zeit bildeten sich die jeweiligen TÜV quasi zu Monopolgutachtern der Behörden für beantragte bzw. betriebene Atomanlagen an den im jeweiligen Geschäftsbereich liegenden Standorten heraus. Als Folge davon ist zum einen eine Verlagerung der technischen Kompetenz aus den Behörden hin zu den Gutachtern des TÜV festzustellen, und zum anderen gibt es nur begrenzt andere Institutionen, die von den Behörden zu entsprechender Sachverständigentätigkeit herangezogen werden können. Eine gewisse Abhängigkeit der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden der Bundesländer im atomtechnischen Bereich von den TÜV ist daher zumindest in Einzelfällen nicht auszuschließen.

In den letzten Jahren haben die TÜV im atomtechnischen Bereich jedoch auch zunehmend Aufträge aus der Industrie bzw. von Antragstellern oder Betreibern von Atomanlagen angenommen. Dies hat zum Beispiel im Planfeststellungsverfahren zum Endlager Konrad zu Problemen geführt. Der TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e.V. hat in diesem Verfahren als Sachverständiger der niedersächsischen Planfeststellungsbehörde fungiert und parallel dazu einen Auftrag des antragstellenden BfS für das Endlager in Morsleben bearbeitet. Das Problem wurde mittels bundesaufsichtlicher Weisung an die Planfeststellungsbehörde gelöst.

Zur Zeit ist ein Konzentrationsprozeß im Gange, der voraussichtlich zu nur noch vier TÜV-Großwirtschaftsunternehmen in der Bundesrepublik Deutschland führen wird. Diese TÜV werden dann als GmbH organisiert sein. Diese Entwicklung wird unter den gegenwärtigen

Randbedingungen aller Voraussicht nach zu einer weiteren Verstärkung der marktbeherrschenden Stellung der TÜV führen.

Um die (Quasi-)Monopolstellung der TÜV im Bereich der Sachverständigentätigkeit wenigstens teilweise aufzuheben (mehr ist kurzfristig nicht möglich), ist eine Umstrukturierung des Gutachterwesens notwendig. Dazu müssen die Mitarbeiter in den zuständigen Behörden motiviert werden, verstärkt andere Gutachterorganisationen heranzuziehen. Um abdeckende Begutachtungsaufträge zu erreichen, bietet sich die Bildung von Arbeitsgemeinschaften mehrerer Gutachterbüros an. An diesen könnte in bestimmten Fällen auch ein TÜV beteiligt sein.

### **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (früher Bundesanstalt für Bodenforschung) in Hannover ist eine dem Bundeswirtschaftsministerium unterstellte Bundesfachbehörde. Ihre ursprünglichen Aufgaben liegen im Bereich der Rohstoffsicherung (In- und Ausland) und in länderübergreifenden geowissenschaftlichen Arbeiten. Mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle ist die BGR seit Beginn der Entsorgungsdiskussion in der Bundesrepublik befaßt.

In den sechziger Jahren hat die Einschätzung des Problemfeldes Endlagerung durch die damalige Behördenspitze die frühe Festlegung des bundesdeutschen Endlagerkonzeptes auf Salz als einzigem ernsthaft betrachteten Endlagermedium bestimmt. Auch der Erwerb des Salzbergwerks Asse im Jahre 1963 für die Einlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle (s. H-5.6.1) durch den Bund geht auf eine solche Empfehlung zurück.

Bis heute ist die BGR als der Bundesregierung bzw. anderen Bundesbehörden, insbesondere dem Bundesamt für Strahlenschutz, zuarbeitende geowissenschaftliche Behörde von maßgeblicher Bedeutung. Sie ist bei allen geowissenschaftlich relevanten Arbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle beteiligt. Zum einen gehören dazu konzeptionelle Arbeiten, wie die Entwicklung von Kriterien für die Standortauswahl, von Untersuchungsprogrammen für die Standorterkundung sowie Grundlagenarbeiten für den langfristigen Eignungsnachweis von Endlagerstandorten. Zum anderen ist BGR maßgeblich an der Erarbeitung von Antragsunterlagen für die einzelnen atomrechtlichen Endlagerverfahren beteiligt.

Die BGR ist als einzige deutsche (und zugleich oberste) geowissenschaftliche Fachbehörde kontinuierlich im Bereich Endlagerung tätig. Folglich haben ihre Aussagen zu geowissenschaftlichen Fragen der Endlagerung in der Öffentlichkeit besonderes Gewicht. Es ist daher erwähnenswert, daß fachliche Einwände zu einzelnen Endlagerstandorten von Vertretern der BGR öffentlich nicht geäußert worden sind - und zwar auch dann nicht, wenn von ihr selbst (mit)entwickelte Anforderungen nicht eingehalten werden. Das trifft insbesondere für die Standorte Gorleben und Morsleben zu (s. H-5.6.2 u. H-5.6.4).

Eine besondere Rolle spielt BGR in Niedersachsen: In diesem Bundesland mit den (potentiellen) Endlagerstandorten Asse, Konrad und Gorleben ist das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLFb) in Hannover der geowissenschaftliche Hauptgutachter der atomrechtlichen Planfeststellungsbehörde (Niedersächsisches Umweltministerium). Zu seinen Aufgaben gehört(e) auch die Überprüfung der von BGR entwickelten Untersuchungs-

konzeptionen für die Standorte Konrad und Gorleben sowie die Beurteilung der von BGR erarbeiteten geowissenschaftlichen Abschnitte der Antragsunterlagen.

BGR und NLfB haben nicht nur einen gemeinsamen Amtssitz, sondern auch eine gemeinsame Amtsspitze. Die Leitung der BGR ist also gegenüber Angehörigen des NLfB weisungsberechtigt. Aus dieser Konstellation kann sich eine verfahrensrechtlich bedenkliche Kooperation zwischen den Gutachtern von Antragsteller und Genehmigungsbehörde ergeben haben (NMB 1984, LANDTAG 1995).

Die BGR verfügt im Bereich Endlagerung unbestritten über erhaltenswerte fachliche Kompetenz. Wegen der geschilderten Zusammenhänge sollte ihre Doppelfunktion für konzeptionelle Entwicklungen und für die Erarbeitung von Antragsunterlagen künftig allerdings eingeschränkt werden. Für Niedersachsen ist eine Einflußnahme auf das NLfB durch organisatorische Maßnahmen bzw. durch Einschaltung unabhängiger geowissenschaftlicher Gutachter anstelle des NLfB oder zusätzlich dazu zu verhindern.

### **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)**

Die BAM ist eine staatliche Einrichtung, die dem Bundeswirtschaftsministerium unterstellt ist. In der heutigen Form existiert die BAM seit 1987, die meisten Institute der BAM gibt es aber bereits seit 1954. Hauptaufgabe ist die Förderung der Entwicklung der Wirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland durch Materialforschung sowie Verbesserung von Methoden zu Materialprüfung, chemischer Analytik und Sicherheitstechnik (BAM 1994). Die Atomenergietechnik ist ein kleiner Teilbereich der Arbeitsfelder der BAM.

Im Bereich der Entsorgung bestehen die Aufgaben vor allem in der Begutachtung und Bewertung von Behältern zum Transport sowie zur Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle aller Art. In dieser Eigenschaft stellt die BAM die Prüfzeugnisse aus, die Voraussetzung für die Zulassung von Transportbehältern sind. Gleichzeitig ist die BAM Gutachter des BfS in Genehmigungsverfahren für Brennelementzwischenlager, hier insbesondere zu Fragen der Behältersicherheit während der Lagerung. Dritter Arbeitsbereich der BAM ist die Entwicklung von Nachweisverfahren für die Behältersicherheit. Die Anlagen für praktische Tests und die dort angewendeten Prüfmethoden wurden von der BAM entwickelt und die Tests in der Regel auch von ihr selber durchgeführt (ZEISLER 1997). Auch die Grundlagen und die Methodik für den Nachweis der Sprödbruchsicherheit der Behälter wurde von der BAM entwickelt (VÖLZKE 1994).

Daraus folgt, daß große Teile des Sicherheitsnachweises für Behälter nicht vom Antragsteller, sondern von der Zulassungsbehörde selbst erbracht werden. Zugespißt bedeutet dies, daß bei der Zulassung von Behältern für den Transport bzw. bei der Genehmigung eines Behälters für die Zwischenlagerung die BAM ihre eigene Arbeit begutachtet. Damit sind für die entsprechenden Fragen praktisch keine unabhängigen (externen) Gutachter an der Genehmigung beteiligt.

### **Kernforschungszentren**

Die Kernforschungszentren wurden in den 50er Jahren gegründet. Die beiden bedeutendsten Forschungseinrichtungen für die Entwicklung der Atomenergie in der alten Bundesrepublik sind das Kernforschungszentrum Karlsruhe (jetzt Forschungszentrum Karlsruhe

GmbH, FZK) und die Kernforschungsanlage Jülich (jetzt Forschungszentrum Jülich GmbH). Hauptgesellschafter ist mit 90 % Beteiligung jeweils die Bundesrepublik Deutschland. Es handelt sich also um staatliche Forschungseinrichtungen. Der Wandel im Namen zeigt, daß die frühere atomtechnische Priorität der Forschungsaufgaben relativiert worden ist; es sind viele andere Forschungsgebiete hinzugekommen. Die rein institutionelle Förderung für Atomenergieforschung durch das Bundesforschungsministerium (heute BMFB) beträgt jedoch immer noch ca. 60 Mio. DM (Karlsruhe) bzw. 30 Mio. DM (Jülich). Dazu kommt noch Projektförderung in dreistelliger Millionenhöhe.

Aufgrund der Gründungs- und Entwicklungsgeschichte und vor allem der Zweckbestimmung der Forschungszentren muß eine grundsätzlich positive Einstellung gegenüber der Nutzung der Atomenergie angenommen werden. Es muß allerdings auch erwähnt werden, daß in den (Kern-)Forschungszentren in relevantem Umfang wichtige und durchaus positiv zu bewertende Sicherheitsforschung im Bereich der Atomenergie betrieben wurde. Die fachliche Kompetenz in den Forschungszentren sollte auf jeden Fall weiter genutzt werden. Es sollten jedoch die Forschungsaufgaben neu definiert und eine kurzfristige Überprüfung der Forschungsprojekte durchgeführt werden.

### **Fazit**

Insgesamt zeigt der kurze Überblick über die deutschen Beratungs- und Forschungsinstitutionen bzw. -gremien, daß

- Ursprung und Aufgabenstellung mancher Institutionen eindeutig in der Förderung der Atomenergie liegen,
- die Zusammensetzung und teilweise auch die Aufgabenstellung von Beratungsgremien die nach außen propagierte Neutralität nicht gewährleisten (z.B. RSK),
- insgesamt eine historisch gewachsene institutionelle und zum Teil persönliche Interessensverflechtung zwischen manchen Institutionen und Beratungsgremien vorliegt, die die nach außen getragene Objektivität und Interessensneutralität, insbesondere der Beratungsorgane des Bundes, zumindest zweifelhaft erscheinen läßt,
- einzelne Bundesbehörden Doppelfunktionen haben, die zu unerwünschten Selbstverstärkungseffekten bei inhaltlichen und formalen Entwicklungs- und Entscheidungsprozessen führen.

In Zusammenhang mit einem Ausstieg aus der Atomenergienutzung sollte diese Situation verändert werden, zumindest soweit die öffentliche Hand direkt Einfluß hat. Diese Änderung müßte in erster Linie RSK, SSK und GRS betreffen, damit in diesen Beratungsgremien ein erweitertes wissenschaftliches Meinungsspektrum ermöglicht wird und die bisherige einseitige Ausrichtung gebrochen wird. Darüber hinaus sollte das Gutachterwesen bei Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren neu gegliedert und die Forschungsaufgaben der (Kern-)Forschungszentren, soweit sie die Atomenergie betreffen, neu orientiert werden. Möglicher Handlungsbedarf ergibt sich auch hinsichtlich der im folgenden kurz vorgestellten internationalen Institutionen.

### **International Atomic Energy Agency (IAEA)**

Die IAEA wurde 1957 als Unterorganisation der Vereinten Nationen gegründet. Sie soll als weltweites Forum auf Zwischen-Regierungsebene fungieren und Forschung sowie technische Kooperation der Mitgliedstaaten koordinieren. Laut Artikel II ihres Statutes soll die IAEA die Verbreitung der zivilen Nutzung der Atomenergie beschleunigen und ihren Anteil weltweit erhöhen (IAEA 1989). Gleichzeitig ist sie das weltweite Kontrollorgan für die Verhinderung der Verbreitung militärischer Nutzung der Atomenergie. Dazu überwacht sie die Einhaltung des Atomwaffensperrvertrages und kontrolliert die Bestände waffenfähiger Kernbrennstoffe in den Nicht-Atomwaffenstaaten. Auf die strukturellen und finanziellen Probleme der IAEA, die eine nachhaltige Kontrolle der Nichtweiterverbreitung von Kernbrennstoffen erschweren, kann im Rahmen dieser Studie nicht weiter eingegangen werden.

Die IAEA hat 127 Mitgliedsstaaten, die sie durch festgelegte Mitgliedsbeiträge finanzieren. Die Staaten delegieren Vertreter in die Gremien und Komitees zu einzelnen Fachgebieten. Dabei handelt es sich überwiegend um Personen aus nationalen Behörden, staatlichen Einrichtungen bzw. in staatlichem Besitz befindlichen Firmen. Vertreten sind aber auch Personen aus privaten Firmen. Festzustellen ist, daß in den IAEA-Gremien dieselben Personen sitzen, die national im gleichen Themenbereich Funktionen besitzen. Eine Kontrolle oder Überprüfung nationaler Vorgehensweisen durch die IAEA ist damit nur eingeschränkt möglich.

In den Gremien und Komitees werden Empfehlungen zu einzuhaltenden internationalen Sicherheitsstandards in den verschiedenen Fachgebieten zur Atomenergienutzung entwickelt. Die Mitgliedsstaaten sind gehalten, diese Empfehlungen in ihre nationale Gesetzgebung einfließen zu lassen.

Aus dem oben wiedergegebenen Artikel II des Statuts der IAEA ergibt sich bereits, daß sie objektiv nicht in der Lage ist, die Risiken der Technologie unvoreingenommen zu prüfen. Vielmehr werden - entsprechend dem Statut - die Interessen der in einigen Mitgliedsländern staatlichen, in anderen Mitgliedsländern privaten Atomenergieindustrie unterstützt. Der Organisationsaufbau führt darüber hinaus dazu, daß bei der Entwicklung von Sicherheitsstandards eine gewisse Nivellierung stattfindet, da möglichst alle Mitglieder die Empfehlungen auch umsetzen sollen. Zu diesem Verhalten der IAEA lassen sich zahllose Beispiele nennen. Zu dieser Problematik wird auf AAI (1993) verwiesen.

Aufgrund der hier kurz skizzierten Ausrichtung der IAEA stellt sich die Frage, ob eine Begrenzung ihrer Tätigkeiten als UN-Organisation auf die Kontrolle der Einhaltung des Atomwaffensperrvertrages sowie zur Unterstützung der Abrüstung und Produktionseinstellung von Atomwaffen in den Atomwaffenstaaten betrieben werden sollte.

### **Nuclear Energy Agency (NEA)**

Die NEA ist ein Teilbereich der Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). Sie existiert seit 1958 und hat die Aufgabe, die Zusammenarbeit zwischen den Regierungen der Mitgliedsstaaten bei der Förderung der Entwicklung und Nutzung der Atomenergie als eine „sichere, umweltverträgliche und wirtschaftliche Energiequelle“ zu unterstützen. Ende 1996 waren 27 Staaten Mitglied der NEA.

Zur Erfüllung ihrer Aufgabe regt die NEA die Harmonisierung von Vorschriften und Gesetzen an, schätzt technische und ökonomische Aspekte der Atomenergienutzung ein, sorgt für den Austausch von wissenschaftlichen und technischen Informationen sowie initiiert internationale Forschungs- und Entwicklungsprogramme. Dabei findet eine Zusammenarbeit mit der IAEA und der Europäischen Kommission statt. Der Austausch zwischen den Mitgliedsstaaten findet in zu verschiedenen Themenbereichen existierenden Komitees statt. Im Bereich der Entsorgung ist die NEA hauptsächlich zu Fragen der Endlagerung (Standortbewertung, Endlagerstrategien, Erkundungsexperimente, Transmutation, Kosten) aktiv.

Auch die NEA hat als internationale Organisation de facto die Funktion einer Lobby-Organisation für die Nutzung der Atomenergie. Die Notwendigkeit einer weiteren finanziellen Unterstützung bzw. die Möglichkeit einer Umorientierung oder Beschränkung auf Strahlenschutzthemen im Tätigkeitsbereich der NEA sollte überprüft werden. Hier könnte ein gemeinsames Vorgehen mit den Mitgliedsstaaten Österreich, Dänemark und Irland, aber auch Norwegen, Luxemburg, Portugal und Griechenland sinnvoll sein.

### **Europäische Kommission (EC) - EURATOM**

Die EC ist der Verwaltungsrat (praktisch Regierung) der Europäischen Union. Sie bestimmt die Politik der Union und darf als einziges Gremium der Europäischen Union Gesetzesvorschläge machen. Außerdem ist die EC verantwortlich für die Verwaltung der Europäischen Union und soll sicherstellen, daß die Abkommen/Verträge eingehalten sowie die Entscheidungen der Institutionen der Europäischen Union umgesetzt werden. Die Mitglieder der EC werden in Absprache von den Regierungen der Mitgliedstaaten bestimmt. Die Amtsperiode beträgt jeweils 5 Jahre.

Eines der die Europäische Union vorbereitenden Abkommen war der European Atomic Energy Community Vertrag (EURATOM) von 1957. Dieser Vertrag ist bis heute Grundlage für das Handeln der EC im Bereich Kernenergie. Hauptziel des Vertrages ist es, zu einem steigenden Lebensstandard in den Mitgliedsstaaten und zur Entwicklung von Beziehungen zu anderen Staaten durch Schaffung der notwendigen Voraussetzungen für die schnellere Etablierung und das Wachsen der Atomenergieindustrie beizutragen. Außerdem sollen Initiativen und Investitionen im Atomenergiebereich erleichtert werden (EURATOM 1957).

Im Rahmen von EURATOM wird die Uranversorgung für die Mitgliedsländer sichergestellt, und es wird überwacht, daß die Kernbrennstoffe zu keinen anderen als den vorgesehenen Zwecken verwendet werden. Zudem werden Forschung und Entwicklung für die Atomenergienutzung im Rahmen von Programmen unterstützt. Aus dem Vertragstext leitet die EC praktisch ihre Verpflichtung zur Förderung der Atomenergie ab, der sie durch Bereitstellung eines beachtlichen Haushaltsetats (ca. 250 Mill. DM pro Jahr) für Forschung und Entwicklung in diesem Bereich nachkommt. Da die Europäische Union durch Steuermitteln aus den Mitgliedsländern finanziert wird, handelt es sich also um eine staatliche Subvention der Atomenergienutzung.

Da die Mitgliedschaft in der Europäischen Union die Zwangsmitgliedschaft bei EURATOM bedeutet, ist es nicht möglich, aus dem Vertrag auszutreten. Es könnte versucht werden, den Vertrag zu ändern und vor allem zunächst den Fördergedanken zu streichen. Entsprechende Initiativen durch Anträge im EuropH-Parlament gab es bereits, sie waren jedoch bis-

her erfolglos. Dieser weiter zu verfolgende Weg könnte durch effektives Handeln auf Regierungsebene unterstützt werden.

Der Etat für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Atomenergienutzung sollte drastisch gekürzt werden. Er beinhaltet unter anderem auch Ausgaben für die Weiterentwicklung von Reaktoren sowie Forschung auf den Gebieten der Transmutation und Kernfusion. Weiter gefördert werden sollten vor allem Bereiche, die im staatlichen Aufgabenbereich liegen, wie zum Beispiel Strahlenschutz und Endlagerung, sowie die Überwachung von Kernbrennstoffen.

### **International Commission on Radiological Protection (ICRP)**

Die ICRP wurde 1928 gegründet und erhielt 1950 ihren jetzigen Namen. Mitglieder sind Einzelpersonen aus 17 Ländern. Finanziert wird sie durch Zuschüsse von internationalen und nationalen Regierungsorganisationen und anderen nationalen Quellen. Die Höhe der Zuschüsse betrug in den letzten Jahren durchschnittlich 200.000 US\$. Die Aufgabe der ICRP ist es, die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse im Strahlenschutz, insbesondere durch die Erarbeitung von Empfehlungen, voranzutreiben. Das ausführende Organ der Kommission besteht aus 7 bis 13 Personen, die „anerkannte“ Kompetenz in einem der Gebiete medizinische Radiologie, Strahlenschutz, Gesundheitsschutz oder Strahlenbiologie besitzen. Des Weiteren wurden 4 Komitees gebildet, die die Arbeit der Kommission unterstützen und die Grundlagen der Empfehlungen erarbeiten. Die Themenbereiche der Komitees sind: Biologische Effekte von Strahlung, Sekundärstandards für den Strahlenschutz, Strahlenschutz und -sicherheit in der Medizin sowie Anwendungen der ICRP-Empfehlungen.

In der ICRP sitzen in der Regel die selben Personen, die auch auf nationaler Ebene den Strahlenschutz bestimmen. Für die bundesdeutschen Vertreter trifft dies in vollem Umfang zu. Es ist daher auch hier zu erwarten, daß die Mitglieder in ihrer überwiegenden Mehrheit eine eher positive Einstellung zur Atomenergienutzung besitzen.

Die Institution ICRP erscheint grundsätzlich erhaltenswert, da ein internationales Diskussionsforum für alle den Strahlenschutz betreffende Fragen sinnvoll ist. Es müßte allerdings geprüft werden, inwieweit die Berufung der Mitglieder transparenter und ausgewogener gestaltet werden kann.

## **H-2.4 Privatisierung im Bereich der Entsorgung**

Bei der Diskussion um die Privatisierung von Entsorgungsleistungen ist mit der 8. Novelle des AtG (s. Kap. H-2.2) die Privatisierung der Endlagerung ins Zentrum gerückt. Ungeachtet der entsprechenden Anforderungen des novellierten AtG und jenseits juristischer und verwaltungstechnischer Aspekte stellt sich hier die grundsätzliche Frage, welche Vor- und Nachteile mit einer Privatisierung der Endlagerung verbunden sein können.

Nach den bisherigen Festlegungen des AtG ist der Bund - speziell das BfS - für Erkundung, Errichtung, Betrieb und Aufsicht über den Betrieb von Endlagern zuständig (s. Kap. H-2.1).

Vereinfacht ausgedrückt ist der Staat bisher sowohl Bauherr und Betreiber (Bund) als auch Genehmigungsbehörde (Land) und Aufsichtsbehörde (Bund).

Nach Meinung der Bundesregierung ist wegen der inzwischen im wissenschaftlich-technischen Bereich weltweit erzielten Klärung sowie wegen des Standes der Verfahren für vorge-sehene Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle eine Aufgabenwahrnehmung durch den Staat nicht mehr in dem bisherigen Umfang erforderlich. Deshalb kann heute - anders als bei der Übertragung der Endlageraufgaben an den Bund im Jahre 1976 - eine teilweise Verlagerung dieser Aufgaben auf die privaten Verursacher radioaktiver Abfälle geschehen. Damit soll das Verursacherprinzip konsequent umgesetzt werden und zugleich die Verant-wortung der Abfallverursacher gestärkt werden (ENTWURF BR 1997).

Ungeachtet der Frage, ob die weltweite Klärung im wissenschaftlich-technischen Bereich der Endlagerung tatsächlich ausreichend weit fortgeschritten ist (hier sei nur auf die Langzeit-sicherheitsproblematik hingewiesen, vgl. Kap. H-5.4), werden folgende Gründe für die Pri-vatisierung der Endlagerung angeführt:

#### Effizienz und Kostenfragen:

- Durch die Privatisierung von Endlagerleistungen (Erkundung, Errichtung, Betrieb) wer-den allgemeine Kostenvorteile erwartet (KESSLER 1997).
- Bei Erfüllung von Verwaltungsaufgaben durch Private entfallen die durch die Struktu-ren der öffentlichen Verwaltung geprägten Entscheidungsprozesse sowie die haus-halts-, finanz- und personalrechtlichen Bindungen zu einer rationelleren und damit ko-stengünstigeren Arbeitsweise. Mit einer Privatisierung kann sich der Staat die techni-schen und betrieblichen Möglichkeiten von privaten Unternehmen nutzbar machen und den eigenen Verwaltungsapparat entlasten (RENGELING 1997).
- Die Übertragung der Aufgaben an Private führt zu bislang nicht ausgeschöpften Effizi-enzvorteilen im Managementbereich (SCHMIDT-PREUSS 1997).
- Von einer Privatisierung der Endlager-Standorterkundung ist sowohl vom konzeptio-nellen als auch vom methodischen Ansatz her ein professionelleres und effizienteres Forschungsmanagement zu erwarten (DUPHORN 1997).

#### Verursacherprinzip:

Durch die Übertragung der Endlageraufgaben auf Private wird das Verursacherprinzip dann umgesetzt, wenn der Private (z.B. in Form einer öffentlich-rechtlichen Körperschaft) mit den Abfallverursachern (i.w. EVU) identisch ist bzw. hauptsächlich aus diesen besteht. Der Pri-vate muß das Haftungsrisiko tragen, womit der Zielsetzung einer stärkeren Eigenverantwor-tung Rechnung getragen wird.

#### **Bewertung der Privatisierung:**

Die durch die Privatisierung der Endlagerung erwarteten Vorteile dürfen allerdings nicht einhergehen mit Abstrichen bei der Sicherheit der Endlagerung und/oder problematischen

Verfahrens- und Genehmigungsabläufen. Gegen die Privatisierung spricht insbesondere die Befürchtung, daß

- die Wirtschaftlichkeit auf Kosten der Sicherheit zusätzlich an Bedeutung gewinnt,
- die langfristige Überwachung eines Endlagers von Privaten wegen ihrer endlichen Existenz weder geleistet noch verlangt werden kann,
- die langfristige Haftung für Schäden durch ein Endlager bei Privaten aus demselben Grund nicht gesichert ist.

Im Hinblick auf mögliche Sicherheitsdefizite durch Privatisierung zeigen die Erfahrungen in anderen Bereichen (z.B. Entsorgung konventioneller Abfälle), daß diese Befürchtung nicht gänzlich unberechtigt ist. Andererseits lassen die Erfahrungen mit den bisherigen Endlagerverfahren in der Bundesrepublik praktisch keine Unterschiede zu atomrechtlichen Verfahren mit privaten Antragstellern in anderen Sachgebieten erkennen. Der lange Zeithorizont für Überwachung und Haftung stellt ein grundsätzliches, von der Frage staatlicher oder privater Zuständigkeit teilweise unabhängiges Problem dar: Zwar soll die langfristige Überwachung von Endlagern in der Nachbetriebsphase nach der deutschen Endlagerungskonzeption ausdrücklich nicht erforderlich sein (s. H-5.1), doch werden Staat und Gesellschaft kaum darauf verzichten, ein Endlager zu beobachten - zumindest solange, wie die Kenntnis über die Existenz des Endlagers und sein Gefährdungspotential vorhanden ist. Das ist wegen des hier zu betrachtenden Zeitraums auch bei staatlichen Institutionen keineswegs gewährleistet. Einem privaten Betreiber können solche, aus heutiger Sicht zeitlich praktisch unbegrenzten Maßnahmen zweifellos überhaupt nicht aufgegeben werden. Diesen Bedenken muß dadurch begegnet werden, daß

- in jedem Fall Sicherheit Vorrang vor Wirtschaftlichkeit hat,
- die Letztentscheidungsverantwortung des Staates gewährleistet bleibt und die Planfeststellung durch unabhängige staatliche Stellen geschieht,
- Sicherheitsvorsorge und Anforderungen des Strahlenschutzes von staatlicher Seite sorgfältig kontrolliert werden,
- die Fachaufsicht durch staatliche Stellen sowie parlamentarische Kontrollmöglichkeit gewährleistet sind,
- klare Regelungen zu den Aspekten Aufgabenübertragung, Befugniserteilung, beleihende Behörde, Voraussetzungen in der Person des mit der Aufgabe betreuten Privaten u.a.m. getroffen werden,
- Haftungsfragen sowie die Frage der Rückstellungen der EVU befriedigend geklärt werden,
- Zuständigkeit und Verantwortlichkeit nach Stilllegung des Endlagers wieder auf den Staat übergehen.

Ungeachtet dieser generellen Einschätzung ist die von der Bundesregierung mit der 8. Novelle des AtG vorgesehene Privatisierung der Endlagerung zumindest in einem Punkt problematisch: Die Übertragung der Zuständigkeit als Planfeststellungsbehörde für Endlager auf das BfS, nimmt den betroffenen Ländern jegliche Zugriffsmöglichkeit. Weiterhin würde mit dem BfS gerade die Behörde Genehmigungsbehörde, die bisher als Antragstellerin der Endlager fungiert hat. Hier besteht die Gefahr, daß das BfS als zukünftige Genehmigungsbehörde die in der Vergangenheit von ihr selbst erstellten Unterlagen bewerten muß. Mit der geplanten Aufgabenverlagerung einher geht deshalb die Besorgnis der Befangenheit.

Interessant ist die Feststellung des BMU (1995), daß die EVU sich über den nicht hinreichenden Einfluß auf die von ihnen zu erstattenden Kosten und den angeblich schleppenden Verlauf bei der Endlagerung beklagen, sich andererseits aber einhellig gegen eine Privatisierung der Endlager aussprechen (s. auch Kap. H-2.3.1).

## **H-2.5 Internationalisierung bei der Entsorgung**

### **H-2.5.1 Diskussionsstand**

Das deutsche Entsorgungskonzept beruht auf der Grundlage des Verursacherprinzips, d.h. Beseitigung oder Wiederverwertung der in Deutschland anfallenden radioaktiven Abfälle in Deutschland. Ein solch nationales Entsorgungskonzept bietet zudem Vorteile hinsichtlich der Gefahrenvorsorge im eigenen Hoheitsgebiet. Allerdings findet im Bereich der Entsorgung seit etlichen Jahren bereits eine internationale Zusammenarbeit statt. Dies gilt für die Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland, der Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente bei den Wiederaufarbeitungsanbietern sowie im Bereich von Forschung und Entwicklung (s. Kap. H-5.5).

In den Blickpunkt der Öffentlichkeit rücken immer wieder Pläne, die eine internationale Zusammenarbeit im Bereich der Endlagerung betreffen (z.B. Plan zum Bau eines internationalen Endlagers auf einer Pazifikinsel - „Südsee statt Gorleben“ im Hamburger Abendblatt vom 21.06.1997). Jenseits solcher Meldungen wird die Internationalisierung der Entsorgung, speziell der Endlagerung, allerdings zunehmend auch in Fachkreisen diskutiert und findet Eingang in politische Willenserklärungen.

Im folgenden wird deshalb ein Überblick gegeben über den Diskussionsstand der Problematik. Dieser Überblick konzentriert sich auf die Endlagerung, da hier ein erhebliches Potential für eine internationale Zusammenarbeit gesehen wird. Sodann werden in Kap. H-2.5.2 die wesentlichen Gründe für eine Internationalisierung der Endlagerung zusammengefaßt, und in Kap. H-2.5.3 wird eine Bewertung vor dem Hintergrund des Ausstiegs aus der Atomkraft gegeben.

Auf rechtliche Aspekte der Internationalisierung der Entsorgung kann hier nicht näher eingegangen werden. Angemerkt sei jedoch, daß nach SCHMIDT-PREUß (1995) der § 9a AtG eine Endlagerung deutscher radioaktiver Abfälle im Ausland nicht ausschließt. Jede andere Interpretation würde nach SCHMIDT-PREUß (1995) gegen EU-Gemeinschaftsrecht verstoßen. Andererseits sind die Staaten der EU in Abkommen eingebunden (IV. Lomé-Konvention), die eine Ausfuhr radioaktiver Abfälle in die sogenannten AKP-Staaten (Afrika, Karibik, Pazifik) und die überseeischen Gebiete der EU-Mitgliedsstaaten verbietet (EU-KOMMISSION 1994).

Jedenfalls geht man bislang in Deutschland weiterhin von der nationalen Endlagerung aus. Der parlamentarische Staatssekretär im Bundesumweltministerium, HIRCHE (1997) betont, daß Diskussionen und Spekulationen über internationale Endlagerlösungen keinesfalls die Verwirklichung des nationalen Entsorgungsweges gefährden dürfen. Darüber hinaus sei ein reales internationales Projekt nicht in Sicht. Allerdings sieht HIRCHE (1997) unter Kostengesichtspunkten mögliche Vorteile internationaler Endlagerlösungen.

Der jüngste Diskussionsvorschlag zur Internationalisierung stammt von KÜHN & BRENNECKE (1998) und wurde auf der Jahrestagung Kerntechnik '98 vorgestellt. Sie schlagen wegen der derzeitigen politisch-geographischen Situation in Europa, der Kernenergieprogramme in den einzelnen Ländern und unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Kernbrennstoffkreisläufe in Europa fünf regionale Endlager in geologischen Formationen für abgebrannte Brennelemente bzw. hochaktive Abfälle vor (je ein Endlager in Rußland, Skandinavien, Großbritannien, Frankreich und Deutschland). Damit sollen etliche Vorteile (v.a. ökonomischer Art) sowohl für die Endlagerstandortländer als auch für die Lieferländer verbunden sein.

KÜHN (1997) fordert, daß im Zeitalter intensiver internationaler Kooperationen, speziell innerhalb der EU, das „Tabu“ gebrochen werden muß, nicht über internationale Endlager zu diskutieren.

Nach McCOMBIE (1997) gibt es keine grundlegenden technischen, organisatorischen oder institutionellen Gründe, die gegen eine internationale Endlagerung sprechen. Gerade auch ökonomische Gründe würden für ein internationale Endlagerung sprechen. Allerdings sieht er deutliche Akzeptanzprobleme sowie politische Gründe, die die Errichtung eines solchen Endlagers erschweren könnten. HAN et al. (1997) sehen bei regionalen Endlagern insbesondere ökonomische Vorteile für Länder mit kleinen Kernenergieprogrammen und entsprechend geringem Anfall radioaktiver Abfälle. Für diese Länder ist die Errichtung eines nationalen Endlagers ökonomisch unsinnig. Darüber hinaus wird durch regionale Endlager die Anzahl der Endlagerstandorte insgesamt verringert. HAN et al. (1997) fordern für internationale Endlager ein organisatorisches System, das von Änderungen der politischen oder institutionellen Situation der einzelnen Länder nicht beeinflußt werden kann. Den Ansatz eines regionalen internationalen Endlagers vertreten auch BREDELL & FUCHS (1997). Sie halten darüber hinaus ein internationales (regionales) „waste management system“ für machbar.

Einen starken Einfluß auf die Diskussion in Deutschland hat die Arbeit von HENSING (1996). Er liefert eine detaillierte Ausarbeitung zu den ökonomischen Aspekten der Internationalisierung der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Dabei werden modellhaft verschiedene Szenarien untersucht (z.B. Öffnung des Endlagers Gorleben für abgebrannte Brennelemente bzw. hochaktiven Abfall aus anderen europäischen Staaten), bei denen sich im Ergebnis der Internationalisierung deutliche Kosteneinsparungen (bezogen auf m<sup>3</sup> oder t SM endgelagerter Materials) ergeben. Die Ursachen hierfür liegen im wesentlichen in der Kostenstruktur der Endlagerung (hohe Fixkosten bei Errichtung und Betrieb).

Von der IAEA (1994) wurde das Konzept der „regionalen Endlager“ entwickelt. Darunter wird ein Endlager verstanden, das in einem Land betrieben wird, aber von anderen Ländern innerhalb der „geographischen Region“ mitbenutzt wird. Das Konzept der IAEA berücksichtigt nicht nur Kostenaspekte, sondern auch Fragen der Sicherheit, technische Aspekte, institutionelle und ethische Gesichtspunkte, Fragen des Mißbrauchs sowie der öffentlichen Akzeptanz. Allerdings schließt die IAEA den Bau und Betrieb eines regionalen Endlagers in einem Land ohne eigenes Nuklearprogramm aus.

In einem Strategiepapier der EU-KOMMISSION (1994) zur Entsorgung radioaktiver Abfälle wird darauf hingewiesen, daß eine Optimierung der Nutzung von Abfallanlagen für radioaktive Stoffe wichtig sei. Eine solche Optimierung kann sowohl auf nationaler Ebene als

auch auf Gemeinschaftsebene erfolgen. Beispielsweise kann ein regionales (mehrere Länder umfassendes) Konzept vor allem für Länder, die keine oder nur begrenzte Nuklearprogramme betreiben insofern Vorteile bieten, als damit „wirtschaftlich ungerechtfertigte auf individueller Grundlage unternommene Entsorgungsprojekte verhindert würden“. Dieses zu entwickelnde „Solidaritätskonzept“ ist von der Struktur her den regionalen Endlagern der IAEA vergleichbar (s.o.), allerdings ist es auf EU-Mitgliedsstaaten begrenzt.

Im Umfeld der Energie- bzw. Entsorgungskonsensgespräche (s. Kap. H-2.3.2) sind verschiedene Papiere mit Hinweisen auf eine Internationalisierung der Entsorgung bzw. Endlagerung vorgelegt worden. So wird in dem Entwurf des Einigungspapiers zum Energiekonsens zwischen Bundesregierung und SPD (ENTWURF 1997) ausgeführt, daß die Fortführung der Endlagerprojekte Konrad und Gorleben im Sinne der Endlagervorsorge erforderlich sei. Die im Prinzip erstrebenswerte Option, mit nur einem nationalen Endlager auskommen zu können, sei offengehalten. Auf der Grundlage dieses Verständnisses könnte dann parallel zur Fortsetzung der Maßnahmen für eine nationale Lösung auch internationalen Entwicklungen Rechnung getragen werden.

In einem Schreiben des niedersächsischen Ministerpräsidenten SCHRÖDER (1996) an Bundesumweltministerin Merkel werden Eckpunkte für eine Fortschreibung des Entsorgungskonzeptes festgelegt. Dort wird darauf hingewiesen, daß das Thema Endlagerung zwar nicht heute, aber bis 2030 international zu sehen sei, weshalb diese Möglichkeit offen bleiben müsse.

In einem Konzeptpapier des niedersächsischen Umweltministeriums (NMU 1996) wird darauf hingewiesen, daß im Rahmen der Suche nach europäischen Lösungen für die Endlagerung von hochradioaktivem Abfall und abgebrannten Brennelementen ab dem Jahre 2030 versucht werden sollte, den Standortvorteil Deutschlands „wegen des quasi einzigartigen Vorhandenseins geeigneter saliner [gemeint sind salinare] Strukturen“ auch wirtschaftlich zu nutzen. Im Gegenzug könnte das sehr große Volumen der im Ausland angefallenen schwach- und mittelradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente in den dort seit Jahren erprobten Endlagern erfolgen. Die Kooperation mit den Nachbarstaaten bei der Endlagerung im Sinne einer europäischen Lösung biete sich an, da bis 2030 ein noch besseres Zusammenwachsen Europas unter Aufgabe nationaler Vorbehalte realisiert sein dürfte. Gerade unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wäre eine Bereitstellung des Endlagers für hochaktive Spaltproduktlösungen, gerade für Staaten ohne geeignete geologische Formationen, lukrativ (NMU 1996).

In einem Positionspapier des Bundesumweltministeriums zur weiteren Nutzung der Kernenergie (BMU 1995) wird ausgeführt, daß Deutschland sich gegebenenfalls auch an einer internationalen Zusammenarbeit, zumindest innerhalb der EU, auf dem Gebiet der Entsorgung beteiligen sollte. Jedoch sollte das nationale Endlagerprogramm ohne Abstriche durchgeführt werden, um der Abhängigkeit von internationalen Programmen zu entgehen.

Im Rahmen der ersten Energiekonsensrunde 1993 wurde in einem zwischen Bundesumweltminister Töpfer und dem niedersächsischen Ministerpräsidenten Schröder ausgehandelten Papier unter anderem vereinbart, für das Endlagerprojekt Gorleben ein Moratorium bis 2005 zu vereinbaren. Währenddessen sollten andere Standorte für ein Endlager erkundet werden, gegebenenfalls auch im europäischen Raum (PE 1993).

GIESKE & PILTZ (1992) schließlich weisen in ihren Überlegungen zur Weiterentwicklung der Kerntechnik darauf hin, daß unter Beachtung internationaler Entwicklungen und gegebenenfalls in internationaler Kooperation anstelle des Endlagerstandortes Gorleben für stark wärmeentwickelnde Abfälle alternative Standorte und alternative Endlagerformationen untersucht werden könnten.

## H-2.5.2 Vor- und Nachteile der Internationalisierung

Überprüft man die in Kap. H-2.5.1 vorgestellten Arbeiten bzw. Aussagen (insbesondere auch HENSING 1996 sowie KÜHN & BRENNECKE 1998) daraufhin, welche Vorteile in einer Internationalisierung der Endlagerung gesehen werden, dann ergibt sich folgendes:

### Generelle Vorteile:

- u.U. erhebliche ökonomische Vorteile (Realisierung von Größenvorteilen mit Verringerung der spezifischen Einlagerungskosten pro m<sup>3</sup> bzw. t SM).
- Sichere Entsorgung auch für Staaten, die dazu nicht in der Lage sind (z.B. ungünstige geologische Verhältnisse).
- Vorteile bei Sicherheit und Überwachung (Konzentration auf weniger Endlagerstandorte mit hohem Standard sowie bessere Kontrollmöglichkeit).
- Alternative zur blockierten nationalen Entsorgung.

### Vorteile Standortländer:

- Kompensationszahlung für die Bereitstellung von Endlagerkapazitäten.
- Erniedrigung der spezifischen Endlagerkosten für die eigenen Abfälle.
- Aufbau und Vermarktung von Know-how in Zusammenhang mit der Endlagererschließung mit Rückwirkungen auf andere Aktivitäten.

### Vorteile Lieferländer:

- Geringere Kosten.
- Lösung der eigenen Entsorgung von hochaktiven Abfällen bzw. abgebrannten Brennelementen durch Nutzung eines Endlagers außerhalb der Landesgrenzen (u.U. mit Vermeidung „politischer Kosten“ im Inland).

Nachteile einer internationalen Endlagerlösung werden nicht gesehen, sofern grundsätzliche Anforderungen (z.B. Anforderungen der IAEA 1994 an regionale Endlager) erfüllt werden. Zu diesen Anforderungen gehören:

- Das Vorhandensein grundsätzlich geeigneter geologischer Formationen.
- Umfassende und wirkungsvolle Kontrolle sowie internationale Aufsicht (inklusive Einbindung in internationale Verträge, z.B. zur Non-Proliferation, und Zusammenarbeit mit den nationalen Regulierungsbehörden).
- Die Lösung technischer Fragen (z.B. Abfallbehandlung, Produktkontrolle) sowie Einsatz des modernsten Standes der Sicherheitstechnik.
- Politische Kontinuität und Stabilität.

- Vorhandensein entsprechender nuklearer Infrastrukturen und Erfahrungen (d.h. kein Endlager in Staaten ohne Nuklearprogramm).
- Berücksichtigung ethischer Aspekte (Austausch bzw. Verrechnung von Risiken zwischen den beteiligten Ländern, keine „Ausbeutung der Armen“ durch Export in „Niedrigsicherheitsgebiete“ wie beispielsweise im internationalen Sondermüllgeschäft nicht unüblich, HENSING & SCHULZ 1995).

Als ein wesentliches Problem der Internationalisierung der Endlagerung wird die Herstellung der öffentlichen Akzeptanz gesehen. Diese muß nach KÜHN & BRENNECKE (1998) „politisch gewollt und technisch-wissenschaftlich erarbeitet werden“.

Bei einer näheren Betrachtung der in der Fachliteratur und sonstigen Veröffentlichungen angeführten Gründe für eine Internationalisierung der Endlagerung zeigt sich ein einfaches Begründungsmuster:

- Überraschendes Argument für die Internationalisierung sind die für alle Beteiligten zu erwartenden ökonomischen Vorteile. Dies gilt insbesondere für Länder mit relativ kleinen Atomprogrammen (z.B. Niederlande, Belgien, Schweiz, Slowakei, Ungarn), bei denen die Bereitstellung eines nationalen Endlagers zu verhältnismäßig sehr hohen Kosten führt.
- Da sich die Erstreckung geologischer Einheiten nicht an Ländergrenzen orientiert, können für die Endlagerung prinzipiell vorteilhafte Gesteinsvorkommen bzw. günstige geologische Standortsituationen umso eher gefunden werden, je größer der Suchraum ist. Ein mehrere Staaten umfassender Suchraum bietet insofern günstigere Voraussetzungen für die Identifizierung eines geeigneten Standortes. Hinzu tritt, daß die Konzentration weniger Endlagerstandorte gleichfalls prinzipielle (Sicherheits-)Vorteile mit sich bringt.
- Sämtliche anderen genannten Vorteile internationaler Endlagerlösungen sind demgegenüber von weit untergeordneter Bedeutung. Teilweise können sie nur als Reflex auf länderspezifische politische Verhältnisse aufgefaßt werden.
- Mögliche Einwände gegen eine Internationalisierung der Endlagerung treten bis auf die Akzeptanzproblematik gegenüber den tatsächlichen oder angeblichen Vorteilen deutlich in den Hintergrund. Zu diesen Problemfeldern gehören beispielsweise die Transportproblematik (längere Transportstrecken), unterschiedliche Umwelt- und Sicherheitsstandards sowie Ausgestaltung der Kontrollmöglichkeiten. Insbesondere fehlen weitgehend konkrete Hinweise, wie die oben formulierten Anforderungen bei der Internationalisierung der Endlagerung tatsächlich erfüllt bzw. umgesetzt werden können.

### **H-2.5.3 Schlußfolgerungen zur Internationalisierung der Endlagerung**

Aus heutiger Sicht sind internationale Endlager noch beträchtlich von der Realisierung entfernt, da die Umsetzung wesentlicher Anforderungen noch nicht geklärt ist. Deshalb sollten

Nachrichten, in denen zum Beispiel von „pazifischen Lösungen“ (z.B. Angebot der Marshall-Inseln, ein internationales Endlager einzurichten s. ATW 1995) oder ähnlichem berichtet wird, zumindest mit Skepsis aufgenommen werden. Interessanter sind die Vorschläge der IAEA zu „regionalen Endlagern“ sowie der EU zur Ausbildung eines „Solidaritätsprinzips“ im Bereich der Entsorgung (s. Kap. H-2.5.1). Insbesondere im EU-Rahmen ist denkbar, daß bei einer weiteren Angleichung von Sicherheitsstandards (z.B. EURATOM-Richtlinie zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle oder das Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle, vgl. UMWELT 1998) vor dem Hintergrund ökonomischer Überlegungen oder gar Zwänge zukünftig internationale Lösungen nicht völlig ausgeschlossen sind. Solche Lösungen werden sich vor allem auf hochaktive Abfälle bzw. abgebrannte Brennelemente konzentrieren, weniger auf schwach- und mittelaktive Abfälle. Hierbei ist insbesondere an eine Einbeziehung der Länder mit kleinen Atomprogrammen zu denken. In diesem Zusammenhang erscheint Deutschland eher als ein potentiell „Empfängerland“ radioaktiver Abfälle als ein „Geberland“. In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, daß ein EU-Land den Import radioaktiver Abfälle aus einem anderen EU-Land verweigern kann, ohne gegen das Gemeinschaftsrecht zu verstoßen (HIRCHE 1997).

Unter der Voraussetzung eines Ausstieges aus der Atomenergienutzung in Deutschland sind allerdings keine zwingenden Gründe erkennbar, vom bisherigen Prinzip der nationalen Verantwortlichkeit bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle abzugehen. Deutsche Abfälle sollten auch (und gerade) bei bzw. nach einem Ausstieg aus der Atomenergie in Deutschland endgelagert werden.

Auch ökonomische Gesichtspunkte sprechen nicht dagegen: Kommt es zu der in Kap. H-5.7 vorgeschlagenen Konzentration auf ein Endlager für alle radioaktiven Abfälle, dann ergeben sich gegenüber der derzeitigen Vorgehensweise (drei Endlager geplant bzw. in Betrieb) erhebliche Kostenvorteile (s. Kap. H-6.2). Die Kostenvorteile bleiben wahrscheinlich selbst dann noch bestehen, wenn auf alle drei bisherigen Endlagerstandorte verzichtet wird, eine neue Standortsuche für das eine zentrale Endlager durchgeführt wird und für dieses Endlager dann mit einer unter Kostengesichtspunkten optimierten Betriebszeit geführt wird.

Der denkbare und zusätzlich kostensenkende Einfluß eines Imports von Abfällen aus anderen Staaten (v.a. mit kleinem Atomprogramm) kann hier kein gewichtiges Argument sein, da der Ausstieg per se den Zweck hat, alle mit der Nutzung der Atomenergie in Deutschland verbundenen Gefahren zu minimieren. Diese Voraussetzung würde durch einen Import ausländischer Abfälle konterkariert.

Insofern ist unter der Voraussetzung des Ausstiegs aus der Atomenergienutzung in Deutschland eine internationale Endlagerlösung (Deutschland als Importeur und/oder Exporteur) weder notwendig noch sinnvoll. Vielmehr sollte der bisherige Weg der „nationalen Verantwortlichkeit“ beibehalten werden. Jedenfalls darf der Gesichtspunkt der (maximalen) Kostenminimierung nicht zum zentralen Handlungskriterium bei der Endlagerung werden.

## **H-3 Die radioaktiven Abfälle**

In diesem Kapitel werden alle radioaktiven Abfälle behandelt, die in der Bundesrepublik Deutschland mittel- oder unmittelbar durch den Betrieb von Leistungsreaktoren anfallen und auch entsorgt werden müssen. Dabei werden aus Praktikabilitätsgründen grundsätzlich auch die bestrahlten Brennelemente zu den radioaktiven Abfällen gezählt. Diese Zuordnung ist nach der offiziellen Terminologie nur zutreffend, wenn feststeht, daß die Brennelemente nicht wiederaufgearbeitet werden sollen. Andernfalls werden die Brennelemente offiziell als Reststoffe bezeichnet. Aufgrund der dieser Studie zugrundegelegten Ausgangsprämisse eines Ausstieges aus der Atomenergienutzung ist diese Unterscheidung bedeutungslos.

Es ist darauf hinzuweisen, daß dieses Kapitel eine Bestandsaufnahme für die radioaktiven Abfälle einschließlich einer Entwicklungsprognose für drei Ausstiegsszenarien auf Grundlage des gegenwärtigen Sachstandes enthält. Dies gilt insbesondere für die Nutzung von Zwischen- und Endlagerkapazitäten. Konzeptionelle Vorschläge für den übertägigen Umgang mit den Abfällen werden in Kapitel H-4 entwickelt.

### **H-3.1 Klassifizierung der radioaktiven Abfälle**

Radioaktive Abfälle werden in der Bundesrepublik hauptsächlich nach drei Kriterien klassifiziert: Nach ihrer Aktivitätskonzentration, nach ihrer Wärmeentwicklung oder nach ihrem Kernbrennstoffgehalt.

#### **Klassifizierung der Abfälle nach Aktivitätskonzentration**

Die radioaktiven Abfälle werden je nach Aktivitätskonzentration in schwach-, mittel- und hochaktiv eingeteilt. Die quantitative Abgrenzung ist der Abbildung H-3 zu entnehmen. Die Abgrenzung ist nicht diskret, sondern es gibt gewisse Überlappungsbereiche an den Übergängen von schwach- zu mittel- und von mittel- zu hochaktiven Abfällen. Die Klassifizierung hat allgemeinen Charakter und ist nicht in Richtlinien oder Verordnungen festgelegt.

#### **Klassifizierung der Abfälle nach Wärmeentwicklung**

Vor allem bezüglich der Endlagerung radioaktiver Abfälle wird als Kriterium für die Einteilung der Abfälle die durch den Zerfall von enthaltenen Radionukliden hervorgerufene Wärmeentwicklung herangezogen. Diese ist für das Verhalten des die Abfälle umgebenden Gesteins der Endlagerformation von Bedeutung. Es werden wärmeentwickelnde und gering wärmeentwickelnde Abfälle unterschieden. Auch die Abgrenzung dieser beiden Kategorien ist in bezug auf die Abfälle selbst weder durch einen bestimmten Zahlenwert gekennzeichnet, noch in Vorschriften definitiv festgelegt. Eine indirekte Festlegung erfolgt über das Einlagerungskriterium für die im atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren befindliche Schachanlage Konrad. Hier darf die Temperaturerhöhung des Gesteins an den Decken der Einlagerungskammern durch Einlagerung radioaktiver Abfälle nicht mehr als 3 K (3°C) betragen. Daraus läßt sich jedoch keine bestimmte Aktivitätskonzentration für einzelne Abfallgebände, sondern nur eine grobe Zuordnung ableiten. Diese Zuordnung ist ebenfalls in Abbildung H-3 dargestellt.

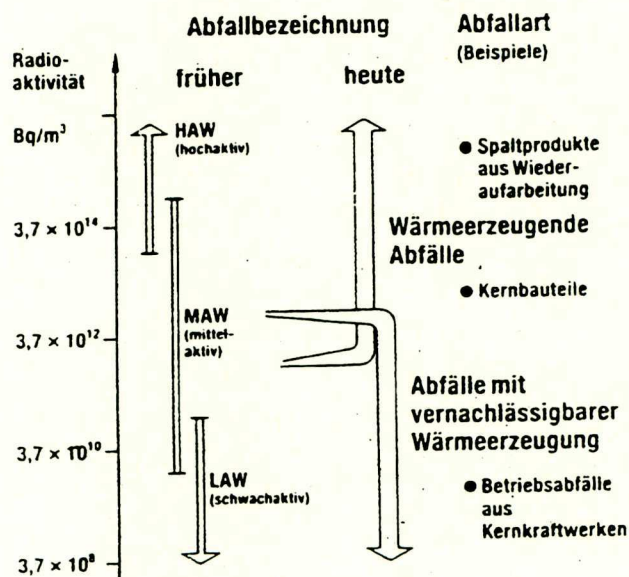


Abbildung H-3: Klassifizierung radioaktiver Abfälle (Quelle: ATW 1994)

### Klassifizierung der Abfälle nach Kernbrennstoffgehalt

Kernbrennstoffe im Sinne des § 2 AtG sind Stoffe, die Plutonium 239, Plutonium 241, Uran 233 und/oder Uran 235 in einer Menge von insgesamt mehr als 15 g oder mehr als 15 g pro 100 kg enthalten. Prinzipiell sind in allen Abfällen, die durch den Betrieb eines Kernspaltreaktors entstehen, Kernbrennstoffe enthalten. Deren Konzentration ist allerdings höchst unterschiedlich. Die Abfälle werden in drei Kategorien eingeteilt: Kernbrennstoffe, kernbrennstoffhaltige Abfälle und sonstige radioaktive Abfälle. Nach Strahlenschutzverordnung gelten Abfälle als sonstige radioaktive Abfälle, wenn sie gemittelt über 100 kg eine spezifische Aktivität für Kernbrennstoffe von weniger als 100 Bq/g bzw. einen Kernbrennstoffmassenanteil von weniger als  $10^{-5}$  der Gesamtmasse des Abfalles enthalten (§ 2 Abs. 2 StrlSchV). Kernbrennstoffhaltige Abfälle enthalten mehr Kernbrennstoff als sonstige radioaktive Abfälle, aber weniger als 15g Kernbrennstoff pro 100 kg Abfall bzw. weniger als 15g insgesamt.

Im praktischen Sinne hat diese Einteilung bei der Entsorgung für den jeweils heranzuziehenden Paragraphen aus AtG bzw. StrlSchV Bedeutung, nach dem der Umgang mit dem jeweiligen radioaktiven Abfall bzw. die Anlage, in der mit ihm umgegangen werden soll, beantragt und genehmigt werden muß. Darüber hinaus sind insbesondere bei radioaktiven Abfällen mit höherer Kernbrennstoffkonzentration bei der Entsorgung stärker Proliferationsgesichtspunkte, d.h. die Sicherung der Abfälle gegen Abzweigung von Kernbrennstoffen, zu beachten.

### **Beispiele für die Zuordnung von Abfällen**

Zum besseren Verständnis der Zuordnung radioaktiver Abfälle entsprechend den drei Kriterien sollen hier einige Beispiele benannt werden:

Die verglasten Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, im wesentlichen Spaltprodukte, und bestrahlte Leichtwasserreaktorbrennelemente sind hochaktiv, stark wärmeentwickelnd und gelten gesetzestechnisch als Kernbrennstoffe. Bestrahlte Hochtemperaturreaktorbrennelemente und Schlämme aus der Wiederaufarbeitung sind mittelaktiv, wärmeentwickelnd und gelten als Kernbrennstoffe bzw. kernbrennstoffhaltige Abfälle. Betriebsabfälle aus Atomanlagen sind schwachaktiv, gering wärmeentwickelnd und gelten in der Regel als sonstige radioaktive Abfälle, zum Teil aber auch als kernbrennstoffhaltige Abfälle.

### **H-3.2 Bestand an radioaktiven Abfällen**

In den 30 Jahren der kommerziellen Nutzung der Atomenergie zur Stromerzeugung sind in der Bundesrepublik Deutschland (alte und neue Länder) bisher insgesamt über 160.000 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle angefallen. Das beinhaltet schwach-, mittel- und hochaktive Betriebs- und Forschungsabfälle, bestrahlte Brennelemente sowie im Inland bereits entstandene Wiederaufarbeitungsabfälle. Nicht darin enthalten sind radioaktive Abfälle, die beim Abbau und der Aufbereitung des Uranerzes für die Herstellung der in der BRD eingesetzten Brennelemente entstehen. Ebenfalls nicht enthalten ist wiederaufgearbeitetes und abgereichertes Uran, das möglicherweise zu einem größeren Teil zu Abfall erklärt werden wird, sowie ein Teil der Strukturen und Komponenten von bereits stillgelegten Atomanlagen, die de facto bereits Abfälle sind, aber noch nicht als solche offiziell registriert sind.

In der Bundesrepublik werden bzw. wurden bereits angefallene radioaktive Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung untertägig im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) und im Endlager Asse endgelagert. Während in der Asse seit knapp 20 Jahren keine Abfälle mehr eingelagert werden und dies auch für die Zukunft nicht mehr beabsichtigt ist, ist im ERAM nach gegenwärtigem Stand noch für einige Jahre Einlagerungsbetrieb zu erwarten.

In der Tabelle H-1 werden die in Deutschland entstandenen radioaktiven Abfälle nach ihrem Zustand - Rohabfälle oder bereits konditionierte Abfälle - und nach der Höhe der in ihnen durch den radioaktiven Zerfall erzeugten Wärmeentwicklung aufgegliedert. Die hier als Rohabfall aufgeführten Volumina werden sich - mit Ausnahme der bereits im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) lagernden Abfälle - durch zukünftige Konditionierung noch verändern.

Für die in Tabelle H-1 aufgeführten nicht konditionierten bestrahlten Leichtwasserreaktorbrennelemente (Bundesrepublik incl. ehemalige DDR) ist bisher nicht entschieden, wie groß der Anteil sein soll, der als radioaktiver Abfall behandelt und damit der Direkten Endlagerung zugeführt werden soll. Die Angabe bezieht sich auf die neuesten veröffentlichten Daten aus der Länderumfrage für das BMU (BTD 1998).

Abfallart	gering wärmeentwickelnde Rohabfälle/Reststoffe	gering wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle	wärmeentwickelnde Rohabfälle/Reststoffe	wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle
bestr. Brennelemente	-	-	2.969 tSM	8,4 tSM
Wiederaufarbeitung (nur WAK)	148 m <sup>3</sup>	10.982 m <sup>3</sup>	79 m <sup>3</sup>	316 m <sup>3</sup>
Betriebsabfälle	23.315 m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>	19.621 m <sup>3</sup>	390 m <sup>3</sup>	ca. 200 m <sup>3</sup>
Forschungsabfälle	5.191 m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>	28.086 m <sup>3</sup>	-	156 m <sup>3</sup>
ERAM	8.260 m <sup>3</sup> <sup>2)</sup>	28.383 m <sup>3</sup> und 6.572 Quellen	-	467 Quellen
Asse	-	25.500 m <sup>3</sup>	-	-

1) In diesen Zahlen sind auch Reststoffe enthalten, die wiederverwertet werden sollen sowie Abfälle, die teilkonditioniert sind.

2) Diese Abfälle wurden in flüssigem Zustand in das Endlager eingebracht und dort zum größten Teil verfestigt.

**Tabelle H-1: Bestand radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland.**  
 (Stichtage: 31.12.1997 für unkonditionierte Brennelemente  
 (= wärmeentwickelnde Rohabfälle),  
 18.06.1998 für im ERAM endgelagerte Abfälle,  
 31.12.1995 für alle anderen Angaben)

Die Angaben zu den Abfallmengen der anderen Abfälle geben mit Ausnahme der in Morsleben bereits endgelagerten Abfälle (18.06.1998) den Stand vom 31.12.1995 in bundesdeutschen Lagern wieder. Das relativ alte Bezugsdatum liegt an der stark verzögerten Veröffentlichung der Daten. Die einzige belastbare Quelle, der die Abfallmengen für die gesamte Bundesrepublik zu entnehmen sind, ist die jährliche Abfallmengerhebung, die das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) im Auftrag des Bundesumweltministeriums erstellt. Die aktuellste Veröffentlichung dieser Art erschien im Sommer 1997 und beinhaltet die Abfallerhebung für das Jahr 1995 (BRENNECKE 1997). Unter Berücksichtigung der für Morsleben relevanten Daten dieser Quelle wurden die in der vorstehenden Tabelle für das ERAM aufgeführten Zahlen unter anderem aus Angaben in KONTEC (1997) abgeleitet.

Die in der Tabelle H-1 angegebenen Abfälle aus der Wiederaufarbeitung enthalten nur die in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) angefallenen Abfälle. Das heißt, ein weit- aus größerer Teil bereits angefallener Wiederaufarbeitungsabfälle befindet sich noch im Ausland und soll in den nächsten Jahren in die Bundesrepublik geliefert werden.

Auf eine detailliertere Analyse des Bestandes radioaktiver Abfälle wird an dieser Stelle verzichtet. Hierzu wird auf die Ausführungen in GRUPPE ÖKOLOGIE (1997) verwiesen.

### **H-3.3 Prognosen zum Anfall radioaktiver Abfälle und zu benötigten Lagerkapazitäten**

Die Betrachtungen zum prognostizierten Anfall und zu den Lagerkapazitäten für wärmeentwickelnde Abfälle werden getrennt für bestrahlte Leichtwasserreaktor-Brennelemente und die übrigen wärmeentwickelnden Abfälle vorgenommen.

Es werden Prognosen für drei Szenarien zur Betriebsdauer der Atomkraftwerke durchgeführt:

#### **Szenario 1 (Szenario Sofortausstieg):**

Sofortausstieg („Sofortausstiegs-Szenario“). Gesetzte Randbedingungen: Abschaltung aller Atomkraftwerke zur fälligen Revision im Jahr 1999.

#### **Szenario 2 (Szenario 2004):**

Auf Vorschlag des Staatssekretärs im Hessischen Umweltministerium im Rahmen eines Ausstiegsgesetzes diskutiertes Szenario. Gesetzte Randbedingungen: Abschaltung der Atomkraftwerke 25 Jahre nach der ersten Inbetriebnahme, jedoch frühestens 1 Jahr bzw. spätestens 5 Jahre nach Inkrafttreten des Ausstiegsgesetzes im Jahr 1999 (BAAKE 1998). Danach würde 2004 das letzte Kraftwerk abgeschaltet.

#### **Szenario 3 (BfS-Szenario):**

Grundlage für dieses Szenario ist der BfS-Prognosezeitraum für Abfälle. Der Name des Szenarios soll auf die Berücksichtigung bestimmter BfS-Annahmen hindeuten. Das BfS selbst betrachtet keine Ausstiegsszenarien. Gesetzte Randbedingungen: Abschaltung aller Atomkraftwerke im Jahr 2010, höchstens aber 40 Jahre Laufzeit.

Für alle drei Szenarien wird davon ausgegangen, daß bei der Wiederaufarbeitung von bundesdeutschen Kernbrennstoffen nur die sogenannten Altverträge (s. Kap. H-4.3.1.1) abgearbeitet und die vereinbarten Abfallmengen in die Bundesrepublik gebracht werden. Die Einstellung der Wiederaufarbeitung nach Abarbeitung der Altverträge - und nicht der sofortige Wiederaufarbeitungsstopp - wird hier gewählt, da für dieses Szenario zuverlässige Zahlen für die Prognosen berücksichtigt werden können. Für den Anfall wärmeentwickelnder Abfälle aus Forschung und kerntechnischer Industrie sind die Prognoseangaben aus HOLLMANN (1998) Grundlage.

Diese drei Szenarien wurden gewählt, weil mit ihnen die Bandbreite aufgespannt wird, innerhalb der sich der Anfall radioaktiver Abfälle aus der Nutzung der Atomenergie zur Stromerzeugung bei dem hier zugrundegelegten Prognosezeitraum entwickeln kann. Eine Prognose über diesen Zeitraum hinaus erübrigt sich, weil dann die dieser Studie zugrundeliegende Rahmenbedingung des Ausstiegs verlassen würde. Bei der Diskussion vorhandener Lagerkapazitäten (s. H-3.3.2, H-3.3.4, H-3.3.6) wird aber punktuell auf entsprechende Auswirkungen eingegangen.

### H-3.3.1 Mengenprognosen für bestrahlte Brennelemente

Für die Prognose der noch anfallenden und in der Bundesrepublik zu entsorgenden Brennelemente wird, unabhängig von einem wünschenswerten sofortigen Stopp, davon ausgegangen, daß die 1990 zwischen den bundesdeutschen Energieversorgungsunternehmen (EVU) und COGEMA bzw. BNFL über die Gesamtmenge von 3045 tSM abgeschlossenen Verträge (Neuverträge) zur Wiederaufarbeitung gekündigt werden. Auf die Möglichkeiten hierzu wird in Kapitel H-4.3.1.1 näher eingegangen. Unabhängig von den vertraglichen und rechtlichen Randbedingungen für die Stornierung der Wiederaufarbeitung im Rahmen der Neuverträge, ist dies - über die Gesamtmengen betrachtet - nach gegenwärtigem Kenntnisstand immer noch umsetzbar. Mit den bis Ende 1997 ins Ausland transportierten Brennelementen sind die Altverträge nicht ausgeschöpft. Von den vereinbarten Vertragsgesamtmengen (einschließlich der wahrgenommenen Optionen) sind bezüglich COGEMA noch 298 tSM und BNFL noch 359 tSM offen<sup>\*</sup>. Es besteht jedoch unmittelbarer Handlungsbedarf, um die Wiederaufarbeitung nach Neuverträgen nicht anlaufen zu lassen und weitere Transporte von Brennelementen nach La Hague und Sellafield so schnell wie möglich zu unterbinden.

Für jedes einzelne Atomkraftwerk kann die Situation bezüglich noch offener Vertragsmengen von der Gesamtsituation abweichen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß unter der Voraussetzung der Begrenzung der Wiederaufarbeitung auf die Altverträge in gewissem Umfang eine Verlagerung von Wiederaufarbeitungscontingenten von einem Kraftwerk auf ein anderes - vom gleichen EVU betriebenes Kraftwerk - möglich ist (PREUSSENELEKTRA 1997). Auch wenn hierzu im Einzelfall keine Möglichkeit bestehen sollte, wird die konzeptionelle Gesamtbetrachtung dadurch nicht wesentlich beeinflusst.

Mit dem Ansatz „Wiederaufarbeitung nur entsprechend Altverträgen“ wird in den Prognoseergebnissen die höchstmögliche in der Bundesrepublik zur Entsorgung anfallende Brennelementmenge berücksichtigt. Für die benötigten Kapazitäten für Zwischen- und Endlagerung ist damit ein konservativer Ansatz gewählt. Diese Aussage ist nur um wenige tSM zu relativieren, wenn ein Stopp der Wiederaufarbeitung noch im Laufe des Jahres 1999 gelingen sollte.

Auf Basis der Angaben in GRS (1997a) und BTD (1998) läßt sich der Anfall von bestrahlten Brennelementen für die Zukunft abschätzen. Es wird der individuelle Anfall von bestrahlten Brennelementen für die entsprechend der Szenarien verbleibende Laufzeit der jeweiligen Reaktoren und deren Kernbeladung berücksichtigt.

#### Szenario 1 (Sofortausstieg):

Bei Abschaltung aller Atomkraftwerke im Jahr 1999 fallen noch insgesamt 2.317 tSM in bestrahlten Brennelementen an.

#### Szenario 2 (Szenario 2004):

Bei einer gestaffelten Abschaltung der Atomkraftwerke nach BAAKE (1998), mit dem Abschalten der letzten 11 Reaktoren im Jahr 2004 fallen noch insgesamt 4.239 tSM in bestrahlten Brennelementen an.

---

<sup>\*</sup> Die hier genannten noch offenen Vertragsmengen haben sich durch die Brennelementtransporte nach La Hague und Sellafield seit Anfang 1998 geringfügig verringert.

Szenario 3 (BfS-Szenario):

Bei Abschaltung des Kernkraftwerkes Obrigheim im Jahr 2009 und aller übrigen 18 Atomkraftwerke im Jahr 2010 fallen noch insgesamt 7.280 tSM in bestrahlten Brennelementen an.

Ohne die nach (Alt-)Verträgen von vor 1989 wiederaufzuarbeitenden Brennelemente und die zur endgültigen Lagerung ins Ausland (nach Schweden und Rußland) verbrachten Brennelemente liegt der Bestand (ohne Reaktorkernbeladungen) in der Bundesrepublik Anfang 1998 bei ca. 2.008 tSM. Danach ergeben sich für die drei Szenarien die in Tabelle H-2 aufgeführten prognostizierten Brennelementmengen.

	Szenario 1 „Sofortausstieg“	Szenario 2 „Szenario 2004“	Szenario 3 „BfS-Szenario“
Anfall bis AKW-Betriebsende	2.317 tSM	4.239 tSM	7.280 tSM
zu entsorgender Bestand	2.008 tSM	2.008 tSM	2.008 tSM
gesamt	4.325 tSM	6.247 tSM	9.288 tSM

**Tabelle H-2: In der Bundesrepublik zu entsorgende bestrahlte Brennelemente.**  
(Prognose mit Ausgangsbasis 31.12.1997)

Es ist zu berücksichtigen, daß sich die prognostizierten Mengen für die Szenarien 2 und 3 in Abhängigkeit von der Durchführung der in den einzelnen Kraftwerken geplanten Abbrand-erhöhungen noch verringern werden. Dies gilt natürlich auch, wenn es (wie in der Vergangenheit) zu unvorhergesehenen längeren Stillständen von Reaktoren kommen sollte.

Von offizieller Seite (Atomenergieindustrie und Bundesregierung) sind zum Anfall von bestrahlten Brennelementen in bundesdeutschen Reaktoren nur zwei Prognosen der Vereinigten deutschen Elektrizitätswerke (VdEW) bekannt.

Die eine Prognose ist bereits älteren Datums und stammt aus dem Jahr 1989 (VdEW 1989). Als Randbedingung wird dort eine 35 jährige Betriebszeit für die Reaktoren angenommen. Es werden Prognosen für Szenarien mit und ohne Ersatzbau von Kraftwerken durchgeführt. Das VdEW-Szenario ohne Ersatzbau ist vergleichbar mit dem „BfS-Szenario“ in dieser Studie. Im Ergebnis kommt VdEW bis zum Jahr 2010 unter Einbeziehung aller bisher angefallener Brennelemente zu einer Menge von 12.601 tSM. Unter Berücksichtigung der im Ausland entsorgten Brennelemente, der bei VdEW aufgrund der längeren Betriebszeiten nur zum geringen Teil enthaltenen Reaktorkernbeladungen sowie der unterstellten Abbrandentwicklung, zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Brennelementmengen zwischen den VdEW-Angaben und dem „BfS-Szenario“.

Von einer neuen Prognose der VdEW wird in BRENNECKE (1997) berichtet. Es werden wieder Szenarien mit und ohne Ersatzbau von Atomkraftwerken zugrundegelegt. Allerdings dieses Mal mit einer Betriebszeit von 50 Jahren. Leider werden keine Ergebnisse der VdEW-Prognose referiert. Auf die schriftliche Bitte der Gruppe Ökologie um Überlassung der Prognose reagierte die VDEW mit der Zusendung einer allgemein gehaltenen Broschüre zur

Entsorgung. Die von VDEW zur Verfügung gestellten Informationen haben jedoch zu keinen zusätzlichen Erkenntnissen verholfen.

### **H-3.3.2 Prognose der Zwischenlagerkapazität für Brennelemente**

#### **Zwischenlager**

Auf die Genehmigungssituation für Brennelement-Zwischenlagerkapazitäten wird in Kapitel H-4.3.2.3 näher eingegangen. Zusammengefaßt stellt sich die derzeitige Situation für die Zwischenlagerkapazitäten von bestrahlten Brennelementen wie folgt dar:

Die für bestrahlte bzw. abgebrannte Brennelemente genehmigte Lagerkapazität verteilt sich auf interne Lagerbecken an den Reaktorblöcken (ohne die Lagerbecken in Würzgassen und Mühlheim-Kärlich) mit 6.562 tSM (davon am 31.12.1997 noch frei 2.022 tSM) sowie die externen Lager in Gorleben (3.800 tSM), Ahaus (3.960 tSM) und Greifswald (620 tSM, Genehmigung wird 1998 erwartet) mit insgesamt 8.380 tSM. Für das zentrale Brennelement-Zwischenlager in Ahaus (BZA) war ursprünglich eine Kapazitätserweiterung auf 4.200 tSM beantragt, mit deren Genehmigung noch zu rechnen ist. Außerdem läuft ein sehr weit fortgeschrittenes Genehmigungsverfahren für die Inbetriebnahme eines externen Naßlagers am AKW-Standort Obrigheim für 283 tSM und es wurde jüngst eine Kapazitätserhöhung für das Lagerbecken des Kernkraftwerkes Emsland um 151 tSM beantragt. Die Kapazität für das Zwischenlager Nord (ZLN) in Greifswald soll nach bisherigen offiziellen Aussagen allerdings nur für die WWER-Brennelemente aus Greifswald und Rheinsberg genutzt werden.

Im Transportbehälterlager Gorleben (TBL) lagerten im Juni 1998 auf 5 Stellplätzen Brennelementbehälter mit 39 tSM. Unter Berücksichtigung der geplanten Einlagerung von Behältern mit HAW-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung im In- und Ausland sowie der zulässigen Gesamtwärmeabfuhr könnten bei guter Vorausplanung noch ca. 245 CASTOR V-Behälter mit ca. 2.450 tSM in das TBL eingelagert werden. Von den im BZA zur Verfügung stehenden 420 Stellplätzen sind 50 durch die HTR-Brennelemente belegt. Die übrigen 370 Plätze können bei guter Vorausplanung mit maximal 3.700 tSM in CASTOR V-Behältern belegt werden. Zur Zeit steht damit real eine Kapazität von 13.332 tSM der insgesamt genehmigten Kapazität von 14.942 tSM zur Verfügung. Bei Genehmigung der noch beantragten Kapazitäten, die im Genehmigungsverfahren bereits weit fortgeschritten sind (Ahaus und Obrigheim), erhöht sich die zur Verfügung stehende Kapazität um 523 tSM. Unter der Voraussetzung, daß die angeführten Lagerungs- und Erweiterungsmöglichkeiten genutzt werden und die nach 1989 abgeschlossenen Wiederaufarbeitungsverträge (Neuverträge) gekündigt werden, ergeben sich für die drei Szenarien (s. H-3.3.1) folgende Situationen:

#### Szenario 1 (Sofortausstieg):

Die Lagerkapazitäten in den Lagerbecken der Reaktoren reichen mit zwei Ausnahmen für die Aufnahme aller anfallenden Brennelemente (einschließlich Reaktorbeladungen) aus. Für die

Atomkraftwerke in Stade (KKS) und Philippsburg ergäbe sich ein Überhang von wenigen tSM, der extern gelagert werden müßte\*).

Die zentrale Lagerkapazität in Ahaus und Gorleben würde andererseits ausreichen, um alle Brennelemente aufzunehmen, die entsorgt werden müssen. Dies wäre beispielsweise bei einer zügigen Stilllegung der Reaktoren zu beachten.

#### Szenario 2 (Szenario 2004):

Für sechs Reaktoren reichen die internen Lagerkapazitäten auch für dieses Ausstiegsszenario aus. Aus den anderen Reaktoren müßten ca. 800 tSM extern gelagert werden. Diese verbleibende Kapazität könnte von einem der beiden zentralen Zwischenlager aufgenommen werden.

Die zentrale Lagerkapazität in Ahaus und Gorleben reicht in diesem Szenario nicht mehr aus, um alle Brennelemente aus den Kraftwerken aufzunehmen. Für ca. 100 tSM wäre keine Kapazität mehr vorhanden und müßte, um die Stilllegung der Reaktoranlagen nicht zu behindern, neu geschaffen werden.

#### Szenario 3 (BfS-Szenario):

Die interne Lagerkapazität reicht noch für einen Reaktor (Isar I). Bei Berücksichtigung des im Genehmigungsverfahren befindlichen externen Lagerbeckens am Standort Obrigheim auch für diesen. Aus allen anderen Reaktoren müßten insgesamt etwa 3.550 tSM extern gelagert werden. Die zentrale Lagerung müßte entweder vollständig im BZA erfolgen oder auf die beiden externen Lager (BZA und TBL) verteilt werden.

Um alle Brennelemente extern lagern zu können, müßte ein weiteres zentrales Zwischenlager mit einer Kapazität von ca. 3.100 tSM errichtet werden.

Die Betrachtungen für die drei Ausstiegsszenarien zeigen, daß bei zentraler Zwischenlagerung auf jeden Fall Transporte von Kraftwerken zu mindestens einem dieser Zwischenlager notwendig sind. Für das Szenario 1 ist die Zahl der Transporte allerdings sehr gering. Die Situation für einzelne Kraftwerke kann sich bei einer detaillierten Aufschlüsselung der Wiederaufarbeitungsverträge verändern. Es ist möglich, daß für die Szenarien 2 und 3 die interne Lagerkapazität weiterer Reaktoren für die kurzfristige Lagerung ausreichen. Andererseits wäre möglich, daß von einzelnen Reaktoren bereits über die Altverträge hinaus Brennelemente zu den Wiederaufarbeitungsanlagen transportiert wurden, die dann zurückgenommen werden müßten.

Für alle drei Szenarien ergibt sich bei Nutzung von Lagerbecken und Behälterlager für den gegenwärtigen Genehmigungsstand bis 2010 eine ausreichende Lagerkapazität für bestrahlte Brennelemente. Sollen jedoch zwecks Entfernung aller Brennelemente aus den Lagerbecken nur externe Lager genutzt werden, muß bei nicht vollziehbarem Sofortausstieg für die Szenarien 2 und 3 auf jeden Fall zusätzliche zentrale Lagerkapazität geschaffen werden.

---

\* Im KKS besteht die Möglichkeit für die Nutzung von Zusatzpositionen zur Zwischenlagerung, die für den Überhang ausreichen würden. Die Entscheidung über eine Wahrnehmung dieser Möglichkeit muß jedoch unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Aspekte getroffen werden.

In Abgrenzung zu den vorstehenden Kapazitätsbetrachtungen unter Berücksichtigung des gegenwärtig verfolgten Konzeptes und des gesamten Genehmigungsstandes, wird in Kapitel H-4.3.2.2 die Umsetzbarkeit einer dezentralen Zwischenlagerstrategie unter Berücksichtigung der Lagerkapazitäten an den Reaktorstandorten betrachtet.

**Hinweis:**

Um die Reichweite der Zwischenlagerkapazität aufzuzeigen, soll hier noch ein Extremszenario betrachtet werden. Die genehmigte Zwischenlagerkapazität (intern und extern) würde unter der Annahme einer unbegrenzten Laufzeit aller derzeit in Betrieb befindlichen Atomkraftwerke und einer jährlichen Entlademenge von 450 tSM bis zum Jahr 2017 ausreichen. Wird eine gleichbleibende Belegung der Lagerbecken unterstellt, deckt die noch vorhandene externe Lagerkapazität den Bedarf bis zum Jahr 2010 ab. Bei einer Fortschreibung der Atomenergienutzung besteht damit gegenwärtig aus Sicht der EVU weder die Notwendigkeit neue Lagerkapazitäten zu schaffen, noch die Wiederaufarbeitung nach Neuverträgen durchführen zu lassen.

**Endlager**

Bei der Einlagerung bestrahlter Brennelemente in ein Endlager ist deren Nachzerfallswärme zu beachten. Entstehen in einem Brennelement-Abfallgebinde bzw. um dieses herum zu hohe Temperaturen, kann dies zur Beeinträchtigung der Funktion technischer Barrieren sowie der umgebenden geologischen Barriere führen.

Daher können stark wärmeentwickelnde Abfälle erst nach einer gewissen Abklingzeit in ein Endlager eingelagert werden. Die Länge dieser Abklingzeit ist für bestahlte Brennelemente von ihrem Abbrand und von der Art des Kernbrennstoffs (Uran oder MOX) abhängig. Nach gegenwärtigem Sachstand soll sie zwischen 20 und 50 Jahren betragen.

Der Standort für ein Endlager, in dem bestrahlte Brennelemente eingelagert werden können, ist noch nicht festgelegt. Der nach Plänen der Bundesregierung vorgesehene Salzstock in Gorleben (s. Kapitel H-5.6.2) gilt nach Meinung der Bundesregierung als „eignungshöflich“. Dieser Salzstock soll für alle Arten radioaktiver Abfälle genutzt werden.

Die Einlagerungskapazität des Salzstockes Gorleben beträgt nach gegenwärtigem Stand größenordnungsmäßig 500.000 m<sup>3</sup> Abfallgebindevolumen (der Salzstock Gorleben wird hier angeführt, um ein Endlagervolumen beispielhaft zu benennen). Wird für die Bestimmung des für die zur Direkten Endlagerung vorgesehenen Brennelemente benötigten Abfallgebindevolumens die Relation nach MERZ (1994) angesetzt (2 m<sup>3</sup>/tSM), so beträgt das Gebindevolumen für die drei Szenarien etwa zwischen 9.000 und 19.000 m<sup>3</sup>. Das für die Endlagerung benötigte Salzstockvolumen ist zwar erheblich größer als das Gebindevolumen, aber für die genannten Mengen nach gegenwärtigem Kenntnisstand bei einem Endlager der Größe Gorlebens nicht kritisch. Bei einem Betrieb der Atomkraftwerke über den hier betrachteten Zeithorizont hinaus könnte sich - bei Annahme einer Einlagerungskapazität, wie sie für Gorleben angenommen wird - allerdings die Notwendigkeit ergeben, ein zusätzliches Endlager für heiße Abfälle bereitzustellen.

### **H-3.3.3 Mengenprognosen für wärmeentwickelnde Abfälle (ohne Brennelemente)**

Die folgenden Prognosen für die drei Szenarien wurden auf Grundlage der Abfallerhebung des BfS vorgenommen. Für wärmeentwickelnde Abfälle (ohne Leichtwasserreaktor-Brennelemente aus den alten Bundesländern, s. H-3.1) wird vom BfS bis zum Jahr 2010 ein Anfall von  $9.300 \text{ m}^3$  prognostiziert (BRENNECKE 1997). Davon werden knapp  $5.100 \text{ m}^3$  den Abfällen aus der Wiederaufarbeitung im Ausland zugesprochen. Außerdem sind Hochtemperaturreaktor-Brennelemente sowie Brennelemente aus Greifswald und Rheinsberg enthalten. Es ist BRENNECKE (1997) jedoch nicht zu entnehmen, welches Volumen für diese Brennelemente angesetzt wurde. Auch wieviel wärmeentwickelnde Abfälle ansonsten in Atomanlagen in der Bundesrepublik entstehen wird nicht ausgeführt.

Die Ausführungen zum Prognosevorgehen des BfS für die wärmeentwickelnden Abfälle in BRENNECKE (1997) sind ebenfalls sehr dürftig. Daher sind auch die hier vorgenommenen Abschätzungen mit einigen Unsicherheiten verbunden, die aber aufgrund des relativ geringen Abfallvolumens, das (ohne Brennelemente) in deutschen Anlagen anfällt, keine gravierenden Auswirkungen auf die Gesamtsituation wärmeentwickelnder Abfälle haben dürften. Das Ende 1995 vorhandene Ausgangsvolumen für die Abschätzung beträgt ca.  $1.600 \text{ m}^3$ . Darin enthalten sind Hochtemperaturreaktor-Brennelemente, aber keine Wiederaufarbeitungsabfälle. Der jährliche Anfall beim Betrieb eines Atomkraftwerkes wurde mit  $2 \text{ m}^3$  angesetzt (SCHWARZ 1997).

Das Volumen für die HAW-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung im Ausland bleibt für alle drei Szenarien gleich. Die oben genannten  $5.100 \text{ m}^3$  erhöhen sich noch durch die Kokillen aus der Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe und ggf. durch einen Tausch von Abfällen in Sellafield (siehe Kapitel H-4.3.1.3). Die Erhöhung beträgt insgesamt weniger als  $200 \text{ m}^3$ . Das Volumen für die wärmeentwickelnden Wiederaufarbeitungsabfälle sowie die für die drei Szenarien ermittelten Gesamtvolumina wärmeentwickelnder Abfälle sind in Tabelle H-3 zusammengefaßt.

#### Szenario 1 (Sofortausstieg):

Bei Abschaltung aller Atomanlagen im Jahr 1999 würde sich für die wärmeentwickelnden Abfälle ohne Wiederaufarbeitung ein Bestand von  $1.720 \text{ m}^3$  ergeben.

#### Szenario 2 (Szenario 2004):

Bei Abschaltung der letzten Reaktoren 2005 würde sich für die wärmeentwickelnden Abfälle ohne Wiederaufarbeitung ein Bestand von  $2.040 \text{ m}^3$  ergeben.

#### Szenario 3 (BfS-Szenario):

Bei Abschaltung aller Atomanlagen im Jahr 2010 (Ausnahme: Kernkraftwerk Obrigheim bereits 2008) würde sich für die wärmeentwickelnden Abfälle ohne Wiederaufarbeitung ein Bestand von  $2.340 \text{ m}^3$  ergeben.

	Szenario 1 „Sofortausstieg“	Szenario 2 „Szenario 2004“	Szenario 3 „BfS-Szenario“
Anfall in der Bundesrepublik	1.720 m <sup>3</sup>	2.040 m <sup>3</sup>	2.340 m <sup>3</sup>
Anfall bei Wiederaufarbeitung	5.300 m <sup>3</sup>	5.300 m <sup>3</sup>	5.300 m <sup>3</sup>
Gesamt	7.020 m <sup>3</sup>	7.340 m <sup>3</sup>	7.640 m <sup>3</sup>

**Tabelle H-3: Prognostizierter Anfall wärmeentwickelnder Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland bis 2010**  
(Prognosegrundlagen BRENNECKE 1997 und HOLLMANN 1998)

Der Tabelle H-3 ist zu entnehmen, daß sich die Abfallmengen für die drei Szenarien nicht sehr stark unterscheiden. Dies liegt zum einen an dem relativ geringen jährlichen Anfall an wärmeentwickelnden Betriebsabfällen und zum anderen an dem sehr hohen, für alle Szenarien gleichen Sockelbetrag aus Wiederaufarbeitungsabfällen und Hochtemperaturreaktor-Brennelementen.

### H-3.3.4 Lagerkapazitätsprognosen für wärmeentwickelnde Abfälle (ohne Brennelemente)

#### Zwischenlager

Für die aus der Wiederaufarbeitung resultierenden Glaskokillen (Karlsruhe und Altverträge Ausland) ist die benötigte Zwischenlagerkapazität abgedeckt. Nach gegenwärtigem Stand wird es sich um etwa 140 - 160 Behälter handeln. Hierfür besitzt das TBL seit Anfang Juni 1995 eine Lagergenehmigung.

Die wärmeentwickelnden Hochtemperaturreaktor-Brennelemente lagern im BZA bzw. in einem Lager des Forschungszentrums Jülich. Es fallen keine weiteren Brennelemente an. Der Bedarf an Lagerkapazität für wärmeentwickelnde Abfälle dieser Art ist damit ebenfalls gedeckt.

Über die Zwischenlagerkapazitäten für die übrigen radioaktiven Abfälle mit Wärmeentwicklung liegen unzureichende und zum Teil widersprüchliche Informationen vor. In BRENNECKE (1997) wird lediglich die Aussage gemacht, daß der momentane Ausnutzungsgrad der Zwischenlagerkapazitäten für diese Abfälle mit dem der gering wärmeentwickelnden Abfälle (37%) vergleichbar ist. Angaben zu Lagerkapazitäten an den Kraftwerksstandorten sind nicht zu entnehmen. Möglicherweise wird als einziges Zwischenlager dasjenige im Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) in Betracht gezogen (HOLLMANN 1998). Dieses Lager für wärmeentwickelnde Abfälle hat laut BMU 1995b eine Kapazität von ca. 13.000 m<sup>3</sup>. In der Antwort auf eine Anfrage der Gruppe Ökologie beim FZK wurde ein Zwischenlager mit dieser Kapazität jedoch nicht aufgeführt (FZK 1998). Die Nutzung der FZK-Zwischenlager für im FZK zu konditionierende bzw. bereits konditionierte Abfälle von Verursachern außerhalb des Forschungszentrums ist grundsätzlich möglich.

## Endlager

Für die Endlagerung der HAW-Kokillen sind die gleichen Probleme wie für die Brennelemente zu beachten (s. H-3.3.2). Daraus folgt für die Kokillen eine Abklingzeit vor der Einlagerung von mehr als 30 Jahren. Die anderen wärmeentwickelnden Abfälle könnten auch früher endgelagert werden.

Die Endlagerung der HAW-Kokillen ist genau wie für die Brennelemente in Gorleben vorgesehen. Kapazitätsmäßig ist dies bei Unterstellung der drei Szenarien kein Problem. Bei einem Weiterbetrieb der Atomkraftwerke gelten jedoch die gleichen Vorbehalte wie für die Brennelemente.

Im ERAM ist die Endlagerung der hier zur Diskussion stehenden wärmeentwickelnden Abfälle prinzipiell nicht möglich. Für Konrad gilt mit Ausnahme einiger Grenzfälle nach gegenwärtiger Antragstellung das gleiche.

### H-3.3.5 Mengenprognosen für gering wärmeentwickelnde Abfälle

Das BfS prognostiziert jährlich auf Basis von Betreiberangaben den Anfall radioaktiver Abfälle (mit Ausnahme der Brennelemente). Danach hat sich das erwartete Gesamtvolumen in den letzten Jahren drastisch verringert. Wurden 1983 von der Bundesregierung bis zum Jahr 2000 für die damalige Bundesrepublik noch 327.800 m<sup>3</sup> prognostiziert (BMI 1983), so wurden 1997 vom BfS (auf Basis der Abfallmengenerhebung für 1995) für die Bundesrepublik einschließlich der neuen Bundesländer "nur" noch 103.300 m<sup>3</sup> angegeben (BRENNECKE 1997). Seit der auf das Jahr 1992 bezogenen Abfallerhebung wird die Prognose bis zum Jahr 2010 durchgeführt. Bezüglich des Prognosejahres 2010 hat sich das geschätzte Volumen von 267.100 m<sup>3</sup> (HOLLMANN 1994) auf 168.800 m<sup>3</sup> (BRENNECKE 1997) verringert.

Den größten Verursacheranteil (auf das Volumen bezogen) bei der auf Basis der Daten von 1995 prognostizierten Menge stellen, mit fast der Hälfte am Gesamtaufkommen, die Atomkraftwerke. Zweitgrößter Verursacher sind die Forschungseinrichtungen, gefolgt von der Wiederaufarbeitung und der übrigen kerntechnischen Industrie. Der drastische Rückgang des geschätzten Abfallaufkommens wird vor allem durch den Anteil der aus der Abarbeitung der vor 1989 abgeschlossenen Wiederaufarbeitungsverträge (Altverträge) stammenden Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung verursacht. Diese Reduzierung der Abfallmengen aus der Wiederaufarbeitung gegenüber früheren Prognosen wird einer veränderten Verfahrenstechnik bei der Wiederaufarbeitung sowie einer veränderten Konditionierungstechnik für die Abfälle (s. Kapitel H-4.3.1.3) zugeschrieben. Bezüglich der auf das Jahr 2010 durchgeführten Prognosen (siehe oben) beträgt der Rückgang allein bei den Wiederaufarbeitungsabfällen ca. 73.000 m<sup>3</sup> und macht damit etwa 75% des Gesamtrückganges aus. Das verbleibende, in der Bundesrepublik zwischen- und endzulagernde Volumen der gering wärmeentwickelnden Wiederaufarbeitungsabfälle beträgt 29.847 m<sup>3</sup> (HOLLMANN 1998). Es bleibt anzumerken, daß der Abfallanteil aus der Wiederaufarbeitung stark ansteigen würde, wenn über die Altverträge hinaus aufgearbeitet würde.

Den Prognosen für die radioaktiven Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung in dieser Studie werden bzgl. der Atomkraftwerksbetriebszeiten die gleichen Szenarien wie in Kapitel H-3.3 zugrundegelegt. Ergänzend wurden für die Anlagen der kerntechnischen Industrie (z.B. Versorgungsanlagen zur Anreicherung oder Brennelementherstellung) und Forschungsanlagen grobe Betriebsbedarfsabschätzungen vorgenommen und insgesamt folgende Festlegungen getroffen:

Szenario 1 (Sofortausstieg):

- Stilllegung aller Atomkraftwerke im Jahr 1999.
- Wiederaufarbeitung entsprechend den Altverträgen.
- Stilllegung aller Anlagen der kerntechnischen Industrie 1999.
- Einstellung der Reaktorforschung in den Forschungsanlagen 1999 und Beschränkung der Arbeiten auf Stilllegung und Entsorgung der Atomanlagen bis 2020 (Berücksichtigung von 1/4 des vom BfS prognostizierten jährlichen Abfallanfalls).

Szenario 2 (Szenario 2004):

- Stilllegung der Atomkraftwerke nach einer Laufzeit von maximal 25 Jahren, frühestens 1 Jahr bzw. spätestens 5 Jahre nach Inkrafttreten des Ausstiegsgesetzes 1999.
- Wiederaufarbeitung entsprechend den Altverträgen.
- Stilllegung aller Anlagen der kerntechnischen Industrie 2005.
- Beschränkung der Reaktorforschung in den Forschungsanlagen auf die Hälfte bis 2005. Ab 2005 bis 2020 Beschränkung der Arbeiten auf Stilllegung und Entsorgung der Atomanlagen (Berücksichtigung von 1/4 des vom BfS prognostizierten jährlichen Abfallanfalls).

Szenario 3 (BfS-Szenario):

- Stilllegung der Atomkraftwerke im Jahr 2010, spätestens aber nach 40 Jahren Laufzeit.
- Wiederaufarbeitung entsprechend den Altverträgen.
- Stilllegung aller Anlagen der kerntechnischen Industrie 2007.
- Beschränkung der Reaktorforschung in den Forschungsanlagen auf die Hälfte bis 2005. Ab 2005 bis 2020 Beschränkung der Arbeiten auf Stilllegung und Entsorgung der Atomanlagen (Berücksichtigung von 1/4 des vom BfS prognostizierten jährlichen Abfallanfalls).

Ausgangsbasis der Prognosen für diese drei Szenarien ist der Bestand gering wärmeentwickelnder Abfälle in BRENNECKE (1997). Der dort ebenfalls angegebene zukünftig erwartete Abfallanfall für die kerntechnische Industrie und die Forschungsanlagen bildet die Grundlage für die Abschätzungen im Rahmen der hier betrachteten drei Szenarien. Dabei wird grob unterstellt, daß etwa 1/4 der in den Forschungsanlagen anfallenden Abfälle bei Stilllegungs- und Entsorgungsprojekten anfällt. Für den Betrieb der Atomkraftwerke in der Bundesrepublik wurde von einem durchschnittlichen jährlichen Abfallanfall von 90 m<sup>3</sup> ausgegangen (WARNECKE 1993). Dies ist für die Zukunft unter Berücksichtigung moderner Konditionierungsmethoden ein realistischer Ansatz.

In dem in BRENNECKE (1997) prognostizierten Abfallanfall für die Atomkraftwerke sind bis zum Jahr 2010 ca. 42.000 m<sup>3</sup> Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung aus Stilllegung und Abriß enthalten. Dabei sind alle in der Bundesrepublik (alte und neue Länder) bis 1994 endgültig abgeschalteten Versuchs-, Demonstrations- und Leistungsreaktoren berücksichtigt (HOLLMANN 1994). Da die Abbauphase der Reaktorblöcke in Greifswald über das Jahr 2010 hinausgeht, dürften hier auch für eine über dieses Jahr hinausgehende Prognose noch Abrißabfälle zu berücksichtigen sein.

Die für die drei Szenarien prognostizierten Abfälle sind in Tabelle H-4 zusammengefaßt.

Abfallherkunft	Szenario 1 „Sofortausstieg“	Szenario 2 „Szenario 2004“	Szenario 3 „BfS-Szenario“
Bestand am 31.12.1995 <sup>1)</sup>	19.600 m <sup>3</sup>	19.600 m <sup>3</sup>	19.600 m <sup>3</sup>
Betriebsabfälle AKW und Industrie <sup>2)</sup>	10.100 m <sup>3</sup>	18.000 m <sup>3</sup>	30.600 m <sup>3</sup>
Forschungsanlagen	40.300 m <sup>3</sup>	44.100 m <sup>3</sup>	44.100 m <sup>3</sup>
Wiederaufarbeitung	30.000 m <sup>3</sup>	30.000 m <sup>3</sup>	30.000 m <sup>3</sup>
Abriß von Atomanlagen	42.000 m <sup>3</sup>	42.000 m <sup>3</sup>	42.000 m <sup>3</sup>
gesamt	142.000 m <sup>3</sup>	154.200 m <sup>3</sup>	166.300 m <sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Bestand von Abfällen aus den Atomkraftwerken und der kerntechnischen Industrie.

<sup>2)</sup> Abfallanfall ab 1996.

**Tabelle H-4: Prognostizierter Anfall gering wärmeentwickelnder Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland bis 2010 (gerundete Zahlen)**

Bei dem Vergleich der Gesamtvolumina ist der große Sockelbetrag zu berücksichtigen. Ursache für diesen Sockelbetrag von ca. 130.000 m<sup>3</sup> sind die bei Atomanlagenbetrieb und Forschung bereits angefallenen sowie die durch Wiederaufarbeitung und Abriß nicht zu vermeidenden Abfälle. Dennoch ist eine deutliche Reduzierung der Abfallmenge durch die Abschaltung von Reaktoren vor dem Jahr 2010 zu erkennen.

Für Betrachtungen zu den notwendigen Endlagerkapazitäten muß auch im Rahmen von Ausstiegsszenarien der Abriß aller vorhandenen Atomanlagen berücksichtigt werden. Insgesamt wird für alle in der Bundesrepublik außerhalb der reinen Forschung jemals in Betrieb gewesenen Reaktoren durch deren Stilllegung und Abriß zusätzlich zu dem Volumen in Tabelle H-4 ein Abfallanfall von 65.700 m<sup>3</sup> abgeschätzt (BERG 1995). Diese Abfälle fallen nach dem Abschalten der Reaktoren allerdings zunächst nicht in großen Mengen an, sondern ganz überwiegend erst in der Schlußphase der Stilllegung, also beim Abriß des Reaktorbereiches. Damit beginnen diese Abfälle frühestens am Ende des in dieser Studie gewählten Prognosezeitraumes bezüglich der Lagerkapazitäten wirksam zu werden, und dies auch nur, wenn die Stilllegungsstrategie nicht der „Sichere Einschluß“ ist (siehe hierzu Kapitel H-4.1). Auch im Falle eines schnellen Rückbaus ist, unter der Voraussetzung das kein Endlager zur Verfügung steht, zunächst von einer mittelfristigen Lagerung am Standort im Rahmen der Stilllegungsgenehmigung auszugehen.

Ebenso sind für Endlagerfragen über die in Tabelle H-4 aufgeführten Abfälle hinaus auch Abfälle zu berücksichtigen, die nicht durch die Atomenergienutzung zur Stromproduktion anfallen. Dabei handelt es sich um Bereiche wie zum Beispiel die Bundeswehr oder die Radioisotopenanwendung in Medizin, Gewerbe und Industrie. Für den Anfall solcher Abfälle liegen Daten bis zum Jahr 2080 vor. Insgesamt handelt es sich um ca. 15.300 m<sup>3</sup> (BRENNECKE 1997).

### **H-3.3.6 Lagerkapazitätsprognosen für gering wärmeentwickelnde Abfälle**

Bei den folgenden Betrachtungen wird der offizielle gegenwärtige Planungsstand für den Umgang mit den radioaktiven Abfällen zugrundegelegt. Für die Genehmigungssituation der einzelnen Anlagen gilt der Sachstand im April 1998.

#### **Zwischenlager**

Die genehmigte Zwischenlagerkapazität für die gering wärmeentwickelnden Abfälle aus der Atomenergienutzung betrug nach (BRENNECKE 1997) ca. 157.000 m<sup>3</sup>. Davon sind 82.000 m<sup>3</sup> den Zwischenlagern in der Forschungseinrichtungen zuzuordnen. Diese sind allerdings auch für Kunden der Forschungszentren, also zum Beispiel Betreibern von Atomanlagen, nutzbar. Zum Zeitpunkt dieser Angaben waren die Genehmigungen für das Zwischenlager in Ahaus (ZLA) und das Zwischenlager Nord (ZLN) noch nicht erteilt. Es soll hier auch auf Planungen der GNS hingewiesen werden, in Gorleben ein zweites Abfallager zu errichten. Eine baurechtliche Genehmigung liegt bereits vor. Dieser Plan wurde in den letzten Jahren aber nicht mehr aktiv verfolgt.

Für das ZLA wurde die Genehmigung am 03.07.1996 mit einer - bezüglich der einlagerbaren Menge - aktivitätsbezogenen Begrenzung erteilt. Weder der Genehmigung noch anderen vorliegenden Unterlagen ist eine auf einlagerbares Volumen bezogene Kapazitätsangabe zu entnehmen. Für die weiteren Abschätzungen wird hier unterstellt, daß das Einlagerungsvolumen für das ZLA in dem für die alten Bundesländer in BRENNECKE (1997) als beantragt genannten Volumen von 14.000 m<sup>3</sup> enthalten und das gesamte Volumen genehmigt ist.

Am 20.02.1998 wurde für das ZLN eine Genehmigung zur Zwischenlagerung und Konditionierung von schwach- und mittelaktiven Abfällen erteilt. Auch sie enthält aktivitätsbezogene Kapazitätsbegrenzungen. Das theoretisch nutzbare Lagervolumen beträgt 175.000 m<sup>3</sup>, dürfte aber wegen bei der Einlagerung zwangsläufig auftretenden Zwischenräumen nicht vollständig ausnutzbar sein. Die Zwischenlagergenehmigung wurde zum überwiegenden Teil auf Abfälle aus Greifswald und Rheinsberg beschränkt. Allerdings dürfen zur Konditionierung vorgesehene Abfälle auch aus anderen Atomanlagen angeliefert und bis zu jeweils einem Jahr vor und nach Konditionierung im ZLN gelagert werden. Diese Einschränkung für „Westabfälle“ kann jedoch durch ein einfaches Genehmigungsänderungsverfahren wieder aufgehoben werden.

Die Lagerkapazität des ZLN ist zunächst für die Aufnahme aller unbehandelten Abriß- und noch vorhandenen Betriebsabfälle und Reststoffe aus Greifswald und Rheinsberg ausgelegt.

Die Abfälle sollen sukzessiv konditioniert und möglichst zur Endlagerung nach Morsleben abtransportiert werden. Ab dem Jahr 2003 soll eine verstärkte Zuführung von Abfällen bzw. Reststoffen zur Weiterverwertung bzw. Wiederverwendung erfolgen. Ab diesem Zeitpunkt werden also größere Kapazitäten frei, für die eine Nutzung durch Fremdadfälle nicht grundsätzlich ausgeschlossen ist (RITTSCHER 1996). Nach Abschluß der Konditionierung bzw. Freigabe der Abfälle sollen mittelfristig noch 60.000 m<sup>3</sup> durch EWN (Energiewerke Nord) genutzt werden (BÜRGERINITIATIVE 1997).

Die in der Bundesrepublik zu entsorgenden Abfälle aus der Wiederaufarbeitung im Ausland sollen in den Abfallagern in Gorleben und Ahaus zwischengelagert werden. Die existierenden Genehmigungen decken diese Abfälle ab. Bei den Kapazitätsbedarfsprognosen sind diese Abfälle berücksichtigt.

Bei einem Vergleich der zur Verfügung stehenden Zwischenlagerkapazitäten mit den zu entsorgenden Abfallvolumina aus Tabelle H-4 ist zu berücksichtigen, daß von Januar 1996 bis Juni 1998 weitere 11.600 m<sup>3</sup> Abfall in das Endlager in Morsleben eingelagert wurden.

Bleibt das ZLN unberücksichtigt, so beträgt die bundesweit nutzbare Zwischenlagerkapazität für die in Tabelle H-4 genannten Abfallarten ca. 171.000 m<sup>3</sup>. Wird von der darin enthaltenen Zwischenlagerkapazität der Forschungsanlagen etwa ein Drittel für Fremdadfälle genutzt, sind damit alle im Rahmen der drei Ausstiegsszenarien anfallenden Abfälle abgedeckt. Ohne die Nutzung der Kapazitäten von ZLN und Forschungsanlagen für Fremdadfälle sowie mit einem sofortigen Einlagerungsstop in Morsleben würden die Zwischenlagerkapazitäten nur für die Szenarien 1 und 2 bis zum Jahr 2010 ausreichen.

#### Hinweis:

Bei einem Weiterbetrieb aller Atomanlagen und einer Gesamtbetrachtung aller Abfälle aus der Atomenergienutzung zur Stromproduktion würde die Kapazität von 171.000 m<sup>3</sup> etwa bis zum Jahr 2010 ausreichen. Eine Einbeziehung des ZLN würde eine Ausdehnung des Zeithorizontes für zur Verfügung stehende Lagerkapazität bedeuten.

#### **Endlager**

Von den in der Diskussion befindlichen Endlagern kommen für die gering wärmeentwickelnden Abfälle, unter Berücksichtigung des hier betrachteten Zeithorizontes, das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) und das noch im Planfeststellungsverfahren befindliche geplante Endlager Konrad in Frage.

Im ERAM steht nach Inkrafttreten der 8. Atomrechtsnovelle, vorbehaltlich gerichtlicher Schritte des Bundeslandes Sachsen-Anhalt, bis zum Jahr 2005 eine Endlagerkapazität von ca. 35.000 m<sup>3</sup> für Abfälle aus der Atomenergienutzung zur Stromerzeugung zur Verfügung. Davon wurden bis Juni 1998 ca. 20.000 m<sup>3</sup> eingelagert (BFS 1998). Das heißt, von den in Tabelle H-4 für die drei Szenarien genannten Abfallmengen könnten bei Ausnutzung der politisch festgesetzten Betriebszeit noch ca. 15.000 m<sup>3</sup> im ERAM eingelagert werden. Von einer Einlagerungsmöglichkeit werden die Betreiber auf jeden Fall Gebrauch machen. In der Vergangenheit vorhandene Probleme mit der Ausschöpfung des vorgesehenen Volumens (siehe z.B. GRUPPE ÖKOLOGIE 1997) dürften sich durch die Betriebszeitverlängerung erledigt haben. Damit würden die in Zwischenlagern (ohne ZLN) und im ERAM vorhandenen Lagerka-

pazitäten über das Jahr 2010 hinaus für die anfallenden Abfälle ausreichen. Für die Szenarien 1 und 2 gilt dies auch, wenn die Kapazitäten des ZLN und der Forschungsanlagen nicht genutzt werden würden. Für das Szenario 3 würden die Lagerkapazitäten unter diesen Voraussetzungen bis 2009 ausreichen.

Nach gegenwärtigem Stand ist ein Planfeststellungsbeschluß für das geplante Endlager Konrad im Jahr 1998 zu erwarten. Fraglich ist allerdings, ob dies gleichbedeutend mit einem zügigen Beginn des Umbaus über und unter Tage und damit einer baldigen Inbetriebnahme ist. Aufgrund der allgemeinen Abfallmengensituation (Diskussion ein Endlager für alle Abfallarten) und den zu erwartenden Klagen gegen den Beschluß ist eine rasche Investition großer finanzieller Mittel eher fraglich. Für den Umbau bis zur Inbetriebnahme des Endlagers nach Erteilung des Planfeststellungsbeschlusses werden vom BfS ca. 4 Jahre veranschlagt (HANDELSBLATT 1997).

Bei Ausschöpfung der Lagerkapazitäten im ERAM und der Zwischenlager (ohne ZLN) müßte Konrad vor dem Jahr 2010 nicht in Betrieb gehen. Stehen die Zwischenlagerkapazitäten der Forschungsanlagen nicht zur Verfügung und werden die Zwischenlagerkapazitäten des ZLN sowie die Endlagerkapazitäten des ERAM nicht berücksichtigt, kann Konrad den für ein längerfristiges Ausstiegsszenario vor dem Jahr 2010 auftretenden Engpaß nur bei relativ zügigem Beginn der Umbaumaßnahmen nach dem Planfeststellungsbeschluß beheben. Mit der Kapazität des ERAM könnte Konrad, unter Berücksichtigung der Dauer der gerichtlichen Auseinandersetzungen nach einem 1998/99 ergangenen Planfeststellungsbeschluß, gerade noch rechtzeitig in Betrieb gehen, um dem dann im Jahr 2010 vorhandenen Engpaß zu begegnen.

Die Kraftwerksbetreiber stehen einer Inbetriebnahme von Konrad wegen der entstehenden Kosten seit längerer Zeit grundsätzlich eher skeptisch gegenüber. Sie fordern zwar den Planfeststellungsbeschluß, dies dürfte aber eher vor dem Hintergrund der Absicherung des Entsorgungsvorsorgenachweises zu verstehen sein. An einer späteren Entscheidung über die Inbetriebnahme von Konrad dürfte auch dem BMU gelegen sein. Die Diskussion über die Zahl der notwendigen Endlager könnte dann vertagt werden. Kann die Entscheidung über Konrad bis 2005 hinausgezögert werden, läge nach gegenwärtigem Planungsstand der Bundesregierung die Eignungsaussage für den Salzstock Gorleben vor. Vor dem Hintergrund der dann aktuellen Abfallmengensituation könnte bei einer Eignungsfeststellung für Gorleben auf Konrad verzichtet werden (zur Problematik von Gorleben siehe aber Kap. H-5.6.2). Wird die Eignung des Salzstockes verneint, stünde Konrad für die gering wärmeentwickelnden Abfälle zur Verfügung und könnte bis 2010 in Betrieb gehen. Bei der für Konrad beantragten Kapazität von 650.000 m<sup>3</sup> Gebindevolumen kann die gesamte bis 2080 prognostizierte Menge an gering wärmeentwickelnden Abfällen aufgenommen werden.

Das geplante Endlager im Salzstock von Gorleben spielt für die hier betrachteten Zeithorizonte in bezug auf die Mengen gering wärmeentwickelnder Abfälle keine Rolle. Seine Inbetriebnahme wird im Falle der Eignungsfeststellung durch das BMU erst deutlich nach 2010 erfolgen. Sollte Konrad nicht in Betrieb gehen, wäre es nach offiziellen Aussagen kein Problem, alle Abfälle in Gorleben einzulagern.

## H-4 **Übertägige Entsorgungsschritte**

In der Bundesrepublik Deutschland werden seit ca. 30 Jahren Atomkraftwerke zur Stromerzeugung betrieben. Für den Umgang mit den dabei anfallenden radioaktiven Abfällen gab es zwar von Anfang an Überlegungen, aber schlüssige, unter Sicherheitsaspekten optimierte, Konzepte für eine schadlose Verwertung oder sichere Endlagerung gab es zur damaligen Zeit nicht. Sie gibt es trotz enormen Fortschritts in Technik und Wissenschaft bis heute nicht. Dies liegt in der Natur der Sache: Die zum Betrieb der Reaktoren in großen Mengen aus der Geosphäre (Erdgestein) in die Biosphäre (menschlicher Lebensraum) gebrachten Urannuklide und vor allem die bei der Spaltung von Atomkernen im Reaktor künstlich erzeugten Radionuklide besitzen zum Teil sehr lange Halbwertszeiten sowie ein erhebliches Strahlungspotential. Diese Radioaktivität kann nicht beseitigt oder „unschädlich gemacht“ werden. Das heißt, die Stoffe können lediglich so sicher wie möglich behandelt und verwahrt/endgelagert werden.

Die Überlegungen von Bundesregierung und Betreibern zum Umgang mit dem Atommüll hatten seit den 60er Jahren in der Regel nichts mit Sicherheit, sondern mit aktueller Zugriffsmöglichkeit und betriebswirtschaftlichen Überlegungen zu tun. Dies gilt sowohl für die bestrahlten Brennelemente als auch für die anderen radioaktiven Abfälle. Der wichtigste hier zu nennende „Konzept“wechsel für die übertägige Entsorgungsstrategie ist der Schlingenkurs bei der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente (ja oder nein, im In- oder Ausland).

Eine Konstante in der bundesdeutschen Atompolitik war jedoch fast von Beginn an die Entscheidung, für alle Arten radioaktiver Abfälle die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen vorzusehen. Bis zur Endlagerung müssen die Abfälle jedoch zwischengelagert und konditioniert, das heißt, in eine möglichst resistente Form gebracht, soweit wie sinnvoll volumenreduziert und in Behälter verpackt werden.

Für die folgende Darstellung der übertägigen Entsorgungsstrategien werden die radioaktiven Abfälle in zwei Kategorien unterteilt: Bestrahlte Brennelemente sowie alle anderen wärmeentwickelnden und gering wärmeentwickelnden Abfälle. Da die bestrahlten Brennelemente das höchste Gefahrenpotential aller radioaktiven Abfälle und - auch in anderen Zusammenhängen - die höchste Relevanz besitzen, wird auf sie in den Kapiteln H-4.2 und H-4.3 ausführlich eingegangen. Zunächst werden die anderen radioaktiven Abfälle in Kapitel H-4.1 kurz behandelt.

### H-4.1 **Übertägige Entsorgungsschritte für radioaktive Abfälle (ohne bestrahlte Brennelemente)**

In diesem Kapitel werden die Entsorgungsschritte für alle radioaktiven Abfälle (ausgenommen bestrahlte Brennelemente) beschrieben, die in den Atomanlagen der Bundesrepublik Deutschland anfallen. Es sei darauf hingewiesen, daß die nachfolgend aufgeführten Entsorgungsschritte für die bei der Wiederaufarbeitung im Ausland anfallenden radioaktiven Abfälle erst ab dem Schritt des Transportes konditionierter Abfälle zur Zwischenlagerung

gilt. Zu den Wiederaufarbeitungsabfällen werden in Kapitel H-4.3.1.3 ergänzende Bemerkungen gemacht.

**Gering wärmeentwickelnde Abfälle** fallen in allen Atomanlagen an. Die größte Verursachergruppe stellen dabei mit fast der Hälfte des Gesamtaufkommens die Atomkraftwerke. Der Umgang mit diesen Abfällen wird wesentlich durch die „Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht an eine Landessammelstelle abgeliefert werden“ (BMU 1989c) bestimmt. In ihr werden Kontrolle, Behandlung, Zwischenlagerung und Transport der Abfälle geregelt.

Die Entsorgung für die beim Betrieb von Atomanlagen anfallenden radioaktiven Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung beinhaltet folgende Schritte:

- Artensortierung und Lagerung der anfallenden „Reststoffe“ in der verursachenden Anlage,
- Entscheidung, ob die Stoffe wiederverwendet (z.B. Pumpen, Werkzeuge), weiterverwertet (z.B. kontaminierte Metallteile zum Einschmelzen) oder als radioaktiver Abfall behandelt werden sollen,
- Vorbehandlung und Verpackung des radioaktiven Rohabfalls,
- Transport zu einer Konditionierungsanlage (am Anlagenstandort oder extern),
- endlagerfähige Konditionierung der radioaktiven Abfälle,
- Transport der konditionierten Abfälle zur Zwischenlagerung,
- Zwischenlagerung der konditionierten Abfälle am Verursacherstandort oder in einem zentralen Zwischenlager,
- Transport der konditionierten Abfälle zu einem betriebsbereiten Endlager,
- Endlagerung.

Je nach Abfallart können dabei auch ein oder mehrere Entsorgungsschritte übersprungen werden. Davon abgesehen, ist die Einsparung von Transporten und der Zwischenlagerung nach der endlagerfähigen Konditionierung möglich, wenn ein betriebsbereites Endlager zur Verfügung steht. In Abbildung H-4 sind die möglichen Entsorgungsabläufe als Flußdiagramm dargestellt.

In der oben genannten Richtlinie wird gefordert, daß die Konditionierung der Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung „möglichst“ am Entstehungsort der Abfälle durchgeführt werden soll. Diese Forderung ist jedoch bundesweit nur zu einem Teil umgesetzt. Daher findet die Konditionierung gegenwärtig sowohl an den Standorten als auch in zentralen Anlagen statt. Beispiele für die externe Konditionierung sind die Verbrennung in Studsvik (Schweden) und die Hochdruckkompaktierung in Duisburg.

Die für die Konditionierung vorgesehenen Methoden haben in der Vergangenheit häufig gewechselt. Dies hing zum einen mit der Veränderung der Endlagerungsbedingungen zusammen. Erst waren die Bedingungen im Versuchsendlager Asse, dann die für Konrad und gegenwärtig - für einen Teil der Abfälle - die Bedingungen im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) für die Anforderungen an die zur Einlagerung vorgesehenen Abfälle verantwortlich. Zum anderen gab es aber auch Probleme mit der Langzeitbeständigkeit der konditionierten Abfallgebände und es wurde immer mehr eine stärkere Volumenreduzierung angestrebt. Die zuletzt genannten Gründe führen gegenwärtig und in Zukunft verstärkt zur Aufgabe der Zementierung von Abfällen. Diese war lange Zeit die häufigste Konditionie-

rungsmethode, entspricht aber heute nicht mehr dem Stand von Wissenschaft und Technik. In der Tendenz abnehmend ist auch der Umfang der Abfallverbrennung. Trocknung und Hochdruckkompaktierung sollen in der Zukunft die meist angewendeten Konditionierungsvorgänge sein.

Die Zwischenlagerung der konditionierten Abfälle erfolgt an den Anlagenstandorten selbst oder in externen Zwischenlagern. Extern stehen für die Abfälle aus Kraftwerken und kern-technischer Industrie zur Zeit das Abfallager in Gorleben (ALG) und mit Einschränkungen die Lager in den Forschungszentren sowie für Abfälle aus den Kraftwerken die Lager in Mitterteich (nur für bayerische AKW) und Stadland (nur für Stade und Unterweser) zur Verfügung. Eine technische Notwendigkeit für eine längere Zwischenlagerung besteht für diese Abfälle nicht. Die für Abfälle aus Betrieb und Abriß von Atomkraftwerken sowie der Wiederaufarbeitung im Ausland zur Verfügung stehende Zwischenlagerkapazität führt (ohne Berücksichtigung des Sonderfalles Greifswald) bei einem Weiterbetrieb der Kraftwerke etwa im Jahr 2010 zu einem Entsorgungsengpaß (siehe Kapitel H-3.3.6).

Radioaktive Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung, die einen geringen Gehalt an  $\alpha$ -Strahler haben, werden zur Zeit im ERAM endgelagert. Die Einlagerungsmöglichkeit ist jedoch zeitlich begrenzt. Generell ist für die Endlagerung aller gering wärmeentwickelnden Abfälle das Endlager Konrad vorgesehen.

**Wärmeentwickelnde Abfälle** fallen in den Atomanlagen in der Bundesrepublik nur in relativ geringem Umfang an. Für sie gibt es im Prinzip kein übergreifendes Entsorgungskonzept. So werden die Konditionierung und Zwischenlagerung dieser Abfälle unterschiedlich gehandhabt. Das Flußdiagramm in Abbildung H-4 gibt aber auch für diese Abfälle prinzipiell den Umgang wieder. Neben der Lagerung am Anlagenstandort existieren Zwischenlagermöglichkeiten im Forschungszentrum Karlsruhe.

Im Forschungszentrum Karlsruhe lagern wärmeentwickelnde Abfälle aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK). Ein Teil davon, die in Lösung befindlichen hochaktiven Spaltprodukte, sollen in einer am Standort geplanten Verglasungsanlage konditioniert werden. Die Verglasungsanlage entspricht technologisch im wesentlichen der in Deutschland mitentwickelten PAMELH-Technik, also nicht derjenigen, die in La Hague und Sellafield angewendet wird. Es wurde darauf verzichtet, die Verglasungsanlage so zu konstruieren, daß Komponenten ausgewechselt werden können. Dies bedeutet, daß die Anlage ausschließlich für den WAK-Abfall genutzt werden kann und danach stillgelegt wird (GRÜNEWALD 1997). Die Nutzungsdauer soll 18 Monate betragen. Der flüssige Abfall soll mit ca. 50 t Glas in 130 Kokillen abgefüllt werden. Diese werden in 5 CASTOR HAW 20/28 geladen. Für 2005 ist deren Abtransport nach Gorleben ins TBL vorgesehen. Es wäre theoretisch auch eine Zwischenlagerung auf dem Gelände in Karlsruhe möglich.

Die Endlagerung der Kokillen aus Karlsruhe und der anderen wärmeentwickelnden Abfälle soll mit den bestrahlten Brennelementen gemeinsam in einem Endlager erfolgen. Dafür ist momentan der Salzstock in Gorleben vorgesehen. Die Endlagerstandorte in Morsleben und Konrad kommen hierfür nicht in Frage.

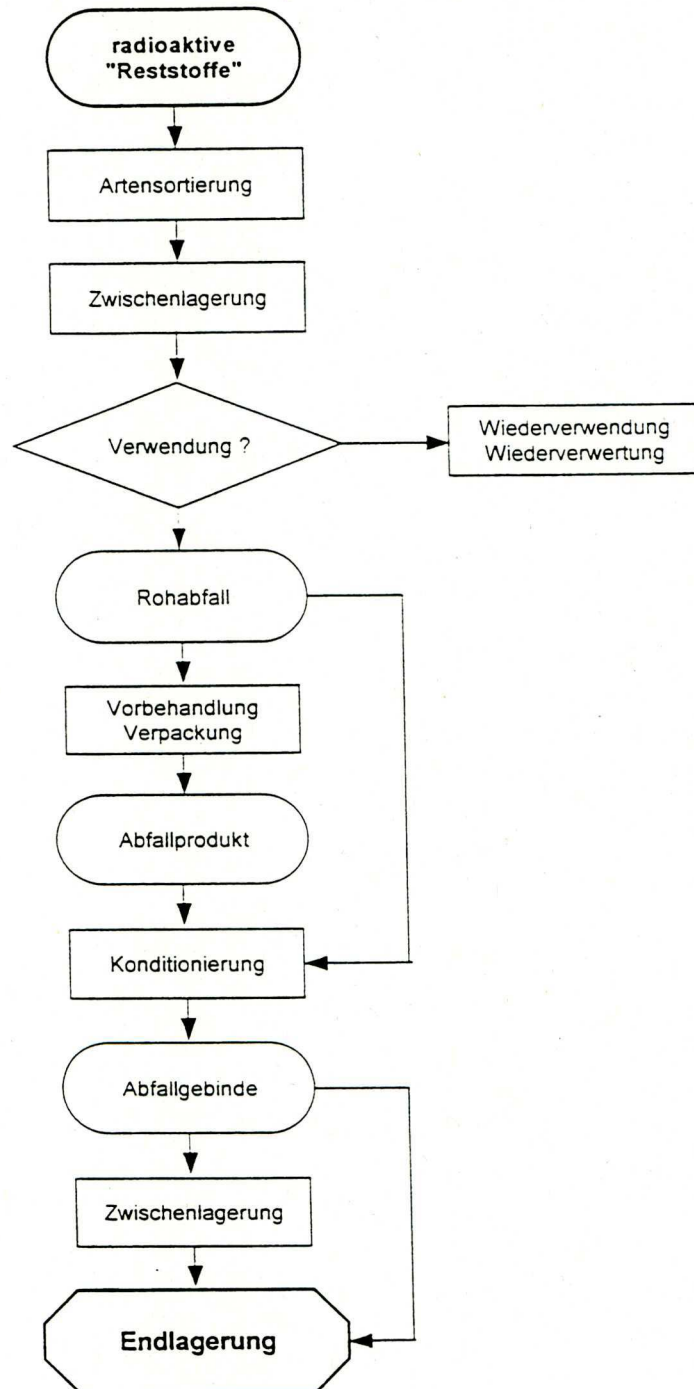


Abb. H-4: Flußdiagramm für den Umgang mit radioaktiven Abfällen

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß es für den übertägigen Umgang mit den wärmeentwickelnden und gering wärmeentwickelnden Abfällen keine geschlossene Entsorgungsstrategie gibt. Konditionierung und Zwischenlagerung werden von den jeweiligen Atomanlagenbetreibern individuell gehandhabt. Für die Zukunft empfiehlt es sich, die Dezentralisierung von Konditionierung und Zwischenlagerung (das heißt, beides soll am Entstehungsort der Abfälle durchgeführt werden) weiter voran zu treiben. Die Voraussetzungen hierfür sind günstig, da bei den Betreibern ohnehin eine Tendenz dazu besteht. Dies zeigen die Genehmigungen bzw. Inbetriebnahmen von entsprechenden Einrichtungen an verschiedenen Kraftwerksstandorten in der letzten Zeit (z.B. Stade, Grafenrheinfeld). Darüber hinaus läßt der gegenwärtige integrale Ausnutzungsgrad der Zwischenlagerkapazitäten an den Kraftwerksstandorten von unter 30% - auf jeden Fall bei Berücksichtigung eines Ausstiegs - die zukünftige Beschränkung auf dezentrale Zwischenlagerung zu. Eine Aufgabe der zentralen Zwischenlagerstandorte wäre damit allerdings nicht verbunden. Eine vollständige Leerung dieser Zwischenlager würde ein neues Transportrisiko erzeugen (es wären viele Transporte notwendig) und wäre außerdem aus Kapazitätsgründen für einzelne Anlagenstandorte problematisch.

Möglichst schnell sollte die Verbrennung in Studsvik eingestellt werden. In den letzten Jahren wurden dort jeweils durchschnittlich ca. 300 t Abfälle verbrannt. Durch eine Einstellung der Verbrennung könnten die Sicherheitsrisiken für die schwedische Bevölkerung durch den Betrieb der Verbrennungsanlage vermieden sowie das durch die vielen Transporte und die lange Transportstrecke nicht geringe Gefahrenpotential abgebaut werden. Die entsprechende BMU-Richtlinie (BMU 1989c) sollte in Zukunft konsequenter umgesetzt und dabei beachtet werden, daß die vorgeschriebene Volumenminimierung der Abfälle nicht wegen der ohne Minimierung vorhandenen Einlagerungsmöglichkeit in Morsleben umgangen wird.

### **Stilllegungsabfälle**

Neben dem bisher betrachteten Umgang mit Betriebs-, Wiederaufarbeitungs- und Forschungsabfällen sind auch Stilllegungsabfälle zu berücksichtigen. Bezüglich Konditionierung und Zwischenlagerung gelten zunächst grundsätzlich die gleichen Aussagen wie für die anderen Abfälle. Relevant ist aufgrund der großen Abfallmenge aber auch der zeitliche Verlauf des Abfallanfalles. Im Gesamtkontext einer Entsorgungsstrategie muß daher die Stilllegungsstrategie diskutiert werden. Als strategische Konzepte stehen entweder der „Sichere Einschluß“ der Reaktoranlagen (in der Bundesrepublik für 30 Jahre vorgesehen) oder der zügige Rückbau bis zur „Grünen Wiese“ zur Verfügung.

Die Stilllegungsabfälle aus per Ausstiegsgesetz abzuschaltenden Reaktoranlagen sind in den Lagerkapazitätsprognosen des Kapitels H-3.3 nicht enthalten. Wie im Kapitel H-3.3.5 zur Abfallmengenprognose ausgeführt, spielen die Abfälle für den Prognosezeitraum bis 2010 aber eher eine untergeordnete Rolle. Ab diesem Zeitpunkt wird die Stilllegungsstrategie jedoch relevant für die Entsorgungsstrategie. Wird die Stilllegungsstrategie „Grüne Wiese“ gewählt, muß dann entweder ein Endlager zur Verfügung stehen, in das die anfallenden Stilllegungsabfälle eingelagert werden können, oder es müssen neue zentrale Zwischenlagerkapazitäten geschaffen werden. Im Falle des „Sicheren Einschlusses“ könnten die zunächst geringen Mengen anfallender Abfälle am Standort verbleiben und die größeren Mengen aus dem Abriß würden erst nach 2030 anfallen.

Daraus folgt, daß bei einer Stilllegungsstrategie mit „Sicherem Einschluß“ der Bau zusätzlicher Zwischenlagerkapazitäten vermieden bzw. der Zeitpunkt ab dem ein Endlager zur Verfügung stehen muß nicht durch den Abriß von Reaktoranlagen bestimmt wird. Außerdem würde das Ziel „Grüne Wiese“ zwangsweise bedeuten, daß Überlegungen für eine Zwischenlagerung der Brennelemente (notwendige Lagerzeit bis zu 40 Jahren) und auch der anderen Abfälle (sofern ab 2010 kein Endlager zur Verfügung steht) bis zu ihrer Endlagerung an den Reaktorstandorten hinfällig wäre. Hieraus folgt wiederum die Notwendigkeit der Errichtung neuer zentraler Zwischenlagerkapazitäten nicht nur für die Stilllegungsabfälle, sondern auch für alle anderen Abfallarten. Dies würde notwendigerweise eine Vielzahl von Transporten in Zwischenlager bedeuten. Unter konzeptionellen Gesichtspunkten ist also der „Sichere Einschluß“ zu bevorzugen.

Eine Auswertung von in den USA und der Bundesrepublik durchgeführten Grundsatzstudien erbringt auch sicherheitstechnische Vorteile für den „Sicheren Einschluß“. Diese Diskussion kann an dieser Stelle nicht ausführlich geführt werden, daher soll hier nur auf drei Vorteile hingewiesen werden:

- Die Strahlenbelastung für Bevölkerung und Betriebspersonal im „Normalbetrieb“ ist geringer.
- Auswirkungen möglicher Störfälle beim Abriß sind geringer.
- Die endzulagernden Abfallmengen sind geringer.

Diese grundsätzlichen Argumente für den „Sicheren Einschluß“ können im Einzelfall durch vorhandene Gefahrenpotentiale relativiert werden. Für diesen Fall müssen alle sicherheitsrelevanten Fakten gegeneinander abgewogen werden.

#### **H-4.2 Grundlegende Entsorgungsstrategien für bestrahlte Brennelemente**

Nach heutigem Sachstand existieren drei theoretisch mögliche Strategien für den Umgang mit bestrahlten Brennelementen:

- Wiederaufarbeitung des Kernbrennstoffes, d.h. Abtrennung von Uran und Plutonium von den restlichen Bestandteilen der bestrahlten Brennelemente, Wiedereinsatz des Kernbrennstoffes und Entsorgung der entstandenen Abfälle (im folgenden **Pfad A** genannt).
- Direkte Endlagerung der bestrahlten Brennelemente mit der Notwendigkeit einer längeren Zwischenlagerzeit (im folgenden **Pfade B bis E** genannt).
- Transmutation: Abtrennung der hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers radiologisch relevanten Radionuklide von den restlichen Bestandteilen der bestrahlten Brennelemente, anschließende Umwandlung dieser Radionuklide in kurzlebige bzw. inaktive Nuklide (für Plutonium kann das auch der Einsatz in Reaktoren sein) und Entsorgung aller entstandenen Abfälle (im folgenden **Pfad F** genannt).

Derzeit werden von diesen möglichen Strategien in der Bundesrepublik Deutschland die Strategie Wiederaufarbeitung sowie ein bestimmter Pfad der Strategie Direkte Endlagerung verfolgt.

### H-4.2.1 Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung

Die mit der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente (genauer eigentlich des darin enthaltenen Kernbrennstoffes) ursprünglich verfolgte Absicht und die aus heutiger Sicht nicht erreichten Ziele sind in Kapitel H-1 bereits erläutert. Dennoch ist die Wiederaufarbeitung in jedem Fall Bestandteil der bundesdeutschen Entsorgungsstrategie, da bis Ende 1997 bereits 3.376 tSM in La Hague sowie 56 tSM in Sellafield wiederaufgearbeitet worden sind (BTD 1998) und auch gegenwärtig noch aufgearbeitet wird. Ob auch die nach 1989 vereinbarten Mengen ganz oder teilweise wiederaufgearbeitet werden, ist nach heutigem Stand (Juli 1998) ungewiß (s. Kap. H-3.3 und H-4.3.1.1).

Die **Entsorgungsstrategie für bestrahlte Brennelemente mit Wiederaufarbeitung** wird hier **Pfad A** genannt und besteht aus folgenden Einzelschritten (s. auch Abbildung H-5):

#### Einzelschritte (Pfad A):

- Entladung der Brennelemente aus dem Reaktorkern und Überführung in das Naßlager des Reaktors.
- Zwischenlagerung im Naßlager für mindestens 1 Jahr.
- Transport zu einer Wiederaufarbeitungsanlage.
- Lagerung im Eingangslager der Wiederaufarbeitungsanlage.
- Wiederaufarbeitung (frühestens 3 Jahre nach der Entladung aus dem Reaktorkern).
- Lagerung des abgetrennten Plutoniums und anschließende Herstellung von MOX-Brennelementen. Erneuter Einsatz in den Kraftwerken.
- Lagerung des ebenfalls abgetrennten Urans mit den späteren Optionen Herstellung von Brennelementen mit Wiedereinsatz im Reaktor, anderweitige Weiterverwertung oder Endlagerung als Abfall.
- Lagerung und Konditionierung der bei der Wiederaufarbeitung anfallenden Abfälle in der Wiederaufarbeitungsanlage.
- Transport der konditionierten Abfälle in die Bundesrepublik.
- Für einzelne Abfalltypen evtl. Nachkonditionierung.
- Zwischenlagerung oder - wenn bereits betriebsbereit - Endlagerung der Abfälle.

Der Pfad A ist für Leichtwasserreaktor-Brennelemente vorgesehen. Brennelemente mit Kennwerten, die nicht den vertraglichen Vereinbarungen mit den Wiederaufarbeitungsfirmen entsprechen oder aus einem anderen Reaktortyp stammen, können jedoch nicht in die

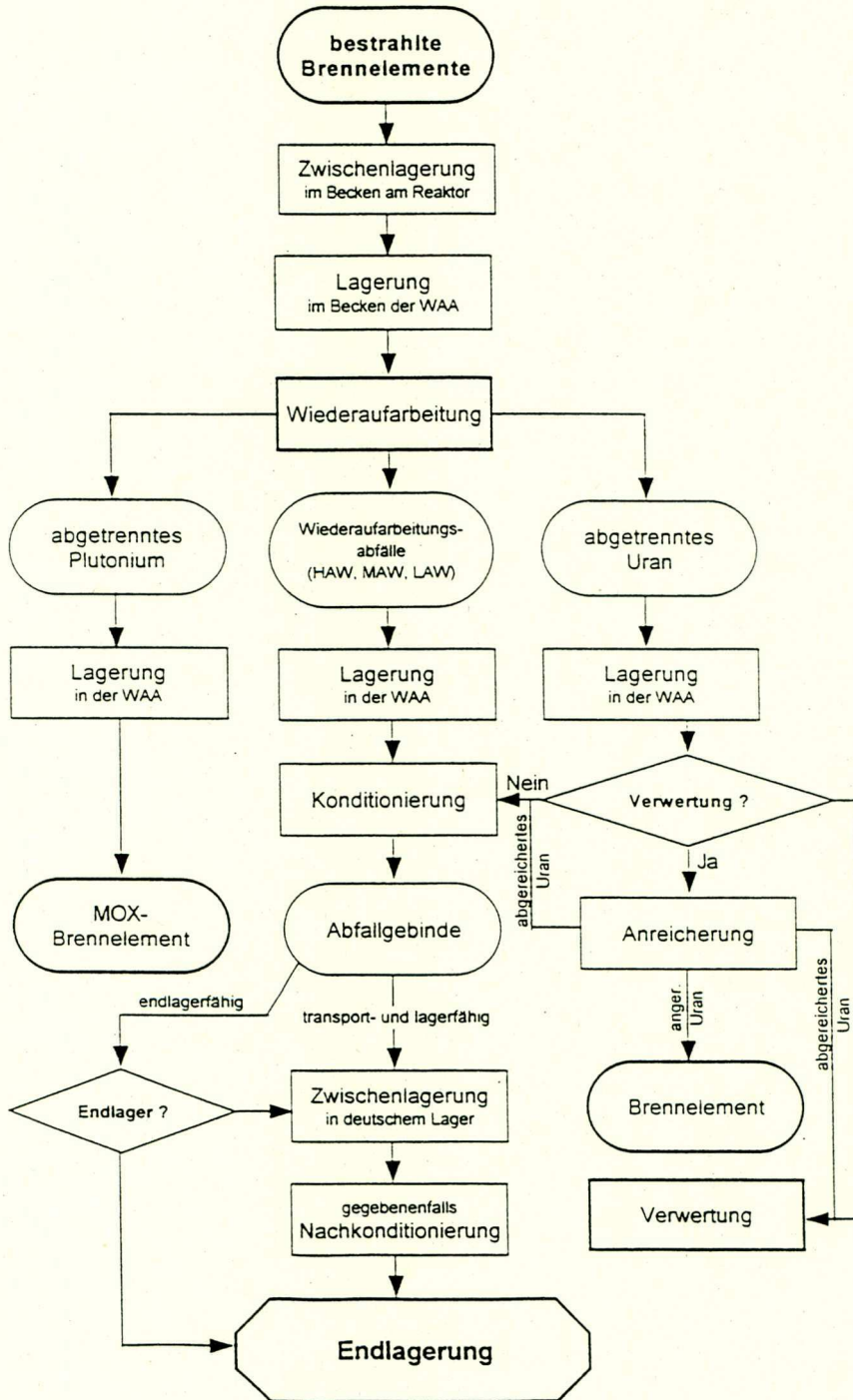


Abb. H-5: Flußdiagramm zur Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung

sen Pfad eingespeist werden. Sie müssen einem der Pfade für Direkte Endlagerung zugeführt werden. Aufgrund von grundlegenden Problemen mit der Isotopenzusammensetzung des Urans und Plutoniums kann der Brennstoffkreislauf in seiner vorgesehenen Form nicht verwirklicht werden (s. Kap. H-1 und H-4.3.1.2). Daraus folgt, daß der größte Teil der Brennelemente mit bereits wiederaufgearbeitetem Kernbrennstoff nach heutigem Sachstand ebenfalls der Direkten Endlagerung zugeführt werden muß.

### **H-4.2.2 Entsorgungsstrategie mit Direkter Endlagerung**

Bei der Entsorgungsstrategie ohne Wiederaufarbeitung werden die ganzen oder in Brennstäbe zerlegten Brennelemente endgelagert. Die Integrität der Brennstabhüllrohre bleibt also erhalten. Diese Strategie ist mit dem Begriff „Direkte Endlagerung“ belegt, was jedoch zu Mißverständnissen führen kann. Die Brennelemente können nicht direkt aus dem Reaktorbecken zum Endlager gebracht und dort eingelagert werden, sondern müssen aus technischen Gründen eine längere Zeit zwischengelagert werden (20 bis 50 Jahre).

Die Entsorgungsstrategie „Direkte Endlagerung“, bis zur Änderung des AtG 1994 nur für Brennelemente mit bestimmten Kenndaten vorgesehen, ist inzwischen von einigen Energieversorgungsunternehmen (z.B. RWE, EVS) für einen größeren Teil aller in ihrem Bereich noch anfallenden Brennelementen offiziell vorgesehen. **Für die Direkte Endlagerung gibt es verschiedene Möglichkeiten (Pfade B bis E) der Umsetzung**, die in Abbildung H-6 als Flußdiagramm dargestellt sind und im folgenden kurz beschrieben werden.

**Der gegenwärtig in der Bundesrepublik verfolgte Pfad (Pfad B) bei der Direkten Endlagerung** umfaßt folgende Schritte:

#### Einzelschritte (Pfad B):

- Entladung der Brennelemente aus dem Reaktorkern und Überführung in das Naßlager des Reaktors.
- Zwischenlagerung im Naßlager.
- Transport zu einem zentralen Zwischenlager.
- Trockene Zwischenlagerung in Behältern für ca. 30 Jahre; für in kleineren Behältern angelieferte Brennelemente ist deren Umladung in einen CASTOR V vorgesehen.
- Zur Optimierung der Zwischenlagerkapazitäten wird gegenwärtig eine Konsolidierung der Brennelemente nach einigen Jahren der trockenen Lagerung überlegt (s. Kapitel H-4.3.2.1).
- Transport zu einer zentralen Konditionierungsanlage.
- Konditionierung der Brennelemente in einen endlagerfähigen Zustand (POLLUX-System).
- Erneute Zwischenlagerung, sofern Konditionierungsanlage und Endlager logistisch nicht aufeinander abgestimmt werden können.
- Transport zum Endlager.
- Endlagerung.

Der Pfad B beinhaltet ein zentrales Zwischenlagerkonzept und die Konditionierung in einer zentralen Anlage. Als Alternative hierzu werden aus Sicherheitsgründen seit längerer Zeit, teilweise in direktem Zusammenhang mit einem Ausstieg aus der Atomenergienutzung, auch Optionen mit dezentralen Lösungen diskutiert (siehe z.B. NEUMANN 1990, GREENPEACE 1992, GRS 1992, SAILER 1996, NEUMANN 1997a).

Das mögliche Vorgehen bei einem **teilzentralen Konzept** besteht darin, die Zwischenlagerung dezentral an den Kraftwerksstandorten und erst die Konditionierung direkt vor der Endlagerung in einer zentralen Konditionierungsanlage, bevorzugt am Endlagerstandort, vorzunehmen. Die Umgangsschritte dieses **Pfades (C)** sind:

#### Einzelsschritte (Pfad C):

- Entladung der Brennelemente aus dem Reaktorkern und Überführung in das Naßlager des Reaktors.
- Zwischenlagerung im Naßlager für mindestens 5 Jahre.
- Überführung in ein separates Zwischenlager am Kraftwerkstandort.
- Trockene Zwischenlagerung in Behältern für ca. 30 Jahre im separaten Zwischenlager.
- Transport zu einer zentralen Konditionierungsanlage.
- Konditionierung der Brennelemente in einen endlagerfähigen Zustand (POLLUX-System).
- Eventuelle Zwischenlagerung, sofern Konditionierungsanlage und Endlager logistisch nicht aufeinander abgestimmt werden können.
- Transport zum Endlager.
- Endlagerung.

Eine im Vergleich zu Pfad C weitergehende Möglichkeit besteht darin, **Zwischenlagerung und endlagerfähige Konditionierung dezentral an den Kraftwerksstandorten** selber vorzunehmen. Die Umgangsschritte dieses **Pfades (D)** sind:

#### Einzelsschritte (Pfad D):

- Entladung der Brennelemente aus dem Reaktorkern und Überführung in das Naßlager des Reaktors.
- Zwischenlagerung im Naßlager für mindestens 5 Jahre.
- Überführung in ein separates Zwischenlager am Kraftwerkstandort.
- Trockene Zwischenlagerung in Behältern für ca. 30 Jahre im separaten Zwischenlager am Standort.
- Endlagerfähige Konditionierung am Kraftwerkstandort (POLLUX-System).
- Transport zum Endlager.
- Endlagerung.

Eine Variante des Pfades D besteht in der Möglichkeit, die endlagerfähige Konditionierung der Brennelemente in ein POLLUX-System bereits bei ihrer Überführung aus dem Reaktorbecken in das Standort-Zwischenlager vorzunehmen. Dadurch würde sich die Lagerzeit im

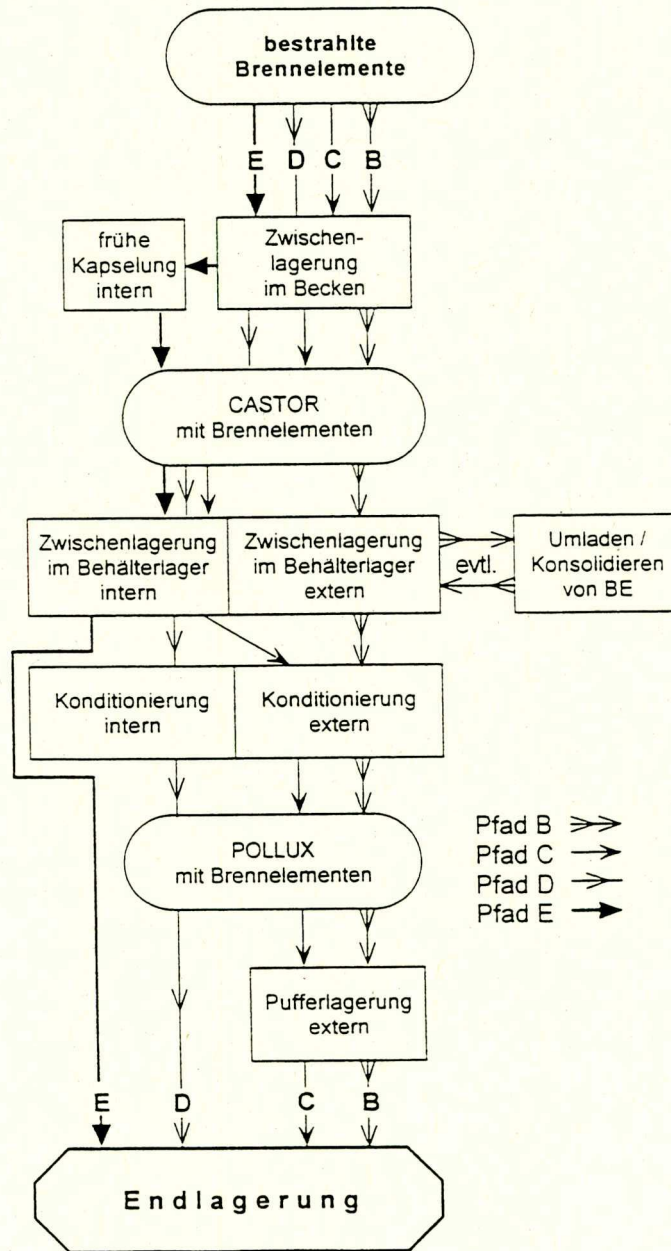


Abb. H-6: Flußdiagramm zur Entsorgungsstrategie mit Direkter Endlagerung

Naßlager verlängern und die im Trockenlager verkürzen. Nachteil wäre allerdings, daß für diese Variante ein größerer Teil der Brennelemente bereits für die Endlagerung abschließend konditioniert werden müßte, bevor verbindliche Einlagerungsbedingungen für das Endlager existieren.

Eine weitere Option wird durch das von der Firma Siemens neu entwickelte Konzept der „Frühen Kapselung“ eröffnet (siehe Beschreibung in Kapitel H-4.3.3). Im Falle des sicherheitstechnischen Nachweises der Umsetzbarkeit dieses **dezentralen Konzeptes mit früher Kapselung** ergäben sich folgende Einzelschritte für diesen **Pfad (E)**:

#### Einzelschritte (Pfad E):

- Entladung der Brennelemente aus dem Reaktorkern und Überführung in das Naßlager des Reaktors.
- Zwischenlagerung im Naßlager für mindestens 5 Jahre.
- Kapselung, das heißt Vorkonditionierung im Lagerbecken.
- Überführung in ein separates Zwischenlager am Kraftwerkstandort.
- Trockene Zwischenlagerung in Behältern.
- Transport zum Endlager.
- Endlagerfähige Verpackung durch einbringen der Kapsel in ein Overpack.
- Endlagerung.

Wie bei Pfad D würden sich für Pfad E die Lagerzeiträume im Naßlager verlängern und im Trockenlager verkürzen. Es wäre hier eine frühe auf die Endlagerung zielende Vorkonditionierung gegeben. Die Erfüllung der Endlageranforderungen soll jedoch erst durch das Overpack gewährleistet werden, so daß hier bis zur Einlagerung Flexibilität gegeben ist. Die Zahl der Umgangsschritte für den Pfad E ist im Vergleich zu allen anderen Pfaden am geringsten.

Die dezentrale Zwischenlagerung bei den Pfaden C, D und E bedeutet, alle Brennelemente bis zur Endlagerung (Pfade D und E) bzw. bis zur endlagerfähigen Konditionierung in einer zentralen Anlage (Pfad C) am Standort des Kraftwerkes zu belassen. An jedem Kraftwerkstandort wäre deshalb ein neues (externes) Zwischenlager („Standortzwischenlager“) notwendig. Dieser Punkt wird in Kapitel H-4.3.2.2 diskutiert.

Wird die Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung umgesetzt, so ist grundsätzlich die Nutzung aller vier Pfade, B bis E, möglich. Dem stehen keine technischen Gründe entgegen. Unter sicherheitstechnischen Gesichtspunkten ergeben sich bei einem Vergleich Vor- und Nachteile für die einzelnen Pfade, die in Kapitel H-4.3.2.2 und H-4.4 diskutiert werden.

### **H-4.2.3 Entsorgungsstrategie mit Transmutation**

Die Transmutation hat zum Ziel, radioaktive Nuklide in inaktive bzw. solche mit kürzeren Halbwertszeiten umzuwandeln. Die Voraussetzung für die Transmutation ist die vorherige Abtrennung der entsprechenden Nuklide aus den Brennelementen. Dies kann nur durch einen der Wiederaufarbeitung ähnlichen Auflösungsprozeß der Brennelemente geschehen. Im

Mittelpunkt des Interesses an Transmutation in der Bundesrepublik stehen neben Uran und Plutonium die langlebigen Radionuklide des Neptunium, Americium, Curium, Technetium und Jod. In einigen europäischen Nachbarländern wird auch die Abtrennung von Strontium und Cäsium erforscht. Die einzelnen Schritte der **Entsorgungsstrategie Transmutation (Pfad F)** sind folgendermaßen denkbar (s. auch Abbildung H-7):

Einzelsschritte (Pfad F):

- Entladung der Brennelemente aus dem Reaktorkern und überführen in das Naßlager des Reaktors.
- Zwischenlagerung im Naßlager für mindestens 1 Jahr.
- (Wahrscheinlich trockene Zwischenlagerung in Behältern für eine längere Zeit.)
- Transport der Brennelemente zu einer Abtrennungsanlage.
- Abtrennung einzelner Radionuklidsorten bzw. Radionuklidgruppen und Aufbereitung für die Transmutation.
- Transport der aufbereiteten Stoffe zur Transmutationsanlage.
- Transmutation der Radionuklide.
- Weiterverwendung oder Entsorgung als nichtradioaktiver Abfall der aus der Transmutation resultierenden Stoffe.
- Lagerung und Konditionierung der bei Aufbereitung und Transmutation anfallenden radioaktiven Abfälle.
- Zwischenlagerung oder - wenn bereits betriebsbereit - Endlagerung der radioaktiven Abfälle.

Um die Transmutation durchführen zu können sind vom Grundsatz her (Auflösung der Brennelemente, Endlagerung der Abfälle) der Wiederaufarbeitungsstrategie vergleichbare Techniken notwendig. Die Arbeiten zur Abtrennung anderer Elemente als Uran und Plutonium befinden sich jedoch trotz langjähriger Forschung nach wie vor überwiegend im Stadium der Grundlagenforschung und besitzen noch keinerlei Praxisbezug. Die abgetrennten Nuklide müssen dann, je nach Umwandlungstechnik, in bestimmte Zustandsformen überführt werden. Die bisher zur Umwandlung in Erwägung gezogenen Techniken sind die Bestrahlung im Reaktorkern von Leichtwasserreaktoren oder Schnellen Brütern sowie der Beschuß von entsprechenden Nuklid-Targets mittels Teilchenbeschleuniger und Spallationstechnik.

Beim Einsatz von Leichtwasserreaktoren oder Schnellen Brütern für die Transmutation muß deren bisherige Betriebsweise verändert werden. Dies ist mit zusätzlichen sicherheitstechnischen Problemen für den Betrieb der Reaktoren verbunden. Gibt es hier wenigstens schon Erfahrungen, auf die aufgebaut werden kann, so ist für den Einsatz der Spallationstechnik wegen fehlender Erfahrung noch nicht einmal eine Einschätzung der Sicherheitsrisiken möglich.

Die bisher vor allem in Frankreich, aber auch im EU-Rahmen, durchgeführten Studien zur Transmutation lassen in absehbarer Zeit keine großen Erwartungen für die Einsatzreife dieser Technik zu. Es müssen für viele Bereiche noch wissenschaftliche Grundlagen erarbeitet werden, bevor die Möglichkeit der technischen Umsetzung gezeigt werden kann. Die Transmutation wird daher - wenn überhaupt - erst in einigen Jahrzehnten großtechnisch einsetzbar sein. Bis dahin wird weltweit möglicherweise schon ein großer Teil der radioaktiven Abfälle mit den kritischen Nukliden endgelagert sein.

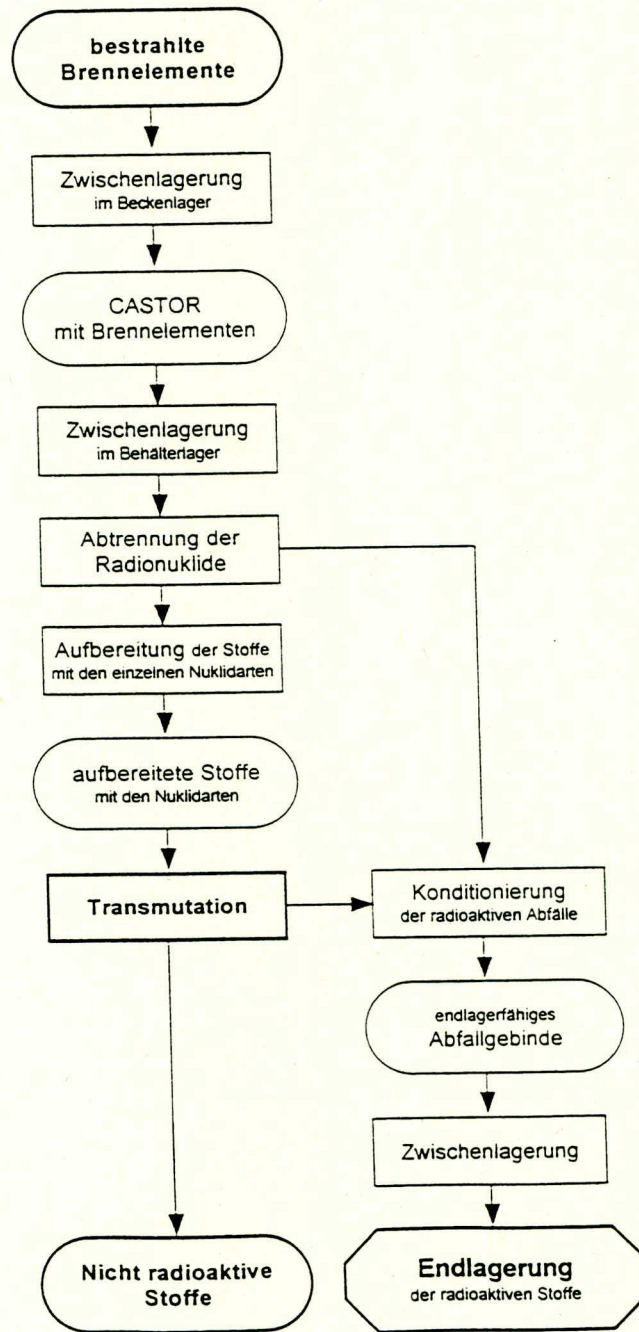


Abb. H-7: Flußdiagramm zur Entsorgungsstrategie mit Transmutation

Die Kosten für die Transmutation sind allein wegen der aufwendigen Abtrennungsprozesse zum heutigen Zeitpunkt kaum abzuschätzen. Hinweise auf fehlende Wirtschaftlichkeit lassen sich aber bereits an den Kosten für die Wiederaufarbeitung ableiten, bei der nur Uran und Plutonium abgetrennt werden. Durch zusätzliche Abtrennung von Americium und Neptunium würden sich allein diese Kosten stark erhöhen (LELIEVRE 1996). Auch die Umwandlung der Nuklide in den Reaktoren wird höhere zusätzliche Betriebskosten verursachen. Noch erheblich teurer würde der Einsatz der Spallationstechnik zur Umwandlung sein, da sich die Technik selbst erst in der Entwicklung befindet und eine entsprechende Anlage mit im Betrieb sehr teuren Beschleunigern nur für die Umwandlung betrieben werden müßte.

Hauptargument für den Einsatz der Transmutation ist die Reduzierung des Gefahrenpotentials im Endlager. Eines der wichtigsten in den radioaktiven Abfällen (einschließlich Brennelementen) enthaltenen Radionuklide für die Langzeitsicherheit von Endlagern ist Neptunium-237 (Np-237) mit einer Halbwertszeit von über 2 Millionen Jahren. Es ist unabhängig von der Entsorgungsstrategie (Direkte Endlagerung oder Wiederaufarbeitung) in etwa gleicher Menge in den endzulagernden Abfällen enthalten. Np-237 kann nur durch eine vorherige Abtrennung und anschließende Umwandlung (Transmutation) reduziert werden. Der erreichbare Abtrennungsgrad entschärft die Problematik der Langzeitsicherheit bei der Endlagerung jedoch nicht wesentlich. Ähnliches gilt auch für andere langlebige Radionuklide, und zwar sowohl für den Abtrennungs- wie auch für den Umwandlungsgrad (KIM 1998).

Auch bei einer Entsorgungsstrategie mit Transmutation wird die Endlagerung radioaktiver Stoffe in tiefen geologischen Schichten nicht überflüssig. Es verbleibt nämlich ein großer Rest von Radionukliden - auch mit längeren Halbwertszeiten - in den Abfallströmen zurück, deren Abtrennung und/oder Umwandlung entweder technisch nicht möglich oder - bereits aus heutiger Sicht - finanziell nicht tragbar ist.

Zusammenfassend ist festzustellen: Die Transmutation ist ein naturwissenschaftlich sehr interessantes Fachgebiet und könnte theoretisch zu einer Verringerung des langfristigen Gefährdungspotentials bei der Endlagerung beitragen. Es ist jedoch umstritten, ob mit der Verringerung ein qualitativer Vorteil erreicht werden kann. Nach gegenwärtigem Stand von Wissenschaft und Technik ist dies auf jeden Fall nicht möglich. Für die Lösung der aktuell und für die nächsten 50 Jahre anstehenden Probleme mit der Entsorgung bestrahlter Brennelemente und hochaktiver Abfälle kann die Transmutation aufgrund ihres gegenwärtigen Entwicklungsstandes, den aus heutiger Sicht erreichbaren Zielen, der bisher nicht einschätzbaren Sicherheitsrisiken und der hohen Kosten jedoch keinen Beitrag leisten. Aufgrund des in diesem Kapitel dargelegten Sachstandes zur Transmutation erübrigt sich eine weitergehende Diskussion dieser Entsorgungsstrategie.

#### **H-4.3 Detailbetrachtung einzelner Entsorgungsschritte für bestrahlte Brennelemente**

Um eine bessere Einschätzung für die möglichen Entsorgungspfade zu bekommen und um sicherheitstechnische Aspekte in die Diskussion einbeziehen zu können, werden im folgenden die Entsorgungsschritte bei den Entsorgungsstrategien Wiederaufarbeitung und Direkte Endlagerung von bestrahlten Brennelementen detaillierter betrachtet.

### H-4.3.1 Wiederaufarbeitung

#### H-4.3.1.1 Wiederaufbereitungsverträge

Die bundesdeutschen EVU haben seit Anfang der 70er Jahre Verträge zur Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente mit der Compagnie Generale Des Matieres Nucleaires (COGEMA) in La Hague und British Nuclear Fuels plc (BNFL) in Sellafield abgeschlossen. Diese Verträge waren zunächst als Überbrückung bis zur Verfügbarkeit einer Wiederaufarbeitungsanlage in der Bundesrepublik gedacht. Die nach den Altverträgen bei COGEMA wiederaufzubehandelnden Brennelemente sollten ursprünglich bis 1995 in La Hague abgeliefert und ihre Wiederaufarbeitung 1998 abgeschlossen sein. Dieser Zeitplan konnte nicht eingehalten werden. Bis zum 31.12.1997 waren bei der COGEMA 3.376 tSM wiederaufgearbeitet (GRS 1998). Mit der Wiederaufarbeitung der Brennelemente nach den Altverträgen wurde bei BNFL in Sellafield 1996 begonnen, sie soll bis 2002 abgeschlossen sein. Am 31.12.1997 waren 56 tSM wiederaufgearbeitet (GRS 1998).

Nach der Aufgabe des Projektes in Wackersdorf 1989 wurden weitere Wiederaufbereitungsverträge mit den beiden ausländischen Firmen abgeschlossen, um den Entsorgungsnachweis für die einzelnen Atomkraftwerke zu gewährleisten. Mit diesen Verträgen sollte die Entsorgung aller bis einschließlich zum Jahr 2005 in der Bundesrepublik anfallenden Leichtwasserreaktor-Brennelemente abgedeckt und so der Entsorgungsnachweis fortgeschrieben werden. Darüber hinaus enthalten diese Verträge auch Optionen zur Wiederaufarbeitung aller anfallenden Brennelemente bis zum Jahr 2015. Ob die Wiederaufarbeitung in den Wiederaufarbeitungsanlagen in La Hague und Sellafield jedoch tatsächlich ein Nachweis im Sinne des AtG ist, wurde und wird vielfach in Frage gestellt und negativ beantwortet (siehe Kapitel H-4.3.1.4 und H-4.3.5).

Die vor 1989 abgeschlossenen Verträge einschließlich übernommener Kontingente anderer Staaten (Schweden und Schweiz) werden im folgenden Altverträge genannt, die im Jahre 1990 abgeschlossenen Verträge Neuverträge. Die Gesamtvertragsmengen der EVU sind in Tabelle H-5 aufgeführt.

	COGEMA	BNFL
Altverträge in tSM	4.755 <sup>1)</sup>	969 <sup>3)</sup>
Neuverträge in tSM	1.645 <sup>2)</sup>	1.400 <sup>2)</sup>

**Tabelle H-5: Vertragsmengen für die Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Kernbrennstoffe in Tonnen Schwermetall (tSM)**

<sup>1)</sup> (FABIAN 1995), <sup>2)</sup> (DIBBERT et al. 1992), <sup>3)</sup> (BNFL 1993).

Bei den Altverträgen mit beiden Wiederaufbereitungsfirmen handelte es sich um sogenannte Festmengenverträge. Das bedeutet die verbindliche Wiederaufarbeitung der im Vertrag festgelegten Menge an Kernbrennstoffen. Die Neuverträge sind dagegen überwiegend Bedarfsmengenverträge. Sie beziehen sich jeweils auf die abgeschätzte Entlademenge eines Atomkraftwerkes für einen bestimmten Zeitraum. Zunächst bis 2005, bei Nutzung der Op-

tionen darüber hinaus. Fallen in diesem Kraftwerk durch Stilllegung jedoch keine Brennelemente mehr an, so erlischt der Vertrag.

Die Neuverträge (Stand 1990) enthalten Klauseln, die einen Rücktritt von den Vereinbarungen durch die EVU ermöglichen. Dabei wird allerdings die Zahlung einer Entschädigung an die Wiederaufarbeitungsfirmen fällig, die sich mit jedem Jahr erhöht. Von dieser Möglichkeit wurde bezüglich der Verträge mit BNFL in zwei Fällen bereits Gebrauch gemacht. Die Betreiber der Atomkraftwerke Krümmel und Gundremmingen haben Ende 1994 Verträge über 125 bzw. 425 tSM gekündigt. Von der oben genannten Vertragsmenge (1.400 tSM) sind damit noch 850 tSM übrig. Über die Kündigungsabsichten weiterer Betreiber wurde in der Fachpresse mehrfach berichtet (NF 1995b), aber bisher kein Vollzug gemeldet. Darüber hinaus enthalten die Verträge eine Kündigungsmöglichkeit wegen höherer Gewalt, die keine Entschädigungszahlungen nach sich zieht. Dies schließt gesetzliche Verbote der Wiederaufarbeitung mit ein (DIBBERT et al. 1992).

Zur Absicherung dieser privatwirtschaftlichen Verträge wurden völkerrechtliche Vereinbarungen zwischen den Regierungen der Französischen Republik und der Bundesrepublik Deutschland sowie dem Vereinigten Königreich von Großbritannien und der Bundesrepublik Deutschland abgeschlossen. Sie beinhalten die gegenseitige Zusicherung, dem Zugang bundesdeutscher EVU zu den Wiederaufarbeitungskapazitäten, dem Transport der Brennelemente zur Wiederaufarbeitungsanlage und der Rückführung der Kernbrennstoffe sowie der angefallenen Abfälle in die Bundesrepublik keine Hindernisse entgegenzusetzen.

In einer Ausarbeitung der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages werden dazu folgende Meinungen vertreten (WIDIE 1996):

- Die Einhaltung der einmal geschlossenen völkerrechtlichen Vereinbarungen kann nicht einseitig durch Berufung auf nationales Recht verweigert werden.
- Eine Änderung oder Beendigung kann nur einvernehmlich geschehen.
- Die Vereinbarungen verlieren automatisch ihre Gültigkeit, wenn die Ursache, auf der sie beruhen, (nämlich die privatwirtschaftlichen Verträge) erfüllt oder gekündigt sind.

In einer abweichenden Rechtsauffassung wird dazu festgestellt (GROTH 1993):

- Die völkerrechtlichen Vereinbarungen verpflichten die Bundes- und Landesregierungen auf der Grundlage des derzeit geltenden Rechtes, keine Verwaltungsmaßnahmen zu ergreifen, die den Vereinbarungen widersprechen.
- Das geltende Recht kann durch Bundestagsbeschlüsse - auf wessen Initiative auch immer - verändert werden, auch wenn dies den völkerrechtlichen Vereinbarungen zuwiderläuft. In diesem Fall wäre die Bundesregierung nicht gehindert, das veränderte Recht verwaltungsmäßig umzusetzen.
- Ein solches Vorgehen würde die Grundlage der völkerrechtlichen Vereinbarungen aufheben und somit auch die Vereinbarungspartner von der Vereinbarung entbinden.

An dieser Stelle kann keine juristische Beurteilung der beiden Meinungen erfolgen. Die in DIBBERT et al. (1992) genannte Klausel zu höherer Gewalt unter Einbeziehung eines gesetzlichen Verbotes der Wiederaufarbeitung spricht aber eher für die zweite Auslegung. Klar ist auf jeden Fall, daß die Beendigung der Wiederaufarbeitung Fall möglich ist. Entweder durch eine Änderung des Atomgesetzes oder durch einen Konsens mit den EVU, was zur Wahrnehmung entsprechender Vertragsklauseln führen würde.

Mit COGEMA wurden von den bundesdeutschen EVU Verhandlungen über eine Änderung der Neuverträge geführt. In einem „Papier zur Verständigung“ der COGEMA über Verhandlungen mit der PreussenElektra AG (PE) wird unter anderem folgendes festgehalten (COGEMA 1994):

Die Vertragspartner halten Wiederaufarbeitung für die beste Entsorgungslösung. PE stimmt der Wiederaufarbeitung jedoch nur zu, wenn das anfallende Pu entweder zu MOX-Brennelementen verarbeitet und auch eingesetzt werden kann oder ohne finanzielle Belastung für PE von COGEMA bzw. einem Dritten übernommen wird. Wird die Wiederaufarbeitung von in La Hague lagernden und nach Zeitplan fälligen Brennelementen von PE abgelehnt, muß eine Entschädigungszahlung geleistet werden. Die Anlieferung von Brennelementen, die Wiederaufarbeitung und die MOX-Fertigung sollen zwischen den Vertragspartnern jährlich im voraus für die nächsten drei Jahre festgelegt werden. Wenn bereits gelieferte und für die Wiederaufarbeitung fällige Brennelemente vorerst doch nicht wiederaufgearbeitet werden sollen, wird die Lagerperiode ausgedehnt, bis für eine Entscheidung „bessere Zeiten“ gekommen sind. Wird dann bis zu einem bestimmten Zeitpunkt immer noch nicht wiederaufgearbeitet, müssen die Brennelemente auf Kosten des EVU wieder zurückgenommen werden. COGEMA macht auf Wunsch vorher ein Angebot zur endlagergerechten Konditionierung.

Insgesamt wird mit diesen Veränderungen dem Wunsch der bundesdeutschen EVU entgegengekommen, sich jetzt noch nicht auf eine Wiederaufarbeitung endgültig festlegen zu müssen und La Hague gegebenenfalls auch als Zwischenlager nutzen zu können. Letzteres war ein klares Ziel der Vertragsverhandlungen (FABIAN 1995). Gleichzeitig wird dem französischen Gesetz genüge getan, das eine Lagerung von Abfällen ausländischer Kunden verbietet. Diese Interpretation entspricht auch den Ausführungen in (NF 1996a).

Ein nach diesen Vorgaben veränderter Vertrag wurde bereits Anfang 1996 mindestens für einen Teil der vertraglich vereinbarten Brennelemente aus dem Kernkraftwerk Isar II abgeschlossen (EJZ 1996). Nach Angaben seines Vorstandsvorsitzenden hat auch PreussenElektra diese Vertragsänderungen mit COGEMA vereinbart. Dabei soll zusätzlich auch die Möglichkeit zur Rückholung der Brennelemente bestehen, wenn die Wiederaufarbeitung bei COGEMA teurer als die Direkte Endlagerung ist. Vergleichbare Vertragsänderungen sollen auch alle anderen EVU mit COGEMA vereinbart haben (HARIG 1996).

Abgesehen von den rechtlichen und vertraglichen Möglichkeiten zur Beendigung der Wiederaufarbeitung ist die Frage zu erörtern, ob der Verzicht auf die Wiederaufarbeitung durch die EVU in jüngerer Zeit nicht durch die starken Proteste gegen die Zwischenlagerung der Brennelemente in Ahaus und Gorleben behindert wird. Dafür spräche, daß die EVU den Weg des geringsten Widerstandes wählen und, um Imageverlust zu vermeiden, lieber nach La Hague oder Sellafield transportieren. Dem sind unter anderem die folgenden Argumente entgegen zu halten:

- Entscheidend für den zu wählenden Entsorgungsweg sind für die EVU die ihnen dadurch entstehenden Kosten. Dies gilt sowohl für die Frage Wiederaufarbeitung oder Direkte Endlagerung als auch dafür, ob in der Bundesrepublik oder im Ausland zwischengelagert wird.
- Solange es die Gesetze erlauben, halten sich die EVU grundsätzlich alle Entsorgungswege offen.
- Die Neuverträge mit COGEMA und BNFL wurden von den EVU bereits 1990 abgeschlossen. Eine Kündigung dieser Verträge hängt - den Kostenvorteil der Direkten Endlagerung vorausgesetzt - vor allem mit der weiteren Entwicklung des Entsorgungsvorsorgennachweises bzw. dessen offizieller Interpretation zusammen.
- Die vereinzelt vorgebrachten Drohungen der EVU mit der Wiederaufarbeitung (u.a. aus dem Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar) haben rein politisch-taktischen Charakter. Damit können sich die EVU zum Beispiel eine öffentliche Legitimation für Transporte zur Lagerung im Ausland beschaffen. Davon abgesehen hat die Erfahrung der Vergangenheit gezeigt, daß Drohungen je nach gerade aktueller Opportunität gewechselt werden.

Es ist also insgesamt davon auszugehen, daß die grundsätzliche Entscheidung für oder gegen die Wiederaufarbeitung nicht von den aktuellen Protesten gegen die Zwischenlagerung in Gorleben oder Ahaus abhängt. Ein solcher Zusammenhang könnte allenfalls einzelne Transporte betreffen. Dafür gibt es aber auch keine belastbaren Anhaltspunkte, da alle fest angemeldeten Transporte in die Zwischenlager bisher auch durchgesetzt worden sind und es gegenüber der ursprünglich vorgesehenen Einlagerungsplanung aufgrund der Proteste auch keinen dramatischen Rückstand gibt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß zum Beispiel ein Transport nach La Hague aufgrund der veränderten Verträge nicht automatisch die Wiederaufarbeitung zur Folge hat (s. Kapitel H-4.3.1.1).

### **H-4.3.1.2 Wiederaufgearbeitete Kernbrennstoffe**

Die Wiederaufarbeitung wird seit Aufgabe der Entwicklung eines Brutreaktors zur Rezyklierung der Kernbrennstoffe Plutonium und Uran in den Leichtwasserreaktoren betrieben. Nach gegenwärtigem Stand wird allerdings nur das Plutonium als Bestandteil des Mischoxid(MOX)-Brennstoffes in Reaktoren eingesetzt. Die Wiederverwertung des Urans ist wegen des auf absehbare Zeit günstigen Weltmarktpreises für Natururan für die EVU ökonomisch unsinnig. Das wiederaufgearbeitete Uran hat außerdem eine ungünstige Zusammensetzung hinsichtlich verschiedener Uranisotope, die bei der Verarbeitung zu Brennelementen technische und strahlenschutzmäßige Probleme verursacht. Bei einer Wiederverwertung würde nach der Anreicherung über 90% als abgereichertes Uran übrig bleiben, das dann als Abfall endgelagert oder anderweitig verwertet werden müßte. Die Probleme werden mit zunehmendem Abbrand der Brennelemente, wie er ja vorgesehen ist, größer. Durch den zunehmenden Abbrand entstehen für das wiederaufgearbeitete Plutonium ähnliche Probleme wie für das Uran.

Aus den Altverträgen müssen von den EVU etwa 4.500 t wiederaufgearbeitetes Uran zurückgenommen werden (VdEW 1989). Ein Teil dieses bisher angefallenen Urans soll allerdings an ausländische Firmen verkauft worden sein (HMU 1996). Bis 1997 wurden in bundesdeutschen Reaktoren 9 Brennelemente (3,1 tSM) mit angereichertem Uran aus der Wiederaufarbeitung (WAU) eingesetzt, das letzte 1987. Um ein Druckwasserreaktorbrennelement (ca. 500 kg) herstellen zu können, werden etwa 10 t WAU benötigt (PERSCHMANN 1997). Die Kosten für ein WAU-Brennelement sind daher eindeutig höher als für ein Brennelement aus frischem Uran. Durch die vorgesehene Abbranderhöhung wird sich der Kostenabstand in der Zukunft vergrößern.

Im Rahmen der Altverträge mit COGEMA sind von den EVU bis zum Jahr 2000 insgesamt 34,5 t spaltbares Plutonium zurückzunehmen (DIBBERT et al. 1992). Mit dem Plutonium aus den Altverträgen mit BNFL ergibt sich eine Gesamtmenge von ca. 42 t (THOMAS 1996). Ende 1995 lagerten ca. 30 t abgetrenntes Plutonium in La Hague (HIRSCH 1996). Von dem von dort bereits zurückgelieferten Plutonium waren 1996 bereits 8 t wieder zu MOX verarbeitet, und 2 t wurden an das europäische Brüterprogramm abgegeben. Im Plutoniumlager in Hannover lagerten 1996 etwa 2,4 t Plutonium, wovon ca. 1,6 t zu MOX verarbeitet war (NW 1996).

In bundesdeutschen Reaktoren wurden bisher etwa 221 tSM als MOX-Brennelemente eingesetzt (KRELLMANN 1997). Die verfügbare Herstellungskapazität von MOX-Brennelementen in der Europäischen Union betrug 1995 maximal 88 tSM pro Jahr. Bis zum Jahr 2000 soll die Kapazität auf 333 tSM und bis 2010 auf 353 tSM pro Jahr erhöht werden. Damit können ab 2010 etwa 18 t Plutonium pro Jahr verarbeitet werden (HMU 1996). Die Kapazität ab 2000 entspricht damit etwa der jährlich in La Hague anfallenden Plutoniummenge. Global gesehen kann demnach der bis zum Jahr 2000 entstandene Plutoniumberg nicht abgebaut werden.

In der Bundesrepublik ist der Einsatz von MOX-Brennelementen in 12 Reaktoren genehmigt. Dies umfaßt insgesamt ca. 400 t MOX. Für weitere 5 Reaktoren sind im Gesamtumfang von ca. 195 t Genehmigungsanträge gestellt (HMU 1996). Von der für MOX-Einsatz genehmigten Gesamtkapazität wurden bis zum 31.12.1995 nur etwa 35% - in 6 Reaktoren - genutzt (GRS 1996). Für das Jahr 1996 betrug der Ausnutzungsgrad insgesamt ca. 9% in ebenfalls 6 Reaktoren (GRS 1997a). Der Ausnutzungsgrad dürfte sich auch 1997 nicht wesentlich erhöht haben, unter anderem weil nur noch in 5 Reaktoren MOX-Brennelemente eingesetzt wurden (BTD 1998). Neben dem erst beginnenden Einsatz von MOX-Brennelementen in einigen Reaktoren ist für die geringe Ausnutzung auch die nicht ausreichend zur Verfügung stehende Herstellungskapazität für diese Brennelemente verantwortlich. Wie ein Vergleich der Herstellungskapazitäten mit den genehmigten Einsatzkapazitäten zeigt, reicht gegenwärtig selbst eine Ausnutzung der gesamten europäischen Herstellungskapazitäten nicht aus, um den genehmigten MOX-Einsatz allein in den deutschen Reaktoren abzudecken.

Auch wenn genügend Brennelementfertigungskapazitäten für MOX zur Verfügung ständen, um die in der Bundesrepublik genehmigte Einsatzkapazität in den Reaktoren abzudecken, käme es nicht zu einem Abbau der bereits vorhandenen Plutoniummenge. Es könnte nur die weitere Zunahme verlangsamt werden. Für einen Plutonium-Abbau müßte die genehmigte Einsatzkapazität mehr als verdoppelt werden. Eine Erhöhung des Anteils von MOX-Brennelementen im Reaktorkern ist jedoch nur bei einigen Reaktoren möglich.

In zwei Szenarien wurde von einer Bund-Länder-Kommission eine Betrachtung zum Plutonium-Anfall bis zum Jahr 2030 durchgeführt. Im Fall der Direkten Endlagerung aller anfallenden bestrahlten Kernbrennstoffe wären danach insgesamt 260 - 270 t Plutonium, das in die Brennelementstruktur eingebunden ist, endzulagern. Wird der Kernbrennstoff wiederaufgearbeitet und werden die MOX-Einsatzmöglichkeiten in der BRD vollständig ausgeschöpft, so beträgt die im Jahr 2030 vorhandene Menge Plutonium ca. 200 t, die dann ebenso endgelagert werden müßten (HMU 1996). Demnach trägt auch die Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung insgesamt nicht zu einer wesentlichen Verringerung des Plutoniums im Endlager bei. Unter anderem dies ist der Anlaß für RWE Energie AG, besonders nachhaltig die Direkte Endlagerung zu verfolgen (PASSIG 1996a).

Wegen der Situation bei den Herstellungskapazitäten und Einsatzmöglichkeiten für MOX-Brennelemente ist absehbar und bei einem Stop der Wiederaufarbeitung in Verbindung mit einem Ausstieg aus der Atomenergienutzung ist es zwingend notwendig, daß das bisher abgetrennte Plutonium als Abfall deklariert werden muß. Es müssen Entsorgungswege für das Plutonium gefunden werden, die vor allem die durch seine hohe Toxizität bedingten Gefahren und die Gefahr der Proliferation minimieren. Diese Probleme können hier nicht diskutiert werden. Es sollen aber drei Umgangsmöglichkeiten genannt werden: (a) Verglasung des Plutoniums entsprechend den hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung, (b) Herstellung von Plutoniumstäben, die in bestrahlte Brennelemente eingebaut und gemeinsam zwischen- und endgelagert werden sowie (c) Umwandlung des Plutoniums in Reaktoren.

### **H-4.3.1.3 Wiederaufarbeitungsabfälle**

Mit Ausnahme der ersten (Anfang der 70er Jahre) abgeschlossenen Verträge über knapp 300 tSM enthalten die Wiederaufarbeitungsverträge eine Klausel, nach der COGEMA und BNFL bei Einhaltung bestimmter Randbedingungen berechtigt sind, die bei der Wiederaufarbeitung anfallenden radioaktiven Abfälle an die EVU zu liefern.

Im Falle von Frankreich wurde die „Rücklieferung“ von Abfällen zusätzlich durch ein 1991 von der französischen Regierung erlassenes Gesetz manifestiert. Danach müssen die bei der Wiederaufarbeitung anfallenden Abfälle in das Land zurückgeschickt werden, aus dem die wiederaufzuarbeitenden Brennelemente stammen. Die Rücklieferung soll erfolgen, sobald der Zustand der Abfälle dies technisch möglich macht (FRA 1992). Fraglich ist allerdings, für welche Abfälle die gesetzliche Regel greift. Im allgemeinen ist keine rückwirkende Wirkung zu unterstellen. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß erst die Abfälle betroffen sind, die bei einer Wiederaufarbeitung von Brennelementen nach Dezember 1991 entstanden sind. Ebenso fraglich ist, für welche Abfallarten die gesetzliche Bindung gilt. Das Gesetz wurde für die Entsorgung hochaktiver und langlebiger radioaktiver Abfälle erlassen. Trifft dieser Gesamtzusammenhang auch für den Paragraphen zur Abfallrückführung zu, könnten zumindest die schwachaktiven, nicht  $\alpha$ -Strahler-haltigen Abfälle nicht vom Gesetz betroffen sein. Das Gesetz wird unterschiedlich interpretiert.

In Erfüllung der vertraglichen Randbedingungen für die Lieferung der Abfälle in die Bundesrepublik haben die Wiederaufarbeitungsfirmen Spezifikationen für bestimmte Abfälle vorge-

legt, die von den EVU und den zuständigen Behörden in der Bundesrepublik zustimmend zur Kenntnis genommen wurden. Auch eine Vereinbarung über die mengenmäßige Zuordnung von Abfällen zu angelieferten bestrahlten Brennelementen wurde getroffen.

Durch die Entwicklung neuer Konditionierungstechniken haben sich bei der COGEMA in den letzten Jahren Änderungen ergeben, die zu einer teilweisen Neuverhandlung über die Abfälle führten. Soweit bekannt, sind diese bisher nur für die HAW-Kokillen und die bitumierten Abfälle abgeschlossen. Für die Hülsen und Strukturteile sowie die schwachaktiven Abfälle ist ein vollständiger Wechsel der Konditionierungstechnik vorgesehen. Die ursprünglich vorgesehene Zementierung wird durch eine Hochdruckverpressung ersetzt. Es ist davon auszugehen, daß für die Abfälle neue Spezifikationen vorgelegt werden müssen, die ebenfalls der Zustimmungspflicht der bundesdeutschen Behörden unterliegen. Wegen des noch nicht endgültigen Sachstandes sind auch in Zukunft weitere Veränderungen möglich.

In den Wiederaufarbeitungsverträgen ist für die Lieferung der entstandenen Abfälle die Möglichkeit der Substitution einer Abfallart durch eine andere enthalten („Curie-Swap“). Mit BNFL wird über dieses Thema verhandelt. BNFL bietet an, 15 % mehr HAW-Kokillen zu liefern, als den bundesdeutschen Abfällen eigentlich zuzuordnen wären und dafür alle anderen Abfälle in Großbritannien endzulagern (PASSIG 1996b). Der Substitution der schwachaktiven Abfälle hat die britische Regierung bereits zugestimmt, für die mittelaktiven wurde die Zustimmung vom Fortschritt des Baus eines entsprechenden Endlagers in Großbritannien abhängig gemacht (NF 1995a). Hier hat es allerdings 1997 einen Rückschlag für die britische Endlagerplanung gegeben. Der Antrag für den Bau eines Felslabors zum Nachweis der Eignung des Standortes Sellafield als Endlager für mittelaktive Abfälle wurde von der britischen Regierung wegen Unzulänglichkeiten in den Unterlagen sowie der Wahl des Standortes zurückgewiesen (COLA 1997). Über die konkreten Auswirkungen für den Abfalltausch ist in der Bundesrepublik bisher keine offizielle Stellungnahme abgegeben worden.

Entsprechende Verhandlungen über Substitution mit der COGEMA sind bisher nicht bekannt. Es wäre auch fraglich, ob ein solcher Tausch nach dem oben diskutierten französischen Gesetz zu den Wiederaufarbeitungsabfällen zulässig wäre. Die französischen Behörden lehnen einen Abfalltausch bisher ab. Andererseits wurde schon verschiedentlich über die Möglichkeit einer ähnlichen Substitution wie mit BNFL berichtet (SCHWARZ 1997). Die weitere Entwicklung bleibt hier abzuwarten.

Die Wiederaufarbeitung führt zu einer deutlichen Erhöhung des endzulagernden Abfallvolumens. Die quantitativen Angaben in Veröffentlichungen schwanken bzgl. des Anfalls konditionierter Wiederaufarbeitungsabfälle der verschiedenen Kategorien. Gründe hierfür können zum Beispiel unterschiedliche Annahmen zur zwischenlagerechten Verpackung oder die Berücksichtigung unterschiedlicher Abbrände der bestrahlten Brennelemente sein. Nach Merz (1994) beträgt das Volumen für die Direkte Endlagerung pro tSM  $2 \text{ m}^3$  hochaktiven Abfall. Bei Wiederaufarbeitung fallen pro tSM  $0,6 \text{ m}^3$  hochaktiver,  $2,5 \text{ m}^3$  mittelaktiver und  $18 \text{ m}^3$  schwachaktiver Abfall an. Der Abfallvermehrungsfaktor beträgt also knapp 11. Dabei sind noch nicht alle Abfälle, die durch die Wiederaufarbeitung anfallen, berücksichtigt (es werden allerdings auch nicht alle Abfälle in die Ursprungsländer verbracht).

Bezogen auf eine tSM führt diese Volumenvergrößerung und damit Erhöhung der handzuhabenden und zu transportierenden Gebindezahl zu höheren Strahlenbelastungen beim

Umgang und erhöht die Wahrscheinlichkeit für Freisetzungen radioaktiver Stoffe durch Stör- bzw. Unfälle.

#### **H-4.3.1.4 Sicherheitsaspekte bei der Wiederaufarbeitung**

Bei der Wiederaufarbeitung handelt es sich um einen technisch komplizierten und chemisch komplexen Prozeß. Der Kernbrennstoff und die bei der Kernspaltung im Reaktor erzeugten Produkte liegen in gelöster Form vor und werden nach dem Trennungsprozeß auch längere Zeit als Lösung gelagert. Bei Unfällen ist daher die Voraussetzung für hohe Freisetzungsraten von radioaktiven Stoffen unmittelbar gegeben. Bei in Wiederaufarbeitungsanlagen möglichen Unfallabläufen können die radiologischen Auswirkungen diejenigen des Reaktorunfalls von Tschernobyl noch übertreffen. Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung können noch in Entfernungen von knapp 2.000 km überschritten werden (GRUPPE ÖKOLOGIE 1988a).

Durch die Wiederaufarbeitung entsteht ein breites Spektrum von radioaktiven Abfällen, die behandelt, gelagert, transportiert und schließlich endgelagert werden müssen. Die Zahl von Handhabungen und Transporten ist um ein Vielfaches größer als beim Umgang mit bestrahlten Brennelementen. Dadurch erhöht sich die Kollektivdosis, da mehr Personen (Beschäftigte und Bevölkerung) häufiger belastet werden. Ebenso erhöht sich für Lagerung und Transport die Wahrscheinlichkeit eines Unfalles mit Freisetzungen. Dies kann auch für die in Typ B-Behältern befindlichen HAW-Kokillen, vor allem beim Transport, nicht ausgeschlossen werden (INTAC 1996).

Für den Nachweis der Einhaltung der Abfallspezifikation sowie im Hinblick auf die Anforderungen zur Sicherheit bei Lagerung und Transport in der Bundesrepublik, insbesondere aber auch der späteren Endlagerung, wurde für die konditionierten Abfälle eine sogenannte Produktkontrolle eingeführt. Für die stark wärmeentwickelnden hochaktiven Abfälle bedeutet das z.B.: Um die Stabilität des Glaskörpers in der Kokille für die ca. 30jährige Zwischenlagerzeit über Tage zu gewährleisten, muß das Glas möglichst geringe Auslaugraten für die Radionuklide aufweisen. Bei Unfällen muß die weitgehende Radionuklidrückhaltung gewährleistet sein. Es ist jedoch höchst zweifelhaft, ob die bisherigen Vereinbarungen zwischen den Wiederaufarbeitungsfirmen und den bundesdeutschen EVU hierfür ausreichend sind (NEUMANN 1997b).

Beim Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlagen in La Hague und Sellafield werden radioaktive Stoffe über die Abluft und das Abwasser in die Umgebung abgegeben. Dies führt zu spürbaren Belastungen von Mensch und Umwelt in der Umgebung der Anlagen. Es sollen hier nur einige der jüngsten Beispiele genannt werden:

- Anfang 1997 erbrachte eine epidemiologische Fall-Kontroll-Studie für die Umgebung von La Hague „überzeugende Hinweise“ auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlage und Leukämieerkrankungen (VIEL 1997). Eine von der französischen Regierung eingesetzte Wissenschaftlerkommission bestätigte die Studienergebnisse (STRAHLENTELEX 1997).

- Messungen im Auftrag der Umweltschutzorganisation Greenpeace e.V. an in der Umgebung der Einleitstelle der Abwässer aus der Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague gezogenen Wasser- und Sedimentproben haben Werte ergeben, die nach bundesdeutschem Recht für Wasser und Sediment eine Entsorgung als radioaktiver Abfall vorschreiben würde (GREENPEACE 1997). Als Folge dieser Messungen wurde von der französischen Umweltministerin das Meeresgebiet um den Abwassereinleitungsort für Fischerei- und Ausflugsboote gesperrt.
- Die erlaubten Abgaben der Wiederaufarbeitungsanlage THORP in Sellafield in das Meer hat z.B. zu einer starken Erhöhung der Belastung von Meerestieren geführt. Die Belastung von Hummern ist inzwischen 14 mal höher als die zulässigen europäischen Belastungswerten für Nahrung nach einem nuklearen Störfall (WISE 1997).
- Für Tauben aus der Umgebung von Sellafield wurde eine Aktivitätsbelastung von 280.000 Bq/kg gemessen. Der EU-Grenzwert für die Einfuhr von Lebensmittel liegt bei 1.000 Bq/kg (SZ 1998).

MOX-Brennstoff besitzt im Vergleich zu frischem Uranoxid eine höhere radiologische Giftigkeit. Dies sorgt für eine höhere Strahlenbelastung der Beschäftigten bei der Fabrikation der Brennelemente. Der MOX-Einsatz in Reaktoren führt zu einer Verschlechterung der Steuerfähigkeit des Reaktors und erhöht das Inventar an langlebigen alpha-Strahlern. Durch letzteres erhöhen sich bei bestrahlten Brennelemente die ausgesandte Neutronenstrahlung und die Wärmeentwicklung. Dies wiederum hat negative Auswirkungen auf Transport, Zwischenlagerung und Endlagerung von bestrahlten MOX-Brennelementen. Nähere Ausführungen zu den Sicherheitsproblemen mit MOX-Brennstoff siehe z.B. GRUPPE ÖKOLOGIE (1991) und KÜPPERS (1994).

## H-4.3.2 Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente

### H-4.3.2.1 Zwischenlagertechnik

In Deutschland wird die Zwischenlagerung von Brennelementen an den AKW-Standorten in NaBlagern durchgeführt. Für die längerfristige Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen über Tage hat sich die trockene Behälterlagerung durchgesetzt. Ein wesentlicher Grund für letztere sind die im Vergleich zu anderen Lagertechniken niedrigeren Kosten. Allerdings ist auch auf die im Rahmen des Gorleben-Hearings 1979 zum sogenannten Integrierten Entsorgungszentrum geführte Sicherheitsdiskussion über NaBlager außerhalb von Reaktorblöcken und mit größeren Lagerkapazitäten hinzuweisen (NLR 1979). Grundsätzlich gibt es heute drei Lagerprinzipien, die zur Anwendung kommen können:

- **Das NaBlager:** Mit Wasser gefülltes Lagerbecken, in dem die Brennelemente in Gestellen hängen. Zur Abfuhr der in den Brennelementen auftretenden Nachzerfallswärme muß eine Zwangskühlung durch Umwälzung des Wassers mittels Pumpen in einem Kühlkreislauf erfolgen. Diese Technik wird in den Reaktor-Lagerbecken der Kraftwerke und in den Eingangslagern der Wiederaufarbeitungsanlagen eingesetzt. Die Kraft-

werkslager besitzen in der Bundesrepublik Kapazitäten zwischen 67 und 560 tSM.

- **Das Behälterlager:** Die Brennelemente befinden sich in aufrecht stehenden und mit einer Heliumatmosphäre gefüllten Transport- und Lagerbehältern in einer Lagerhalle. Die Lagerhalle besitzt Zu- und Abluftöffnungen, die durch die von den Behältern abgegebenen Wärme einen sich selbständig aufrecht erhaltenden Luftzug erlauben. Hierdurch wird die Wärmeabfuhr erreicht. Diese Technik wird in Gorleben und Ahaus eingesetzt. Die Zwischenlagerkapazitäten sind variabel und reichen gegenwärtig bis zu 4.000 tSM.
- **Das Blocklager:** Zur Einsatzreife entwickelt wird zur Zeit das Blocklagerprinzip 'FuelStor', in dem die Brennelemente in Büchsen verschweißt horizontal in Schächten aus großen Betonblöcken lagern (BANCK 1992). Ähnlich wie im Behälterlager, soll die Kühlung über natürlichen Luftzug erfolgen. Die Entwicklung erfolgt sowohl für zentrale Zwischenlager mit Kapazitäten von ca. 5.000 tSM, als auch für Zwischenlager an den AKW-Standorten für Kapazitäten ab 500 tSM. Ob 'FuelStor' in Deutschland überhaupt zum Einsatz kommen kann, hängt auch von der weiteren Entwicklung der Atomenergienutzung ab.

Zur Erhöhung der vorhandenen Lagerkapazitäten in den Naßlagern am Reaktor ohne neue Gebäudestrukturen errichten zu müssen, sind zwei Techniken in der Diskussion: Die Zweistocklagerung und die Zweizonenlagerung.

Mit der Zweistocklagerung soll eine zweite Ebene in den Naßlagern zur Nutzung erschlossen werden (BANCK 1997). Dazu werden Lagergestelle auf die vorhandene erste Ebene aufgesetzt. Während die Beladung der ersten Ebene von oben erfolgt, soll sie bei der zweiten Ebene modular seitlich erfolgen, um die erforderliche Wasserabdeckung der Brennelemente zu erhalten. Der genaue Planungsstand für die Zweistocklagerung in der Bundesrepublik ist nicht bekannt. Diese Technik ist aus unserer Sicht unter Sicherheitsgesichtspunkten höchst bedenklich.

Bei der Zweizonenlagerung soll ein Teil der in den Lagerbecken vorhandenen Kompaktlagergestelle gegen solche mit höherer Packungsdichte, also mehr Brennelementpositionen auf gleichem Raum, ersetzt werden. Während für die alten Kompaktlagergestelle (Zone 1) die von den Brennelementen zu erfüllenden Bedingungen gleich bleiben, müssen die Brennelemente für die neuen Gestelle (Zone 2) einen bestimmten Mindestabbrand erreicht haben. Die Zweizonenlagerung wurde bzw. wird bisher in 8 spanischen Reaktoranlagen realisiert (DÄUWEL 1998). In der Bundesrepublik wurde eine Zweizonenlagerung Anfang 1998 für das Kernkraftwerk Emsland beantragt. Nach Aussagen der Betriebsleitung des Kraftwerkes soll diese Kapazitätserhöhung zur besseren Ausnutzung des Kernbrennstoffs in den Brennelementen dienen (KKE 1998). Auch diese Technik zur Erhöhung der Lagerkapazitäten ist aus sicherheitstechnischen Erwägungen abzulehnen.

Für die trockene Behälterlagerung wird in Atomindustriekreisen die Konsolidierung von Brennelementen diskutiert. Sie wäre grundsätzlich auch für die Naßlagerung umsetzbar.

Konsolidierung bedeutet die Verdichtung der zum Brennelement zusammengesetzten Brennstäbe. Das heißt, der Brennelementverband wird aufgelöst und die Brennstäbe in Büchsen dichter zusammengepackt. Nach der Konsolidierung füllen die verdichteten Brenn-

stäbe aus zwei Brennelementen das Volumen eines Brennelementes aus. Daraus ergibt sich eine Verdoppelung der Raumnutzung. Die Konsolidierung kann unter Wasser in den Lagerbecken erfolgen (bereits erprobt), wird aber auch trocken durchgeführt (wenig Erfahrung, ist für die PKA geplant). Unter sicherheitstechnischen Aspekten stellt die Konsolidierung eine unnötige Erhöhung des Gesamtrisikos bei der Entsorgung von Brennelementen dar. Für die trockene Konsolidierung muß ein zusätzlicher Anlagenkomplex eingerichtet werden, in dem die zusätzlich notwendigen Handhabungen der Brennelemente/Brennstäbe durchgeführt werden. Der Kernbrennstoff wird aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus zu einem frühen Zeitpunkt verdichtet, was die Kritikalitätsgefahr weiter erhöht. Ebenso wird durch die Auflösung der Kontrolleinheit die Proliferationsgefahr erhöht.

Eine über allgemeine Aussagen hinausgehende sicherheitstechnische Bewertung der Lager-techniken kann im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand erscheint für eine langfristige Zwischenlagerung hinsichtlich möglicher Freisetzungen radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb und bei Unfällen sowie der Störfallanfälligkeit die Behälterlagerung ohne Konsolidierung als diejenige mit dem geringsten Risiko. Es muß allerdings betont werden, daß es sich hier um die Wahl des kleineren Übels handelt. Für die Behälterlagerung ist dringend eine sicherheitstechnische Ertüchtigung notwendig. Die wichtigsten technischen Maßnahmen sind hier eine Auslegung des Zwischenlagergebäudes für eine weitgehende Reduzierung der aus den Behältern dringenden Direktstrahlung und gegen Einwirkungen von außen (z.B. Flugzeugabsturz, Explosionen und terroristische Anschläge) sowie die Einführung einer redundanten Dichtheitsüberwachung für die Behälter. Neben diesen auf die Zwischenlagerung bezogenen sicherheitstechnischen Verbesserungen ist außerdem die Erbringung eines in jeder Beziehung belastbaren Sicherheitsnachweises (z.B. hinsichtlich Unfallsicherheit und Oberflächenkontamination) für die Transportzulassung der Behälter zu verlangen.

#### **H-4.3.2.2 Zentrale/dezentrale Zwischenlagerung**

Die Pfade B bis E für die Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung (siehe Kapitel H-4.2.2) beinhalten zentrale oder dezentrale Zwischenlager. Mit zentralen Zwischenlagern sind solche gemeint, die sich nicht an einem AKW-Standort befinden und zur Lagerung von Brennelementen aus mehreren Atomkraftwerken vorgesehen sind. Dezentrale Lager befinden sich an den AKW-Standorten, und es ist jeweils nur die Lagerung von Brennelementen vorgesehen, die am Standort angefallen sind.

Das gegenwärtige offizielle Entsorgungskonzept sieht eine zentrale Zwischenlagerung der bestrahlten Brennelemente vor. Überlegungen zu einer dezentralen Zwischenlagerung wurden von Atomkraftkritikern überwiegend in direktem Zusammenhang mit dem Ausstieg aus der Atomenergienutzung angestellt. Ziel war es dabei zu prüfen, ob durch dezentrale Ansätze das Risiko bei der notwendigen Entsorgung der angefallenen radioaktiven Abfälle (einschließlich Brennelemente) verringert werden kann.

Im Rahmen des Beirates für Fragen des Kernenergieausstiegs (BFK, Beratungsgremium des Niedersächsischen Umweltministeriums) wurden übergeordnete Randbedingungen bzw. Grundsätze für den Umgang mit Abfällen aus der Atomenergienutzung benannt. Diese soll-

ten bei der Entwicklung eines alternativen Umgangkzeptes berücksichtigt werden. Sie lauten (HIRSCH 1994):

1. Begrenzung der noch anfallenden bestrahlten Brennelemente und damit der benötigten Lagerkapazität durch Ausstieg aus der Atomenergie.
2. Der Endlagerstandort steht gegenwärtig nicht fest.
3. Die Zahl der Standorte für Atomanlagen muß möglichst gering sein.
4. Die Techniken für Konditionierung und Zwischenlagerung müssen so unkompliziert wie möglich sein.
5. Konditionierung und Zwischenlagerung müssen in der Bundesrepublik Deutschland erfolgen.
6. Durch das Umgangkzept für die Brennelemente dürfen die Optionen für Stille-gungskzepten der Kraftwerke nicht beeinflußt werden.

Auf Grundlage dieser Rahmenbedingungen wurden sieben Entsorgungspfade entwickelt, die eine dezentrale Zwischenlagerung und eine dezentrale Konditionierung oder eine dezentrale Zwischenlagerung und eine zentrale Konditionierung beinhalteten (NEUMANN 1997). Dabei wurden für die zentrale Zwischenlagerung die Behälterlagerung und für die dezentrale Zwischenlagerung Naß-, Behälter- oder Blocklagerung unterstellt. Für die endlagergerechte Konditionierung der Brennelemente wurde der Einsatz des POLLUX-Systems angenommen. Die notwendigen Handhabungsschritte für die 7 Pfade wurden analysiert und unter folgenden sicherheitstechnischen Gesichtspunkten vergleichend bewertet:

- Möglichst geringe Strahlenbelastung durch Freisetzungen sowie Direktstrahlung im Normalbetrieb und bei Unfällen,
- möglichst kleines Risiko für Stör- bzw. Unfälle durch möglichst geringe Zahl und zeitliche Kürze von Umgangsschritten (Handhabungen und Transporte),
- möglichst geringes Volumen in Abwägung von Sicherheitsrisiken,
- möglichst geringe Überwachungstätigkeiten und
- möglichst hohe Proliferationssicherheit.

**Die Gesamtbewertung des Vergleiches ergab eindeutige Vorteile für den rein dezentralen Pfad mit Behälterlagerung.** Der Vorteil für eine dezentrale Behälterzwischenlagerung bleibt gegenüber der derzeit verfolgten rein zentralen Lösung auch erhalten, - allerdings in geringerem Umfang - wenn die Konditionierung zentral durchgeführt würde (NEUMANN 1997). Wird das Konzept der zur Zeit der damaligen Bearbeitung von NEUMANN (1997) noch nicht in der Bundesrepublik öffentlich vorgestellten frühen Kapselung (siehe Kap. H-4.3.3) in die vergleichende Bewertung einbezogen, so ergeben sich bezüglich der Konditionierung neue Vorteile. In Kombination mit einer dezentralen Behälterzwischenlagerung ist dieser Pfad bezüglich Minimierung von Handhabungs- und Umgangsschritten mit Abstand als das beste Konzept zu beurteilen.

Das hier referierte Ergebnis von sicherheitstechnischen Überlegungen basiert auf der Berücksichtigung der unterschiedlichen konzeptionellen Ansätze. Zusätzlich sind für die Entwicklung eines Entsorgungskonzeptes bezüglich der dezentralen Zwischenlagerung auch Sicherheitsfragen zu den einzelnen Techniken, die Einordnung in Logistik und Infrastruktur des Kraftwerkes und die räumlichen Gegebenheiten am Standort zu prüfen.

Es ist in sicherheitstechnischer Hinsicht und zur Entkoppelung von Stilllegungsarbeiten nach Abschaltung des Reaktors sinnvoll, ein dezentrales Zwischenlager außerhalb des Reaktorgebäudes und der mit ihm verbundenen Baustrukturen zu errichten. Demzufolge stellt sich die Frage der Störfallsicherheit in bezug auf die Lagertechnik für die dezentrale Zwischenlagerung im gleichen Umfang wie für die zentrale Zwischenlagerung. Als Lagertechnik sollte nach dem bisher erarbeiteten Kenntnisstand die trockene Behälterlagerung ohne Verdichtung der Brennstäbe (Konsolidierung) bevorzugt werden, weil sie die Lagertechnik mit dem relativ geringsten Risiko ist. Für die Lagergebäude und -behälter sowie ihre Überwachungstechnik im Zwischenlager sind sicherheitstechnische Verbesserungen notwendig.

Die Einordnung in Logistik und Infrastruktur des Kernkraftwerkbetriebes dürfte kein Problem darstellen, da das externe Zwischenlager am Standort autonom versorgt werden kann und sich die Arbeitsabläufe im Kraftwerk nicht von denen bei zentraler Zwischenlagerung unterscheiden.

Da das Behälterzwischenlager in einem eigenen, neu zu errichtenden Gebäude am Standort untergebracht werden sollte, ergibt sich die Frage, ob auf dem Gelände der Kraftwerke genügend Fläche vorhanden ist. Die Größe des benötigten Zwischenlagers hängt von der Abbrandstrategie, der installierten Leistung und der noch zu berücksichtigenden Laufzeit des Reaktors ab. Selbst unter ungünstigen Randbedingungen im Rahmen des in Kapitel H-3.3.3 unterstellten Ausstiegsszenarios 2 beträgt der Platzbedarf für das Behälterzwischenlager nach grober konservativer Schätzung unter  $3.000 \text{ m}^2$  (das TBL hat eine Grundfläche von ca.  $7.000 \text{ m}^2$ ). Diese Fläche dürfte an jedem Reaktorstandort zur Verfügung stehen.

Die Machbarkeit dezentraler Zwischenlagerung an den Reaktorstandorten ist auch in der Atomenergieindustrie unumstritten. Die Möglichkeit der Errichtung von Zwischenlagern am Standort wird beispielsweise in (GRS 1992) gleichberechtigt zur zentralen Strategie genannt. In einer Veröffentlichung des Deutschen Atomforums, (BAUMGÄRTEL 1995), heißt es bezüglich der Behälterlagerung, daß „die entladenen Brennelemente ... einschließlich starkwandiger Behälter über lange Zeit auch sicher an den Reaktorstandorten gelagert werden können.“

Diese Aussage wurde in jüngster Zeit zum Beispiel durch den Leiter des Kernkraftwerkes Grohnde bestätigt, der im Bau einer Lagerhalle am Standort Grohnde kein Problem sieht, wenn dies politisch gewollt ist (DITTMER 1998). Von ähnlichen Äußerungen wurde in letzter Zeit mehrfach berichtet (z.B. HAZ 1998). Bedenken werden von Betreiberseite im wesentlichen hinsichtlich finanzieller Mehrkosten und der Durchführung und Länge der Genehmigungsverfahren für externe Zwischenlager an den Reaktorstandorten geäußert (NF1996b). Diese Probleme sollten aber überwindbar sein.

Ist im Rahmen eines Ausstiegsbeschlusses keine sofortige Stilllegung aller Atomkraftwerke möglich und gelingt es politisch auch nicht, die Laufzeit der Kraftwerke an die Kapazität ihrer Lagerbecken zu koppeln, so kann die Tatsache sicherheitstechnisch bedeutsam sein, daß die Einführung eines dezentralen Konzeptes zu einer längeren Ausnutzung der Kapazitäten der Lagerbecken des Reaktors führen kann. Der Grund dafür ist die für Genehmigung und Bau des Standortzwischenlagers benötigte Zeit. Problematisch ist daran vor allem die Vermaschung der Kühlkreisläufe von Reaktor und Becken. Bei einer Bewertung ist jedoch die Randbedingung des mehr oder weniger kurzfristigen Ausstiegs aus der Atomenergie zu be-

achten, die eine längere Lagerung im Lagerbecken des Reaktors als vergleichsweise verantwortbar erscheinen läßt.

Im Falle eines Ausstiegs aus der Atomenergienutzung müßte die Dauer der Genehmigungsverfahren auch bei im Vergleich zur heutigen Behälterlagerung erhöhten Sicherheitsanforderungen begrenzt sein. Es handelt sich für alle Standorte um dieselbe Technik, was eine Vereinfachung der Verfahren bedeutet. Sicherheitstechnisch muß in grundsätzlicher Hinsicht kein Neuland betreten werden. Die Verfahren zur Neugenehmigung für die Transportbehälterlager Ahaus und Gorleben haben 2 bzw. 2,5 Jahre in Anspruch genommen. Auf Grund des beschlossenen Ausstiegs ist begründet davon auszugehen, daß Klageverfahren gegen die Genehmigungen dezentraler Zwischenlager die Ausnahme sind, wenn nicht sogar ganz vermieden werden können. Der Sicherheitsgewinn bei einem Vergleich zwischen dem stillgelegten Atomkraftwerk und einem kapazitätsmäßig begrenzten Behälterzwischenlager auf der einen Seite sowie einem in Betrieb befindlichen Atomkraftwerk mit einem gefüllten Lagerbecken auf der anderen Seite müßte hier überzeugend sein.

Trotz dieser möglichen Beschleunigungseffekte kann es für einen Teil der Kraftwerke, zum Beispiel wegen geringer Lagerbeckenkapazität oder weitgehender Ausschöpfung der Kapazität zum gegenwärtigen Zeitpunkt, zu Problemen kommen. Die Kapazität kann erschöpft sein, bevor die im Ausstiegsgesetz festgelegte Restbetriebszeit abgelaufen ist und das externe Standortzwischenlager zur Verfügung steht. In diesen Fällen bliebe, bei Weiterbetrieb der Reaktoren und gleichzeitigem Verbot von Brennelementtransporten zur Wiederaufarbeitung, nur die Möglichkeit von Transporten in die zentralen Zwischenlager. Welchen Umfang diese Transporte haben, hängt von den im Ausstiegsgesetz festgelegten Restlaufzeiten der Reaktoren und vom Inbetriebnahmezeitpunkt der dezentralen Zwischenlager ab.

Über den tatsächlichen Inbetriebnahmezeitpunkt der dezentralen Zwischenlager läßt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur spekulieren. Er hängt zum Beispiel davon ab, ob die oben genannten Beschleunigungseffekte greifen, die Genehmigungsbehörde/n unter Wahrung der sicherheitstechnischen Anforderungen kooperatives Genehmigungsverfahren durchführen können und welche Vorarbeiten auf Seiten der EVU in Richtung dezentrale Zwischenlagerung bereits existieren (es gibt hierfür einige Anhaltspunkte). Um eine Vorstellung zu vermitteln, welche Problemmengen an Brennelementen auftreten, wird hier die Inbetriebnahme der dezentralen Zwischenlager im Jahr 2002 unterstellt. Bei den zeitkritischen Kraftwerken wird die Möglichkeit eines kurzfristigen Verbleibs der Brennelemente im Reaktorkern (bis ca. 1 Jahr) berücksichtigt. Außerdem wird unterstellt, daß ab 1998 (einschl.) keine Transporte mehr zu ausländischen Wiederaufarbeitungsanlagen durchgeführt werden.

Für die Kernkraftwerke Stade (ohne Nutzung des Zusatzpositionen) und Philippsburg 1 wäre die Notwendigkeit des Abtransportes nach den vorliegenden Daten vom 31.12.1997 bereits bei einer Stilllegung im Jahr 1999 (Szenario 1, „Sofortausstieg“) gegeben. Knapp 15 tSM müßten extern gelagert werden.

Bei einer Stilllegung der Reaktoren nach Szenario 2 („Szenario 2004“) wären 11 Reaktoren an neun Standorten von der Notwendigkeit des Abtransportes betroffen. Etwa 450 tSM müßten in die zentralen Zwischenlager gebracht werden.

Diesen Zahlen stehen die insgesamt zwischenzulagernden Brennelementmengen von ca. 4.300 tSM (Szenario 1) bzw. ca. 6.250 tSM (Szenario 2) gegenüber. Das bedeutet, durch die

potentielle Notwendigkeit von Transporten während einer Übergangszeit wird das prinzipielle Konzept der dezentralen Zwischenlagerung nicht ad absurdum geführt. Gleichzeitig ist festzuhalten, daß Transporte in das oder die Zwischenlager bereits ab 1999 notwendig sein können. Kandidaten für diese frühen Transporte sind die Standorte Krümmel, Stade, Biblis und Philippsburg.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß bei einem festgelegten Ausstieg die Realisierung neuer Standortzwischenlager zur Vermeidung von Transporten, zur Verringerung von Handhabungen mit Brennelementen und Behältern und damit insgesamt zur Verringerung des Risikos sinnvoll und möglich ist. Die Höhe der jeweils beantragten Zwischenlagerkapazität muß dabei in der Genehmigung mit der während der im Ausstiegsgesetz vereinbarten Restlaufzeit maximal anfallenden Brennelementmenge abgestimmt sein. Entsprechend begrenzt muß auch die bauliche Struktur des Standortzwischenlagers ausgelegt sein. Je schneller der Ausstieg erfolgt, um so geringer kann die Zwischenlagerkapazität bemessen sein und um so geringer werden auch die Probleme sein, die in technischer, logistischer, rechtlicher, zeitlicher und politischer Hinsicht auftreten können.

Bei der Bemessung der Kapazität der Standortzwischenlager sind ggf. auch eventuell zurückzunehmende Brennelemente und die verglasten hochaktiven Abfälle aus den Wiederaufarbeitungsanlagen zu berücksichtigen. Brennelemente wären im Falle eines sofort wirksamen gesetzlichen Wiederaufbauverbotes zurückzunehmen, wenn diese zum Zeitpunkt des Verbotes bereits bei den Wiederaufarbeitungsanlagen lagern. Für die HAW-Kokillen ist statt der bisher vorgesehenen Zwischenlagerung in Gorleben auch deren Lagerung an den Reaktorstandorten möglich.

Bei einer konsequenten Umsetzung des dezentralen Ansatzes müssen auch die HAW-Kokillen an den Kraftwerksstandorten gelagert werden. Da jedem Betreiber - in Abhängigkeit von der jeweils zur Wiederaufarbeitung geschickten Brennelementmenge - eine bestimmte Anzahl von Kokillen zugeordnet werden kann, ist dies kein grundsätzliches Problem. Der nicht feststehende Standort für das Endlager spricht ebenfalls für eine dezentrale Lagerung. Dies gilt insbesondere, weil das Transportbehälterlager Gorleben im Gegensatz zu fast allen Kraftwerken, keinen Bahnanschluß besitzt und deshalb bei An- und Abtransport ein Verkehrsträgerwechsel stattfinden muß.

Ein Gegenargument zur dezentralen Zwischenlagerung ist die zu erwartende Lieferung von HAW-Kokillen bevor die dezentralen Lager annahmefähig sind. Dies kann aber höchstens für genau diese HAW-Kokillen gelten. Um wieviel es sich dabei handelt, hängt von den zwischen den EVU und den Wiederaufarbeitungsfirmen vereinbarten Zeitplänen für die Lieferung ab. Ein Argument gegen die kurzfristige Fortführung der Lieferungen von HAW-Kokillen aus La Hague ist die aus unserer Sicht unzureichende Produktkontrolle für diese Abfälle. Inwieweit hier eine fachliche Klärung noch Auswirkungen haben könnte und ob durch die Vertragslage einschließlich der drei bereits angenommenen Behälter nicht unumkehrbare Fakten geschaffen wurden, muß juristisch geprüft werden. Für die Kokillen aus Sellafield gibt es nach unserem Kenntnisstand bisher keine präjudizierenden Fakten. Hier muß die Qualität der Produktkontrolle erst geprüft werden. Es existiert für diese Kokillen übrigens auch noch keine Zwischenlagergenehmigung für das TBL.

Aufgrund der Verantwortung gegenüber der Bevölkerung an den Wiederaufarbeitungsstandorten ist es nicht sinnvoll, die Lieferung von HAW-Kokillen ohne sicherheitstechnischen

Grund längere Zeit zu verzögern. Aufgrund der französischen Gesetzeslage besteht hierzu bezüglich La Hague vermutlich auch keine Möglichkeit. Sind die Bedenken zur Produktkontrolle rechtlich nicht mehr relevant, werden daher bis zur Inbetriebnahme von dezentralen Zwischenlagern weitere Einlagerungen in Gorleben wahrscheinlich unumgänglich sein. Eine nachträgliche Verlagerung der Zwischenlagerung aus dem TBL in die dezentralen Zwischenlager wäre nur sinnvoll, wenn es sich um eine relativ geringe Zahl von Behältern handelt und wäre dann eine politisch zu treffende Entscheidung.

### **H-4.3.2.3 Genehmigungssituation für Brennelementzwischenlager**

Die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente erfolgt gegenwärtig intern, in Lagerbecken am Reaktorstandort, oder extern in sogenannten zentralen Trockenlagern. Die interne Lagerung ist in der Regel als Teil der gesamten Anlagengenehmigung eines Reaktors nach § 7 AtG genehmigt. Die zentrale Lagerung wird dagegen in einer reinen Betriebsgenehmigung nach § 6 AtG geregelt.

#### **Brennelementlagerbecken am Reaktor**

Die Lager an den Kraftwerken waren ursprünglich nur als Abklingbecken zur Überbrückung der Zeit bis zum Abtransport der Brennelemente gedacht. Ende der 70er Jahre wurde jedoch für die meisten betriebenen und alle geplanten Kraftwerke die Kompaktlagerung beantragt und auch genehmigt. Insgesamt beträgt die genehmigte Kapazität für alle betriebenen Atomkraftwerke 6.200 tSM. Während des Betriebes darf davon allerdings nur die Kapazität von ca. 4.300 tSM zur Lagerung genutzt werden, da in jedem Lagerbecken für den Notfall Platz für die im Reaktor befindliche Brennelemente frei gehalten werden muß.

Außerdem ist noch eine Lagerkapazität von 362 tSM für das gerichtlich stillgelegte Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich genehmigt, wo außer den derzeit lagernden 96 tSM aber keine weiteren Brennelemente mehr eingelagert werden dürfen.

Für das Kernkraftwerk Emsland in Lingen wurde 1998 ein Antrag auf Kapazitätserhöhung für das Lagerbecken um 151 tSM gestellt.

Ein Antrag auf die Kapazitätserweiterung zur Brennelementlagerung am AKW-Standort Philippsburg um 223 tSM ruht zur Zeit.

#### **Transportbehälterlager Gorleben (TBL)**

Das TBL besitzt eine Genehmigung für die Lagerung von 3.800 tSM in Leichtwasserreaktorbrennelementen (bis 1995 1.500 tSM) auf maximal 420 Stellplätzen. Seit 1995 ist auch die Zwischenlagerung von hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague erlaubt. Die Genehmigung für die HAW-Kokillen aus Sellafield wurde zurückgestellt. Für die Behälter aus beiden Anlagen werden ca. 160 der 420 Stellplätze freigehalten. Das entspricht etwa den aus der Wiederaufarbeitung nach Altverträgen zu erwartenden Zahl an Lagerbehältern. Das TBL ist die einzige Anlage in der Bundesrepublik, die eine Genehmigung zur Zwischenlagerung von HAW-Kokillen besitzt.

Sollen in das TBL Behälter eingelagert werden, in denen sich, wie in den Kapiteln H-4.3.2.1 und H-4.3.3 beschrieben, konsolidierte Brennelemente befinden, muß hierfür vorher eine Erweiterungsgenehmigung erteilt werden.

### **Brennelementzwischenlager Ahaus (BZA)**

Die seit November 1997 zulässige Kapazität für die Brennelementbehälterlagerhalle des BZA beträgt 3.960 tSM. Beantragt waren 4.200 tSM. Ursprünglich betrug auch hier die Kapazität 1.500 tSM. Es ist die Zwischenlagerung von Leichtwasser-, Hochtemperatur- und Forschungsreaktorbrennelementen genehmigt. Für Behälter mit Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren (LWR) beträgt die maximal erlaubte Stellplatzzahl 420. Mindestens in bezug auf Forschungsreaktorbrennelementbehälter ist jedoch bei Einhaltung bestimmter Randbedingungen die Lagerung auf zusätzlichen Plätzen in den Gassen zwischen den LWR-Behältern erlaubt. Darüber hinaus ist, ebenfalls in den Gassen, die Lagerung von schwachaktiven Abfällen aus dem BZA selbst und dem stillgelegten THTR in Hamm zulässig.

Die ersten Behälter mit Leichtwasserreaktor-Brennelementen wurden im März 1998 eingelagert, obwohl im 1979 von den Regierungschefs von Bund und Ländern gefaßten „Beschluß zur Entsorgung der Kernkraftwerke“ ein Vorbehalt für die Einlagerung enthalten ist (BTD 1983, Anlage 2):

„Die Regierungschefs von Bund und Ländern begrüßen, daß die Landesregierung von Nordrhein-Westfalen weiterhin bereit ist, ein externes Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasser-Reaktoren zu übernehmen und dabei davon ausgeht, daß zum Zeitpunkt der ersten Einlagerung von abgebrannten Brennelementen die Aufnahmefähigkeit des Salzstockes in Gorleben gesichert erscheint und die Entscheidung über die anzuwendende Entsorgungstechnik positiv getroffen ist.“

Von diesen beiden Voraussetzungen ist keine erfüllt. Der Salzstock befindet sich in der Erkundung und die Eignung des Standortes ist anzuzweifeln (s. Kap. H-5.6.2). Von einer positiven Entscheidung über die anzuwendende Entsorgungstechnik kann nicht gesprochen werden. Das AtG läßt freie Wahl für Wiederaufarbeitung oder Direkte Endlagerung. Die Entscheidung über die Entsorgungstechnik ist also noch nicht getroffen. Im übrigen wurde für die Entscheidungsfindung auch von einer einvernehmlichen Regelung von Bund und Ländern ausgegangen. Auch eine definitive Entscheidung der EVU für eine Direkte Endlagerung der eingelagerten Brennelemente ist nicht bekannt. Öffentlich behalten sich die EVU die Option der Wiederaufarbeitung vor. Die Einlagerung hätte also eigentlich nur im Konsens mit der Landesregierung erfolgen dürfen. Vor diesem Hintergrund sollte, sofern noch nicht geschehen, die rechtliche Relevanz für die Zulässigkeit der Einlagerung überprüft werden.

Neben dem BZA ist auf dem gleichen Anlagengelände die Errichtung und der Betrieb eines weiteren Zwischenlagers genehmigt, das Zwischenlager Ahaus (ZLA). Dort sollen vor allem die konditionierten Hülsen und Strukturteile aus der Wiederaufarbeitung, aber auch andere Abfälle gelagert werden. Gegenwärtig besitzt das ZLA nur eine Genehmigung für diese Abfälle. Es wird jedoch erwogen, für einen Teil des dreigliedrigen Lagers bei Bedarf eine Genehmigungserweiterung für bestrahlte Brennelemente zu stellen (PASSIG 1996b).

### **Brennelementlager in den Kernkraftwerken Greifswald und Rheinsberg**

In den Lagerbecken von zwei Reaktorblöcken des Kernkraftwerks Greifswald (KGR) und dem Becken im Kernkraftwerk Rheinsberg lagern noch Reste von insgesamt 37,3 tSM, die aufgrund der Auslastung des Zwischenlagers für abgebrannten Brennstoff (ZAB) nicht entfernt werden können.

Im Rahmen der Stilllegungsgenehmigung dürfen in einem Kraftwerksgebäude am Standort Rheinsberg 3 mit Brennelementen beladene CASTOR-WWER-Behälter im Rahmen der Transportbereitstellung vorübergehend gelagert werden.

Auf dem Gelände des KGR befindet sich das ZAB. Es handelt sich um ein wassergefülltes Lagerbecken mit einer Kapazität für 4.680 WWER-Brennelemente bzw. 565 tSM. Gegenwärtig werden, bei voller Auslastung der zur Verfügung stehenden Lagerpositionen, Brennelemente aus Greifswald und Rheinsberg gelagert. Aus Sicherheitsgründen soll das Lager schnellst möglich geräumt werden.

Mit der Leerung des ZAB sollte 1997 begonnen werden. Aufgrund der bisher nicht vorliegenden Genehmigung für das Zwischenlager Nord (ZLN) konnte damit noch nicht begonnen werden. Die Beladung eines CASTOR WWER mit Brennelementen aus dem ZAB dauert ca. 3 Wochen. Für alle im ZAB befindlichen Brennelemente werden etwa 55 Behälter benötigt. Daraus folgt eine Dauer für die gesamte Leerung des ZAB von mehr als 3 Jahren. Die Genehmigung für das ZAB war aufgrund des Einigungsvertrages zunächst bis zum 30.06.2000 begrenzt. Bis zu diesem Zeitpunkt kann das ZAB nicht leer geräumt werden. Daher ist die Betriebsgenehmigung mit der 8. Novelle des Atomgesetzes verlängert worden.

### **Brennelement-Zwischenlager Nord (ZLN)**

Auf dem Gelände des Kernkraftwerkes Greifswald ist der Betrieb eines Transportbehälterlagers nach § 6 AtG beantragt. Antragsteller ist die Zwischenlager Nord GmbH (100% Tochter der EWN GmbH). Laut Sicherheitsbericht soll dieses Zwischenlager für 80 mit bestrahlten Brennelementen beladene Behälter ausgelegt sein. Die zulässige Kapazität soll 620 tSM betragen (ZLN 1995). Mit der Genehmigung wird im Sommer 1998 gerechnet.

Das ZLN soll nach bisherigen offiziellen Aussagen allerdings nur für die WWER-Brennelemente aus Greifswald und Rheinsberg genutzt werden. Dies ist in einem gemeinsamen Antrag aller Landtagsfraktionen in Mecklenburg-Vorpommern manifestiert (LMV 1991) und wurde zuletzt noch einmal von Bundesumweltministerin Merkel betont (DPA 1998). Für die insgesamt vorhandenen WWER-Brennelemente werden nur 68 Stellplätze benötigt. Allerdings beträgt deren Masse knapp 600 tSM, so daß für die Einlagerung weiterer Behälter mit „fremden“ Brennelementen wenig Kapazität bleibt. In Äußerungen der Zwischenlagerbetreiber werden für die fernere Zukunft Einlagerungen von Brennelementen aus anderen Reaktoren nicht ausgeschlossen. Hierzu könnte auch eine Kapazitätserweiterung beantragt werden (RITTSCHER 1998). Aufgrund der gegenwärtigen Rechtslage (Konstruktion des AtG) dürfte die Einlagerung von anderen Brennelementen nicht zu verhindern sein, wenn der Betreiber einen entsprechenden Antrag stellt. Der aufgrund des genannten Allparteiantrages erfolgte Landtagsbeschluß hat rechtlich keine Bedeutung. Wirksam können hier nur politischer Druck oder ein politischer Konsens werden. Gegenwärtig ist die Einlagerung „fremder“ Brennelemente jedoch nicht aktuell.

## Dezentrale Brennelementzwischenlager

Für das Kernkraftwerk Obrigheim ist die Inbetriebnahme eines externen Naßlagers am Standort für 283 tSM beantragt. Der Bau des Lagers ist bereits genehmigt und auch schon erfolgt. Sollte auch der Betrieb genehmigt werden, reicht die Kapazität einschließlich der derzeit im Reaktorbecken gelagerten Brennelemente bis zum Betriebsende des Reaktors aus.

Zu Beginn der 80er Jahre gab es Genehmigungsanträge für jeweils ein Behälterlager an den Standorten Stade und Würgassen, die aber zurückgezogen wurden.

## H-4.3.3 Konditionierung bestrahlter Brennelemente

### Das POLLUX-Behältersystem

Für die Konditionierung bestrahlter Brennelemente zu einem endlagerfähigen Gebinde wurde das POLLUX-Behältersystem entwickelt. Nach gegenwärtigem Stand der Behälterauslegung können Brennelemente mit einem Abbrand von 55 GWd/tSM bereits nach 5 Jahren Abklingzeit in den POLLUX-Behälter geladen werden. Die Brennelemente werden ganz oder in Brennstäbe zerlegt in eine Stahlbüchse eingebracht, die mit einem Deckel verschweißt wird. Die Büchsen kommen in einen Innenbehälter (Wanddicke 120 mm), der wiederum erst mit einem geschraubten Primärdeckel und anschließend mit einem geschweißten Sekundärdeckel verschlossen wird. Der Innenbehälter soll die dichte und dauerhafte Barriere für Freisetzungen radioaktiver Stoffe nach außen darstellen. Er wird zusätzlich in einen mit einem Deckel verschraubten Abschirmbehälter aus Gußwerkstoff (Wanddicke 265 mm) eingestellt, der die Gamma- und Neutronenstrahlung nach außen abschirmen und den Gebirgsdruck bei der Endlagerung abtragen soll. Nach gegenwärtigem Stand gibt es für den POLLUX drei Beladungskonfigurationen:

- Aufnahme von 10 (30) in Brennstäbe zerlegten DWR-(SWR-) Brennelementen,
- Aufnahme von 8 (24) in Brennstäbe zerlegten DWR-(SWR-) Brennelementen und deren kompaktierte Strukturteile,
- Aufnahme von 4 unzerlegten DWR-Brennelementen.

Von der Industrie wird im Moment die erste Variante als die zu realisierende angestrebt (WILLAX 1998). Für MOX-Brennelemente verringern sich die genannten Zahlen geringfügig.

Der Pollux-Behälter ist auch für die Endlagerung von HAW-Kokillen und konzeptionell sowohl für eine zentrale wie auch für eine dezentrale Entsorgungsstrategie geeignet. Darüber hinaus sind POLLUX-Behälter auch für den Transport zugelassen, und die Genehmigung für überträgige Zwischenlagerung ist beantragt. Da der Stand der Entwicklung für dieses Behältersystem weit vorangeschritten ist, wird der POLLUX als zu berücksichtigendes Endlagerungsbehältersystem angesehen. Sicherheitstechnische Aussagen zur Konstruktion des Behälters können im Rahmen dieser Studie nicht getroffen werden.

### **Pilotkonditionierungsanlage (PKA)**

Der Konditionierungsvorgang soll nach momentanem Stand in einer zentralen Konditionierungsanlage stattfinden. Zur Erprobung dieser Konditionierung wurde von den EVU der Antrag auf die Errichtung der Pilotkonditionierungsanlage in Gorleben (PKA) mit einem Durchsatz von 35 tSM pro Jahr gestellt. Diese Anlage sollte außerdem zum Umpacken und Nachkonditionieren von Wiederaufarbeitungsabfällen dienen, wenn diese nicht bereits in endlagerfähiger Form aus dem Ausland angeliefert werden.

Gegenwärtig läuft das Verfahren für die 3. Teilgenehmigung zum Betrieb der Anlage. Für die 2. Teilgenehmigung wurde vom Antragsteller auf das Bescheidinteresse zu einer weiteren ursprünglich vorgesehenen Konditionierungsmethode, das Zerlegen der Brennelemente in die einzelnen Brennstäbe und das anschließende Zerschneiden dieser Brennstäbe in knapp 1 m lange Stücke, verzichtet. Es ist davon auszugehen, daß diese Konditionierungsmethode nach gegenwärtigem Planungsstand für Konditionierungsanlage und Endlager zukünftig keine Rolle mehr spielen wird.

Dafür wurde in jüngster Zeit eine andere Variante für die endlagerfähige Verpackung der Brennelemente als Option vorgeschlagen. Die Brennstäbe sollen ebenfalls in (kleinere) Büchsen und zwei dieser Büchsen wiederum in eine mit Doppeldeckelsystem versehene Brennstabkokille eingebracht werden. Die Brennstabkokillen gleichen - mit Ausnahme der Länge - den HAW-Kokillen und sollen gemeinsam mit diesen in Bohrlöchern endgelagert werden. Eine Brennstabkokille soll 3 DWR- bzw. 9 SWR-Brennelemente beinhalten. Dieses Konditionierungsverfahren soll auch in der PKA durchgeführt werden, ist allerdings noch nicht in das Genehmigungsverfahren integriert worden (WILLAX 1998).

Wegen der bei endgültiger Genehmigung der PKA noch nicht verbindlich feststehenden Einlagerungsbedingungen für das Endlager - hierzu müßten Gesteinsart und Standort für das Endlager definitiv festgelegt sein - wäre zunächst keine Ausnutzung der beantragten 35 tSM zu erwarten. Änderungen von Planungen zur Entsorgungsstrategie (z.B. umschwenken auf Direkte Endlagerung und große Verschiebungen des Terminplanes für Entscheidungen über das Endlager) haben zu einer beabsichtigten Umnutzung der PKA geführt. Nach den neuen Vorstellungen der EVU soll sie folgende Aufgaben erfüllen (WILLAX 1996):

- Umladen von Brennelementen aus kleinen (CASTOR Ia,b,c und IIa sowie TN 900) in große Behälter (CASTOR V/19 und V/21),
- Konsolidierung der Brennelemente (d.h. Abtrennung von Kopf- und Fußteilen sowie Verdichtung der Brennstäbe, siehe auch Kapitel H-4.3.2.1) mit längerer Abklingzeit, dadurch kann z.B. der Inhalt von zwei CASTOR V/19 in einem konzentriert werden,
- Serviceanlage für das TBL und andere Zwischenlager zur Wartung und Reparatur von CASTOR-Behältern.

Durch Umladen und Konsolidieren können die Zwischenlagerkapazitäten - vor allem für das TBL, in dem ca. 160 Stellplätze durch die HAW-Kokillen (fast ohne Schwermetallinhalt) belegt werden - weiter erhöht werden. Wird dieser Weg intensiv verfolgt, reicht jedoch die beantragte Durchsatzkapazität von 35 tSM nicht aus. Es könnten jährlich z.B. nur 3 CASTOR V zur Konsolidierung angenommen werden. Die GNS hatte nach Erlaß der 3. Teilgenehmigung

einen Antrag zur Kapazitätserhöhung auf einen Durchsatz von 400 - 500 tSM vorgesehen (GNS 1993). Diese Absicht wurde jüngst als kurzfristige Perspektive bestritten (WILLAX 1997). Wenn die PKA - vorausgesetzt sie wird genehmigt - von den EVU jedoch nicht als Investitionsruine abgeschrieben wird, ist mittelfristig mit einem Antrag auf Erhöhung der zulässigen Durchsatzkapazität zu rechnen.

### Frühe Kapselung

Im Jahr 1997 wurde der deutschen Fachöffentlichkeit ein neues Konzept für den Umgang mit bestrahlten Brennelementen vorgestellt, die „Frühe Kapselung“ (siehe hierzu auch Pfad E in Kapitel H-4.2.2). Das Grobkonzept sieht zusammengefaßt folgendermaßen aus (DANNERT 1997):

1. Nach ca. 5 Jahren Abklingzeit Kapselung der unzerlegten Brennelemente in Büchsen (DWR 1 BE/Büchse, SWR 2 BE einschl. Kästen/Büchse) in den Lagerbecken der Reaktoren,
2. Beladung von CASTOR oder anderen Behältern mit Büchsen und längerfristige Zwischenlagerung,
3. Umladen in ein Endlager-Overpack, das z.B. als Langkokille ausgebildet sein kann,
4. Endlagerung in Vertikal- oder Horizontalbohrlöchern.

#### Zu 1.:

Die Frühe Kapselung der Brennelemente hat den Vorteil einer Verhinderung von Spaltgasfreisetzungen im Falle nachlassender Brennstabintegrität. Diese ist in Zukunft evtl. durch die mit zunehmenden Abbrand verbundene Erhöhung der Wärmeproduktion häufiger zu erwarten, da dies bei Behälterlagerung systematische Fehler bei der mechanischen Stabilität der Brennstäbe begünstigt. Durch die Kapselung können aber auch defekte Brennelemente "unschädlich" gemacht werden. Sicherheitstechnisch zu beachten ist allerdings das Ziel von Siemens, durch frühe Kapselung die Abklingzeiten der Brennelemente (auch mit höheren Abbränden) in den Reaktorlagerbecken zu verkürzen. Dadurch entstünden höhere Brennstabtemperaturen, was das Auftreten von systematischen Fehlern gerade fördern würde. In der Folge auftretende Freisetzungen würden zwar im Normalfall von der Kapsel zurückgehalten, das Risiko für Freisetzungen auch aus der Kapsel wäre aber gegenüber der Kapselung von Brennelementen mit längeren Abklingzeiten höher.

Die Kapselung erfolgt in einer in das Brennelementlagerbecken gestellten mobilen Einheit unter einer Glocke. Die leere Kapsel wird mit Argon gefüllt, in eine Glocke eingebracht und durch einen Schacht auf den Lagerbeckenboden gebracht. Das Brennelement wird ebenfalls in eine Glocke gebracht und mittels Vakuumtrocknung (evtl. mit Zusatzheizung) getrocknet. Dann wird es in eine Büchse eingebracht und diese verschweißt (WIG-Schweißung ohne Zusatzwerkstoff). Die Büchse enthält eine Gasatmosphäre. Sie ist ausgelegt bis zu einem Abbrand von 60 GWd/t.

#### zu 2.:

Die Beladung des CASTOR mit den Büchsen erfolgt unter Wasser im Lagerbecken, entsprechend der bisherigen Beladung von Behältern mit Brennelementen. Für den gesamten Beladungsvorgang eines CASTOR werden einschließlich vorheriger Kapselung der Brennelemente gegenwärtig 3 Wochen angesetzt.

**zu 3.:**

Das Endlager-Overpack entspricht in Durchmesser, Form und Verschußdeckel der HAW-Kokille. Daher können beide im Endlager mit den gleichen Handhabungseinrichtungen behandelt werden. Zu welchem Zeitpunkt das Umladen aus CASTOR in die Kokillen erfolgt, ist unter anderem von den Endlagerbedingungen abhängig. Dieses Overpack soll die Erfüllung der Endlagerungsbedingungen an das Gebinde gewährleisten.

**zu 4.:**

Durch die Lagerung in Bohrlöchern ist eine Konzentrationsverdünnung der Brennelemente (und damit auch der Wärmeleistung) gegeben. Die Endlagerung ist dementsprechend auch nach kürzerer Abklingzeit möglich. Als Alternative zur Bohrlochlagerung ist auch eine Streckenlagerung der Kapseln in Behältern möglich.

Nach Angaben von Siemens liegen mit Ausnahme der Endlagerung praktisch für jeden Einzelschritt einschlägige Erfahrungen vor. Die frühe Kapselung wurde unter anderem entwickelt, um eine möglichst frühe Entnahme aus dem Lagerbecken zu erreichen. Hier wären aus unserer Sicht im Rahmen eines Ausstiegs Maßstäbe zu setzen und der Zeitpunkt der Kapselung unter Sicherheitsgesichtspunkten neu zu bestimmen.

**Vergleichende Bewertung der Konditionierungsmethoden**

Der Entwicklungsstand ist, auf den gesamten Konditionierungsablauf bezogen, für die PKA/POLLUX-Kombination sicher weiter fortgeschritten. Es ist jedoch zu beachten, daß die Zerlegung und Verpackung der Brennelemente in der PKA bisher nur im „kalten“ Zustand (mit nichtaktiven Simulaten) erprobt sind, während für die Einzelschritte der Kapselung, allerdings jeweils getrennt, „heiße“ Betriebserfahrungen vorliegen. Das Zusammenfügen der Einzelschritte dürfte nicht zu unüberwindbaren Schwierigkeiten führen. Im Unterschied zum Endlager-Overpack der Kapselung ist der POLLUX-Behälter bis zur Serienreife entwickelt und wurde auch schon den für seine Zulassung als Transport- und Zwischenlagerbehälter notwendigen Prüfungen unterzogen.

Eine sicherheitstechnische Analyse der Konditionierungsmethoden ist nicht Bestandteil dieser konzeptionellen Studie. Unter Berücksichtigung der Rahmenbedingung „Ausstieg aus der Atomenergienutzung“ und damit der absehbaren Abschaltung der Reaktoren sind jedoch für die Systemtechnik pauschal keine großen sicherheitsmäßigen Unterschiede zu erwarten. Den vielfältigeren Handhabungsvorgängen in der PKA stehen die Probleme bei der Trocknung der Brennelemente in einer Glocke unter Wasser und die kompliziertere Dichtheitsprüfung der Kapsel (im Vergleich zur Büchse des POLLUX) gegenüber. Die Zahl der Handhabungsvorgänge und Transporte ist für die Endlagerkonditionierung im POLLUX größer als für die Kapselung, was für letztere einen sicherheitstechnischen Vorteil bedeutet. Je weniger Handhabungen, um so geringer ist die Strahlenbelastung im Normalbetrieb und auch das Risiko für Störfälle. Der Vorteil vergrößert sich noch, wenn die Zerlegung bzw. zur Zwischenlageroptimierung die Konsolidierung der Brennelemente durchgeführt wird. Eine Zerlegung ist zwar auch bei der Kapselung möglich, aber nicht vorgesehen.

Ein Vorteil der Kapselung ist auch die erst unmittelbar vor der Einlagerung geplante Einbringung der Kapsel in das Endlager-Overpack. Dadurch kann mit der Konstruktion der äußeren Verpackung gewartet werden, bis die Einlagerungsbedingungen des Endlagers für das

Abfallgebinde feststehen. Dabei muß das Overpack nicht unbedingt - wie von Siemens vorgesehen - die Form einer Kokille besitzen, sondern könnte auch ein Behälter für die Streckenlagerung im Endlager sein.

Positive Auswirkungen könnte die Kapselung auf den Anfall radioaktiver Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung bei der Konditionierung der Brennelemente haben. Deren Menge dürfte geringer sein, als dies bei den bisherigen Konditionierungskonzepten der Fall ist.

Der generelle Einsatz der Kapselung als Konditionierungsstrategie hätte Auswirkungen auf die Entsorgungseinrichtungen für bestrahlte Brennelemente, da die gekapselten Brennelemente im Zwischenlagerbehälter zum Endlager transportiert, dort in ein Endlageroverpack (Kokille oder Behälter) umgeladen und direkt endgelagert werden könnten. Für das Endlager müßte im Falle des Kokilleneinsatzes das Einlagerungskonzept auf überwiegende Bohrlochlagerung umgestellt werden. Dies wäre theoretisch kein Problem, hängt aber von konkreten Standortverhältnissen ab. Wegen des thermischen Verdünnungseffekts einerseits und der schnelleren Gebirgskonvergenz andererseits können sich durch die Einlagerung einzelner Brennelemente - statt mehrerer in einem POLLUX - bei einer Endlagerung in Salz sogar Vorteile ergeben. Durch die Möglichkeit statt Kokille auch einen Behälter als Endlageroverpack einzusetzen ist mit der Kapselung jedoch keineswegs die Endlagerung in Salz vorbestimmt.

Insgesamt begünstigt die Kapselung eine dezentrale Entsorgungsstrategie.

Bei einer dezentralen Konditionierung der Brennelemente würde die PKA weitgehend überflüssig werden. Ein gänzlicher Verzicht ist bei den gegenwärtig in den bundesweit existierenden Atomanlagen vorhandenen Handhabungseinrichtungen jedoch schwierig. Die PKA ist die einzige Anlage in der Bundesrepublik, in der - abgesehen von speziellen Behältertypen in den Forschungszentren Karlsruhe und Jülich - beladene Transport- und Lagerbehälter aller Arten gewartet und repariert werden können. Dieses Problem wird um so schwerwiegender, je mehr Atomanlagen sich in der Stilllegungsphase befinden und ist standortbedingt besonders mißlich, da während der An- und Abtransporte von Behältern ein Verkehrsträgerwechsel Bahn/LKW oder umgekehrt notwendig ist.

Mit der baulichen Fertigstellung der PKA, durch die zwei bisher erteilten Teilgenehmigungen und das Verwaltungshandeln der Genehmigungsbehörde in den letzten drei Jahren ist zunächst einmal ein Fakt geschaffen. Es muß juristisch geprüft werden, ob die fachlichen Ansätze für eine Ablehnung der dritten Teilgenehmigung (Betriebsgenehmigung) bzw. zumindest für eine Beschränkung der erlaubten Tätigkeiten ausreichen.

#### **H-4.3.4 Transporte bestrahlter Brennelemente**

Die Transporte bestrahlter Brennelemente sind im Frühjahr 1998 zu einem der Hauptthemen des öffentlichen Interesses geworden. Es wurden zum Teil drastische Grenzwertüberschreitungen für die Oberflächenkontaminationen an Transportbehältern und -fahrzeugen bekannt, die - obwohl seit über 10 Jahren häufig aufgetreten - von den Kraftwerksbetreibern nicht an die Behörden gemeldet worden sind. Die Ursachenforschung für das Auftreten ho-

her Oberflächenkontaminationen ist zur Zeit (Juli 1998) noch nicht abgeschlossen. Es ist fraglich, ob die Ursache (oder die Ursachen) überhaupt kurzfristig und zweifelsfrei festgestellt werden kann und Maßnahmen ergriffen werden können, die für die Zukunft Grenzwertüberschreitungen ausschließen. Diese Vorgänge können erhebliche Bedeutung für künftige Transporte haben.

Die Zahlen für Transporte bestrahlter Leichtwasserreaktor-Brennelemente pro Jahr schwanken zwischen 60 und 120. Bei den offiziellen Angaben ist zu beachten, daß sich ein Transport auf die gleichzeitige Beförderung mehrerer Behälter oder auf einen einzelnen Behälter beziehen kann. Im Jahr 1997 wurden insgesamt 104 Behälter mit bestrahlten Brennelementen transportiert, die in Tabelle H-6 nach Zielorten aufgliedert sind. Die Transportzahl liegt etwa im Mittel der letzten 10 Jahre.

	Transporte	Behälterzahl	davon CASTOR
Sellafield (BNFL)	19	44	16
La Hague (COGEMA)	54	56	-
TBL Gorleben	2	4	4
Gesamt	75	104	20

**Tabelle H-6: Transporte bestrahlter Brennelemente im Jahr 1997 (Bfs 1998)**

Tabelle H-6 ist auch zu entnehmen, daß nur ein geringer Teil der Transporte in CASTOR durchgeführt wird. Die Differenzierung nach Behältertypen ist sinnvoll, weil die Sicherheitsreserven im Falle eines schweren Unfalls durchaus unterschiedlich sein können, obwohl an alle Behälter die gleichen Grundanforderungen gestellt werden. Abgesehen davon, wird in der deutschen Öffentlichkeit mit dem Behälternamen CASTOR häufig eine erhöhte Sicherheit wegen des Doppeldeckelsystems verbunden. Dies ist jedoch ein Irrtum. Die zum Transport von Brennelementen zur Wiederaufarbeitung nach Sellafield eingesetzten CASTOR-Typen besitzen, wie alle anderen Transportbehälter auch, nur ein Einfachdeckelsystem. Bei den Transporten nach Gorleben und Ahaus werden zwar CASTOR-Typen mit Doppeldeckelsystem (Transport- und Lagerbehälter) eingesetzt, es gibt jedoch widersprüchliche Aussagen ob während des Transportes tatsächlich beide Deckel als Freisetzungsbarrriere wirksam sind. Der eigentliche Sinn des Doppeldeckelsystems ist die Möglichkeit der Freisetzungsüberwachung während der Zwischenlagerzeit.

Im Zusammenhang mit dem Einsatz neuer CASTOR-Typen (V/19 und V/52) und den bekannt gewordenen Problemen mit anderen Behältertypen wird die Qualität des Sicherheitsnachweises für die Transportzulassung von Behältern diskutiert (z.B. GRUPPE ÖKOLOGIE 1998, SCHLICH 1998). Kritisiert wird vor allem, daß die Sicherheitsnachweise nicht ausreichend durch praktische Prüfungen abgesichert sind. Davon abgesehen, sind auch die Anforderungen, welchen mechanischen und thermischen Belastungen ein Behälter standhalten können muß, nicht abdeckend. Daher ist bei schweren Unfällen eine Freisetzung radioaktiver Stoffe, die zu Überschreitungen von Grenzwerten sowie zur Notwendigkeit von Evakuierungen für bestimmte Teilgebiete führt, nicht auszuschließen

Von den Brennelementtransporten gehen aber auch Gesundheitsgefahren beim unfallfreien Transport aus. Die von den Brennelementen ausgehende Gamma- und Neutronenstrahlung wird von den Behälterwänden nicht vollständig abgeschirmt. Bleibt die Strahlenbelastung für Menschen bei kurzem Aufenthalt noch gering, so steigt sie mit zunehmender Aufenthaltszeit (auch bei häufigeren kurzen Aufenthalten) schnell an. Dies wird vor allem relevant, wenn viele Transporte an einem Standort konzentriert sind, wie es für Entsorgungsanlagen (zentrale Zwischenlager, Konditionierungsanlagen, Endlager) der Fall ist. Durch die Fixierungen auf den einzelnen Transportvorgang in den gesetzlichen Bestimmungen werden diese Situationen strahlenschutztechnisch nicht abgedeckt.

Seit 1995 wird in der deutschen Öffentlichkeit sehr heftig darüber diskutiert, ob die biologische Wirksamkeit der radioaktiven Strahlung durch die bundesdeutschen Strahlenschutzvorschriften richtig bewertet wird. Allgemein anerkannter Stand der Diskussion ist, daß die gegenwärtig geltende Strahlenschutzverordnung die Wirksamkeit der Neutronenstrahlung, verallgemeinert ausgedrückt, um den Faktor 2 unterschätzt. Diese Tatsache ist bereits seit 1984 bekannt, als Änderung der Strahlenschutzverordnung wird sich dies aber erst im Jahr 2000 (16 Jahre später!) niederschlagen. Die Erhöhung um den Faktor 2 wird jedoch auf Grundlage neuerer Forschungsergebnisse nicht für ausreichend gehalten. Es wird die Notwendigkeit einer weiteren Erhöhung des Faktors bis auf 60 verlangt, um die Neutronenstrahlungswirksamkeit ausreichend zu berücksichtigen (KUNI 1997). Würde der von Kuni vorgeschlagene Faktor bei Brennelementtransporten auch nur annähernd berücksichtigt, könnten unter den heute sonst geltenden Randbedingungen kaum noch Transporte durchgeführt werden.

Aus den hier dargestellten Risiken beim Transport von Brennelementen folgt unmittelbar, daß Minimierung der Transportvorgänge und Optimierung der Transportwege (möglichst kurz, möglichst unfallsicher) sinnvoll und notwendig ist.

### **H-4.3.5 Entsorgungsvorsorgenachweis**

Voraussetzung für den Betrieb von Atomkraftwerken ist der Nachweis, daß für die Entsorgung der anfallenden bestrahlten Brennelemente Vorsorge getroffen ist (Entsorgungsvorsorgenachweis). Das heißt anders ausgedrückt, die Möglichkeit der sachgerechten und sicheren Verbringung der bestrahlten Brennelemente muß gewährleistet sein. Grundlage für diese Verpflichtung der Antragsteller oder Betreiber von Atomkraftwerken sind die „Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke“, die in der derzeit gültigen Form am 19.03.1980 bekannt gemacht wurden (BTD 1983, Anlage 3). Auf die Diskussion über den Rechtscharakter der Grundsätze und ihre heutige Verbindlichkeit im Zusammenhang mit zahlreichen faktischen Veränderungen bei den Entsorgungsabläufen, Planungs- und Errichtungszeiten für Anlagen sowie technischen und wissenschaftlichen Erkenntnissen soll hier nur hingewiesen werden. Eine kritische Einstellung hat hierzu auch die SPD jüngst noch einmal geäußert (MÜLLER et al. 1998). Im folgenden wird kurz auf die Problematik der Auslands wiederaufarbeitung und die Konsequenzen ihrer Aufgabe sowie die damit in Zusammenhang stehende Endlagerung eingegangen.

Der gesicherte Verbleib der bestrahlten Brennelemente für 6 Jahre muß durch Entsorgungsverträge nachgewiesen werden. Diese Verträge können entweder auf Wiederaufarbeitung oder auf Zwischenlagerung beruhen.

### **Wiederaufarbeitung**

Im Falle der Wiederaufarbeitung muß es sich um eine schadlose Verwertung im Sinne des AtG handeln. Daß dies für die Wiederaufarbeitung in den Anlagen in La Hague und Sellafield zutrifft, wird seit langer Zeit bestritten (siehe z.B. ÖKO-INSTITUT 1990 und HUG 1990). Die Hauptargumentation besteht darin, daß sich die im AtG geforderte schadlose Verwertung an den Anforderungen der deutschen Vorschriften orientieren muß. Diese werden jedoch in verschiedener Hinsicht (z.B. Stand von Wissenschaft und Technik, Grenzwerte, Störfallsicherheit) in den ausländischen Anlagen nicht eingehalten. Damit ist die Verwertung nicht schadlos. Dem wird allerdings entgegengehalten, daß die Wiederaufarbeitungsanlagen im Rahmen des Rechtes der Europäischen Union betrieben werden und dies für den Nachweis der Schadlosigkeit ausreicht. Diesbezüglich wäre eine juristische Klärung notwendig. Von diesem rechtlichen Problem abgesehen widersprechen auch die in Kapitel H-4.3.1.3 beschriebene Erhöhung des Endlagervolumens und die in Kapitel H-4.3.1.4 benannten Auswirkungen für die Umgebung der Anlagen einer schadlosen Verwertung.

Der zweite Aspekt der schadlosen Verwertung ist die Verwertung, also der Wiedereinsatz der aufgearbeiteten Kernbrennstoffe. Der Nachweis der Verwertung ist zwar nicht explizit in den Entsorgungsvorsorgegrundsätzen enthalten, er ist aber Teil der im AtG aufgestellten Forderung (§ 9a Abs. 1 Nr.1 AtG). Entsprechend hat auch das BMU die Aufnahme einer expliziten Regelung in die Entsorgungsgrundsätze gefordert und den zu erbringenden Nachweis als gesetzlich vorgeschrieben gesehen (z.B. BMU 1989b, MATTING 1992). Es erscheint daher um so unverständlicher, daß die Bundesumweltministerin Merkel das Hessische Umweltministerium per Weisung gezwungen hat, einen Bescheid zum Verwertungsnachweis im Rahmen der Entsorgungsvorsorge für die Kraftwerke Biblis A und B zurückzunehmen (HMU 1997).

Zusammengefaßt muß festgestellt werden, daß es auch unter Berücksichtigung der bisherigen Rechtsprechung zumindest höchst fraglich ist, ob der Entsorgungsvorsorgenachweis über die Wiederaufarbeitung in La Hague und/oder Sellafield im Sinne eines sachgerechten und sicheren Umganges gegeben ist.

Dies dürfte zusammen mit wirtschaftlichen Überlegungen und dem praktisch nicht abbaubaren Plutoniumberg (siehe Kapitel H-4.3.1.2) dazu geführt haben, daß auch die EVU einer Einstellung der Wiederaufarbeitung eher positiv gegenüberstehen. Allerdings wollen die EVU zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht endgültig und prinzipiell über die Aufgabe der Wiederaufarbeitung und ihren Ersatz durch die Strategie der Direkten Endlagerung entscheiden. Diese Entscheidung soll aus ihrer Sicht erst dann getroffen werden, wenn der Endlagerstandort endgültig feststeht (de facto: Eignungsnachweis für Gorleben) und Einlagerungsbedingungen verbindlich festgelegt worden sind. Erst dann wäre der Entsorgungsvorsorgenachweis über die Direkte Endlagerung endgültig erbracht.

### **Zwischenlagerung und Konditionierung**

Nach den Entsorgungsvorsorgegrundsätzen ist der Entsorgungsvorsorgenachweis auch über die Zwischenlagerung mit dem Ziel der Behandlung zur Direkten Endlagerung möglich. Im Falle des Verzichts auf die Wiederaufarbeitung im Ausland wäre dies der einzig gangbare Weg. Bestandteil des Entsorgungsvorsorgenachweises sind damit nach gegenwärtigem Stand die internen Reaktorlagerbecken, die externen Trockenzwischenlager und die Pilot-Konditionierungsanlage (PKA).

Zum Zeitpunkt des Erlasses der Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge wurde von den Regierungschefs von Bund und Ländern beschlossen, daß die „... Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente auf einen möglichst kurzen Zeitraum begrenzt wird ...“ (BTD 1983, Anlage 2). Es wurde von maximal 15 bis 20 Jahren ausgegangen. Dieser Zeitraum bemaß sich an dem aus damaliger Sicht zu erwartenden Zeitpunkt für die Verfügbarkeit der Entsorgungsanlagen. Mit den genehmigten Kenndaten für Brennelemente war dieser Zeitraum ebenfalls kompatibel. Aus heutiger Sicht ist für eine Entsorgungsstrategie mit Direkter Endlagerung ein teilweise mehr als doppelt so langer Zwischenlagerzeitraum technisch erforderlich. Dies hängt mit den veränderten Kenndaten der Brennelemente zusammen (durch den erhöhten Abbrand sind längere Abklingzeiten notwendig), aber auch mit dem Zeitpunkt, ab dem ein betriebsbereites Endlager zur Verfügung stehen kann. Darüber hinaus müssen die hochaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung ebenfalls 30 - 40 Jahre zwischengelagert werden, bevor ihre Wärmeabgabe gering genug für eine Endlagerung ist. Die jetzt also für Brennelemente und HAW-Kokillen notwendigen ca. 40 Jahre Zwischenlagerzeit sind durch die gültigen Entsorgungsgrundsätze nicht abgedeckt. Es ergibt sich also die Notwendigkeit, im Rahmen des Entsorgungsvorsorgenachweises eine längerfristige Zwischenlagerung zuzulassen.

Dabei ist darauf zu achten, daß keine isolierte Anerkennung der Zwischenlagerung als Entsorgungsnachweis zugelassen wird. Andernfalls würde das für die EVU die Genehmigung zur, von der Entsorgungsseite her, unbefristeten Laufzeit ihrer Kraftwerke bedeuten. Außerdem sollten die Betreiber verpflichtet werden, einen genauen Nachweis für den Verbleib der noch anfallenden Brennelemente und anderen radioaktiven Abfälle zu erbringen, um auch über den Entsorgungsvorsorgenachweis die dezentrale Zwischenlagerung festzuschreiben. Dieser Nachweis sollte für die übertägige Entsorgung - unter Berücksichtigung der BMU-Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Abfälle (BMU 1989c) - bzgl. ausreichender und dem neusten Stand von Wissenschaft und Technik entsprechender Konditionierungsanlagen sowie nach Ausstiegsgesetz maximal benötigter Zwischenlagerkapazitäten geführt werden müssen. Bei den bestrahlten Brennelementen sollte es sich in der Regel um Kraftwerkstandortzwischenlagerkapazität handeln. Bei den übrigen Abfällen sind die Kraftwerkstandortkapazitäten sowie für bereits extern gelagerte Abfälle auch diese externen Kapazitäten zu berücksichtigen.

Ein Baustein der nachzuweisenden Fortschritte bei der Verwirklichung der Entsorgungskonzepte ist bisher die Planung und Errichtung der PKA. Für die Direkte Endlagerung ist der Nachweis der Machbarkeit der endlagergerechten Konditionierung der Brennelemente nach den gegenwärtigen Entsorgungsvorsorgegrundsätzen unverzichtbar. Aber auch für die Wiederaufarbeitung hat die PKA zumindest in der Vergangenheit eine wichtige Rolle gespielt. Mit ihr war es gesichert, daß die aus dem Ausland kommenden Abfälle zwischen- und endlagergerecht nach den bundesdeutschen Anforderungen konditioniert werden können.

Nach unserem Kenntnisstand wäre die Absicherung für die Wiederaufarbeitungsabfälle inzwischen auch durch die entsprechenden Verhandlungen mit den Wiederaufarbeitungsfirmen möglich. Für die Brennelemente ist die Genehmigung der PKA für den Entsorgungsvorsorgenachweis unter gegenwärtigen Randbedingungen jedoch nach wie vor notwendig. Der von vielen Seiten geforderte Verzicht auf die PKA ist daher von Seiten der EVU gegenwärtig schwer möglich. Dieser Verzicht könnte realisiert werden, wenn die Entsorgungsvorsorgegrundsätze unter Berücksichtigung der alternativen Konditionierungsmöglichkeiten neu gefaßt würden.

### **Endlagerung**

Die Entsorgungsvorsorgegrundsätze beziehen auch den Nachweis für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle (einschließlich bestrahlter Brennelemente) mit ein. Dabei reicht es, den Nachweis durch realistische Planungen zu erbringen, die sich auf Fortschritte bei der Verwirklichung (z.B. Erkundung und Erschließung eines Endlagers) stützen können. Selbst diese eher schwache Festlegung wurde und wird vielfach als nicht erfüllt angesehen. Zum Zeitpunkt der Verabschiedung der ersten Entsorgungsvorsorgegrundsätze im Jahr 1977 wurde davon ausgegangen, daß das Endlager in Gorleben für alle nicht hochaktiven Abfälle 1991 und für hochaktive Abfälle 1994 in Betrieb gehen könnte (DWK 1977). Bezogen auf das geplante Endlager Konrad für schwach- und mittelaktive Abfälle wurde 1983 eine Inbetriebnahme für das Jahr 1988 genannt (BTD 1983). Für beide Endlagerstandorte kann auch heute noch kein Termin für die Inbetriebnahme genannt werden. Für Gorleben wird frühestens das Jahr 2013 angegeben (WILLAX 1998). Für Konrad ist frühestens ein Betrieb ab dem Jahr 2003 möglich. Die Inbetriebnahme der geplanten Endlager hat sich also zum heutigen Zeitpunkt bereits um 19 bzw. 15 Jahre verzögert, ohne daß der Zeitpunkt bzw. die rechtskräftige Genehmigung der Inbetriebnahme überhaupt sicher feststeht.

Die Landesregierung von Rheinland-Pfalz sah im Jahr 1993 den Nachweis für die Endlagerung als nicht erbracht an, da für die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung kein Endlager zur Verfügung stehe und auch nicht absehbar sei, wann ein solches betriebsbereit sein könnte. Die 9. Teilgenehmigung für das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich wurde daher verweigert (EWT 1994). Auch in diesem Fall wurde der Bescheid durch eine bundesaufsichtliche Weisung aufgehoben. Das BMU vertrat die Ansicht, daß von einer zeit- und bedarfsgerechten Realisierung der Endlagerprojekte auszugehen ist.

Neben der damaligen Argumentation, daß kein konkreter Zeitplan für die Inbetriebnahme der notwendigen Endlager existiert, können weitere Argumente zum nicht erbrachten Entsorgungsvorsorgenachweis hinsichtlich der Endlagerung angeführt werden:

- Aufgrund der veränderten Situation, zum Beispiel bzgl. in der Bundesrepublik installierter Kraftwerksleistung und anfallendem Volumen radioaktiver Abfälle, ist die Endlagerung in einem Endlager für alle Abfallarten angezeigt. Die Unsicherheit bei der Eignung Gorlebens sowie die neu zu stellende Frage nach dem Standort und damit verbunden des Einlagerungsgesteintyps (s. Kapitel H-5.7) lassen keine belastbare Zeitperspektive zu.
- Die von der RSK festgelegten „Sicherheitskriterien“ für ein Endlager sind hinsichtlich der Barrierenanforderungen aufgeweicht worden (siehe Kapitel H-5.6.2 und H-5.6.4).

- Der Zeithorizont für den Nachweis der Langzeitsicherheit wurde verändert (siehe Kapitel H-5.4).
- Die Endlagerprojekte konnten nicht zeit- und bedarfsgerecht in Betrieb genommen werden. Zwangsweise wurden daher große Zwischenlagerkapazitäten beantragt und genehmigt.
- Selbst bei einer Inbetriebnahme von Konrad ist der Nachweis für die Endlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen nicht erbracht, da abgesehen von den hochaktiven Abfällen auch große Anteile der schwach- und mittelaktiven Abfälle die Endlagerungsbedingungen für Konrad nicht erfüllen.

Nach unserer Auffassung ergibt sich aus der Sachlage zum Entsorgungsvorsorgenachweis ein großer Handlungsbedarf. Der Definitionsspielraum für die Kriterien eines Nachweises ist zunächst rechtlich und technisch zu prüfen. Dabei sollte berücksichtigt werden, daß die EVU von sich aus den Bedarf nach einer Neufassung der Entsorgungsgrundsätze und des Entsorgungsvorsorgenachweises haben dürften, um Rechtssicherheit zu bekommen.

#### **H-4.4 Vergleich der übertägigen Entsorgungsstrategien bzw. Pfade und ihre Umsetzbarkeit**

In diesem Kapitel werden die relevanten Strategien (einschließlich Optionen) für den übertägigen Umgang mit den bestrahlten Brennelementen bis zur Endlagerung verglichen und ihre jeweilige Umsetzbarkeit geprüft. Hierfür dienen folgende Kriterien:

- Technik,
- Sicherheit,
- Proliferation (Kernbrennstoffkontrolle),
- Mengen.

##### **H-4.4.1 Technik**

Der in Kapitel H-4.2.1 beschriebene Pfad A der Wiederaufarbeitung enthält bis zur Endlagerung der konditionierten Abfälle Umgangsschritte, die in großtechnischem Umfang erprobt bzw. für einige Abfallkonditionierungsmethoden zumindest prinzipiell erprobt sind. Die in den Kapiteln H-4.2.2 beschriebenen Pfade B bis D der Direkten Endlagerung enthalten bis auf die endlagerfähige Konditionierung und der Endlagereinlagerung Umgangsschritte, die ebenfalls erprobt sind. Für die danach folgenden und noch nicht erprobten Umgangsschritte ist theoretisch ihre Umsetzbarkeit nachgewiesen. Für den Pfad E mit der Frühen Kapselung sind mit Ausnahme der Endlagerung alle Einzelschritte erprobt. Die grundsätzliche technische Machbarkeit ist also für alle Pfade der Direkten Endlagerung gegeben. In dieser Hinsicht sind die hier berücksichtigten Entsorgungsstrategien Wiederaufarbeitung und Direkte Endlagerung also vergleichbar.

Diese Aussagen treffen nicht auf den in Kapitel H-4.2.3 beschriebenen Pfad F mit Transmutation zu. Die technische Umsetzbarkeit für die meisten Schritte bei dieser Strategie können auf absehbare Zeit nicht beurteilt werden, da noch Grundlagenforschung notwendig ist. Dieser Pfad kann zur Lösung der Probleme mit den vorhandenen und mittelfristig noch anfallenden bestrahlten Brennelementen nicht beitragen.

Ein Unterschied zwischen den Entsorgungsstrategien mit Wiederaufarbeitung bzw. mit Direkter Endlagerung ergibt sich im technischen Aufwand. Hierbei ist eindeutig, daß der Pfad A mit Wiederaufarbeitung deutlich höhere Ansprüche stellt. Dadurch ist mit Sicherheit auch der konventionelle Ressourcenverbrauch höher. Dies hat unter anderem Auswirkungen auf die Gesamtenergiebilanz für den Einsatz der Atomenergie zur Stromproduktion.

Das in früheren Jahren in bezug auf den Kernbrennstoff immer angeführte Argument der Ressourcenschonung durch die Wiederaufarbeitung und folgenden Wiedereinsatz des Brennstoffes hat sich in der Realität als Trugschluß erwiesen (siehe Kapitel H-4.3.1.2). Der technische Stand konnte bisher nicht soweit vorangetrieben werden, daß ein wirklicher Brennstoffkreislauf entstehen konnte. Das wiederaufgearbeitete Uran wird in der Bundesrepublik praktisch nicht eingesetzt, und das Plutonium kann in größerem Umfang nur einmal rezykliert werden. Selbst bei einer mehrfachen Rezyklierung würde die Einsparung von Natururan nur maximal 25% betragen (OECD 1989). Durch die mit einmaliger Wiederaufarbeitung eingesparte Natururanmenge läßt sich der unvermeidliche Aufwand nicht rechtfertigen.

Insgesamt ist aus technischer Sicht festzustellen, daß die Wiederaufarbeitung in einigen Bereichen beträchtliche Nachteile gegenüber dem Umgang mit den unversehrten Brennelementen bzw. auch Brennstäben in einem verschlossenen Transport- und Lagerbehälter im Rahmen der Strategie Direkte Endlagerung hat.

#### **H-4.4.2 Sicherheit**

Bei einem Sicherheitsvergleich der Pfade A bis E sind die aufgrund der Techniken möglichen Unfallabläufe, die Möglichkeiten zu Freisetzungen radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb und bei Unfällen sowie die Belastung durch Direktstrahlung von Personen zu berücksichtigen.

Wie in Kapitel H-4.3.1.4 beschrieben, enthält die Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung in La Hague oder Sellafield eine Reihe zusätzlicher Sicherheitsgefahren. Dies betrifft alle in Kap. H-4.4 genannten Kriterien und gilt für den Wiederaufarbeitungsprozeß, die Lagerung von Kernbrennstoffen, die Brennelementherstellung, die Abfälle sowie die drastisch höhere Zahl an Transportkilometern für die radioaktiven Stoffe. Die Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung ist daher deutlich ungünstiger zu bewerten als alle Pfade der Strategie ohne Wiederaufarbeitung.

Die Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung kann mit und ohne Zerlegung der Brennelemente in Brennstäbe umgesetzt werden. Es liegt auf der Hand, daß die reine Verpackung eines Brennelementes sicherheitstechnisch weniger kritisch zu bewerten ist als eine Zerlegung und Hantierung mit einzelnen Brennstäben.

Für eine Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung gibt es hinsichtlich der Zwischenlagerung und Konditionierung die Möglichkeiten eines rein zentralen (Pfad B, derzeit in Deutschland bevorzugt), eines kombinierten (Pfad C) und eines rein dezentralen (Pfade D und E) Umgangs mit den Brennelementen. Ein Vergleich der in den Kapiteln H-4.2 beschriebenen Pfade (s. auch Abb. H-6, S. H-67) ergibt sicherheitstechnisch für alle Kriterien Nachteile bei der heute vorgesehenen rein zentralen Lösung (Pfad B). Die einzusetzende Technik ist zwar bei den Pfaden B, C und D gleich, aber die Häufigkeit ihrer Anwendung ist zum Teil unterschiedlich. Für die Pfade C und D fallen z. B. die Transporte zum zentralen Zwischenlager und damit auch Behälterhandhabungen weg. Darüber hinaus ist dann auch der Standort für das zentrale Zwischenlager überflüssig bzw. wird mindestens entlastet. Die Aussagen hinsichtlich Lagertechnik, Transport und Standort gelten auch für den Pfad E. Dieser unterscheidet sich jedoch in der Konditionierungstechnik von den drei anderen. Aus Sicherheitsaspekten ist eine Bevorzugung der dezentralen Ansätze gerechtfertigt.

Sollte in Pfad C mit dezentraler Zwischenlagerung und zentraler Konditionierung zwischen Konditionierung und Endlagerung der Brennelemente zusätzlich eine Zwischenlagerung nötig sein, dann sind die Pfade D und E mit dezentraler Zwischenlagerung und dezentraler Konditionierung deutlich zu bevorzugen. Für Pfad D wären dann, bezogen auf die gleiche Zahl von Brennelementen, deutlich weniger Handhabungen von beladenen Behältern und weniger Transporte als bei Pfad C notwendig. Diese Aussage gilt für Pfad E in verstärktem Umfang. Der Vorteil von Pfad D gegenüber Pfad C verringert sich, je weniger Behälter vor der Endlagerung noch einmal zwischengelagert werden müssen. Die Zahl der notwendigerweise zwischenzulagernden Behälter hängt vor allem mit logistischen Fragen zusammen, wie Zahl und Standorte der zentralen Zwischenlager (im Moment drei an verschiedenen Standorten), Standort der zentralen Konditionierungsanlage, Annahmekapazität des Endlagers usw. Nach gegenwärtigem Stand ist davon auszugehen, daß eine Zwischenlagerung auf jeden Fall für einen Teil der konditionierten Behälter notwendig ist. Dies wird auch von Industrievertretern angedeutet (HAWICKHORST 1994). Für Pfad E tritt keine Verringerung des Vorteils durch teilweisen oder vollständigen Wegfall der Zwischenlagerung nach der Konditionierung im Pfad C ein, da der Transport ins Endlager in CASTOR-Behältern stattfindet. **Aus sicherheitstechnischen Gründen sind daher die rein dezentralen Pfade und hier wiederum Pfad E zu bevorzugen.**

### **H-4.4.3 Proliferation**

Der Vergleich der verschiedenen Pfade unter dem Gesichtspunkt Proliferation wird anhand der Kriterien „grundsätzliche Möglichkeit der Abzweigung“ und „Erreichbarkeit der Überwachungsziele“ durchgeführt. Ausgangspunkt für die Überwachung der Nichtabzweigung von kernwaffenfähigem Material sind die auf jedem Brennelement eingestanzte Kennzeichnung und die zu jedem einzelnen Brennelement gehörende Dokumentation der Ausgangs- und Einsatzdaten. Die Überwachung wird von Inspektoren der IAEA und/oder EURATOM durchgeführt (s. dazu Kap. H-2.3.3).

### Wiederaufarbeitung/Direkte Endlagerung

In Brennelementen befindliches, also in Keramik gebundenes und mit anderen Nukliden vermischtes Plutonium stellt ein geringeres Proliferationsrisiko dar, da vom Brennelement eine hohe Direktstrahlung ausgeht. Bei der Wiederaufarbeitung liegt das Plutonium dagegen abgetrennt vor und erzeugt daher eine sehr viel geringere Direktstrahlung.

Im Zusammenhang mit der Entsorgung durch Direkte Endlagerung wird hin und wieder von dem Endlager als Plutoniumreservoir gesprochen. Da der Brennstoffkreislauf mit der Brütertechnologie nicht verwirklicht werden konnte, trifft dies aber auch für eine Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung zu. Nach wenigen Rezyklierungen - momentan bereits nach der ersten - müssen auf jeden Fall plutoniumhaltige Brennelemente endgelagert werden (siehe Kapitel H-4.3.1.2).

Für den Vergleich der Pfade mit und ohne Wiederaufarbeitung ist auch die technische Möglichkeit zur Überwachung und Verhinderung von Abzweigungen spaltbaren Stoffes relevant. Für die Pfade B bis E ist die dafür notwendige Technik relativ einfach, und der Bestand der Kernbrennstoffe kann jederzeit einer abzählbaren (Brennelemente, Büchsen oder Behälter) Prüfung unterworfen werden. Bei Pfad A ist die Prüftechnik dagegen erheblich aufwendiger, da der Kernbrennstoff nicht mehr abzählbar vorliegt, sondern in unterschiedlichen und mehrmals wechselnden Aggregatzuständen sowie unterschiedlichen chemischen Verbindungen. Allein die Phasenwechsel sorgen bei der Bilanzierung für das Verschwinden von Kernbrennstoff. Die Nachweisgenauigkeit ist daher begrenzt, das heißt, ein Schwund von Kernbrennstoffen kann bei der Wiederaufarbeitung nicht belastbar verifiziert werden.

Die Kernbrennstoff-Lösungen werden zur Lagerung bis zu ihrer Weiterverarbeitung zur Wiederverwendung in Brennelementen oder bis zu ihrer Konditionierung als Abfall pulverisiert. Lösung und Pulver sind die zur Abzweigung von Kernbrennstoffen geeignetsten Zustände. Deshalb besteht bei Wiederaufarbeitungsanlagen das höchste Sicherheitsrisiko hinsichtlich einer mißbräuchlichen Nutzung von Kernbrennstoffen, da diese unmittelbar (ohne eigene Abtrennarbeit verrichten zu müssen) erfolgen kann. Selbst bei Erfüllung aller Sicherungsanforderungen sowie Kontrollen durch EURATOM bzw. IAEA ist eine illegale Abzweigung nicht auszuschließen (GRUPPE ÖKOLOGIE 1988b).

### Zwischenlagerung

Die Übernahme der Brennelemente in Naßlager sowie deren Verbleib in diesem Lagerbecken ist grundsätzlich mit Kameras direkt visuell überwachbar. Bei Funktionsstörungen der Kamera müssen die Inspektoren allerdings die Kennzeichnung der einzelnen im Becken gelagerten Brennelemente neu prüfen.

Bei einer Zwischenlagerung in Behältern wird zunächst die Beladung der Lagerbehälter direkt überwacht und der Behälter verplombt. Das Zwischenlager wird dann zwecks Registrierung von Behälterbewegungen ebenfalls mit Kameras überwacht. Bei Ausfall der Kamera muß hier nur die Plombe überprüft werden, was wesentlich weniger Aufwand bedeutet.

Die Entfernung von Brennelementen ist bei Naßlagern direkt und beim Behälterlager indirekt (über die Plombe) überprüfbar. Hier ergibt sich insofern ein Vorteil für die Naßlagerung, weil die Brennelemente direkt in Augenschein genommen werden können, was bei der Be-

hälterlagerung nicht möglich ist. Ein schnelles Entfernen von Brennelementen durch Innentäter ist nur bei der Behälterlagerung möglich.

Für die Verhinderung von Abzweigungen ist die NaBlagertechnik als die sicherungsfreundlichere zu bewerten. Bezüglich der Erreichung des Überwachungszieles sind beide Lagertechniken als gleichwertig zu beurteilen.

Bezogen auf das Lager bestehen keine Unterschiede für die Proliferation zwischen zentraler und dezentraler Zwischenlagerung. Die Abzweigungsmöglichkeiten und der Überwachungsaufwand sind jedoch bei zentraler Zwischenlagerung größer, da mehr externe Transporte stattfinden und der externe Standort des Zwischenlagers eine zusätzliche Eingangsprüfung erfordert.

### **Konditionierung**

Die Konditionierung kann mit und ohne Zerlegung der Brennelemente durchgeführt werden. Die Proliferationssicherheit ist sowohl in bezug auf die grundsätzliche Verhinderung der Abzweigung als auf die Erreichung der Überwachungsziele für die Variante ohne Zerlegung höher. Beim Zerlegen wird die über die Brennelementkennzeichnung eindeutige buchtechnische Zuordnung des Kernbrennstoffes aufgehoben. Die nicht gekennzeichneten Brennstäbe können leichter abgezweigt werden.

Das Einbringen der Brennelemente in Büchsen ist bei allen Konditionierungstechniken und unabhängig von zentraler oder dezentraler Durchführung vorgesehen. Wird die Büchse identisch mit dem enthaltenen Brennelement gekennzeichnet und kann die Einbüchsung problemlos überwacht werden, treten keine größeren Proliferationsprobleme auf.

Für den Vergleich zwischen der Konditionierung im POLLUX-System und der Kapselung sowie der zentralen und dezentralen Durchführung kann die Proliferationssicherheit in erster Näherung als proportional zur Zahl der Handhabungsschritte für Brennelement, Büchse und Behälter angenommen werden. Danach hätte die dezentrale Konditionierung und hier wiederum die Kapselung Vorteile.

### **H-4.4.4 Abfallmengen**

Bei einer Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung fällt Plutonium an, das nach AtG verwertet, also in Reaktoren eingesetzt werden muß. Wie in Kapitel H-4.3.1.2 beschrieben, kann das Plutonium nicht in vollem Umfang rezykliert werden. Darüber hinaus muß selbst mit Wiederaufarbeitung eine große Menge Plutoniums endgelagert werden. Dies spricht eindeutig gegen einen solchen Entsorgungsweg.

Das Gesamtvolumen endzulagernder radioaktiver Abfälle ist durch den Anfall zusätzlicher Abfallarten (siehe Kapitel H-4.3.1.3) bei der Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung gegenüber der mit Direkter Endlagerung wesentlich größer. Bei neueren Vergleichen des Abfallanfalls für Wiederaufarbeitung und Direkte Endlagerung ist zu beachten, ob für die

Wiederaufarbeitung die tatsächlich anfallende oder die an die Kunden abzugebende Abfallmenge angegeben ist.

Der Anfall von Sekundärabfällen für die Entsorgungsstrategie Direkte Endlagerung während Zwischenlagerung und Konditionierung sowie durch Transporte ist mengenmäßig im Vergleich zu den insgesamt anfallenden Abfällen relativ gering. Er erhöht sich, wenn die Brennelemente bei der Konditionierung zerlegt werden. Dies würde die Pfade B, C und D gleichermaßen betreffen. Die geringste Abfallmenge fällt beim Pfad E an. Davon abgesehen, würden durch die geringere Zahl von Transporten und Behälterhandhabungen für den rein dezentralen Pfad D etwas weniger und für Pfad E noch etwas weniger Abfälle anfallen.

Eine größere Bedeutung könnten die bei Abriß der Anlagen anfallenden Abfälle haben. Nach Aussagen der Betreiber der zentralen Zwischenlager fallen bei deren Abriß keine endzulagernden radioaktiven Abfälle in nennenswerten Umfang an. Dies würde entsprechend für die dezentralen Lager gelten. Für die Konditionierungsanlagen kann ein erhöhter Anfall radioaktiver Abrißabfälle vor allem für den Fall der Zerlegung der Brennelemente auftreten, da hier der apparative Aufwand größer ist. Nur bei Zerlegung der Brennelemente sind wegen der Beschränkung auf eine Anlage leichte Vorteile für den mit zentraler Konditionierung arbeitenden Pfad C abzuleiten.

## H-5 Endlagerung

### H-5.1 Endlagerungskonzeption in Deutschland

Nach den Vorgaben des Atomgesetzes muß die Biosphäre, insbesondere aber der Mensch, vor der Wirkung der von radioaktiven Abfällen ausgehenden ionisierenden Strahlung geschützt werden. Die Abfälle müssen daher solange wirksam von der Biosphäre isoliert werden, bis die Strahlung auf ein unschädliches Maß abgesunken ist. In den meisten Ländern mit gezielter Planung von Entsorgungsmaßnahmen hat sich für die langfristige Einhaltung dieses allgemeinen Schutzziels die Beseitigung radioaktiver Abfälle in tiefen Bereichen der Erdkruste, und zwar in Bergwerken, durchgesetzt.

Die Langzeitsicherheit von Endlagern soll nach dem sogenannten **Multibarrierenprinzip** durch ein System aus verschiedenen technischen (Abfallform, Abfallbehälter) bzw. geotechnischen Barrieren (Versatz) und der (natürlichen) geologischen Barriere gewährleistet werden. Die Funktion des Barrierensystems besteht im wesentlichen darin, den Zutritt von Grundwasser an die Abfälle sowie die Freisetzung und den Transport von Radionukliden mit dem Grundwasser aus dem Endlagerbergwerk in die Biosphäre zu verhindern, zumindest zu behindern. Die technischen Barrieren sind dabei wegen ihrer durchweg geringen Standzeit vor allem für die Betriebsphase von Bedeutung, während die Langzeitsicherheit des Endlagers vor allem von der geologischen Barriere gewährleistet werden soll (s. aber u.: "Steinsalz oder anderes Wirtsgestein"). Ein Sicherheitselement stellt auch der Abstand zwischen Abfall und Biosphäre dar.

Die Sicherheitsphilosophie des Multibarrierenprinzips verbietet, daß die Schutzfunktion des Endlagers sich maßgeblich oder gar gezielt aus der Verdünnung von Radionuklidkonzentrationen beim Übertritt von belastetem Grundwasser aus einem Gesteinskörper in einen anderen ergibt. Die Folgen der unkontrollierten Verdünnung kritischer Schadstoffkonzentrationen sind beispielsweise aus der Einleitung belasteter Wässer in Vorfluter bzw. der Verklappung von schadstoffhaltigen Lösungen im Meer hinlänglich bekannt. Aus gutem Grund wird daher heute bei der Entsorgung kritischer Stoffe grundsätzlich das **Konzentrationsprinzip** verfolgt. Das gilt auch für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Allerdings sind die für die Endlagerung zuständigen Institutionen in der Bundesrepublik Deutschland offenbar bereit, dieses Prinzip zugunsten des überwunden geglaubten Verdünnungsprinzips wiederzubeleben. Jedenfalls wird von ihnen die unzureichende Rückhalteleistung des Deckgebirges beim Salzstock Gorleben wegen der darin möglichen Radionuklidverdünnung positiv beurteilt (s. H-5.6.2).

In der Bundesrepublik Deutschland wird die Bergwerkskonzeption seit Anfang der sechziger Jahre verfolgt. Damals hat sich der Präsident der Bundesanstalt für Bodenforschung (heute Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR) positiv zur Endlagerung in Salzbergwerken geäußert (MARTINI 1963). Mit der Festlegung auf die Endlagerung in einem Bergwerk war also zugleich die Konzentration auf Salz als Wirtsgestein verbunden. Dabei ist festzuhalten, daß die empfehlende Aussage für Salz nicht auf einer nachvollziehbaren vergleichenden Bewertung verschiedener Wirtsgesteinstypen beruht. Ernsthaftere vergleichende Betrachtungen verschiedener Wirtsgesteinstypen, neben Steinsalz vor allem kristalline Gesteine, sind von den für die Endlagerung in der Bundesrepublik zuständigen

Institutionen bis in die jüngste Zeit nicht angestellt worden. Auch heute noch wird Salzgestein eindeutig favorisiert (s.u.).

Bis zur Standortsuche für das geplante Nukleare Entsorgungszentrum zu Beginn der siebziger Jahre hatten sich zudem folgende weitere Kernpunkte der bundesdeutschen Endlagerungskonzeption herauskristallisiert:

- Für die Endlagerung sollte ein eigenes Endlagerbergwerk errichtet werden, weil bei ehemaligen Gewinnungsbergwerken mit sicherheitsrelevanten Nachteilen zu rechnen ist.
- Das Bergwerk sollte alle bis zu einem bestimmten Zeitpunkt anfallenden Abfälle aufnehmen (wegen der in der Bundesrepublik geplanten Wiederaufarbeitung handelte es sich dabei zunächst im wesentlichen um Wiederaufarbeitungsabfälle), um den Aufwand für Standortsuche und -erschließung zu verringern und die Arbeiten auf ein Projekt konzentrieren zu können.
- Keine Option auf die Zurückholung des Abfalls (s.u.). Das Bergwerk ist vielmehr nach Einlagerungsende rasch zu verfüllen, um den Zugang von Menschen an die Abfälle und den Zutritt von Wasser über Schächte und Bergwerkshohlräume zu verhindern.
- Nachweislich keine Notwendigkeit für Wartungs-, Reparatur- und Überwachungsmaßnahmen nach Stilllegung des Bergwerks. Dies ist bei Einhaltung des vorgeschriebenen Punktes eine unabdingbare Forderung.

Bis heute sprechen für die beiden erstgenannten Punkte gute Argumente. Die bei Nutzung eines ehemaligen Gewinnungsbergwerkes möglichen Sicherheitsnachteile werden bei den Endlagern Asse und vor allem Morsleben (s. H-5.6.4) augenfällig. Gegenüber der dezentralen Endlagerung bietet die Konzentration auf nur ein Endlager für alle Abfallarten eindeutig Sicherheits- und Kostenvorteile (BFK 1993). Es gibt nach wie vor keinerlei Hinweise, daß diese Option - etwa aus Kapazitätsgründen - keine Erfolgsaussicht hätte. Das gilt umso mehr für die Bedingungen des Ausstiegs aus der Kernenergienutzung. Anders ausgedrückt bedeutet diese auch: Unter dem Aspekt sicherer Endlagerung besteht kein Bedarf nach mehr als einem Standort.

Bekanntlich sind diese Prinzipien von den verantwortlichen Institutionen aber trotzdem aufgegeben worden, und zwar ohne sicherheitsrelevante Begründung - ein Zeichen für mangelnde konzeptionelle Konsequenz.

Der dritte (und als Folge auch der vierte) Punkt werden auf internationaler Ebene intensiv diskutiert (s.u.). An solchen Diskussionen über verschiedene Varianten der Konzeption "Endlagerung in tiefen Bereichen der Erdkruste" haben sich die zuständigen deutschen Institutionen zwar beteiligt. Daraus resultierende Erkenntnisse sind allerdings erst langsam in die offizielle deutsche Endlagerdiskussion eingedrungen. Dazu gehören u.a. folgende Themen, die hier angerissen werden:

## **Steinsalz oder anderes Wirtsgestein**

Das ideale Wirtsgestein gibt es nicht. Daher ist die vergleichende Bewertung der innerhalb Deutschlands überhaupt in Frage kommenden Gesteinsformationen unerlässlich (s. H-5.2.2). Sie setzt eine gezielte Beschäftigung mit den sicherheitsrelevanten Eigenschaften der verschiedenen Gesteine bzw. Gesteinskörper auf Basis verlässlicher Informationen voraus. Bis heute ist ein solcher Vergleich nicht erfolgt und auch in angemessener Form nicht möglich, da der Schwerpunkt der Informationsbeschaffung und der Forschung - trotz Beteiligung an internationalen Kristallin-Projekten (s. Kap. H-5.5 u. H-5.8) - eindeutig auf Steinsalz gelegen hat. Bis heute werden Aussagen über sicherheitsrelevante Eigenschaften kristalliner Gesteine in der Bundesrepublik Deutschland, selbst bei Suchverfahren, stärker durch den Mangel an konkreten Informationen als durch Erkenntnis geprägt (BGR 1994, s. Kap. H-5.3.1.4).

Auf internationaler Ebene (EURATOM) arbeiten deutsche Endlagerinstitutionen intensiv an der Entwicklung von Verfahren für Standortsuche, Nachweis der Langzeitsicherheit und Genehmigungsverfahren für ein Endlagerbergwerk in Kristallingestein mit (DBE 1996, s. auch H-5.5).

Vor dem Hintergrund der methodischen Probleme beim Nachweis der Langzeitsicherheit für ein Endlager in Steinsalz (s. Kap. H-5.4.2.2) ist die Auseinandersetzung mit anderen Wirtsgesteinstypen auch deswegen wichtig, weil dabei gegenüber der geologischen Barriere die (geo-)technischen Barrieren und damit andere Nachweisverfahren an Bedeutung gewinnen. Diese Einschätzung wird auch in einer Studie zum Vergleich der Endlagerkonzepte in Salzgestein und kristallinem Gestein (PAPP 1997) und einer Gegenüberstellung von Langzeitsicherheitsanalysen für Endlager in Granit bzw. Salz (NOSACK 1996) deutlich.

### **(Baldige) Endlagerung oder Rückholbarkeit (Zwischenlagerung)**

Die Ablagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk kann entweder mit der Zweckbestimmung Endlagerung oder mit der Option auf Rückholbarkeit der Abfälle geschehen. Die Rückholbarkeit der Abfälle muß bereits bei der Endlagerplanung berücksichtigt werden, denn der Zugang zu den Abfällen muß ohne Sicherheitseinbußen langfristig offen gehalten werden. Eine solche Lagerung stellt eine besondere Form der Zwischenlagerung dar. Zwischenlagerung darf nur für einen vorab definierten Zeitraum und/oder zu einem bestimmten Zweck erfolgen und muß die Anforderungen Kontrolle und gegebenenfalls Reparatur der Anlage sowie Überwachung der Abfälle erfüllen. Grundsätzlich können radioaktive Abfälle zwar - mit sehr hohem Aufwand und erheblichen Sicherheitsrisiken (v.a. für die Beschäftigten) - auch aus einem verschlossenen Endlager herausgeholt werden, doch soll dieser Fall nicht diskutiert werden.

In Deutschland ist eine nachhaltige und breite Diskussion über die Frahe baldige Endlagerung oder längerer Zwischenlagerung bis heute nicht geführt worden. Zwar ist 1979 der Begriff „rückholbare Endlagerung“ durch den Deutschen Gewerkschaftsbund in die Endlagerdiskussion eingeführt worden, doch ist daraus keine Erweiterung der deutschen Endlagerungsdiskussion erwachsen. Hintergrund war, die verhärtete Diskussion zwischen Verfechtern und Gegnern der Wiederaufarbeitung von Brennelementen (s.u.: Direkte Endlagerung oder Wiederaufarbeitung) zu beleben (IGM/ÖTV 1980). Der Begriff „rückholbare Endlagerung“ ist in sich widersprüchlich und seither oft mißverstanden worden. Er suggeriert nämlich, daß die Vorteile von Zwischenlagerung und Endlagerung

gleichzeitig zu verwirklichen seien. Gedacht wurde jedoch - ähnlich wie bei der Rückholbarkeit der Abfälle (s.o.) - an die Zwischenlagerung in einem Bergwerk mit der Option, aus dem Zwischenlager ein Endlager zu machen.

Von Einzelfällen (s. Kap. H-7.4: USA) abgesehen hat die Frage (baldige) Endlagerung oder Rückholbarkeit der Abfälle auch in der internationalen Diskussion lange Zeit keine Rolle gespielt. In den letzten Jahren ist das Thema Rückholbarkeit allerdings in einigen Ländern, insbesondere USA und Niederlande, neu belebt und intensiv behandelt worden. Daß sich heute offiziell für die Endlagerung zuständige internationale und nationale Organisationen allgemein verstärkt mit Rückholbarkeit befassen (z.B. COVRA 1996), liegt offenbar in der Hoffnung auf Akzeptanzgewinn begründet, wenn ein unsicheres Endlager durch ein (untertägiges) überwachbares Endlager ersetzt wird.

In der öffentlichen Diskussion werden als Gründe für die Rückholbarkeit von Abfällen aus einem Endlager über einen gewissen Zeitraum vor allem aber folgende (oder ähnliche) Punkte genannt:

- a) Überprüfung der erwarteten Funktionstüchtigkeit des Endlagersystems und Prüfung der Modellvorstellungen, die der Beurteilung der Langzeitsicherheit zugrunde liegen,
- b) Möglichkeit der Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse,
- c) In-situ-Forschung zur Verbesserung der Endlagertechnik,
- d) künftige Wiederverwertbarkeit der Abfälle bzw. von Abfall(anteilen),
- e) künftige Entwicklung von Technologien zur Risikoverringerung (v.a. Transmutation),
- f) ethische Argumente.

Die technischen Argumente a) bis c) dienen unmittelbar der Verbesserung der Sicherheit eines bestimmten Endlagers. Bei nicht vorhergesehenem Systemverhalten [a) u. b)] können die Abfälle ausgelagert werden. Diese Position wird vor allem in den USA (s. Kap. H-7.4: Vorgabe der Nuclear Regulatory Commission von 1982 zur Rückholbarkeit für 50 Jahre) verfolgt. Bei Argument b) bleibt allerdings offen, mit welchen unvorhergesehenen Ereignissen (bei einem sorgfältig ausgewählten Standort) überhaupt gerechnet werden muß und warum solche Ereignisse ausgerechnet innerhalb von 50 Jahren (oder anderen Zeiträumen) auftreten sollen.

Das Argument a) trifft allenfalls für Endlager zu, die sich oberhalb der grundwassergesättigten Zone der Geosphäre befinden (s. Kap. H-7.4: Yucca Mountain). Bei einem Endlager innerhalb der wassergesättigten Zone, wie es in Deutschland errichtet werden muß, können die Funktionstüchtigkeit des Endlagersystems und die Modellvorstellungen, die dem Eignungsnachweis für ein Endlager zugrundeliegen, erst dann geprüft werden, wenn sich die für die Langzeitsicherheit maßgeblichen Verhältnisse eingestellt haben. Diese werden durch das grundwasserhydraulische System geprägt, mit dem langfristig Radionuklide aus dem Endlager in die Biosphäre transportiert werden (s. Kap. H-5.2.2: Beurteilungsfelder bei Standortauswahl und Eignungsnachweis).

Wegen der bei sorgfältiger Standortwahl zu erwartenden sehr langen Transportzeiten läßt sich dieses System durch noch so lange Beobachtung nicht abschließend beurteilen. Da der Betrieb des Endlagerbergwerks zudem - je nach Typ des Endlagergesteins - eine mehr oder weniger tiefgreifende Systemstörung bedeutet, macht die Systemprüfung auch erst dann

Sinn, wenn sich ungestörte hydraulische Verhältnisse (wieder) eingestellt haben. Das kann erst lange nach Verschuß des Endlagerbergwerks der Fall sein.

Argument c) spielt vor allem in Frankreich eine Rolle (s. Kap. H-7.2). Hier stellt sich allerdings die Frage, welche wichtigen Aspekte durch in-situ-Forschung im existierenden Endlager geklärt werden müssen, die nicht auch in einem Forschungsbergwerk untersucht werden könnten.

Wichtiger als die genannten technischen Argumente sind in der jüngsten Diskussion in den USA und in den Niederlanden über die Rückholung von Abfällen aus einem Endlager die unter d) bis f) genannten Ziele. Dabei erwachsen die Erwartungen künftiger Wiederverwertbarkeit der Abfälle und künftiger Entwicklung von Technologien zur Risikoverringerung (hauptsächlich: Transmutation) vor allem aus den politischen bzw. ethischen Forderungen nach nachhaltiger Ressourcennutzung und Erhalt des Handlungsspielraums künftiger Generationen durch Vermeidung irreversibler Endlagerung.

Interessanterweise wird auf ethischer Ebene allerdings auch gerade umgekehrt für die baldige Endlagerung argumentiert: Die heutigen Generationen dürften den nachfolgenden Generationen, die von der heutigen Nutzung der Kernenergie nicht profitieren können, nicht das ungelöste Problem der Abfallentsorgung hinterlassen. Diese Position liegt auch der in Deutschland verfolgten Entsorgungsstrategie zugrunde.

Die oben genannten ethischen Forderungen werden in den USA vor allem in der öffentlichen Diskussion über den Endlagerstandort Yucca Mountain angeführt (GERVERS 1993, s. auch Kap. H-7.4). Sie werden untermauert mit dem Hinweis, daß künftige Generationen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle wahrscheinlich besser gewappnet sein werden als heutige und daß ihnen darum keine unzulänglichen und unzugänglichen Endlager hinterlassen werden dürfen. In den Niederlanden sind die genannten Forderungen bereits in die politische Entscheidung für die unbefristete übertägige Langzeitlagerung umgesetzt worden (s. Kap. H-7.6).

Die sicherheitsmäßige Absicherung dieser Forderung ergibt sich aus der auch für lange Zeiträume angenommene Überprüfbarkeit und Reparierbarkeit der technischen Barrieren des zunächst als Zwischenlager genutzten Endlagers (USA) bzw. des übertägigen Langzeitlagers (Niederlande). D.h.: Die postulierte Rücksicht auf künftige Generationen ist zugleich mit deren Belastung durch Überwachungs- und Reparaturaufgaben verbunden. Dabei wird unterstellt, daß künftige Generationen die unerläßliche Überwachung und Reparatur der Abfallager auch tatsächlich über unbekannt lange Zeiträume durchführen werden. Rückblicke in die Geschichte liefern aber keineswegs Gewißheit, daß menschliche Gesellschaften dazu in der Lage sind.

Voraussetzung für das Eintreten der von der längeren untertägigen oder übertägigen Zwischenlagerung erhofften Vorteile durch Verwertung bzw. Einsatz risikoärmerer Entsorgungstechnologien ist ohnehin, daß entsprechende Möglichkeiten auch tatsächlich entwickelt werden. Das zeichnet sich gegenwärtig nicht ab (z.B. Transmutation, s. dazu Kap. H-4.2.3). Es ist nicht einmal erkennbar, daß besondere Anstrengungen in diese Richtung unternommen würden. Unabhängig davon ist gegenwärtig offen, ob ethisch vertretbare Entsorgungsmöglichkeiten künftig überhaupt entwickelt werden können.

Insgesamt gesehen besteht also unter Sicherheitsaspekten kein überzeugender Anlaß, die mit (baldiger) Endlagerung verbundenen unbestrittenen nachweisbedingten Unsicherheiten (s. Kap. H-5.4) durch die ebenfalls unsichere Hoffnung auf positive technische Entwicklungen und das Problembewußtsein künftiger Generationen zu ersetzen. Immerhin sind aber einige der für die langfristige Zwischenlagerung ins Feld geführten Argumente (bessere Entsorgungsmöglichkeiten) nicht grundsätzlich von der Hand zu weisen, wengleich sich die erhofften Vorteile gegenwärtig nicht abzeichnen. Aus Sicherheitsgründen muß sich eine etwaige Entscheidung für die langfristige Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle aber unbedingt auf eine konkrete Perspektive für erkennbare, in absehbarer Zeit tatsächlich erreichbare Sicherheitsvorteile stützen. Andernfalls besteht die Gefahr, daß die Suche nach anderen Lösungen lediglich zum Vorwand für den Verzicht auf eine relativ sichere Endlagerung wird.

### **Direkte Endlagerung oder Wiederaufarbeitung**

Die Herkunft - und damit Menge und Zusammensetzung der Abfälle - hat nur relativ geringe Bedeutung für mögliche Endlagerkonzepte, da Radiotoxizität und die von hochaktiven Wiederaufarbeitungsabfällen bzw. abgebrannten Brennelementen ausgehende Wärmebelastung etwa gleich sind. Unterschiede ergeben sich bei der Abfallmenge: Bei direkter Endlagerung sind die Abfallmengen insgesamt deutlich kleiner als bei Endlagerung nach Wiederaufarbeitung. Während der ersten Diskussionsphase über die direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente (Ende der siebziger und Beginn der achtziger Jahre) ging man davon aus, daß bei direkter Endlagerung bedeutend größere Mengen an Pu-239 in ein Endlager eingebracht werden müßten als bei Wiederaufarbeitung mit Rückführung des Plutoniums in den Brennstoffkreislauf. Nach heutiger Kenntnis bestehen hinsichtlich der Pu-239-Mengen zwischen beiden Optionen keine gravierenden sicherheitstechnischen Unterschiede.

Im Hinblick auf die radiologischen Gesamtfolgen beider Entsorgungswege auf die Bevölkerung (gemessen an den resultierenden Bevölkerungsdosen) bietet die direkte Endlagerung einen Vorteil. Er ist gerade so groß wie der Beitrag der Wiederaufarbeitung zur Bevölkerungsdosis (PAE 1984) und muß entsprechend dem Minimierungsgebot des Atomgesetzes ausgenutzt werden. Erst 1994 hat die Bundesregierung die direkte Endlagerung als gleichwertige Entsorgungsmöglichkeit anerkannt (s. dazu Kap. H-2.2). Da die direkte Endlagerung auch Kostenvorteile bietet, dürfte die Bevorzugung dieser Option durch die Abfallproduzenten nur noch eine Frage der Zeit sein.

## H-5.2 Anforderungen an Standortauswahl und Eignungsnachweis für Endlager

### H-5.2.1 Rahmenbedingungen und Grundanforderungen

#### Status quo

Ein geschlossenes Verfahren für Standortauswahl und Nachweis der Langzeitsicherheit gibt es in der Bundesrepublik nicht. Zwar sind verschiedene Kriterienkataloge für die Standortauswahl entwickelt worden, doch hat darüber weder eine breite fachliche Diskussion stattgefunden noch existieren klare Regelungen für ihre Anwendung. Keiner der bisher benannten Endlagerstandorte in der Bundesrepublik Deutschland ist durch systematische Auswahl identifiziert worden (s. Kap. H-5.3.3).

Die Vorgehensweise beim Nachweis der Langzeitsicherheit ist in den sogenannten "Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK (1983) verbindlich geregelt. Dabei handelt es sich allerdings nicht um Kriterien für die Standortvorauswahl und zur Beurteilung bestimmter Standortmerkmale (s. Kap. H-5.3.1.3) oder gar um ein in sich schlüssiges Bewertungsverfahren, sondern vielmehr um Vorgaben zur Vorgehensweise beim Eignungsnachweis mit sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad. Insbesondere ist festgelegt, daß bei einem Endlager die Grenzwerte in § 45 der Strahlenschutzverordnung eingehalten werden müssen und daß der entsprechende Nachweis mit Hilfe einer Sicherheitsanalyse zu erbringen ist (s. Kap. H-5.4).

Die in den "Sicherheitskriterien" formulierten Anforderungen an Endlagerstandorte bieten jedoch weder Hilfe bei der Auswahl nach einem geeigneten Endlagerstandort, noch enthalten sie klare Aussagen dazu, welche konkreten Eigenschaften ein potentiell geeigneter bzw. "eignungshöffiger" Endlagerstandort aufweisen muß. Sie sind Ausdruck mangelnder methodischer und fachlich-geowissenschaftlicher Kompetenz der RSK in Endlagerfragen.

Die Abfassung und Veröffentlichung der Sicherheitskriterien steht in engem Zusammenhang mit heftigen Diskussionen über die Eignung des Standortes Gorleben und das im Rahmen des Projektes "Sicherheitsstudien Entsorgung" (PSE) an diesem Standort exemplarisch entwickelte Verfahren für den Nachweis der Langzeitsicherheit. Mit den "Sicherheitskriterien" wurde offenbar beabsichtigt, Gorleben gegen Sicherheitsbedenken als Endlagerstandort verbindlich festzuschreiben und das umstrittene Verfahren "Sicherheitsanalyse" dauerhaft als Nachweisverfahren zu etablieren (s. Kap. H-5.4.1).

Bis heute erlauben die teilweise unverbindlichen Formulierungen der "Sicherheitskriterien" den offiziellen Endlagern, die "Eignungshöffigkeit" des Standortes Gorleben trotz ungünstiger Untersuchungsbefunde zu beschwören (s. dazu Kap. H-5.3.1.3). Beim Endlager Morsleben (RSK 1992) wird sogar der "Ermessensspielraum", den die Kriterien bieten, positiv herausgehoben und zur Sanktionierung eines ungeeigneten Standortes benutzt (s. Kap. H-5.6.4).

## Rahmenbedingungen für die Entwicklung eines Verfahrens für Standortauswahl und Nachweis der Langzeitsicherheit

Bei der Entwicklung und Bewertung von Verfahren zu Standortauswahl und für den Nachweis der Langzeitsicherheit für Endlager für radioaktive Abfälle im Rahmen der deutschen Endlagerungskonzeption (s. Kap. H-5.1) sind zwei Rahmenbedingungen besonders zu beachten. Sie ergeben sich aus der gesellschaftlichen Diskussion über die Nutzung der Kernenergie und dem Zeitraum, über den radioaktive Abfälle eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen:

Standortauswahl und Nachweis der Langzeitsicherheit sind nicht allein fachliche Bewertungsvorgänge, sondern auch Themen der **gesellschaftlichen Diskussion** über die Nutzung der Atomenergie. Diese ist bekanntlich von tiefgreifenden Kontroversen zwischen verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen und Individuen geprägt. Einigkeit herrscht bei allen an dieser Diskussion Beteiligten im Hinblick darauf, daß radioaktive Abfälle langfristig ein Risiko für die belebte Umwelt darstellen. Schon das Ausmaß des Risikos und die Länge des kritischen Zeitraums werden allerdings von verschiedenen Individuen und gesellschaftlichen Gruppen unterschiedlich beurteilt. Allen Beteiligten gemeinsam ist daher zwar die Einsicht in die Notwendigkeit der sicheren Entsorgung radioaktiver Abfälle, zu Art und zeitlichem Ablauf von Entsorgungsmaßnahmen gibt es hingegen keine einheitliche Meinung.

Eine von möglichst weiten Teilen der Gesellschaft akzeptierbare Entscheidung für einen bestimmten Endlagerstandort ist aber nur dann zu erreichen, wenn nicht nur über die Grundfragen der Kernenergienutzung und die generelle Notwendigkeit sicherer Endlagerung Einigkeit erzielt wird, sondern auch über die konkrete Zielsetzung des Endlagers und das bei Standortauswahl und -beurteilung anzuwendende Verfahren. Selbst wenn über die Zukunft der Kernenergienutzung ein breiter Konsens erreicht werden kann, wird also ein konkreter Endlagerstandort (außer bei den unmittelbar Betroffenen) nur dann auf breite Akzeptanz stoßen, wenn

- die Endlagerung radioaktiver Abfälle innerhalb der Erdkruste auf absehbare Zeit nachweislich die einzige oder die mit hoher Wahrscheinlichkeit sicherste Entsorgungsmöglichkeit für radioaktive Abfälle darstellt,
- bei der Auswahl von Endlagergestein und Endlagerstandort systematisch nach der im Rahmen des fachlich Sinnvollen besten Lösung gesucht wird bzw. worden ist (wobei unerheblich ist, ob dabei der beste Standort tatsächlich gefunden werden kann oder gefunden wird),
- das Verfahren zur Standortauswahl und zum Nachweis der Langzeitsicherheit fachlicher und gesellschaftlicher Kritik standhält und für alle Beteiligten nachvollziehbar ist.

Wegen der **langen zu betrachtenden Zeiträume** (s. Kap. H-5.2.2 "Zeitraumen") und mangels Rückholbarkeit der Abfälle aus einem verschlossenen Endlager kann weder die Richtigkeit eines Eignungsnachweises für einen Standort bestätigt noch eine falsche Standortentscheidung korrigiert werden. Also ist auch nicht zweifelsfrei zu beweisen, daß das angewendete Verfahren zum richtigen Ergebnis führt bzw. geführt hat. Bei

Standortauswahl und Eignungsnachweis geht es daher zwangsläufig weniger um die tatsächliche Eignung des betrachteten Standortes als um die Frage, ob der Nachweis in der vorgelegten Form von der Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit, vor allem aber von den Verfahrensbeteiligten, akzeptiert werden kann.

Aus diesen Zusammenhängen wird deutlich, daß unter den Begriffen „Eignungsnachweis“ bzw. „Nachweis der Langzeitsicherheit“ kein Nachweis oder Beweis in naturwissenschaftlichem Sinne zu verstehen ist. Es handelt sich vielmehr um ein Verfahren, mit dem gezeigt werden soll, daß ein Standort bestimmten prüfbar Anforderungen genügt. Da sich die Begriffe „Eignungsnachweis“ und „Nachweis der Langzeitsicherheit“ im deutschen Endlagerungsvokabular durchgesetzt haben, werden sie dennoch im folgenden verwendet.

An die Angemessenheit und Schlüssigkeit eines solchen Verfahrens ergeben sich hohe Anforderungen. Nur wenn beide überprüfbar gewährleistet sind, kann das Ergebnis des Auswahl- und Nachweisverfahrens für einen bestimmten Standort auf breite Akzeptanz stoßen. Voraussetzung dafür ist, daß auch Außenstehende das Verfahren selbst und die daraus resultierenden Entscheidungen nachvollziehen können. Das muß durch geeignete Verfahrensstruktur und Maßnahmen sichergestellt werden. Unerläßliche allgemeine Bedingungen dafür sind:

- **Transparenz** des Verfahrens, zu erreichen durch klare Struktur, insbesondere schrittweises Vorgehen,
- Anwendung eines **ausgereiften Verfahrens** (auf Grund der praktischen Anwendung erforderliche Änderungen sind nachvollziehbar zu begründen, bevor sie in das Verfahren eingeführt werden),
- eindeutige Regelungen hinsichtlich der **Bedeutung von Untersuchungsbefunden** im Rahmen des Verfahrens und hinsichtlich des Umgangs mit ihnen,
- frühzeitige **Öffentlichkeitsbeteiligung** und regelmäßige Information der Öffentlichkeit.

Zur Umsetzung der drei erstgenannten Anforderungen werden in H-5.2.2 Hinweise gegeben. Zur Öffentlichkeitsbeteiligung finden sich ausführliche Hinweise in GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO (1994).

### **H-5.2.2 Methodische Anforderungen**

Im folgenden werden Anforderungen an ein in sich geschlossenes Verfahren für Standortauswahl und Nachweis der Langzeitsicherheit formuliert und kurz erläutert. Die Darstellung stützt sich im wesentlichen auf APPEL et al. (1993) sowie GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO (1994). Die Anforderungen stellen die Grundlage für die Bewertung des bisherigen Vorgehens in den Kapiteln H-5.3 bis H-5.6 dar und liefern Hinweise für die künftige Ausgestaltung eines angemessenen Verfahrens für Standortauswahl und Nachweis der Langzeitsicherheit.

## Verfahrensstruktur

Da alle potentiellen Endlagermedien und -standorte im Sinne der Langzeitsicherheit mehr oder weniger positive oder negative Eigenschaften aufweisen, ist die Identifizierung des "relativ besten" Endlagermediums und des "relativ besten" Endlagerstandortes innerhalb eines Suchraumes nur durch den Vergleich verschiedener Medien und verschiedener Standorte miteinander möglich (dazu ausführlich LÜTTIG et al. 1993). Angesichts der weitreichenden Sicherheitsanforderungen an Endlager müssen bereits bei der Auswahl des Mediums und des Endlagerstandortes diejenigen gesteins- und standortspezifischen Aspekte Berücksichtigung finden, die letztlich die Eignung eines Standortes bestimmen. Dem steht allerdings entgegen, daß dazu in frühen Phasen der Standortauswahl in der Regel nur die Ergebnisse von Übersichtsuntersuchungen oder solche Informationen vorliegen, die in anderem Zusammenhang erhoben worden sind.

Absolute Eignungsaussagen für ein potentielles Endlager können auf dieser Basis nicht getroffen werden. Auch aus diesem Grund kann ein möglichst gut geeigneter und damit konsensfähiger Standort nur durch den Vergleich mehrerer Standorte mit positiven Eignungsmerkmalen identifiziert werden. Nur ein auf diese Weise vorausgewählter Standort gilt bis zum abschließenden Beweis seiner Eignung oder Nichteignung durch gezielte Untersuchungen im Rahmen des Eignungsnachweises als "potentiell geeignet" bzw. "eignungshöflich" (s. auch u.: "Befundbewertung").

Es geht beim Nachweis der Langzeitsicherheit also - entgegen der bisherigen Praxis (s. Kap. H-5.3.2) - nicht darum, die Nichteignung eines willkürlich festgelegten Standortes zu beweisen, sondern die tatsächliche Eignung eines sorgfältig und nachvollziehbar ausgewählten Standortes mit möglichst hohem Eignungspotential. Unter Berücksichtigung der in Kapitel H-5.2.1 formulierten Rahmenbedingungen setzt das die Anwendung eines in sich geschlossenen Verfahrens für Standortauswahl und Eignungsnachweis mit folgenden prinzipiellen Arbeitsschritten voraus (s. auch Abb. H-8):

1. **Festlegung des methodischen Rahmens und der Bewertungsgrundlagen** für die einzelnen Verfahrensschritte.
2. Identifizierung eines geeigneten **Endlagermediums** (mehrerer geeigneter Endlagermedien). Wichtige Beurteilungsaspekte sind die erforderliche Standsicherheit des Endlagers, mögliche Auswirkungen des Abfalls auf das Gestein (z.B. bei wärme-producingen Abfällen) und die Funktion des Endlagers (Zurückhaltung von Radionukliden).
3. Formulierung und Anwendung eines **Anforderungsprofils** an den gesuchten Standort, abzuleiten aus Art und Menge der endzulagernden Abfälle und dem sich daraus ergebenden erforderlichen Isolationszeitraum unter Berücksichtigung der Gesteinseigenschaften des/der in Frage kommenden Endlagermediums/Endlagermedien.
4. Ausweisung von **Suchräumen** mit potentiell geeigneten Gesteinskörpern auf Grundlage verfügbarer Daten oder von Übersichtsuntersuchungen.

5. **Einengende Vorauswahl** mehrerer potentiell geeigneter Standorte durch Anwendung von Ausschlußkriterien und Ausweisung von Negativflächen, d.h. Flächen bzw. Gesteinskörpern, die für die Endlagerung nicht in Frage kommen.
6. Erhebung wichtiger eignungsbestimmender Standorteigenschaften der vorausgewählten Standorte (durch gezielte Untersuchungen) und **vergleichende Bewertung** der Standorte anhand von Eignungs- und Ausschlußkriterien zur Identifizierung des besten bzw. der besten der vorausgewählten potentiell geeigneten Standorte.
7. Eignungsuntersuchung und **Eignungsnachweis** für den/die verbleibenden (potentiell besten) Standort(e) auf Grundlage detaillierter Untersuchung.

### Schutzgüter

Die Schutzbestimmungen des Atomgesetzes gegen die Wirkung ionisierender Strahlung sowie die aktuelle Praxis des Langzeitsicherheitsnachweises für Endlager sind allein auf den Menschen als Schutzgut ausgerichtet. Bei der Prüfung der möglichen langfristigen Umweltauswirkungen eines Endlagers müssen jedoch neben dem Schutzgut Mensch alle Schutzgüter berücksichtigt werden, die in den für den Schutz der Umwelt maßgeblichen Gesetzen und Vorschriften ausdrücklich als schützenswert bezeichnet werden. Das sind vor allem:

- Grundwasser und Oberflächenwasser (Wasserhaushaltsgesetz - WHG),
- Naturhaushalt, Nutzungsfähigkeit der Naturgüter, Pflanzen- und Tierwelt als Lebensgrundlagen des Menschen (Naturschutzgesetz - NatSchG),
- Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft (Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung - UVPG).

Die Betrachtung anderer biotischer Schutzgüter neben dem Menschen bedeutet zunächst, daß die Wirkung radioaktiver Strahlung auch auf diese Schutzgüter gezielt bewertet werden muß. Heute wird in wissenschaftlich unhaltbarer Weise generell unterstellt, daß sie durch die Konzentration auf den Menschen automatisch "mitgeschützt" sind. Darüber hinaus müssen auch alle anderen potentiell umweltschädigenden Auswirkungen Berücksichtigung erfahren, insbesondere solche, die sich aus der Freisetzung "konventioneller" Abfallinhaltsstoffe aus einem Endlager ergeben können.

Zur Bewertung der Auswirkungen auf die verschiedenen biotischen Schutzgüter müssen geeignete Bewertungssysteme (s.u.: "Bewertungssysteme") teilweise noch entwickelt bzw. bestehende modifiziert werden. Für die Bewertung der Auswirkungen eines Endlagers auf die abiotischen Schutzgüter, insbesondere Grundwasser und Oberflächenwasser sowie Boden, stehen dagegen geeignete, wissenschaftlich abgeleitete Bewertungssysteme bzw. methodische Grundlagen (z.B. BDG 1990) zur Verfügung.

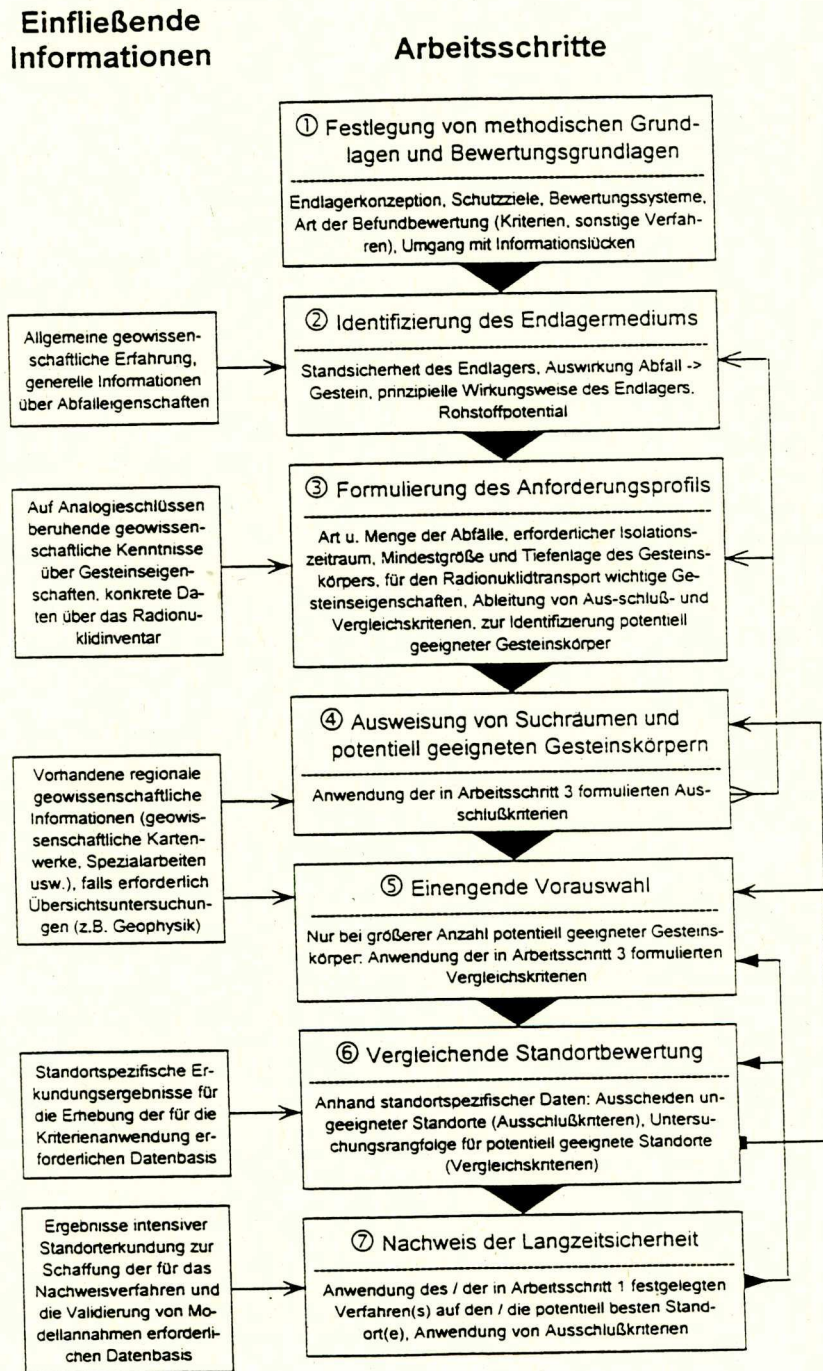


Abb. H-8: Arbeitsschritte eines Verfahrens für Standortauswahl und Nachweis der Langzeitsicherheit bei Endlagern für radioaktive Abfälle mit Angabe der einfließenden Informationen und der Rückkehrmöglichkeiten zu früheren Arbeitsschritten bei ungünstigen Untersuchungsbefunden (Pfeile); aus GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO (1994; verändert)

## Zeitrahmen

Radioaktive Abfälle müssen gegenüber Schutzgütern solange zuverlässig im Endlager isoliert werden, bis die von ihnen ausgehende Strahlung auf ein hinnehmbares Maß abgeklungen ist. Der Eignungsnachweis muß sich auf den resultierenden gesamten "erforderlichen Isolationszeitraum" erstrecken. Er ist von der Art der im Abfall enthaltenen Radionuklide abhängig und so lang, daß dafür zuverlässige Prognosen über künftige Veränderungen des heutigen Endlagersystems bzw. der Randbedingungen des Radionuklidtransportes nicht möglich sind. Darunter leidet auch die Zuverlässigkeit des Nachweises der Langzeitsicherheit, insbesondere der Methode Sicherheitsanalyse (s. Kap. H-5.4.3).

Als Reaktion auf die zeitabhängigen Prognoseprobleme haben internationale und deutsche Endlagerungsinstitutionen für den Nachweis der Langzeitsicherheit eine zeitlich abgestufte Bewertung mit abnehmender quantitativer Aussageschärfe vorgeschlagen. Danach soll der Zeitraum für die Sicherheitsanalyse auf 10.000 Jahre beschränkt werden (EHRlich et al. 1986, RSK/SSK 1988; s. dazu Kap. H-5.4.2.1). Für den anschließenden Zeitraum bis zu etwa 1 Million Jahre sollen sogenannte Sicherheitsindikatoren zu Sicherheitsaussagen herangezogen werden (s.u.: "Bewertungssysteme"). Jenseits dieser Zeitmarke seien nur noch qualitative Aussagen möglich und erforderlich (RÖTHEMEYER 1994).

Es ist verständlich, daß für extrem lange Zeiträume unterschiedliche Bewertungsverfahren herangezogen werden sollen. Doch stellen die bis heute dazu vorliegenden Ansätze keine methodisch befriedigende und akzeptierbare Lösung des Zeitproblems dar (s.u.: "Bewertungssysteme", "Validierung"). Ein in sich geschlossenes Nachweisverfahren, das über den gesamten Isolationszeitraum zuverlässige Sicherheitsaussagen ermöglicht, existiert also bisher nicht.

## Beurteilungsfelder bei Standortauswahl und Eignungsnachweis

Schutzgüter können durch die in ein Endlager verbrachten Abfälle nur dann gefährdet werden, wenn Radionuklide in dessen Umgebung freigesetzt werden. Unter ungestörten Bedingungen ist das in relevanten Mengen nach heutigem Kenntnisstand zwar nur mit dem Transportmittel Grundwasser möglich, doch ist die Bedeutung des Radionuklidtransportes unter Beteiligung von Luft bzw. Gas in jedem Einzelfall zu prüfen. Daneben sind aber auch Expositionen als Folge menschlicher Aktivität (human intrusion) oder bestimmter natürlicher Ereignisse und allmählich ablaufender Prozesse zu berücksichtigen, die zu plötzlicher oder langfristig verstärkter Freisetzung führen können. Hinzu treten Belastungen, die während der Betriebsphase eines Endlagers auftreten können (insbesondere bei Störfällen). Insgesamt ergeben sich folgende fünf Ereignisgruppen, die bei Standortauswahl und Eignungsnachweis zu berücksichtigen sind und damit grob den inhaltlichen Mindestumfang der bei Standortauswahl und Eignungsnachweis zu leistenden Arbeiten, insbesondere der Informationsbeschaffung, umreißen:

- Freisetzung von Radionukliden ins und Transport mit dem Grundwasser ("Normalszenario"); gegebenenfalls Betrachtung des Gas-/Luftpfadefes,
- Diskrete natürliche Ereignisse,
- Sonstige natürliche Prozesse (z.B. Salzaufstieg),
- Menschliche Einwirkung (human intrusion),

- Freisetzungen während der Betriebsphase bzw. der Phase der Rückholbarkeit der Abfälle.

Darüber hinaus existierende Beurteilungsfelder stehen nicht in direktem Zusammenhang mit der geologischen Barriere und haben damit nicht oder nur bedingt Einfluß auf die Langzeitsicherheit. Darauf wird hier nicht eingegangen.

Reihenfolge und Vertiefungsgrad der Bearbeitung dieser Beurteilungsfelder hängen von der Endlagerkonzeption und dem gewählten Wirtsgestein (s. Kap. H-5.1) ab, außerdem davon, für welche Bewertungsschritte die Bearbeitung erfolgt. Die zu behandelnden Aufgaben können im Detail daher erst dann ausgearbeitet werden, wenn diese Randbedingungen feststehen. In jedem Fall muß gewährleistet sein, daß für jedes Beurteilungsfeld alle Informationen, die für die zuverlässige Beurteilung entsprechender Sachverhalte erforderlich sind, tatsächlich gewonnen werden.

Zu den einzelnen Bewertungsfelder ist zu sagen:

#### Freisetzung und Transport mit Grundwasser

Hauptzweck des Multibarrierensystems eines Endlagers ist die Verhinderung des Wasserzutritts an die radioaktiven Abfälle (s. H-5.1). Bei Endlagern in der grundwassergesättigten Zone der Geosphäre kann die Einhaltung dieses Zieles wegen der begrenzten Standzeit technischer Barrieren wahrscheinlich nicht für den gesamten erforderlichen Zeitraum garantiert werden. Damit ist auch die Abgabe von Radionukliden aus den Abfällen in das Grundwasser nicht vollends auszuschließen.

Das Beurteilungsfeld Freisetzung und Transport mit dem Grundwasser betrifft also prinzipiell unvermeidliche, zumindest nicht ausschließbare Vorgänge. Daher stellt es das Kernstück jedes Eignungsnachweises für Endlager dar. Zum Eintritt dieses "Normalszenarios" bedarf es keiner schwerwiegenden natürlichen oder menschlichen Vorgänge bzw. Eingriffe in das Endlagersystem oder gravierender Änderungen der den Nuklidtransport bestimmenden Standortverhältnisse. Folgende Aspekte müssen mindestens berücksichtigt werden:

- Geologische, hydrogeologische und hydraulische Verhältnisse im Standortbereich (einschließlich hydrologischer und klimatischer Randbedingungen und deren künftige Entwicklung),
- hydrochemische und isotopenhydrologische Verhältnisse,
- geomechanische Verhältnisse im Wirtsgestein,
- langfristige Wirksamkeit bestimmter (geo-)technischer Barrieren (v.a. Schachtverschlüsse).

#### Diskrete natürliche Ereignisse

Bei folgenden Ereignissen muß die Eintrittswahrscheinlichkeit abgeschätzt werden:

- Seismische Aktivität (einschließlich geotektonischer Verhältnisse, Erdbeben),
- Vulkanische Aktivität.

Für Gebiete mit verstärkter seismischer Aktivität sind die möglichen Maximalstärken abzuschätzen. Hinsichtlich seismischer oder vulkanischer Aktivität kritische Gebiete sind bereits bei der Standortsuche zu identifizieren und gegebenenfalls auszuschließen.

#### Sonstige natürliche Prozesse

In diese Ereignisgruppe gehören relativ langsam und teilweise stetig ablaufende natürliche Vorgänge, wie

- mögliche Veränderungen der generellen (hydro-)geologischen Situation am Standort und im weiteren Standortbereich einschließlich möglicher Entwicklungstendenzen,
- morphologische Verhältnisse im Standortbereich (Reliefenergie u.ä.),
- speziell bei Salz: Salzaufstieg und Salzablaugung (Subrosion).

Diese Vorgänge können zu Veränderungen der Freisetzungs- und Transportbedingungen für Radionuklide führen. Sie müssen möglichst schon bei der Standortauswahl berücksichtigt werden (z.B. Reliefenergie, Subrosion). Die langfristige geologische Entwicklung einer Standortregion sowie mögliche zukünftige Veränderungen der Randbedingungen des Radionuklidtransportes (z.B. durch klimatische Veränderungen) können dagegen erst im Rahmen des Eignungsnachweises geklärt werden.

#### Menschliche Einwirkungen (human intrusion)

Selbst nach dem Verschluß des Endlagers ist die Freisetzung von Radionukliden durch menschliche Aktivität nicht auszuschließen. Zu denken ist insbesondere an Bohrungen, Anlage von Salzkavernen und Errichtung von Bergwerken. Die verstärkte zukünftige Grundwasserförderung an einem Standort kann zur Beschleunigung des Radionuklidtransportes führen. Daher sind zu berücksichtigen:

- Das Rohstoffpotential des Endlagerstandortes bzw. der Endlagerformation (Wirtsgestein); denn je höher das Rohstoffpotential, umso wahrscheinlicher ist die zukünftige gezielte Erkundung und Erschließung entsprechender Lagerstätten,
- das Grundwasserpotential im Standortbereich.

Aus der intensiven Erkundung und Erschließung von Rohstoffen im tieferen Untergrund der Bundesrepublik Deutschland in der Vergangenheit ergibt sich, daß die Möglichkeit eines zukünftigen (unbeabsichtigten) Kontaktes mit endgelagerten Abfällen keineswegs mißachtet werden darf. Der menschlichen Einwirkung auf das Endlager wird daher (auch international) relativ hohe Bedeutung beigemessen (RSK 1994).

Ein Sonderfall menschlicher Einwirkung ist der gezielte Versuch, kernbrennstoffhaltige Abfälle als Rohstoffquelle zu erschließen. Er ist vor allem bei solchen Endlagerstrategien bedeutsam, bei denen das Endlager für längere Zeiträume offengehalten wird. Hierzu gehören vor allem Endlagerungskonzeptionen mit der Option "Rückholbarkeit der Abfälle" (s. H-5.1). In diesen Fällen sind auch andere Ausbreitungsmechanismen und Expositionssituationen zu betrachten (große Bedeutung des Luftpfades). Außerdem treten neben dem Aspekt der Langzeitsicherheit überwachungstechnische und gesellschaftliche Aspekte in den Vordergrund.

## Befundbewertung

Unabdingbare Voraussetzung für die vorgesehenen Bewertungsschritte ist jeweils ein Mindestmaß an verlässlichen und repräsentativen Standortinformationen. Art und Umfang ergeben sich aus der Zielsetzung des jeweiligen Schrittes. Im Laufe des Gesamtverfahrens nimmt dabei der unbedingt zu deckende Informationsbedarf zu.

Die Bewertung der vorliegenden oder gezielt zu erhebenden Befunde kann grundsätzlich auf zweifache Weise erfolgen:

- **Mit Hilfe von Kriterien** (s.u.: "Kriterien"), in denen sich die Erwartungen an einen geeigneten Standort bzw. Gesteinskörper für ein Endlager niederschlagen.
- **Durch schutzziel- und schutzgutbezogene Sicherheitsbetrachtungen**, mit denen überprüft wird, ob ein Schutzgut durch die von einem bestimmten Endlager ausgehenden Wirkungen beeinträchtigt wird oder werden kann.

Die Anwendung von Kriterien ist grundsätzlich in allen Phasen der Standortauswahl und -beurteilung möglich, bei der einengenden Vorauswahl und der vergleichenden Standortbewertung sogar unumgänglich (s. dazu u.: "Kriterien"). Sie ergeben sich aus dem Anforderungsprofil an den Standort (s. "Verfahrensstruktur") und aus den grundsätzlichen Erkenntnissen und Erfahrungen, die über die eignungsrelevanten Eigenschaften von Gesteinen vorliegen. Die Kriterien betreffen vor allem einfach überprüfbare äußere Merkmale der geologischen Barriere, die in mehr oder weniger direkter Beziehung zu deren Funktion stehen.

Die Anwendung von Kriterien auf einfach erhebbare äußere Standortmerkmale, wie sie in der Frühphase des Verfahrens erhoben werden können, kann allerdings in der Regel nur vorläufige Eignungsaussagen liefern. Jede positive Einschätzung einer Standorteigenschaft auf Grund von Kriterien unterliegt daher dem Vorbehalt der Bestätigung durch spätere Untersuchungen. Erst nach dem abschließenden Nachweis der Langzeitsicherheit wird aus einem **potenziell geeigneten** ein **geeigneter** Standort.

Die Anwendung schutzziel- und schutzgutbezogener Sicherheitsbetrachtungen ist weitgehend auf den Nachweis der Langzeitsicherheit beschränkt. Dabei werden beispielsweise mit Modellrechnungen zum Radionuklidtransport durch die geologische Barriere Radionuklidkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser und daraus Strahlenbelastungen für Menschen berechnet. Dieser Vorgehensweise entspricht die heute für den Langzeitsicherheitsnachweis vorgegebene Sicherheitsanalyse (s. Kap. H-5.2.1 u. H-5.4.2). Sie erfordert umfangreiche standortspezifische Kenntnisse und die Verfügbarkeit eines geeigneten Bewertungssystems, mit dem sich die Beeinträchtigung eines Schutzgutes bestimmen läßt. Eine solche Vorgehensweise führt zu "immateriellen" Eignungsaussagen, die im Zuge der Standortvorauswahl oder -bewertung nicht mehr anhand einzelner Untersuchungsbefunde überprüfbar und für Außenstehende nachvollziehbar sind.

Sie ist außerdem mit dem nicht hinnehmbaren Nachteil verbunden, daß die Bewertung des jeweiligen Standortes erst dann vorgenommen werden kann, wenn alle für die umfassende Sicherheitsanalyse erforderlichen Untersuchungen und Modellrechnungen durchgeführt worden sind. Die Erfahrungen mit aktuellen Endlagerprojekten, insbesondere Gorleben,

zeigen, daß der dafür erforderliche Aufwand an Kosten und Zeit die spätere sicherheitsmäßig gebotene Aufgabe des Standortes bei Vorliegen ungünstiger Befunde erheblich erschwert.

## Kriterien

In der Anfangsphase eines Verfahrens für Standortausweisung und Eignungsnachweis liegen in der Regel keine für die Anwendung schutzgutbezogener Beurteilungssysteme (s.u.: "Bewertungssysteme") ausreichenden Informationen vor. Ihre Beschaffung wäre auch im Hinblick auf die Systematik der Vorgehensweise unangemessen. Es kommen stattdessen Kriterien zur Anwendung, wobei bestimmte Prüfgrößen an definierten Vorgaben gemessen werden.

Kriterien beziehen sich auf sichtbare, meßbare oder berechenbare Merkmale der geologischen Barriere. Zumindest in frühen Verfahrensphasen sollten sie möglichst einfach erhebliche Sachverhalte betreffen. Sie müssen einen möglichst breiten Teil des Anforderungsprofils an den gesuchten Standort abdecken und erstrecken sich demnach auf Standorteigenschaften mit unmittelbarer Bedeutung für die Funktionstüchtigkeit der geologischen Barriere, aber auch (beispielsweise) auf entsorgungspolitisch begründete Anforderungen (z.B. Mindestkapazität des Endlagers).

Die Kriterien lassen sich in Abhängigkeit vom Verfahrensschritt, in dem sie eingesetzt werden, gliedern in

- **Auswahlkriterien** zur Auswahl des Endlagermediums und zur Vorauswahl von Endlagerstandorten (entsprechen Vergleichskriterien, s.u.),
- **Eignungskriterien** zur Prüfung der Eignung von (vorausgewählten) Standorten (entsprechen Ausschlußkriterien, s.u.).

Im Hinblick auf die konkrete Funktion von Kriterien im Rahmen der Bewertungsschritte lassen sich Kriterien folgenden Gruppen zuordnen:

- **Ausschlußkriterien:** Sie betreffen die unerläßlichen Mindestanforderungen an Endlagerstandorte, deren Nichterfüllung zum Ausschluß eines Standortes führt. Ausschlußkriterien tragen wesentlich zur Verfahrenstransparenz bei und verhindern das "Mitschleppen" ungeeigneter Standorte im Verfahren.

Letztlich stellt auch die Anforderung der RSK (1983: "Einhaltung der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung" (s. H-5.2.1) ein Ausschlußkriterium dar. Es liegt aber auf der Hand, daß die Reduzierung der Standortbewertung auf nur ein solches Kriterium zu extrem hohen Anforderungen an die Aussagekraft der Prüfgröße führen muß (s. dazu auch Kap. H-5.4.3).

- **Vergleichskriterien:** Mit ihrer Hilfe wird einerseits bestimmt, in welchem Ausmaß eine bestimmte Anforderung von einem Endlagermedium oder einem Standort erfüllt wird (Erfüllungsgrad, s.u.). Andererseits erlaubt die Anwendung eines Kriteriums auf mehrere Medien oder Standorte den Vergleich verschiedener Einlagerungsmedien bzw. Standorte miteinander.

Die Hauptvorteile der Anwendung von Kriterien bei der Standortauswahl bestehen in in der Konsensfähigkeit von Kriterien, der mit ihrer Anwendung erreichbaren Transparenz des Verfahrens und der Möglichkeit zur vergleichenden Bewertung mehrerer Endlagermedien bzw. -standorte:

Zumindestens auf fachlicher (geowissenschaftlicher) Ebene läßt sich ein Katalog von allgemein akzeptierten und damit konsensfähigen Kriterien formulieren. Damit ist eine Bewertungsstruktur vorgegeben, über die im weiteren Verfahren keine weiteren Diskussionen mehr nötig sind. Die Anwendung von Ausschluß- und Vergleichskriterien sorgt zudem auf fachlicher Ebene und in der öffentlichen Diskussion für Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Verfahrens. Willkürliche oder von fachfremden Gesichtspunkten geleitete Entscheidungen können erkannt und diskutiert werden. Das setzt allerdings auch klare Regelungen für den Umgang mit Kriterien, und zwar insbesondere mit Ausschlußkriterien, voraus. So ist sicherzustellen, daß erst spät in einem Suchverfahren erarbeitete ungünstige Befunde für einen Standort, die in einer früheren Bewertungsphase zu dessen Ausschluß geführt hätten, auch in einer späten Phase tatsächlich noch zum Ausschluß führen.

Die Möglichkeit zur vergleichenden Bewertung mehrerer Medien bzw. Standorte erlaubt es, aus einer zunächst großen Standortanzahl eine überschaubare Zahl potentiell geeigneter Standorte nachvollziehbar abzuleiten und diese in eine Rangfolge für die weiteren Bearbeitungsschritte zu bringen. Mit der vergleichenden Bewertung ist zudem eine aus geowissenschaftlicher Sicht zwingende methodische Forderung erfüllt (s.o.: "Verfahrensstruktur").

Andererseits bestehen bei der Anwendung von Kriterien auch Probleme. Insbesondere erfordert die methodisch korrekte Anwendung von Kriterien einen übereinstimmenden Informationsstand für alle zu betrachtenden Standorte. Diese Voraussetzung ist in der Praxis in der Regel nicht erfüllt. Dem kann aber zum einen durch die Beschaffung der notwendigen Daten während des Auswahlverfahrens begegnet werden; zum anderen kann im Laufe des Verfahrens von zunächst wenigen relativ groben Anforderungen in der Frühphase (viele Standorte) auf detailliertere und stärker quantifizierte Kriterien übergegangen werden.

### **Informationsbedarf und Untersuchungskonzeption, fachlicher Konsens**

Zur Durchführung der oben ("Verfahrensstruktur") genannten Verfahrens- und Bewertungsschritte muß jeweils ein bestimmter Informationsbedarf gedeckt sein. Ausgehend von den bereits vorliegenden Kenntnissen bestimmt er Umfang und Detaillierungsgrad der zur Durchführung des Bewertungsschrittes noch erforderlichen Untersuchungen. Bei der Definition des Informationsbedarfes und der Konzipierung von Untersuchungsprogrammen ist auf räumlich und zeitlich repräsentative Informationen zu achten. Daher sind Anforderungen an die Datenqualität und -dichte festzulegen und Regelungen für die Qualitätskontrolle zu treffen. Über Notwendigkeit und Umfang von Untersuchungen ist ein breiter fachlicher Konsens herzustellen.

## Konservativität

Das Konservativitätsprinzip regelt den Umgang mit unzulänglichen Beurteilungsgrundlagen im Rahmen von Entscheidungs- bzw. Bewertungsprozessen. Bei der Bewertung der von einem (potentiellen) Endlager für radioaktive Abfälle ausgehenden Umweltauswirkungen wird eine Vorgehensweise dann als konservativ bezeichnet, wenn bestehende Informationsdefizite so durch Annahmen geschlossen werden, daß sich eine Überschätzung der aus der Freisetzung resultierenden Auswirkungen auf Schutzgüter ergibt. Eine besonders wichtige Rolle spielt das Konservativitätsprinzip dann, wenn Modellannahmen in Bewertungen einfließen, etwa bei Modellrechnungen zur Ausbreitung von Radionukliden in der Geosphäre.

Der entscheidende Vorteil des Konservativitätsprinzips liegt darin, daß (quantitative) Sicherheitsbetrachtungen und Bewertungsverfahren auch dann durchgeführt werden können, wenn für eine realitätsnahe oder gar realistische Beschreibung von Sachverhalten keine ausreichende Informationsbasis vorliegt. Es erlaubt zudem, durch bewußte Vernachlässigung bzw. nachweisliche Über- oder Unterschätzung bestimmter Mechanismen vorab gewisse Sicherheitsmargen in eine Bewertung einzuführen. Es darf aber nicht mißbraucht werden, um die mangelnde Ausgereiftheit eines Bewertungsverfahrens, fehlende Datengrundlagen und wissenschaftliche Kenntnislücken oder Unzulänglichkeiten verfügbarer Rechencodes zu überspielen (s. dazu auch H-5.4.3).

Ein wichtiger methodischer Nachteil des Konservativitätsprinzips besteht darin, daß die Einführung konservativer Annahmen eine Entfernung von der Realität darstellt, wobei der entstehende Abstand nicht immer hinreichend genau beurteilt werden kann. Zudem kann aus der Einführung konservativer Annahmen nicht grundsätzlich auf die Konservativität einer Gesamtbeurteilung geschlossen werden. Außerdem werden durch die Entfernung von der Realität zugleich die Aussagekraft der Modellergebnisse oder eines Bewertungsschrittes und ihre Bedeutung im Rahmen eines Bewertungs- bzw. Nachweisverfahrens relativiert. Es müssen daher klare Regelungen für den Umgang mit solchen Ergebnissen im Rahmen des Bewertungsverfahrens getroffen werden. Außerdem ist konservatives Vorgehen mit Auflagen verbunden. Insbesondere ist die Konservativität einer anstelle von Untersuchungsbefunden in ein Verfahren eingeführten Annahme nachzuweisen.

## Validierung

Wegen der langen Zeiträume, die bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle zu berücksichtigen sind, aber auch wegen der Ausdehnung des zu betrachtenden Raumes fließen in den Nachweis der Langzeitsicherheit unvermeidlich Modellannahmen ein. Sie können beispielsweise wichtige Aspekte des Radionuklidtransports durch die geologische Barriere betreffen, der zweifellos nicht für den gesamten erforderlichen Isolationszeitraum und das gesamte Untersuchungsgebiet genau beschrieben und bewertet werden kann.

Soweit es sich um bewertungsrelevante Modellannahmen handelt, muß ihre Richtigkeit durch modellunabhängige Naturdaten belegt ("validiert") werden (dasselbe gilt insbesondere für Modellrechnungen, s. dazu Kap. H-5.4.2.2). Beispielsweise können Modellannahmen zur Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers in günstigen Fällen durch die Bestimmung des Grundwasseralters abgesichert werden. Vielfach ist ein solcher Nachweis für Modellannahmen aber nicht möglich oder mit sehr großem Aufwand verbunden.

Seit langem - recht spät allerdings in der Bundesrepublik Deutschland (KFK 1994) - wird daher versucht, zur Validierung von Modellannahmen "natürliche Analoga" heranzuziehen. Außerdem werden sie zur Absicherung der Sicherheitsindikatoren benutzt, mit deren Hilfe die Langzeitsicherheit von Endlagern für Zeiträume zwischen 10.000 und 1 Million Jahren beurteilt werden soll (s.u.: "Bewertungssysteme"). Das bedeutet: Gut verstandene und belegte natürliche Prozesse, die Vorgängen in bzw. bei Endlagern entsprechen (Analogon), werden zu prognostischen Aussagen über das System Endlager oder Teile davon herangezogen. Beispielsweise sind aus Ablauf und Ausmaß der Entglasung (Kristallisierung) natürlicher Gläser und antiker künstlicher Gläser Rückschlüsse auf die Stabilität verglaster Wiederaufarbeitungsabfälle gezogen worden.

Tatsächlich sind natürliche Analoga für das Verständnis bestimmter Prozesse sehr hilfreich. Konkrete Analogieschlüsse für die künftige Entwicklung in bzw. bei einem Endlager können daraus jedoch nur ausnahmsweise abgeleitet werden. Es darf nämlich nicht übersehen werden, daß der gut untersuchte natürliche Prozeß aus der Vergangenheit selbst nur ein Modell für künftige Endlagervorgänge darstellt. Es ist daher sorgfältig zu belegen, daß die Übertragung der über die Vergangenheit entwickelten Vorstellung auf die Zukunft tatsächlich gerechtfertigt ist. Demgegenüber scheint in der deutschen Diskussion über "natürliche Analoga" die Hoffnung auf Akzeptanzerhöhung für die Endlagerung im Vordergrund zu stehen (CLOSS 1994).

### **Bewertungssysteme**

Die abschließende Überprüfung, ob die Schutzziele der Endlagerung an einem Standort eingehalten werden können oder eingehalten werden, setzt die Existenz geeigneter Bewertungssysteme voraus. Darunter sind der Bewertungsmaßstab und die Bewertungsgröße(n) zu verstehen, die zur Beurteilung des künftigen Zustandes des betrachteten Schutzgutes eingesetzt werden können:

- Der **Bewertungsmaßstab** (oder Beurteilungsmaßstab) ist das Maß für den Zustand eines Schutzgutes.
- Mit der **Bewertungsgröße** (oder Beurteilungsgröße) wird der aktuelle oder prognostizierte Zustand des betrachteten Schutzgutes charakterisiert. Sie wird am Bewertungsmaßstab gemessen.

Beim Nachweis der Langzeitsicherheit eines Endlagers wird mit diesem Bewertungsinstrument prognostisch geprüft, ob und gegebenenfalls in welchem Ausmaß ein Schutzgut durch die von einem Endlager ausgehenden Auswirkungen beeinträchtigt wird bzw. beeinträchtigt werden kann. Es muß folgenden Anforderungen genügen, die in der gegenwärtigen Nachweispraxis keineswegs vollständig erfüllt sind (APPEL 1992):

- Das Bewertungssystem muß in schlüssigem Bezug zum Schutzziel stehen, d.h. Bewertungsmaßstab und -größe müssen sich auf einen für die Langzeitsicherheit des Endlagers nachweislich eignungsbestimmenden Sachverhalt beziehen.

- Es muß entweder ein für alle Schutzgüter zutreffendes übergreifendes Bewertungssystem oder für jedes Schutzgut ein eigenes Bewertungssystem vorhanden sein.
- Ein Bewertungssystem muß in schlüssigem Bezug zum jeweiligen Schutzgut stehen und auf wissenschaftlicher Basis möglichst schutzgutimmanent abgeleitet werden. Diese Aussage gilt nicht für Kriterien, die in frühen Phasen des Verfahrens (z.B.) für die Bewertung der geologischen Barriere eingesetzt werden.
- Beurteilungsmaßstab und Beurteilungsgröße müssen inhaltlich und formal (z.B. Dimension) zueinander passen.
- Die für die Beurteilung der Langzeitsicherheit herangezogenen Maßstäbe und Beurteilungsgrößen müssen fachlich und gesellschaftlich akzeptiert und möglichst rechtsverbindlich sein. Sie müssen daher - zumindest in allgemeiner Form - vor Beginn der Standortauswahl bzw. des Eignungsnachweises für einen konkreten Standort feststehen.
- Die im Vergleich zum Bewertungsmaßstab zu fordernde Aussagegenauigkeit der Beurteilungsgröße bzw. des Bewertungsergebnisses muß vorab festgelegt werden. Auf jeden Fall müssen Regelungen für eine Fehlerabschätzung der Beurteilungsgröße getroffen werden.
- Soweit möglich, sollten Maßstäbe und Beurteilungsgrößen für die Beurteilung der für die Langzeitsicherheit maßgeblichen geologischen Barriere auf geowissenschaftlicher Grundlage abgeleitet werden.
- Die für die Anwendung eines bestimmten Bewertungssystems erforderlichen Informationen zur Beurteilungsgröße müssen mit angemessenem Aufwand zuverlässig gedeckt werden können. Bewertungssysteme, für deren Anwendung ein nicht zu deckender Informationsbedarf besteht, sind ungeeignet.
- Ein Bewertungssystem (oder die Kombinationen mehrerer) muß den gesamten erforderlichen Isolationszeitraum abdecken.

Im Rahmen der in der Bundesrepublik Deutschland als Nachweisverfahren praktizierten Sicherheitsanalyse stellen die Grenzwerte in § 45 der Strahlenschutzverordnung die Beurteilungsmaßstäbe für den Beleg der Langzeitsicherheit eines Endlagers dar. Daran sind als Beurteilungsgrößen die rechnerisch prognostizierten Individualdosen zu messen (s. Kap. H-5.4.2.1). Wegen der mit zunehmender Länge des Nachweiszeitraums verbundenen Abnahme der Aussagekraft der errechneten Individualdosen sollen für längere Zeiträume (bis etwa 1 Million Jahre) sogenannte Sicherheitsindikatoren für die Nachweisführung herangezogen werden (EHRlich et al. 1986, RÖTHEMEYER 1994). Dabei handelt es sich beispielsweise um die (mit Modellrechnungen ermittelte) Dauer des Stofftransportes durch die geologische Barriere als Beurteilungsgröße. Sie soll am Alter des Grundwassers in tiefen Teilen der geologischen Barriere als Bewertungsmaßstab gemessen werden (RÖTHEMEYER 1994).

Es ist leicht einsichtig, daß dieses Bewertungssystem keinen direkten Bezug zum Schutzziel von Endlagern aufweist. Dazu wäre es erforderlich, die errechnete Dauer des Stofftransportes am erforderlichen Isolationszeitraum (s.o.: "Zeitraumen") zu messen (ALBRECHT et al. 1989, APPEL 1992). Das Grundwasseralter könnte als Beitrag zur Validierung (s.o.: "Validierung") der Dauer des Stofftransportes verstanden werden. Dieses Beispiel zeigt, daß die schwerwiegenden Bewertungsprobleme, die sich aus den langen zu betrachtenden Zeiträumen ergeben, bislang keineswegs gelöst sind. Für Zeiträume jenseits von 1 Million Jahren gibt es gegenwärtig keine konkrete Bewertungskonzeption.

## **H-5.3 Vorgehensweise bei der Standortauswahl in Deutschland**

### **H-5.3.1 Kriterienkataloge**

Bei der Suche nach Endlagerstandorten werden mit der Anwendung von Kriterien auf bestimmte sicherheitsrelevante Merkmale von Gesteinskörpern zwei Ziele verfolgt. Mit Hilfe von Ausschlußkriterien werden aus der zunächst großen Zahl vorhandener Gesteinskörper bzw. Standorten die auf jeden Fall ungeeigneten ausgeschieden. Damit verringert sich die Zahl der zu betrachtenden Fälle auf ein überschaubares Maß. Auf die verbleibenden Gesteinskörper bzw. Standorte werden dann Vergleichskriterien angewendet. Damit wird überprüft, in welchem Umfang die einzelnen Gesteinskörper bzw. Standorte den in die Kriterien gekleideten Anforderungen entsprechen. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes erlaubt damit auch die Aufstellung einer Rangfolge für die weiteren Schritte der Standortauswahl (s. Kap. H-5.2.2).

Die in Kriterien einfließenden Anforderungen ergeben sich zum einen aus der Funktion von Endlagern und der erforderlichen Kapazität, zum anderen aus den - auf Grund geowissenschaftlicher Erfahrung - bei einem bestimmten Gesteinstyp zu erwartenden funktionsrelevanten Gesteineigenschaften. Für die Kriterienentwicklung muß also bereits die Festlegung des Endlagermediums erfolgt sein.

Da die Endlagerungskonzeption der Bundesrepublik die Endlagerung in einem Bergwerk vorsieht (s. Kap. H-5.1), muß der gesuchte Gesteinskörper die sichere Errichtung entsprechender Bergwerkshohlräume erlauben. Die Forderung nach in diesem Sinne geeigneten Gesteinen ist daher eine Selbstverständlichkeit und wird im folgenden nicht ausdrücklich behandelt. Ihre Einhaltung ist jedoch beim Eignungsnachweis für den ausgewählten Endlagerstandort zu belegen.

In der Bundesrepublik Deutschland sind zu verschiedenen Zeitpunkten und mit unterschiedlicher Zielsetzung und unterschiedlichem Vertiefungsgrad Kriterien für die Auswahl von Endlagerstandorten entwickelt und z.T. angewendet worden.

In den nächsten Abschnitten werden folgende Kriterienkataloge ausführlich behandelt:

- Allgemeine BGR-Kriterien 1977 (BGR 1977),

- BGR-Kriterien Salinarformationen 1977 (BGR 1977),
- Gorleben-Kriterien (UMWELT 1979),
- RSK-Kriterien (RSK 1983),
- BGR Kriterien Nichtsalinare Formationen 1994 (BGR 1994),
- BGR-Kriterien Salzformationen 1995 (BGR 1995b).

Auf die Bedeutung dieser Kriterien bei bisher in der Bundesrepublik durchgeführten Standortsuchverfahren wird in den Kapiteln H-5.3.2 und H-5.3.3 eingegangen. Die öffentliche Diskussion über Kriterien war zeitlich an die Standortauswahl für das Nukleare Entsorgungszentrum bzw. die Benennung des Standortes Gorleben gebunden.

Bei der Auswahl von Morsleben als Endlagerstandort für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in der DDR ist ein im Detail allerdings nicht bekannter Kriterienkatalog angewendet worden. Die in Kap. H-5.6.4 erwähnten Kriterien betreffen nur untergeordnet Aspekte der Langzeitsicherheit. Offenbar haben geowissenschaftliche Fragen bei der Entscheidung für Morsleben keine oder nur eine untergeordnete Rolle gespielt. Da zudem Einzelheiten des Auswahlprozesses nicht bekannt sind, werden diese Kriterien hier nicht weiter behandelt.

### **H-5.3.1.1 BGR-Kriterien 1977**

1977 ist von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ein Katalog endlagerungsbezogener Anforderungen an Gesteinsformationen und deren örtliche Ausprägung vorgelegt worden (BGR 1977), die als Kriterien für die Standortauswahl herangezogen werden können. Der Katalog ist zweigeteilt:

#### **Allgemeine BGR-Kriterien 1977**

Der erste Teil enthält allgemeine, d.h. nicht auf einen bestimmten Gesteinstyp ausgerichtete Anforderungen an die Endlagerformation. Für die Anwendung auf bestimmte Gesteinsformationen ist dieser Katalog anzupassen und gegebenenfalls zu erweitern. Folgende Eigenschaften werden für das Endlagerstein bzw. den Standort gefordert:

- Ausreichendes Volumen und Homogenität des Gesteinskörpers (Richtwerte: 100-200 m Mächtigkeit, einige km<sup>2</sup> Ausdehnung),
- ausreichende Tiefe (Richtwerte: Mindestens 200-300 m, höchstens 1.000-1.500 m),
- geringe Porosität und Permeabilität,
- hinreichend große Standfestigkeit künstlicher Hohlräume (für mehrere tausend Jahre),
- gute Wärmeleitfähigkeit, damit die von den Abfällen produzierte Wärme gleichmäßig und schnell abgeleitet wird,
- hohe physikalische und chemische Stabilität gegenüber ionisierender Strahlung und hoher Temperatur,
- gute Ionen-Austauschkapazität zur Absorption radioaktiver Isotope,
- tektonische und seismische Stabilität,
- Sicherheit bei klimatischen Veränderungen, damit der Endlagerinhalt nicht mit der Biosphäre in Kontakt gelangen kann,

- Sicherung der Rohstoffressourcen (potentiell nutzbare Lagerstätten oder größere Grundwasservorräte im Nahbereich des Standortes).

Unter vorsorglichen Sicherheitsaspekten und dem Gesichtspunkt möglicher Nutzungskonflikte bzw. der Ressourcenschonung sollen bzw. müssen folgende Bereiche bei der Standortauswahl gemieden werden:

- Gebiete allgemein stärkerer Seismizität,
- Grundwasserschutzgebiete, Einzugsgebiete von Wasserwerken sowie Heilquellenschutzgebiete (auch wenn eine Kontamination durch den Endlagerinhalt ausgeschlossen werden kann),
- Bereiche aktiven und stillgelegten Bergbaus und die sie umgebenden Sicherheitszonen,
- Vorbehaltsgebiete für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe,
- Bereiche geplanter oder bestehender Aquiferspeicher über oder unter dem Endlager,
- Bereiche der Industriesole-Gewinnung oder Salinen mit Sicherheitszone,
- Kavernenanlagen für die Speicherung von Öl, Gas etc. mit Sicherheitszone,
- Gebiete mit jungem Vulkanismus bzw. mit junge tektonische Bewegungen,
- Gebiete mit starker epirogenen Hebung oder Senkung.

### **BGR-Kriterien Salinarformationen 1977**

Der zweite Teil des Kriterienkatalogs in BGR (1977) bezieht sich auf Steinsalz als bereits zum Zeitpunkt der Kriterienentwicklung in der Bundesrepublik bevorzugtes Endlagermedium. Der Katalog besteht im wesentlichen aus einer Darstellung der mutmaßlich günstigen Eigenschaften von Steinsalz sowie Aussagen zu kritischen Bereichen innerhalb von Salinarformationen, die möglichst zu meiden sind:

- Möglichst reines Steinsalz,
- Meidung bzw. Vermeidung von Anhydritpartien (im Bergwerk) und Carnallitit bzw. Kaliflözen (in der Nähe des Endlagerortes),
- ausreichende Mindestmächtigkeit des reinen Steinsalzbereiches (>200 m),
- bei in zirkulierendes Grundwasser hineinreichenden Salzstöcken Mindest-Salzscheibe über dem Endlagerort 200-300 m,
- bei Salzstöcken Meidung von Rand- und Überhangbereichen wegen komplizierten Innenbaus und zu geringer Ausdehnung reinen Steinsalzes,
- tektonische Strukturen (Überschiebungszonen, Ausquetschungs- und Extrusionsstrukturen) mit Salz nicht empfehlenswert wegen komplizierten Innenbaus und zu geringer Ausdehnung reinen Steinsalzes.

Die Kriterien beider Kataloge sind zwar unterschiedlich konkret formuliert, zielen jedoch mit der Berücksichtigung von Kapazität und sicherheitsrelevanten Aspekten grundsätzlich in die richtige Richtung.

### H-5.3.1.2 Gorleben-Kriterien

Nach der Benennung des Salzstocks Gorleben als Standort für das Nukleare Entsorgungszentrum (NEZ) durch den Ministerpräsidenten des Landes Niedersachsen im Februar 1977 (s. Kap. H-5.6.2) begann eine heftige Diskussion über die dafür maßgeblichen Gründe. Von der Landesregierung sind sie damals nicht geliefert worden. Von der Bundesregierung, die der Benennung zugestimmt hatte, sind folgende Kriterien als Grundlage für die Gorleben-Entscheidung genannt worden (UMWELT 1979, S. 38):

- Der Salzstock sollte durch frühere Bohrungen oder bergmännische Aktivitäten möglichst unberührt sein, um unkontrollierte Eingriffe in das System Salzstock zu vermeiden.
- Der Salzstock sollte eine für die Aufnahme radioaktiver Abfälle ausreichende Größe besitzen, die außerdem das Vorkommen mächtiger reiner Steinsalzpartien wahrscheinlich erscheinen läßt (Kapazität). Große Partien reinen Steinsalzes werden als Voraussetzung für die Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle angesehen.
- Die Salzstockoberfläche sollte nicht mehr als 400 m unter Gelände liegen und nicht zu hoch in die oberflächennahen Grundwasserhorizonte reichen.
- Die engere Standortregion sollte keine nutzbaren Lagerstätten (einschließlich Grundwasserreserven) enthalten.

Die sorgfältige Prüfung der norddeutschen Salzstöcke hätte ergeben, daß der Salzstock Gorleben diesen Anforderungen genügt.

Unabhängig davon, daß die genannten Kriterien für eine Standortauswahl nicht ausreichen, sind die Aussagen der Bundesregierung immer wieder angezweifelt worden. Insbesondere wurde in Frage gestellt, daß die sorgfältige Anwendung der Kriterien auf die bundesdeutschen Salzstöcke ausgerechnet zur Benennung von Gorleben führen würde (APPEL 1980, ROTHAMEL 1980). Nach DUPHORN (1988) sind am Standort Gorleben ohnehin nicht alle Kriterien erfüllt.

### H-5.3.1.3 RSK-Kriterien

1983 sind von der Reaktorsicherheitskommission die sogenannten "Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" veröffentlicht worden (RSK 1983, s. auch Kap. H-5.2.1). Darin werden Anforderungen an die Vorgehensweise bei Standortauswahl und Eignungsnachweis für Endlager formuliert sowie folgende Anforderungen an den Endlagerstandort:

- Der Standort ist so auszuwählen, daß die Einhaltung der Schutzziele während des Betriebes, der Stilllegung und der Zeit nach der Stilllegung des Endlagerbergwerkes gewährleistet werden kann.

- Bei der Auswahl des Standortes ist die Erhaltung wirtschaftlich bedeutender Rohstofflagerstätten einschließlich Grundwasservorkommen zu berücksichtigen.
- Die Endlagerformation muß aus Gesteinen bestehen, die eine Erstellung und Nutzung von untertägigen Hohlräumen unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen an die Endlagerung radioaktiver Abfälle ermöglichen.
- Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Mineralien und Gesteine sowie mögliche Mineralreaktionen unter dem Einfluß der vorgesehenen Einlagerungsgebilde sind zu berücksichtigen.
- Deckgebirge und Nebengestein müssen bei Radionuklidfreisetzungen aus dem Endlagerbergwerk dazu beitragen, unzulässige Konzentrationen in der Biosphäre zu verhindern (hohe Sorptionsfähigkeit für Radionuklide von Vorteil).
- Es sind geologische Formationen zu bevorzugen, die auf Beanspruchungen viskoplastisch reagieren bzw. an Bruchflächen keine Wegsamkeiten für unzulässig große Flüssigkeitsmengen entstehen lassen.
- Der Standort eines Endlagerbergwerkes soll sich durch geringe tektonische Aktivität auszeichnen und von Bereichen starker tektonischer Aktivität so weit entfernt sein, daß die Integrität des Endlagers durch sie nicht gefährdet wird.
- Wasserwegsamkeiten zwischen der Biosphäre und dem im Betrieb befindlichen Endlagerbergwerk dürfen bei Endlagerformationen allenfalls so gering sein, daß die Schutzfunktionen des geologischen und technischen Barrieren-Systems erhalten bleibt. Mögliche Auswirkungen durch die Einlagerung radioaktiver Stoffe (z.B. Wärmeeintrag) müssen dabei berücksichtigt werden.
- Nach der Stilllegung des Endlagerbergwerkes dürfen in der Endlagerformation vorhandene oder möglicherweise zutretende Wässer oder Salzlösungen nicht bzw. nicht in unzulässigem Umfang in die Biosphäre gelangen.

Die Kriterien lassen nach RSK (1983) bewußt Ermessensspielräume zu. Ihre Konkretisierung soll erst im Rahmen des Genehmigungsverfahrens unter besonderer Berücksichtigung des Einzelfalles erfolgen. Sie sind also offenbar nicht für die Standortauswahl entwickelt worden. Ihre eigentliche Zielsetzung bleibt allerdings unklar:

Zwar ist es laut RSK (1983) zweckmäßig, für die Auswahl und Erkundung eines Standortes Kriterien zu entwickeln, mit denen die Schutzziele garantiert werden können, allgemeingültige quantitative Sicherheitskriterien seien wegen der nicht normierbaren geologischen Gesamtsituation aber nicht festlegbar. Inhaltlich handelt es sich bei den RSK-Kriterien entgegen ihrer Bezeichnung danach lediglich um allgemeine Zielvorstellungen, die bei der Standortauswahl beachtet bzw. von einem bereits vorausgewählten Standort möglichst erfüllt werden sollten. In dieser Hinsicht sind die Anforderungen teils selbstverständlich, teils unverbindlich und weitgehend trivial. Sie liefern weder einen konkreten Beitrag zur Identifizierung eines sicheren Endlagers noch klare Regeln für Standortauswahl und -beurteilung.

### H-5.3.1.4 BGR-Kriterien 1994 / 1995

Offenbar unter dem Eindruck der heftigen Diskussion über die potentielle Eignung des Salzstocks Gorleben ist in der Koalitionsvereinbarung zur Bildung der Bundesregierung für die 12. Legislaturperiode der Bundesrepublik zwischen CDU/CSU und F.D.P vereinbart worden, vorsorglich die Untersuchung weiterer potentieller Standorte für die Endlagerung hochradioaktiver, stark wärmeentwickelnder Abfälle vorzubereiten. Damit soll sichergestellt werden, daß bei einem etwaigen (allerdings nicht erwarteten) ungünstigen Ausgang der Standorterkundung Gorleben, umgehend weitere Standorte untersucht werden können.

Zu diesem Zweck hat die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie bzw. des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zwei Studien angefertigt (BGR 1994 u. 1995b), in denen untersuchungswürdige Standorte bzw. Regionen (Gesteinskomplexe) benannt werden. Für diese Auswahl sind Kriterien gezielt neu entwickelt bzw. bestehende gegebenenfalls präzisiert worden. Gegenüber früheren vergleichbaren Arbeiten in der Bundesrepublik werden nun auch Hartgesteinsvorkommen einbezogen, und zwar auch in den neuen Bundesländern.

#### **BGR-Kriterien Nichtsalinare Formationen 1994**

Eine Studie (BGR 1994) bezieht sich auf nichtsalinare Formationen. Darunter werden ausschließlich kristalline Gesteinskomplexe mit magmatischen Gesteinen (Beispiel Granit) bzw. metamorphen Gesteinen (Beispiel Gneis) verstanden. Standorte innerhalb der Gesteinskomplexe sind nicht identifiziert worden. Kristalline Gesteine kommen nur im Bereich der deutschen Mittelgebirge vor. Bei der Auswahl kamen die folgenden, anhand verschiedener Faktoren zu beurteilende Ausschluß- und Vergleichskriterien aus verschiedenen Merkmalskategorien zur Anwendung.

##### Ausschlußkriterien

###### Ökologische Faktoren

- Schutzgebiete (Nationalparks, Naturschutzgebiete, bestehende Landschaftsschutzgebiete, Naturparke, Biosphärenreservate u.a.),
- nahe industrielle und stark besiedelte Ballungszentren,
- zahlreiche großflächige Stauhaltungen,
- ungünstige Grundwasserverhältnisse (detaillierte Kenntnisse erforderlich).

###### Geogen bedingte Faktoren

- Lage zu tektonisch und seismisch aktive Zonen,
- hohe Verwerfungsdichte,
- starke und diskontinuierliche Vertikal- und Horizontalbewegungen,
- intensiver vorhandener oder zu erwartender Magmatismus.

###### Geotechnisch-ingenieurgeologische Faktoren

- unzureichende Größe des Kristallinkomplexes (Mindestfläche:  $10 \text{ km}^2$ , Mindestbreite: 3 km),

- intensiver Bergbau bei relativ kleinen Kristallinvorkommen bzw. Vorbehaltsgebiet für Gewinnung mineralischer Rohstoffe,
- Inhomogenität (Wechsel in den Gesteinsarten mit negativem Einfluß auf die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Wirtsgesteins).

Kriterien für die vergleichende Beurteilung

Tektonik, Gesteinshomogenität, Hydrogeologie

- Dichte der wesentlichen tektonischen Elemente,
- Verteilung der tektonischen Elemente in der Fläche,
- Deformationsgrad,
- Gesteinshomogenität,
- Anzahl der Quellen pro Flächeneinheit.

Bergbau

- Flächenanteile Untertageabbau an der Fläche des Gesteinskörpers,
- Flächenanteile Übertageabbau an der Fläche des Gesteinskörpers.

Hydrographie

- Dichte der Vorfluter,
- Entwässerungsrichtung bezüglich Trennflächen,
- Anteil maximaler Stauhaltung an der Gesamtfläche.

Seismizität (Erdbebenzone nach DIN 4149)

Zusätzliche Angaben

- Effektive Flächengröße,
- Durchschnittliches Alter des Gesteinskörpers,
- Durchschnittliches Vorflutergefälle,
- Maximale Mächtigkeit des Deckgebirges.

Die nach der Anwendung der Ausschlußkriterien verbleibenden Kristallinvorkommen wurden mit Hilfe der Vergleichskriterien beurteilt, indem jedes Prüfungsmerkmal mit Bewertungen zwischen günstig bzw. sehr günstig und ungünstig bzw. sehr ungünstig belegt wurde. Die Vergleichskriterien wurden über einen Multiplikator gewichtet.

Das Verfahren leidet nicht zuletzt darunter, daß die für die Eignung wichtigste Eigenschaft der geologischen Barriere, nämlich die Wasserdurchlässigkeit des Gesteinskörpers im Gesteinsverband ("Gebirgsdurchlässigkeit") mangels Informationen nicht bewertet werden konnte. Das ist bei Standortauswahlverfahren die Regel. Wieweit allerdings die ersatzweise eingeführten geologischen Kriterien (s.o.: Tektonik, Gesteinshomogenität, Hydrogeologie) indirekte Aussagen überhaupt zulassen, ist unklar. Ihre sicherheitsmäßige Bedeutung ist in der Studie nicht hinreichend belegt. Bei den meisten der ersatzweise eingeführten Kriterien dieser Gruppe bleibt zudem offen, welche konkreten Verhältnisse sich hinter den Bewertungen (günstig, ungünstig) verbergen. Die in BGR (1994) getroffene Bewertung ist anhand der dort gegebenen Informationen daher nicht nachvollziehbar.

In der vorliegenden Form ist der Kriterienkatalog für die zuverlässige Auswahl von Suchregionen oder gar Standorten mit kristallinen Gesteinen damit nicht geeignet.

### **BGR-Kriterien Salzformationen 1995**

In der zweiten Studie (BGR 1995b) werden ausschließlich Salzformationen betrachtet, die nicht bereits in früheren BGR-Arbeiten ausgeschlossen worden waren (z.B. flach lagernde Salzvorkommen in Hessen, Baden-Württemberg, Thüringen und Nordrhein-Westfalen, Salzstöcke im Bereich der Nordsee und Ostsee). Daher konzentriert sich die Studie auf die vergleichende Bewertung von insgesamt 41, überwiegend aus Zechsteinsalz aufgebauten Salzstöcken in den Bundesländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. Der Salzstock Gorleben gehörte bemerkenswerterweise nicht dazu (s. dazu Kap. H-5.3.3)

Es wurden folgende Kriterien angewendet:

#### Geologisch-strukturelle Kriterien (in Klammern: zu bewertende Merkmale der Salzstöcke)

- Volumetrische Kriterien (Sedimentüberdeckung [mindestens 200 m], Flächenausdehnung in der vorgesehenen Endlagertiefe zwischen 300 und 1000 m unter NN [Mindestgröße 9 km<sup>2</sup>])
- Kriterien, die auf das Vorhandensein möglichst ungestörter Steinsalzvolumina hinweisen (Störungen und Komplikationen im Innenbau),
- Stoffliche Kriterien des Wirtsgesteins (Volumen an "Älterem Steinsalz"),
- Bewertung der Barrierefunktion des Deckgebirges (Abdeckung des Salzstocks durch bestimmte tonige Sedimente),
- Strukturelle Komplikationen im Dachbereich (Scheitelgräben bzw. Scheitelstörungen, quartäre Rinnen, Subrosionssenken).

#### Anthropogene Kriterien

- Nutzung des potentiellen Wirtskörpers oder seines Umfeldes als Rohstoffquelle (Kavernen, Erdöl-/Erdgasgewinnung),
- Nutzung der Erdoberfläche über der Struktur (Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Wasserschutzgebiete, Überbauung).

Die Kriterien sind z.T. sehr detailliert und konkret. Anders als bei den Kristallin-Kriterien (s.o.) beziehen sie sich auf eindeutig sicherheitsrelevante Merkmale. Beispielhaft soll das anhand der Bewertung der Barrierefunktion des Deckgebirges erläutert werden:

Nach BGR (1995b) ist positiv zu bewerten (von oben nach unten abnehmende Qualität):

- Vollständige Überdeckung des Salzstocks mit tonigen Unterkreide-Sedimenten,
- vollständige Überdeckung des Salzstocks durch Oberkreide-Sedimente,
- vollständige oder weitgehende Überdeckung mit alttertiären Tonen, insbesondere durch den mitteloligozänen Rupelton.

Negativ zu bewerten ist:

- Überdeckung mit sandigem Alttertiär ohne Rupelton,
- Überdeckung des Gipshutes nur mit oberoligozänen, neogenen oder quartären Sedimenten (Süßwasserführung, Kontakt mit den genutzten Grundwasserstockwerken und zur Biosphäre möglich).

Diese Formulierungen betreffen tatsächlich sicherheitsbedeutsame geowissenschaftliche Merkmale; denn das Deckgebirge eines Salzstocks hat im Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle zwei Funktionen: Zum einen schützt es den Salzstock selbst vor der Auflösung von Salzgestein im Dachbereich durch Grundwasser, zum anderen verzögert es den Radionuklidtransport mit dem Grundwasser vom Salzstock in die Biosphäre. Diese doppelte Schutzfunktion kann es umso besser wahrnehmen, je mächtiger und feinkörniger seine Gesteine ausgebildet sind. Das folgt aus dem Zusammenhang, daß feinkörnige Gesteine (z.B. Ton) erheblich geringere Wasserdurchlässigkeit aufweisen als gröbere (z.B. Sand). Da die geologischen Verhältnisse im Bereich der betrachteten Salzstöcke relativ gut bekannt sind, kann geprüft werden, wieweit ganz bestimmte und in Norddeutschland grundsätzlich vorhandene Ton(stein)e, im Einzelfall tatsächlich über den einzelnen Salzstöcken vorkommen.

Ähnlich schlüssig erscheinen auch die übrigen Kriterien. Sieht man von Problemen der Beschaffung gleichwertiger Informationen für alle Standorte ab, stellt der Kriterienkatalog Salzformationen 1995 daher ein erwägenswertes Instrument für die Standortauswahl bei Salzstöcken dar.

### **H-5.3.2 Bisherige Suchverfahren**

In der Bundesrepublik existieren vier Standorte tatsächlicher (Asse, Morsleben) bzw. geplanter Endlager (Konrad, Gorleben) für radioaktive Abfälle. Davon ist nur der Standort Morsleben auf Grund eines gezielten Auswahlverfahrens durch DDR-Behörden benannt worden. Die kritischen Eigenschaften des Endlagers belegen allerdings, daß sicherheitsrelevante geowissenschaftliche Aspekte dabei nur nachrangige Bedeutung gehabt haben können (s. Kap. H-5.6.4).

Für die alten Bundesländer macht bereits der Vergleich der Zeitpunkte der Benennung der Endlagerstandorte mit denen der Erarbeitung bzw. Veröffentlichung der in H-5.3.1 aufgeführten Kriterienkataloge deutlich, daß diese bei der Standortauswahl keine Rolle gespielt haben:

- Zwar geht die Nutzung des ehemaligen Steinsalzbergwerkes Asse II als Versuchsendlager auf empfehlende Aussagen der damaligen Bundesanstalt für Bodenforschung (heute BGR) zurück, doch war die Entscheidung für die Anlage bereits gefallen (s. dazu Kap. H-5.6.2). Kriterienkataloge für die Standortauswahl haben zum Zeitpunkt des Erwerbs der Anlage durch den Bund (1963) noch nicht vorgelegen.

- Die Schachanlage Konrad ist vom ehemaligen Betreiber des Eisenerzbergwerks als Endlager ins Gespräch gebracht worden, um dem unrentabel gewordenen Bergwerk eine Folgenutzung zu sichern (s. dazu Kap. H-5.6.3). Zu Beginn der ersten Eignungsuntersuchungen (1975) lagen ebenfalls noch keine geeigneten Auswahlkriterien vor.
- Die Benennung des Salzstocks Gorleben durch den Ministerpräsidenten Niedersachsens fällt in dasselbe Jahr (1977) wie die Erarbeitung der in H-5.3.1.1 vorgestellten BGR-Kriterien 1977. Das scheint auf einen inhaltlichen Zusammenhang hinzudeuten. Tatsächlich haben der Benennung aber weder die BGR-Kriterien noch - wie später behauptet worden ist - die sogenannten Gorleben Kriterien (s. Kap. H-5.3.1.2) zugrundegelegen.

Wenngleich also die in den alten Bundesländern existierenden drei (potentiellen) Endlagerstandorte nicht im Zuge gezielter Auswahlverfahren benannt worden sind, so haben kurioserweise doch bis heute zwei Auswahlverfahren stattgefunden:

Die Standortauswahl für das geplante Nukleare Entsorgungszentrum seit etwa 1973 war - entsprechend der deutschen Endlagerkonzeption (s. Kap. H-5.1) - ganz auf Salzstöcke ausgerichtet. Dabei waren 1975 von der mit der Suche beauftragten Firma KEWA (Kernbrennstoff-Wiederaufarbeitungsgesellschaft) die drei niedersächsischen Salzstöcke Lichtenhorst, Lutterloh und Wahn für die vergleichende Eignungsuntersuchung benannt worden. Zwar war auch der Salzstock Gorleben bei der Standortauswahl für das NEZ betrachtet worden; er hat jedoch keine hohe Priorität erreicht (s. Kap. H-5.6.2). Die Auswahlkriterien, auf die sich die Benennung der drei Standorte stützt, sind im Detail nie öffentlich gemacht worden, doch standen endlagerungsrelevante geowissenschaftliche Standortanforderungen zweifellos nicht im Vordergrund. An der inhaltlichen Angemessenheit der Benennung bestehen daher deutliche Zweifel. Im Sommer 1976 wurden die Untersuchungen aufgenommen, jedoch nach Widerständen in der Bevölkerung bereits im August 1976 wieder eingestellt.

Unter dem Eindruck dieser Reaktionen bat die Niedersächsische Landesregierung die Bundesregierung, die Untersuchungen auszusetzen, bis die Landesregierung selbst einen Standort benannt hat. Im Februar 1977 wurde der Salzstock Gorleben als einziger Standort für das NEZ benannt. Diese Entscheidung wurde von der Bundesregierung akzeptiert. Die systematische Standortauswahl für das NEZ war damit gescheitert und ist durch eine - im Hinblick auf die Einhaltung geowissenschaftlicher Mindestanforderungen - willkürliche Entscheidung ersetzt worden.

Das zweite Suchverfahren hat in der ersten Hälfte der neunziger Jahre stattgefunden. Anlaß war die Koalitionsvereinbarung derjenigen Parteien, die 1990 die Bundesregierung gebildet haben (s. Kap. H-5.3.1.4). Es war auf potentielle Standorte für die Endlagerung wärmeproduzierender (hochaktiver) Abfälle ausgerichtet. Ziel war es, untersuchungswürdige Standorte für den (unerwarteten) Fall auszuweisen, daß sich Gorleben nach Abschluß der laufenden Erkundung als ungeeignet erweisen sollte.

Das Suchverfahren wurde zweiteilig durchgeführt. Im ersten Teil (BGR 1994) sind erstmals in Deutschland kristalline Gesteinskörper im Rahmen eines systematischen Suchverfahrens vergleichend bewertet worden. Als Resultat werden von insgesamt betrachteten 28

Kristallinvorkommen, die nach Anwendung der Ausschlußkriterien im Verfahren geblieben waren, folgende fünf als diskussionswürdig befunden:

- das Bayerische Kristallin mit Fichtelgebirge (eingeschränkt), nördlichem Oberpfälzer Wald und Saldenburg-Granit,
- der Graugneiskomplex in Erzgebirge und Vogtländischem Schiefergebirge,
- der Granulitkomplex im Granulitgebirge (Sachsen),
- die Granodiorite der Lausitzer Scholle (Radeberg-Löbau, Pulsnitz und Zawidow),
- der verdeckte Granodiorit Pretzsch-Prettin in der Halle-Wittenberger Scholle.

Bei diesen Kristallinvorkommen handelt es sich bemerkenswerterweise um die mit den größten Gesamtflächen und den größten (nach Abzug der Flächen mit anderer Nutzungspräferenz verbleibenden) effektiven Flächen der bewerteten Vorkommen. Zweifellos ist - bei sonst übereinstimmenden Eigenschaften - die Wahrscheinlichkeit bei einem ausgedehnten Vorkommen größer, einen geeigneten Standort zu finden, als bei einem deutlich kleineren Vorkommen. Doch es ist nicht einleuchtend, daß sich große Vorkommen im Hinblick auf sicherheitsrelevante Gesteinseigenschaften generell positiv von kleineren, aber ausreichend großen, abheben sollen. Es ist darum zu befürchten, daß das Ergebnis der Bewertung nicht die realen sicherheitsrelevanten Unterschiede zwischen den Vorkommen widerspiegelt, sondern unterschiedliche Informationsstände zu den einzelnen Vorkommen und mangelnde Aussageschärfe der angewendeten Kriterien ( s. auch H-5.3.1.4).

Der zweite Teil des Verfahrens (BGR 1995b) war auf die Identifizierung untersuchungswürdiger Salzstockstandorte gerichtet und erstreckte sich auf die norddeutsche Tiefebene, einschließlich der ostdeutschen Bundesländer. Die Bearbeiter kommen zusammenfassend zu dem Schluß, daß keine der bewerteten 41 Strukturen alle überprüften Anforderungen optimal erfüllt. Allerdings reiche bei einigen Strukturen die Informationslage nicht für eine hinreichend untermauerte Vorauswahl aus. Sie konzentrieren sich daher bei der zusammenfassenden Bewertung auf die drei aus ihrer Sicht wichtigsten geowissenschaftlichen Negativkriterien (BGR 1995b, S. 42):

- Nicht ausreichende Tiefenlage des Daches, zu große Tiefenlage des Daches oder nicht ausreichendes Volumen im Teufenbereich 300-1.000 m unter NN (Volumen-Kriterium),
- Fehlen einer ausreichend vollständigen Überdeckung mit Rupelton oder älteren tonigen Sedimenten (Barriere-Kriterium),
- anderweitig existierende oder geplante Nutzung des Wirtskörpers oder seines Umfeldes (Kriterium der "Unverritztheit").

Nach Anwendung dieser Kriterien verbleiben 14 Salzstöcke, teilweise mit Einschränkungen. Schließt man auch die Salzstöcke mit stark deformiertem Innengefüge, möglicherweise zu geringen Volumina reinen Steinsalzes und mit (größeren Anteilen) jüngeren Salzes als Zechstein aus, so bleiben die vier Salzstöcke Wahn und Zwischenahn (Niedersachsen), Waddekath (Sachsen-Anhalt) und mit Vorbehalten Gülze-Sumte (Mecklenburg-Vorpommern) übrig.

Zwar enthält BGR (1995b) nicht alle in die Bewertung einfließenden Primärdaten, doch sind die Darstellung der bewerteten Sachverhalte und die Ableitung und Anwendung der

Kriterien grundsätzlich nachvollziehbar und plausibel. Das gilt mit Einschränkungen auch für die mit Informationsdefiziten erklärte abschließende schrittweise Einengung auf zunächst 14 und schließlich vier Standorte. Hier sind sicherlich Anstrengungen zur Vereinheitlichung des Informationsstandes erforderlich.

Bemerkenswerterweise ist der Salzstock Gorleben nicht in die Untersuchung aufgenommen worden. Gründe werden in der entsprechende Studie (BGR 1995b) dafür nicht genannt. Es darf vermutet werden, daß so eine Diskussion über die Eignung des Standortes vermieden werden sollte. Wendet man einige der in BGR (1995b) formulierten und verwendeten Kriterien nämlich auf Gorleben an, so zeigt sich, daß er nicht in die von den Autoren als untersuchungswürdig bezeichnete Gruppe gehören würde. Insbesondere schneidet er bei zwei für die Langzeitsicherheit besonders wichtigen Kriterien relativ schlecht ab (s. Kap. H-5.3.1.4): Die Überdeckung mit tonigen Ablagerungen aus Kreide und Tertiär ist unvollständig und eine quartärzeitliche Rinnenstruktur greift tief in das Deckgebirge hinein.

### **H-5.3.3 Bewertung der bisherigen Vorgehensweise bei der Standortauswahl**

Gemessen an den in H-5.2 formulierten Anforderungen an Verfahren zur Standortauswahl für Endlager ist die bisherige Vorgehensweise in der Bundesrepublik Deutschland durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Systematisches, geowissenschaftlich ausgerichtetes Vorgehen hat bei der Auswahl der gegenwärtig diskutierten Standorte Konrad, Asse, Gorleben und Morsleben keine Rolle gespielt. Der Benennung der Standorte Asse und Konrad liegt keinerlei Auswahlverfahren zugrunde. Diese Standorte sind durch die (wirtschaftlich bedingte) Schließung der Bergwerke zur Nachnutzung als Endlager verfügbar geworden. Bei der Benennung des Standortes Gorleben standen im einzelnen nicht bekannte sachfremde Gründe im Vordergrund.
- Die Umwidmung des ehemaligen Erzbergwerks Konrad stellt eine aus Sicht sicherer Endlagerung unnötige und unsystematische Abweichung von der ursprünglichen Konzeption "ein Endlager für alle Abfälle" dar (s. H-5.1).
- Ein methodisch grundsätzlich akzeptabler Ansatz zur Standortfindung war zunächst mit der Vorauswahl der drei Standorte für das Nukleare Entsorgungszentrum (Wahn, Lutterloh, Lichtenhorst) verfolgt worden. Es bestand damals die Möglichkeit der vergleichenden Untersuchung und Bewertung mehrerer Standorte. Der Abbruch dieses Verfahrens und die Benennung des Standortes Gorleben stellt demgegenüber aus methodischer Sicht einen Rückschritt dar.
- Die in der ersten Hälfte der neunziger Jahre durchgeführte Suche nach (Alternativ-) Standorten in Salz- und Kristallinformationen (BGR 1994 u. 1995b) ist hinsichtlich des methodischen Vorgehens prinzipiell positiv zu werten. Sie hat jedoch rund 20 Jahre zu

spät stattgefunden; denn sie hätte vor der ersten Benennung eines Endlagerstandortes in der Bundesrepublik durchgeführt werden müssen.

- Die mangelnde Erfüllung der BGR-Kriterien von 1995 (Salzformationen) durch den Standort Gorleben hat bekanntlich weder zum Abbruch der Erkundung noch zu intensiver Diskussion geführt. Dies ist Ausdruck des Mangels an verbindlichen Regelungen zum Umgang mit (unerwarteten) Erkundungsergebnissen (s. H-5.2.2).
- Von den bisher entwickelten bzw. eingesetzten Kriterienkatalogen erscheint lediglich der für Salzformationen (BGR 1995b) für die künftige Weiterverwendung geeignet. Intensivere Arbeiten sind dagegen für die Kriterienentwicklung für die Auswahl von Kristallinstandorten sowie den Vergleich verschiedener Gesteinsformationen erforderlich.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die bisherige Vorgehensweise bei der Standortauswahl für Endlager äußerst unsystematisch gewesen ist. Die Benennung der existierenden Standorte (ausgenommen Morsleben) war geprägt von der zufälligen Verfügbarkeit (Asse, Konrad) bzw. nachträglichen und in Hinblick auf die Endlagersicherheit sachfremden Begründungen (Gorleben). Ursache ist das Fehlen einer in sich schlüssigen und verbindlichen Konzeption für Standortauswahl und Eignungsnachweis, wie sie in Grundzügen in H-5.2 vorgestellt wird. Der als weitere Arbeitsgrundlage grundsätzlich geeignete Kriterienkatalog für Salzformationen (BGR 1995b) ist lediglich ein möglicher Baustein in einer solchen Konzeption.

Zweifellos würden sich mit einer solchen Konzeption gegenüber der bisherigen Praxis entscheidende Vorteile ergeben. Insbesondere würden durch die Anwendung sorgfältig entwickelter Kriterien höhere Transparenz und Konsensfähigkeit des Vorgehens erreicht. Das darf zweifelsfrei aus den Erfahrungen mit Standortauswahlverfahren für konventionelle Abfalldeponien in den letzten Jahren geschlossen werden, bei denen weit überwiegend Vergleichs- bzw. Auswahlkriterien und Ausschlußkriterien zur Anwendung gekommen sind. Diese Suchverfahren waren immer dann erfolgreich (auch im Sinne von Akzeptanz), wenn sie ein Höchstmaß an Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Konsensfähigkeit aufwiesen und die interessierte Öffentlichkeit möglichst frühzeitig und umfassend über den Entscheidungsprozeß informiert und in ihn eingebunden war.

#### **H-5.4 Der Nachweis der Langzeitsicherheit in Deutschland: Die Methode Sicherheitsanalyse**

In den folgenden Abschnitten wird die bisherige Vorgehensweise beim Nachweis der Langzeitsicherheit in Deutschland etwas ausführlicher behandelt. Dies ist aus zwei Gründen notwendig:

1. Die Ergebnisse von Sicherheitsanalysen zum Nachweis der Langzeitsicherheit bilden die wichtigste Grundlage für weitreichende Entscheidungen bei der Endlagerung (z.B. Untertägige Erkundung Gorleben, Genehmigungsverfahren Konrad, Weiterbetrieb Morsleben),

2. Die Probleme beim Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern sind grundlegender Natur und damit Kernpunkt der Frage, ob die Entsorgung der radioaktiven Abfälle überhaupt nachweislich sicher gelöst werden kann.

### H-5.4.1 Abriß der historischen Entwicklung der Methode Sicherheitsanalyse

Bis Mitte der siebziger Jahre sind dem deutschen Schrifttum zur Endlagerung radioaktiver Abfälle praktisch keine Hinweise zu entnehmen, wie denn die Langzeitsicherheit von Endlagern **nachgewiesen** werden soll. Dem Problem der Langzeitsicherheit wird lediglich mit überwiegend allgemeinen Aussagen über die positiven Eigenschaften von Salzgestein bei der Endlagerung begegnet. So wird beispielsweise von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) der hermetische Abschluß der Abfälle von der Biosphäre begründet mit dem plastischen Verhalten von Salz. Die aus den hochaktiven Abfällen stammende Wärme soll durch die gute Wärmeleitfähigkeit von Salz problemlos abgeführt werden, und geeignete sowie standsichere Hohlräume sollen im Salz einfach herzustellen sein (PTB 1978: S.12).

Nach Meinung von VENZLAFF (1978) ist ein Zutritt von Wasser zu den Abfällen auf die Betriebsphase des Endlagers beschränkt, da ein maßgeschneidertes Endlager die Bedingungen vermeidet, die zum Absaufen von Gewinnungsbergwerken geführt haben. Ein dennoch abgesoffenes Endlagerbergwerk kann seiner Meinung nach ohne Gefährdung für die Umwelt verfüllt und stillgelegt werden.

Auch die RSK (1977) sieht bei ihrer Beurteilung des geplanten Entsorgungszentrums Gorleben nur die Möglichkeit eines Wasser- oder Laugenzutritts über die Schächte in das Endlagerbergwerk während der Betriebsphase, wobei dann durch eine Verfüllung der Schächte der Abschluß der eingelagerten Aktivität von der Biosphäre gewährleistet werden soll. Sie leitet die Machbarkeit der Einlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle im Salzstock Gorleben allein aus dessen Ausdehnung ab. Zur Bestätigung der Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle sah sie zum damaligen Zeitpunkt jedoch immerhin noch Untersuchungsbedarf.

Insgesamt zeigen diese beispielhaften Aussagen, daß die Sicherheit von Endlagern im Salz damals im wesentlichen von allgemeinen geologischen Annahmen hinsichtlich der Eigenschaften von Salzgesteinen abgeleitet worden ist. Deutlich wird dies in PTB (1978) ausgedrückt. Dort wird (vor zwanzig Jahren!) festgestellt, daß nach den vorhandenen allgemeinen Kenntnissen über Salzstöcke der Salzstock Gorleben für die Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle geeignet sein wird. Dabei stand bereits damals die Unhaltbarkeit solch allgemeiner Aussagen zweifelsfrei fest (z.B. MAUTHE 1979).

In der zweiten Hälfte der siebziger Jahre wurde dann begonnen, ein geschlossenes sicherheitsanalytisches Instrumentarium für die Nachbetriebsphase bei der Endlagerung zu entwickeln. Dazu wurden 1977 schon laufende Untersuchungen an Großforschungs-

einrichtungen, Hochschulen und der Industrie zusammengefaßt und das Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE) in Angriff genommen (PSE 1983).

### **Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE)**

Das im Auftrag vom BMFT zwischen 1978 und 1984 durchgeführte Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung hatte das grundsätzliche Ziel, das Verständnis der Sicherheitsaspekte bei der Entsorgung zu vertiefen. Dabei war eines von fünf Schwerpunktthemen von PSE die Entwicklung wesentlicher Methoden für die Sicherheitsanalyse der Nachbetriebsphase von Endlagern (PSE I: 1. Projektphase 1978 - Mitte 1981) sowie darauf aufbauend die Erprobung der entwickelten Methodik am Beispiel des im Salzstock Gorleben geplanten Endlagers (PSE II: 2. Projektphase Mitte 1981 - Ende 1984).

Das im Rahmen von PSE entwickelte und am Beispiel der Standorte Gorleben und Konrad konkretisierte sicherheitsanalytische Instrumentarium beruht auf einem deterministischen Ansatz. Dies bedeutet, daß in einem ersten Schritt Ereignisse (Störfälle) identifiziert werden, die eine (erhöhte) Freisetzung von Radionukliden zur Folge haben (**Szenarienanalyse**). In einem zweiten Schritt wird die daraus resultierende radiologische Belastung mit festen Parametersätzen (Eingangsgrößen) berechnet (**Konsequenzenanalyse**). Zur Bewertung dieser Ereignisse bzw. Störfälle werden Modelle für die Radionuklidfreisetzung mit Modellen für die Konsequenzen der Freisetzung auf der Grundlage konservativer Annahmen verknüpft, um letztendlich die resultierende individuelle Dosisbelastung des Menschen zu ermitteln.

Nach PSE (1983) stand das Projekt außerhalb konkreter Genehmigungsverfahren für Entsorgungsanlagen. Es sollte allerdings ein Instrumentarium für das Gesamtsystem Endlager geschaffen werden, das den Belangen eines Planfeststellungsverfahrens zum sicherheitstechnischen Nachweis der Genehmigungsfähigkeit eines bestimmten Standortes entspricht. Weiterhin sollten Hinweise auf die Entwicklung des Einlagerungskonzepts und für die sicherheitstechnische Bewertung einzelner Barrieren gegeben werden.

Erste Ergebnisse von PSE am Beispiel des Salzstocks Gorleben wurden 1982 der Öffentlichkeit vorgetragen (MEMMERT 1983) und 1983 dann präzisiert (MEMMERT 1984). Aus diesen vorläufigen Ergebnissen wurde die Schlußfolgerung gezogen, daß gegen den Beginn der untertägigen Erkundung des Salzstocks Gorleben keine sicherheitstechnischen Bedenken vorlägen (MEMMERT 1984). PSE wurde termingerecht zu Ende geführt, ohne daß nachgewiesen werden konnte, ob ein Konservativitätsnachweis für alle berücksichtigten Effekte erreicht werden kann (PSE 1985).

Seit 1984 wurde die Weiterentwicklung des methodischen Instrumentariums und der Anwendungsrechnungen wesentlich von der GSF (Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit) fortgeführt. Nach Eingliederung des entsprechenden Forschungsteils des Instituts für Tieflagerung der GSF in die GRS im Jahre 1995 führt die GRS die Endlager-sicherheitsforschung schwerpunktmäßig weiter.

### **"Sicherheitskriterien" der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK)**

Noch während der zweiten Projektphase von PSE wurden im Dezember 1982 die von der Reaktor-Sicherheitskommission vorgeschlagenen "Sicherheitskriterien für die Endlagerung

radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" (RSK 1983) vom Bundesminister des Inneren (BMI) verbindlich gemacht. In diesen sogenannten Sicherheitskriterien wird die Methode Sicherheitsanalyse als einzige Methode zum Führen des Langzeitsicherheitsnachweises bei der Endlagerung festgeschrieben.

Schutzziel der RSK-Kriterien ist die Einhaltung der Anforderung des § 45 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). So dürfen auch in der Nachbetriebsphase eines Endlagers die mit Hilfe der Sicherheitsanalyse errechneten Individualdosen die Werte des § 45 StrlSchV nicht überschreiten, andernfalls ist der Standort ungeeignet. Bei dieser Anforderung handelt es sich also um das einzige Kriterium zur Bewertung von Endlagerstandorten (s. dazu H-5.2.2: "Befundbewertung" u. "Kriterien").

Die RSK-Kriterien sehen keine zeitliche Begrenzung des Anwendungszeitraums für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse mit Berechnung der individuellen Dosisbelastung vor. In einer 1988 vorgelegten gemeinsamen Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission (SSK) werden einige bedeutsame Modifizierungen der RSK-Kriterien vorgeschlagen (RSK/SSK 1988). Wesentliche Änderung ist dabei die Begrenzung des Nachweiszeitraumes, für den Individualdosen ermittelt werden müssen, auf ca. 10.000 Jahre. Für Zeiträume jenseits ca. 10.000 Jahre sollen wegen der dann fehlenden Aussagekraft der mit der Sicherheitsanalyse ermittelten Individualdosen nur noch standortspezifische Prognosen des Isolationspotentials der Endlagerformation vorgenommen werden. Dadurch sollen die mit der Endlagerung im tiefen geologischen Untergrund verbundenen Sicherheitsreserven aufgezeigt werden.

Eine weitere Änderung betrifft den Beurteilungsmaßstab. So sollen nach RSK/SSK (1988) für die Bewertung der errechneten individuellen Strahlendosis nicht mehr die Grenzwerte des § 45 StrSchV herangezogen werden, sondern die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition. Die aus der Endlagerung innerhalb von ca. 10.000 Jahren resultierende potentielle Individualdosis darf danach nicht größer sein als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition. Dieser Vorschlag ist bisher nicht verbindlich umgesetzt worden.

## **H-5.4.2 Darstellung der Methode Sicherheitsanalyse**

### **H-5.4.2.1 Vorgehensweise bei der Sicherheitsanalyse**

Das sicherheitsanalytische Instrumentarium für den Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern sowie seine Anwendung wird in einer Vielzahl von Veröffentlichungen detailliert beschrieben (z.B. DBE 1996, BFS 1990, PSE 1985a, 1985b), so daß auf methodische Details hier nicht eingegangen werden muß. Im folgenden werden deshalb nur die wesentlichen Arbeitsschritte einer Sicherheitsanalyse kurz beschrieben, und es wird sodann auf die dabei auftretenden Probleme eingegangen (s. Kap. H-5.4.2.2). Anschließend wird eine Bewertung der Methode vorgenommen (s. Kap. H-5.4.3).

Grundsätzlich kann die sogenannte deterministische Sicherheitsanalyse in folgende vier Teilschritte gegliedert werden:

1. Ermittlung bzw. Annahme eines Störfalles oder eines Ereignisses, auf Grund dessen überhaupt das Transportmedium Wasser bzw. Lauge an die Abfälle gelangen kann:  
In der Nachbetriebsphase ist Wasser das nach heutigem Kenntnisstand weitaus dominierende Transportmittel für Radionuklide. Deshalb ist zu prüfen, welche Störfälle (Ereignisse) oder natürliche Vorgänge zum Absaufen des Endlagerbergwerkes führen können, welcher Antriebsmechanismus existiert und ob Wegsamkeiten für die Ausbreitung von Radionukliden aus dem Endlager vorhanden ist. Zu diesem Zweck werden Störfall- oder Ereignisszenarien abgeleitet, aus denen dann die Störfälle bzw. die Ereignisse mit den größten radiologischen Auswirkungen als Ausgangspunkt der Sicherheitsanalyse ausgewählt werden. Ereignisse bzw. Störfälle, die zwar denkbar sind, nach menschlichem Ermessen jedoch nicht eintreten, werden dem Restrisiko zugeordnet und nicht berücksichtigt (z.B. Absaufen während der Betriebsphase über den Schacht).
2. Modellierung der nach Eintreten des Störfalles bzw. Ereignisses im Nahfeld des Endlagers (Endlagerbergwerkes) ablaufenden Vorgänge (z.B. Zutritt von Wasser bzw. Lauge an die Abfallbehälter, Mobilisierung von Radionukliden aus den Abfallbehältern, Wirksamkeit technischer Maßnahmen (z.B. Dammbauten), Ausbreitung der Radionuklide im Grubengebäude (u.a. mit Berücksichtigung der hydrochemischen Situation, z.B. Löslichkeitsgrenzen, Sorption).

Ergebnis des 2. Teilschrittes ist die Berechnung der Freisetzungsmengen bzw. der Freisetzungsteile des insgesamt im Grubengebäude eingelagerten Radionuklidinventars ins Neben- bzw. Deckgebirge der Einlagerungsformation (Geosphäre) in Abhängigkeit von der Zeit.

3. Modellierung der Transportvorgänge in der Geosphäre (Fernfeld):  
Eine wesentliche Grundlage dafür ist die Modellierung von Richtung und Geschwindigkeit des Grundwasserflusses. Mit den im 2. Teilschritt ermittelten Freisetzungsteilen wird die weitere Ausbreitung der Radionuklide in der Geosphäre modelliert. Die Modellierung des Radionuklidtransports geschieht auf der Grundlage eines hydrogeologischen Modells des weiteren Endlager-Standortbereichs ("Modellgebiet"). Bei der Modellierung der hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnisse (Grundwasserbewegung) sowie darauf basierend des Radionuklidtransports müssen die wesentlichen Einflußgrößen berücksichtigt werden (z.B. für Grundwasserbewegung: Gebirgsdurchlässigkeit, effektive Porosität; z.B. für Radionuklidenausbreitung: Sorption, Dispersion).

Ergebnisse des 3. Teilschrittes sind die Laufwege und Laufzeiten von Wasserteilchen (Grundwassermodellierung) und von Radionukliden zwischen Endlagerbereich und potentiell nutzbarem oberflächennahem Grundwasser sowie die resultierende Radionuklidkonzentration im oberflächennahen Grundwasser.

4. Modellierung der Ausbreitung der Radionuklide in der Biosphäre und Berechnung der potentiellen Strahlenexposition (Individualdosis) unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Berechnungsgrundlagen:  
Hierbei werden unter Berücksichtigung relevanter Expositionspfade mit Hilfe der Berechnungsgrundlagen zu § 45 StrlSchV (Allgemeine Verwaltungsvorschrift; BMU

1990) die potentiellen Individualdosen berechnet, die sich aus dem Gebrauch des kontaminierten oberflächennahen Grundwassers ergeben. Ein Beispiel für das Ergebnis einer Sicherheitsanalyse ist in Abbildung H-9 gezeigt.

**Die berechnete potentielle Individualdosis ist das eigentliche Ergebnis der Sicherheitsanalyse.** An dem ermittelten Zahlenwert entscheidet sich die Eignung oder Nichteignung des Endlagers im Sinne von Genehmigungsfähigkeit. Eine potentielle Individualdosis kleiner als die Grenzwerte des § 45 StrlSchV ( $<0,3$  mSv/a effektive Dosis als Summe der gewichteten Organdosen) bedeutet Eignung des Endlagers. Bei Überschreiten des Grenzwertes ist das Endlager nicht geeignet (vgl. Abb. H-9).

Teilschritt 1. wird als **Szenarienanalyse** bezeichnet, die Teilschritte 2. bis 4. entsprechen der **Konsequenzenanalyse**. Die Zusammenhänge gehen aus Abbildung H-10 hervor. Die Sicherheitsanalyse besteht also in einer Modellierung aller Vorgänge, die Einfluß haben auf die Mobilisierung von Radionukliden im Endlager und ihren Transport vom Endlager in die Biosphäre zum Schutzgut Mensch. Anders gesagt: Faßt man das Endlager und den Endlagerstandort als Barrierensystem auf, so wird bei der Sicherheitsanalyse das Verhalten bzw. die Wirksamkeit der einzelnen Barrieren modelliert. Die Sicherheitsanalyse kann also verstanden werden als eine Methode, mit der die zeitabhängige Wirksamkeit der einzelnen Barrieren bzw. des gesamten Barrierensystems gegenüber der Radionuklidmobilisierung und Radionuklidausbreitung ermittelt wird. Sie muß den gesamten Zeitraum abdecken, über den die radioaktiven Abfälle eine Gefahr für Schutzgüter darstellen.

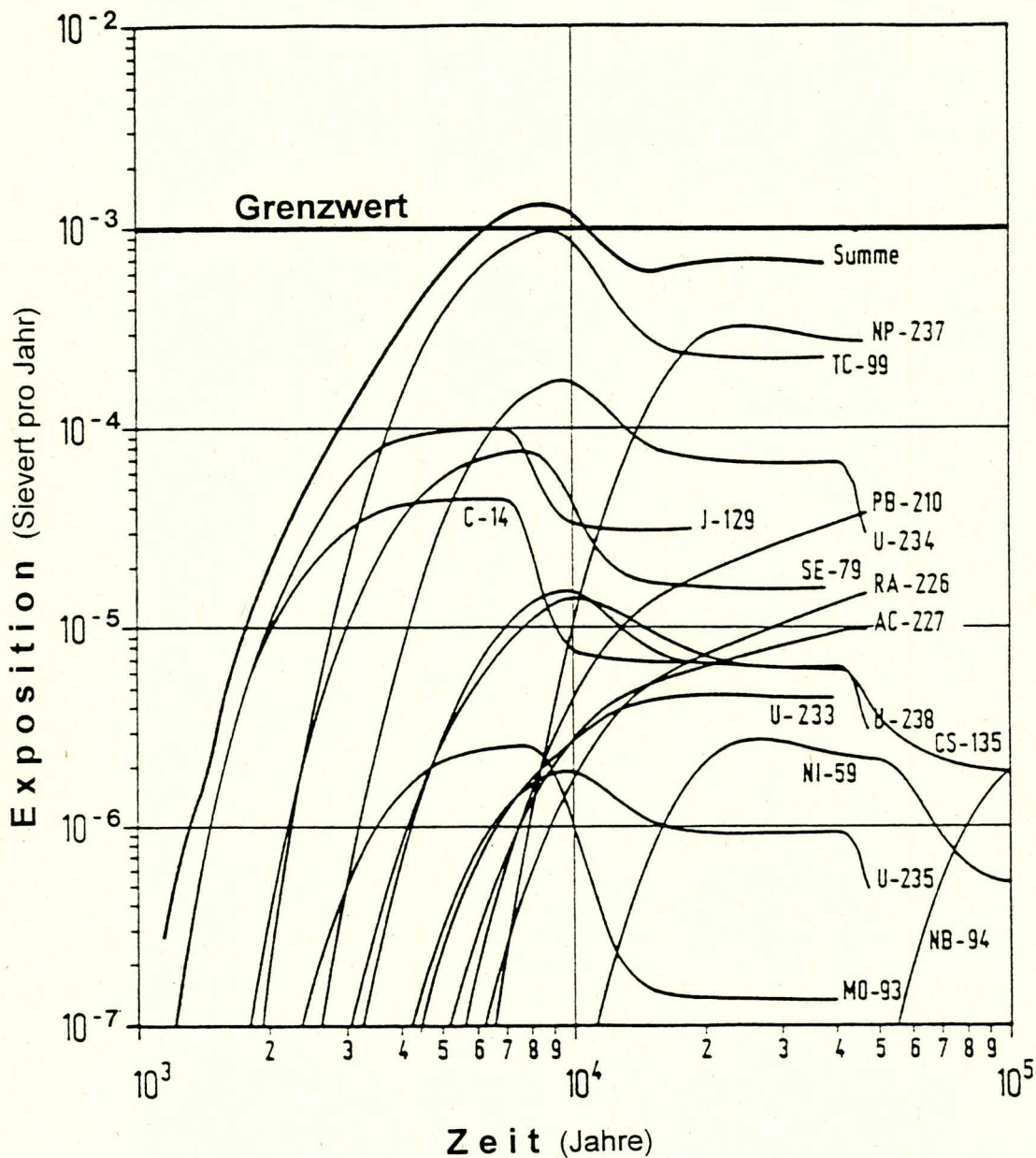


Abb. H-9: Ergebnis der Sicherheitsanalyse: Potentielle Strahlenexposition durch Einzelnuclide und maßgebliche Gesamtstrahlenexposition (Summe) in Abhängigkeit von der Zeit (aus PSE 1985, verändert)

Wegen Überschreitung des Grenzwertes ist die Langzeitsicherheit in diesem Beispiel nicht nachgewiesen.

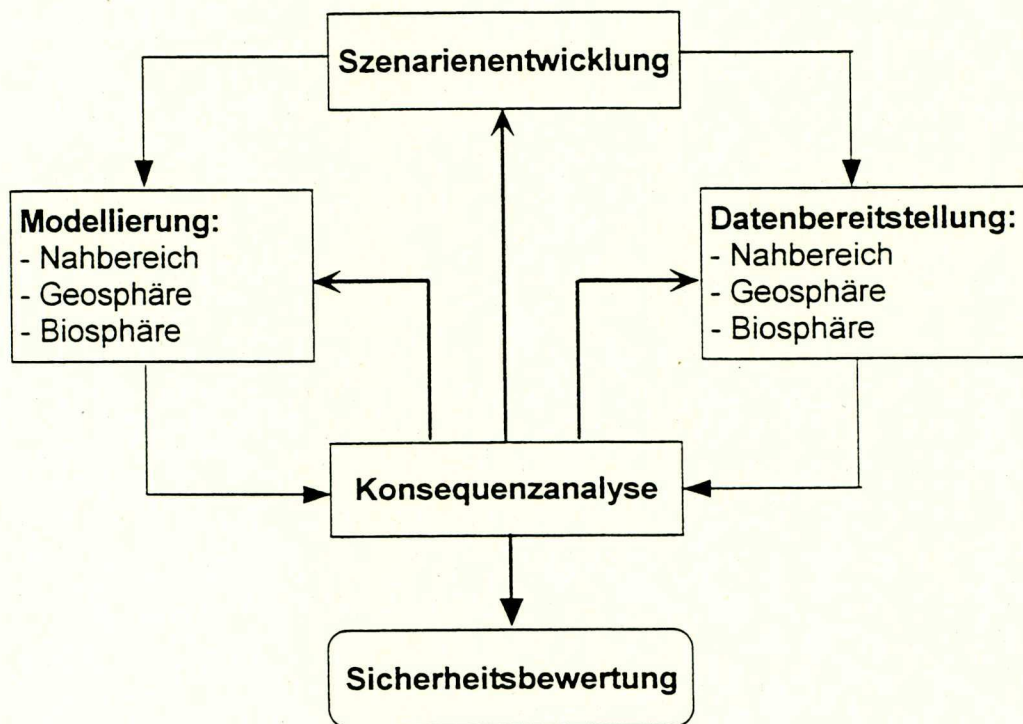


Abb. H-10: Ablaufdiagramm eines Sicherheitsnachweises für ein Endlager  
(Quelle: STORCK 1992)

### H-5.4.2.2 Die Aussagekraft der mit der Sicherheitsanalyse ermittelten Ergebnisse

#### Das Grundproblem: Genaue Bestimmung der Bewertungsgröße potentieller Individualdosis

Das grundlegende Problem der Sicherheitsanalyse besteht darin, daß mit den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung ein zahlenmäßig exakter Beurteilungsmaßstab vorliegt (0,3 mSv/a effektive Dosis als Summe der gewichteten Organdosis sowie exakte Grenzwerte einzelner Organdosen), an dem die mit Hilfe der Sicherheitsanalyse zu ermittelnde Beurteilungsgröße (errechneter Wert der potentiellen Dosisbelastung) gemessen werden muß. Dies erfordert zwingend die Ermittlung **belastbarer** (d.h. aussagekräftiger) Werte der Beurteilungsgröße. Die zukünftig zu erwartende potentielle Individualdosis muß also sehr genau bestimmt werden, wenn die Bewertung dieser Beurteilungsgröße mit dem vorgegebenen Beurteilungsmaßstab überhaupt einen Sinn haben soll.

Aus dieser Anforderung läßt sich die entscheidende Frage zum Grundproblem der Sicherheitsanalyse direkt ableiten: Besitzen die mit der Sicherheitsanalyse berechneten zukünftigen potentiellen Individualdosen überhaupt die notwendige Aussagekraft?

Dieses Grundproblem ist seit Beginn der Methodenentwicklung im Rahmen von PSE bekannt. Es soll dadurch gelöst werden, daß bei fehlender Kenntnis über Zusammenhänge oder mangelhafter Datenlage **konservativ** vorgegangen wird, d.h. Annahmen getroffen werden, die tendenziell zu einer Überschätzung der potentiellen Individualdosen führen sollen. Damit soll gewährleistet werden, daß im Zweifelsfall immer eine höhere als die tatsächlich auftretende Strahlenexposition errechnet wird.

Ausgehend von dem skizzierten Grundproblem ist also zu untersuchen, welche methodenimmanente Sachverhalte die Aussagekraft der bei der Sicherheitsanalyse errechneten potentiellen Individualdosen im Sinne einer abnehmenden Aussagekraft beeinflussen können. Zu dieser Frage sind in den vergangenen Jahren bereits etliche Arbeiten vorgelegt worden (z.B. KREUSCH & HIRSCH 1984, APPEL & KREUSCH 1984, ALBRECHT et al. 1989, GRUPPE ÖKOLOGIE 1991b, APPEL 1992, STORCK 1992, KONIKOW & BREDEHOEFT 1992, ORESKES et al. 1994, WERNICKE & ORRES 1997), so daß die wichtigsten Gesichtspunkte im folgenden zusammengefaßt dargestellt werden können. Es werden diejenigen Sachverhalte behandelt, die vor allem dazu führen, daß die Ergebnisse von Sicherheitsanalysen keine ausreichend genauen Werte sind (wobei hier nur auf die Aspekte des Radionuklidtransportes bis in das oberflächennahe Grundwasser eingegangen wird, d.h. Teilschritte 1. bis 3. wie in Kap. H-5.4.2 beschrieben; für die Durchführung von Teilschritt 4. existiert eine Verwaltungsvorschrift). Das sind:

- a) Szenarienentwicklung bzw. Störfall- oder Ereignisauswahl (abdeckender Störfall) fehlerhaft;
- b) Datenlage unvollständig sowie unzureichende Kenntnisse über die hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnisse im weiteren Standortbereich;
- c) Unzureichende Umsetzung der realen (hydro)geologischen Verhältnisse in Modelle; Modellunsicherheiten;

d) Probleme bei der Verifizierung und Validierung der Rechenprogramme.

Hinzu können Fehler treten, die durch die numerische Verfahren und Rundungsfehler bei der Berechnung selbst entstehen. Diese Fehler können nach STORCK (1992) vernachlässigbar klein gehalten werden, wenn die verwendeten Rechenprogramme eine fehlerfreie Repräsentation der zu lösenden mathematischen Gleichungen darstellen und ein entsprechender (hoher) Rechenaufwand betrieben wird. Hierauf wird nicht weiter eingegangen.

### **Zu (a): Probleme bei der Szenarienentwicklung**

Ein wesentliches Problem bei der Entwicklung und Auswahl von Szenarien bzw. Ereignisabläufen resultiert aus den langen Zeiträumen, für die die mögliche Entwicklung des Endlagersystems (Wirtsgestein, Endlagerbergwerk einschließlich technischer Barrieren, Deck- und Nebengebirge des Wirtsgesteins) betrachtet werden muß. Die möglichen zukünftigen Änderungen der hydrogeologischen und klimatischen Verhältnisse weisen eine sehr große Spannweite auf, die berücksichtigt werden muß. Hinzu tritt die Möglichkeit zukünftiger menschlicher Eingriffe ins Endlager ("human intrusion").

In der Praxis wird versucht, aus der sehr großen Anzahl denkbarer Entwicklungsmöglichkeiten eine überschaubare Anzahl von Szenarien zu bilden, mit denen insgesamt die Entwicklungsmöglichkeiten des Endlagersystems abgedeckt werden. Zu diesem Zweck werden in einem ersten Arbeitsschritt meist relativ grobe Konzeptmodelle angefertigt, für die die resultierenden Konsequenzen ermittelt werden. Szenarien mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Dadurch wird die große Anzahl denkbarer Szenarien auf das wesentliche oder die wesentlichen Szenarium/Szenarien reduziert.

Das grundsätzliche Problem bei der Entwicklung und Auswahl von Szenarien besteht darin, daß nicht mit Sicherheit zu klären ist, ob alle relevanten oder möglichen Ereignisabläufe (und Ereigniskombinationen) tatsächlich erkannt und in ihrem Ablauf richtig beschrieben werden. Deshalb ist nicht auszuschließen, daß zukünftig ein Ereignisablauf oder eine Kombination von Ereignissen eintreten, die nicht betrachtet worden sind und die möglicherweise zu einer höheren Strahlenbelastung führen, als es durch die betrachteten Szenarien/Ereignisabläufe der Fall ist.

Dieses Problem ist nicht zu lösen durch die Ermittlung der Konsequenzen verschiedener Szenarien, denn für diese Konsequenzenanalyse ist normalerweise schon die Modellierung der Radionuklidenausbreitung notwendig, da nur so erste Aussagen zur zukünftig zu erwartenden Strahlenexposition getroffen werden können. Gerade aber die Modellierung selbst ist jedoch schon mit immanenten Fehlerquellen behaftet (s. Pkte. b u. c), so daß die Auswahl der relevanten Szenarien durch eine Konsequenzenanalyse nicht in jedem Fall zur Auswahl des Szenarios mit der höchsten Strahlenexposition führt.

Die Auswahl von Szenarien nach ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit ist ebenfalls nicht unproblematisch, da für viele endlagerrelevante Ereignisse und Prozesse (insbesondere geologischer Art) keine belastbaren Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben werden können. Des weiteren ist unklar, ab welcher Eintrittswahrscheinlichkeit ein Prozeß oder

Ereignis ausgeschlossen werden darf (dies führt dann zur Festlegung eines - bekannt kontrovers diskutierten - "Restrisikos").

Den Unsicherheiten bei der Szenarienentwicklung soll durch die Bereitstellung einer ausreichend großen Anzahl von Szenarien Rechnung getragen werden. Diesem Vorgehen ist prinzipiell zuzustimmen, dennoch muß bewußt bleiben, daß auch eine große Zahl betrachteter Szenarien die grundsätzliche Unsicherheit, die mit der Entwicklung von Szenarien verbunden ist, nicht vollständig beseitigt werden kann. Es gibt keinerlei Gewähr dafür, daß durch die identifizierten und benutzten Szenarien tatsächlich auch die zukünftigen Ereignisabläufe berücksichtigt werden, die zur höchsten Dosisbelastung führen. Diese Fehlerquelle ist deshalb besonders kritisch, weil von den ausgewählten Szenarien bzw. Ereignisabläufen die ermittelten Dosisbelastungen in starkem Maße vorbestimmt werden.

### **Zu (b): Unvollständige Datenlage**

Die Modellierung der (hydro-)geologischen Situation im Endlagerbereich und die Modellierung sämtlicher mit Mobilisierung und Transport der Radionuklide verbundenen Vorgänge erfordern eine Vielzahl standortspezifischer Daten (z.B. Daten zu Gebirgsdurchlässigkeiten, Porosität, Dispersion, Sorption, Mächtigkeit und Lagebeziehungen der verschiedenen Gesteinseinheiten). Diese Daten werden zum Aufbau des Modells benötigt sowie vor allem als Eingangsdaten für die Rechnungen.

Es besteht Klarheit darüber, daß ein vollständiger, d.h. repräsentativer und in jeder Beziehung belastbarer Datensatz nicht erhältlich ist, es sei denn um den Preis einer starken Zerstörung (Perforierung) der geologischen Barriere durch Bohrungen u.ä.. Hinsichtlich der benötigten Daten liegt also ein weiteres Problemfeld vor, das im einzelnen beispielsweise beruht auf

- der räumlichen (und ggf. zeitlichen) Variabilität von Materialeigenschaften und hydro- bzw. geochemischen Kenngrößen,
- methodischen Problemen bei der Datenerhebung,
- Unsicherheit bei der Übertragung von Laborwerten auf die in-situ Situation (z.B. bei Sorptionswerten),
- Zufallseigenschaften von betrachteten Effekten,
- langen zu betrachtenden Zeiträumen mit der Möglichkeit der Veränderung von Einflußgrößen.

Hinzu kommt, daß der Gewinnung von Daten finanzielle und zeitliche Grenzen gesetzt sind.

Die Datenunsicherheit wird bei den bisher in der Bundesrepublik durchgeführten Sicherheitsanalysen mit dem Ansatz der "**konservativen Vorgehensweise**" begegnet. Dies bedeutet, daß überall dort, wo Daten unvollständig oder unsicher sind, Annahmen für diese Daten getroffen werden, die in der Tendenz zu höheren Strahlenexpositionen führen (Überschätzungen), als sie in der zukünftigen Realität zu erwarten sind.

Entscheidend bei dieser konservativen Vorgehensweise ist, daß die angenommene Konservativität auch tatsächlich gegeben und nachweisbar ist, und zwar nicht nur für den angenommenen Parameter, sondern auch für das mit diesem angenommenen Parameter

berechnete Gesamtergebnis. Der tatsächliche Nachweis der Konservativität ist jedoch nur sehr begrenzt möglich (z.B. im Falle der Nichtberücksichtigung der Sorption bei der Radionuklidenausbreitung) und auf der Grundlage qualitativer Überlegungen allein nicht in jedem Fall zu führen.

Jedoch ist auch bei Vernachlässigung einzelner Effekte im Sinne einer konservativen Annahme nicht immer mit einem konservativen Gesamtergebnis zu rechnen. STORCK (1992) gibt dazu zwei Beispiele: In einem Beispiel wird gezeigt, daß je nach betrachtetem Radionuklid eine kleine Konvergenzrate von weniger als 0,1% (für U-235) oder aber eine große Konvergenzrate von 1% (für Cs-135) jeweils den ungünstigsten Fall darstellen, also konservativ sind. Da jedoch die Bedeutung von Radionukliden auch von anderen Parametern (z.B. Löslichkeitsgrenzen) bestimmt wird, ist in diesem Fall die Festlegung einer konservativen Konvergenzrate einfach nicht möglich.

Insgesamt muß nach heutigem Kenntnisstand festgestellt werden, daß der konservative Ansatz bei der Sicherheitsanalyse nicht zweifelsfrei zu dem gewünschten Erfolg, nämlich zu einer auf der "sicheren Seite" liegenden, aber dennoch nicht völlig unrealistischen "überkonservativen" errechneten Strahlenexposition führt. Der Nachweis der Konservativität der Ergebnisse einer Sicherheitsanalyse ist nicht zu führen, da eine Bewertung aller zu berücksichtigenden Effekte und verwendeten Daten praktisch nicht machbar ist (NIES 1989, STORCK 1992). Hinzu tritt die Abhängigkeit einer konservativen Gesamtaussage von der Validierung der eingesetzten Rechenmodelle (s. Pkt. d). An dieser Problemlage ändert auch die Möglichkeit nichts, daß für einzelne Effekte u.U. Konservativität tatsächlich nachgewiesen werden kann.

Das grundsätzliche Problem der unvollständigen Datengrundlage ist somit mit dem konservativen Ansatz, wie er auch in den RSK-Kriterien (RSK 1983) gefordert wird, nicht zu lösen. Es sei denn, höchstens um den Preis einer vollständig an der Realität vorbeigehenden Berechnung der Strahlenexposition auf der Grundlage eines "überkonservativen" Vorgehens (d.h. der Vernachlässigung aller Aspekte, die zur Radionuklidrückhaltung beitragen und für die keine vollständige und belastbare Datenbasis vorliegt). Dies wiederum entspräche nicht der Zielsetzung, die von der mit der Sicherheitsanalyse errechneten Strahlenexposition erwartet wird, nämlich ihrer Bewertung an den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung (s. Kapitel H-5.4.2.1).

### **Zu (c): Modellaufbau, Modellunsicherheiten**

Die Übertragung der realen geologischen Verhältnisse, v.a. bei der Modellierung der Grundwasserbewegung, in ein Modell erfolgt dergestalt, daß das System von Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern bzw. Grundwassernichtleitern sowie Unstetigkeiten (z.B. Störungen) der Geosphäre im Modell zumindestens prinzipiell nachgebildet werden. Darüber hinaus müssen Randbedingungen festgelegt werden (Abgrenzung des Modellgebietes, Austausch von Masse und/oder Energie über Modellgrenzen hinweg u.ä.) sowie eine angemessene Zerlegung (Diskretisierung) des Modellgebietes in einzelne Elemente (Blöcke).

Die Festlegung des Modellgebietes muß so geschehen, daß die aus dem jeweils benutzten Rechenprogramm resultierenden Anforderungen erfüllt werden (so z.B. kein Wasseraustausch über Modellgrenzen hinweg). Berücksichtigt werden muß auch, daß bei

Finite-Differenzen-Programmen (z.B. SWIFT) nur eingeschränkte Möglichkeiten der Modellierung komplizierter Geometrien gegeben sind. Bei Finite-Elemente-Programme (z.B. FEM 301) können kompliziertere Strukturen (z.B. Störungen) besser nachgebildet werden, da kein streng orthogonales Blockraster bei der Diskretisierung gefordert wird. Allein die Art der gewählten Diskretisierung kann starken Einfluß auf das Ergebnis der Rechnungen haben (BGR 1995).

Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß der Verfeinerung des Modellaufbaus durch immer stärkere Diskretisierung, durch die eine weitere Annäherung an die realen Strukturverhältnisse möglich ist, auf praktische Grenzen stößt (i.w. Rechnerkapazität, Rechenzeit). Dies bedeutet, daß der Modellaufbau allein wegen der Begrenzung bei der Diskretisierung in einem im einzelnen nicht bekannten Maße von den tatsächlichen Verhältnissen abweicht, wobei nicht genau bekannt ist, wie sich diese Abweichung auf das Ergebnis der Berechnungen auswirkt.

Auch beim Modellaufbau kann bei ungenügender Kenntnis der tatsächlichen geologischen Verhältnisse konservativ vorgegangen werden, indem z.B. von wasserwegsamem Verbindungen ausgegangen wird, wenn unklar ist, ob hydraulisch wirksame Verbindungen bestehen. Jedoch kann auch hier im Einzelfall nicht der Nachweis geführt werden, ob die getroffenen Annahmen zum Modellaufbau tatsächlich zu einem konservativen Gesamtergebnis beitragen. Letztendlich spielen auch beim Modellaufbau Daten- bzw. Kenntnislücken eine nicht zu vernachlässigende Rolle (s. dazu Pkt. b).

Generell besteht die Modellierung des zukünftigen Verhaltens eines Endlagersystems aus einer Vielzahl von Einzelmodellen, die zu einem Gesamtmodell integriert werden. Bei der Integration der Einzelmodelle zu einem Gesamtmodell (oder Programmpaket) tauchen die Fehler der Einzelmodelle im Gesamtmodell auf, ohne daß ihre Auswirkungen auf das Gesamtergebnis klar erkennbar sind.

Insgesamt bleibt festzustellen, daß bei der Sicherheitsanalyse immer mit Modellunsicherheiten gerechnet werden muß, und zwar in Abhängigkeit vom benutzten Programm, von der Diskretisierung, von den gewählten Randbedingungen sowie von Kenntnislücken und fehlendem Prozeßverständnis. Darauf weisen beispielhaft Ergebnisse hin, die STORCK (1992) erläutert: Werden unterschiedliche Modelle mit jeweils einem gleichen Datensatz gefüttert, dann resultieren daraus unterschiedliche Ergebnisse, die nur als Modellunsicherheiten gedeutet werden können. Nach STORCK (1992) muß eine Vorgehensweise zur Berücksichtigung solcher Modellunsicherheiten jedoch erst noch erarbeitet werden; eine abschließende Aussage sei dazu noch nicht möglich. Entsprechende Arbeiten (z.B. im Rahmen des EU-Vorhabens EVEREST) haben noch nicht zu den gewünschten Erfolgen geführt, sondern es tauchen mit der Lösung bestimmter Fragen immer neue Problemkreise auf, deren Lösung dann gleichfalls notwendig ist (z.B. GRS 1997). Modellunsicherheiten und Modellaufbau (Abbildung der realen geologischen Verhältnisse im Modell) stellen somit eine weitere Quelle für Ungenauigkeiten im Ergebnis der Sicherheitsanalyse dar.

### Zu (d): Verifizierung und Validierung

Zur Überprüfung der Fähigkeit eines gegebenen Rechenprogrammes (Modelles), ob es die realen Verhältnisse korrekt beschreibt, gehören zwei Verfahrensschritte: Verifizierung und Validierung des Modells.

Die **Verifizierung** eines Programmes besteht darin, zu prüfen, ob die den Transportgleichungen zugrundeliegenden physikalischen Modelle in ihrer mathematischen Umsetzung stimmen. Diese Verifizierung kann durch (analytische) Vergleichsrechnungen oder durch den Vergleich mit den Ergebnissen anderer Modelle (Programme) geschehen. Sie dient letztendlich zur Prüfung, ob das Programm (Modell) in sich konsistent ist und eine korrekte mathematische Umsetzung enthält. Es ist dies ein notwendiger, aber kein hinreichender Schritt in Richtung auf eine aussagekräftige Modellierung.

**Validierung** ist die Bestätigung von Modellannahmen durch Naturbefunde, mit denen die Richtigkeit des zugrundeliegenden Modells nachgewiesen wird. Die Validierung besteht in der Überprüfung, ob das Rechenprogramm die zu modellierenden natürlichen Vorgänge (z.B. Grundwasserbewegung, Radionuklidtransport) richtig abbildet. Dies kann mit Hilfe der Ergebnisse unabhängiger Experimente und Naturbeobachtungen überprüft werden, wobei dann eine weitgehende Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis der Modellierung und den Naturbeobachtungen vorliegen muß. Voraussetzung im Sinne von "Unabhängigkeit" ist dazu, daß die Experimente oder Feldversuche nicht dazu benutzt worden sind, das Modell (Programm) zu entwickeln (IAEA 1992). Unabhängig von der Lösungsmethode für die mathematischen Gleichungen und der Komplexität des Modells kann die Aussagekraft eines Modelles letztendlich nur durch einen solchen Vergleich der Ergebnisse der Modellrechnungen mit unabhängigen Messungen in der Natur bestimmt werden (STAHL 1992). Bei Vorgängen, die sehr lange dauern (z.B. Grundwassertransport von Radionukliden in der Geosphäre), können erhebliche Probleme beim Versuch der Validierung auftreten. Gewöhnlich ist eine quantitative Validierung wegen der langen Zeiträume nur für spezielle Teilmodelle möglich (IAEA 1992).

Die Validierung eines Programmes ist zwingend erforderlich, wenn von den Modellrechnungen nachweisbar belastbare Ergebnisse erwartet werden sollen. Modelle, die nicht validiert sind, besitzen nur eine sehr begrenzte Aussagefähigkeit, insbesondere auch hinsichtlich der Konservativität des errechneten Gesamtergebnisses (GRS 1987). Die Forderung nach Validierung gilt nicht nur gegenüber den Ergebnissen von Modellrechnungen, sondern für alle Modellannahmen, die in Entscheidungsprozesse einfließen.

Im Rahmen internationaler Forschungsarbeiten (INTRACOIN 1981-1986, HYDROCOIN 1984-1987, INTRAVAL 1987-1994) wurde bzw. wird versucht, die Probleme der Verifizierung und Validierung von Rechenprogrammen zu lösen. Im Rahmen von INTRACOIN wurden vor allem Fragen der Programmverifizierung, der Modellvalidierung und der Unsicherheitsanalyse bei Radionuklidtransportmodellen bearbeitet. Der Schwerpunkt von HYDROCOIN lag bei Arbeiten zur Verifizierung und Validierung von Rechenprogrammen bzw. Modellen, mit denen die Grundwasserbewegung beschrieben wird, sowie auf ersten Rechnungen mit variabler Wasserdichte. Mit dem Forschungsprogramm INTRAVAL wurde die Validierung von Programmen versucht, die bei der Modellierung des Transports von Radionukliden in der Geosphäre eingesetzt werden (s. zu den Programmen auch Kap. H-5.5). Dabei wurden Laborexperimente, Felduntersuchungen und natürliche Analogien zum Vergleich mit den

Modellergebnissen herangezogen. In einer ersten Arbeitsphase (INTRAVAL 1) wurden insgesamt 17 Testfälle bearbeitet (v.a. Laborexperimente). In der zweiten Arbeitsphase (INTRAVAL 2, Laufzeit 1990-1994) wurden die Aufgabenstellungen auf der Grundlage von Felduntersuchungen und natürlichen Analogien vertieft untersucht.

Die Ergebnisse der genannten internationalen Forschungsprogramme, insbesondere auch die Ergebnisse von INTRAVAL, haben insgesamt das Verständnis wichtiger Prozesse verbessert, die der Grundwasserströmung und dem Radionuklidtransport zugrunde liegen. Aus den vertieften Erkenntnissen ergeben sich jedoch eine Vielzahl weiterer neuer Fragen in Zusammenhang mit der Modellierung und der Validierung. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse von INTRAVAL aber auch, daß den Bemühungen hinsichtlich der Validierung noch kein durchschlagender Erfolg beschieden ist (BGR 1995, GRS 1995).

Ob eine Validierung insbesondere komplexer Modelle in absehbarer Zeit überhaupt möglich ist, muß bezweifelt werden. Zumindestens deuten die bisherigen Ergebnisse des Projektes INTRAVAL darauf hin, daß der Problembereich Validierung auch in Zukunft noch viele zu lösende Fragen bereithält (OECD 1990, GSF 1996).

Es bestehen sogar Zweifel daran, ob die Validierung von Programmen zur Modellierung der Stoffausbreitung in Aquiferen überhaupt möglich sein wird (van der HEIJDE 1990, ANDERSON & WOESSNER 1992). Andere Autoren sind der Meinung, daß eine Validierung aus grundsätzlichen Erwägungen heraus nicht möglich ist (ORESQUES 1994, KONIKOW & BREDEHOEFT 1992). Vor dem Hintergrund der bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle zu betrachtenden langen Zeiträume stellen sich diese Zweifel in aller Schärfe. Die Validierung eines komplexen Gesamtmodells für ein Endlager ist nach GSF (1990b) wegen der Großräumigkeit des Modellgebietes und der langen Prognosezeiträume nicht möglich. Machbar erscheint lediglich die Qualitätssicherung eines solchen Modells durch die Integration verifizierter und validierter Einzelmodelle zu einem Gesamtmodell (GSF 1990b).

Bei der Validierung von Modellannahmen oder der Ergebnisse von Modellrechnungen bestehen also erhebliche Schwierigkeiten. Im Hinblick auf den Radionuklidtransport aus dem Endlager in die Biosphäre lassen sich die Ursachen dafür wie folgt zusammenfassen:

- Der Radionuklidtransport aus dem Endlager in die Biosphäre dauert sehr lange. Daher ist es fraglich, ob zum Zeitpunkt der Bewertung für die Validierung erhobene Daten überhaupt für den gesamten Nachweiszeitraum Bestand haben.
- Der Nachweis der Langzeitsicherheit ist mit Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Transportbedingungen für Radionuklide verbunden. Die Ergebnisse solcher Prognosen können aber grundsätzlich nicht durch Naturbefunde abgesichert werden.
- Das beim Eignungsnachweis zu betrachtende Modellgebiet ist in der Regel sehr groß. Daher bestehen bei der Erhebung von Daten für die Validierung von Modellannahmen im Hinblick auf die Repräsentativität der Daten ähnliche Probleme wie bei der Beschaffung von Daten für die Modelle selbst.

Festzustellen bleibt auch, daß die bisher in Deutschland von Seiten des BfS bzw. seiner Gutachter (i.w. BGR und GRS) an konkreten Endlagerstandorten verwendeten Programme

(z.B. SWIFT, FEM 301) zur Modellierung der Grundwasserbewegung und der Radionuklid-ausbreitung an den Standorten Konrad und Gorleben **nicht** validiert sind. Damit ist eine grundlegende Voraussetzung für belastbare Ergebnisse der Modellierung nicht erfüllt. Auch der Ansatz der "konservativen Vorgehensweise" wird hierdurch unterlaufen, da die Konservativität der errechneten Gesamtergebnisse der jeweiligen Modellierungen ebenfalls nicht nachgewiesen werden kann.

### H-5.4.3 Bewertung der Methode Sicherheitsanalyse

Bei der Bewertung der Sicherheitsanalyse als Methode zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern muß auf die Anforderungen an solche Nachweisverfahren zurückgegriffen werden. Dabei sind neben speziellen Anforderungen an die Methode Sicherheitsanalyse auch die allgemeinen Anforderungen an ein Nachweisverfahren (s. Kap. H-5.2) zu berücksichtigen, da nur so der Gesamtkomplex "Nachweis der Langzeitsicherheit" umfassend gewürdigt werden kann. Zu prüfen ist also, inwieweit die Anforderungen an ein Nachweisverfahren (s. dazu Kap. H-5.2) von der Methode Sicherheitsanalyse, wie sie heute in der Bundesrepublik Deutschland gehandhabt wird, erfüllt werden.

Zu berücksichtigen sind folgende **generellen Anforderungen**:

- a) Nachvollziehbarkeit: Verfahrenstransparenz und klare Verfahrensstruktur, (schrittweises Vorgehen, Öffentlichkeitsbeteiligung),
- b) Ausgereiftes Nachweisverfahren,
- c) Eindeutige Regelungen zum Umgang mit Untersuchungsbefunden,
- d) In sich schlüssiges Verfahren zu Standortauswahl und Eignungsnachweis,
- e) Berücksichtigung aller Schutzgüter.

Die **speziellen Anforderungen** an die Methode Sicherheitsanalyse sind:

- f) Angemessener Umgang mit bewertungsrelevanten Informationslücken,
- g) Schlüssiges Bewertungssystem: Beurteilungsgröße - Beurteilungsmaßstab,
- h) Anforderungen an Datenqualität und Datendichte: methodisch bedingter Informationsbedarf,
- i) Aussagekraft des Endergebnisses der Sicherheitsanalyse und Umgang mit dem Ergebnis im Rahmen des Eignungsnachweises.

Auf der Grundlage dieser Anforderungen ergibt sich folgende Bewertung des heutigen Nachweisverfahrens:

#### **Anforderung (a): Nachvollziehbarkeit**

Die bisherige Vorgehensweise zum Nachweis der Langzeitsicherheit ist weder transparent noch nachvollziehbar. Die Verfahrensstruktur ist unklar, und ein sachlich begründetes und nachvollziehbares schrittweises Vorgehen ist kaum zu erkennen.

Die fehlende Transparenz ist ein methodenimmanentes Merkmal der Sicherheitsanalyse und nicht zuletzt bedingt durch die mit der Methode verbundenen weitgehenden Abstraktion von allen realen Befunden. Bei alleinigem Einsatz der Sicherheitsanalyse für den Nachweis der Langzeitsicherheit kann deshalb keine Verfahrenstransparenz erreicht werden. Dies zeigen die bisherigen Diskussionen an den Standorten Konrad und Gorleben.

Ein schrittweises Vorgehen ist nur insoweit zu erkennen, als im Verlauf der Standorterkundung immer neue (vorläufige) Sicherheitsanalysen durchgeführt werden (s. Beispiel Gorleben), die nicht definierte "Eignungshöflichkeit" bestehen bleibt und dabei auf die Notwendigkeit einer erst nach Ende der untertägigen Erkundung vorzunehmenden abschließenden Sicherheitsanalyse hingewiesen wird. Es sind keine Verfahrensregeln vorhanden, die bei entsprechenden Untersuchungsbefunden einen Abbruch des Verfahrens an einem Standort mit sich bringen können.

### **Anforderung (b): Ausgereiftes Nachweisverfahren**

Die (deterministische) Sicherheitsanalyse ist von der RSK (1983) als einzige Methode zum Führen des Eignungsnachweises festgeschrieben worden. Zu diesem Zeitpunkt war die im Rahmen von PSE stattfindende Methodenentwicklung noch gar nicht abgeschlossen. Die im Abschlußbericht von PSE (1985) formulierten Probleme, v.a. in Zusammenhang mit dem Nachweis von Konservativität, konnten daher in den RSK-Kriterien nicht berücksichtigt werden.

Noch heute sind die Probleme beim Nachweis der Konservativität des Gesamtergebnisses einer deterministischen Sicherheitsanalyse ungelöst. Sie zeigen, daß die Methode Sicherheitsanalyse noch nicht ausgereift ist. Gleiches gilt für die noch in weiterer Entwicklung befindlichen probabilistischen Ansätze bei der Sicherheitsanalyse, die laufenden Arbeiten zur Validierung der Rechenprogramme (s. Kap. H-5.4.2.2) sowie sonstige weiterführende Möglichkeiten (s. dazu GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO 1994). Die in den RSK-Kriterien (RSK 1983) formulierten Ermessensspielräume und der dortige Hinweis auf den jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik unter besonderer Berücksichtigung des Einzelfalles können auch zu einer Verringerung der Anforderungen an die geologische Barriere führen. Dies kann beispielhaft für den Standort Morsleben gezeigt werden (APPEL & KREUSCH 1993, vgl. auch Kap. H-5.6.4).

### **Anforderung (c): Umgang mit Untersuchungsbefunden**

Eindeutige Regelungen zum Umgang mit Untersuchungsbefunden existieren nicht. Wie in Kap. H-5.4.2 bereits dargestellt, fordert die Sicherheitsanalyse als Nachweisverfahren lediglich die Quantifizierung aller Systemparameter und Systemzusammenhänge. Eine Bewertung von Untersuchungsbefunden im Verlauf des Verfahrens erübrigt sich daher bei alleinigem Nachweis der Langzeitsicherheit mit der Sicherheitsanalyse. Hieraus resultiert eine Entkoppelung der Eignungsaussage von den realen Untersuchungsbefunden. Folglich muß beim jetzigen Nachweisverfahren konsequent bis einschließlich der Errichtung des Endlagerbergwerkes untersucht werden.

**Anforderung (d): Schlüssiges Verfahren zu Standortauswahl und Eignungsnachweis**

Die bisherige Vorgehensweise bei der **Standortauswahl** bzw. Standortbestimmungen zeigen, daß ein in sich schlüssiges und stufenweises Vorgehen zur Identifizierung potentiell geeigneter Endlagerstandorte nicht existiert und damit auch in der Bundesrepublik bisher nicht zur Anwendung gekommen ist (s. Kap. H-5.6). Auch die RSK-Kriterien (RSK 1983) stellen keine schlüssige Handlungsanweisung für die Standortauswahl zur Verfügung (s. Kap. H-5.2.1).

Mit Blick auf den **Nachweis der Langzeitsicherheit** ist festzustellen, daß die Sicherheitsanalyse als Methode zum Teil in sich schlüssig ist, soweit es ihr Bewertungssystem betrifft (Verifizierung und Validierung vorausgesetzt, s. dazu Kap. H-5.4.2.2), in Zusammenhang jedoch mit ihren methodenimmanenten Merkmalen (s. Kap. H-5.4.2), die nicht zuletzt Ursache für die fehlende Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Verfahrens sind, von einem insgesamt schlüssigen und problemangemessenen Nachweisverfahren derzeit keine Rede sein kann.

**Anforderung (e): Berücksichtigung aller Schutzgüter**

Beim Nachweis der Langzeitsicherheit wird allein das Schutzgut Mensch betrachtet. Andere - ebenfalls in Gesetzen als schützenswert bezeichnete Schutzgüter - werden nicht berücksichtigt (z.B. Oberflächen- und Grundwasser gemäß WHG), obwohl zumindestens für abiotische Schutzgüter wissenschaftlich abgeleitete Bewertungssysteme bereits zur Verfügung stehen. Gleichfalls nicht betrachtet werden die potentiellen Auswirkungen anderer als radioaktiver Abfälle, die zusammen mit radioaktiven Abfällen endgelagert werden.

**Anforderung (f): Umgang mit bewertungsrelevanten Informationslücken**

Bei der deterministischen Sicherheitsanalyse werden bewertungsrelevante Informationslücken (Datenlücken) durch konservative Annahmen geschlossen (s. Kap. H-5.4.2.1). Der Nachweis, daß das damit beabsichtigte Ziel, mit der errechneten individuellen Strahlendosis in jedem Fall "auf der sicheren Seite" zu liegen, erreicht wird, kann nicht in jedem Fall geführt werden. Das alleinige Ersetzen von Informationslücken durch konservative Annahmen stellt deshalb keinen angemessenen Umgang mit fehlenden Informationen dar.

Darüber hinaus existiert keine Regelung, mit der die Bewertungsrelevanz von Informationslücken überhaupt festgestellt werden kann. So orientieren sich beispielsweise beim Nachweisverfahren zu Schacht Konrad die Untersuchungsprogramme nicht am Informationsbedarf, den die dort bei der Modellierung eingesetzten Rechenprogramme erfordern, sondern an den Nachforderungen der Gutachter der Genehmigungsbehörde.

**Anforderung (g): Schlüssiges Bewertungssystem**

Die beim Nachweis der Langzeitsicherheit eingesetzten Beurteilungsmaßstäbe und Beurteilungsgrößen müssen in schlüssigem Bezug zum jeweiligen Schutzziel stehen sowie

inhaltlich und formal zueinander passen. Der gesamte erforderliche Isolationszeitraum muß abgedeckt sein (s. auch Kap. H-5.2.2).

Wie in APPEL (1992) und GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO (1994) gezeigt wird, stehen bei der bisher in der Bundesrepublik Deutschland üblichen Sicherheitsanalyse Bewertungsmaßstab und Bewertungsgröße für Zeiträume bis  $10^4$  Jahre in schlüssigem Bezug zueinander und auch zum Schutzziel. Für Zeiträume zwischen  $10^4$  bis  $10^6$  Jahre stehen Beurteilungsmaßstab und Beurteilungsgröße zwar formal in schlüssigem Bezug zueinander, eine sachbezogene inhaltliche Beziehung besteht jedoch nicht. Für Zeiträume größer  $10^6$  Jahre ist kein Bewertungssystem vorhanden. Die Forderung nach einem schlüssigen, auf den gesamten erforderlichen Isolationszeitraum anwendbaren Bewertungsverfahrens ist somit nur teilweise erfüllt.

### **Anforderung (h): Datenqualität und Datendichte**

Bei der Sicherheitsanalyse sind die Standortverhältnisse möglichst realitätsnah zu modellieren. Dazu sind räumlich und zeitlich repräsentative und belastbare Daten zu allen für den Radionuklidtransport wichtigen Einflußgrößen und Prozessen notwendig. Eine entsprechender Anforderungskatalog existiert in der Bundesrepublik Deutschland nicht, obwohl gerade die Sicherheitsanalyse einen erheblichen Datenbedarf erfordert. Allerdings gibt die Sicherheitsanalyse durch die jeweils verwendeten Programme vor, welche Informationen benötigt werden. Somit sind die Eingangsparameter qualitativ bekannt. Problematisch ist jedoch, welche Datendichte (Repräsentativität) und Datenqualität (Belastbarkeit) mindestens benötigt werden, um ein möglichst aussagekräftiges Ergebnis der Sicherheitsanalyse zu gewährleisten. Hier zeigen die bisherigen Erfahrungen - v.a. im Verfahren Konrad - , daß der Antragsteller BfS nicht gewillt ist, Anforderungen an Datenqualität und Datendichte zu formulieren und diese Daten dann in angemessenem Umfang und Weise zu erheben. So werden die Belastbarkeit und Repräsentativität der bei der Sicherheitsanalyse benutzten Daten am Standort Konrad in Zweifel gezogen (GRUPPE ÖKOLOGIE 1991, GRONEMEYER 1991). Die Problematik der Eingangsdaten kann nur durch probabilistische Rechnungen verringert werden (s. Kap. H-5.4.4), die aber für komplexe Barriersysteme und große Modellgebiete noch nicht Stand von Wissenschaft und Technik sind.

### **Anforderung (i): Aussagekraft der Ergebnisse der Sicherheitsanalyse**

Wie in Kap. H-5.4.2.2 dargestellt wird, weicht das Ergebnis der Sicherheitsanalyse in einem im einzelnen unbekanntem Maße von den tatsächlichen zukünftigen Werten der Strahlenbelastung ab. Der tatsächliche Wert wird höchstens zufällig getroffen. Hierbei muß nochmals betont werden, daß der zu berücksichtigende Bewertungsmaßstab (Grenzwerte § 45 StrlSchV) eine belastbare (aussagekräftige) Bewertungsgröße als Ergebnis der Sicherheitsanalyse erfordert, denn nur dann hat die Bewertung mit diesem Bewertungssystem einen Sinn. Genau diese notwendige Voraussetzung ist jedoch durch die geringe Aussagekraft der Sicherheitsanalyse nicht erfüllt. Hinzu kommt, daß sich die Ergebnisse der Sicherheitsanalyse einer Überprüfung entziehen. Der Schätzwertcharakter der Ergebnisse der Sicherheitsanalyse müßte zu einer Minderung ihrer Bedeutung bei der Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagerstandorten führen. Das ist bei den Verfahren Konrad und Gorleben bisher nicht der Fall.

## Gesamtbewertung

Die Überprüfung des Verfahrens zum Nachweis der Langzeitsicherheit anhand der Anforderungen, die an ein solches Verfahren zu stellen sind, führt zu einem eindeutigen Ergebnis: Von den neun berücksichtigten Anforderungen a) bis i) (s.o.) wird lediglich Anforderung g (Schlüssiges Bewertungssystem) für Zeiträume <10.000 Jahre erfüllt. Alle anderen Anforderungen, und zwar generelle Anforderungen an ein Nachweisverfahren als auch spezielle Anforderungen in Zusammenhang mit der Methode Sicherheitsanalyse, werden eindeutig nicht erfüllt. Hieraus müssen zwei Schlüsse gezogen werden:

1. Die generelle Vorgehensweise beim Nachweis der Langzeitsicherheit in der Bundesrepublik widerspricht grundlegenden Anforderungen, die an ein solches Nachweisverfahren zu stellen sind. Insofern wird auch verständlich, daß bis heute weder ein gesellschaftlicher noch ein fachlicher Konsens zu diesem Aspekt hergestellt werden konnte oder aber in Sicht ist. Eine Ursache hierfür ist allerdings auch die völlig unzulängliche Vorgehensweise bei der Auswahl von Endlagerstandorten.
2. Die Sicherheitsanalyse ist als alleiniges Verfahren zum Nachweis der Langzeitsicherheit nicht geeignet, da sie die für die Bewertung der Langzeitsicherheit notwendigen aussagekräftigen und nachvollziehbaren Ergebnisse nicht liefern kann (s. Kap. H-5.4.2.2). An dieser grundsätzlichen Bewertung ändern auch die neueren Modifizierungen und Entwicklungen bei der Anwendung der Sicherheitsanalyse nichts (zeitliche Begrenzung, probabilistische Ansätze, nuklidspezifische Bewertung der geologischen Barriere), da die grundlegenden Mängel nicht behoben werden und auch durch zusätzlich eingeführte Bewertungssysteme nicht kompensiert werden können.

Die Aussagekraft der Ergebnisse der Sicherheitsanalyse (potentielle Individualdosen, raumzeitliche Ausbreitung von Radionukliden mit dem Grundwasser) ist - gemessen an den Anforderungen, die an die Genauigkeit der Ergebnisse gestellt werden (s. Kap. H-5.4.2.2) - zu gering. Die mit Sicherheitsanalysen ermittelten Ergebnisse entsprechen höchstens zufällig den zukünftig real zu erwartenden Verhältnissen. Die Abweichung der Ergebnisse von der Realität ist - auch im Sinne einer Überschätzung der tatsächlichen Strahlenexposition - nicht bekannt. Die Gründe hierfür liegen zusammengefaßt in

- grundsätzlichen Problemen bei der Entwicklung und Auswahl relevanter Szenarien oder Ereignisabläufen,
- grundsätzlichen Problemen hinsichtlich der Verfügbarkeit repräsentativer und belastbarer Daten,
- schwerwiegenden Problemen bei der Abbildung der realen (hydro-)geologischen Gegebenheiten im Modell sowie in Modellunsicherheiten,
- der fehlenden Validierung der eingesetzten Programme,
- in numerischen Fehlern,
- in Problemen beim Nachweis der Gesamtkonservativität errechneter Ergebnisse.

Wegen der fehlenden Aussagekraft der Ergebnisse der Sicherheitsanalyse erfüllen diese nicht die grundsätzliche Anforderung, die im Rahmen der vorgeschriebenen Nachweis-

führung bei Anlegung des Bewertungsmaßstabs Grenzwerte des § 45 StrlSchV an sie gestellt werden. Da auch die Konservativität des Gesamtergebnisses der Sicherheitsanalyse nicht nachgewiesen werden kann, ist der belastbare Langzeit-Sicherheitsnachweis für Endlager allein auf der Grundlage der Sicherheitsanalyse nicht zu führen. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß auch der durch § 45 StrlSchV vorgegebene Bewertungsmaßstab sich zukünftig ändern kann. Dies hat natürlich erheblichen Einfluß auf die Bewertung der Langzeitsicherheit eines gegebenen Standortes.

Im übrigen ist festzustellen, daß die RSK-Kriterien (RSK 1983) mit ihrer Festschreibung der konservativen Vorgehensweise bei der (deterministischen) Sicherheitsanalyse den zumindestens in den letzten Jahren erarbeiteten Kenntnisstand und auch dem heutigen Problemverständnis in keiner Weise mehr gerecht werden. In den RSK-Kriterien wird eine Vorgehensweise für den Nachweis der Langzeitsicherheit vorgeschrieben, die allein aus den in Kap. H-5.4.2.2 genannten Gründen den gesicherten Nachweis nicht erbringen kann.

Erkennbar ist jedenfalls, daß in jüngerer Zeit auch bei den offiziellen "Endlagergremien" (v.a. BfS, GRS) gewisse Zweifel am Wert der Sicherheitsanalyse als alleiniger Methode zum Führen des Langzeitsicherheitsnachweises aufgekommen sind. So wird die Vielzahl der Unsicherheiten bei der Modellierung inzwischen beispielsweise von GRS (1997) gesehen, und es wird die Verwendung von sogenannten Sicherheitsindikatoren als gleichrangig zu Modellrechnungen empfohlen (s. dazu Kap. H-5.2.2: "Bewertungssysteme", "Zeitraumen", "Validierung"). Darüber hinaus wird der Schutz der Umwelt als ergänzendes Schutzgut zum bisher allein betrachteten Schutzgut Mensch empfohlen (GRS 1997). Zusätzlich sollte die Langzeitsicherheitsanalyse nach Meinung der GRS (1997) durch Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen (s. Kap. H-5.4.3) ergänzt werden. BfS wiederum stellt fest, daß die Möglichkeiten der Validierung zunehmend skeptisch beurteilt werden, weshalb "Vertrauensbildung" (gemeint ist Vertrauensbildung hinsichtlich der Ergebnisse der Sicherheitsanalyse) in den Vordergrund treten sollte und nicht die Validierung selbst (BfS 1995). Zu dieser Vertrauensbildung können die Erkenntnisse über natürliche Analogien (s. dazu Kap. H-5.2.2: "Validierung") herangezogen werden.

#### **H-5.4.4 Entwicklungsmöglichkeiten der Sicherheitsanalyse**

Die seit einigen Jahren auch im internationalen Rahmen erkennbaren Entwicklungstendenzen bei der Langzeitsicherheitsanalyse konzentrieren sich auf folgende Aspekte:

- Probabilistische Ansätze bei der Modellierung,
- Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen,
- Grundwassermodellierung mit Berücksichtigung salinitätsbedingter Dichteeffekte,
- Vertrauensbildung (i.w. natürliche Analoga).

Auf die drei erstgenannten Aspekte soll im folgenden nur ganz kurz eingegangen werden, da sie für die in Kap. H-5.4.2.2 und H-5.4.3 dargestellten grundsätzlichen Problemen keine umfassende Lösung ermöglichen, sondern bestenfalls Teillösungen für bestimmte Problemfelder (zu natürlichen Analoga s. Kap. H-5.2.2: "Validierung").

## Probabilistische Ansätze bei der Modellierung

Im Gegensatz zur deterministischen Sicherheitsanalyse, bei der den für die Modellierung notwendigen Eingangsdaten konstante Werte zugeordnet werden und deren Ergebnis in die Berechnung der Strahlendosen in der Zeit ist, werden bei probabilistischen Rechnungen Verteilungen von Parameterwerten (Eingangswerten) benutzt, aus denen mittels Zufallsmethoden oder quasi-Zufallsprinzipien Sätze von Eingangsdaten ausgewählt werden, die dann in die Rechnungen einfließen. Die Eingangsdaten werden als Zufallsvariablen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung behandelt, die angibt, welcher Wert der entsprechenden Parameter mit welcher Wahrscheinlichkeit annimmt. Notwendig ist eine Vielzahl von Rechenläufen (einige hundert bis einige tausend), damit alle denkbaren realistischen Parameterkombinationen angemessen berücksichtigt werden können. Die einzelnen Rechenläufe selbst stellen deterministische Auswertungen der jeweiligen Dateneingangssätze dar. Ergebnis probabilistischer Rechnungen sind Verteilungsfunktionen (Dichtefunktionen) von Strahlendosen oder Dosisraten, die mit Hilfe statistischer Methoden ausgewertet werden können. Probabilistische Sicherheitsanalysen führen damit zu einer anderen Ergebnisdarstellung als deterministische Sicherheitsanalysen. Die in den notwendigen vielen Rechenläufen ermittelten Strahlenexpositionen können z.B. in Form verschiedener Arten von Häufigkeitsverteilungen dargestellt werden.

Mit dieser Vorgehensweise kann zumindestens der Problembereich der Eingangsdaten (v.a. begrenzte Verfügbarkeit standortspezifischer Daten, Nichteindeutigkeit konservativer Annahmen, generell Unsicherheit bei den Eingangsdaten) ansatzweise gelöst werden, da sich eine Festlegung auf bestimmte (z.B. angenommene "best estimate"-Werte) Werte bei den Eingangsdaten für die Modellierung weitgehend erübrigt. Allerdings kann bei probabilistischen Ansätzen der unerwünschte Effekt der "Risikoverdünnung in der Zeit" auftauchen (ROBINSON & DECKERT 1997).

## Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen

Generelles Ziel der probabilistischen Rechnungen ist es, die aus den Eingangsdaten resultierende Unsicherheit bei der Langzeitsicherheitsanalyse zu verstehen und zu quantifizieren. Zu diesem Zweck werden sogenannte Unsicherheitsanalysen und Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

### Unsicherheitsanalyse:

Eine Methode zur Ermittlung der Bandbreiten berechneter radiologischer Konsequenzen durch die Unsicherheiten in den Eingangsparametern (sogenannte Unsicherheitsanalyse) besteht im Einsatz von Monte-Carlo-Verfahren. Dabei werden wichtige Eingangsparameter, deren Werte beträchtlich schwanken, als Zufallsvariable behandelt. Notwendig ist die Definition von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen, die die vorhandenen Informationen über die möglichen Parameterwerte wiedergeben. Für jede Stichprobe von Eingangsdaten wird die Rechnung deterministisch durchgeführt und ausgewertet. Somit wird für jeden Eingangsdatensatz als Ergebnis die Berechnung des Zeitverlaufs der Summendosis möglich. Man erhält schließlich eine Stichprobe von maximalen Summendosen, wobei der Umfang der Stichprobe der Anzahl der durchgeführten Simulationen entspricht. Man erhält auch für gewählte Zeitpunkte oder Zeitintervalle Verteilungen der radiologischen Konsequenzen. Die entsprechenden Ergebnisse werden dann statistisch ausgewertet (Mittelwert,

Standardabweichung, Vertrauensintervall u.ä.), wodurch auf die Unsicherheiten bei den Eingangsdaten zurückgeschlossen werden kann.

Mit Hilfe probabilistischer Sicherheitsanalysen kann sowohl eine Unsicherheitsanalyse der maximalen Strahlendosis vorgenommen werden (Ergebnis: Häufigkeitsverteilung der maximalen Dosisbelastung; dabei keine Berücksichtigung des Zeitpunktes des Auftretens der Dosisbelastung), oder aber eine Unsicherheitsanalyse der zeitabhängigen Ergebnisse (d.h. Analyse der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Zeit).

Letztendlich wird die Variabilität der Eingangsdaten quantifiziert und analysiert. Um zu statistisch abgesicherten Ergebnissen zu kommen, sind dazu viele Rechenläufe (bis mehrere tausend) notwendig, die zu einem sehr hohen Rechen- und damit Zeit- und Kostenaufwand führen.

#### Sensitivitätsanalysen:

Neben Unsicherheitsanalysen können mit probabilistischen Ansätzen auch Sensitivitätsanalysen vorgenommen werden. Dabei muß zwischen globalen und lokalen Sensitivitätsanalysen unterschieden werden. Die **globale Sensitivitätsanalyse** baut auf der Unsicherheitsanalyse auf. Dabei werden - im Gegensatz zur lokalen Sensitivitätsanalyse (s.u.) - alle Eingangsparameter, die als Zufallsvariable betrachtet werden, gleichzeitig variiert. Ziel der globalen Sensitivitätsanalyse ist die Identifizierung der Eingangsparameter, die den größten Einfluß auf das Gesamtergebnis der Modellierung haben. Weiterhin kann das Ausmaß, mit dem die verschiedenen Variationen von Eingangsdaten sich auf das Ergebnis der Modellierung auswirken, quantifiziert werden. Eine globale Sensitivitätsanalyse muß zwei Voraussetzungen erfüllen (EG 1988): So muß der gesamte Bereich der Variabilität der Eingangsdaten abgedeckt werden, und die Sensitivität eines bestimmten Parameters muß unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Variabilitätsbereiche aller anderen Parameter getestet werden.

Bei der **lokalen Sensitivitätsanalyse** (oder Parametervariation) wird jeweils nur ein einziger Eingangswert variiert, während alle übrigen Eingangswerte konstant bleiben. Ergebnis solcher lokaler Sensitivitätsanalysen ist die Identifizierung der Abhängigkeit der Ergebnisse der Modellierung von dem variierten Eingangsparameter. Lokale Sensitivitätsanalysen gehören streng genommen nicht zu den probabilistischen Methoden, sondern werden im Rahmen deterministischer Sicherheitsanalysen (z.B. PSE 1985) vorgenommen, um zu einem besseren Systemverständnis zu kommen.

#### **Grundwassermodellierung mit Berücksichtigung salinitätsbedingter Dichteeffekte**

Die in der Bundesrepublik Deutschland angestrebte möglichst realitätsnahe Modellierung der Grundwasserbewegung und des Radionuklidtransportes bei der Langzeitsicherheitsanalyse erfordert die Berücksichtigung salinitätsbedingter Dichteeffekte. Dies gilt insbesondere für die Endlagerstandorte im norddeutschen Raum, bei denen die Grundwässer in Tiefen ab mehreren zehner Metern zunehmend versalzen sind. Bisher sind salinitätsbedingte Dichteunterschiede des Grundwassers bei der Modellierung der Strömungsverhältnisse in Modellgebieten - auch bei genehmigungsrelevanten Grundwassermodellierungen (Konrad) - nicht berücksichtigt worden. Wesentliche Gründe hierfür sind

numerische Probleme mit den vorhandenen Rechenprogrammen und Beschränkungen in der Rechnerkapazität.

Die Vernachlässigung salinitätsbedingter Dichteeffekte führt nach gegenwärtigem Kenntnisstand einerseits zu größeren Grundwasserströmungsgeschwindigkeiten (d.h. geringeren Transportzeiten für Radionuklide), andererseits kann diese Vernachlässigung hinsichtlich der errechneten Dosisbelastungen zu nichtkonservativen Ergebnissen führen (STORCK 1992). Dies bedeutet, daß die angestrebte möglichst realitätsnahe Modellierung von Grundwasserströmung und Radionuklidtransport bei Vernachlässigung der Dichteeffekte nicht erreicht werden kann und gleichzeitig die Konservativität der Modellierungsergebnisse (bezogen auf die errechnete Dosisbelastung) ungeachtet längerer Transportzeiten bei Annahme von Salinität nicht nachweisbar gegeben ist.

In einem Statusreport über Grundwasserprogramme mit variabler Dichte (GSF 1991a) wird zusammenfassend festgestellt, daß mit den bisher vorliegenden Rechenprogrammen wegen des enormen Bedarfs an Rechenzeit und Speicherkapazität faktisch keine Grundwassermodellierung mit Berücksichtigung der Salinität für große dreidimensionale und komplexe geologische Gebiete durchgeführt werden kann. Gelöst werden kann dieses Problem nur durch ein extrem schnelles Grundwasserprogramm. In GSF (1991a) werden die Anforderungen und Empfehlungen hinsichtlich der notwendigen Entwicklung schneller Programme mit Berücksichtigung der Dichteabhängigkeit zusammenfassend dargestellt. Diese Anforderungen und Empfehlungen konnten bis heute trotz erheblicher Anstrengungen nicht zufriedenstellend umgesetzt werden. So werden die entsprechenden Forderungen auch in BGR (1995) noch weiter erhoben.

Es muß also noch ein erheblicher Aufwand betrieben werden, um allein ein entsprechendes Rechenprogramm zu entwickeln, mit dem dann **ein** Aspekt der angestrebten realitätsnahen Modellierung, nämlich die Berücksichtigung salinitätsbedingter Dichteeffekte, berücksichtigt werden kann. Hier ist eine Tendenz zu erkennen, die bereits im Rahmenplan für notwendige FE-Arbeiten zur Endlagersicherheit in der Nachbetriebsphase (GSF 1990a) sichtbar wurde und sich bis heute fortsetzt (z.B. in BGR 1995, GSF 1996, GRS 1997): Ein verbesserter Kenntnisstand (z.B. gegenüber 1985, dem Abschlußjahr von PSE) hinsichtlich aller Fragen, die mit der Modellierung von Grundwasserströmung und Radionuklidtransport zusammenhängen (nicht nur in der Geosphäre, sondern auch im Nahbereich des Endlagers) führt zum Erkennen einer Vielzahl neuer Problemfelder bzw. offener Fragen, für die wiederum Lösungen gefunden werden müssen. Vor diesem Hintergrund und in Anbetracht der in Kap. H-5.4.2.2 formulierten grundsätzlichen Probleme muß bezweifelt werden, ob das gesetzte Ziel der möglichst realitätsnahen und in die weite Zukunft hinein gerichteten Modellierung komplexer Barriereysteme in absehbarer Zeit überhaupt erreicht werden kann. Bereits diese Zweifel rechtfertigen die Entwicklung und Diskussion anderer Ansätze zur Beurteilung der Langzeitsicherheit von Endlagern.

### **Bewertung der Entwicklungsmöglichkeiten der Sicherheitsanalyse**

Insgesamt zeigen die bisherigen Erfahrungen bei den Anwendung probabilistischer Sicherheitsanalysen (einschließlich Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen), z.B. im Rahmen der Systemanalyse Mischkonzept (GSF 1991b), Verfahren Schacht Konrad (GRS 1987) oder bei internationalen Forschungsaktivitäten im Rahmen der Projekte PAGIS und PACOMA (EG 1988, EG 1991), daß mit Unsicherheiten bei den Eingangsdaten besser umgegangen werden

kann und die Problematik des Nachweises der Konservativität einzelner Annahmen entschärft bzw. ausgeklammert werden kann. Des weiteren wird ein besseres Verständnis des komplexen "Systems Endlager" ermöglicht.

Die Vorgehensweise bei PAGIS, PACOMA und der Systemanalyse Mischkonzept besteht sowohl aus deterministischen Berechnungen mit "best-estimate"-Daten als auch aus probabilistischen Berechnungen mit Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen. Nach STORCK (1992) hat sich diese Vorgehensweise zur Langzeitbewertung von Endlagern weitgehend etabliert, obwohl die zugrunde liegenden Studien und Untersuchungen dem Gesichtspunkt der Unsicherheit noch nicht vollständig gerecht werden. In jedem Fall erlauben probabilistische Ansätze zweifellos eine deutliche Verringerung der Probleme, die mit den Eingangsdaten zusammenhängen (NIES 1989). Dies ist mit rein deterministischen Sicherheitsanalysen auch bei Berücksichtigung konservativer Annahmen nicht möglich (NIES 1989)

Eine gezielte Fortsetzung dieser Arbeiten wurde durch das EU-Projekt EVEREST (1991 - 1995) ermöglicht, bei dem der Schwerpunkt gleichfalls in der Behandlung der Unsicherheiten lag (ORRES et al. 1997). Einschränkend ist jedoch festzuhalten, daß auch fortgeschrittene probabilistische Ansätze andere mit der Modellierung zusammenhängende grundsätzliche Probleme nicht lösen. Dazu gehören die Modellunsicherheiten, die Probleme bei der Szenarientwicklung sowie die mit der Validierung zusammenhängenden Probleme (s. Kap. H-5.4.2.2).

Auch die beabsichtigte Entwicklung eines schnellen Programmes zur Berücksichtigung salinitätsbedingter Dichteeffekte führt nur zu einer sehr eingeschränkten Lösung: Im Sinne der beabsichtigten wirklichkeitsnahen Modellierung ist dann zwar die Berücksichtigung von Dichteeffekten möglich, alle anderen mit der Modellierung verbundenen Probleme bleiben immer noch bestehen.

**Insgesamt bleibt festzustellen:** Auch durch weitere Entwicklungen und Projekte können die grundsätzlichen und methodenimmanenten Fehlerquellen der Sicherheitsanalyse (s. Kap. H-5.4.2.2.) nicht beseitigt werden. Das zugrundeliegende Problem resultiert letztlich aus der Aufgabe, die radioaktiven Abfälle für sehr lange Zeiträume von der Biosphäre zu isolieren. Der entsprechende Nachweis kann auf wissenschaftlich-technischem Wege nicht sicher geführt werden, denn er würde verlässliche Aussagen über die ferne Zukunft erfordern - ein bekanntermaßen unmögliches Unterfangen. Die Endlagerung radioaktiver Abfälle stellt also Anforderungen, die auch durch Weiterentwicklung der Sicherheitsanalyse nicht - oder höchstens zufällig - erfüllt werden können.

#### **H-5.4.5 Konsequenzen der unzureichenden Aussagekraft der Sicherheitsanalyse**

Wie in den vorhergegangenen Kapiteln gezeigt wird, ist die Methode Sicherheitsanalyse nicht geeignet, den Nachweis der Langzeitsicherheit bei Endlagern zu führen. Die für die Bewertung erforderliche Größe "zukünftige Individualdosis" kann mittels Modellierung des

Radionuklidtransports nicht mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden, um an dem in § 45 StrlSchV exakt festgelegten Bewertungsmaßstab (0,3 mSv) gemessen zu werden.

Da aber auch bei einem Ausstieg aus der Atomenergie die Notwendigkeit der Endlagerung besteht, muß die Langzeitsicherheit eines Endlagers bestimmt werden. Da gleichzeitig ein exakter naturwissenschaftlich-technischer Nachweis der Langzeitsicherheit wegen der generell unzureichenden Prognosefähigkeit nicht erbracht werden kann, muß hilfsweise ein Nachweisverfahren eingesetzt werden, das von der Fachwelt, der interessierten Öffentlichkeit und den Verfahrensbeteiligten akzeptiert werden kann.

In einem solchen Verfahren hat auch die Sicherheitsanalyse ihren Platz, da sie beispielsweise ein besseres Verständnis ablaufender Prozesse sowie die Unterscheidung wichtiger von weniger wichtigen Einflußgrößen ermöglicht. Zu einem solchen Nachweisverfahren gehören weiterhin Erkenntnisse aus natürlichen Analogien, geo- und hydrochemische Gesichtspunkte sowie ein insgesamt methodisch angemessener Verfahrensablauf (Hinweise dazu gibt GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO 1994). Allerdings genügt es nicht - wie von BFS (1995) vorgeschlagen - die notwendige (aber kaum lösbare) Validierung allein durch vertrauensbildende Maßnahmen bezüglich der Ergebnisse von Sicherheitsanalysen zu ersetzen.

Notwendig ist deshalb die Neufassung oder zumindest grundlegende Überarbeitung der von der RSK (1983) formulierten Kriterien zur Endlagerung, damit der inzwischen erreichte Kenntnisstand berücksichtigt wird. Dabei muß insbesondere die Bedeutung der Sicherheitsanalyse im Nachweisverfahren neu festgelegt werden. Diese Arbeit sollte nicht von der RSK in ihrer heutigen personellen Zusammensetzung geleistet werden. In jedem Fall muß ein erweitertes wissenschaftliches Meinungsspektrum an der Neufassung/Überarbeitung beteiligt werden. Diese Arbeit ist auch grundlegende Voraussetzung zu Bewertung eventuell neuer Endlagerstandorte und zur möglicherweise erforderlichen Neubewertung der Standorte Gorleben und Konrad (s. dazu Kap. 3.5.5.5).

## **H-5.5 Internationale Zusammenarbeit im Bereich der Endlagerung**

Im Bereich der Entsorgung, speziell der Endlagerung, sind internationale Kooperationen mit deutscher Beteiligung bei Forschung und Entwicklung seit vielen Jahren an der Tagesordnung. Im folgenden werden beispielhaft einige internationale Projekte bzw. Programme mit deutscher Beteiligung im Bereich der Endlagerung kurz dargestellt.

### Felslabore:

Seit 1983 werden im Felslabor Grimsel in der Schweiz die Eigenschaften kristalliner Gesteine (Granit) als Wirtsgestein für radioaktive Abfälle untersucht. Von deutscher Seite arbeiten BGR und GSF mit der NAGRA (Schweizer Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) zusammen. Unter anderen wurden in-situ Versuche zu Felsmechanik und Felshydraulik durchgeführt. Die dabei gewonnen Erkenntnisse werden als „wertvoll“ betrachtet, falls in Deutschland Granit Bedeutung als Endlagerformation erhalten sollte (GSF 1996).

Darüber hinaus besteht weitere Zusammenarbeit mit anderen europäischen Felslabors (Stripa-Mine in Schweden, Äspö-Felslabor in Schweden, URF-Untertagelabor im Tongestein in Belgien). Neben den europäischen Partnern sind u.a. auch die USA, Kanada und Japan an entsprechenden Arbeiten beteiligt. Im Gegenzug sind europäische (auch deutsche) Institutionen in diesen außereuropäischen Ländern direkt oder indirekt in Forschungsarbeiten dortiger Untertagelabors involviert.

#### Programm INTRAVAL:

Das von der OECD/NEA unterstützte INTRAVAL-Projekt (International Transport Code Validation Study) beschäftigte sich mit dem Einsatz und der Validierung mathematischer Modelle zur Berechnung des Transports radioaktiver Stoffe in der Geosphäre (s. dazu auch Kap. H-5.4.2.2). Das Projekt lief von 1987 bis 1993. Dabei bearbeiteten 45 Projektteams aus verschiedenen Ländern diverse Testfälle. In Deutschland wurde anhand der Standortverhältnisse in Gorleben von BGR und GRS Untersuchungen zur Validierung von gekoppelten Grundwasserströmungs- und Salztransportmodellen durchgeführt. Vorläuferprogramme von INTRAVAL waren INTRACOIN (1981 - 1986) und HYDROCOIN (1984 - 1987), bei denen es auch um die Modellierung von Grundwasserverhältnissen bzw. des Radionuklidtransports ging.

#### Programm EVEREST:

Hierbei handelt es sich um ein zwischen 1991 und 1995 durchgeführtes EU-Vorhaben (EVEREST: Evaluation of Elements Responsible for the Dose Equivalent Associated with the Final Storage of Radionuclide Waste). Dabei wurden verschiedene Aspekte des methodischen Vorgehens bei der Szenarienkonstruktion und -auswahl sowie der Behandlung von Modell- und Parameterunsicherheiten untersucht (s. dazu auch Kap. H-5.4.2.2). Auf deutscher Seite war die GRS beteiligt.

#### Projekt PAGIS:

Dieses EU-Projekt lief von 1982 bis 1988. (PAGIS: Performance Assessment of Geological Isolation Systems). Dabei wurden Abschätzungen zur Langzeitsicherheit für verschiedene Wirtsgesteine (Ton, Salz, Granit) durchgeführt. Von deutscher Seite war die GSF mit der Langzeitsicherheitsanalyse für Salz beteiligt.

### **Fazit**

Bereits der kurze Überblick über einige internationale Projekte im Bereich der Endlagerforschung zeigt die vielfältige Beteiligung deutscher Institutionen (v.a. BGR, GSF, GRS) an entsprechenden Vorhaben. Insbesondere auf europäischer Ebene bestehen etliche Projektkooperationen zur Klärung von mit der Endlagerung zusammenhängenden Problemen (speziell auch der Langzeitsicherheit).

Festzuhalten ist insbesondere, daß deutsche Institutionen bereits seit vielen Jahren über die Mitarbeit an Felslabors auch an der Kristallinforschung beteiligt sind. Obwohl also in Deutschland selbst für die Endlagerung heißer Abfälle nach wie vor auf Salz als Endlagermedium gesetzt wird (Gorleben), stehen Kenntnisse und Erfahrungen auch über Kristallin (Granit) als Wirtsgestein zur Verfügung. Dieser Punkt erlangt dann erhebliche Bedeutung, falls es in Deutschland zu einer Abkehr vom Endlagermedium Salz und zu einer Hinwendung zu kristallinen Gesteinen kommen sollte bzw. wenn kristalline Gesteine ernsthaft als Alternative zu Salz in Betracht gezogen werden.

## H-5.6 Situation an den deutschen Endlagerstandorten

In den folgenden Kapiteln wird die Situation der vier deutschen Endlagerstandorte vorgestellt und bewertet. Wegen der Bedeutung der Endlagerung bei der Entsorgung und gerade auch in Zusammenhang mit einem Ausstieg aus der Atomenergie müssen die Standorte etwas detaillierter behandelt werden. In die Bewertung fließt neben konkreten Standortbefunden, die an den materiellen Grundanforderungen an Endlagerstandorte zu messen sind, auch das Vorgehen bei der Standortauswahl und beim Nachweis der Langzeitsicherheit ein. Letzteres wird an den in Kap. H-5.2 vorgestellten Anforderungen gemessen. Nicht eingegangen wird auf die juristischen Auseinandersetzungen an einzelnen Standorten.

### H-5.6.1 Standort Asse

#### Standortauswahl:

Beim Standort Asse handelt es sich um den ältesten Endlagerstandort in Deutschland. Die wesentlichen Eckdaten für diesen Standort sind:

- März 1964: Das Steinsalzbergwerk Asse II wird stillgelegt.
- 1964: Gestattungsvertrag zwischen der GSF und der Burbach Kaliwerke AG zum Zweck der Durchführung von Untersuchungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Die Bundesregierung beauftragt die GSF mit der Durchführung von Arbeiten auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle; seitdem bis heute F & E-Arbeiten für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.
- 1965: Die GSF erwirbt im Auftrag der Bundesregierung das Bergwerk Asse. Grundlage zum Erwerb des Bergwerks waren zwei Gutachten, die von der BfB (Bundesanstalt für Bodenforschung, heute BGR) und dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB) erstellt wurden.
- 1967-1978: Im Rahmen von Versuchsprogrammen werden ca. 124.000 Behälter LAW und ca. 1.300 Behälter MAW eingelagert ("Versuchseinlagerung").
- 31.12.1978: Die Genehmigung für die Einlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse wird unwirksam.

Die Wahl des Bergwerks Asse zur (Versuchs-)Endlagerung und zur Durchführung von F&E-Arbeiten muß vor dem Hintergrund gesehen werden, daß zu Beginn der sechziger Jahre in der Bundesrepublik erste ernsthafte Überlegungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle angestellt wurden. So wurde eine 1959 von der BfB ausgesprochene Empfehlung, radioaktive Abfälle in geeignete geologische Formationen in den tieferen Untergrund einzubringen, in das 2. Deutsche Atomprogramm (1963 - 1967) aufgenommen. In einem

Gutachten kommt MARTINI (1963) zum Ergebnis, daß Salz als das geeigneteste Einlagerungsmedium für radioaktive Abfälle angesehen werden muß.

Zwei weitere Gutachten (des BfB im Jahre 1963 und des NLFb im Jahre 1964) zur Eignung der Asse bildeten nach KÜHN (1980) eine wesentliche Grundlage für den Erwerb der Asse im Jahre 1965. Angemerkt sei noch, daß die Asse nach Angaben von ALBRECHT et al. (1969, S.39) Ende der sechziger Jahre auch für die Einlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle vorgesehen war.

Bei der Standortentscheidung für die Asse hat offensichtlich kein Vorauswahlverfahren stattgefunden. Geowissenschaftliche Kriterienkataloge konnten nicht zur Anwendung kommen, da sie zum damaligen Zeitpunkt in der Bundesrepublik noch nicht erarbeitet waren. Zwar kann sich der Erwerb der Asse auf die Gutachten der geowissenschaftlichen Fachbehörden BfB und NLFb stützen, die Festlegung des Standortes war jedoch - entsprechend der Situation am Standort Konrad, vgl. Kap. H-5.6.3 - direkt gekoppelt mit der Verfügbarkeit des unrentabel gewordenen und daher stillgelegten Salzbergwerkes.

#### Stand des Projektes:

Nach Ablauf der Einlagerungsgenehmigung am 31.12.1978 wurden in der Asse nur noch F&E-Arbeiten zur Endlagerung im Salz durchgeführt. 1992 wurden einige projektierte Großversuche (v.a. rückholbare Versuchseinlagerung hochaktiver Abfälle, Dammbau im Salzgebirge, MAW-Projekt), die vorher im Hinblick auf die geplante Endlagerung in Gorleben als notwendig angesehen wurden, aus finanziellen Gründen vom Bund gestoppt.

Seit August 1995 werden bestimmte Hohlräume des Grubengebäudes mit Rückständen einer Salzhalden verfüllt (Volumen ca. 2,5 Mio m<sup>3</sup>). Die Verfüllung soll zwölf Jahre dauern. Ihre Kosten belaufen sich auf 250 Mio DM, die aus dem Haushalt des BMBF zur Verfügung gestellt werden (GSF 1996a). Parallel dazu werden einige F&E-Arbeiten weitergeführt.

#### Bewertung des Standortes:

Bereits frühzeitig wurden die kritischen Punkte des Endlagers Asse identifiziert. Es sind dies vor allem die nicht nachgewiesene langfristige Standsicherheit des Grubengebäudes, das Vorkommen leicht löslicher Kalisalze im Kernbereich des Grubengebäudes (JÜRGENS 1979) sowie Lösungszutritte von zum Teil unbekannter Herkunft ins Grubengebäude (NLFb 1993). Von besonderer Bedeutung ist der Zusammenhang von bergwerksbedingter Gebirgsdeformation und der Möglichkeit der deformationsinduzierten Reaktivierung bzw. Neuschaffung von Lösungszutritten ins Grubengebäude (NLFb 1993). Dies kann im schlimmsten Fall zum Absaufen des Grubengebäudes führen.

Interessant ist, daß die bereits von JÜRGENS (1979) formulierten wesentlichen Kritikpunkte über viele Jahre hinweg von Bund und Betreiber (GSF) geleugnet wurden. Erst nachdem Anfang der neunziger Jahre die Probleme in dem Gutachten einer Landesbehörde detailliert dargestellt wurden (NLFb 1993), wurden Maßnahmen zur Stabilisierung des Grubengebäudes eingeleitet (Entschluß zur Verfüllung, allerdings ohne atomrechtliches Genehmigungsverfahren, sondern nur nach Bergrecht). Die Verfüllung des Grubengebäudes soll zu seiner langfristigen Stabilisierung führen und damit zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit unbeherrschter Lösungszuflüsse ins Endlager.

Insgesamt ist festzustellen, daß die Asse kein geeigneter Standort für die Endlagerung radioaktiver Abfälle ist. Es hat weder ein Standortauswahlverfahren stattgefunden noch wurden die bekannt kritischen Verhältnisse des Standorts rechtzeitig gewürdigt. Als Behelfsmaßnahme bleibt letztendlich nur die Stabilisierung des Grubengebäudes durch Verfüllung. Eine Auslagerung der radioaktiven Abfälle ist praktisch nicht möglich bzw. aus Strahlenschutzgründen nicht anzuraten (viele Abfälle sind verstürzt worden mit resultierender Behälterleckage).

### **H-5.6.2 Geplantes Endlager Gorleben**

Das in dem Salzstock Gorleben geplante Endlager nimmt bis heute eine zentrale Stellung in der deutschen Entsorgungspolitik ein (s. Kap. H-1). Das Endlager soll alle anfallenden Arten radioaktiver Abfälle aufnehmen, insbesondere aber die stark wärmeentwickelnden Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAW-Glaskokillen) bzw. abgebrannte Brennelemente im Falle der Direkten Endlagerung. Gorleben ist der einzige Endlagerstandort für stark wärmeentwickelnde ("hochaktive") Abfälle in Deutschland.

#### Standortauswahl:

Der Entscheidungsgang im Falle Gorleben kann nur vor dem Hintergrund des Mitte der siebziger Jahre vorgesehenen Baus des Nuklearen Entsorgungszentrums gesehen werden. Das Endlager stellte eine wesentliche Komponente des Entsorgungszentrums dar, wobei der Endlagerstandort den Standort des gesamten Entsorgungszentrums bestimmen sollte. Des weiteren muß bei der Betrachtung der Standortfindung Gorleben notwendigerweise auf Standorte eingegangen werden, die vor der Benennung von Gorleben als zu untersuchende Endlagerstandorte vorausgewählt worden waren. Im Zusammenhang mit der Benennung von Gorleben sind folgende Eckdaten von Bedeutung:

- Ende 1973: Die Suche nach einem geeigneten Endlagersalzstock beginnt. Die ebenfalls geplante Wiederaufarbeitungsanlage soll am Standort des Endlagers gebaut werden. Der Auftrag zur Standortauswahl wird von der Bundesregierung (BMFT) an die Firma Kernbrennstoff-Wiederaufbereitungs-Gesellschaft (KEWA) vergeben.
- 01.07.1975: Aufgrund der Ergebnisse der KEWA werden drei Standorte in Niedersachsen zur näheren (vergleichenden) Untersuchung als Standort für das Entsorgungszentrum vorgeschlagen: Salzstöcke von Lutterloh, Lichtenhorst und Wahn. Der Standort Gorleben gehörte nach Aussage von LÜTTIG, eines mit der Auswahl der Salzstöcke befaßten Geologen, "nicht in die günstigste Kategorie" (LÜTTIG et al. 1993: S. 21).
- 16.06.1976: Beginn der Tiefbohrung Lutterloh 1001 (am 20.07.1976 fertiggestellt).
- August 1976: Stopp der Untersuchungsarbeiten an den drei Standorten.

- Nov. 1976: Die Niedersächsische Landesregierung bittet die Bundesregierung, die Untersuchung an den drei Standorten auszusetzen, bis die Landesregierung von sich aus einen Standort benannt hat.
- Febr. 1977: Die Niedersächsische Landesregierung benennt den Salzstock Gorleben als einzigen Standort für das Endlager des Entsorgungszentrums.
- Juli 1977: Die Bundesregierung akzeptiert die Vorauswahl des Standortes Gorleben.
- 28.07.1977: Die PTB beantragt bei der Niedersächsischen Landesregierung (damals zuständig: Niedersächsisches Sozialministerium) die Einleitung des Planfeststellungsverfahrens für die Anlage des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle am Standort Gorleben.
- 30.11.1977: Entsorgungsbericht der Bundesregierung: Der Salzstock Gorleben ist zur Lagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle in jedem Fall geeignet.
- April 1979: Beginn der Standortuntersuchung (Deckgebirge des Salzstocks).
- Mai 1979: Regierungserklärung des Ministerpräsidenten Albrecht: Einlagerung hochaktiver Abfälle könnte möglich sein.
- 1985: Beginn des Schachtabteufens
- 1995: Beginn der untertägigen Erkundung des vorgesehenen Endlagerbereiches

Wie die Eckdaten zeigen, hat noch vor der Benennung von Gorleben in der Zeit zwischen 1973 - 1975 ein weiteres Auswahlverfahren stattgefunden. Ergebnis dieses Verfahrens war die Vorauswahl der Salzstöcke Lutterloh, Lichtenhorst und Wahn, die parallel auf ihre Eignung hin untersucht werden sollten, um danach die begründete Entscheidung für den relativ besten Standort treffen zu können. Über den genauen Ablauf der Entscheidungsfindung, die zu diesen drei Standorten und danach zum Standort Gorleben geführt hat, liegen uns keine detaillierten Informationen vor. Immerhin lassen sich die generellen Merkmale der Entscheidungsprozesse, die ab 1973 bis zur Benennung von Gorleben 1977 abgelaufen sind, identifizieren. Danach bleibt festzustellen (ausführlichere Darstellung in GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO 1994):

- Die Vorauswahl von drei Standorten im ersten Auswahlverfahren und die vorgesehene parallele Untersuchung aller drei Standorte sind aus geowissenschaftlicher Sicht grundsätzlich positiv zu bewerten. Die vergleichende Untersuchung und Bewertung ist ein wesentliches Merkmal fundierter geowissenschaftlicher Arbeitsweise (vgl. z.B. HERRMANN 1984, S.449). Nicht abschließend geklärt ist allerdings, auf Grund welcher geowissenschaftlichen Kriterien es zur Auswahl der drei Standorte gekommen ist. Geowissenschaftliche Gründe haben dabei wahrscheinlich nur eine geringe Rolle gespielt.
- Die tatsächlichen Gründe für den Abbruch der Untersuchungen und die Aufgabe der drei vorausgewählten Standorte im Jahr 1976 sind unklar. Wahrscheinlich lagen sie im Widerstand der Bevölkerung, der sich nach der Benennung erhob und nach Beginn der

Erkundungen noch verstärkte. Jedenfalls sind aus den verfügbaren Informationen keine Hinweise entnehmbar, die sachliche (speziell geowissenschaftliche) Gründe für die Aufgabe erkennen lassen.

- Die Erfüllung der sogenannten vier "Gorleben-Kriterien" ist für die Benennung von Gorleben ebenfalls keine hinreichende Begründung, da diese Kriterien wegen ihrer wenigen und sehr allgemein gehaltenen Anforderungen mit großer Sicherheit auch von anderen Salzstöcken im niedersächsischen Raum erfüllt werden können (s. H-5.3.1.2). Insgesamt scheinen danach geowissenschaftliche Gründe für die Benennung von Gorleben nur eine begrenzte Rolle gespielt zu haben. Andere Gründe (wirtschaftliche, strukturpolitische, vgl. ALBRECHT 1983), die in keiner Verbindung zur potentiellen Eignung des Salzstockes stehen, scheinen von wesentlicher - wenn nicht entscheidender - Bedeutung bei der Benennung des Standortes gewesen zu sein.
- Die Konzentration auf nur einen Standort (Gorleben), seine Auswahl auch nach sachfremden Aspekten und einem unzureichenden Kriterienkatalog sowie die alleinige Untersuchung dieses Standortes entspricht nicht einer geowissenschaftlich begründeten Vorgehensweise.

#### Stand des Projektes

Nach dem Anschluß der DDR wurde das obertägige Untersuchungsprogramm auf das ehemalige DDR-Gebiet ausgedehnt. Inzwischen sind die beiden Bergwerksschächte abgeteuft. Im Oktober 1996 erfolgte auf der 840 m Sohle der Durchschlag zwischen den beiden Schächten. Weitere Strecken des "Erkundungsbergwerks" sollen in den nächsten Jahren im Rahmen der untertägigen Erkundung des Salzstockes aufgeföhren werden.

Für die untertägige Erkundung besitzt das BfS derzeit nur die Berechtigung für den Nordostbereich des Salzstockes. Im Südwestteil des Salzstockes besitzt BfS nicht die notwendigen Salzrechte, so daß hier ohne Enteignung eine Erkundung nicht möglich ist. Nach Meinung des BfS soll aber auch der Nordostbereich ausreichend Kapazität für das gegenwärtige Abfallmengengerüst besitzen. Die vom BfS (1997) bereits vorsorglich gestellten Anträge auf Enteignung der Salzrechtsinhaber nach § 160 BBergG sind inzwischen zurückgezogen worden. Gleichfalls zurückgewiesen wurde vom Oberbergamt Clausthal-Zellerfeld das Ansinnen des BfS, im Bereich der privaten Salzrechte eine wissenschaftliche Erkundung des Salzstockes vorzunehmen (vorher hat BfS immer eine gewerbliche Nutzung des Salzstockes geltend gemacht, NMU 1997a).

Nach derzeitiger Planung soll die untertägige Erkundung bis Ende 2003 abgeschlossen sein. Der Planfeststellungsbeschluß könnte dann bis 2008 vorliegen, und das Endlager könnte 2013 in Betrieb gehen (WILLAX 1998). Ende der siebziger Jahre wurde noch mit einer Inbetriebnahme 1988 gerechnet.

#### Bewertung des Standortes:

Seit Bekanntwerden der ersten substantiellen Ergebnisse der obertägigen Standorterkundung ist die Eignung des Standortes umstritten (z.B. APPEL & KREUSCH 1984, DUPHORN 1988). Eine umfassende Überprüfung der bis Anfang der neunziger Jahre vorliegenden Erkundungsbefunde (praktisch gesamte obertägige Erkundung, erste

Ergebnisse untertägige Erkundung) wurde im Rahmen der vom Niedersächsischen Umweltministerium beauftragten "Zusätzlichen Begutachtung Gorleben" vorgenommen. Von der unter anderen daran beteiligten Gutachtergruppe Gruppe Ökologie/PanGeo, die sich speziell mit dem Deckgebirge und den Transportbedingungen für Radionuklide beschäftigte, wurde im Ergebnis der Begutachtung und auf der Grundlage der Anwendung sicherheitsorientierter Bewertungskriterien zusammenfassend festgestellt (GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO 1993):

"Die (hydro-)geologischen und hydraulischen Verhältnisse im Neben- und Deckgebirge des Teilsalzstockes Gorleben und die daraus resultierenden Bedingungen für die Grundwasserbewegung und den Radionuklidtransport sind bereits nach heutigem Kenntnisstand als sehr ungünstig zu bewerten. Insbesondere ist das Deckgebirge nicht in der Lage, aus dem Teilsalzstock austretende Radionuklide mit relativ großer Halbwertszeit und/oder geringer Sorption von der Biosphäre fernzuhalten. Vielmehr werden entsprechende Radionuklide die Biosphäre innerhalb relativ kurzer Zeit (einige tausend bis wenige zehntausend Jahre) erreichen. Der Standort Gorleben ist deswegen hinsichtlich der Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle weder 'eignungshöflich' noch potentiell geeignet".

Die Bundesregierung (bzw. BfS) sehen trotz der negativen Erkundungsbefunde zum Deckgebirge den Standort Gorleben immer noch als "eignungshöflich" an (BFS 1997). Diese Position stützt sich auf drei Aspekte: Zum einen den Gebrauch des Begriffes "eignungshöflich", zum anderen auf eine Veränderung der Sicherheitsphilosophie und schließlich auch auf gutachterliche Aussagen zum Salzstock.

Von der Bundesregierung, speziell aber auch von BfS, wird der Begriff "**eignungshöflich**" seit Jahren im Zusammenhang mit Gorleben benutzt, ohne daß eine klare Definition des Begriffes gegeben wird. Durch Benutzung dieses Begriffes wird seit Beginn der Standorterkundung Gorleben versucht, eine Bewertung der tatsächlichen Untersuchungsbefunde anhand geowissenschaftlicher Kriterien zugunsten einer vagen Hoffnung auf Eignung bzw. zugunsten der Ergebnisse von Sicherheitsanalysen (s. dazu Kap. H-5.4) zu umgehen. Im Rahmen einer Auseinandersetzung mit den vom NMU beauftragten Gutachten zu Gorleben (s.o.) gibt BGR (1995a) erste Hinweise darauf, was unter "eignungshöflich" verstanden werden kann. Danach wird unter eignungshöflich die berechnete Hoffnung verstanden, daß der Standort für die Aufnahme eines Endlagers geeignet sein wird. Allerdings gibt es nach BGR (1995a) für den Grad der Eignungshöflichkeit keinen verbindlichen Bewertungsmaßstab. Aber es existieren auch nach Meinung der BGR Ausschlußkriterien, denn bei erwiesener Nichteignung gibt es selbstverständlich keinerlei Eignungshöflichkeit (BGR 1995a). In BGR (1995a) werden dann einige Ausschlußkriterien genannt (zu große Tiefenlage, nicht ausreichendes Volumen, Standortnutzung). Diese Kriterien erfüllen jedoch gerade nicht den Zweck, bei einem gegebenen Standort eine Befundbewertung vornehmen zu können. Dazu sind sie zu allgemein formuliert. Sie sind vielmehr im Vorfeld, d.h. bei der Standortauswahl, anwendbar, nicht aber für die Bewertung eines bereits vorausgewählten bzw. benannten Standorts. Auch in BGR (1995a) werden also keine Ausschlußkriterien genannt, mit deren Hilfe die Nichteignung des Standortes Gorleben festgestellt werden könnte. Diese Vorgehensweise bietet dem Betreiber den Vorteil, auf eine Bewertung konkreter Standortbefunde so lange verzichten zu können, bis durch eine abschließende Sicherheitsanalyse (s. dazu Kap. H-5.4) der Eignungsnachweis erbracht wird. Die Bewertung konkreter Standortbefunde wird also durch Hinweis auf die abschließend zu

erfolgende Sicherheitsanalyse ersetzt. Folgerichtig ist bis heute von Bundesregierung und BfS nicht offiziell bekanntgemacht worden, bei welchen Befunden Gorleben als nicht geeignet angesehen würde.

Die Veränderung der **Sicherheitsphilosophie** besteht in ihrem Kern darin, daß die Bedeutung des Deckgebirges als Barriere gegen die Ausbreitung von Radionukliden von Bundesregierung, BfS und BGR zunehmend zurückgenommen wurde und im Gegenzug der Salzstock allein als entscheidende Barriere angesehen wird. In BMFT (1978) wurde unter anderem die Forderung aufgestellt, daß bei der Endlagerung die radioaktiven Abfälle bis zum restlosen Zerfall von der Biosphäre zu isolieren seien. Die Funktion des Deckgebirges als Sicherheitsbarriere besteht nach BMFT (1978: S. 7) darin, daß zwischen den verschiedenen Tiefenwasserschichten nur ein sehr geringer Austausch stattfindet, da keine nach oben gerichtete Strömung vorhanden ist. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) forderte 1982, daß bei der Endlagerung die Erreichung des Schutzzieles durch Barrieren (Salzstock, Deckgebirge, technische Barrieren) sichergestellt werden muß (PTB 1982). Das Schutzziel muß trotz des völligen oder teilweisen Versagens einzelner Barrieren erreicht werden. Weiterhin stellt PTB (1982) fest, daß der Standort Gorleben bei Zugrundelegen des Störfalls Wasser- bzw. Laugenzufluß in das Endlagerbergwerk nur dann als ungeeignet angesehen werden kann, wenn die Barrieren unter Einschluß des Deckgebirges nicht ausreichen, um unzulässige Nuklidkonzentrationen in der Biosphäre zu vermeiden.

Inzwischen mißt BfS dem Verdünnungsvermögen des Grundwassers im Deckgebirge große Bedeutung bei. Damit wird die ursprüngliche Anforderung (Deckgebirge als „Sperre“ gegen die Radionuklid Ausbreitung, s.o.) auf den Kopf gestellt. Außerdem wird das Verdünnungsverbot mißachtet (s. dazu H-5.1). Die ursprünglich vertretene Sicherheitsphilosophie war richtigerweise (s. auch H-5.3.1.4, BGR-Kriterien Salzformationen) von der Notwendigkeit zweier unabhängiger natürlicher Barrieren (Deck- und Nebengebirge sowie Salzstock) ausgegangen. Nun soll die Barriere Salzstock die Sicherheitslast weitgehend allein tragen. Aus dieser Änderung läßt sich dann zwanglos die von Bund und BfS als notwendig angesehene untertägige Erkundung ableiten, und es läßt sich auch das Deckgebirge mit seinen negativen Merkmalen als relativ bedeutungslos für die Eignung darstellen.

Aus fachlicher Sicht bezieht sich BfS vor allem auf Untersuchungen zum Stoffbestand des Salzstocks (z.B. HERRMANN & KNIPPING 1993). Danach soll das Isolationspotential des Salzstocks, so die Interpretation von BfS (1994), für einen Zeitraum nachgewiesen sein, der von der Entstehung des Wirtsgesteins vor rund 250 Mio Jahren bis in die Gegenwart reicht. Ohne hier näher auf diese Untersuchungen einzugehen muß dazu angemerkt werden, daß die nachgewiesene fehlende Veränderung des Stoffbestands der tieferen Salzstockbereiche keine sicherheitsmäßige Aussage für die Zukunft ermöglicht, sondern lediglich zeigt, daß in der Vergangenheit der Salzstock in seinem Kern zum Deck- und Nebengebirge hin isoliert war. Gerade durch das Auffahren des sehr umfangreichen Grubengebäudes und die Endlagerung selbst, speziell der wärmeentwickelnden Abfälle, werden die natürlichen Verhältnisse im Salzstock jedoch erheblich verändert. Welche Auswirkungen dies auf das (zukünftige) Isolationspotential des Salzstocks haben kann, muß hier offen bleiben. Jedenfalls darf aus von menschlichen Einflüssen unbeeinflussten Verhältnissen der Vergangenheit nicht zwingend auf eine für die Zukunft gültige „Eignungshöflichkeit“ geschlossen werden. Dies gilt insbesondere für Salzstöcke, die wegen ihrer Eigenschaften als

sehr "sensible" Gesteinskörper anzusehen sind (v.a. leicht löslicher Stoffbestand, Verformungsverhalten).

Ungeachtet von der fachwissenschaftlichen Diskussion über die Eignung des Endlagerstandortes Gorleben bleibt festzustellen, daß die dortige Situation von Beginn an verfahren ist. Dies beginnt mit der Standortbestimmung von Gorleben, die ohne Rücksicht auf ein vorangegangenes Suchverfahren aus anderen als geowissenschaftlichen Gründen vorgenommen wurde. Es setzt sich fort mit dem Verhalten von Bund, BfS und BGR, anstelle der Bewertung von konkreten Untersuchungsbefunden eine nebulöse "Eignungshöflichkeit" in die Diskussion einzuführen. Einen besonders negativen Einfluß auf die Situation in Gorleben (aber auch an anderen Standorten) haben die RSK-Endlagerkriterien (RSK 1983), die dem Betreiber wegen ihrer in Kernbereichen vagen Darlegungen über große Handlungsspielräume eröffnen (s. Kap. H-5.2.1 u. H-5.3.1.3). Insbesondere die Festlegung der Sicherheitsanalyse als einzigem Verfahren zum Nachweis der Langzeitsicherheit führt zwangsläufig dazu, daß der abschließende Sicherheitsnachweis erst dann geführt werden kann, wenn das Endlager bereits fertiggestellt ist.

Diese Situation ist nicht nur aus fachwissenschaftlicher Sicht untragbar (vgl. Kap. H-5.2.2), sondern sie führt auch zu erheblichen Akzeptanzproblemen nicht nur in der Region Gorleben. Gleichzeitig wird mit der Investition von erheblichen Geldmitteln am Standort Gorleben eine Situation geschaffen, die möglicherweise als Sachzwang interpretiert werden könnte.

Vor diesem Hintergrund bieten sich nur wenige Lösungen an. Konsequenz ist allein die Aufgabe des Endlagerstandortes Gorleben und eine neue Standortsuche. Mit den in den vergangenen Jahren - auch im internationalen Rahmen (s. H-5.5) - erreichten Kenntnissen und Erfahrungen müßte ein solcher Neubeginn nicht mehr beim Stande "Null" anfangen.

### **H-5.6.3 Geplantes Endlager Konrad**

Das für geringfügig wärmeentwickelnde Abfälle vorgesehene Endlager Konrad soll in einem ehemaligen Eisenerzbergwerk bei Salzgitter eingerichtet werden. In den vorhandenen bzw. neu aufzufahrenden Grubenhohlräumen können ca. 650.000 m<sup>3</sup> Abfälle eingelagert werden. Im Rahmen der Energiekonsensverhandlungen (s. Kap. H-2.3.2) wurde auch darüber nachgedacht, ob in Konrad stark wärmeentwickelnde Abfälle eingelagert werden könnten. Die Umsetzung dieses Planes würde jedoch neue Untersuchungen und ein neues Planfeststellungsverfahren nach sich ziehen.

#### Standortauswahl:

- 1975: Erste Voruntersuchungen zur grundsätzlichen Eignung der Grube als Endlager durch die GSF.
- 30.09.1976: Wegen mangelnder Rentabilität wird der Erzabbau in der Grube eingestellt.
- 1975-1982: Die GSF untersucht im Auftrag der Bundesregierung die Schachanlage Konrad auf eine mögliche Eignung als Endlager für radioaktive Abfälle.

- 31.08.1982: Die PTB beantragt bei der zuständigen niedersächsischen Landesbehörde die Einleitung des Planfeststellungsverfahrens gemäß § 9 b Atomgesetz.
- 1982-1992: Weitere Untersuchungen am Standort zur Vorbereitung des Eignungsnachweises.
- Sept. 1986: Vorlage des ersten Sicherheitsberichtes bei der Planfeststellungsbehörde.
- 08.12.1987: Kaufvertrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Salzgitter-Konzern über den Erwerb der Schachanlage Konrad. Verkauf wird nach positivem Planfeststellungsbeschuß gültig.
- 25.09.1992 bis 06.03.1993: Erörterungstermin im Rahmen des atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens.

Die Entscheidung der Bundesregierung für den Standort Konrad beruht auf den besonders günstigen geologischen Standortverhältnissen (BFS 1990, S.49). Eine wesentliche Rolle spielen hierbei die relative Trockenheit der Grube, ihre große Teufenlage und die Überdeckung der Einlagerungsformation durch mächtige tonige Unterkreideschichten. Nach BFS (1990) sind vergleichbar gut geeignete Erzhorizonte nicht bekannt. Insgesamt werde am Standort Konrad den RSK-Kriterien in besonderem Maße entsprochen, so daß für BfS keine Veranlassung bestand, andere Standorte zu prüfen.

Unabhängig davon, ob der Standort Konrad tatsächlich als Endlager geeignet ist, kann bereits den Eckdaten entnommen werden, daß für den Standort Konrad kein Auswahlverfahren stattgefunden hat. Vielmehr wurden erste Eignungsuntersuchungen noch vor Einstellung des Erzförderbetriebes durchgeführt. Insofern sind auch keine geowissenschaftlichen Kriterien im Rahmen einer Vorauswahl zur Anwendung gekommen.

Der in BFS (1990) vorgenommene nachträgliche Bezug auf die RSK-Kriterien (s.o.) ist irrelevant, da diese zum Zeitpunkt der Standortentscheidung noch nicht formuliert waren. Sofern die RSK-Kriterien im Nachhinein als erfüllt angesehen werden oder auch tatsächlich die Eignung des Standortes nachgewiesen werden kann, so ist dies weitgehend Zufall und nicht das Ergebnis eines gezielten geowissenschaftlichen Standortauswahlverfahrens.

Insgesamt ist für den Standort Konrad festzustellen: Ein Auswahlverfahren unter Anwendung geowissenschaftlicher Standortsuchkriterien hat nicht stattgefunden. Vielmehr haben allein die sich abzeichnende Zugriffsmöglichkeit auf das von Stilllegung bedrohte Bergwerk in Kombination mit den vordergründigen geologischen Befunden die Standortentscheidung bestimmt. Dies ist im Rahmen des Erörterungstermins zu Schacht Konrad vom Antragsteller BfS mehrfach bestätigt worden (z.B. bei der Behandlung der Frage "Standortalternativen" bei den Tagesordnungspunkten "Langzeitsicherheit" und "Umweltverträglichkeitsprüfung").

#### Stand des Verfahrens:

Das Genehmigungsverfahren ist weit fortgeschritten. Nachdem von September 1992 bis März 1993 der Erörterungstermin im Rahmen des atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens stattgefunden hat, wird nach etlichen Verzögerungen noch 1998 mit einer

Genehmigung durch das Niedersächsische Umweltministerium gerechnet. Anfang der achtziger Jahre wurde noch von einer Inbetriebnahme gegen Ende der achtziger Jahre ausgegangen.

Die zu erwartende Genehmigung wird möglicherweise ohne Sofortvollzug ausgestattet, so daß Klagewillige die Rechtmäßigkeit der Genehmigung vor Gericht überprüfen lassen können. Fachliche Vorarbeiten für entsprechende Klagen sind bereits von einigen Kommunen der Standortregion beauftragt worden.

#### Bewertung des Standortes:

Die langjährigen intensiven Auseinandersetzungen um die Frage der Eignung von Konrad können hier nicht im einzelnen dargelegt werden. Im Vorfeld und während des Erörterungstermins 1992/93 wurden sämtliche Kritikpunkte an dem Vorhaben, die im übrigen bis heute noch Gültigkeit besitzen, detailliert herausgearbeitet. Sie sind u.a. dokumentiert in NMU (1994), GRUPPE ÖKOLOGIE (1991a), GRONEMEIER (1991). Wesentliche Kritikpunkte waren und sind Fragen der Planrechtfertigung (u.a. Nachweis für den Bedarf), der Produktkontrolle (Zweifel daran, ob die endzulagernden Abfälle auch den konradspezifischen Anforderungen genügen), die Störfallbetrachtungen, Strahlenbelastungen bei Normalbetrieb und Störfall, Umweltverträglichkeitsprüfung, Transporte (sind aus dem Genehmigungsverfahren ausgeklammert) sowie die Langzeitsicherheit. Hinsichtlich der Langzeitsicherheit wird u.a. kritisiert (PANGEO/GRUPPE ÖKOLOGIE 1993):

- das Fehlen einer methodisch angemessenen Standortauswahl und -auswahl sowie einer vergleichenden Prüfung von Alternativstandorten,
- das Fehlen von Angaben zur erforderlichen Aussagegenauigkeit der Ergebnisse der Modellrechnungen zu Grundwasserbewegung und Radionuklidenausbreitung,
- die willkürliche Begrenzung des Nachweiszeitraums mit Berechnung von Individualdosen auf 10.000 Jahre, die Anwendung ungeeigneter Bewertungssysteme für Zeiträume größer als 10.000 Jahre sowie der Verzicht auf eine Bewertung für Zeiträume größer als 1 Mio Jahre,
- das Fehlen einer Untersuchungskonzeption zur Schließung von Datenlücken,
- der beliebige Umgang mit dem Begriff Konservativität, indem praktisch alle Datenlücken durch Annahmen überbrückt werden, deren Konservativität nicht immer bewiesen ist,
- Durchführung der Langzeitsicherheitsanalyse mit Programmen, von denen keines validiert ist (s. zu der Problematik Kap. H-5.4.2.2),
- fehlende Klarheit des Antragstellers über den tatsächlichen Antriebsmechanismus zur Ausbreitung der Radionuklide (Konvektion oder Diffusion).

In jüngster Zeit hat bei der Diskussion um den Planfeststellungsbeschluß der Zweifel an der Planrechtfertigung für Konrad eine besondere Rolle gespielt (NMU 1996). Begründet wird dies mit einer für das Jahr 2080 prognostizierten kumulierten Abfallmenge von 1 Mio m<sup>3</sup>, der allein im geplanten Endlager Gorleben bei Eignung ca. 1 Mio m<sup>3</sup> Einlagerungsvolumen gegenüberstehen soll. Hinzu kommen 40.000 m<sup>3</sup> in Morsleben sowie die 0,65 Mio m<sup>3</sup> in Konrad. Daraus ergibt sich zumindest rechnerisch kein Bedarf für Konrad. Die Frage der Planrechtfertigung wird dadurch verschärft, daß durch verbesserte Konditionierungsverfahren die Volumina der endzulagernden gering wärmeentwickelnden

Abfälle (die volumenmäßig den weit überwiegenden Teil aller Abfälle ausmachen), seit Jahren stetig sinken. Nach BFS (1997a) werden im Jahre 2080 voraussichtlich ca. 0,41 Mio m<sup>3</sup> konditionierte gering wärmeentwickelnde Abfälle und ca. 51.000 m<sup>3</sup> konditionierte wärmeentwickelnde Abfälle vorliegen, d.h. die oben angegebene kumulierte Abfallmenge von 1 Mio m<sup>3</sup> wird sogar deutlich unterschritten.

Insgesamt ist beim Standort Konrad eine prinzipiell ähnlich problematische Situation entstanden wie bei Gorleben (s. Kap. H-5.6.2): Ein zufällig verfügbares Bergwerk wurde zum Endlager umdeklariert, und der Antragsteller BfS konnte sich mit Rückendeckung des Bundes (etliche bundesaufsichtliche Weisungen an NMU) trotz gravierender offener fachlicher Fragen und Kenntnislücken (s.o.) bis heute mit seinem Ansinnen durchsetzen. Insbesondere die hinsichtlich der Langzeitsicherheit nicht akzeptablen methodischen Ansätze lassen bis heute keine begründete Eignungsaussage zu.

Abgesehen davon, daß bis heute eine begründete Eignungsaussage zur Langzeitsicherheit fehlt und die Planrechtfertigung ernsthaft angezweifelt werden muß, ist darauf hinzuweisen, daß die Inbetriebnahme von Konrad auch dem Grundsatz „ein Endlager für alle Abfälle“ widerspricht. Im übrigen führt der Parallelbetrieb (Konrad plus ein Endlager für heiße Abfälle) zu deutlich höheren Kosten (s. H-6.2).

Als Konsequenz ergibt sich die Forderung, das Verfahren Konrad einzustellen.

#### **H-5.6.4 Morsleben**

Bei dem in dem ehemaligen (Doppel-)Salzbergwerk Bartensleben-Marie (östlich von Helmstedt) angelegten Endlager handelt es sich um das zentrale Endlager für radioaktive Abfälle der ehemaligen DDR. Eingelagert wurden bzw. werden nur schwach- und mittelaktive radioaktive Abfälle mit geringem  $\alpha$ -Strahler-Inventar, die morslebensspezifischen Endlagerbedingungen entsprechen. Die Einlagerung erfolgt nur in Grubenräumen des Bergwerkteils Bartensleben.

##### Standortauswahl:

- 1970: Auswahl der Grube Bartensleben-Marie aus zehn betrachteten Salzbergwerken als Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM); Übergang in die Rechtsträgerschaft des volkseigenen Kombinats "Kernkraftwerke Bruno Leuschner".
- 1972: Erteilung der Standortgenehmigung.
- 1974: Genehmigung zur Errichtung des Endlagers.
- 1978: Inbetriebnahme mit Versuchsbetrieb.
- 1981: Auf fünf Jahre begrenzte Genehmigung zum Dauerbetrieb.
- 1986: Genehmigung zum Dauerbetrieb. Bis 1990 wurden 14.400 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle sowie 6.200 umschlossene Strahlenquellen endgelagert.

- 1990: Gemäß Einigungsvertrag wurde das BfS am 03.10.1990 Betreiber der Anlage, wobei die Dauerbetriebsgenehmigung von 1986 bis zum 30.06.2000 befristet ist. Nach Meinung der Bundesregierung (TÖPFER 1990) gilt diese Genehmigung als Planfeststellungsbeschuß gemäß § 9 b AtG. Diese Rechtsauffassung wird vielfach angezweifelt. Bis 2000 (neuerdings 2005) sollen - inclusive der zu DDR-Zeiten eingelagerten Abfälle - rund 55.000 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle eingelagert werden. Nach Abschluß des Betriebes soll die Stilllegung auf Grundlage eines Planfeststellungsbeschlusses erfolgen.
- 1994: Nach dem Übergang in das bundesdeutsche Rechtssystem kam es zu einer gerichtlich verfügten dreijährigen Einlagerungsunterbrechung. Ab 13.01.1994 Wiederaufnahme des Einlagerungsbetriebes. Bis Ende Februar 1997 Einlagerung von ca. 12.000 m<sup>3</sup> schwach- und mittelaktiver Abfälle.

Die Grundlagen der von der DDR durchgeführte Standortauswahl sind uns im einzelnen nicht bekannt. In BRENNSTOFFINSTITUT (1971) werden folgende Kriterien als ausschlaggebend für die Wahl von Bartensleben-Marie angegeben: Zeitliche Verfügbarkeit, der vorhandene Hohlraum, Übernahmekosten, Entfernung zu den Kernkraftwerken, bestehende Transportverbindungen, gebirgsmechanische und hydrologische Sicherheit der Grube, die Möglichkeit der Übernahme benachbarter Schachtanlagen und der Auffahrung weiterer Hohlräume.

Die Auflistung der Standortsuchkriterien zeigen, daß offensichtlich andere als die Endlagersicherheit betreffende Kriterien dominiert haben. In diesem Zusammenhang ist interessant, daß bereits frühzeitig darauf hingewiesen wurde, daß die natürlichen geologischen Verhältnisse im Bereich der Schachtanlage Bartensleben-Marie "von vorneherein sehr ungünstig" sind (BRENNSTOFFINSTITUT 1969: S. 11). Da die Grube dennoch ausgewählt wurde, muß davon ausgegangen werden, daß (langzeit-)sicherheitsorientierte Kriterien bei weiten nicht die Hauptrolle bei der Standortauswahl gespielt haben.

#### Stand des Projektes:

Ein Anfang der neunziger Jahre von der GRS vorgelegte umfangreiche Maßnahmenkatalog zur Verbesserung der Situation in Morsleben ist inzwischen weitgehend abgearbeitet. Für die Umsetzung der Maßnahmen waren zum Teil erhebliche technische und andere Veränderungen notwendig wie Festlegung von Abgabewerten beim Strahlenschutz, neue Behältertechniken, Einführung eines Produktkontrollsystems, Modernisierung des Brandschutzes, usw. Bezüglich einiger wesentlicher Maßnahmen wird vom Umweltministerium des Landes Sachsen-Anhalt ein Planfeststellungsverfahren für notwendig gehalten.

Am 13.10.1992 stellte BfS den Antrag, das Endlager über den 30.06.2000 hinaus zu betreiben. Schließlich beantragte BfS am 09.05.1997, das Planfeststellungsverfahren des Endlagers Morsleben auf die Stilllegung zu beschränken. Mit der Novelle des AtG (s. Kap. H-2.2) ist eine Verlängerung des Betriebes auf rein legislatorische Art bis 2005 erreicht worden. Anschließend soll das Endlager geschlossen werden, wofür umfangreiche Sicherungs- und Verfüllmaßnahmen notwendig sein werden. Die Vorgehensweise des Bundes ist rechtlich stark umstritten. Derzeit wird das sogenannte Ostfeld für die Einlagerung von Abfällen bis über 2000 hinaus vorbereitet.

#### Bewertung des Standortes:

Eine umfassende Bewertung des Endlagers Morsleben muß neben den naturwissenschaftlich-technischen Aspekten auch die juristischen Gesichtspunkte berücksichtigen, da der Betrieb des Endlagers, sein geplanter Weiterbetrieb bis 2005 sowie die externen Kontrollmöglichkeiten zu Betrieb, (wesentliche) Änderungen des Betriebs u.ä. fraglich und zum Teil sehr umstritten sind.

In dieser Studie kann nur auf die naturwissenschaftlich-technischen Aspekte eingegangen werden. Dabei ist generell festzustellen, daß das Endlager Morsleben in wesentlichen sicherheitsrelevanten Merkmalen nicht den bisher in der Bundesrepublik gültigen Vorstellungen von einem Endlager im Salz entspricht. Zu den negativen Merkmalen von Morsleben gehören beispielsweise:

- nachgewiesenermaßen aus dem Deckgebirge stammende Laugenzutritte in die Grube Bartensleben-Marie,
- eine teilweise äußerst geringe Salzscheibe zwischen alten Abbauen und dem Salzspiegel (sie entspricht nicht einmal dem heute bei Gewinnungsbergwerken geforderten Mindestabstand),
- die vielfache Durchörterung von mächtigem und wahrscheinlich bis in den Salzspiegelbereich reichenden Hauptanhydrit durch Strecken,
- die fehlende langfristige Standsicherheit von Teilen des Grubengebäudes.

Insgesamt ist festzustellen, daß die geologische Barriere des Endlagers, die für die Langzeitsicherheit von entscheidender Bedeutung ist, als völlig unzureichend bewertet werden muß (z.B. APPEL & KREUSCH 1993). Auch der vom BfS beauftragte Gutachter HERRMANN (1992) forderte die Einstellung des Einlagerungsbetriebes zumindest bis zur Klärung der Bedeutung der Lösungszuflüsse in das Grubengebäude. In jüngerer Zeit wurde von der BGR festgestellt, daß die Integrität der geologischen Barriere im Zentralbereich der Grube Bartensleben nicht gegeben sei (BGR 1997).

Dennoch wird von der Bundesregierung mit Hinweis auf die Ergebnisse vorläufiger (Langzeit-)Sicherheitsanalysen der GRS behauptet, es bestünde keine Gefährdung durch das Endlager, die eine Einstellung des Betriebes erforderlich machen würde (BMU 1997a). Demgegenüber bleibt festzuhalten, daß mit Bartensleben ein Endlager betrieben wird, für das kein Langzeitsicherheitsnachweis vorliegt. Noch 1996 hat der damalige Bundesumweltminister zugegeben, daß ein abschließender Langzeitsicherheitsnachweis noch nicht erbracht worden sei (TÖPFER 1996).

Der von der Bundesregierung trotz der offensichtlichen Mängel durchgesetzte Weiterbetrieb des Endlagers weist in eine ähnliche Richtung wie die Entwicklung am Standort Gorleben (s. Kap. H-5.6.2): Der erkennbar zunehmende Wille, Sicherheitsbedenken zugunsten einer behaupteten Entsorgungssicherheit bzw. Fortschritten bei der Entsorgung (weitere Erkundung in Gorleben, Weiterbetrieb in Morsleben) zurückzustellen.

Darüber hinaus zeigt das Beispiel Morsleben lehrbuchhaft, wie Sicherheitsanalysen instrumentalisiert werden können bzw. wie mit ihrer Hilfe von den realen sicherheitsrelevanten Befunden der geologischen Barriere abstrahiert werden kann (s. auch Kap. H-5.4.2). Weiterhin wird auch die Funktion der RSK deutlich, die (ausweislich der

Protokolle von RSK-Sitzungen zu Morsleben, z.B. RSK 1991, 1991a, 1992, 1993) im Grunde genommen nur noch Vorentscheidungen des Bundes legitimiert (zur RSK s. auch Kap. H-2.3.3).

Hinsichtlich des Endlagers Morsleben bleibt allein schon wegen der gravierenden und nicht heilbaren Mängel der geologischen Barriere nur die Forderung nach sofortiger Stilllegung und Entwicklung sowie Umsetzung eines wirksamen Verwehr- bzw. Verfüllkonzeptes.

### **H-5.7 Zusammenfassende Bewertung der Endlagersituation in Deutschland und allgemeine Schlußfolgerungen**

Auch 30 Jahre nach Beginn der Versuchsendlagerung in der Asse und der Inbetriebnahme des ersten deutschen Leistungsreaktors steht kein Endlager für die Beseitigung aller Arten radioaktiver Abfälle zur Verfügung. Sämtliche früheren Zeitpläne für den Betriebsbeginn der Endlager Gorleben und Konrad sind längst hinfällig. Das der Bundesrepublik durch den Anschluß der DDR zugefallene und derzeit betriebene Endlager Morsleben mit seinen gravierenden Sicherheitsmängeln ändert an dieser Bewertung nichts. Es ist lediglich sichtbares Zeichen dafür, wie inzwischen über ursprünglich formulierte Sicherheitsanforderungen hinweggegangen wird.

Die beschriebene Situation ist auf ein Bündel von Ursachen zurückzuführen, von denen drei wesentliche genannt seien:

- Sämtliche Standortentscheidungen wurden ohne methodisch angemessenes und nachvollziehbares Standortsuchverfahren gefällt. Stattdessen wurde auf zufällig verfügbare (Asse, Konrad, letztendlich auch Morsleben) Standorte zurückgegriffen bzw. es wurde ein Standort (Gorleben) aus anderen als problemorientierten Gründen festgelegt. Diese Vorgehensweise, die nicht nur aus wissenschafts-methodischer Sicht unakzeptabel ist, führt zwangsläufig auch zu erheblichen Akzeptanzproblemen sowohl innerhalb der Fachwissenschaften als auch bei der durch die Vorhaben direkt oder indirekt betroffenen Bevölkerung.
- Die Sicherheitsnachweise an den Endlagerstandorten - und hierbei in aller Schärfe die Langzeitsicherheitsnachweise - werden von ihrem methodischen Ansatz her seit Jahren von denselben Institutionen (und oft auch Personen) dominiert (v.a. BfS, RSK, GRS, BGR). Eine ernsthafte Auseinandersetzung mit begründeten Einwänden an der Vorgehensweise, speziell der Langzeitsicherheitsanalyse, findet seitens dieser Institutionen zumindest offiziell nicht statt. Vielmehr wird die Sicherheitsanalyse auch als Mittel dazu eingesetzt, politische Entscheidungen wissenschaftlich zu legitimieren. Dies war bzw. ist beispielsweise der Fall bei den Entscheidungen zum Schachtabteufen in Gorleben sowie zum Weiterbetrieb von Morsleben.
- Zudem führt die letztendlich von der Bundesregierung zu verantwortende und von außerhalb der offiziellen Endlagerergremien als "Erstarrung" wahrnehmbare Situation

zu erheblichen fachlichen Widerständen und damit verbunden zu Forderungen nach einem modifizierten und den heutigen Erkenntnisstand berücksichtigenden Nachweisverfahren. Es ist festzustellen, daß vom Ansatz her prinzipiell begrüßenswerte Maßnahmen wie die Suche von BGR (1994 u. 1995b) nach Alternativstandorten in Salz und Kristallin nicht konsequent zu Ende geführt werden.

- Während die beiden vorher genannten Ursachen durch Änderungen der Endlagerungspolitik grundsätzlich beseitigt werden können, ist folgende Ursache grundsätzlicher Art und daher nicht veränderbar: Wegen der mit der Endlagerung verbundenen sehr langen Prognosezeiträume stoßen Wissenschaft und Technik an die Grenzen ihres Erkenntnis- und Prognosevermögens. Es lassen sich trotz noch so ausgefeilter Prognoseansätze nicht die (eigentlich gewollten und notwendigen) sicheren Aussagen darüber machen, ob und in welchen Mengen/Konzentrationen endgelagerte Radionuklide in ferner Zukunft aus dem Endlager in die Biosphäre freigesetzt werden, weil die (ferne) Zukunft per se nicht vorhersagbar ist. Dieses fundamentale Problem kann auch nicht mit ethischen oder juristischen Argumentationsmustern (wer ist wie lange für was verantwortlich?) ausgehebelt werden.
- Gerade auch die für den Bund in der Endlagerung tätigen Institutionen/Personen sind jenseits ihres Interesses, ihren Forschungsgegenstand auch weiterhin bearbeiten zu können, in den vergangenen Jahren damit konfrontiert worden, daß ein Zuwachs an Erkenntnissen im Bereich der Langzeitsicherheit immer verbunden war mit dem Auftauchen neuer Probleme/Fragestellungen, auf die dann wiederum Antworten gefunden werden sollen oder müssen. Auch dies ist ein Grund dafür, daß trotz 30 Jahre intensiver Endlagerforschung in der Bundesrepublik Deutschland - wie auch in anderen Ländern - noch kein geschlossenes und generell akzeptiertes Instrumentarium zum Umgang mit den Problemen zur Verfügung steht.

Hauptsächlich die angeführten Gründe haben zur gegenwärtigen Situation bei der Endlagerung geführt. Es ist eine Verkennung der tatsächlichen Verhältnisse, wenn - wie vielfach behauptet - die gegenwärtige Entsorgungssituation allein auf den Widerstand gegen entsprechende Entsorgungseinrichtungen (in neuerer Zeit auch den sogenannten "ausstiegsorientierten Vollzug" einiger Länder) zurückgeführt wird. Vielmehr ist diese Situation zwangsläufige Folge des seit Anbeginn unangemessenen Umgangs der Bundesregierung und der offiziellen "Endlagergremien" mit der Entsorgungs- bzw. Endlagerproblematik. Die beschriebene Situation ist weitgehend "hausgemacht", resultiert in gewissem Umfang sicherlich auch zwangsläufig aus der oben dargestellten grundsätzlichen Problematik. Eine Lösung der Situation ist nur durch eine grundlegende Neuorientierung möglich. Ein "Weitermachen wie bisher" führt nicht zu akzeptablen Lösungen.

Um eine (soweit überhaupt nachweisbar) sichere und gesellschaftlich akzeptierte Endlagerung zu gewährleisten, sind deshalb folgende Maßnahmen erforderlich:

- Aufgabe der bisherigen drei Endlagerstandorte Gorleben, Konrad und Morsleben.
- Überprüfung des auf Salz zugeschnittenen Endlagerkonzepts und Vergleich mit dem Hartgesteinskonzept.

- Erarbeitung angemessener methodischer Grundlagen für Standortsuche und Nachweis der Langzeitsicherheit. In diesem Zusammenhang Neufassung der Sicherheitskriterien der RSK.
- Erarbeitung eines Konzeptes für eine umfassende Öffentlichkeitsinformation und Öffentlichkeitsbeteiligung (darin enthalten die Möglichkeit der unabhängigen Überprüfung der jeweiligen Pläne).
- Durchführung einer neuen Standortsuche für das zentrale Endlager für alle Arten von radioaktiven Abfällen. Diese Standortsuche hat zu beginnen, wenn die vorher genannten Punkte abgearbeitet sind. Vorarbeiten zu den konzeptionellen Fragen und zur Standortsuche liegen vor. Zielpunkt ist die Inbetriebnahme des Endlagers ca. 2030/2035.

### **H-5.8 Alternatives Endlagerkonzept**

Die Endlagerung in Deutschland war von Beginn an auf das Wirtsgestein Salz hin konzentriert (s. Kap. H-5.2.1). Dies gilt insbesondere für die Endlagerung „heißer“ hochaktiver Abfälle bzw. abgebrannter Brennelemente. Das geplante Endlager Konrad stellt lediglich eine Ausnahme dar, die sich durch die Verfügbarkeit des Bergwerks ergeben hat (s. Kap. H-5.6.3).

Es ist heute unstrittig, daß es das „beste“ Einlagerungsgestein nicht gibt. Vielmehr weist jedes Wirtsgestein spezifische Vor- und Nachteile auf (detailliert dargestellt in LÜTTIG et al. 1993), auf die mit einem jeweils speziell zugeschnittenen Endlagerkonzept eingegangen werden muß.

In einigen Ländern (z.B. Kanada, vgl. Kap. H-7.3) mit ausgedehnten Hartgesteinskomplexen (im wesentlichen kristalline magmatische bzw. metamorphe Gesteine) konzentriert sich die Endlagerung auf solche Gesteine. Kristalline Gesteine kommen auch in Deutschland vor. Daher könnte auch in Deutschland alternativ oder (zunächst) parallel zum Salzkonzept ein Hartgesteinskonzept bei der Endlagerung verfolgt werden. Dabei ist zu beachten, daß das Hartgesteinskonzept sich in wesentlichen sicherheitsrelevanten Aspekten vom Salzkonzept unterscheidet (s.u.) und nicht nur aus der Hinwendung zu einem anderen Wirtsgestein besteht. Gewisse Vorarbeiten für eine Hinwendung zu einem Hartgesteinskonzept sind in den vergangenen Jahren in Deutschland geleistet worden (s. dazu auch H-5.5):

- Erarbeitung eines Katalogs von für die Endlagerung geeigneter geologischer Formationen in Westdeutschland (BGR 1977),
- ab 1982 Teilnahme an dem wissenschaftlich-technischen Programm der schweizerischen Endlagergesellschaft NAGRA im Felslabor Grimsel,
- Ermittlung erkundungswürdiger Hartgesteins-Standortregionen in Deutschland (BGR 1994; s. dazu aber H-5.3.1.4),
- ab 1995 im Auftrag des BMBF Beteiligung an Forschungsarbeiten im schwedischen Untertagelabor Äspö (Granit),
- Gegenüberstellung von Langzeitsicherheitsanalysen für Endlager in Hartgestein (Granit) und Steinsalz (NOSACK 1996),
- Mitarbeit an der Entwicklung von Grundlagen für die Entwicklung eines Genehmigungsverfahrens für ein Endlagerbergwerk in Kristallingestein (DBE 1996),

- verschiedene Kooperationen mit anderen Staaten (z.B. Spanien, Frankreich) zwecks Erfahrungsaustausch und Forschungsarbeiten in Untertagelabors (s. dazu GRS 1997 und Kap. H-5.5),
- das Projekt GEISHA (PAPP 1997: Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz- und Hartgesteinen).

Nicht zuletzt wegen der anhaltenden Diskussion um die Eignung von Gorleben (s. H-5.6.2) stellt sich die Frage, ob eine grundlegende Änderung des Endlagerkonzepts in Deutschland in Form der Hinwendung auf das Hartgesteinkonzept Vorteile gegenüber dem Salzkonzept mit sich bringt. Diese Frage kann hier nicht abschließend beantwortet werden. Es sollen im folgenden jedoch die wesentlichen Unterschiede zwischen den Konzepten kurz vorgestellt werden:

#### **Salzkonzept**

Die Sicherheitsüberlegungen bei einem Endlager im Salz gehen davon aus, daß die in den Salzstock eingebrachten Abfälle innerhalb einer gewissen Zeit (Jahre bis wenige Jahrhunderte) durch das „Zusammenfließen“ der (Rest-)Hohlräume des Salzes (Konvergenz) vollständig von Salz eingeschlossen sein werden. Danach kann das Transportmittel Wasser (bzw. Lauge) nicht mehr an den Abfall gelangen. Der Transport von Radionukliden aus dem Endlager in die Biosphäre ist dann nicht möglich.

Sollte jedoch Wasser/Lauge an die Abfälle gelangen, bevor die Resthohlräume durch Konvergenz vollständig geschlossen sind, besteht die Möglichkeit des Radionuklidtransportes in Richtung Biosphäre. Um diesen zu verhindern bzw. zu verzögern sollen technische Barrieren (z.B. Dammbauten im Endlagerbergwerk) den Kontakt zwischen Wasser/Lauge und Abfällen möglichst verhindern bzw. den Radionuklidtransport behindern. Aus dem Salzstock austretende Radionuklide sollen schließlich im Deck- und Nebengebirge des Salzstocks weitgehend zurückgehalten werden. Darüber hinaus soll das Deckgebirge den Salzstock schützen, insbesondere vor Subrosion (d.h. Ablaugung) durch Grundwasser.

Der Kern der Sicherheitsüberlegungen beim Salzkonzept ist also die Verhinderung des Zuflusses von Wasser/Lauge an die Abfällen. Dies kann jedoch aus verschiedenen Gründen nicht sicher gewährleistet werden, weshalb bei einem Endlager im Salz auch technische Barrieren sowie vor allem das Deckgebirge bedeutsam sind. Hinzu kommt, daß für Langzeitsicherheitsbetrachtungen mögliche Zuflußszenarien entwickelt und in ihren Auswirkungen berechnet werden müssen (s. dazu Kap. H-5.4.2.1).

#### **Hartgesteinskonzept**

Die Sicherheitsüberlegungen für Endlager in Hartgestein gehen davon aus, daß der Zutritt von Grundwasser in das Endlagerbergwerk nicht verhindert werden kann; denn kristalline Gesteine weisen grundsätzlich Spalten und Klüfte auf, in denen in sehr unterschiedlichem Ausmaß Grundwasser zirkuliert. Der Kern des Hartgesteinskonzepts besteht darin, die Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager durch **künstliche** Barrieren zu verhindern bzw. nachhaltig zu behindern. Die wichtigste Barriere stellen dabei die Abfallbehälter selbst dar. Sie sollen durch Konstruktion und Materialeigenschaften langfristig das Eindringen von

Wasser an die Abfällen verhindern. Hinzu tritt als sogenannte geotechnische Barriere die Resthohlraumverfüllung von Teilen des Endlagerbergwerks mit Bentonit. Wenn einzelne Behälter defekt werden, soll damit die Ausbreitung von Radionukliden wesentlich verzögert werden. Schließlich soll auch die geologische Barriere (der Wirtsgesteinskomplex) den Transport in die Biosphäre verzögern; denn bei einem guten Endlagerstandort soll im Wirtsgesteinskomplex keine oder nur sehr geringe Grundwasserbewegung stattfinden. Dadurch soll der Transport von Radionukliden in die Biosphäre verhindert oder zumindest entscheidend verzögert werden.

### **Unterschiede zwischen beiden Endlagerkonzepten**

Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Endlagerkonzepten beruht also darin, daß beim Hartgesteinskonzept die Anwesenheit des Transportmittels Grundwasser als „Normalfall“ angesehen wird, während der Zutritt von Wasser/Lauge an die Abfälle beim Salzkonzept als Störfall betrachtet wird. Folgerichtig ist das Hartgesteinskonzept mit entsprechender Wirksamkeit der technischen Barriere (Behälter) bzw. der geotechnischen Barriere (Bentonitverfüllung) auf die Anwesenheit von Wasser ausgelegt. Der geologischen Barriere (Wirtsgestein) kommt nur zusätzliche Schutzfunktion zu.

Beim Steinsalzkonzept hingegen ist die geologische Barriere für die Langzeitsicherheit entscheidend. Hier kommt den technischen Barrieren eine - insbesondere auf den Störfall Wasser/Laugenzutritt zugeschnittene - Hilfsfunktion zu. Ein großes Problem besteht allerdings darin, daß die Szenarienanalyse, mit der mögliche Störfälle identifiziert werden sollen, immer Unsicherheiten aufweisen muß (s. dazu H-5.4.2.2). Hieraus resultiert zwangsläufig eine Unkenntnis über möglicherweise in der Zukunft ablaufende tatsächliche Störfälle.

Diese konzeptionellen Unterschiede wirken sich auch auf den Langzeitsicherheitsnachweis auf: Beim Hartgestein steht der Nachweis der langfristigen Funktionstüchtigkeit der Behälter und der geotechnischen Barriere im Vordergrund. Dabei sind geochemische Aspekte sehr wichtig. Beim Salzkonzept ist der Nachweis vor allem darauf gerichtet, daß die geologische Barriere in Abhängigkeit von den postulierten Störfällen ihre Funktion erfüllt. Wieweit sich aus den unterschiedlichen Merkmalen gravierende Vorteile für die Führung des Langzeitsicherheitsnachweises ergeben, kann zur Zeit nicht abschließend beantwortet werden. Da dieser Nachweis ein entscheidendes Problem der Endlagerung darstellt (s. H-5.4.3), muß dieser Frage sorgfältig nachgegangen werden.

Allerdings kann derzeit festgestellt werden, daß beim Hartgesteinskonzept wegen der auf die Anwesenheit von Grundwasser ausgerichteten Auslegung keine umfassenden Störfallszenarien postuliert werden müssen (s. dazu Kap. H-5.4.2.2). Das ist für den Langzeitsicherheitsnachweis zweifellos ein nicht zu unterschätzender Vorteil. Beim Salzkonzept wird demgegenüber mit der unverzichtbaren Störfall- bzw. Szenarienanalyse ein bedeutsamer Unsicherheitsfaktor eingeführt, der beim Hartgesteinskonzept in der Form nicht gegeben ist.

Eine offene Frage ist gegenwärtig, ob in Deutschland potentiell geeignete Hartgesteinskomplexe vorhanden sind. Nach den Untersuchungen der BGR (1994) sind von 28 betrachteten Kristallinvorkommen in Deutschland fünf einer näheren Betrachtung wert.

Das durchgeführte Auswahlverfahren weist allerdings deutliche methodische Mängel auf (s. H-5.3.1.4). Bei den ausgewählten Gesteinskomplexen handelt es sich um die mit der größten Flächenausdehnung. Verglichen mit den riesigen skandinavischen und kanadischen Vorkommen sind sie allerdings eher kleinräumig. Es wird vermutet (z.B. PAPP 1997), daß sie zudem stärker geklüftet und gestört sind. Dies könnte sich bei der konkreten Standortfindung als problematisch erweisen. Belege gibt es dafür mangels Untersuchungen bisher jedoch nicht.

Nach PAPP (1997) sind nach den bisherigen Vergleichsbetrachtungen beider Konzepte (Projekt GEISHA) abschließende quantitative Aussagen zu den jeweiligen Vor- und Nachteilen noch nicht möglich. Aspekte, die zu Zweifeln am Endlagermedium Salz Anlaß geben würden, hätten sich nicht ergeben.

Diese Tendenzaussage zugunsten des Einlagermediums Salz ist interpretationsfähig: Fehlende Zweifel am Endlager**medium** Salz müssen nicht gleichbedeutend sein mit fehlenden Zweifeln am Endlager**konzept** Salz. Das bedeutet: Das Endlagermedium Salz kann als Wirtsgestein geeignet sein, dennoch kann das Salzkonzept gegenüber dem Hartgesteinskonzept Nachteile aufweisen. Hierzu gibt die GEISHA-Studie (PAPP 1997) keine klare Antwort, obwohl die wesentlichen Aspekte darin angesprochen werden. Jedenfalls ist in Deutschland prinzipiell die Option eines Hartgesteins-Endlagerkonzepts möglich, was bei einem Neuanfang im Bereich der Endlagerung von großer Bedeutung sein kann.

## H-6 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Bezogen auf folgende Gesichtspunkte werden verfügbare neuere Arbeiten zu Kosten und Wirtschaftlichkeit der Entsorgung ausgewertet:

- Kostenvergleich der Pfade „Wiederaufarbeitung“ und „Direkte Endlagerung“,
- Identifizierung der wesentlichen Kostenblöcke sowie kostensensibler Maßnahmen bei der Entsorgung,
- mögliche Kosten eines Ausstiegs aus der Wiederaufarbeitung,
- Verhältnis Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu Sicherheitsaspekten bei der Entsorgung.

Vorrangiges Ziel ist es, Elemente zu identifizieren, die unter der Voraussetzung eines Ausstiegs aus der Atomenergie von der Kosten- bzw. Wirtschaftlichkeitsseite her Vorteile aufweisen.

Bei der Bewertung der Studien ist zu berücksichtigen, daß deren Aussagesicherheit begrenzt ist. Abgesehen von den bisher bei der Entsorgung angefallenen Kosten, die in erster Näherung einigermaßen sicher bekannt sind, handelt es sich bei den Aussagen der Studien um szenarienbasierte Prognosen, die wegen zukünftig sich in unbekanntem Maße ändernder Einflußgrößen (z.B. Zinssätze, Inflationsrate) nur mögliche Entwicklungen bzw. Szenarien beschreiben. Hinzu kommt, daß bei verschiedenen Studien unterschiedliche Methoden und Modelle (statisch, dynamisch) angewandt werden und oft von verschiedenen Randbedingungen ausgegangen wird. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen und -vergleiche werden also wesentlich durch die zugrunde gelegten Prämissen, Rechenwege und die Datenauswahl determiniert. Dennoch ergeben sich teilweise recht belastbare Aussagen. Dies ist dann anzunehmen, wenn verschiedene Studien mit unterschiedlichen Ansätzen zu prinzipiell gleichen Ergebnissen kommen.

### H-6.1 Kostenvergleich Wiederaufarbeitung - Direkte Endlagerung

Hierzu sind seit Mitte der achtziger Jahre mehrere Studien angefertigt worden, deren Ergebnisse in Tab. H-7 zusammengefaßt vorgestellt werden.

Die Ergebnisse dieser Studien sind eindeutig: Die Direkte Endlagerung weist gegenüber der Wiederaufarbeitung in allen Studien - z.T. deutliche - Kostenvorteile auf. Diese belaufen sich in der Bundesrepublik nach EWI (1995) bei Berücksichtigung des gesamten Brennstoffkreislaufs je nach gewählten Randbedingungen auf 244 bis 624 Mio DM/a, bei Berücksichtigung nur der Entsorgungsschritte auf 236 bis 569 Mio DM/a.

Lediglich die Studie OECD/NEA (1994) weist bei ihren Sensitivitätsberechnungen keine eindeutigen Kostenvorteile eines der beiden Pfade auf. Nach EWI (1995) liegt dies im wesentlichen an dem bei den Sensitivitätsanalysen angenommen sehr hohen Uranpreis, der sich tendenziell günstig für die Wiederaufarbeitung auswirkt.

Studie (Jahr)	Wiederaufarbeitung (Pf/kWh)	Direkte Endlagerung (Pf/kWh)
EWI (1984)	0,56	0,38
OECD/NEA (1985)	2,17	1,97
FICHTNER (1991)	0,97	0,63
VDEW (1993)	1,53	0,90 - 1,38
OECD/NEA (1994) Referenzfall	1,24	1,09
OECD/NEA (1994) Sensitivitätsanalyse	1,03 - 1,41	0,85 - 1,26
EWI (1994)	1,11	0,73
EWI (1995)	1,63 - 1,83	1,50

**Tabelle H-7: Zusammenfassung der in verschiedenen Studien ermittelten Entsorgungskosten**

Insbesondere die Ergebnisse der Studie EWI (1995), die eine differenzierte Betrachtung der gegenwärtigen deutschen Situation vornimmt, zeigen, daß die Direkte Endlagerung sowohl bei Berücksichtigung des gesamten sogenannten Brennstoffkreislaufs (einschließlich Uranpreis, Konversion, Trennarbeit, MOX-Brennelementfertigung u.ä.) als auch bei Betrachtung allein des „Back-End“ (Zwischenlagerung, Konditionierung, Endlagerung, Behälter, Transporte) die kostengünstigere Alternative darstellt. Auch die in EWI (1995) durchgeführten Sensitivitätsanalysen (Einflüsse Uranpreise, Wechselkurse, Zinssätze u.ä.) erhärten den Kostenvorteil der Direkten Endlagerung.

Mit Blick auf die vorgestellten Ergebnisse ist kein vernünftiger Zweifel am Kostenvorteil der Direkten Endlagerung gegenüber der Wiederaufarbeitung möglich. Auch die in EWI (1995) berücksichtigte Wiedergewinnung der Energierohstoffe Plutonium und Uran bei der Wiederaufarbeitung (die zur Kostengutschrift führt) stellt das grundsätzliche Ergebnis nicht in Frage. Die (Rück-)Gewinnung dieser Rohstoffe durch Wiederaufarbeitung ist erheblich teurer als Frischuran. Eine Wiederaufarbeitung aus Gründen der Rohstoffrückgewinnung wäre nach ökonomischer Logik frühestens dann sinnvoll, wenn sich der Uranpreis wegen deutlich sichtbarer Knappheit dem von wiederaufgearbeiteten Plutonium angenähert hätte (EWI 1995). Diese Entwicklung ist innerhalb der überschaubaren Zukunft - und insbesondere innerhalb eines realistischen Ausstiegszeitraums - allerdings nicht zu befürchten.

## **H-6.2 Wesentliche Kostenblöcke und kostensensible Maßnahmen bei der Entsorgung**

Auch zu den wesentlichen Kostenblöcken bei der Entsorgung liegen etliche Daten aus den vergangenen Jahren vor. In Tab. H-8 sind entsprechende Daten zusammengestellt worden. Sie geben zumindest einen Überblick über die angenommene Höhe wichtiger Kostenblöcke.

Wiederaufarbeitung (DM pro kg/SM)	Direkte Endlagerung (DM pro kg/SM)
<u>BE-Transport (AKW zu WAA):</u>	<u>BE-Transport (AKW zu WAA):</u>
EWI (1984): 41	EWI (1984): 41
FICHTNER (1991): 130 - 160	FICHTNER (1991): 130 - 160
VDEW (1993): 160	VDEW (1993): 50
EWI (1995): 1 160	EWI (1995): 50
<u>Wiederaufarbeitung:</u>	<u>Zwischenlagerung vor Konditionierung:</u>
EWI (1984):(Wackersdorf) 1.683	FICHTNER (1991): 360
FICHTNER (1991): 1.600	VDEW (1993): 500
VDEW (1993): 1.800	EWI (1995):(nur Behälterkosten) 200
EWI (1995):(Neuverträge) 1.800	
(Altverträge): 2.400	
<u>Abfallrücknahme aus WAA:</u>	<u>Konditionierung:</u>
FICHTNER (1991):(Rücktransport aus WAA) 400	EWI (1984): 554
VDEW (1993):(Rücktransport WAA plus Zwischenlagerung) 1.000	FICHTNER (1991): 500 - 700
	VDEW (1993): 800
	(PKA Gorleben bei 450 t SM/a, 800)
	(PKA Gorleben bei 35 t SM/a) 2.300
	EWI (1995): (PKA Gorleben bei 450 t SM/a) 600
<u>Endlagerung:</u>	<u>Endlagerung:</u>
EWI (1984): 471	EWI (1984): 449
FICHTNER (1991): 820	FICHTNER (1991): 820
VDEW (1993): 1.000	VDEW (1993): 1.000

**Tabelle H-8: Kostenangaben zu verschiedenen Elementen der Entsorgung**

Tab. H-8 zeigt, daß bei der Direkten Endlagerung die Endlagerung die größten Kosten verursacht. Einen erheblichen Kostenbeitrag liefert - zumindest nach VEDW (1993) - auch die Konditionierung der Brennelemente.

Eine andere Sichtweise ermöglicht Tab. H-9, in der die jährlichen Kosten bzw. Stückkosten nach einzelnen Positionen aufgelistet sind.

Zwischenlager: Investitionskosten	5,53 Mio DM/a
Zwischenlager: Betriebskosten	49,79 Mio DM/a
Konditionierung (PKA Gorleben, 450 t SM/a Durchsatz)	600 DM/kg SM
Endlager: Betriebskosten (Gorleben u. Konrad)	131 Mio DM/a
Endlager: Investitionskosten (Gorleben u. Konrad)	92,96 Mio DM/a
Pollux-Behälter	1,5 Mio DM/Behälter
Castor V-19	2,266 Mio DM/Behälter
Castor HAW 20/28 C6	1,82 Mio DM/Behälter

**Tabelle H-9: Kostenansätze für wichtige Positionen bei der Entsorgung.**  
(Quelle: EWI 1995)

Auch die Zahlen in Tab. H-9 sind mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten, da sich die Kosten relativ schnell verändern können. Außerdem ist bei den Endlagerkosten das Endlager

Morsleben nicht berücksichtigt, bei dem nach BFS (1997) zwischen 1993 und 2000 allein schon Projekt- und Betriebskosten von 708 Mio DM anfallen. Noch 1991 wurden von DEBSKI (1991) allein für das Endlager Gorleben jährliche Betriebskosten von 120 Mio DM angegeben. Wodurch die Kostensenkung auf die von EWl (1995) genannte Zahl von 131 Mio DM/a (für zwei Endlager) hervorgerufen wird, ist unbekannt.

Allerdings liegen aktuelle Abschätzungen des BfS für die Investitionskosten bei der Endlagerung vor (BFS 1997). Danach werden sich die Investitionskosten bei Gorleben insgesamt auf 4.580 Mio DM belaufen (bis Ende 1996 1.731 Mio DM ausgegeben) und für Konrad auf insgesamt 2.675 Mio DM (bis Ende 1996 1.286 Mio DM ausgegeben). Hinzu kommen die oben genannten Kosten von Morsleben.

HENSING (1996) gibt eine weitere Zusammenstellung variabler und fixer Kosten bei der Entsorgung (s. Tab. H-10). Sie beruht auf der Annahme, daß die in der Bundesrepublik Deutschland laufenden Atomkraftwerke nach Inbetriebnahme jeweils 35 Jahre genutzt werden und kein Kraftwerksneubau mehr stattfindet. Weiterhin wird nach Auslaufen der Wiederaufarbeitungsverträge von einem Übergang auf die Direkte Endlagerung ausgegangen.

<b>Variable Kosten</b>		
HAW-Behälter (Castor HAW)	1,8 Mio. DM/Behälter	25 Kokillen/Behälter
BE-Zwischenlager-Behälter (Castor-Konzept)	2,5 Mio DM/Behälter	10 t SM/Behälter
BE-Endlagerbehälter (Pollux-Konzept)	1,5 Mio DM/Behälter	5 t SM/Behälter
Transporte	50 DM/kg SM, bei Einbringung Behälter in Zwischenlager	
Aufschlag WAH-Transporte	20% bezogen auf DM/kg U	
<b>Fixe Kosten</b>		
Investition Zwischenlager	155 Mio DM (je Lager)	Abschreibung 50 Jahre
Betrieb Zwischenlager	20 Mio DM/a (je Lager)	Betrieb 70 Jahre
Investition PKA	1.133 Mio DM	Abschreibung 50 Jahre
Betrieb PKA	40 Mio DM/a	Betrieb 70 Jahre
Investition Endlager (nur Gorleben)	4500 Mio DM	Abschreibung 50 Jahre
Betrieb Endlager (nur Gorleben)	82,3 Mio DM/a	Betrieb 70 Jahre

**Tab. H-10: Fixe und variable Kosten für Maßnahmen im Entsorgungsbereich.**  
(Quelle: HENSING 1996)

Ein Vergleich der Tab. H-9 und H-10 zeigt zum Teil deutliche Unterschiede in den Kosten für identische Leistungen/Leistungsblöcke (z.B. für Investitions- und Betriebskosten der Zwischenlagerung). Die Gründe hierfür liegen sicherlich in den gewählten verschiedenen Randbedingungen (z.B. Abschreibungs- und Betriebszeiten), möglicherweise aber auch in inkonsistenten Angaben über die bisherigen tatsächlichen Kosten. Allerdings lassen beide Tabellen erkennen, daß die Endlagerkosten bei der Direkten Endlagerung mit Sicherheit den größten Kostenblock darstellen.

In EWI (1995) und HENSING (1996) sind Sensitivitätsanalysen durchgeführt worden, mit denen gezeigt werden kann, wie die Ergebnisse der Rechnungen auf geänderte Kostenansätze reagieren. Dabei zeigt sich, daß bei den Pfaden Wiederaufarbeitung und Direkte Endlagerung die Endlagerkosten (Betriebskosten) immer den stärksten Einfluß auf die Gesamtkosten haben. Dahinter folgen (je nach gewähltem Szenario und Randbedingungen) bei der Direkten Endlagerung die Kosten der Konditionierung und der Zwischenlagerung.

Erhebliche Kostenreduktionen sind durch eine möglichst starke Verkürzung der Endlagerbetriebszeiten zu erreichen. Die dabei gewonnenen Kostenvorteile werden durch eine dadurch notwendige Verlängerung der Zwischenlagerzeiten (und ggf. durch notwendige zusätzliche Zwischenlager) bei weitem nicht kompensiert. Im übrigen sind die Kosten der Endlagerung weitgehend unabhängig vom gewählten Entsorgungspfad (Wiederaufarbeitung oder Direkte Endlagerung), da hier weit überwiegend Fixkosten anfallen.

Diese von EWI (1995) und HENSING (1996) im Detail erarbeiteten Ergebnisse stützen entsprechende Ergebnisse einer früheren Untersuchung von GNS (1993). Danach können allein durch eine später beginnende (ab 2024 anstatt ab 2008) und gekürzte Betriebszeit des Endlagers Gorleben mehr als 3 Milliarden DM Betriebskosten eingespart werden. Die durch die spätere Inbetriebnahme des Endlagers anfallenden Kosten für die (zusätzliche) Zwischenlagerung könnten nach GNS (1993) rechnerisch aus den Zinsen der erst später anfallenden Investitionen für die Errichtung des Endlagers und den erst später auftretenden Betriebskosten finanziert werden. Die geplante Inbetriebnahme von Gorleben im Jahre 2008 wäre nach GNS (1993) nicht wirtschaftlich, da in den ersten Betriebsjahren meist nur ca. 10% der jährlichen Einlagerungskapazität genutzt werden könnte.

Zusätzlich ist nach GNS (1993) bei einem Verzicht auf Konrad und Einlagerung der für Konrad vorgesehenen Abfälle in Gorleben mit Kosteneinsparungen von rund einer Milliarde DM zu rechnen.

Die genannten Erkenntnisse weisen deutlich darauf hin, daß die parallele Errichtung und der gleichzeitige Betrieb der Endlager Gorleben und Konrad sowie der zusätzliche Betrieb von Morsleben (bis 2005 vorgesehen) erhebliche höhere Projekt- und Betriebskosten verursachen als der optimierte Betrieb eines zentralen Endlagers für alle Abfallarten. Dies gilt auch unter Berücksichtigung der dabei notwendigen erhöhten Zwischenlagerkapazität.

Zur Optimierung der Entsorgungskosten, speziell aber der Endlagerkosten, werden von verschiedener Seite (z.B. NMU 1996, HENSING 1996) internationale Lösungen (z.B. Endlagerung ausländischer Abfälle in der Bundesrepublik) diskutiert. Hierauf wird unter dem Aspekt „Internationalisierung der Endlagerung“ (s. Kap. H-2.5) näher eingegangen.

### **H-6.3 Mögliche Kosten eines Ausstiegs aus der Wiederaufarbeitung**

Die mit dem Artikelgesetz von 1994 geöffnete Option der Direkten Endlagerung (s. Kap. H-2.2) hat das Verhältnis zwischen deutschen EVU und den Anbietern von Wiederaufarbeitungsleistungen deutlich zugunsten der EVU beeinflußt. Hierbei ist zu unterscheiden zwi-

schen den sogenannten Altverträgen (vor 1989 abgeschlossen) und den Neuverträgen (nach 1989 abgeschlossen). Die Altverträge sind von untergeordneter Bedeutung, da sie zum größten Teil schon abgearbeitet sind und keinen Spielraum für Kündigung oder Vertragsveränderungen lassen. Der Ausstieg aus der Wiederaufarbeitung kann entweder die vollständige Kündigung von Neuverträgen bedeuten (dies ist die bisher gegenüber BNFL in England verfolgte Linie), oder eine Veränderung der Verträge, wie sie mit COGEMA in Frankreich vereinbart wurde. Letzteres bietet die Möglichkeit, bereits abgelieferte Brennelemente in La Hague zwischenzulagern. Nach Berechnungen von 1993 betragen die Zwischenlagerkosten einschließlich der notwendigen Transporte in den zentralen deutschen Zwischenlagern Ahaus und Gorleben etwa 80% der Kosten in La Hague und Sellafield. Der Preisunterschied hat sich durch die mit der COGEMA vereinbarten Vertragsänderung noch etwas verringert (HIBBS 1996).

Die Neuverträge deutscher EVU mit den Anbietern von Wiederaufarbeitungsleistungen sehen die Möglichkeiten einer Vertragskündigung gegen Zahlung einer Pönale vor. Die Pönale ist ein Prozentsatz der noch ausstehenden Zahlungen für die kontrahierten Mengen. Dieser Prozentsatz steigt jährlich an, d.h. je später die Vertragskündigung erfolgt, umso höher ist die Pönale. Daraus erwächst für die EVU prinzipiell der Anreiz, möglichst frühzeitig zu kündigen.

EWI (1995) macht Angaben zu den Kosten, die für ein Modellkraftwerk (1.300 MWe, 35 Jahre Betriebszeit) entstehen, wenn durch Kündigung der Wiederaufarbeitungsneuverträge die Pönalen der COGEMA zugrunde gelegt werden. Danach beläuft sich die Pönale bei Kündigung 1994 auf ca. 0,72 Pf/kWh, bei Kündigung 1997 auf ca. 0,77 Pf/kWh, bei Kündigung 1998 auf ca. 0,78 Pf/kWh und bei Kündigung 1999 auf ca. 0,79 Pf/kWh.

EWI (1995) hat ein beispielhaftes Szenario betrachtet: Das Modell-Kernkraftwerk kündigt 1994 den Wiederaufarbeitungsvertrag und entscheidet sich für die Direkte Endlagerung mit der Notwendigkeit einer längeren Zwischenlagerung. Das Endlager Konrad ist ab 1998 in Betrieb, und Gorleben geht 2030 in Betrieb (mit verkürzter Einlagerungszeit bis 2050). Dies führt dann insgesamt zu erheblichen Kostenreduktionen trotz des erhöhten Bedarfs an Zwischenlagerkapazität (jährliche Ersparnis für das Modellkraftwerk ca. 9,5 Mio DM). Wird mit allen deutschen Atomkraftwerken entsprechend verfahren, ergeben sich nach EWI (1995) ohne Berücksichtigung der Zinsvorteile über den gesamten Brennstoffkreislauf Kosten von 1,39 Pf/kWh. Diese liegen deutlich unter den entsprechenden Kosten des Wiederaufarbeitungspfades (1,63 - 1,83 Pf/kWh, vgl. Tab. H-7). Die langfristige Zwischenlagerung wird noch lukrativer, wenn der Zinsvorteil quantifiziert wird.

Im Ergebnis ist festzuhalten, daß bei Kündigung der WAH-Neuverträge und das Einschwenken auf die Direkte Endlagerung trotz der Pönale immer noch ein Kostenvorteil gewahrt bleibt.

#### **H-6.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Sicherheit**

Bei allen ausgewerteten Studien zu Kosten- bzw. Wirtschaftlichkeitsfragen der Entsorgung werden Sicherheitsaspekte nicht berücksichtigt. Dies ist vor dem Hintergrund der Zielset-

zung dieser Studien nachvollziehbar. Das Ausklammern von Sicherheitsfragen führt allerdings zu einer Einengung der tatsächlichen Bedeutung dieser Studien, da die alleinige ökonomische Betrachtungsweise mit ihren Ergebnissen quasi im „luftleeren Raum“ hängt. Dies ist den Bearbeitern entsprechender Studien bewußt. So wird beispielsweise in EW1 (1995, S. 1) darauf hingewiesen, daß die ökonomische Betrachtung der Entsorgung und die Interpretation ihrer Ergebnisse ohne Berücksichtigung der Rahmenbedingungen nicht sinnvoll ist, da Politik und Technik in diesem Bereich die Ökonomie dominieren.

Geht man von dem Grundsatz aus, daß bei der Atomenergienutzung der Sicherheit Vorrang vor Kostenbetrachtungen eingeräumt werden muß, dann treten die immanenten Schwächen der Studien zutage: Es werden Entsorgungsanlagen betrachtet und bewertet, die aus Sicherheitsgründen eigentlich nicht realisiert bzw. genutzt werden sollten. Wichtige Beispiele hierfür sind die Endlager Gorleben und Morsleben, an deren Eignung erhebliche Zweifel bestehen (s. Kap. H-5.6.2 und H-5.6.4) sowie die Wiederaufarbeitung, deren allein schon im Normalbetrieb abgegebenen Emissionen radioaktiver Stoffe nicht tragbar sind.

Jenseits dieses grundsätzlichen Aspekts liegt der Wert der rein ökonomischen Betrachtungen jedoch darin, daß sie eines von mehreren Kriterien verfügbar machen („Kosten-kriterium“), mit deren Hilfe verschiedene Entsorgungspfade vergleichend miteinander bewertet werden können bzw. einzelne Entsorgungsschritte kostenmäßig optimiert werden können. In diesem Sinne liefern die Kosten- bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wichtige Hinweise (nicht nur für Steuerzahler und Stromkunden) dafür, welche Entsorgungspfade bzw. welche Ausgestaltung einzelner Entsorgungsschritte bei einem Ausstieg aus der Atomenergienutzung vorteilhaft sind. Von diesen Hinweisen darf jedoch nur dann Gebrauch gemacht werden, wenn die vorrangigen Sicherheitsinteressen nicht berührt werden. In der vorliegenden Studie wird dieser Grundsatz bei der Ableitung von Empfehlungen konsequent angewandt.

## **H-6.5 Folgerungen aus Wirtschaftlichkeits- bzw. Kostenbetrachtungen**

Aus den vorherigen Kapitel lassen sich im Zusammenhang mit Sicherheitsaspekten zumindest folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Die mit dem Ausstieg aus der Atomenergienutzung notwendigerweise verbundene Direkte Endlagerung ist zweifellos kostengünstiger als die Wiederaufarbeitung. Hieraus ergibt sich - gerade auch in Zusammenhang mit Sicherheitsaspekten, vgl. Kap. H-4.3.1.4 - die Forderung nach schnellstmöglicher Aufgabe der Wiederaufarbeitung. Diese Schlußfolgerung gilt auch bei erheblichen zukünftigen Senkungen der Wiederaufarbeitungskosten sowie zu zahlender Pönale (s. Kap. H-6.3).
- Alle Kostenrechnungen und Sensitivitätsbetrachtungen zeigen, daß bei der Entsorgung die Endlagerung den größten Kostenblock darstellt. Eine Kostenminimierung läßt sich erreichen, indem sämtliche Abfälle in einem zentralen Endlager eingelagert werden. Eine zusätzliche Kostenoptimierung läßt sich durch die geschickte Festlegung des Betriebsbeginns und der Betriebsdauer des Endlagers erreichen (s. Kap. H-6.2). Auch hier ist festzustellen, daß die aus Kostengründen sinnvolle Konzentration auf ein Endlager

mit dem aus Sicherheitsgründen zu fordernden zentralen Endlager (s. Kap. H-5.1) zusammenfällt.

- Konditionierung und Zwischenlagerung bilden ebenfalls erhebliche Kostenblöcke bei der Entsorgung. Bei der Konditionierungsanlage hängen die tatsächlichen Betriebskosten stark vom jährlichen Durchsatz ab. Eine aus technischen Gründen mögliche Aufgabe der zentralen Konditionierungsanlage in Gorleben würde zu einer erheblichen Kosteneinsparung führen, die durch die Kosten der dezentralen Konditionierung (s. Kap. H-4.3.3) mit großer Wahrscheinlichkeit nicht kompensiert würde (außerdem Kostenvorteil durch weniger Transporte). Eventuell notwendige zusätzliche Zwischenlagerkapazitäten könnten durch eine Optimierung der Endlagerbetriebskosten problemlos finanziert werden (s. Kap. H-6.2).

Insgesamt bleibt festzustellen, daß die Kosten- bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen trotz ihrer notgedrungenen Unsicherheiten und ihrer Nichtberücksichtigung von Sicherheitsaspekten deutliche Hinweise darauf geben, wie die Entsorgung im Rahmen des Ausstiegs auch kostengünstiger realisiert werden kann. Insbesondere decken sich entsprechende Schlußfolgerungen weitgehend mit denen, die aus Sicherheitsbetrachtungen abgeleitet werden müssen (z.B. Aufgabe Wiederaufarbeitung, ein zentrales Endlager).

## H-7 Die Entsorgung radioaktiver Abfälle in ausgewählten Ländern

### H-7.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Im folgenden werden Vorgehensweise und Stand bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle in ausgewählten Ländern dargestellt. Ziel dieser Darstellung ist es, Unterschiede und Gemeinsamkeiten gegenüber der Vorgehensweise in Deutschland zu identifizieren. Dabei sind die länderspezifischen Merkmale herauszuarbeiten, die in Hinblick auf mögliche Handlungsoptionen in Deutschland von Interesse sein können. Die Darstellung der Entsorgungssituation in den verschiedenen Ländern konzentriert sich der Übersichtlichkeit wegen auf die wesentlichen Aspekte. Behandelt wird in erster Linie der Umgang mit abgebrannten Brennelementen bzw. hochradioaktiven Abfällen. Auf gering wärmeentwickelnde Abfälle sowie Abfälle, die aus der militärischen Atomenergienutzung stammen, wird nur randlich eingegangen.

Ausgewählt werden folgende Länder:

- Frankreich: Großes Atomprogramm mit Wiederaufarbeitung, Endlagerung in anderen Wirtsgesteinen als in Deutschland, z.T. oberflächennahe Endlagerung.
- Kanada: Endlagerkonzept auf kristalline Gesteine zugeschnitten.
- USA: Großes Atomprogramm ohne Wiederaufarbeitung, Endlagerung in anderen Wirtsgestein als in Deutschland, Diskussion der Rückholbarkeit.
- Schweiz: Relativ kleines Atomprogramm.
- Niederlande: Kleines Atomprogramm, setzen auf kontrollierte Langzeitlagerung.

### H-7.2 Frankreich

#### Allgemeines

In Frankreich waren 1997 insgesamt 55 Kernkraftwerksblöcke mit einer Gesamtleistung von 60.880 MWe in Betrieb. Der Anteil von Strom aus Kernenergie an der Gesamtstromerzeugung liegt bei rund 77% (1996). Im Jahre 2000 sollen zwei weitere Blöcke in Betrieb gehen.

In Frankreich war die Abtrennung von Plutonium zu militärischen Zwecken auch sehr früh für die zivile Atomkraftnutzung in der Diskussion. Gemeinsam mit dem Programm zum Bau von Schnellen Brütern wurde die Technologie fortentwickelt. Die Entwicklung dieser Reaktorlinie kam jedoch nur sehr langsam voran, so daß das abgetrennte Plutonium nur in geringem Umfang verwendet werden konnte. Die wachsenden Lagerbestände führten 1985 zu dem Entschluß, Plutonium auch in Leichtwasserreaktoren (LWR) gemeinsam mit Uran als Mischoxid (MOX) einzusetzen.

Die Wiederaufarbeitung wurde der wichtigste Weg zur Entsorgung der französischen Kernkraftwerke. Allerdings war dies nicht gesetzlich vorgeschrieben, so daß immer nur der größere Teil der angefallenen Brennelemente diesen Weg ging. Bereits in den 70er Jahren wurde die Wiederaufarbeitung als Dienstleistung auch im Ausland angeboten. Unter anderen nahmen Japan, die Bundesrepublik Deutschland und Italien dieses Angebot wahr.

**Wiederaufarbeitung**

Die erste kommerziell betriebene Wiederaufarbeitungsanlage wurde 1958 in Marcoule gebaut. Sie wurde 1997 stillgelegt. In La Hague ist heute die mit einem Gesamtjahresdurchsatz von 1.600 tSM größte Wiederaufarbeitungsanlage der Welt in Betrieb. In der Anlage in La Hague wurde praktisch von Beginn an auch ausländischer Kernbrennstoff wiederaufgearbeitet. Von den beiden Prozeßeinheiten der Anlage arbeitet eine seit ihrer Inbetriebnahme 1990 ausschließlich nicht in Frankreich eingesetzten Kernbrennstoff wieder auf. Von den gegenwärtig in Frankreich jährlich anfallenden ca. 1.200 tSM in Brennelementen sind ca. 850 t zur Wiederaufarbeitung vorgesehen.

Zur Herstellung von Brennelementen für schnelle Brüter und später für LWR wurde zunächst eine Brennelementfabrik in Cadarache in Betrieb genommen. Diese Fabrik hat eine Jahreskapazität von 35-40 tSM und stellt seit 1997 fast ausschließlich Brennelemente für Reaktoren in der Bundesrepublik her. Als zweite MOX-Brennelementfabrik ging 1994 die Melox-Anlage in Betrieb. Sie besitzt eine Kapazität von 115 tSM pro Jahr. Bisher werden in ihr nur Brennelemente für französische Reaktoren hergestellt. Nach einer geplanten Kapazitätserweiterung soll aber auch dort für das Ausland produziert werden. Im Jahr 1997 hat sich allerdings die französische Regierung dagegen ausgesprochen.

Der Einsatz von MOX-Brennelementen ist in Frankreich für 16 Reaktoren zugelassen (1997). Der maximal erlaubte MOX-Brennelementanteil im Reaktorkern beträgt ca. 30%, und der Plutoniumanteil in einem Brennelement darf höchstens 7,5% betragen.

**Zwischenlagerung**

In Frankreich wird sowohl nasse als auch trockene Zwischenlagerung von Brennelementen betrieben.

Naßlager befinden sich an den Reaktorstandorten und den Wiederaufarbeitungsanlagen. In La Hague befindet sich der größte Zwischenlagerkomplex der Welt mit einer Kapazität von 14.400 tSM in Lagerbecken.

Die trockene Zwischenlagerung wird in der Betonbunkeranlage CASCADE in Cadarache durchgeführt. Die Brennelemente werden an den Reaktorstandorten in dünnwandige Metallbehälter geladen, die inertisiert und dicht verschlossen werden. Diese Metallbehälter werden dann in Transportbehältern zum Zwischenlager transportiert und dort entladen. Die Metallbehälter werden in ebenfalls dicht verschlossenen Rohren mehrfach gestapelt gelagert. 319 dieser von oben zu beladenen Rohre sind von einem Betonbunker umgeben, der mittels natürlicher Konvektion von Luft durchströmt wird. Mit dieser Luft wird die von den Brennelementen abgegebene Nachzerfallswärme abgeführt. Die maximale Lagerzeit soll 50 Jahre betragen. Die Lagerkapazität der Anlage beträgt einige 100 tSM.

Nach dem gleichen Prinzip werden auch die HAW-Kokillen in den Wiederaufarbeitungsanlagen Marcoule und La Hague zwischengelagert. Dabei werden jeweils etwa 10 Kokillen in einer „Grube“ übereinander gestapelt.

Für neue Anlagen dieser Art soll es auch möglich sein, die Brennelemente erst im Zwischenlager in einen Metallbehälter einzubringen.

### **Konditionierung**

Sollten die in CASCADE zwischengelagerten Brennelemente nicht doch noch wiederaufgearbeitet werden, müssen sie für die Endlagerung konditioniert werden. Es liegen keine Informationen darüber vor, ob hierzu die dünnwandigen Metallbehälter wieder geöffnet werden.

### **Endlagerung**

#### Zuständigkeiten und organisatorische Verhältnisse bei der Endlagerung:

Bereits 1945 wurde das Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), die staatliche Atomenergiekommission, gegründet. Für das Management der Wiederaufarbeitung entstand 1975 als Ableger der CEA die Compagnie Générale des Matières Nucléaires (COGEMA). Im Jahre 1979 schließlich wurde die Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) gegründet. Die ANDRA ist für Standortsuche, Bau und Betrieb von Endlagern zuständig und wird von der CEA beaufsichtigt.

Den wesentlichen gesetzlichen Rahmen für die Endlagerung bildet das am 30.12.1991 in Kraft getretene „Gesetz über die Behandlung radioaktiver Abfälle“ (Gesetz No. 91-1381). Dieses Gesetz fordert unter anderem, daß der Regierung und dem Parlament bis spätestens 2006 eine Bewertung folgender Abfallbehandlungs- bzw. -beseitigungsmöglichkeiten vorgelegt wird (ANDRA 1997):

- Möglichkeiten der Transmutation,
- Möglichkeit der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen unter Berücksichtigung der rückholbaren Endlagerung,
- Möglichkeit der (Langzeit-)Lagerung radioaktiver Abfälle an der Erdoberfläche.

Mit dem Gesetz vom 30.12.1991 erhielt die ANDRA den Status einer „staatlichen Gesellschaft“, die den Ministerien für Umwelt, Industrie und Forschung untersteht. Gleichzeitig wurde die ANDRA mit der Aufgabe betraut, innerhalb von 15 Jahren (bis spätestens 2006) ein Endlagerkonzept vorzuschlagen und anhand von Untersuchungen in mindestens zwei „Untertagelaboratorien“ einen geeigneten Endlagerstandort vorzuschlagen (beabsichtigt ist, daß eines der Untertagelaboratorien bei Eignung als Endlager ausgebaut wird).

#### Endlagerkonzept:

Für hoch- und mittelradioaktive Abfälle ist die Endlagerung in einem speziell zu errichtenden Endlagerbergwerk in tief liegenden Gesteinsschichten vorgesehen. Die Sicherheit der Endlagerung soll durch drei Barrieren gewährleistet werden: (1) Die Matrix, in der die radioaktiven Stoffe eingebunden sind (z.B. Glas für HAW) sowie die Endlagerbehälter selbst, (2) die geotechnische Barriere (v.a. das Material, mit dem die verbleibenden Resthohlräume des Endlagers verfüllt werden sollen) und schließlich (3) die geologische Barriere, der für die Langzeitsicherheit entscheidende Bedeutung zugemessen wird.

Als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme wird die Möglichkeit der Rückholbarkeit der Abfälle aus dem Endlager angesehen. Diese Möglichkeit soll in den geplanten Untertagelabors gleichfalls untersucht werden. Dabei werden drei verschiedene Niveaus der Rückholbarkeit unterschieden: (1) Zugänglichkeit der Einlagerungskammern noch gegeben, (2) Einlagerungskammern bereits vollständig verfüllt und (3) Endlagerbergwerk vollständig verfüllt.

Allerdings werden in den von der ANDRA (1996) vorgelegten Antragsunterlagen für das „Untertagelabor Ost“ wesentliche konzeptionelle Fragen der Rückholbarkeit nicht behandelt (z.B.: wie lange soll die Rückholbarkeit möglich sein? Anhand welcher Kriterien wird entschieden, wann Abfälle zurückgeholt werden? Woran wird beurteilt, ob das Konzept der Rückholbarkeit tatsächlich weiterverfolgt wird).

Schwach- und Mittelaktive Abfälle, deren Radionuklide eine Halbwertszeit von unter 30 Jahren aufweisen, werden in Frankreich an der Erdoberfläche endgelagert. Ein entsprechendes Endlager (Centre du Stockage de la Manche) wurde bereits 1969 bei der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague in Betrieb genommen. Es wurde 1994 nach Einlagerung von ca. 485.000 m<sup>3</sup> Abfall geschlossen. 1992 wurde ein neues oberflächennahes Endlager mit einer Kapazität von ca. einer Million m<sup>3</sup> in Betrieb genommen (Centre du Stockage de l'Aube). Die beiden Endlager müssen bis 300 Jahre nach Betriebsende überwacht werden.

#### Standortsuche:

In einem ersten Suchverfahren wurden ab 1983 Bereiche mit homogenen und gering wasserundurchlässigen Schichten in tektonisch möglichst stabilen Gebieten gesucht. 1986 wurden dann von ANDRA vier potentielle Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen vorgeschlagen:

- Tonformation im Departement Aisne,
- flachlagernde Salzformation im Departement Ain,
- Granitformation im Departement Deux-Sèvres,
- Tonschieferformation im Departement Maine-et-Loire.

Die Auswahl der Standorte ist von der ANDRA ohne jegliche Konsultation der betroffenen Gebietskörperschaften vorgenommen worden. An allen Standorten entwickelte sich erheblicher Widerstand, der 1989 schließlich dazu führte, daß die Untersuchungsarbeiten (Bohrungen u.ä.) an allen Standorten abgebrochen wurden. Daraufhin erklärte der damalige französische Premierminister ein Moratorium für alle Standorte, und er forderte eine Überprüfung des Endlagerprogramms. Die Verabschiedung des „Gesetzes über die Behandlung radioaktiver Abfälle“ vom 30.12.1991 (s.o.) ist eine direkte Folge dieser Vorgänge.

Im Jahre 1992 wurde ein neues Suchverfahren begonnen. Dabei wurden auf der Grundlage der Informationen des ersten Suchverfahrens aus über 30 potentiellen Standortbereichen vier potentielle Standortbereiche ausgesucht. Bei der Standortauswahl wurde diesmal darauf geachtet, daß auch politische Akzeptanz an den Standortbereichen gegeben ist. Folgende vier Standortbereiche wurden schließlich 1994 vorgeschlagen:

- Tonformation bei Marcoule im Departement Gard,
- Granitformation bei La Chappelle-Baton im Departement Vienne,
- Tonschieferformation bei Bure im Departement Meuse,
- Tonschieferformation im Departement Haute-Marne.

Ab 1994 wurden an allen vier Standortbereichen geologische Vorarbeiten durchgeführt. Ziel ist die Errichtung von mindestens zwei Untertagelabors. 1995 wurden die beiden Standortbereiche der benachbarten Departements Meuse und Haute-Marne zum Standort „Ost“ zusammengelegt, so daß insgesamt noch drei Standortbereiche übrig bleiben.

Auf der Grundlage der durchgeführten standortspezifischen Arbeiten legte die ANDRA 1995 und 1996 Berichte vor, in denen die potentielle Eignung der drei Standortbereiche dargelegt wurde. 1996 wurden schließlich von ANDRA die Genehmigungsanträge für den Bau der Untertagelabors eingereicht.

In den betroffenen Departements Gard, Vienne und Meuse wurden 1997 öffentliche Anhörungen über die an den Standorten Marcoule, Bure und/oder Chappelle-Baton zu errichtenden Untertagelabors begonnen. Die Bevölkerung kann die von der ANDRA eingereichten Antragsunterlagen einsehen und Stellungnahmen dazu abgeben. Diese Stellungnahmen müssen bei der Entscheidung den zuständigen Ministerien für Umwelt, Industrie und Forschung über die letztendlichen Standorte der Untertagelabors berücksichtigt werden. Diese Entscheidung wird noch für 1998 erwartet.

Von den drei Standortbereichen wird die Tonschieferformation des Standortes „Ost“ durch die ANDRA offensichtlich bevorzugt. Jedenfalls haben sich die lokalen Behörden für die Einrichtung des Untertagelabors ausgesprochen (gleiches gilt für den Standort im Departement Vienne). Den Departements, in denen Untertagelabors eingerichtet werden, fließen erhebliche Geldmittel zu (ca. 18 Mio. DM/a).

Bis spätestens 2006 muß die ANDRA nachweisen, daß eines der geplanten Untertagelabors als Endlager geeignet ist. Falls dies gelingt, wird das entsprechende Untertagelabor als Endlager ausgebaut. Ob der Zeitplan eingehalten werden kann, ist fraglich. Inzwischen sind erhebliche Zweifel am Konzept der ANDRA bekanntgeworden (WISE 1997a).

#### Schutzziele:

Die bei der Endlagerung zu beachtenden Schutzziele sind in der „Règle fondamentale de sûreté No. III.2.f.“ festgelegt. Danach darf auch langfristig aus dem Endlager resultierende maximale Individualdosis 0,25 mSv/a nicht überschritten werden. Als Schutzgut wird nur der Mensch betrachtet.

#### Nachweis der Langzeitsicherheit:

In der Règle fondamentale de sûreté No. III.2.f. werden allgemeine Anforderungen definiert, die in jedem Fall zu erfüllen sind. Dazu gehört der Nachweis der dauerhaften Stabilität des Wirtsgesteinskörpers, der Nachweis von die Radionuklidenausbreitung behindernden geochemischen Verhältnissen, die Anforderung nach ausreichender Tiefenlage des Endlagers (mindestens 200 m), das Fehlen nutzbarer Rohstoffe u.ä. Die entsprechenden Nachweise sind durch standortspezifische Untersuchungen zu erbringen. Der Nachweis der Einhaltung des Schutzzieles wird mittels einer Sicherheitsanalyse (Modellierung der Radionuklidenausbreitung) erbracht. Dazu sind verschiedene Szenarien zu entwickeln (ein wahrscheinliches „Normalszenario“ sowie nicht ausschließbare weitere Szenarien, z.B. unter Berücksichtigung von human intrusion). Nach gegenwärtigem Kenntnisstand wird bei der Modellierung deterministisch vorgegangen (zumindest ist die ANDRA bisher so vorgegangen). Hinsichtlich der zu betrachtenden Zeithorizonte gilt:

- bis 500 Jahre: institutionelle Kontrolle des Endlagers soll möglich sein (Existenz des Endlagers wird für diesen Zeitraum als bekannt vorausgesetzt).
- bis ca. 10.000 Jahre: quantitativer Nachweis, daß das Schutzziel erreicht wird.
- Zeit > 10.000 Jahre: eine eher qualitative Abschätzung der Wirksamkeit der Barrieren.

## **Vergleich mit der deutschen Vorgehensweise bei der Entsorgung**

### **Übertägige Entsorgung**

Frankreich und die Bundesrepublik haben bis Anfang der 90er Jahre ein ähnliches übertägiges Entsorgungskonzept mit Wiederaufarbeitung des größten Teils der angefallenen Brennelemente verfolgt. Der Hauptunterschied war die Technologie für die trockene Zwischenlagerung von Brennelementen und HAW-Kokillen. Da in der Bundesrepublik zukünftig die direkte Endlagerung als Entsorgungsstrategie eingesetzt wird und Teilbereiche wie die endlagerfähige Konditionierung von Brennelementen und HAW-Kokillen in Frankreich noch nicht sehr weit entwickelt sind, können für den Umgang mit bestrahlten Brennelementen in der Bundesrepublik aus dem französischen Vorgehen keine Schlüsse gezogen werden.

### **Endlagerung**

#### Unterschiede:

- Durchführung eines Standortsuchverfahrens,
- Vergleichende Untersuchung mehrerer potentieller Standorte (mindestens zwei Untertage-labors),
- Berücksichtigung verschiedener Gesteinstypen als potentielles Wirtsgestein,
- Schärfere Schutzziele als in Deutschland,
- Rückholbarkeit wird als eine Möglichkeit angesehen,
- Oberflächennahe Endlager für Abfälle mit relativ kurzer Halbwertszeit.

Festzuhalten ist vor allem die vergleichende untertägige Untersuchung mehrerer potentieller Standorte sowie die Anwendung eines schärferen Schutzzieles als in Deutschland.

#### Gemeinsamkeit:

- Sicherheitsanalyse (Modellierung) als Methode zum Nachweis der Langzeitsicherheit.

## **H-7.3 Kanada**

### **Allgemeines**

Bis 1997 waren in Kanada 22 Kernkraftwerksblöcke (CANDU-Reaktoren) mit einer Gesamtleistung von 15.860 MWe in Betrieb. Der Anteil von Strom aus Kernenergie an der Gesamtstromerzeugung lag bei rund 19% (1995). Die weit überwiegende Mehrzahl der Reaktoren liegt in der Provinz Ontario. 1997 wurden sieben Blöcke abgeschaltet, von denen wenigstens zwei mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr in Betrieb gehen werden.

**Entsorgungskonzept**

In Kanada wurde seit Beginn des Atomprogrammes die Direkte Endlagerung verfolgt, Wiederaufarbeitung spielt also keine Rolle. Das übertägige Entsorgungskonzept beinhaltet die Zwischenlagerung am Reaktorstandort (dezentrale Zwischenlagerung) unter Verantwortung der Kraftwerksbetreiber, bis ein Endlager in geologischen Formationen betriebsbereit ist.

Am 31.12.1995 lag der Bestand an abgebrannten Brennelementen bei 1.144 Millionen Stück (entsprechend 22.145 t SM), von denen sich 1.087 Millionen in NaBlagern und 0,057 Millionen in Trockenlagern befinden (ATW 1996).

**Zwischenlagerung**

Die Zwischenlagerung der Brennelemente erfolgt zunächst in den Lagerbecken der Reaktoren. Nach einer gewissen Abklingzeit werden die Brennelemente in eine trockene Lagerung überführt. In Kanada wurde bereits 1970 mit der Entwicklung von Trockenlagerkonzepten begonnen. Es war eines der ersten Länder, in dem bestrahlte Brennelemente trocken zwischengelagert wurden. Es werden drei Konzepte eingesetzt: Das älteste Konzept beinhaltet die Lagerung in ortsfesten zylindrischen Betonbehältern. Die Wärmeabfuhr wird über Liner an die Luft gewährleistet. Die Brennelemente werden im Lagerbecken in einen geschlossenen Stahlkorb geladen, dessen Deckel angeschweißt wird. Mehrere dieser Körbe werden übereinander in den Betonbehälter gestapelt. Diese Stahlkörbe werden auch für die Betonsilolagerung eingesetzt. Die Körbe werden von oben in Führungsrohre in die Silos eingebracht. Die Wärmeabfuhr erfolgt durch natürlichen Luftzug, der durch Zu- und Abluftöffnungen entsteht. Das dritte Lagerkonzept ist der dual purpose Dry Storage Container (DSC). Die zwei Anwendungen sind die Zwischenlagerung und der Transport. Der Behälter besitzt einen Grundkörper aus Beton, der innen und außen einen Stahlmantel trägt. Die Brennelemente werden mit ihren Lagergestellen im Lagerbecken in den Behälter geladen. Nach der Entwässerung des Behälters wird der Deckel, ebenfalls Betonkörper mit Stahlmantel, aufgeschweißt. Der DSC wird dann in einer Halle gelagert. Die Hallenatmosphäre wird auf Gamma-Strahler überwacht.

Im Jahr 1994 lagerten über 700 tSM in Trockenlagern an 6 Standorten. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Betonbehälterlagerung. Ein Zwischenlager für DSC mit einer Kapazität von 5.100 tSM war 1994 in Bau und ein Betonsilolager mit 240 tSM geplant.

**Konditionierung**

Die Brennelemente sollen in Kanada für die endlagerfähige Konditionierung nicht zerlegt werden. Ursprünglich war vorgesehen, sie einzeln in Titan-Behältern einzubringen und diese in Bohrlöchern endzulagern. Dieses Konzept wurde Mitte der 90er Jahre revidiert. Nunmehr ist geplant mehrere Brennelemente in Kupfer-Behälter einzubringen, die eine Standzeit von mehreren 10.000 Jahren besitzen sollen. Der gegenwärtig konzipierte Endlagerbehälter aus Kupfer soll nach Beladung mit den Brennelementen entweder mit einem Material verfüllt oder mit einem inneren Stahlmantel versehen sein. Diese Maßnahmen dienen hauptsächlich der mechanischen Stabilität des Behälters.

## Endlagerung

### Zuständigkeiten und organisatorische Verhältnisse bei der Endlagerung:

Im Jahre 1978 kündigten die kanadische Bundesregierung und die Provinzregierung von Ontario ein Programm zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im tiefen geologischen Untergrund an. Dabei wurde der 1951 gegründeten AECL (Atomic Energy of Canada Ltd.) die Verantwortung für die Endlagerung zugesprochen (darüber hinaus baut und vermarktet AECL die CANDU-Reaktoren). AECL gehört dem kanadischen Staat. Aufsichtsbehörde im Bereich der Kernenergie ist AECB (Atomic Energy Control Board), eine Behörde der kanadischen Bundesregierung.

### Verlauf der Endlagerdiskussion:

Ab 1978 arbeitet die zuständige AECL an einem Endlagerkonzept. Die Bundesregierung sowie die Provinzregierung von Ontario beschlossen 1981, dieses Endlagerkonzept einer umfangreichen Prüfung zu unterziehen. Zusätzlich wurde festgelegt, daß keine Standortauswahl für ein Endlager stattfinden darf, bevor nicht eine Überprüfung des Endlagerkonzepts durch die Öffentlichkeit stattgefunden hat und bevor nicht das Konzept durch beide Regierungen akzeptiert worden ist.

Zu diesem Zweck wurde 1989 vom kanadischen Bundesumweltministerium ein Beratungsgremium berufen (Environmental Assessment Panel), das die von AECL vorgelegten (und im Verlaufe der Zeit überarbeiteten) Konzeptunterlagen prüfen und Empfehlungen für die Regierungen aussprechen sollte. Das endgültige Endlagerkonzept wurde von AECL schließlich 1994 vorgelegt. Zu dem Konzept gehörte auch die Bewertung der Langzeitsicherheit eines „hypothetischen“ Endlagers unter Berücksichtigung von Daten aus dem kanadischen Schild. Das Endlagerkonzept wurde von dem Beratungsgremium unter Hinzuziehung von 15 unabhängigen Wissenschaftlern geprüft. Zusätzlich wurden 1996 und 1997 unter Leitung des Beratungsgremiums 16 öffentliche Hearings in verschiedenen potentiell vom Endlager betroffenen Provinzen durchgeführt. Bei diesen jeweils mehrtägigen Hearings konnte jeder/jede Einwände, Anmerkungen u.ä. zu dem von AECL vorgelegten Endlagerkonzept vorbringen. Interessanterweise wurde noch während der Hearings von AECL eine Konzeptänderung vorgenommen, indem als Endlagerbehälter in Anlehnung an das schwedische Konzept jetzt auch Kupferbehälter (gegenüber ursprünglich reinen Stahlbehältern) vorgesehen waren. Als Konsequenz mußte auch eine Neubewertung der Langzeitsicherheit vorgenommen werden.

Unter Berücksichtigung der auf den Hearings vorgebrachten Anmerkungen sowie den Prüfergebnissen der dem Beratungsgremium unterstellten unabhängigen wissenschaftlichen Arbeitsgruppe kam das Beratungsgremium im März 1998 zu folgendem abschließenden Ergebnis:

- Vom technischen Standpunkt her gesehen ist das von AECL vorgelegten Endlagerkonzept ausreichend und prinzipiell umsetzbar.
- In der gegenwärtigen Form fehlt dem von AECL vorgelegte Konzept jedoch die notwendige Akzeptanz. Es kann deshalb nicht als Konzept für den Umgang mit radioaktiven Abfällen übernommen werden, da neben der technischen Sicherheit auch die gesellschaftliche bzw. „soziale“ Akzeptanz unbedingt erforderlich ist.

Das Beratungsgremium schlägt deshalb einen Katalog von Maßnahmen vor, zu denen unter anderem gehören:

- Entwicklung eines umfassenden Plans zur Beteiligung der Öffentlichkeit,
- Entwicklung und vergleichende Bewertung verschiedener Optionen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen,
- Durchführung einer öffentlichen Überprüfung der Genehmigungsstandards der AECS,
- Schaffung einer Institution zum Management der abgebrannten Brennelemente. Diese Institution soll den zukünftigen Prozess (Konzept-Akzeptanz, Projekt-Akzeptanz, Umsetzung der Planungen/Konzepte) steuern.

Zusätzlich wird empfohlen, daß auch weiterhin keine Endlagerstandortsuche stattfinden soll, bevor nicht die vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt und die erforderliche Akzeptanz für das Endlagerkonzept erreicht worden sind.

Die kanadische Bundesregierung hat jetzt drei Jahre Zeit, über die weitere Vorgehensweise zu entscheiden. Sie ist an die Empfehlungen ihres Beratungsgremiums jedoch nicht gebunden.

#### Endlagerkonzept:

Das von AECL vorgelegte kanadische Endlagerkonzept für abgebrannte Brennelemente beruht auf folgenden Grundlagen:

- Endlagerung in tiefen geologischen Schichten (kristalline Gesteine des kanadischen Schiltes, Tiefenlage des speziell zu errichtenden Endlagerbergwerks 500 - 1.000 m).
- Einlagerung der abgebrannten Brennelemente in Behältern, die mindestens 500 Jahre intakt bleiben, mit sehr großer Wahrscheinlichkeit aber deutlich länger (viele Jahrtausende bei Kupferbehältern).
- Jeder Abfallbehälter ist von stark rückhaltefähigem Material (z.B. Bentonit) umgeben.
- Der Zutritt von Grundwasser (Transportmittel für Radionuklide) in das Endlagerbergwerk wird unterstellt.

Im kanadischen Konzept sind die künstlichen Barrieren im Verbund mit den hydro- bzw. geochemischen Verhältnissen des Endlagerstandorts von entscheidender Bedeutung: So soll die extreme Langlebigkeit der Abfallbehälter unter anderem dadurch gewährleistet werden, daß sie auf den langfristig zu erwartenden Grundwasserchemismus hin konzipiert werden (dadurch extrem geringe Korrosionsraten). Gleiches gilt für das rückhaltefähige Verfüllmaterial. Es soll auf spezifische Standortbedingungen hin zugeschnitten werden und so seine Rückhaltefähigkeit und geringe Durchlässigkeit langfristig behalten. Die geologische Barriere wird demgegenüber nur als zusätzliche Sicherung betrachtet, bei der im wesentlichen die Verdünnung von Radionukliden und lange Grundwasserlaufzeiten konzentrationsmindernd wirken sollen. Deshalb wird versucht, bei der Auswahl des Endlagerstandortes einen Bereich zu finden, der ein möglichst geringes hydraulisches Potential (langsame Grundwasserbewegung) aufweist. Eine weitere Hauptaufgabe der geologischen Barriere ist der Schutz des Endlagers vor natürlichen Ereignissen und menschlichem Eindringen.

Für die Endlagerung bestimmter Kategorien an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen wurde das IRUS-Konzept (Intrusion Resistant Underground Structure) entwickelt. Dabei sol-

len die Abfälle in stahlbewehrten Betoncontainern oberhalb des Grundwasserspiegels oberflächennah endgelagert werden.

Standortsuche, Zeitplan:

Wie unter dem Punkt „Verlauf der Endlagerdiskussion“ dargestellt (s.o.), darf die Standortsuche erst dann begonnen werden, wenn das Endlagerkonzept akzeptiert worden ist. Nach derzeitigen Planungen soll das Endlager ab etwa 2025 in Betrieb gehen (Betriebszeit ca. 40 Jahre).

Kosten:

Die Kostenschätzungen für das Endlager liegen zwischen 9 bis 14 Milliarden DM.

Schutzziele:

Die Schutzziele bei der Endlagerung sind von AECB (1987) festgelegt worden. Unter anderem wird gefordert:

- Die aus der Endlagerung stammenden Risiken für zukünftige Generationen dürfen nicht größer sein als Risiken, die derzeit akzeptiert werden.
- Das individuelle radiologische Risiko durch ein Endlager darf  $10^{-6}$  tödliche Krebserkrankungen oder schwere genetische Defekte pro Jahr nicht überschreiten. Das Risiko von  $10^{-6}$  pro Jahr (oder 1 in einer Million Fällen) entspricht in etwa einer Dosisbelastung von 0,05 mSv/a bzw. dem Risiko anderer Aktivitäten, die im täglichen Leben von Individuen als irrelevant angesehen werden.
- Die Endlagerung hat so zu geschehen, daß die zukünftige Nutzung natürlicher Ressourcen nicht durch radioaktive oder nichtradioaktive Kontaminationen verhindert wird.

Nachweis der Langzeitsicherheit:

Nach AECB (1987) ist der Nachweis der Langzeitsicherheit (ausgedrückt als individuelles Risiko, s.o.) mit Hilfe von Modellrechnungen zu erbringen. Die Modellierung braucht einen Zeitraum von größer 10.000 Jahren nicht abzudecken. Für den Fall, daß die berechneten Risiken ihr Maximum nicht innerhalb von 10.000 Jahren erreichen, müssen triftige Gründe dafür vorliegen, daß zu einem Zeitpunkt  $> 10.000$  Jahre die Radionuklidfreisetzung in die Umwelt nicht plötzlich und dramatisch ansteigt.

Bei der Modellierung können nach AECB (1987) deterministische und/oder probabilistische Ansätze angewendet werden. AECB (1987) gibt Hinweise, wie je nach gewähltem Ansatz das individuelle Risiko abzuleiten ist.

Die von AECL im Rahmen der Konzeptentwicklung für ein hypothetisches Endlager durchgeführte Langzeitsicherheitsanalyse beruht sowohl auf deterministischen als auch auf probabilistischen Ansätzen. Die Überprüfung dieser Sicherheitsanalyse durch die von der Bundesregierung berufene unabhängige Wissenschaftlergruppe hat deutliche Defizite hinsichtlich der durchgeführten Modellierung herausgearbeitet (SRG 1995).

## Vergleich mit der deutschen Vorgehensweise bei der Entsorgung

### Übertägige Entsorgung

In Kanada wurde die Zwischenlagerung von Beginn an dezentral konzipiert. Zu berücksichtigen ist dabei allerdings, daß sich zum Teil mehrere Kraftwerksblöcke an einem Standort befinden. Als Zwischenlagertechnologie wird in Zukunft überwiegend die Behälterlagerung eingesetzt werden. Die Behälter besitzen, wie in der Bundesrepublik, die Doppelfunktion für Zwischenlagerung und Transport. Die Brennelemente werden weder für die Zwischenlagerung zerlegt, noch ist dies bisher für die Endlagerkonditionierung vorgesehen.

### Endlagerung

#### Unterschiede:

Abgesehen vom schärferen Schutzziel bestehen die wesentlichen Unterschiede im konzeptionellen Ansatz sowie im Verfahrensablauf.

Der konzeptionelle Unterschied besteht darin, daß den künstlichen Barrieren (insbesondere Endlagerbehälter) im Zusammenspiel mit geo- bzw. hydrochemischen Verhältnissen sehr hohe Bedeutung für die Langzeitsicherheit zukommt, und die natürliche geologische Barriere nur einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor darstellt. Ungeachtet der bekannten Tatsache, daß bei der Endlagerung in kristallinen Gesteinen künstliche Barrieren generell von größerer Bedeutung sein müssen, weil der Zutritt von Grundwasser in das Endlager unvermeidlich ist, ist der kanadische Ansatz vor allem deswegen interessant, weil er durch eine Abstimmung zwischen den geo- bzw. hydrochemischen Verhältnissen und den künstlichen Barrieren langfristige Sicherheit erreichen will. Möglicherweise ergibt sich dadurch ein zusätzlicher positiver Effekt für den Nachweis der Langzeitsicherheit (zusätzliche Nachweismöglichkeiten jenseits der Modellierung der Radionuklidenausbreitung, z.B. durch hydro- und geochemische Nachweise).

Hinsichtlich des Verfahrensablaufs bietet die kanadische Vorgehensweise ungeachtet hier nicht näher zu erläuternder Unterschiede im Genehmigungsverfahren gleichfalls einen interessanten Ansatz mit folgenden denkbaren Vorteilen:

- Bevor das Verfahren mit einer Standortsuche und den unvermeidlich daraus resultierenden Problemen belastet wird, wird das Endlagerkonzept in seinen Grundsätzen ausführlich geprüft. Nachdem eine Übereinstimmung zu diesem Konzept herbeigeführt worden ist, kann die Standortsuche ohne „Grundsatzdiskussionen“ über das Konzept konzentriert durchgeführt werden.
- Es existiert eine von staatlichen Stellen unabhängige und nicht weisungsgebundene Prüfungskommission, die mit ausreichend Ressourcen ausgestattet das Betreiberkonzept überprüft. Zusätzlich nimmt diese Kommission die Anregungen der Bevölkerung auf und berücksichtigt sie bei ihren Empfehlungen. Ein solches tatsächlich unabhängiges Prüfverfahren unter weitestgehender Einbeziehung der Bevölkerung existiert in Deutschland nicht (das Beratungsgremium RSK ist aus den in Kap.H-2.3.3 genannten Gründen dazu nicht in der Lage; weiterhin sind zum Zeitpunkt des Erörterungstermines in Deutschland üblicherweise die grundsätzlichen Entscheidungen alle gefallen).

- Herstellung eines fachwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Konsenses über das Endlagerkonzept und die weitere Vorgehensweise. Insbesondere die Empfehlungen der Prüfungskommission zeigen, daß die zwingende Notwendigkeit eines offenen Verfahrensablaufs und die damit gekoppelte Möglichkeit, Akzeptanz zu erzielen, erkannt worden ist.

**Gemeinsamkeiten:**

Die wesentliche Gemeinsamkeit liegt darin, den Langzeitsicherheitsnachweis mittels Sicherheitsanalyse (Modellierung) zu führen. Hinzu tritt die Absicht, auf Rückholbarkeit zu verzichten.

**H-7.4 USA****Allgemeines**

Anfang 1998 waren in den USA 105 Reaktorblöcke in mit einer Gesamtleistung 102 GWe in Betrieb. Der Anteil von Strom aus Kernenergie an der Gesamtstromerzeugung liegt damit bei ca. 20%.

**Einteilung der radioaktiven Abfälle**

In den USA findet eine umfangreiche militärische und zivile Nutzung der Kernenergie statt. Die dabei anfallenden Abfälle werden in folgende Hauptabfallkategorien unterteilt:

- Leichtradioaktive Abfälle (Low Level Radioactive Waste - LLW) zivilen und militärischen Ursprungs mit vernachlässigbaren Gehalten an Transuranen und mit geringer Aktivität,
- Transuran-Abfälle (TRU-Abfälle) militärischer Herkunft mit alphahaltigen Radionukliden mit Halbwertszeiten >20 Jahre und Aktivitäten >100 nCi/g,
- Hochradioaktive Abfälle (High Level Radioactive Waste - HLW), wozu abgebrannte Brennelemente (Spent Nuclear Fuel - SNF oder SPNF) und hochaktive Abfälle aus der militärischen und der zivilen Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente gehören,
- bergbaubedingte radioaktive Abfälle, wie Abraum und Reste aus der Aufbereitung von Uranerzen (mill tailings), die auf den Bergbaugeländen lagern.

Für den Vergleich mit den Verhältnissen in Deutschland ist vor allem der Umgang mit den hochradioaktiven Abfällen aus der zivilen Nutzung der Kernenergie von Interesse. Sie stammen aus den Kernkraftwerken in den USA, nachgeordnet aus der ehemaligen kommerziellen Wiederaufarbeitungsanlage in West Valley (in Betrieb 1966-1972). Die Endlagerung militärischer Abfälle und von schwachaktiven Abfällen zivilen Ursprungs wird im folgenden nicht behandelt.

**Wiederaufarbeitung**

In den USA war ursprünglich die Wiederaufarbeitung aller in Reaktoren bestrahlten Kernbrennstoffe vorgesehen. Im Jahre 1977 wurde vom damaligen Präsidenten der USA vorläufig verfügt, die Wiederaufarbeitung für in kommerziellen Anlagen anfallende Brennelemente einzustellen und auch im Ausland auf einen Wiederaufbereitungsverzicht hinzuwirken. Damit sollte die Weiterverbreitung waffenfähigen Materials (Plutonium) soweit wie möglich

eingeschränkt werden. Waffenfähiges Material darf in den USA nur noch in militärisch genutzten und überwachten Anlagen gehandhabt werden. Die Entscheidung zur Aufgabe der zivilen Wiederaufarbeitung wurde 1982 vom Kongress bestätigt.

In der übertägigen Entsorgungsstrategie gab es in den USA somit bereits früh einen Wechsel von der Wiederaufarbeitung zur ausschließlichen Direkten Endlagerung mit vorheriger Zwischenlagerung der Brennelemente. Zu entsorgen sind lediglich die in West Valley angefallenen Wiederaufarbeitungsabfälle (s.o.: Einteilung der radioaktiven Abfälle).

### **Zwischenlagerung**

In den USA wurde die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente ursprünglich ausschließlich in Lagerbecken an den Reaktorstandorten durchgeführt. Ende 1997 wurden in den USA mehr als 32.000 tSM in Brennelementen zwischengelagert. Etwa  $\frac{3}{4}$  aller Brennelemente lagern in Naßlagern.

Mit der endgültigen Aufgabe der Wiederaufarbeitung zu Beginn der 80er Jahre wurde die langfristige oberirdische Zwischenlagerung an den Standorten unter Verantwortung der Kraftwerksbetreiber und die anschließende Endlagerung in einem in Verantwortung des zuständigen Ministeriums, Department of Energy (DOE), zu errichtenden zentralem Endlager als Entsorgungsstrategie festgelegt. Im Jahr 1987 wurden vom amerikanischen Kongress Eckpunkte für die Entsorgung hochaktiver Abfälle (einschl. Brennelemente) verabschiedet, die als zu untersuchender Standort für das Endlager Yucca Mountain bestimmte (s.u.) und als spätesten Zeitpunkt für die Übernahme der Brennelemente durch den Staat den 31.01.1998 nannten.

Aufgrund des aus damaliger Sicht großen Zeithorizontes bis zur geplanten Inbetriebnahme des Endlagers 1998 wurden zunächst die Kapazitäten an den Reaktorstandorten erhöht. Als die Inbetriebnahme des Endlagers in immer weitere Ferne rückte (1989 wurden von DOE 2010 genannt) und die Ausschöpfung der vorhandenen Lagerkapazitäten absehbar war, wurde nach Alternativen zur Naßlagerung für neu zu errichtende Kapazitäten gesucht. Die Betreiber in den USA entschieden sich für verschiedene Lagertechniken:

- Dickwandige Metallbehälter (Schmiedestahl oder Gußeisen), die ohne Gebäudeschutz auf Betonplatten gestellt werden,
- Metallbehälter, die jeweils in einem dickwandigen zylindrischen Betonbehälter gelagert werden, die ihrerseits vertikal ohne Gebäudeschutz auf Betonplatten gestellt werden. Die Nachzerfallswärme wird durch natürlichen Luftzug durch den Betonbehälter gewährleistet.
- Metallbehälter, die horizontal in Betonbunkern gelagert werden. Die Kühlung erfolgt durch Naturluftzug.
- Dünnwandige Metallbehälter, die in Bodenfächern eines Betonbunkers gelagert werden (nur für Graphitblock-Brennelemente).

Im Jahr 1997 waren an 10 Reaktorstandorten trockene Zwischenlager für Brennelemente in Betrieb. Bei sechs dieser Lager handelt es sich um Behälterlager.

Aufgrund der Verzögerungen bei den Forschungsprogrammen für ein Endlager für hochaktive Abfälle wurden Überlegungen in bezug auf ein zentrales Zwischenlager unter Regie des DOE reaktiviert. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand ist bisher jedoch noch kein Genehmi-

gungsverfahren eingeleitet. Betreiber von Atomkraftwerken, deren Zwischenlagerkapazität an den Reaktorstandorten weitgehend ausgeschöpft sind, versuchten 1997 das DOE gerichtlich zu zwingen, Brennelemente zur Zwischenlagerung bis zur Inbetriebnahme des Endlagers anzunehmen. Das Gericht lehnte dieses Ansinnen ab.

### **Konditionierung**

An einigen Standorten wurden in Demonstrationsanlagen Brennelemente konsolidiert, das heißt in Brennstäbe zerlegt und diese in Büchsen dichter zusammengepackt, als sie im ursprünglichen Brennelementverbund sind. Meist wurden Brennstäbe von zwei Brennelementen in eine Büchse verpackt. Die Konsolidierung wurde ausschließlich mit dem Ziel der Erhöhung der Lagerkapazität in den Lagerbecken an den Standorten eingesetzt. In sechs Demonstrationsanlagen erfolgte die Konsolidierung im Lagerbecken, in einer Anlage wurde sie trocken durchgeführt.

In den Jahren 1978 bis 1986 wurden im Rahmen eines Versuchsprojektes Brennelemente endlagerfähig verpackt. Dabei wurde jeweils ein Brennelement unzerlegt in eine Büchse eingebracht und deren Deckel zugeschweißt. Konkrete Endlagerbehälter wurden in diesem Projekt nicht entwickelt.

### **Multi-Purpose Canister Concept (MPC)**

Seit Anfang der 90er Jahre wird in den USA von DOE ein neues Konzept für die Entsorgung von Brennelementen entwickelt, das MPC. Das Konzept besteht darin, die Brennelemente unzerlegt in den Einsatzkorb eines relativ dünnwandigen Metallbehälter einzubringen und diesen zu verschweißen. Die Metallbehälter haben Kapazitäten von 12/24 oder 21/40 DWR/SWR-Brennelementen. Dieser Behälter soll dann zunächst am Reaktorstandort im dort vorhanden Zwischenlagersystem gelagert werden. Für den Transport und die Endlagerung wird der Behälter dann in einen der Verwendung entsprechenden Überbehälter eingesetzt.

Mit der Einführung des MPC soll eine USH-weite Standardisierung erreicht werden, so daß der Staat (DOE) die Brennelemente in einheitlich verpackter Form zur weiteren Entsorgung annehmen kann. Weitere mit dieser Technik verfolgte Ziele sind die Minimierung der Handierungen mit einzelnen Brennelementen und die Reduzierung der beim Umgang mit den Brennelementen anfallenden Sekundärabfälle.

### **Endlagerung**

#### Zuständigkeiten, Behörden:

Aktuelle Rechtsgrundlagen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle sind der Nuclear Waste Policy Act (NWPA) von 1982 bzw. seine Änderung durch den Nuclear Waste Policy Amendment Act (NWPAA) von 1987. Im NWPA werden nicht nur die Zuständigkeiten für die Entsorgung radioaktiver Abfälle geregelt, er enthält vielmehr auch einen Zeitplan sowie weitgehende Vorgaben für Standortsuche und Einrichtung des Endlagers. Wichtigste Änderung durch den NWPAA war die Festschreibung von YuccH-Mountain als einzigem zu untersuchenden Endlagerstandort für hochaktive Abfälle (s.u.: Standortsuche).

Für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (im wesentlichen abgebrannte Brennelemente) bestehen folgende Zuständigkeiten:

- Department of Energy (DOE) mit dem Office of Civilian Radioactive Waste Management (OCRWM): Erforschung, Entwicklung und Demonstration der Endlagerung, Standortauswahl, Planung und Inbetriebnahme von Endlagern sowie die Schaffung eines zentralen Zwischenlagers für abgebrannte Brennelemente (Monitored Retrievable Storage - MRS,
- Nuclear Regulatory Commission (NRC): Entwicklung von Endlagerstandards und Genehmigung von Endlagern,
- Environmental Protection Agency (EPA): Strahlen- und Umweltschutz einschließlich Formulierung konkreter Schutzziele und Entwicklung einheitlicher Standards (s.u.: Schutzziele).

Schutzziele:

Zur Gewährleistung der (Langzeit-)Sicherheit von Endlagern für hochradioaktive Abfälle sind von der EPA folgende Standards entwickelt worden:

- Grenzwerte für radioaktive Freisetzungsraten innerhalb der ersten 10.000 Jahre nach Schließung des Endlagers,
- Individualdosisgrenzwerte,
- Grenzwerte für die Grundwasserbelastung bis 1.000 Jahre nach Schließung des Endlagers,
- Grenzwerte für die Strahlenbelastung der Bevölkerung während der Betriebsphase des Endlagers.

Die im Federal Code 40 CFR 191 zunächst vorgelegten Werte sind 1987 durch das zuständige Bundesgericht zurückgewiesen worden. Im Jahre 1993 hat die EPA daraufhin folgende Standards empfohlen (SILVER 1993):

- Maximale Ganzkörperdosis 0,15 mSv/a (effektive Dosis),
- zulässige Wasserbelastung nach 10.000 Jahren entsprechend den gesetzlich festgelegten Werten für Trinkwasser.

Gegenwärtig entwickelt die EPA in Anlehnung an Empfehlungen der Nationalen Akademie der Wissenschaften spezifische Standards für den Standort Yucca-Mountain (s.u.: Standortsuche).

Endlagerkonzept:

Die Anstrengungen des für die Endlagerung hochaktiver Abfälle zuständigen Department of Energy (DOE) sind seit dem NWPA von 1987 (s.o.: Zuständigkeiten, Behörden) ganz auf den Standort Yucca Mountain im Bundesstaat Nevada als Endlager für hochradioaktive Abfälle ziviler Herkunft gerichtet (s.u.: Standortsuche). Er befindet sich am Rand des Atomwaffentestgeländes Nevada Test Site des DOE ca. 130 km nordwestlich von Las Vegas in der Armagh-Wüste. Für das Endlager ist eine Kapazität für 70.000 t Abfall geplant.

Beim Wirtsgestein handelt es sich um eine besondere Tuffart (Schweißtuff), dessen Mineralbestand (örtlich hohe Zeolith-Anteile) günstige Rückhalteeigenschaften für Radionuklide verspricht. Das Endlager wird sich oberhalb des Grundwasserspiegels befinden - offenbar

der Hauptgrund für die Festlegung auf Yucca Mountain (MAKHIJANI 1989). Die Abfallbehälter sollen in vertikale Bohrlöcher eingelagert werden.

Wesentliche konzeptionelle Vorgaben für das Endlager sind von der Nuclear Regulatory Commission (NRC) bereits 1982 entwickelt worden. Danach soll die Endlagerung in einem Bergwerk stattfinden. Die Sicherheit des Endlagers ist durch ein Multibarrierensystem aus Abfall(matrix), Behältern, Versatzmaterial in den Bohrlöchern und Endlagerstrecken und geologischer Barriere zu gewährleisten. Die Standzeit der Behälter muß 300 bis 1.000 Jahren betragen. Das ist derjenige Zeitraum, in dem die Abfälle noch hohe Radioaktivität aufweisen. Mit dieser Forderung sollen mögliche Unsicherheiten der geologischen Barriere berücksichtigt werden.

Die Abfälle sollen für einen Zeitraum von 50 Jahren nach Beginn der Einlagerung rückholbar sein. Als Einlagerungszeitraum sind 26 Jahre vorgesehen. Nach Einlagerungsende verbleiben also 24 Jahren, in denen die Anlage überwacht und die Funktionstüchtigkeit der Barrieren geprüft werden soll. Es gibt aber offenbar starke Tendenzen, den Zeitraum für die Rückholbarkeit der Abfälle auszudehnen bzw. die dauerhafte Rückholbarkeit der Abfälle anzustreben (GERVERS 1993).

#### Standortsuche:

Bis zum Inkrafttreten des NWPA im Jahre 1982 (s.o.: Zuständigkeiten, Behörden) verlief die Standortsuche für das Endlager für hochradioaktive Abfälle unsystematisch. Auf Grund der Vorgaben des Gesetzes für die Vorgehensweise und mit der Übertragung der Zuständigkeit für die Standortsuche auf das Office of Civilian Radioactive Waste Management (OCRWM) des Department of Energy (DOE) begann eine Phase systematischeren Vorgehens.

Das DOE bzw. OCRWM ist bei der Standortsuche zur Kooperation mit den Bundesstaaten bzw. Indianerstämmen verpflichtet. Beide Seiten können von sich aus Standortvorschläge machen. Betroffene Bundesstaaten bzw. Indianerstämme haben gegen die Standortentscheidung für ein Endlager durch das DOE das Vetorecht. Es kann nur von einer Zweidrittel-Mehrheit des Kongresses überstimmt werden.

Im Rahmen der Standortauswahl wurde das Gebiet der Vereinigten Staaten in geologische Provinzen untergliedert, innerhalb derer wiederum einzelne Regionen unterschieden wurden. Eine letzte Einengung führte dann 1983 zur Benennung von neun potentiellen Standorten, weitgehend im Westen der USA gelegen. Dabei handelte es sich um drei Standorte mit Steinsalz in Salzstöcken, vier Standorte mit Steinsalz in flacher Lagerung sowie je einen Basalt- und Tuff-Standort. Alle Standorte gehörten bereits vor 1982 zu den potentiellen Endlagerstandortkandidaten. Diese Tatsache weckte das Mißtrauen der betroffenen Standorte und Bundesstaaten und stärkte den örtlichen Widerstand (GERVERS 1993).

Wieweit bei diesem Verfahren die von der Nuclear Regulatory Commission (NRC) festgelegten Kriterien bzw. Anforderungen zur Identifizierung bzw. Unterscheidung günstiger und ungünstiger Standortverhältnisse bei Standortsuche und Genehmigungsverfahren (Federal Code 10 CFR 60) berücksichtigt worden sind, ist unklar. Sie betreffen

- die geologischen Verhältnisse, insbesondere die während des Eiszeitalters abgelaufenen Prozesse mit Bedeutung für die Endlagerfunktion,

- die hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnisse in der grundwasserführenden Zone mit Bedeutung für die Grundwasserbewegung,
- die geochemischen Bedingungen mit Bedeutung für den Radionuklidtransport,
- die thermische Stabilität von Mineralen,
- die Mindest-Einlagerungstiefe (300 m unter der Erdoberfläche).

Nach der Benennung der neun Standorte entwickelte das DOE Regeln für die einengende Auswahl von Endlagerstandorten (DOE 1984). Danach sind für die Standorte vergleichende Eignungsbetrachtungen und -untersuchungen (z.B. Umweltverträglichkeitsanalysen) durchgeführt und öffentliche Anhörungen veranstaltet worden. Als Ergebnis sind fünf der neun Standorte für die weitere Erkundung vorgeschlagen worden. Diese Standorte sind mit Hilfe eines formalisierten Bewertungsverfahrens (ähnlich der Nutzwertanalyse) vergleichend bewertet worden. Das Verfahren ist methodisch umstritten (GERVERS 1993). Parallel dazu wurde für die Standorte eine vorläufige Analyse der Langzeitsicherheit unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien durchgeführt. Anschließend empfahl das DOE folgende drei Standorte für die weitere Standorterkundung:

- Yucca Mountain (Tuff / Nevada),
- Deaf Smith County (Steinsalz in flacher Lagerung / Texas),
- Hanford (Basalt / Washington).

Parallel zu dieser Benennung wurde ein Suchprogramm für einen weiteren Endlagerstandort (in Kristallingestein) im Osten und mittleren Westen der USA aufgenommen.

Die Auswahl der drei genannten Standorte ist nicht nachvollziehbar, da sie nicht mit den Ergebnissen der vergleichenden Bewertungen der fünf Standorte in Einklang steht: Der Standort, der bei der formalisierten Bewertung als zweitbesten abgeschnitten hatte, fand keine Berücksichtigung. Stattdessen wurde Hanford benannt, das am schlechtesten bewertet worden war. Bei den vorläufigen Langzeitanalysen hatten Yucca Mountain, Deaf Smith County und Hanford als viert-, dritt- bzw. fünftbesten der fünf Standorte abgeschnitten. Die beiden besten Standorte sind dagegen nicht berücksichtigt worden.

Alle drei benannten Standorte sollten nach den Plänen des DOE untertägig erkundet werden. 1987 wurde dann jedoch durch Gesetzesänderung mit dem Nuclear Waste Policy Amendment Act (NWPAA) entschieden, die Standorte Deaf Smith County und Hanford vorerst nicht weiter zu untersuchen, sondern sich auf Yucca Mountain zu konzentrieren. Zugleich wurde die Standortsuche im Osten der USA aufgegeben (GERVERS 1993).

Die Konzentration auf Yucca Mountain hat offenbar politische Gründe (ALI MANSOURI 1994) - in der dünnbesiedelten Umgebung des Standortes gibt es kaum Widerstand durch lokale Politik und Öffentlichkeit. Sie hat allerdings den Staat Nevada 1989 veranlaßt, von seinem Vetorecht Gebrauch zu machen und die Ablagerung von radioaktiven Abfällen auf seinem Staatsgebiet per Gesetz zu verbieten. Die Untersuchung des Standortes ist davon nicht berührt.

Eignungsnachweis:

Der Nachweis der Langzeitsicherheit für den Standort Yucca Mountain erfolgt mit Hilfe einer Sicherheitsanalyse, bei der das Gesamtsystem Endlager betrachtet wird. Das Ergebnis ist an den bestehenden bzw. von der EPA noch zu etablierenden Grenzwerten (s.o.: Schutzziele) zu messen. Zur Beschaffung der erforderlichen Daten wird ein umfangreiches Untersuchungsprogramm durchgeführt. Die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse sind hinsichtlich ihrer Bedeutung für Eignung des Standortes teilweise umstritten.

Die Erkundung soll nach den Vorstellungen des DOE bis etwa in das Jahr 2000 dauern. Gegenwärtig wird ein neuer Stollen zur Erkundung der Gesteinsvariabilität vorangetrieben. Die Erkundungs- und Bewertungsarbeiten werden von einer unabhängigen Kommission (Nuclear Waste Technical Review Board) mit Mitgliedern verschiedener Fachrichtungen analysiert und beurteilt. Der Bau des Endlagers soll etwa 2010 begonnen werden.

Die Vorgehensweise bei der Sicherheitsanalyse für Yucca Mountain entspricht prinzipiell derjenigen in anderen Ländern (s. H-7.7). Besonderheiten im Hinblick auf die Szenarienableitung und -bewertung ergeben sich aus den spezifischen Standortverhältnissen (z.B.: Endlager oberhalb Grundwasser, Erdbebenrisiko). Im Auftrag des DOE werden unabhängig voneinander zwei Sicherheitsanalysen erstellt. Es handelt sich um probabilistische Analysen, die 1992 begonnen wurden und mit zunehmendem Datenbestand fortgeschrieben werden. Zielsetzung und Bearbeitung weisen gewisse Unterschiede auf, allerdings werden weitgehend übereinstimmende Datensätze verwendet.

Öffentlichkeitsbeteiligung, Öffentlichkeitsarbeit:

Sieht man vom Vetorecht betroffener Bundesstaaten bzw. Indianerstämme ab, ist die aktive Beteiligung der Öffentlichkeit an der Entscheidungsfindung für ein Endlager nicht vorgesehen.

Beim Standort Yucca Mountain verfolgt das Department of Energy (DOE) aus Akzeptanzgründen eine sehr offene und intensive Informationspolitik. Praktisch alle Untersuchungsergebnisse sind als Berichte oder in anderer Form, teilweise auch über Internet, zugänglich. Am Standort findet eine intensive Öffentlichkeitsarbeit statt. Als Teil der Öffentlichkeitsinformation ist auch die Arbeit des Nuclear Waste Technical Review Board (s.o.: Eignungsnachweis) zu sehen, der die Endlageraktivitäten des DOE mit Berichten kritisch begleitet und Empfehlungen ausspricht.

Im Fall Yucca Mountain leistet der Staat Nevada zusätzliche eigene Informationsarbeit gegen das Projekt.

**Vergleich mit der deutschen Vorgehensweise bei der Entsorgung****Übertägige Entsorgung**

In den USA existiert aufgrund der frühzeitigen Aufgabe der Wiederaufarbeitung eine große Menge von Brennelementen, die sofort endgelagert werden könnten. Insofern ist der zeitliche Druck für die Inbetriebnahme eines Endlagers für hochaktive Abfälle in den USA größer

als in der Bundesrepublik. Die eingesetzten Zwischenlagertechniken sind aus Gründen, die hier nicht näher erläutert werden sollen, vielfältiger. Ein wesentlicher Unterschied existiert für die in beiden Ländern durchgeführte trockene Behälterlagerung. Die eingesetzten Behälter sind denen in Deutschland eingesetzten zum Teil sehr ähnlich (z.T. werden auch CASTOR-Behälter benutzt). In den USA werden die Behälter allerdings unter freiem Himmel gelagert, während sie in der Bundesrepublik in Hallen stehen. Bezüglich des Schutzes vor durch Einwirkungen von außen verursachten Störfälle besteht hier aber kein wesentlicher Unterschied. Die Hallen in der Bundesrepublik bieten einen zusätzlichen Wetterschutz und reduzieren darüber hinaus die durch die Behälterwände dringende radioaktive Strahlung. Letzteres ist wegen der räumlichen Situation in der Bundesrepublik und der damit zusammenhängenden Aufenthaltsmöglichkeit betriebsfremder Personen in unmittelbarer Nähe des Lagers von Bedeutung, ist aber für die USA anders zu bewerten.

Ähnlichkeiten bestehen auch zwischen dem MPC-Konzept und dem POLLUX-System. In den USA ist allerdings keine Zerlegung der Brennelemente für die Endlagerung vorgesehen. Der wesentliche Unterschied ist der, daß der POLLUX-Behälter als ganzes System für Transport, Zwischen- und Endlagerung eingesetzt werden soll, während beim MPC der Innenbehälter in einen der Verwendung entsprechend konzipierten Überbehälter eingebracht wird. Der Vorteil des POLLUX ist eine einfachere Handhabung, der Vorteil des MPC ist die größere Flexibilität. Letzteres ist vor allem von Bedeutung, solange noch keine aus dem Endlagerstandort abgeleiteten Einlagerungsanforderungen existieren.

Ursprünglich sollte bis zur Endlagerung ausschließlich dezentral in NaBlagern zwischengelagert werden. Die Verzögerungen beim Endlagerprogramm sorgten zunächst für den ergänzenden Einsatz von Trockenlagern und schließlich auch zu Überlegungen für ein zentrales Zwischenlager in der Nähe des geplanten Endlagerstandortes. Das heißt, das zentrale Lager wird nicht hauptsächlich aus sicherheitstechnischen oder konzeptionell sinnvollen Erwägungen in Betracht gezogen, sondern wegen der Verpflichtung des Staates, ab 1998 bestrahlte Brennelemente entgegenzunehmen. Von daher sind aus den Überlegungen zu einem zentralen Zwischenlager in den USA für die Bundesrepublik keine Schlüsse zu ziehen. Vielmehr ist auf das dort ursprünglich geplante Konzept der dezentralen Zwischenlagerung mit anschließendem direkten Transport zum Endlager hinzuweisen.

## **Endlagerung**

Beim gegenwärtigen Verfahrensstand sind vor allem drei Bereiche zu erkennen, bei denen das amerikanische Vorgehen gegenüber dem in Deutschland möglicherweise positiv zu werten ist:

Im Hinblick auf das Schutzgut Mensch gilt für das US-Endlager mit niedrigeren Individualdosen ein schärferes Schutzziel. Außerdem wird das Grundwasser - anders als in Deutschland - explizit als Schutzgut betrachtet. Andererseits stellen Individualdosen nur für einen Zeitraum von 10.000 Jahren die maßgebliche Beurteilungsgröße dar.

Betrachtet man nur den Zeitraum ab 1982 (s.o.: Standortsuche), so weist auch die Vorgehensweise der USA bei der Suche nach einem Standort für hochradioaktive Abfälle aus ziviler Kernenergienutzung methodisch positive Ansätze auf. Das betrifft insbesondere die anfängliche Betrachtung des gesamten Landes mit systematischer Einengung von größeren

geologischen Einheiten auf Standorte sowie die ursprünglich geplante parallele Untersuchung mehrerer Standorte. Dieses vergleichend wertende Vorgehen ist aus geowissenschaftlicher Sicht angemessen.

Allerdings ist festzustellen, daß dieser methodisch richtige Weg nicht konsequent verfolgt worden ist (s.o.: Standortsuche). So muß die neuerliche Benennung von neun bereits früher ins Auge gefaßten Standorten nach Durchführung eines landesweiten Suchverfahrens unglaubwürdig erscheinen. Entsprechendes gilt auch für die weiteren Einengungsschritte, die letztlich zur Benennung von Yucca Mountain geführt haben; denn die jeweiligen Entscheidungen stehen nicht in Einklang mit den Ergebnissen der vorangegangenen Arbeitsschritte.

Uneingeschränkt positiv ist die Arbeit des NWTRB (s.o.: Eignungsnachweis) zu sehen. Von der Arbeit dieses unabhängigen Gremiums ist nicht nur ein Beitrag zur Qualitätssicherung der von den zuständigen Institutionen und Personen durchzuführenden Untersuchungen und Bewertungen zu erwarten, sondern auch eine Stärkung des öffentlichen Vertrauens in die offiziellen Maßnahmen beim Projekt Yucca Mountain. Inwieweit diese Erwartungen erfüllt werden, bleibt abzuwarten.

## **H-7.5 Schweiz**

### **Allgemeines**

In der Schweiz waren Anfang 1998 an vier Standorten 5 Reaktorblöcke mit einer Gesamtleistung von 3.230 MWe in Betrieb. Der Kernenergieanteil für die öffentliche Versorgung beträgt 43%.

### **Einteilung der radioaktiven Abfälle:**

In Anlehnung an die Definitionen der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) werden die radioaktiven Abfälle in der Schweiz in drei konzeptionelle Kategorien eingeteilt. Allerdings werden zusätzlich die Zerfallszeiten der enthaltenen Radionuklide berücksichtigt (NAGRA 1985b):

#### Schwachaktive Abfälle (SAA)

Geringe Konzentrationen sehr kurzlebiger Radionuklide (Halbwertszeiten <5 Jahre) und Spuren von langlebigen Radionukliden,

#### Schwach- und mittelaktive Abfälle (SAA und MAA)

Geringe und mittlere Konzentrationen kurzlebiger Radionuklide (Halbwertszeiten <30 Jahre) und begrenzte Anteile langlebiger Radionuklide,

#### Hochaktive Abfälle (HAA)

Hohe Konzentrationen sehr kurzlebiger, kurzlebiger und langlebiger Radionuklide.

Operationell werden folgende sechs Abfallkategorien (mit jeweils mehreren Abfallsorten) unterschieden:

- Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (WA 1 - WA 6),
- Betriebsabfälle (BA 1 - BA 7),
- Stilllegungsabfälle (SA 1 - SA 8)),
- Radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF 1 - MIF 5b),
- Abgebrannte Brennelemente (BE 1 und BE 2), Ende 1997 betrug die bis dahin als bestrahlte Brennelemente angefallene Menge Kernbrennstoffes ca. 1.500 tSM.
- Radioaktive Sonderabfälle (sperrige technologische Abfälle und Abfälle aus der Stilllegung von Anlagenteilen aus Forschung, Industrie und Medizin, Abfälle aus der Stilllegung von Forschungsreaktoren, Spezialabfälle aus Kernkraftwerken).

Mit Ausnahme der radioaktiven Sonderabfälle können alle Abfallkategorien bzw. -sorten modellhaft einem bestimmten Endlagertyp zugeordnet werden (s.u.: Entsorgungskonzeption).

**Zuständigkeiten, Behörden:**

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz obliegt den schweizerischen Elektrizitätsgesellschaften als Verursachern. Sie haben auch die Kosten dafür zu tragen. Sie bedienen sich bei der Lösung des Problems der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), die 1972 von den Elektrizitätsgesellschaften und dem Bund gemeinsam gegründet worden war.

Hauptverantwortliche Behörde für die Begutachtung, Kontrolle und Überwachung der Entsorgungsprojekte ist die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) des Bundesamtes für Energiewirtschaft. Ihr wichtigstes Beratungsgremium in Fragen der Endlagerung ist die Kommission Nukleare Entsorgung (KNE), der unabhängige Fachleute verschiedener Richtungen angehören.

**Wiederaufarbeitung**

In der Schweiz ist seit Beginn der Atomenergienutzung als Entsorgungsstrategie für die Kernkraftwerke die Wiederaufarbeitung vorgesehen. Daran hat sich bis heute nichts geändert. Allerdings wurden im Rahmen der Untersuchungsprojekte für die Endlagerung auch eine Einlagerung von Brennelementen untersucht. Darüber hinaus soll etwa im Jahr 2000 ein zentrales Zwischenlager in Betrieb gehen, in dem die Brennelemente gelagert werden könnten.

Die Wiederaufarbeitung der in der Schweiz angefallenen Kernbrennstoffe wurde und wird ausschließlich in ausländischen Wiederaufarbeitungsanlagen durchgeführt. Die in den hierfür abgeschlossenen Verträgen festgelegten Kernbrennstoffmengen sind jedoch in wenigen Jahren abgearbeitet. Es steht also die Entscheidung bevor, ob der Weg der Wiederaufarbeitung im Ausland weiter beschritten oder zur Direkten Endlagerung übergegangen werden soll. Der Ausgang dieser Entscheidung ist offen. Gegenwärtig werden hierzu Anhörungen unter Beteiligung von Kraftwerksbetreibern und Umweltschutzverbänden durchgeführt. Von den Kernkraftwerksbetreibern der Schweiz wird die Direkte Endlagerung als notwendige bzw. sinnvolle Ergänzung zum Entsorgungspfad mit Wiederaufarbeitung betrachtet (BAY & FUCHS 1998): "Sie ist notwendig, wenn und soweit eine Rezyklierung nicht gangbar ist. Sie kann sinnvoll sein, wenn der Pfad der Direkten Endlagerung sich als der kostengünstigere herausstellt und die Uranressourcen sich als ausreichend erweisen."

Der Einsatz wiederaufgearbeiteten Kernbrennstoffs beschränkt sich auch in der Schweiz auf das Plutonium. Die MOX-Brennelemente werden ausschließlich im Ausland hergestellt. In drei der fünf Reaktoren wurde MOX bereits eingesetzt. Der Anteil im Reaktorkern darf maximal 25% betragen. Auch für die beiden anderen Reaktoren ist offenbar der MOX-Einsatz für die Zukunft geplant (Stand 1997).

### **Zwischenlagerung**

Die ursprünglichen Planungen in der Schweiz beinhalteten die Zwischenlagerung der Brennelemente in den Lagerbecken der Reaktoren und dann die Ablieferung an eine Wiederaufarbeitungsanlage. Die von dort zurückkommenden HAW-Kokillen sollten in einem zentralen Lager in der Schweiz trocken in Behältern zwischengelagert werden. Konkrete Planungen für dieses zentrale Zwischenlager begannen 1990. Die damalige Entscheidung zu einem zentralen Lager war aufgrund der Rahmenbedingungen für die Entsorgung in der Schweiz folgerichtig. Die Zwischenlagerung liegt in der Verantwortung der Kraftwerksbetreiber.

Erst in den letzten Jahren, mit zunehmenden Überlegungen eventuell auf die Wiederaufarbeitung zu verzichten, wird auch die Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen im zentralen Zwischenlager einbezogen.

Das Zwischenlager soll 200 Stellplätze für Transport- und Lagerbehälter aufweisen. Die benötigte Zahl der Stellplätze für die Behälter mit HAW-Kokillen hängt vom zukünftigen Umfang der Wiederaufarbeitung ab. Sie dürfte über die nächsten 20 Jahre betrachtet aber auch bei fortgesetzter Wiederaufarbeitung weniger als 100 betragen.

Aufgrund der befürchteten Verzögerungen bei der Errichtung des zentralen Zwischenlagers und den ursprünglich vorgesehenen Terminen für die Rückführung der HAW-Kokillen wurde am Standort Beznau ein dezentrales Zwischenlager mit zunächst 36 (ausbaufähig auf 84 Behälterstellplätzen) geplant.

Brennelemente und HAW-Kokillen sollen in der Schweiz in Transport- und Lagerbehältern trocken zwischengelagert werden. Die Behälter werden in einer Halle auf einer Betonplatte senkrecht aufgestellt. Die Wärmeabfuhr aus den Behältern soll durch Naturluftzug gewährleistet werden.

### **Konditionierung**

Für den Fall der Direkten Endlagerung wurde ein Referenzkonzept zur Konditionierung von Brennelementen entwickelt. Die Brennelemente sollen danach unzerlegt direkt in den Endlagerbehälter eingebracht werden. In einen Behälter kommen entweder zwei DWR- und zwei SWR-Brennelemente oder acht SWR-Brennelemente. Die im Behälter verbleibenden Hohlräume sollen mit Blei verfüllt werden, und anschließend soll ein Deckel aufgeschweißt werden. Als Werkstoff ist für den Behälter Kupfer vorgesehen. Dadurch soll bei einer Wanddicke von 10 cm eine Standzeit des Behälters im Endlager von 100.000 Jahren erreicht werden.

## Endlagerung

### Schutzziele:

Für die Endlagerung in der Schweiz sind 1980 durch die Eidgenössische Kommission für die Sicherheit der Atomanlagen (KSA) und die Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ASK) in der Richtlinie für Kernanlagen R-21 folgende Schutzziele festgelegt worden:

1. "Radionuklide, die als Folge von realistischerweise anzunehmenden Vorgängen und Ereignissen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen, sollen zu keiner Zeit zu Individualdosen führen, die 10 mrem pro Jahr überschreiten. Wenn sich die Auswirkungen mehrerer Endlager überlagern, gilt die Dosislimite für die Summe aller Beiträge."
2. "Ein Endlager ist so auszulegen, daß es jederzeit innert einiger Jahre verschlossen werden kann. Nach dem Verschluß des Endlagers muß es möglich sein, auf Sicherheits- und Überwachungsmaßnahmen zu verzichten"

Diese Schutzziele beziehen sich zwar auf die Schutzgüter Mensch und Umwelt, doch ist die Berechnung von Individualdosen nur für den Menschen vorgesehen (und gegenwärtig möglich).

Welche Vorgänge und Ereignisse für den Nachweis der Schutzzieleinhaltung "realistischerweise anzunehmen" und daher bei der Nachweisführung zu berücksichtigen sind, ist nicht festgelegt. Allerdings muß der Nachweis, daß die Dosisgrenzwerte eingehalten werden, für sehr unwahrscheinliche Vorgänge und Ereignisse nicht geführt werden.

Unter Individualdosis wird in der Richtlinie R-21 die effektive Äquivalentdosis verstanden, die sich aus der externen Ganzkörper-Äquivalentdosis durch Gammastrahler und der Summe der gewichteten internen Organ- bzw. Gewebe-Äquivalentdosen durch Inhalation und Ingestion ergibt.

Aus der Eintrittswahrscheinlichkeit der betrachteten Vorgänge und Ereignisse sowie den daraus resultierenden radiologischen Folgen ergibt sich das mit dem Endlager verbundene Risiko. Dieses Risiko (für zusätzliche Todesfälle) muß kleiner als  $10^{-6}$  sein.

### Endlagerkonzept:

Bei der Festlegung der in der Schweiz benötigten Endlagerkapazität wird von einer Betriebsdauer der fünf schweizerischen Kernkraftwerke von 40 Jahren ausgegangen. Für die übrigen radioaktiven Abfälle wird ein siebenjähriger Sammelzeitraum zugrundegelegt. In diesen Zeiträumen fallen insgesamt rund 10.000 m<sup>3</sup> hochaktive Abfälle und rund 200.000 m<sup>3</sup> schwach- und mittelaktive Abfälle an (NAGRA 1985a).

Ursprünglich waren für die Entsorgung dieser Abfälle drei Endlagertypen (A, B, C) vorgesehen, in denen jeweils Abfälle der Kategorien SAA, SAA und MAA bzw. HAA abgelagert werden sollten (zu den Abfallkategorien s.o.: Einteilung der radioaktiven Abfälle). Im Rahmen des Projektes "Gewähr" (s.u.: Eignungsnachweis) erfolgte eine Konzentration auf zwei Endlagertypen (NAGRA 1985b):

- Endlagertyp B (Endlager SMA) für schwach- und mittelaktive Abfälle (SAH-Abfälle und MAH-Abfälle mit Ausnahme der Abfallsorten WA 1 [hochaktive Gläser in Edelstahlkokillen] und WA 4 [Hülsen und Endstücke in Zement] sowie der abgebrannten Brennelemente,
- Endlagertyp C (Endlager HAA/LMA) für hochaktive Abfälle und langlebige alphahaltige Abfälle (HAH-Abfälle und MAH-Abfälle der Sorten WA 1 und WA 4 sowie abgebrannte Brennelemente).

Auf diese beiden Typen erstreckte sich auch die Standortsuche (s.u.). In jüngster Zeit wird von der NAGRA allerdings offenbar erwogen, ein Endlager für SAH-Abfälle (Standort Wellenberg, s.u.) und ein zweites für alle anderen Abfälle einzurichten.

Die dauerhafte Einhaltung der Schutzziele soll durch ein Multibarrierensystem mit Abfallmatrix und Abfallbehältern als technischen Barrieren, Bentonit-Verfüllung der Endlagerhöhlräume als geotechnischer Barriere und dem Wirtsgestein sowie seinem geologischen Rahmen als geologischer Barriere sichergestellt werden. Hinsichtlich der Ausgestaltung der technischen und geotechnischen Barrieren bestehen zwischen den beiden Endlagertypen bzw. den verschiedenen Abfallsorten erhebliche Unterschiede (NAGRA 1985c, 1985d).

Für das Endlager vom Typ B konzentriert sich die NAGRA auf den Standort Wellenberg im Kanton Nidwalden (s.u.: Standortsuche). Beim Wirtsgestein handelt sich dort um eine Mergelsteinserie der Unterkreide (sogenannte Valanginienmergel). Das Endlager soll durch einen horizontalen Stollen erschlossen werden. Beim Endlagertyp C ist die Entscheidung für das Wirtsgestein noch nicht gefallen (s.u.: Standortsuche). Jedenfalls wird das Endlagerbergwerk in größerer Tiefe liegen und durch einen oder mehrere Schächte erschlossen werden.

Die Rückholung der Abfälle aus dem gefüllten Endlager wird von den zuständigen Institutionen der Schweiz nicht ernsthaft erwogen. Allerdings wird sie - auch ohne besondere konzeptionelle Berücksichtigung - für technisch durchführbar gehalten. Im Zuge der aktuellen Diskussion über das geplante Endlager vom Typ B am Standort Wellenberg wird von schweizerischen Umweltorganisationen eine "Langzeitlagerung" gefordert. Angestrebt wird dabei die Verbindung der Vorteile der Endlagerung und der Zwischenlagerung (Überwachung, Reparierbarkeit).

#### Standortsuche:

Bei der Suche nach Endlagerstandorten stützt sich die NAGRA auf folgende Prüfkriterien (NAGRA 1985a, 1985c):

- Die genaue Spezifikation des Wirtsgesteins im Hinblick auf die mechanischen bzw. tektonischen Eigenschaften des betrachteten Gesteinskörpers, die hydrogeologischen Verhältnisse und die geochemischen Verhältnisse am Standort,
- maximale Endlagertiefe 1.200 m (ergibt sich aus der zulässigen Höchsttemperatur im Endlagerbereich von 55 °C),
- genügender Abstand von großen tektonischen Störzonen (Lage des Endlagers innerhalb einer stabilen Gesteinsscholle),

- günstige hydrodynamische Situation (lange Fließwege, geringe Grundwasserfließmenge in der Endlagertiefe).

Bei der Suche nach einem Standort für das Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Typ B) sind von der NAGRA anfangs 100 Standorte betrachtet worden. Nach einer Einengung auf zunächst 20 Standorte sind dann folgende vier Standorte mit drei unterschiedlichen Wirtsgesteinstypen in die engere Wahl gekommen:

- Boi de la Glave im Kanton Waadt (Anhydrit),
- Piz Pian Grand im Kanton Graubünden (Kristallin),
- Unterbauenstock im Kanton Uri (Valanginienmergel),
- Wellenberg im Kanton Nidwalden (Valanginienmergel).

Nach Sondierarbeiten an diesen Standorten hat die NAGRA zwar die drei Standorte Boi de la Glave, Unterbauenstock und Wellenberg günstig beurteilt, sich aber auf den Standort Wellenberg festgelegt (NAGRA 1993a). Die KNE und die HSK (s.o.: Zuständigkeiten, Behörden) haben diesem Vorgehen im Frühjahr 1994 zugestimmt (KNE 1994). Im selben Jahr ist der Antrag für die Erteilung der Rahmenbewilligung für das Endlager Wellenberg gestellt worden. Grundlage dafür ist der Nachweis der grundsätzlichen Eignung des Standortes durch die NAGRA (s.u.: Eignungsnachweis).

Die Gründe, die bei den beiden ersten Einengungsschritten auf 20 bzw. 4 Standorte zum Ausschluß bzw. Verbleib von Standorte geführt haben, sind nicht im Detail veröffentlicht. Das gilt auch für die Konzentration auf den Standort Wellenberg. Das Verfahren und sein Ergebnis sind daher für Außenstehende kaum nachvollziehbar. Beim Einengungsschritt auf vier Standorte waren zunächst jedoch nur die drei erstgenannten Standorte ausgewählt worden. Der Standort Wellenberg ist nachträglich in diese Gruppe aufgenommen worden - offenbar, weil die Untersuchung des Standortes Unterbauenstock nur mit großem Aufwand möglich gewesen wäre.

Bei der Suche nach einem Endlagerstandort für hochaktive Abfälle sind zunächst Steinsalz, Anhydrit, Tonstein und Kristallin in sieben verschiedenen Gesteinseinheiten als potentielle Wirtsgesteinstypen ins Auge gefaßt worden (NAGRA 1988). Die konkreten Betrachtungen konzentrierten sich dann aber zunächst auf kristalline Gesteine in der Nordschweiz, später auch auf zwei Tonsteineinheiten (tonige Abschnitte der Unteren Süßwassermolasse, Opa-linuston) im schweizerischen Mittelland und im Jura. Warum die anderen Optionen aufgegeben worden sind, ist nicht genau bekannt. Ein Grund liegt jedoch sicherlich in der anhaltenden tektonischen Aktivität in den Alpen. Die Suchgebiete mit Vorkommen der drei verbliebenen Einheiten liegen nördlich der Alpen.

Große Anstrengungen hat die NAGRA im Rahmen des Projektes "Gewähr" (s.u.: Eignungsnachweis) zunächst mit der Erkundung der Kristallinvorkommen zwischen Schwarzwald und schweizerischem Mittelland unternommen. Bei Bohrungen sind die gesuchten kristalline Gesteine erst in erheblich größerer Tiefe und in weniger günstiger Ausbildung angetroffen worden als erwartet. Die Endlagerung hochaktiver Abfälle kommt in diesem Raum daher kaum in Frage.

Anschließend sind von der NAGRA die beiden Sedimentgesteinsoptionen näher betrachtet worden. Dabei hat sich die Untere Süßwassermolasse als sehr heterogen erwiesen. Die Suche nach einem ausreichend ausgedehnten Tonsteinvorkommen erscheint nicht vielversprechend. Gegenwärtig konzentrieren sich die Bemühungen daher auf den Opalinuston. 1998 soll eine Erkundungsbohrung im Züricher Weinland begonnen werden.

#### Eignungsnachweis:

In der Schweiz ist die Erteilung von Rahmenbewilligungen für den Betrieb von Kernkraftwerken an die Bedingung der sicheren Entsorgung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle gebunden. Das zuständige Eidgenössische Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement hatte dazu 1978/1979 verfügt, daß die damals gültigen Betriebsgenehmigungen für Kernkraftwerke erlöschen, wenn nicht bis Ende 1985 der Nachweis der dauerhaft sicheren Entsorgung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle geführt würde.

Dazu ist von der NAGRA das Projekt "Gewähr 1985" durchgeführt worden. In seinem Rahmen ist zum einen die Vorgehensweise für Standortsuche und Eignungsnachweis entwickelt worden; zum anderen ist für einen Modellstandort in Kristallingestein der Nachweis geführt worden, daß die sichere Endlagerung in der Schweiz möglich ist. Dieser generelle Entsorgungsnachweis ist 1988 vom Schweizer Bundesrat akzeptiert worden. Der sogenannte Standortnachweis, also der Eignungsnachweis für einen bestimmten Endlagerstandort, steht nach den Schwierigkeiten bei der Standortsuche für hochaktive Abfälle (s.o.: Standortsuche) dagegen noch aus.

Für den geplanten Endlagerstandort Wellenberg für schwach- und mittelaktive Abfällen hat die NAGRA ihren Nachweis der grundsätzlichen Eignung im Jahre 1993 vorgelegt (NAGRA 1993b, 1993c). Im folgenden Jahr ist der Antrag für die Erteilung der Rahmenbewilligung für das Endlager gestellt worden (GNW 1994). KNE und HSK haben den Standort dann 1994 auf Grundlage der Standorterkundung und der Antragsunterlagen für grundsätzlich geeignet erklärt (KNE 1994). Diese Einschätzung kann über Mängel in der Nachweisführung der NAGRA allerdings nicht hinwegtäuschen (GRUPPE ÖKOLOGIE 1994).

Im Juni 1995 haben die Stimmbürger des Kantons Nidwalden die Einrichtung des Endlagers und das Auffahren eines Stollens für die Detailerkundung des Wellenbergs in einer Volksabstimmung abgelehnt. Die NAGRA bemüht sich gegenwärtig um eine neuerliche Abstimmung für Ende 1999, um den Erkundungsstollen auffahren zu können.

Der abschließende Eignungsnachweis für ein Endlager erfolgt auf Basis einer detaillierten Standortuntersuchung durch eine Sicherheitsanalyse. Damit werden die Größe und Wahrscheinlichkeit möglicher Strahlenexpositionen für Menschen durch die Freisetzung von Radionukliden aus einem Endlager abgeschätzt. Dabei wird schrittweise vorgegangen:

1. Spezifikation, d.h. (soweit wie möglich standortspezifische) modellhafte Definition des Endlagers,
2. Szenarienanalyse, d.h. Erfassung und Beurteilung aller Ereignisse und Vorgänge, die den Transport von Radionukliden aus dem Endlager zum Menschen auslösen bzw. beeinflussen (können),
3. Berechnung der Auswirkungen (Individualdosen) für ausgewählte Szenarien.

Zwischen den beiden Endlagertypen bestehen bei der konkreten Nachweisführung im Detail deutliche Unterschiede. Sie ergeben sich vor allem aus den unterschiedlichen Halbwertszeiten der jeweils vorgesehenen Abfälle.

Bei der Szenarienanalyse wird zwischen geologischen (bzw. anderen natürlichen) Prozessen und Veränderungen (z.B. Auswirkung von Erdbeben), endlagerinduzierten Effekten (z.B. Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit des Wirtsgesteins durch Auflockerung um Stollen) und durch Menschen verursachten Effekten (z.B. Anbohren des Endlagers) unterschieden. Zunächst werden alle denkbaren Prozesse und Ereignisse aufgelistet und nach wahrscheinlichen bzw. erwarteten und unwahrscheinlichen unterschieden. Die wahrscheinlichen Prozesse und Ereignisse werden hinsichtlich Ablauf und Auswirkungen beschrieben und soweit sinnvoll und möglich mit Hilfe von Rechenmodellen nachgebildet und bewertet. Bei allen Betrachtungen und Berechnungen müssen etwaige Informationslücken konservativ überbrückt werden.

Das Basisszenario für die Nachweisführung geht vom Versagen der Abfallbehälter, der Lösung von Radionukliden durch Grundwasser und ihren Transport mit dem Grundwasser in die Biosphäre aus. Die dabei ablaufenden Konzentrationsverändernden Prozesse werden mit (gekoppelten) Rechenmodellen nachgebildet. Übergreifendes Ergebnis der Modellrechnungen sind rechnerische Individualdosen, die am vorgegebenen Dosisgrenzwert gemessen bzw. in Risiken umgerechnet und am zulässigen Risiko gemessen werden (s.o.: Schutzziele).

#### Öffentlichkeitsbeteiligung, Öffentlichkeitsarbeit:

Die für die Endlagerung zuständigen Institutionen, insbesondere die ASK (s.o.: Zuständigkeiten, Behörden) und die von ihnen kontrollierten Forschungseinrichtungen sind zur regelmäßigen Information von Öffentlichkeit und politisch Verantwortlichen verpflichtet. Diese Informationen haben weitgehend nachrichtlichen bzw. informellen Charakter. Die NAGRA veröffentlicht die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen aus ihrem Zuständigkeitsbereich in allgemein zugänglichen Technischen Berichten bzw. in einer eigenen wissenschaftlichen Zeitschrift ("Nagra informiert"). An die allgemeine Öffentlichkeit richtet sich ihre Zeitschrift "Nagra report".

Die Beteiligung der Öffentlichkeit an einzelnen Schritten von Standortsuche und Eignungsnachweis ist nicht vorgesehen. Daß im Kanton Nidwalden über die Errichtung des Endlagers Wellenberg bzw. die Auffahrung eines Erkundungsstollens abgestimmt worden ist (s.o.: Eignungsnachweis), geht auf die besondere rechtliche Situation in diesem Kanton zurück. Der Kanton hat sich das Nutzungsrecht für seinen Boden ausdrücklich vorbehalten.

Gegenwärtig findet unter der organisatorischen Federführung des schweizerischen Bundesamtes für Energie ein sogenannter „Energiedialog Entsorgung“ nach Art eines „runden Tisches“ statt. Auslöser sind die erhärteten Diskussionsfronten nach der Zurückweisung des Gesuches zur Erkundung des Standortes Wellenberg. An den nicht öffentlichen Veranstaltungen dieses Dialogs nehmen Vertreter der zuständigen Behörden und ihrer Beratungsgremien (s.o.: Zuständigkeiten, Behörden), der NAGRA, der Kraftwerksbetreiber sowie von atomkritischen Organisationen und Institutionen teil. Zur Diskussion stehen insbesondere die strittigen Aspekte des schweizerischen Entsorgungskonzeptes (WAA, SMH-Endlager Wellenberg), wobei konsensfähige bzw. dissensbehaftete Fragen herausgearbeitet werden sollen.

## Vergleich mit der deutschen Vorgehensweise bei der Entsorgung

### Übertägige Entsorgungsschritte

Die Veränderung der Entsorgungsstrategie von der Wiederaufarbeitung zur Direkten Endlagerung könnte sich auch in der Schweiz durchsetzen. Die bei der übertägigen Entsorgung in der Schweiz eingesetzten Technologien gleichen denen in der Bundesrepublik. Ein Unterschied besteht in der endlagerfähigen Konditionierung. Dieser ist vor allem auf die in beiden Ländern hauptsächlich betrachteten Endlagergesteinsformationen zurückzuführen.

### Endlagerung

Bei oberflächlicher Betrachtung hebt sich die Schweiz im Hinblick auf das Vorgehen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle positiv vom Vorgehen in Deutschland ab. Hier sind vor allem zu nennen:

- Das schärfere Schutzziel (zulässige Individualdosis 0,1 mSv/Jahr gegenüber 0,3 mSv/Jahr in Deutschland),
- die Berücksichtigung verschiedener Wirtsgesteine,
- das schrittweise Vorgehen bei der Standortsuche (schwach- und mittelaktive Abfälle).

Bei genauerem Hinsehen trifft allerdings nur der erste Punkt uneingeschränkt zu, während sich hinsichtlich der Betrachtung verschiedener Gesteinstypen und der Systematik bei der Standortsuche erhebliche methodische Mängel zeigen (s. dazu z.B. BREITSCHMID 1993):

Bei der Auswahl der letztlich näher betrachteten möglichen Wirtsgesteine für hochaktive Abfälle (Kristallin, Untere Süßwassermolasse, Opalinuston) und schwach- und mittelaktive Abfälle (Anhydrit, Kristallin, Valanginienmergel) sind zwar verschiedene Wirtsgesteinstypen erwogen, jedoch nicht hinsichtlich ihrer spezifischen Vor- und Nachteile vergleichend bewertet worden. Zumindest sind die Entscheidungsgrundlagen nicht in engem zeitlichen Bezug zu den jeweiligen Entscheidungen veröffentlicht worden. Beim Endlager für hochaktive Abfälle sind die drei Wirtsgesteinsoptionen in der angegebenen Reihenfolge nacheinander geprüft worden. Das deutet auf eine - allerdings im einzelnen nicht nachvollziehbare - Prioritätensetzung hin. Bemerkenswerterweise ist es bei den beiden zuerst geprüften Optionen (Kristallin, Untere Süßwassermolasse) nicht gelungen, einen erfolgversprechenden Suchraum auszuweisen. Nach rund fünfzehnjähriger Untersuchung ist die Frage nach Wirtsgestein und Endlagerstandort für hochaktive Abfälle noch nicht beantwortet. Es liegt nahe, hierfür methodische Mängel verantwortlich zu machen.

Bei der Standortsuche für das Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle ist zwar schrittweise vorgegangen worden, doch sind die Entscheidungsprozesse und -kriterien, die letztlich zur Auswahl des Standortes Wellenberg geführt haben, im einzelnen nicht nachvollziehbar. Auch hier hat eine vergleichende Bewertung der ins Auge gefaßten Wirtsgesteinstypen (Anhydrit, Kristallin, Valanginienmergel) nicht bzw. nicht in nachvollziehbarer Weise stattgefunden. Vor der Benennung von Wellenberg waren noch drei von vier Standorten als günstig eingestuft worden.

### Öffentlichkeitsbeteiligung, Konfliktbewältigung

Ein interessanter Ansatz wird mit dem „Energiedialog Entsorgung“ verfolgt (s.o.: Öffentlichkeitsbeteiligung, Öffentlichkeitsarbeit). Zwar werden die Aussichten auf eine einvernehmli-

che Beurteilung wichtiger Fragen offenbar von allen Beteiligten gering eingeschätzt, doch stellt der Dialog immerhin den Versuch dar, die unterschiedlichen Positionen der verschiedenen Beteiligten zu benennen und darzustellen. Die Bereitschaft, kontroverse Positionen (wenigstens in nicht öffentlicher Runde) zur Diskussion zu stellen, ist eine wichtige Voraussetzung für einen offenen und von taktischen Zwängen freien Diskurs.

## H-7.6 Niederlande

Die Niederlande haben im Vergleich zu vielen anderen Staaten nur ein kleines Kernenergieprogramm (zwei Reaktoren) mit entsprechend geringen Abfallmengen. Jährlich fallen rund 700 m<sup>3</sup> schwach- und mittelaktive Abfälle an. Die Brennelemente aus den Anlagen werden in Großbritannien bzw. Frankreich wiederaufgearbeitet bzw. befinden sich noch an den beiden Anlagen. Für die Entsorgung wird hochaktiver Abfall daher erst in einigen Jahren anstehen. Das Gesamtvolumen wird 700 m<sup>3</sup> voraussichtlich nicht übersteigen. Alle anfallenden Abfälle werden gegenwärtig von einer zu diesem Zweck gegründeten Firma (Centrale Organisatie Voor Radioactief Avfall - COVRA N.V.), an der die Kraftwerksbetreiber, das niederländische Energieforschungsinstitut und der Staat beteiligt sind, gesammelt und an einem der Kernkraftwerksstandorte zwischengelagert.

Der bei der Entsorgung der radioaktiven Abfälle langfristig verfolgte Ansatz unterscheidet sich maßgeblich von dem anderer Länder und soll hier aus diesem Grund - gestützt auf NL (1993) - ausführlicher behandelt werden:

Noch bis Ende der achtziger Jahre wurde in den Niederlanden die "baldige" Endlagerung der radioaktiven Abfälle in einem Endlagerbergwerk angestrebt. Dazu war ein dreiphasiges Programm zur Erforschung von Endlagertechniken, zur Auswahl potentieller Endlagerstandorte in Steinsalz (Salzstöcke) sowie zur Detailuntersuchung eines ausgewählten Standortes (oder mehrerer) aufgelegt worden. Davon kam nur die erste Phase zum Abschluß. Es wurde festgestellt, daß die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk in einem Salzstock möglich sei. Die weiteren Phasen wurden zunächst aufgeschoben.

Parallel zu diesen Untersuchungen wurde ein Umweltpolitik-Plan (National Environmental Policy Plan - NEPP) entwickelt, der die "nachhaltige Entwicklung" zum Ziel hat. Hintergrund ist die ethische Verpflichtung, die Bedürfnisse der gegenwärtig lebenden Menschen so zu befriedigen, daß nachfolgende Generationen nicht in der Befriedigung ihrer Bedürfnisse eingeschränkt werden. Seine Konkretisierung erfährt dieses Prinzip unter anderem in der Forderung nach der Vermeidung bzw. Verwertung oder Rezyklierung von Abfall. Alle durch wirtschaftliche Aktivität verursachten Stoffflüsse sind im Rahmen eines integrierten Lebenszeit-Managements (integrated life cycle management) für die beteiligten Stoffe zu überwachen. Die Endlagerung von Abfall darf nur dann erfolgen, wenn keine Möglichkeit zur Vermeidung oder Rezyklierung besteht. Sie muß zum zweifelsfreien Schutz der Umwelt emissionsfrei sein und den sogenannten ICM-Kriterien (Isolate, Control, Monitor: Abfälle isolieren, kontrollieren und überwachen) entsprechen. Im Hinblick auf die Entsorgung bestehen vor diesem Hintergrund keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen chemischen und radioaktiven Abfällen. Sie werden im NEPP daher folgerichtig gemeinsam als hochtoxische Abfälle behandelt.

Vor dem Hintergrund der genannten Prinzipien und auf Grundlage einer breiten und intensiven fachlichen und gesellschaftlichen Diskussion über Sinn und Umstände der Entsorgung hochtoxischer Abfälle im tiefen Untergrund hat die niederländische Regierung in den Jahren 1992 und 1993 folgende Position dazu entwickelt:

- Die Menge dauerhaft sicher zu verwahrender hochtoxischer Abfälle muß soweit wie möglich durch Vermeidung bzw. Rezyklierung reduziert werden. Entsprechende Forschung ist zu initiieren bzw. zu verstärken, z.B. zur Transmutation. Außerdem müssen die Abfallproduzenten beweisen, daß keine umweltfreundliche Alternative existiert und der abfallverursachende Prozeß von Nutzen für die Gesellschaft, die Firma und die Beschäftigtenzahl ist.
- Eine Einrichtung für die Langzeitlagerung hochtoxischer Abfälle ist zu schaffen. Die Abfälle müssen daraus dauerhaft rückholbar sein, weil nur so die ICM-Kriterien erfüllt werden können und der Forderung nach Rezyklierung im Rahmen des integrierten Lebenszeit-Managements von Stoffen nachgekommen werden kann. Letztlich muß sogar der gesamte Lagerprozeß rückgängig gemacht werden können.
- Rückholbarkeit bedeutet allerdings, daß sich auch künftige Generationen um die Abfälle kümmern müssen. Die damit verbundenen Nachteile hinsichtlich Zeit- und Kostenaufwand werden durch den Vorteil der Eingriffsmöglichkeit für Überwachung, Reparatur und vollständige Auslagerung der Abfälle aufgewogen.
- Die Forderung nach langfristiger Rückholbarkeit der Abfälle ist bei einem Lager in Steinsalz kaum bzw. nur bedingt umsetzbar, da Hohlräume durch die Konvergenz des Salzes geschlossen werden. Die Rückholbarkeit wird dadurch behindert oder verhindert. Die Option Endlagerung in Steinsalz wird daher aufgegeben.

Diese Überlegungen waren Anlaß für eine Reihe von Untersuchungen zur Umsetzung der Rückholbarkeitsforderung, auch im Rahmen internationaler Studien. Dabei sind verschiedene Optionen, u.a. die übertägige und die untertägige Lagerung, unter Sicherheitsaspekten geprüft worden. Danach zeichnet sich gegenwärtig folgendes Vorgehen ab:

Hochtoxische Abfälle werden zunächst über einen längeren Zeitraum (wenige hundert Jahre) übertägig in einer sicher ausgelegten Anlage rückholbar gelagert. Anschließend ist die weitere untertägige Lagerung in einem nicht verfüllten und verschlossenen Endlagerbergwerk möglich, wenn bis dahin keine besseren Entsorgungsmöglichkeiten entwickelt worden sind.

Es ist zu betonen, daß keine konkreten Sicherheitsbedenken zur Aufgabe der früher verfolgten Option "baldige Endlagerung" geführt haben. Maßgeblich für den Strategiewechsel sind vielmehr ethische und umweltpolitische Gründe („nachhaltige Entwicklung“), die allerdings sicherheitsmäßige Aspekte aufweisen (s. dazu H-7.7).

## H-7.7 Zusammenfassende Bewertung

Die Darstellung der Entsorgungssituation in den Ländern Frankreich, Kanada, USA, Schweiz und Niederlande zeigt zusammengefaßt:

### Übertägige Entsorgungsschritte

Die Wiederaufarbeitung ist - außer in Frankreich und der Schweiz - aufgegeben worden (USA) bzw. wird für die Zukunft nicht verfolgt (Kanada). Die Schweiz läßt derzeit zwar noch wiederaufarbeiten, jedoch ist die Wiederaufarbeitung dort für die Zukunft in Frage gestellt.

In den USA und Kanada, die die Direkte Endlagerung als Entsorgungsstrategie verfolgen, wird die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente in der Regel dezentral an Kraftwerksstandorten durchgeführt. Dabei gewinnt die trockene Zwischenlagerung - und hier wiederum die Behälterlagerung - zunehmend an Bedeutung. Eine Zerstörung der Brennelementstruktur (zerlegen, zerschneiden) zum Zweck der Endlagerkonditionierung ist nicht vorgesehen. Die endgültige Konzipierung der Endlagerbehälter soll erst nach genauer Kenntnis der Standortverhältnisse des Endlagers erfolgen.

### Endlagerung

Die Schutzziele bei der Endlagerung sind in den vier betrachteten Staaten mit Endlagerungsprogrammen schärfer gefaßt als in Deutschland. In den USA wird zudem das Grundwasser zusätzlich ausdrücklich als Schutzgut betrachtet.

Die Endlagerkonzepte aller betrachteten Länder beruhen für langlebige und hochaktive Abfälle auf der Endlagerung in tiefliegenden Gesteinsformationen. Kurzlebige und relativ geringaktive Abfälle werden in den USA und Frankreich oberflächennah deponiert. In den USA ist aus sicherheitstechnischen Gründen gegenwärtig eine Rückholbarkeit der Abfälle für ca. 50 Jahre vorgesehen. Die Rückholbarkeit wird auch in Frankreich untersucht. Das Konzept der Niederlande zum Umgang mit radioaktiven (und anderen toxischen) Abfällen mit kontrollierter (zunächst) übertägiger Langzeitlagerung ist aus der ethisch motivierten politischen Idee der Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung abgeleitet. Dadurch soll sichergestellt werden, daß die Befriedigung der Bedürfnisse künftiger Generationen durch die heutige Ressourcennutzung nicht eingeschränkt wird. Eine eindeutige Prognose darüber, daß das angestrebte Ziel tatsächlich erreicht werden wird bzw. erreicht werden kann, ist gegenwärtig nicht möglich. Auch überzeugende Sicherheitsvorteile gegenüber der baldigen Endlagerung zeichnen sich gegenwärtig nicht ab (s. dazu Kap. H-5.1). Immerhin unterscheidet sich der niederländische Ansatz aber in seiner Konsequenz in bedenkenswerter und diskussionswürdiger Weise vom Vorgehen in anderen Ländern.

Bei der Standortsuche ist - zumindest vom Ansatz her - in Frankreich und den USA systematisch vorgegangen worden. Dabei sind verschiedene Gesteinsarten als Wirtsgesteine untersucht worden. In den USA ist der systematische Ansatz jedoch spätestens mit der politisch begründeten Festlegung des Standortes Yucca Mountain aufgegeben worden. In Frankreich ist vorgesehen, an zwei Standorten parallel untertägige Erkundungen (Untertagelabors) vorzunehmen. In der Schweiz haben die bisherigen Bemühungen, in verschiedenen Gesteinsar-

ten einen geeigneten Standort zu finden, nicht zuletzt auch wegen der schwierigen geologischen Verhältnisse noch keinen Erfolg gebracht. In Kanada wird ein völlig anderer und sehr interessanter Weg verfolgt: Die Standortsuche beginnt erst dann, wenn über das Endlagerkonzept Klarheit sowie (gesellschaftliches und fachwissenschaftliches) Einvernehmen herrschen. Der Akzeptanz wird in Kanada ein sehr hoher Stellenwert zugemessen.

In allen vier Staaten wird der Nachweis der Langzeitsicherheit mit Hilfe von Sicherheitsanalysen durchgeführt. Allerdings ist zumindest in Kanada vorgesehen, hydro- bzw. geochemische Aspekte gleichfalls verstärkt in den Nachweis einfließen zu lassen.

### **Öffentlichkeitsbeteiligung, Konfliktbewältigung**

Die Lösung der Entsorgungsfrage bedarf nicht nur naturwissenschaftlich-technischer Antworten, sondern auch eine möglichst breite gesellschaftliche und fachliche Akzeptanz (s. Kap. H-5.2.1). Das setzt gezielte Maßnahmen zur Information und Beteiligung der Öffentlichkeit an der Entsorgungsdiskussion sowie akzeptanzfördernde Maßnahmen voraus. In diesem Sinne stellen die Arbeiten des NWTRB in den USA (s. H-7.4), der „Energiedialog Entsorgung“ in der Schweiz (s. H-7.5) sowie die Vorschläge des unabhängigen Beratungsgremiums in Kanada (s. H-7.3) unterschiedliche interessante Ansätze dar. Die Erfolgsaussichten können in diesen Fällen noch nicht beurteilt werden. Angesichts der Tatsache, daß in Deutschland seit Anfang der achtziger Jahre von seiten des Bundes keinerlei entsprechende Aktivitäten erfolgt sind, sollten sie jedoch als mögliche Beispiele für solche Maßnahmen verfolgt werden.

### **Kurzfasit**

Mit Blick auf eine zukünftige Vorgehensweise in Deutschland interessant sind vor allem:

- die schärferen Schutzziele bei der Endlagerung in den USA, Kanada, Frankreich und der Schweiz (und die besondere Beachtung des Schutzgutes Grundwasser in den USA),
- die Ansätze zur systematischen Standortsuche (einschließlich vergleichender Standortbewertung) in den USA und Frankreich,
- das kanadische Endlagerkonzept (Hartgestein) sowie die dortige Vorgehensweise (Standortsuche erst nach unabhängiger Überprüfung und öffentlicher Diskussion des Endlagerkonzepts),
- Die Maßnahmen zur Öffentlichkeitsbeteiligung und Konfliktbewältigung in Kanada, den USA und der Schweiz.

**H-8 QUELLENVERZEICHNIS**

- AAI - AntiAtom International (1993): 35 Years Promotion of Nuclear Energy: The International Atomic Energy Agency, a critical documentation of the agency's policy.- Studie des Österreichischen Ökologie-Institut und der Gruppe Ökologie; erstellt im Auftrag von AntiAtom International, Wien 1993.
- AECB - Atomic Energy Control Board (1987): Regulatory policy statement - Regulatory objectives, requirements and guidelines for the disposal of radioactive waste - long term aspects.- Atomic Energy Control Board, Document R-104 vom 05.06.1987.
- ALBRECHT, E. (1983): Interview mit dem niedersächsischen Ministerpräsidenten Ernst Albrecht über Atomstrom, Wiederaufarbeitung und Entsorgung.- Bonner Energie-Report, 4. Jg., Nr. 10 v. 06.06.1983, S. 18-21, Bonn.
- ALBRECHT, E. et al. (1969): Endlagerung radioaktiver Rückstände.- Schriftenreihe des Deutschen Atomforums, Heft 16, 43 S., Bonn.
- ALBRECHT, I. et al. (1989): Der Nachweis der Langzeitsicherheit bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle - Kurzer Prognosezeitraum garantiert keine Sicherheit.- 122 S.; Hannover (Gruppe Ökologie).
- ALI MANSOURI, M. (1994): The Siting of Radioactive Waste Storage Facilities.- CNTWM Report Rev. A (Draft), 5 S., unveröffentlichter Bericht, Berkeley, Kalifornien.
- ANDERSON, M.P. & WOESSNER, W.W. (1992): The role of the postaudit in model validation.- Advances in Water Resources, 15/1992, S. 167 - 173.
- ANDRA - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets radioactifs (1997): Laboratoire de recherche souterrain Est - état des connaissances et programme d`experimentation.
- ANDRA - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets radioactifs (1996): Laboratoire de recherche souterrain Est.- Demande d`autorisation, d`installation et d`exploitation.- Piece No. 1 - Justificatif des capacités techniques et financières de l`exploitant, Kap. III.6 La Reversibilité.
- APPEL, D. (1992): Kann die Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle zuverlässig nachgewiesen werden? - Methodische Probleme beim Umgang mit langen Zeiträumen.- In: GÖMMEL, R. (Hrsg.): Sicherheitstechnische Aspekte bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Vorträge anlässlich eines zweitägigen Seminars der KTG-Fachgruppe Chemie und Entsorgung und des GSF-Instituts für Tief Lagerung (Braunschweig, 1./2.10.1991), S. 17-22; Neuherberg (GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit).
- APPEL, D. (1980): Der Salzstock Gorleben-Rambow als Standort für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.- In: Öko-Institut Freiburg (Hrsg.): Probleme und Risiken der Endlagerung radioaktiver Abfälle oder Entsorgung heute - die Sorgen morgen.- Öko-Bericht, 9, S. 1-17.

- APPEL, D. & KREUSCH, J. (1993): Endlager Morsleben - Einlagerung radioaktiver Abfälle trotz Sicherheitsbedenken.- Stellungnahme, erstellt im Auftrag von Greenpeace Deutschland e.V., 21.01.1993, Hannover.
- APPEL, D. & KREUSCH, J. (1984): Gutachterliche Stellungnahme zum Zusammenfassenden Zwischenbericht über bisherige Ergebnisse der Standortuntersuchung in Gorleben der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.- 122 S.; Hannover (im Auftrag der Fraktion Die Grünen im Bundestag und der Fraktion Die Grünen im Niedersächsischen Landtag); Hannover.
- APPEL, D., GERVERS, J., HAMER, H., KÄBERGER, T. & KREUSCH, J. (1993): Bericht der Arbeitsgruppe Eignungsnachweis.- In: Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.): Internationales Endlager-Hearing 21-23. September 1993 in Braunschweig. Berichte der Arbeitsgruppen.
- ATW (1996): Kanada - Lagermengen abgebrannter Brennelemente.- atomwirtschaft, atomtechnik, 41. Jg., Heft 7, S. 510.
- ATW (1995): Marshallinseln - Endlagerung radioaktiver Abfälle.- atomwirtschaft, atomtechnik, 40. Jg., Heft 6, S. 426.
- ATW (1994): atomwirtschaft, atomtechnik; 39. Jg., Heft 2, S. 130
- BAAKE, R. (1998): Erläuterungen zum vorliegenden Entwurf eines Atomausstiegsgesetzes, 04.06.1998, Wiesbaden.
- BAM - Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (1994): Organization Chart and General Information, Status Juni 1994, Berlin.
- BANCK, J. & WASINGER, K. (1997): Lagerung abgebrannter Brennelemente.- atw, 42. Jg., Heft 6, S. 398.
- BANCK (1992): J. Banck und M. Peehs: „Langfristige Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente“; Sitzung des Deutschen Atomforums, 14. - 15. September 1992.
- BAUMGÄRTEL (1995): Quelle ist nachzuliefern.
- BAY, H. & FUCHS, H. (1998): Wiederaufarbeitung und direkte Endlagerung von abgebrannten Brennelementen.- Thesen der Kraftwerksbetreiber zuhanden Energiedialog Entsorgung des Bundesamtes für Energie der Schweiz.
- BDG - Bundesverband Deutscher Geologen (1990): Höchstmengenwerte für Schadstoffe in Boden, Grundwasser und Luft - Dokumentation und Bewertung aus geowissenschaftlicher Sicht.- Schriftenreihe des BDG, Heft 5, Bonn.
- BERG, H.P., BRENNECKE, P. und GÖRTZ, R. (1995): Reststoffverwertung und Abfallbeseitigung.- atw, 40.Jg., Heft 4, S.252.

- BFK - Beirat für Fragen des Kernenergieausstiegs (1993): Zentrale oder dezentrale Endlagerung? - Ausarbeitung im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums, Bearbeiter D. Appel; Hannover (29.3.1993).
- BFS - Bundesamt für Strahlenschutz (1998): Transporte radioaktiver Stoffe - Zahlen und Fakten.- Stand 10.02.1998.
- BFS - Bundesamt für Strahlenschutz (1997): Jahresbericht 1996.- BfS, Salzgitter.
- BFS - Bundesamt für Strahlenschutz (1997a): Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland - Abfallerhebung für das Jahr 1995.- Bericht BfS-ET-25/97, Salzgitter.
- BFS - Bundesamt für Strahlenschutz (1995): Jahresbericht 1994.- BfS, Salzgitter.
- BFS - Bundesamt für Strahlenschutz (1994): Pressemitteilung Nr. 20/94 vom 29.06.1994, Salzgitter.
- BFS - Bundesamt für Strahlenschutz (1992): Salzstock Gorleben - Als Endlager geeignet. Erkenntnisse aus der bisherigen Erkundung.- Broschüre, hrsg. vom BfS, 1. Auflage, Salzgitter.
- BFS - Bundesamt für Strahlenschutz (1990): Plan Endlager für radioaktive Abfälle, Schachanlage Konrad, - Allgemeinverständliche Zusammenfassung zum Plan Konrad (§ 6 Abs. 3 Satz 2 und Abs. 4 Satz 2 UVPG), 52 S., 11.12.1990, Salzgitter.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1997): ERA Morsleben - Gebirgsmechanische Beurteilung und Integrität der Salzbarriere im Zentralbereich der Grube Bartensleben.- Gutachten im Auftrag des BfS, Bericht zum AP 9M 23241011, BGR-Archiv-Nr. 116 808, Bericht v. 10.11.1997, Hannover.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995): Modelluntersuchungen zur Bewegung des Grundwassers bei vom Salzgehalt abhängiger Wasserdichte - Fallstudien und Modellvalidierung im Hinblick auf die Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle.- Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben 02 E 8301, im Auftrag des BMBF, Archiv-Nr. BGR: 114 249, Hannover.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995a): Stellungnahme zu Gutachten, die im Auftrag des NMU zur Eignungshöflichkeit des Standortes Gorleben angefertigt wurden.- Stellungnahme im Auftrag des BfS, BGR-Archiv-Nr. 114 026, Hannover.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995b): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Salzformationen.- Im Auftrag des BMU, BGR-Archiv-Nr. Hannover: 111 089, Hannover.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1994): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutsch-

- lands - Untersuchung und Bewertung von Regionen in nichtsalinaren Formationen.- Im Auftrag des BMU, BGR-Archiv-Nr. Hannover: 112 642, Hannover.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1977): Langzeitlagerung radioaktiver Abfälle - Katalog geeigneter geologischer Formationen in der Bundesrepublik Deutschland.- Hannover.
- BMFT - Bundesministerium für Forschung und Technologie (1978, Hrsg.): Tief Lagerung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik.- Energiediskussion, Nr. 4/1978, S. 6 - 10, Bonn.
- BMI - Bundesminister des Innern (1983): Bericht der Bundesregierung zur Entsorgung der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Einrichtungen; Deutscher Bundestag, Drucksache 10/327, 30.08.1983.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1997): Pressemitteilung Nr. 39/97 vom 16.07.1997, Bonn.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1997a): Pressemitteilung Nr. 19/97 vom 05.03.1997, Bonn.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1996): Schreiben des BMU an Herrn und Frau Haide in 73054 Eislingen betreffs Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben.- Bearbeiter: Dr. Bloser, Geschäftszeichen: RS III 6-07023 II, Schreiben v. 04.06.1996, 3 S., Bonn.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1995): Position zur weiteren Entwicklung der friedlichen Nutzung der Kernenergie.- Positionspapier vom 28.03.1995, 18 S., Bonn.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1995b): Auflistung bestehender und geplanter Anlagen des Brennstoffkreislaufes in der Bundesrepublik Deutschland.- Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, A.17, Stand Dezember 1995.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1990): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen.- Bundesanzeiger, Nr. 64 a) vom 31.03.1990, Bonn.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1990b): Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Brief von Dr. Hohlefelder an den Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH vom 14. März 1990.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1989): Pressemitteilung Nr. 44/89 vom 06.06.1989, Bonn.

- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1989a): Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989; BGBl. I S. 1321, ber. S. 1926.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1989b): Beratungsgrundlage zur Weiterentwicklung der Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke vom 19.03.1980.- RS III 1/RS III 2 - 513 243/2.2, Bonn, 09.08.1989.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1989c): Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht an eine Landessammelstelle abgeliefert werden vom 16. Januar 1989.- Bundesanzeiger Nr. 63a vom 4.04. 1989; zuletzt ergänzt am 14. Januar 1994, Bundesanzeiger Nr. 19 vom 28.01.1994.
- BNFL - British Nuclear Fuels PLC (1993): The economic and commercial justification for THORP.- July 1993.
- BREDELL, P.J. & FUCHS, H.D. (1997): International co-operation with regard to regional repositories for radioactive waste disposal.- Intern. Symp. on Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategies, Wien, 03.-06.06.1997, in Report IAEA-TECDOC-990, S. 261 - 270.
- BREITSCHMID, A. (1993): Schweizer Projekte.- In: Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.): Endlager-Hearing Braunschweig. Tagungsband II. Bericht der Arbeitsgruppe Barrieren.- S. 193-201, Hannover.
- BRENNECKE (1997): P. Brennecke und A. Hollmann: Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland -Abfallerhebung für das Jahr 1995-; Bundesamt für Strahlenschutz; BfS-ET-25/97, Salzgitter, September 1997.
- BRENNECKE (1996) P. Brennecke und A. Hollmann: Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland -Abfallerhebung für das Jahr 1994-; Bundesamt für Strahlenschutz; BfS-ET-23/96, Salzgitter, September 1996.
- BRENNSTOFFINSTITUT (1971): Angaben zur Einlagerungstechnologie, Strahlenschutzkonzeption und Umgebungsnutzung des Zentralen Endlagers Bartensleben.- Bericht des Deutschen Brennstoffinstituts Freiberg vom 30.09.1971 (Bearbeiter: SPANN, H.-Ch. & BREITFELD, H.), Freiberg (DDR).
- BRENNSTOFFINSTITUT (1969): Protokoll der Beratung zu Sicherheitsproblemen der Steinsalzgrube Bartensleben zwecks evtl. Nachnutzung als zentrales Endlager für radioaktive Abfälle am 21.5.1969 im Institut für Grubensicherheit Leipzig.- Protokoll v. 28.07.1969, Dr.Mo/Sp/Scha, 18 S., Freiberg (DDR).
- BTD - Bundestagsdrucksache (1998): Antwort der Bundesregierung auf eine Schriftliche Anfrage.- Arbeitsnummer 3/256 vom 06.04.1998, Bonn.

- BTD - Bundestagsdrucksache (1992): Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage.- Drucksache 12/2969 vom 29.06.1992, Bonn.
- BTD - Bundestagsdrucksache (1989): Antwort der Bundesregierung auf eine Große Anfrage.- Drucksache 11/5253 vom 27.09.1989.
- BTD - Bundestagsdrucksache (1988): Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag zur Entsorgung der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Einrichtungen vom 13.01.1988.- Drucksache 11/1632, Bonn.
- BTD - Bundestagsdrucksache (1983): Bericht der Bundesregierung zur Entsorgung der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Einrichtungen vom 24.08.1983.- Drucksache 10/327, Bonn.
- BTD - Bundestagsdrucksache (1977): Bericht zur Entsorgung der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland - Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag (Entsorgungsbericht) vom 30.11.1977.- Drucksache 8/1281, Bonn.
- BUNDESANZEIGER (1990): Satzung der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission vom 29. Januar 1990.- Bundesanzeiger, Nr. 36 vom 21.02.1990, S. 891, Bonn.
- BÜRGERINITIATIVE - Bürgerinitiative Kernenergie e.V. zur Förderung alternativer Energiekonzepte (1997): Greifswald - das Ende und der Neuanfang der Atomindustrie.- Informationsblatt vom 13.04.1997
- CLOSS, K. D. (1994): Problemstellung und Aufgabe des Workshops.- In: Kernforschungszentrum Karlsruhe (1994): Sammlung der Vorträge anlässlich des Workshops Natürliche Analoga zur Endlagerung radioaktiver Abfälle am 4. und 5. November 1993 im Kernforschungszentrum Karlsruhe.- KfK 5323, S. 11-16; Karlsruhe.
- COGEMA - Compagnie Generale des Matieres Nucleaires (1994): „Amendment to the Re-processing Contract of February 12th 1990“; 25. Mai 1994.
- COLA - Consortium of Opposing Local Authorities (1997): Nuclear Waste Disposal in Disarray.- Special Briefing, Number 27, April 1997.
- COVRA - Centrale Organisatie voor Radioactief Afval (1996).- In: DBE - Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (1996): Building the Safety Case for a Hypothetical Underground Repository in Crystalline Rock. Final Report. Vol. II Safety File.- S. 619-669 (im Auftrag der EURATOM, Contract ETNU-CT-93-0103).
- DANNERT (1997) V. Dannert et al.: Frühe Kapselung abgebrannter Brennelemente; Fachsitzung Jahrestagung Kerntechnik '97, Aachen, 13.- 15. Mai 1997.
- DÄUWEL, W. & B. Kömel (1998): Sicherheitstechnische Bewertung des Änderungsvorhabens 'Erweiterung der Brennelement-Lagerbeckenkapazität.- Tagungsbericht Jahrestagung Kerntechnik'98, München, 26. - 28.Mai 1998, S. 221.

- DBE - Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (1996): Building the safety case for a hypothetical underground repository in crystalline rock.- Final Report, Volume II: Safety File; Contract ETNU-CT-93-0103, Oktober 1996.
- DEBSKI, J. (1991): Kosten.- In: RÖTHEMEYER, H. (Hrsg. 1991): Endlagerung radioaktiver Abfälle, S. 137 - 138, VCH-Verlag, Weinheim u.a..
- DPA - Deutsche Presseagentur (1998): Agenturmeldung vom 23.02.1998.
- DIBBERT, H.J. et al.(1992): „Zum Stand der Entsorgung deutscher Kernkraftwerke durch Verträge mit COGEMA und BNFL“;Fachsitzung Jahrestagung Kerntechnik '92, Karlsruhe, 5. - 7. Mai 1992.
- DITTMER, H. (1998): Zitierte Aussagen in einem Artikel der Hannoversche Allgemeine Zeitung vom 02.04.1998
- DOE - DEPARTMENT OF ENERGY (1984): General Guidelines for the recommendation of sites for nuclear waste repositories.- Fed. Reg., Vol. 49, No. 236, S. 47752-47770, Washington D.C..
- DUPHORN, K.(1997): Antworten zum Fragenkatalog des Bundestags-Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Anhörung am 29. Oktober 1997.- In: STELLUNGNAHMEN (1997): Stellungnahmen der Sachverständigen zur Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit am Mittwoch, dem 29. Oktober 1997, Bundeshaus Bonn, zum Gesetzentwurf der Bundesregierung „Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes und zur Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz.- Deutscher Bundestag, Ausschußdrucksache 13/607, Bonn.
- DUPHORN, K. (1988): Gorleben - geologisches Gutachten zur Schacht- und Endlagerproblematik.- erstellt im Auftrag der SPD-Landtagsfraktion Niedersachsen und der SPD-Bundestagsfraktion, 141 S..
- DWK - Deutsche Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (1977): Entsorgungszentrum.- Sicherheitsbericht, Hannover, März 1977.
- EG - Europäische Gemeinschaft (1991): Performance Assessment of Confinements for Medium-Level and Alpha-Contaminated Waste (PACOMA): Rock Salt Opinion.- Bericht EUR 13634 EN der Kommission der Europäischen Gemeinschaft, Brüssel-Luxemburg.
- EG - Europäische Gemeinschaft (1988): PAGIS - Performant Assessment of Geological Isolation Systems for radioaktive Waste.- Hrsg. von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft, Bericht EUR 11 775 EN, Brüssel/Luxemburg.
- EHRlich, D. et al. (1986): Langzeitsicherheit von Endlagern - Zeitrahmen für Sicherheitsbetrachtungen - Bewertung der Subrosion des Salzstockes Gorleben.- atomwirtschaft, atomtechnik, H. 5, 19986, S. 231 - 236.

- EJZ - Elbe-Jeetzel-Zeitung (1996): „Bei der Entsorgung ist derzeit alles im Fluß“; 25. Mai 1996.
- ENQUETE (1980): Zukünftige Kernenergie-Politik: Kriterien, Möglichkeiten, Empfehlungen. Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages, Teil II.- Zur Sache - Themen parlamentarischer Beratung, Heft 2/80, Hrsg. v. Deutschen Bundestag, Orse- u. Informationszentrum, Bonn.
- ENTWURF (1997): Entwurf der Arbeitsgruppe für eine Verständigung (Entwurf eines Einigungspapiers zum Energiekonsens zwischen Bundesregierung und SPD) vom 01.02.1997.
- ENTWURF BR (1997): Entwurf zur Änderung des Atomgesetzes und des Gesetzes über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz.- Entwurf der Bundesregierung, Stand 09.06.1997, AZ: RS I1 - 11322-3/6, BMU, Bonn.
- EÖT (1992): Planfeststellungsverfahren für die Errichtung und den Betrieb der Schachanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle; Erörterungstermin vom 25.09.1992 bis 06.03.1993; Wortprotokoll Band 2 (S. 13-26) und Band 3 (S. 18-27 ff und 19-6 ff).
- EU-KOMMISSION (1994): Eine Gemeinschaftsstrategie für die Entsorgung radioaktiver Abfälle.- Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament und den Wirtschafts- und Sozialausschuß, Bericht KOM(94) 66 vom 02.03.1994, Brüssel.
- EURATOM (1957): Euratom Atomic Energy Community Treaty, Article I und Article 40, 1957.
- EWI - Energiewirtschaftliches Institut (1995): Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Entsorgungspfade von Kernkraftwerken - Eine Kostensimulation alternativer Strategien aus deutscher Sicht.- Schriften des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität Köln, Bd. 45, 150 S., Oldenbourg Verlag, München.
- EWI (1994): Angabe zitiert nach HENI (1996).
- EWI - Energiewirtschaftliches Institut (1984): Systemstudie andere Entsorgungstechniken - Wirtschaftlichkeitsvergleich von Entsorgungswegen.- Andere Entsorgungstechniken, Abschlußbericht KWA 3207/8, Technischer Anhang 21, Projektkoordination Kernforschungszentrum Karlsruhe.
- EWT - Energiewirtschaftliche Tagesfragen (1994): Kernenergie.- 44 Jg. (1994) Heft 1/2, S.72.
- FABIAN, H.-U. (1995): Die Entsorgung deutscher Kernkraftwerke.- Plenarvortrag Jahrestagung Kerntechnik 1995, Nürnberg, 16.05.1995.
- FARNUNG, R. (1997): Das Konzept zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in Deutschland steht.- Schriftliche Fassung der Rede auf der VDEW-Presskonferenz am 26.02.1997 in Bonn.

- FICHTNER (1991): Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Entsorgungspfade auf eine gesicherte Kernbrennstoffversorgung.- Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Fichtner - Beratende Ingenieure, Stuttgart.
- FRA (1992): Gesetz Nr. 91-1381 vom 30. Dezember 1991, bezüglich Forschung auf dem Gebiet der Entsorgung radioaktiver Abfälle.- veröffentlicht in Offizieller Anzeiger der französischen Republik vom 1. Januar 1992.
- FZK - Forschungszentrum Karlsruhe (1998): Antwortschreiben an die Gruppe Ökologie zu Zwischenlagerfragen vom 4.06.1998.
- GERVERS, J. H. (1993): Arbeitsgruppe Standortvorauswahl. Appendix A. Experience of different countries in site selection - case studies. Appendix A3 - USA.- In: Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.): Internationales Endlager-Hearing 21-23. September 1993 in Braunschweig. Berichte der Arbeitsgruppen.
- GIESKE, F. & PILTZ, K. (1992): Schreiben vom 23.11.1992 an Bundeskanzler Kohl zum überparteilichen Energie-Konsens.
- GNS - Gesellschaft für Nuklear-Service (1996): Gesellschaft für Nuklear-Service mbH; Antwortbrief an die Gruppe Ökologie, TE/RW/Rgr-961157, 13.06.1996.
- GNS - Gesellschaft für Nuklear-Service (1993): Strategische Überlegungen zur Zwischen- und Endlagerung.- Bericht-Nr. GNS TE B 06/93, 29 S. plus Anlagen, Essen.
- GNW - Genossenschaft für nukleare Entsorgung Wellenberg (1994): Technischer Bericht zum Gesuch um die Rahmenbewilligung für ein Endlager schwach- und mittelaktiver Abfälle am Wellenberg, Gemeinde Wolfenschiessen, NW.- GNW TB 94-01, Wolfenschiessen.
- GREENPEACE e.V. (1997): Radioaktive Belastungen des Meeres durch die Wiederaufarbeitungsanlage COGEMA/La Hague.- Meßbericht, Oktober 1997.
- GREENPEACE e.V. (1992): „Konzept zum Ausstieg aus der Atomenergie bis zum Jahr 2000“; erstellt im Rahmen der Konsensgespräche 1992/93; Dezember 1992.
- GROTH, K.-M. (1993): Kurzgutachten zur Rechtsqualität der völkerrechtlichen Begleitvereinbarungen bei der Wiederaufarbeitung ....- Erstellt im Rahmen des Beirat für Fragen des Kernenergieausstiegs beim Niedersächsischen Umweltministerium, 02.04.1993.
- GRONEMEIER - DR. GRONEMEIER UND PARTNER CONSULTING GMBH (1991): Prüfung und Bewertung der Antragsunterlagen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) auf Errichtung und Betrieb der Schachanlage Konrad als Anlage des Bundes zur Endlagerung radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung gemäß § 9 b AtG.- Gutachten im Auftrag der Stadt Salzgitter, 99 S., Oktober 1991.
- GRS - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (1997): Jahresbericht 1996, Hrsg. im Oktober 1997, GRS Köln.

- GRS: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (1997a): Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse der Länderumfrage zum 31.12.1996; Köln, 20.05.1997
- GRS - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (1996): „Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse der Länderumfrage zum 31.12.1995“; Köln, 12. März 1996.
- GRS - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (1995): Jahresbericht 1994/95, Hrsg. im Dezember 1995, GRS Köln.
- GRS - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (1992): W. Mester: Daten zu kerntechnischen Anlagen und Verfahren des Brennstoffkreislaufes und der Entsorgung; Fortschreibung des Berichts GRS-A-1259, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1992-358, Juli 1992.
- GRS - Gesellschaft für Reaktorsicherheit (1987): Protokoll, Fachgespräch Langzeitsicherheit Schacht Konrad am 13.07.1987.
- GRÜNEWALD (1997) W. Grünewald et al.: Planung der HAWC-Verglasungseinrichtung Karlsruhe; Tagungsbericht Jahrestagung Kerntechnik '97, Aachen, 13.- 15. Mai 1997.
- GRUPPE ÖKOLOGIE (1998): Stellungnahme zum Nachweis der Unfallsicherheit der Transport- und Lagerbehälter CASTOR V/19 und V/52.- (erstellt im Auftrag von Greenpeace e.V.), Februar 1998, Hannover.
- GRUPPE ÖKOLOGIE (1997): Gutachterliche Bewertung der Abfallmengenbilanz sowie der aktuellen Optionen und Strategien der Betreiber im Entsorgungsbereich; (erstellt im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90 / Die Grünen), Dezember 1997, Hannover.
- GRUPPE ÖKOLOGIE (1994): Stellungnahme zum Nachweis der grundsätzlichen Eignung des Standortes Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW) für die Errichtung eines Endlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Nachweis der Langzeitsicherheit.- Hannover (im Auftrag der Schweizerischen Energie-Stiftung).
- GRUPPE ÖKOLOGIE (1991): „Einsatz von plutoniumhaltigen Mischoxid-Brennelementen in Leichtwasserreaktoren“; Studie der Gruppe Ökologie im Auftrag von Greenpeace International; November 1991, Hannover.
- GRUPPE ÖKOLOGIE (1991a): Schwachstellenbetrachtung für das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben.- Studie im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Schacht Konrad e.V., 98 S., Hannover.
- GRUPPE ÖKOLOGIE (1991b): Gutachterliche Stellungnahme zum "Plan Endlager für radioaktive Abfälle Schachtanlage Konrad, Salzgitter" des Bundesamtes für Strahlenschutz.- 185 S.; (erstellt im Auftrag der Stadt Salzgitter), Oktober 1991, Hannover.

- GRUPPE ÖKOLOGIE (1988a): „Wiederaufarbeitung ist todsicher ...“; veröffentlicht in der Greenpeace-Reihe Restrisiko, Nr 3/4; Hamburg, Dezember 1988.
- GRUPPE ÖKOLOGIE (1988b): „Plutonium-Pfade und Bombenbau“; veröffentlicht in der Greenpeace-Reihe Restrisiko, Nr 2; Hamburg, Juni 1988.
- GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO (1994): Studie zur Entwicklung von Grundlagen für ein Verfahren zur Auswahl von Endlagerstandorten und Beurteilung ihrer Langzeitsicherheit.- Im Auftrag des niedersächsischen Umweltministeriums, Abschlußbericht November 1994, Gruppe Ökologie und Büro PanGeo, Hannover.
- GRUPPE ÖKOLOGIE/PANGEO (1993): Gutachten zur „Eignungshöflichkeit“ des Salzstockes Gorleben als Endlager für radioaktive Abfälle.- Im Auftrag des niedersächsischen Umweltministeriums, Abschlußbericht August 1993, Gruppe Ökologie und Büro PanGeo, Hannover.
- GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH (1996): Erarbeitung und Bewertung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Sicherheitsanalyse eines Endlagers in der Nachbetriebsphase.- Bericht GRS-136, September 1996, Braunschweig.
- GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH (1996a): Jahresbericht 1995, 347 S., Neuherberg.
- GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (1991a): Statusreport: Grundwasserprogramme mit variabler Dichte.- GSF-Bericht 31/91, 54 S., Institut für Tief Lagerung, Braunschweig.
- GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (1991b): Systemanalyse Mischkonzept - Analyse der Langzeitsicherheit von Endlagerkonzepten für wärmeerzeugende radioaktive Abfälle.- Abschlußbericht, Technischer Anhang 7 (Bearbeiter: BUHMANN, D.; NIES, A.; STORCK, R.), Braunschweig.
- GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (1990a): Endlagersicherheit in der Nachbetriebsphase (Rahmenplan für notwendige FE-Arbeiten).- GSF-Bericht 6/90, Institut für Tief Lagerung, Braunschweig.
- GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (1990b): EMOS: Programmpaket zur Langzeitsicherheitsanalyse eines Endlagers für radioaktive Abfälle, Version 4.- GSF-Bericht 32/90, 337 S. plus Anhang, Institut für Tief Lagerung, Braunschweig.
- HAN, K. W. et al. (1997): Radioactive waste disposal: Global experience and challenges.- IAEA-Bulletin, Vol. 39, No. 1, S. 33 - 41.
- HANDELSBLATT (1997): Grünes Licht für Endlager Konrad.- Artikel vom 11.12.1997.
- HARIG, H.-D. (1996): Aussagen nach einer Meldung der Nachrichtenagentur Reuters vom 26.09.1996.

- HARIG, H.-D. (1995): Energiepolitik und Kernenergie - was erwartet die Elektrizitätswirtschaft? - atomwirtschaft, atomtechnik, Heft 3, 1995, S. 155-159.
- HAWICKHORST, W. (1994): „Ist die Entsorgung technisch sichergestellt?“.- Fachsitzung auf der Jahrestagung Kerntechnik '94, 17. - 19. Mai 1994, Stuttgart.
- HAZ - Hannoversche Allgemeine Zeitung (1998): „Zu Atommüll-Lagerung an Kraftwerken bereit“.- Artikel vom 07.04.1998.
- HEIJDE, P.K.M., van der (1990): Quality Assurance in the Development and Application of Groundwater Models.- Proceed. of IAHS Internat. Conf. on Calibration and Reliability in Groundwater Modelling, IAHS Publ. No. 195, S. 271, Den Haag.
- HENI, W. (1996): Bewertung der Direkten Endlagerung aus der Sicht eines EVU und Perspektiven dieses Entsorgungsweges.- In: FORSCHUNGSZENTRUM KARLRUHE (1996): Direkte Endlagerung. Sammlung der Vorträge anlässlich der Abschlußveranstaltung am 7. und 8. Dezember 1995 in Karlsruhe, S. 55 - 70, Karlsruhe.
- HENSING, I. (1996): Ansätze einer internationalen Entsorgung hochradioaktiver Abfälle - eine ökonomische Analyse aus deutscher Sicht.- Oldenbourg Verlag, München.
- HERRMANN, A.G. (1992): Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung.- BfS-Schriften Bd. 5/92, Salzgitter.
- HERRMANN, A.G. (1984): Die Entstehung und Herkunft von Lösungen im Salzstock Gorleben.- In: BMFT (1984, Hrsg.): Entsorgung - Bericht von einer Informationsveranstaltung des Bundes vor dem Schachtabteufen, Salzstock Gorleben, Entsorgung, Bd. 3, S. 441-451, Bonn.
- HERRMANN, A.G. & KNIPPING, B. (1993): Fluide Komponenten als Teile des Stoffbestandes der Evaporite im Salzstock Gorleben - Vorkommen, Herkunft, Entstehung und Wechselwirkungen mit den Salzgesteinen.- Gutachten im Auftrag des NMU.
- HIBBS, M. (1996): No confidence German reactors can store spent fuel on site.- Nuclear Fuel, June 3, 1996-7.
- HIRCHE, W. (1997): Internationale Endlagerlösungen - Ausweg oder Irrweg?.- atomwirtschaft, atomtechnik, 42. Jg., H. 4, S. 223 - 226.
- HIRSCH, H. (1996): Stellungnahme auf der öffentlichen Anhörung des Hessischen Landtags (11. Sitzung des Umweltausschusses), Stenographischer Bericht Teil 1, 20 Juni 1996.
- HMU - Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (1996): Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung im Umweltausschuß des Hessischen Landtags über die Entsorgung von hochradioaktiven Brennelementen aus Kernkraftwerken nach dem Atomgesetz am 20. Juni 1996 in Wiesbaden.

- HMU - Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (1997): Bundesweisung dokumentiert Zusammenspiel mit Biblis-Betreiber.- Presseinformation, Wiesbaden, 7.03.1997.
- HOLLMANN, A. (1998): Antwortschreiben bzgl. Abfallerhebung 1995 an die intac GmbH, ET-S1.1/Ho, 27.02.1998.
- HOLLMANN, A. (1994): Aufkommen radioaktiver Abfälle in Deutschland -Abfallerhebung für das Jahr 1992.- BfS-ET-20/94, Januar 1994, Salzgitter.
- HOLLMANN, A. & BRENNECKE, P. (1994): Aufkommen radioaktiver Abfälle in Deutschland - Abfallerhebung für das Jahr 1991.- BfS-ET-17/93, Februar 1993, Salzgitter.
- HOLZER, J. (1993): Die Zukunft der Kernenergie in Deutschland.- atomwirtschaft, atomtechnik, 1993, Heft 7, S. 503-507.
- HUG (1990): Otto Hug Strahleninstitut: „Strahlenexposition und -risiko sowie Sicherheit bei der sog. 'schadlosen Verwertung' von bestrahlten Brennelementen im Ausland“; Gutachten im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg; September 1990, Bonn.
- IAEA - International Atomic Energy Agency (1994): Technical, Institutional and Economic Factors Important for Develeoping a Regional Repository.- Report Consultants Meeting, 28.11.-02.12.1994, Division of Nuclear Fuel and Waste Mangement, IAEA, Wien.
- IAEA - International Atomic Energy Agency (1992): Radioactive Waste Management - An IAEA Source Book.- 276 S., Wien.
- IAEA - International Atomic Energy Agency (1989): Statute of the International Atomic Energy Agency.- Inkraftgesetzt am 29. Juli 1957, zuletzt geändert am 28. Dezember 1989.
- IGM/ÖTV - Arbeitsgemeinschaft Kerntechnik der Industriegewerkschaft Metall und der ÖTV (1980): Der Begriff "rückholbare Endlagerung" im Rahmen der Entsorgungsdiskussion.- Frankfurt am Main (20.10.1980).
- INTAC (1996): intac - Beratung, Konzepte, Gutachten zu Technik und Umwelt GmbH: „Gefahren beim Transport von HAW-Kokillen zur Zwischenlagerung in der BRD“; Studie erstellt im Auftrag von Greenpeace e.V.; Februar 1996, Hannover.
- JÜRGENS, H.-H. (1979): Atommülldeponie Salzbergwerk Asse II: Gefährdung der Biosphäre durch mangelnde Standsicherheit und das Ersaufen des Grubengebäudes.- Hrsg. von der Asse-Gruppe des Braunschweiger Arbeitskreises gegen Atomenergie, 56 S., Braunschweig.
- KESSLER, G. (1997): Antworten zum Fragenkatalog zur Anhörung vor dem Ausschuß für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit am 29. Oktober 1997.- In: STELLUNGNAHMEN (1997): Stellungnahmen der Sachverständigen zur Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit am Mittwoch, dem

29. Oktober 1997, Bundeshaus Bonn, zum Gesetzentwurf der Bundesregierung „Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes und zur Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz.- Deutscher Bundestag, Ausschußdrucksache 13/607, Bonn.
- KFK - Kernforschungszentrum Karlsruhe (1994): Sammlung der Vorträge anlässlich des Workshops Natürliche Analoga zur Endlagerung radioaktiver Abfälle am 4. und 5. November 1993 im Kernforschungszentrum Karlsruhe.- KfK 5323; Karlsruhe.
- KIM, J.-I. & ODOJ, R. (1998): Entsorgung von Aktiniden.- Fachsitzung auf der Jahrestagung Kerntechnik'98, München, 26. - 28.Mai 1998.
- KKE - Kernkraftwerk Emsland (1998): Fachgespräch mit der Betriebsleitung des Kraftwerkes unter Beteiligung von W. Neumann (Gruppe Ökologie) am 24.03.1998.
- KNE - Kommission Nukleare Entsorgung (1994): Stellungnahme der Kommission Nukleare Entsorgung (KNE) zur Standortwahl der Nagra (NTB 93-02).- Bericht zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Bundesamt für Energiewirtschaft (Januar 1994).
- KONIKOW, L.F. & BREDEHOEFT, J.D. (1992): Ground-water models cannot be validated.- Advances in Water Resources, 15/1992, S. 75 - 83.
- KONTEC (1997): 3. Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stillungsabfälle“.- 19.-21.März 1997, Hamburg.
- KRELLMANN, M. (1997): Plutonium Fuel Recycling in LRWs.- Tagungsbericht Jahrestagung Kerntechnik 1997, 13. - 15.05.1997, S. 332 ff.
- KREUSCH, J. & HIRSCH, H. (1984): Sicherheitsprobleme radioaktiver Abfälle im Salz - Beschreibung der Konzepte, Mängel und Grenzen von Sicherheitsanalysen, Diskussion von Schutzziele und Kriterien.- Schriftenreihe der Max-Himmelheber-Stiftung, 9, 189 S., Hannover.
- KUNI, H. (1997): Biologische Wirksamkeit der Neutronen im Strahlenschutz unterschätzt.- Thesen, Greenpeace-Veranstaltung, Bonn, 16.01.1997.
- KÜHN, K. (1997): Disposal Options for Long-Lived and High-Level Waste.- In: McMENAMIN, T. (1997, ed.): Management and Disposal of Radioactive Waste. Fourth European Conference, 25.-29. März 1996, Luxemburg, Proceedings, S. 16 - 29, Bericht EUR 17543 EN.
- KÜHN, K. (1980): Kurzstudie zu den Fragen "Welche Kriterien müssen für die Eignungsprüfung eines gegebenen Salzstocks für die Einrichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle herangezogen werden, u.a. Fragen".- In: BMFT (1980 Hrsg.): Kriterien für ein Endlager für radioaktive Abfälle - Diskussionsbeiträge, S. 10-24, Bonn.

- KÜHN, K. & BRENNECKE, P. (1998): Internationale Endlager für radioaktive Abfälle - eine realistische Möglichkeit? - Vortragsmanuskript Jahrestagung Kerntechnik, 26.-28.05.1998, München.
- KÜPPERS, C. & SAILER, M. (1994): MOX-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung.- Studie im Auftrag des IPPNW, August 1994, Berlin.
- LANDTAG - Niedersächsischer Landtag (1995): Niedersächsischer Landtag - 13. Wahlperiode. Kleine schriftliche Anfrage der Abgeordneten Harms (Bündnis 90/Die Grünen) vom 10.01.1995 „Atomrechtliches Planfeststellungsverfahren für ein Endlager Gorleben“ sowie zugehörige Antwort des Niedersächsischen Umweltministeriums vom 19.05.1995.
- LELIEVRE (1996): Perspectives and Cost of Partitioning and Transmutation of Long-Lived Radionuclides.- In: Fourth Conference of the European Commission on the Management and Disposal of Radioactive Waste, Luxembourg, 25-29 March 1996, Book of Abstracts, S.15 - 16.
- LMV - Landtag Mecklenburg-Vorpommern (1991): Kernkraftwerk Greifswald. Gemeinsamer Antrag der Fraktionen der CDU, SPD, LL/PDS und F.D.P., Drucksache 1/868, 16.10.1991.
- LÜTTIG, G., BREITSCHMID, A., GOLDBERG, G. GRIMMEL, E., KNIPPING, B. & LUX, K.H. (1993): Bericht der Arbeitsgruppe „Barrieren“.- In: Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.): Internationales Endlager-Hearing, 21.-23. September 1993 in Braunschweig.
- MAIHOFFER, W. (1974): Ansprache von Bundesinnenminister Prof. Dr. Werner Maihofer anlässlich der konstituierenden Sitzung der Strahlenschutzkommission am 17. Oktober 1974 in Bonn.- In: BMI - BUNDESMINISTER DES INNEREN (1983): Strahlenschutzkommission - Aufgaben, Arbeitsweise, Ergebnisse. Information über die Tätigkeit der Strahlenschutzkommission beim Bundesminister des Inneren, Hrsg. anlässlich ihrer 50. Sitzung am 08. Dezember 1983, S. 24-25.- Geschäftsstelle der SSK in der GRS, Köln.
- MAKHJANI, A. (1989): Reducing the Risks: Policies for the Management of Highly Radioactive Nuclear Waste.- 107 S., Takoma Park.
- MARTINI, H.J. (1963): Bericht zur Frage der Möglichkeit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Untergrund.- Bericht der Bundesanstalt für Bodenforschung, unveröff., Hannover [zit. nach KÜHN, 1980].
- MATTING, A. (1992): Stand und Tendenzen bei der Entsorgungsvorsorge für Kraftwerke aus der Sicht des Staates.- Fachsitzung auf der Jahrestagung Kerntechnik '92, 5. - 7. Mai 1992, Karlsruhe.
- MAUTHE, F. (1979): Probleme und Risiken bei der geplanten Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem nordwestdeutschen Salzstock.- Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover, 18, 60 S., Hannover.

- McCOMBIE, Ch. (1997): Multi-national repositories - will their time come?.- Nuclear Engineering International, Juli 1997, S. 30 - 32.
- MEMMERT, G. (1984): Untersuchungen zur Ausbreitung von Radionukliden aus einem Endlager am Beispiel des Salzstocks Gorleben.- In: BMFT - Bundesministerium für Forschung und Technologie (Hrsg. 1984): Entsorgung, Bd. 3, Bericht von einer Informationsveranstaltung des Bundes vor dem Schachtabteufen - Salzstock Gorleben - 27./28. Mai 1983 in Hitzacker, S. 281-330, Bonn.
- MEMMERT, G. (1983): Ergebnisse der bisherigen Berechnungen zum Transport von Radionukliden.- In: BMFT - Bundesministerium für Forschung und Technologie (Hrsg. 1983): Entsorgung, Bd. 2, Bericht von einer Informationsveranstaltung am 23.10.1982 in Hitzacker im Rahmen des Energiedialoges der Bundesregierung - „Zwischenergebnisse zum Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE)“, S. 165-181, Bonn.
- MERZ, E. (1994): Argumente und kritische Anmerkungen zu den Entsorgungsstrategien bei der Kernenergie. VDI-Berichte Nr. 1076, 1994, S. 121 ff.
- MICHAELI, W.-D. (1997): Kohle-Kompromiss und weitere Konsensbemühungen.- Energie-wirtschaftliche Tagesfragen, 47. Jg., Heft 4, S. 188.
- MÜLLER, M. et al. (1998): Stoppt die CASTOR-Transporte nach Ahaus jetzt!- Erklärung von Mitgliedern der SPD-Bundestagsfraktion, 12.02.1998.
- NAGRA - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1993a): Endlagerung kurzlebiger Abfälle. Vergleichende Beurteilung der potentiellen Standorte.- Nagra Tech. Ber. NTB 93-02, Wettingen.
- NAGRA - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1993b): Endlagerung kurzlebiger schwach- und mittelaktiver Abfälle (Endlager SMA): Beurteilung der Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen; NW).- Nagra Tech. Ber. NTB 93-26, Wettingen.
- NAGRA - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1993c): Geologische Grundlagen und Datensatz zur Beurteilung der Langzeitsicherheit des Endlagers für schwach- und mittelaktive Abfälle am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW). Untersuchungen zur Standorteignung im Hinblick auf die Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle.- Nagra Tech. Ber. 93-28, Wettingen.
- NAGRA - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1988): Zwischenbericht zur Sedimentstudie.- Nagra Tech. Ber. 88-25, Baden/Schweiz.
- NAGRA - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1985a): Nukleare Entsorgung Schweiz: Konzept und Übersicht über das Projekt Gewähr 1985.- Projektbericht NGB 85-01, Baden/Schweiz.

- NAGRA - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1985b): Projekt Gewähr 1985. Radioaktive Abfälle: Eigenschaften und Zuteilung auf die Endlagertypen.- Projektbericht NGB 85-02, Baden/Schweiz.
- NAGRA - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1985c): Projekt Gewähr 1985. Endlager für hochaktive Abfälle: Das System der Sicherheitsbarrieren.- Projektbericht NGB 85-04, Baden/Schweiz.
- NAGRA - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (1985d): Projekt Gewähr 1985. Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle: Das System der Sicherheitsbarrieren.- Projektbericht NGB 85-07, Baden/Schweiz.
- NEUMANN, W. (1997a): Konzept einer dezentralen Umgangsstrategie für Brennelemente.- Erstellt im Rahmen des Beirat für Fragen des Kernenergieausstiegs beim Niedersächsischen Umweltministerium, Endbericht Februar 1997, Hannover.
- NEUMANN, W. (1997b): Die hoch radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague rollen weiter nach Gorleben.- Strahlentelex Nr. 240-241/11. Jahrgang, S. 2, 9. Januar 1997.
- NEUMANN, W. (1990): Entsorgung nach Abschalten aller AKW's.- Ökologische Fachinformationen für Politik, Wirtschaft und Verwaltung, Ökologische Briefe Nr. 2, S. 19, Januar 1990.
- NIES, A. (1989): Application of the Monte Carlo Method in the Performance Assessment of a Hypothetical HLW Repository in Salt.- In: LUTZE, W. & EWING, R.C. (1989, Hrsg.): Scientific Basis for Nuclear Waste Management XII, Material Research Society Symposium Proceedings Vol. 127, S. 589-596, Pittsburgh, Pennsylv.
- NF (1996a): M. Hibbs: „German utilities said close to deal on storage contracts with COGEMA“; Nuclear Fuel, January 15, 1996, p 5.
- NF (1996b): Nuclear Fuel, 1996, Monat und Seite sind nachzuliefern.
- NF (1995a): P. Marshall: „Government accepts BNFL's plans on substitution of waste volumes“; Nuclear Fuel, July 17, 1995, p 13.
- NF (1995b): Nuclear Fuel, 1995, Monat und Seite sind nachzuliefern.
- NL (1993): The Position of the Dutch Government on Deep Burial.- In: Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.): Endlager-Hearing Braunschweig. Tagungsband II.- S. 374-379, Hannover.
- NLFB - Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (1993): Gefahrenabschätzung für die Schachtanlage Asse.- Im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums, NLfB-Archiv-Nr. 109 080, Hannover.
- NLR (1979): Niedersächsische Landesregierung: „Rede - Gegenrede“; Wortprotokoll des Gorleben-Hearings vom 28.03. - 3.04.1979; als Manuskript veröffentlicht, Hannover.

- NMB - Der Niedersächsische Minister für Bundesangelegenheiten (1984): Antwort auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Kreuzer, Dr. Riege, Schmidt (SPD) „Zweifel an der Unabhängigkeit geowissenschaftlicher Gutachter für die Endlagerstätten radioaktiver Stoffe in Gorleben und Schacht Konrad“.- Pressemitteilung 166/84 vom 09.11.1984.
- NMU - Niedersächsisches Umweltministerium (1997): Rücklieferung von schwach- und mittelaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague; Antwort auf eine Kleine Anfrage der Abgeordnetet Harms, September 1997, Hannover.
- NMU - Niedersächsisches Umweltministerium (1997a): Presseinformation Nr. 99/97 vom 08.08.1997, Hannover.
- NMU - Niedersächsisches Umweltministerium (1994): Planfeststellungsverfahren für die Errichtung und den Betrieb der Schachtanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle.- Wortprotokoll des Erörterungstermines vom 25.09.1992 - 06.03.1993 in Salzgitter-Lebenstedt und Vechelde-Wedtlenstedt, insgesamt 8 Bände, Hannover.
- NMU - Niedersächsisches Umweltministerium (1996): Konzept zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland, Stand 1966, 9 S., Hannover.
- NOSACK, U. (1996): Gegenüberstellung einiger Langzeitsicherheitsanalysen für Endlager in Granit- und Salzformationen.- GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Tief Lagerung, Bericht GRS - 136.
- NW - Nucleonics Week (1996): Artikel in der Ausgabe vom 15.08.1996.
- OBERMEIER, G. (1996): VIAG fordert Entsorgungskonsens.- Schriftliche Fassung des Vortrags, gehalten am 23.01.1996 in Bonn.
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (1990): The International Intraval Project - Background and Results, 45 S., Paris.
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (1989): Plutonium Fuel - An Assessment.- Organisation for Economic Co-Operation and Development and Nuclear Energy Agency, Paris.
- OECD/NEA - Organisation for economic co-operation and development/Nuclear Energy Agency (1994): The Economics of the Nuclear Fuel Cycle.- Paris.
- OECD/NEA - Organisation for economic co-operation and development/Nuclear Energy Agency (1985): Zahlenwerte entnommen aus HENI (1996).
- ÖKO-INSTITUT (1992): Untersuchungen zu Alternativen im Umgang mit dem vorhandenen aus deutschen Kernkraftwerken stammenden Plutonium.- Gutachten im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg, Öko-Institut, Darmstadt.
- ÖKO-INSTITUT (1990): Vergleich und Bewertung der Sicherheitsanforderungen bei der Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Brennelemente in der Bundesrepublik, Frankreich

- und Großbritannien.- Gutachten im Auftrag des Ministers für Soziales, Gesundheit und Energie des Landes Schleswig-Holsteins, September 1990, Darmstadt.
- ORESQUES, N. et al. (1994): Verification, Validation, and Confirmation of Numerical Models in the Earth Sciences.- Science, Vol. 263, Febr. 1994, S. 641 - 646.
- ORRES, E. et al (1997): Sensitivity analysis in performance assessment of geological systems: The Everest Project.- In: McMENAMIN (1997, ed.): Fourth European Conference on Management and Disposal of Radioactive Waste, Luxembourg, S. 663 - 680, Bericht EUR 17543 EN.
- PAE - Projektgruppe Andere Entsorgungstechniken (1984): Systemstudie Andere Entsorgungstechniken. Abschlußbericht Hauptband.- KWA 2190/1 (Kernforschungszentrum Karlsruhe; Bearbeiter: K. D. Closs, H. J. Engelmann, W. Fürst, H. Loser, O. Mehling, V. Motoi, R. Papp).
- PANGEO/GRUPPE ÖKOLOGIE (1993): Erörterungstermin Konrad: Zusammenfassung und Bewertung von TOP 3 - Themenkomplex Langzeitsicherheit.- Ausarbeitung v. 26.01.1993, 19 S., Büro PanGeo Hannover und Gruppe Ökologie Hannover (unveröff.).
- PAPP, R. (1997): GEISHA - Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten in Salz und Hartgestein.- Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA-PTE Nr. 3, Karlsruhe.
- PASSIG, E. (1996a): Stellungnahme auf der öffentlichen Anhörung des Hessischen Landtags (11. Sitzung des Umweltausschusses), Stenographischer Bericht Teil 1, 20. Juni 1996.
- PASSIG, E. (1996b): Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle.- Fachsitzung auf der Jahrestagung Kerntechnik '96; 21. - 23. Mai 1996, Mannheim.
- PE (1993): Gemeinsame Presseerklärung von BUND, Greenpeace Deutschland e.V. und IPPNW: „Gemeinsame Position von BUND, Greenpeace und IPPNW: Die Umweltverbände ziehen Bilanz der Energiekonsens-Gespräche“ vom 18.10.1993.
- PERSCHMANN, W.-D. (1997): Stand und Perspektiven des Einsatzes von wiederangereichertem Alturan.- Fachsitzung Jahrestagung Kerntechnik 1997, 13. - 15.05.1997, Aachen.
- PILTZ, K. (1993): Bausteine für einen energiepolitischen Konsens.- atomwirtschaft, atomtechnik, Heft 3, 1993, S. 187-190.
- PREUSSENELEKTRA (1997): Brief der PreussenElektra AG an Rebecca Harms (niedersächsische Landtagsfraktion Bündnis 90 /Die Grünen) vom 24.09.1997, VO/Dr.U/Sdl.
- PROTOKOLL (1995a): Protokoll des Energiekonsensgesprächs vom 24.04.1995, 12 S..

- PROTOKOLL (1995b): Protokoll des Energiekonsensgesprächs vom 21.06.1995, 9 S. plus Anlagen.
- PSE - Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (1985): Zusammenfassender Abschlußbericht; Kapitel 4, Entwicklung eines sicherheitsanalytischen Instrumentariums für das geologische Endlager für radioaktive Abfälle in einem Salzstock.- 106 S., Hrsg. von der Projektleitung, Hahn-Meitner-Institut, Berlin.
- PSE - Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (1985a): Modellansätze und Ergebnisse zur Radionuklidfreisetzung aus einem Modellsalzstock.- Abschlußbericht, Fachband 16; (Bearbeiter: BRÜGGEMANN, R., HOSSAIN, S., KASCHANIAN, B., KÜHLE, T., NIES, A., OHME, G., PATTLOCH, F., PODTSCHASKE, T., RIMKUS, D., STELTE, N. & STORCK, R.), Berlin.
- PSE - Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (1985b): Modellrechnungen zur Ausbreitung von Radionukliden im Deckgebirge.- Abschlußbericht, Fachband 18; (Bearbeiter: BÜTOW, E., BRÜHL, G., GÜLKER, M., HEREDIA, L., LÜTKEMEIER-HOSSEINIPOUR, S., NAFF, R. & STRUCK, S.), Berlin.
- PSE - Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (1983): Zusammenfassender Zwischenbericht, Teil V, Sicherheitsanalysen für die Nachbetriebsphase eines Endlagers.- Bericht Nr. Z 3/V B, Berlin.
- PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt (1982): Stellungnahme zu den einzelnen Fragestellungen interdisziplinären Charakters in der Studie von Herrn Prof. Duphorn.- PTB-Info-Blatt 3/82 v. 08.10.1982, Braunschweig.
- PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt (1978): Entsorgungsstrategie: Endlager für radioaktive Abfälle.- Energiediskussion, Nr. 2, S. 12-14, BMFT (Hrsg.), Bonn.
- RENGELING, H.-W. (1997): Stellungnahme zur Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit des Deutschen Bundestages zum Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes etc..- In: STELLUNGNAHMEN (1997): Stellungnahmen der Sachverständigen zur Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit am Mittwoch, dem 29. Oktober 1997, Bundeshaus Bonn, zum Gesetzentwurf der Bundesregierung „Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes und zur Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz.- Deutscher Bundestag, Ausschußdrucksache 13/607, Bonn.
- RITTSCHER, D. (1998): Erläuterungen auf der Sitzung des Umweltausschusses des Kreistages vom Landkreis Ostvorpommern am 19.03.1998.
- RITTSCHER, D. (1996): Entsorgung der Brennelemente und Stilllegungsabfälle aus den Kernkraftwerken Greifswald und Rheinsberg.- Fachsitzung Jahrestagung Kerntechnik '96; 21. - 23. Mai 1996, Mannheim.
- ROBINSON, P. & DECKERT, A. (1997): Alternative methodologies and concepts for modelling with uncertainty and variability in radioactive waste disposal.- In: McMENAMIN

- (1997, ed.): Fourth European Conference on Management and Disposal of Radioactive Waste, Luxembourg, S. 696 - 707, Bericht EUR 17543 EN.
- RÖTHEMEYER, H. (1994): Die Bedeutung natürlicher Analoga für die Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern aus Sicht des BfS.- In: Sammlung der Vorträge anlässlich des Workshops Natürliche Analoga zur Endlagerung radioaktiver Abfälle am 4. und 5. November 1993 im Kernforschungszentrum Karlsruhe.- KfK 5323, S. 19-30; Karlsruhe.
- ROTHAMEL, J. (1980): Können die Risiken einer geologischen Endlagerung von Atommüll bereits beurteilt werden?- In: Öko-Institut Freiburg (Hrsg.): Probleme und Risiken der Endlagerung radioaktiver Abfälle oder Entsorgung heute - die Sorgen morgen.- Öko-Bericht, 9, S. 18-46.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission (1994): Ergebnisprotokoll der 53.Sitzung des RSK-Ausschusses Endlagerung, 10.12.1993, Protokoll gebilligt am 16.3.1994.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission (1993): Ergebnisprotokoll der 50. Sitzung des RSK-Ausschusses Endlagerung, 03.06.1993, Protokoll gebilligt am 20.09.1993.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission (1992): Ergebnisprotokoll vom 16.09.1992 der 270. RSK-Sitzung am 17.06.1992, Anlage 5: Erfüllungsgrad der RSK-Sicherheitskriterien beim Endlager Morsleben.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission (1991): Ergebnisprotokoll der 261. RSK-Sitzung am 24.04.1991, Protokoll vom 22.05.1991.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission (1991a): Empfehlung zum Betrieb des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).- Empfehlung der RSK auf ihrer 262. Sitzung am 22.05.1991.- Bundesanzeiger, Nr. 137 vom 26.07.1991, Bonn.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission (1991b): Ergebnisprotokoll Reaktor-Sicherheitskommission, 261. Sitzung am 24.04.1991, gebilligt am 22.05.1991.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission (1983): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk.- Bundesanzeiger, Jg. 35, Nr. 2 vom 05.01.1983, S. 45 - 46, Bonn.
- RSK - Reaktor-Sicherheitskommission (1977): Grundsätzliche sicherheitstechnische Realisierbarkeit des Entsorgungszentrums, Teilprojekt 6 Abfallendlagerung.- In: Bundesministerium des Inneren (Hrsg. 1977): Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag (Entsorgungsbericht).- Bundestags-Drucksache 8/1281 v. 30.11.1977, Anlage 2, S. 28-33, Bonn.
- RSK/SSK - Reaktor-Sicherheitskommission/Strahlenschutzkommission (1988): Zeitrahmen für die Beurteilung der Langzeitsicherheit eines Endlagers für radioaktive Abfälle. Gemeinsame Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und der Strahlenschutzkommission (SSK).- Ergebnisprotokoll der 233. RSK-Sitzung am 22.06.1988, Anlage 1.

- SAILER, M. (1996): Äußerung in einem Interview des FOCUS-Magazins vom 21. Oktober 1996, S. 5.
- SCHLICH, E. (Hrsg. 1998): Gutachterliche Stellungnahme zum Transportbehälterlager Ahaus. In: Schwarzbuch Castor - Dokumentation unabhängiger Gutachten zum Ahaus-Verfahren, Manuskript, März 1998, S. 33 - 65. Werkstattreihe des Öko-Instituts, Nr. 106, Freiburg.
- SCHMIDT-PREUSS, M. (1997): Schriftliche Stellungnahme zum Fragenkatalog betr. „Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes etc.“.- In: STELLUNGNAHMEN (1997): Stellungnahmen der Sachverständigen zur Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit am Mittwoch, dem 29. Oktober 1997, Bundeshaus Bonn, zum Gesetzentwurf der Bundesregierung „Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes und zur Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz.- Deutscher Bundestag, Ausschußdrucksache 13/607, Bonn.
- SCHMIDT-PREUB, M. (1995): Konsens und Dissens in der Energiepolitik - rechtliche Aspekte.- Neue Juristische Wochenzeitschrift, 48. Jg., H. 15, S. 985 - 992.
- SCHRÖDER, G. (1996): Schreiben des Niedersächsischen Ministerpräsidenten Gerhard Schröder an die Bundesumweltministerin Angela Merkel v. 14.05.1996, ink. Anlage datiert v. 22.03.1996.
- SCHWARZ, G. (1997): Beförderungen radioaktiver Stoffe im Kernbrennstoffkreislauf.- Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 47. Jg., 1997, Heft 8, S. 458 ff.
- SEITZ, M. & FINCKH, E. (1994, Hrsg.): Entsorgung radioaktiver Stoffe - Fakten, Probleme und verantwortungsbewußtes Handeln.- Erlanger Forschungen, Reihe B, Bd. 24, Erlangen.
- SILVER, R. (1993): EPA proposes 10.000-year Exposure Limit for Nuclear Waste Disposal Facilities.- Nuclear Fuel, 15, Febr. 1993, New York.
- SRG - Scientific Review Group (1995): An Evaluation of the Environmental Impact Statement on AECL's Concept for the Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste.- Ed. Canad. Envir. Assessment Agency, 06.10.1995.
- STÄBLER, K. (1994): Perspektiven der Kernenergie.- Elektrizitätswirtschaft, Jg. 93, Heft 18, 1994, S. 1074-1078.
- STÄBLER, K. (1993): Zukunft der Kernenergie im politischen Umfeld.- atomwirtschaft, atomtechnik, Heft 8/9, 1993, S. 587-591.
- STAHL, G. (1992): Einige Anmerkungen zum Gebrauch mathematischer Modelle der Stoffausbreitung im Aquifer.- gwf-Wasser, Abwasser, 133 (9), S. 448-453.
- STELLUNGNAHMEN (1997): Stellungnahmen der Sachverständigen zur Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit am Mittwoch, dem 29. Oktober 1997, Bundeshaus Bonn, zum Gesetzentwurf der Bundesregierung „Entwurf

eines Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes und zur Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz.- Deutscher Bundestag, Ausschußdrucksache 13/607, Bonn.

STORCK, R. (1992): Methodik des Nachweises der Langzeitsicherheit eines Endlagers in einem Salzstock vor dem Hintergrund bestehender Unsicherheiten.- In: GÖMMEL, R. (Hrsg.): Sicherheitstechnische Aspekte bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Vorträge anlässlich eines zweitägigen Seminars der KTG-Fachgruppe Chemie und Entsorgung und des GSF-Instituts für Tief Lagerung (Braunschweig, 1./2.10.1991), S. 23-29; Neuherberg (GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit).

STORCK, R. et al. (1996): Das Programmpaket EMOS zur Analyse der Langzeitsicherheit eines Endlagers für radioaktive Abfälle. Version 5.- Bericht GRS-122, Braunschweig.

STRAHLENTELEX (1997): Erhöhtes Blutkrebsrisiko bei Wiederaufarbeitungsanlage bestätigt.- Strahlentelex Nr. 252-253 / 11 Jahrgang, 3. Juli 1997.

STRASSBURG, W. (1996): Entsorgungskonsens dringend geboten.- atomwirtschaft, atomtechnik, Heft 5, 1996, S. 303-306.

SZ - Süddeutsche Zeitung (1998): Britische Tauben landen im Atommüll.- Artikel vom 15.04.1998.

THOMAS, W. (1996): Stellungnahme auf der öffentlichen Anhörung des Hessischen Landtags (11. Sitzung des Umweltausschusses), Stenographischer Bericht Teil 1, 20 Juni 1996.

TÖPFER, K. (1996): Schreiben des Bundesumweltministers an Herrn und Frau Haide bzgl. Endlager Morsleben.- Schreiben vom 04.06.1996, AZ: RS III 6-07023 II, Bonn.

TÖPFER, K. (1990): Schreiben des Bundesumweltministers an den Stadtdirektor der Stadt Helmstedt.- Schreiben v. 30.11.1990, Bonn.

UMWELT (1998): Nukleare Ver- und Entsorgung.- Umwelt, Nr. 6/1998, S. 299, hrsg. v. Bundesumweltministerium, Bonn.

UMWELT (1979): Antwort des Staatssekretärs im Bundesministerium des Inneren, Dr. Günter Hartkopf, auf die Fragen des Abg. Ueberhorst.- Umwelt, 72, S. 38, Bonn.

VDEW - Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (1993): Zahlenwerte und Angaben zitiert nach EWI (1995).

VDEW - Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke (1989): Strategieüberlegungen zur Brennelemententsorgung und Verwertung von Plutonium und wiederaufgearbeitetem Uran.- Frankfurt/M, September 1989.

VENZLAFF, H. (1978) Tief Lagerung radioaktiver Abfälle aus geologischer Sicht.- Atomwirtschaft, 23 (7/8), S.335-338.

- VIEL, J.-F. & POBEL, D. (1997): Casecontroll study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant.- British Medical Journal, 314, January 1997, S. 101 ff.
- VÖLZKE, H. (1994): A fracture mechanics safety concept to assess the impact behavior of ductile cast iron containers for shipping and storage of radioactive material. Nuclear Engineering and Design, 150 (1994), S. 357-366.
- WARNECKE, E. (1993): Die Entsorgung von Kernkraftwerken im internationalen Vergleich.- Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 43.Jg. (1993), Heft 1/2, S. 86 ff.
- WERNICKE, R.S. & ORRES, E. (1997): Contribution of radionuclide migration studies (Mirage Project) to safety assessment of geological disposal.- In: McMENAMIN (1997, ed.): Fourth European Conference on Management and Disposal of Radioactive Waste, Luxembourg, S. 553 - 568, Bericht EUR 17543 EN.
- WIDIE - Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (1996): Ausarbeitung zu den völkerrechtlichen Verträgen.- Reg.-Nr. WF II-110/96, 02.08.1996.
- WILD, E. (1997): Entsorgung der Kernkraftwerke Isar langfristig gesichert - keine Zwischenlager in Süddeutschland notwendig.- Pressemitteilung des Bayernwerks, Nr. 58 vom 11.09.1997.
- WILLAX, H.-O. (1998): Stand und Einrichtungen für die Direkte Endlagerung.- Fachsitzung auf der Jahrestagung Kerntechnik'98, 26. - 28.Mai 1998, München.
- WILLAX, H.-O. (1997): Statement anläßlich einer Sitzung des Ausschusses für Atomanlagen des Landkreises Lüchow-Dannenberg am 11.11.1997.
- WILLAX, H.-O (1996): „Bedeutung der Pilot-Konditionierungsanlage (PKA) für die Brennelemententsorgung“.- Fachsitzung auf der Jahrestagung Kerntechnik '96, 21. - 23. Mai 1996, Mannheim.
- WISE - World Information Service on Energy (1998): Deutsches Plutonium und das französische Atomwaffenprogramm.- Studie im Auftrag des IPPNW, Paris.
- WISE - World Information Service on Energy (1997): THORP troubles.- News Communiqué Nr. 482, Dezember 4, 1997.
- WISE - World Information Service on Energy (1997a): Criticism on french HLW storage programm.- World Information Service on Energy, News Communiqué, Nr. 480 vom 31.10.1997.
- ZEISLER, P., DROSTE, B. & RÖDEL, R. (1997): Current Approval Status And Test Procedures For Large Type B Packages In Germany. RAMTRANS Vol.8, No 1, S 53-62 (1997).
- ZLN - Zwischenlager Nord GmbH (1995): Sicherheitsbericht für das Transportbehälterlager, Teil II. TF8/FA/1010/HA/C170208, Rev. 3, September 1995.