



---

Gesellschaft für  
Reaktorsicherheit (GRS) mbH

---

# Sicherheitstechnik bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle

8. GRS-Fachgespräch  
Köln,  
12.—13. November 1984



---

Gesellschaft für  
Reaktorsicherheit (GRS) mbH

---

# Sicherheitstechnik bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle

8. GRS-Fachgespräch  
Köln,  
12.—13. November 1984

---

GRS-58 (April 1985)  
ISBN 3 - 923875 - 06 - 1

Herausgeber: Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln  
Redaktion: B. Laue, GRS, Köln

Diese Beiträge wurden gleichzeitig in der Zeitschrift „Technische Mitteilungen“ Heft 3 · 1985  
im Vulkan-Verlag Dr. W. Classen Nachf. GmbH & Co. KG, Postfach 10 39 62, 4300 Essen 1, veröffentlicht.

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Eröffnung (A. Birkhofer) .....	1
Begrüßungsansprache (F. Kroppenstedt) .....	2
Technikfeindlichkeit des Rechts? Vortrag E. Benda. ....	6
Einführung (O. Kellermann) .....	13
Nukleare Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland Vortrag A. Matting .....	14
Diskussion zum Vortrag A. Matting. ....	19
Forschung für die Sicherheit des Brennstoffkreislaufs Vortrag M. Popp .....	20
Diskussion zum Vortrag M. Popp .....	26
Sicherheitstechnik in Wiederaufarbeitungsanlagen und Betriebserfahrungen Vortrag W. Thomas .....	26
Diskussion zum Vortrag W. Thomas .....	35
Endlagerung im internationalen Vergleich Vortrag D. Rittig und H. Uhlenbruck .....	36
Diskussion zum Vortrag D. Rittig und H. Uhlenbruck. ....	43
Die geplanten Endlagerbergwerke Gorleben und Konrad Vortrag H. Röthemeyer .....	44
Diskussion zum Vortrag H. Röthemeyer .....	51
Vorgehen bei den Störfallanalysen für die Schachanlage Konrad Vortrag F. Lange und W. Wurtinger. ....	52
Diskussion zum Vortrag F. Lange und W. Wurtinger. ....	59
Teilnehmerverzeichnis .....	63

# Sicherheitstechnik bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle

8. GRS Fachgespräch vom 12. und 13. November 1984 in Köln

## Eröffnung

Von A. Birkhofer 1)

In den bisherigen Fachgesprächen befaßten wir uns mit der Sicherheit von Kernkraftwerken. Das Aufgabenspektrum der GRS geht aber über die reine Reaktorsicherheit hinaus. Die GRS befaßt sich neben dem Strahlenschutz auch mit der Sicherheit anderer kerntechnischer Einrichtungen im Bereich der Entsorgung. Die zweifellos große Bedeutung der Entsorgung für die weitere Nutzung der Kernenergie hat uns veranlaßt, das diesjährige Fachgespräch der „Sicherheitstechnik bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle“ zu widmen. Wenngleich damit auch Bereiche außerhalb der Kerntechnik angesprochen sind, zum Beispiel die Behandlung radioaktiver Abfälle aus medizinischen Anwendungen, konzentriert sich das Interesse natürlich auf die Entsorgung der Kernkraftwerke.

Es ist eine verbreitete Ansicht, daß die Entsorgung der Kernkraftwerke immer noch ungelöst ist. Beschäftigt man sich jedoch näher mit dieser Frage, so stellt man fest, daß die Entsorgung der Kernkraftwerke gute Fortschritte macht. Das betrifft sowohl die Arbeiten zur Wiederaufarbeitung als auch zur Zwischen- und Endlagerung.

Bisher sind etwa 1500 Tonnen spaltbaren Materials aus Leichtwasserreaktoren vorwiegend im Ausland wiederaufgearbeitet worden. Eine wesentliche Weichenstellung für die Wiederaufarbeitung in der Bundesrepublik Deutschland wird von der bevorstehenden Entscheidung zum Bau und zum Standort der Wiederaufarbeitungsanlage (WAA) entweder in Dragahn oder Wackersdorf erwartet.

Die GRS ist in Zusammenarbeit mit anderen Organisationen an der Begutachtung intensiv beteiligt. Mit der Prüfung des Konzeptes der WAA hat sich neben den Sachverständigen, die für die Bundesländer Bayern und Niedersachsen tätig sind, auch die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) eingehend beschäftigt. Sie hat vor wenigen Wochen eine positive Stellungnahme zur WAA abgegeben.

Auch das „Projekt Andere Entsorgungstechniken“ ist relativ weit fortgeschritten. Hier sollte man allerdings darauf achten, nicht allzuweit über das gesteckte Ziel hinauszuschießen, welches von den Regierungschefs in ihrem Beschluß vom September 1979 vereinbart wurde.

Die erklärte Absicht war, andere Entsorgungstechniken „auf ihre Realisierbarkeit und sicherheitstechnische Bewertung“ zu untersuchen, so daß sich feststellen läßt, ob diese Techniken „entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile“ bieten können. Ein solches Urteil läßt sich nach meiner Auffassung auch ohne eine umfassende Technologiefolgen-Abschätzung bilden.

Heute wird bei der Abfallbeseitigung zu Recht gefordert, Wertstoffe wieder zu verwenden. Auch dieser Aspekt sollte bei der Entsorgung von Kernkraftwerken beachtet werden.

Was die Zwischenlagerung verbrauchter Brennelemente angeht, sind mit der Anlage in Gorleben und nach der Inbetriebnahme des Lagers in Ahaus auf absehbare Zeit ausreichende Kapazitäten vorhanden.

Die Bereitstellung von Endlagerstätten für schwachaktive Abfälle in der ehemaligen Eisenerzgrube Konrad, die 1989 in Betrieb genommen werden soll, wie auch die Erkundung des Salzstockes Gorleben für mittel- und hochaktive Materialien kommen voran.

Für die schwach- und mittelaktiven Abfälle – nicht nur aus Kernkraftwerken – wird man geeignete Endlager noch in diesem Jahrzehnt in Betrieb nehmen müssen. Die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen ist nicht so dringend. Hier können die Untersuchungen zur Endlagerung ohne Termindruck weitergeführt werden. Es spricht viel dafür, hochradioaktiven Abfall für einen längeren Zeitraum zwischenzulagern. Das wird durch das sehr geringe Volumen erleichtert.

In diesem Zusammenhang kann es hilfreich sein, einen Blick über den Zaun zu werfen und sich die Vorgehensweise in Frankreich anzuschauen. Die Kernenergie hat dort zur Zeit einen Anteil von mehr als 50 % an der öffentlichen Stromerzeugung. Er soll in den nächsten Jahren auf mehr als 70 % steigen. Von französischer Seite wird betont, daß die Kapazität zur Zwischenlagerung hochaktiver Abfälle bis zum Ende des Jahrtausends groß genug ist, und es daher völlig ausreicht, wenn in den nächsten Jahren damit begonnen wird, eine Tieflagerstätte zu erkunden.

Man sollte anstreben, die Anforderungen an das Endlager für hochaktive Abfälle durch internationale Kriterien festzulegen. Die IAEA und auch die OECD sind geeignete Orga-

1) Professor Dr. Dr.-Ing. E.h. Adolf Birkhofer ist Geschäftsführer der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH.

nisationen, die sich dieser Aufgabe widmen könnten. Solche Kriterien sollten dazu beitragen, unnötige Verunsicherungen in einer auch emotional betrachteten Frage abzubauen.

In der letzten Zeit wird zunehmend davon gesprochen, daß die Kernenergie „auf dem Weg in die Normalität“ sei. Diese Ansicht wird sicherlich – gerade was die deutsche Situation angeht – dadurch bekräftigt, daß unsere Anlagen zuverlässig und durchwegs mit Verfügbarkeiten arbeiten, die im internationalen Maßstab an der Spitze liegen.

Kernkraftwerke haben 1983 bereits mehr als 20 % zur gesamten öffentlichen Stromerzeugung beigetragen. In diesem Jahr wird der Beitrag abermals deutlich steigen.

Die positive Bilanz der letzten Jahre – was die Anlagenverfügbarkeit und die Sicherheit angeht – darf aber nicht dazu verleiten, die Hände in den Schoß zu legen. Dies gilt für die kerntechnische Industrie ebenso wie für den Staat. Der Staat muß nach wie vor die ihm gesetzlich auferlegte Verantwortung wahrnehmen.

Zur Erfüllung dieser Aufgabe ist die Forschung zur Reaktorsicherheit und zum Strahlenschutz in angemessenem Umfang weiterzuführen.

Bis vor wenigen Jahren sind die Mittel für die Sicherheitsforschung angestiegen. 1983 betragen sie 134 Mio. DM. Vergleicht man diesen Aufwand mit dem Gegenwert der produzierten elektrischen Leistung aus Kernkraftwerken, so zeigt sich, daß für die Reaktorsicherheitsforschung rund 3 % der Einnahmen aus der Stromerzeugung von Kernkraftwerken ausgegeben werden. (Dieses Verhältnis stimmt ungefähr überein mit dem relativen Aufwand für Sicherheitsforschung in anderen Industriezweigen). Seit 1982 gehen allerdings die Aufwendungen für die Sicherheitsforschung in der Kerntechnik wieder zurück. Sie sollen 1988 nur noch 76 Mio. DM und damit voraussichtlich weniger als 1 % der Einnahmen betragen.

Wir werden uns zu fragen haben, ob bei der Bedeutung der Reaktorsicherheit eine Fortschreibung des gegenwärtigen Trends gerechtfertigt ist.

## Begrüßungsansprache

Von F. Kroppenstedt 1)

Ich möchte mich zunächst sehr herzlich bei der Gesellschaft für Reaktorsicherheit für die Einladung zu ihrem 8. Fachgespräch bedanken. Sie gibt mir Gelegenheit, vor diesem fachkundigen Publikum aus Sicht des Bundesinnenministers einige Gedanken zu dem Thema dieser Veranstaltung, der Entsorgung radioaktiver Abfälle, aber auch darüber hinaus zur Situation bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie insgesamt vorzutragen.

### Rolle und Bedeutung der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS)

Aus Sicht des Bundesinnenministers als des Sicherheitsministers, der auch zugleich Gesellschafter der GRS ist, begrüße ich nachdrücklich, daß die GRS mit ihren jährlichen Fachgesprächen einerseits den Fachleuten ein Forum hoher Qualität bietet, andererseits aber auch der Öffentlichkeit Gelegenheit gibt, sich von der verantwortungsbewußten Auseinandersetzung mit Fragen der kerntechnischen Sicherheit und des Strahlenschutzes überzeugen zu können.

Die GRS hat entscheidend dazu beigetragen, daß wir in der Bundesrepublik Deutschland heute eine so positive Sicherheitsbilanz ziehen können. Es gibt keinen Grund, wegen mangelnder Sicherheit oder wegen einer Strahlengefährdung der Beschäftigten oder der Bevölkerung auf die friedliche Nutzung der Kernenergie verzichten zu müssen. Dies gilt auch für die nukleare Entsorgung, der dieses 8. Fachgespräch gewidmet ist.

Mit ihren Arbeiten zur nuklearen Entsorgung hat sich die GRS einen neuen Aufgabenschwerpunkt geschaffen. Dies geschah sicherlich einerseits unter ökonomischen Aspekten als Anpassung an den in dem klassischen Aufgabengebiet der GRS, der Reaktorsicherheit, enger werdenden Markt, andererseits aber auch in der richtigen Erkenntnis, daß der bei der GRS vorhandene Sachverstand wichtige Beiträge zu den noch vor uns liegenden Arbeiten im Bereich der nuklearen Entsorgung leisten kann. Als Beispiele nenne ich die Arbeiten der GRS im Auftrage der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zur Durchführung von Sicherheitsanalysen für das geplante Endlager Konrad und zur Klasseneinteilung der radioaktiven Abfälle sowie die Arbeiten der GRS im Auftrage des BMI zur Begutachtung der Unterlagen aus dem „Projekt Andere Entsorgungstechniken“ im Hinblick auf sicherheitstechnische Fragestellungen beim Vergleich der beiden Entsorgungswege „Direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente“ und „Entsorgung mit Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente“.

Bemühungen um weitere Diversifizierungen der GRS-Aufgaben müssen folgen. Wir stehen hier in konstruktiven Gesprächen mit den anderen Gesellschaftern. Die Notwendigkeit, das Aufgabenfeld der GRS künftig breiter anzulegen, ist vor dem Hintergrund zu sehen, daß

- geringere Stromzuwachsrate auch einen verringerten Zubau an Kernkraftwerken und damit auch einen geringeren Begutachtungsbedarf nach sich ziehen,
- die sicherheitstechnischen Anforderungen sich inzwischen in erheblichem Umfang konsolidiert haben und in unser

1) Franz Kroppenstedt ist Staatssekretär im Bundesministerium des Innern.

kerntechnisches Regelwerk eingeflossen sind und schließlich

- die unter Federführung des Bundesinnenministers durchgeführten Arbeiten zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren für kerntechnische Anlagen zu einer vereinfachten und effizienteren Verfahrensabwicklung geführt haben. Das Stichwort ist hier: Konvoi-Anlagen.

### Stand der Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland

Derzeit befinden sich in der Bundesrepublik 15 kommerzielle Kernkraftwerke und vier Versuchskernkraftwerke in Betrieb. Das entspricht einer installierten elektrischen Leistung von etwa 15 000 MW oder etwa 25 % der öffentlichen Stromerzeugung. Der Kernenergiestrom trägt damit wesentlich zur Sicherung unserer Energieversorgung bei.

Die Erfahrungen zeigen, daß der Betrieb unserer Kernkraftwerke sicher ist. So waren auch im letzten Jahr zu keiner Zeit Personen in der Umgebung oder in den Kernkraftwerken selber durch Radioaktivität gefährdet. Dies belegen überzeugend die Berichte des Bundesinnenministers an den Innenausschuß des Deutschen Bundestages über besondere Vorkommnisse im Jahr 1983 und an den Deutschen Bundestag über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung in den Jahren 1981 und 1982. Bundesinnenminister Zimmermann konnte daher im August dieses Jahres gegenüber dem Deutschen Bundestag und der Öffentlichkeit mit Befriedigung feststellen, daß der Betrieb der deutschen Kernkraftwerke die Kernkraft als eine sichere und umweltfreundliche Energiequelle ausweist. Die positiven Betriebserfahrungen der deutschen Kernkraftwerke werden im In- und Ausland als überzeugender Beweis für die Richtigkeit des deutschen Sicherheitskonzeptes gewertet. Das sicherheitsgerichtete Verantwortungsbewußtsein der Hersteller und Betreiber, die Sorgfalt der Aufsichtsbehörden und ihrer Gutachter sind tragende Säulen bei der Erfüllung dieses Konzeptes.

Ich meine die heutige Situation realistisch einzuschätzen, wenn ich sage, daß die Kernenergie auf dem besten Wege ist, als normale industrielle Großtechnik anerkannt zu werden. Auch Aktionen wie das von den Grünen im Deutschen Bundestag eingebrachte sogenannte „Atomsperrgesetz“ oder Ablenkungsmanöver wie die Behauptung, Kernkraftwerke seien mitschuldig am Waldsterben, bedeuten keine Korrektur meiner Einschätzung. Bei den genannten Aktionen handelt es sich zu offensichtlich um Versuche, angesichts der guten Betriebserfahrungen mit Kernkraftwerken und den leider demgegenüber nur allzu offenkundig gewordenen Umweltschutzproblemen beim Einsatz fossiler Brennstoffe, die Antikernkraft-Idee am Leben zu erhalten. Der Bundesinnenminister hat in seiner Antwort auf eine kleine Anfrage der Grünen unmißverständlich klargestellt, daß Behauptungen über einen Zusammenhang zwischen radioaktiven Emissionen aus kerntechnischen Anlagen und Waldschäden nach heutigem Kenntnisstand jeder wissenschaftlichen Grundlage entbehren.

### Zukünftige Entwicklung der Kernenergie

Die allgemeine Wirtschaftsentwicklung und die Entwicklung des Energieverbrauchs haben dazu geführt, daß die Zukunftsprognosen über den Ausbau der Kernenergie heute niedriger ausfallen als noch vor zehn Jahren. Zur Zeit der Energiekrise 1973 wurden für das Jahr 1985 bereits 45 000 bis

50 000 MW Kernenergieleistung erwartet. Diese Vorhersagen haben sich – wie wir heute wissen – als unrealistisch erwiesen. Heute rechnet man damit, daß Ende der 80er Jahre etwa 25 000 MW aus Kernkraftwerken zur Verfügung stehen werden.

Der weitere Ausbau der Kernenergie ist selbstverständlich abhängig von der Entwicklung unserer Wirtschaft und vom Ausgang des Wettbewerbs mit den übrigen Energieträgern, insbesondere der Kohle. Die Alternative „Kohle oder Kernenergie“ stellt sich für uns jedoch nicht. Alle Energiequellen müssen vielmehr im Interesse unserer Versorgungssicherheit genutzt werden.

Der Blick auf die Entwicklung der Kernenergie sollte nicht ohne ein Wort zu den fortgeschrittenen Reaktorlinien und den damit verbundenen Fragestellungen abgeschlossen werden. Der Hochtemperaturreaktor THTR 300 und der Schnelle Brutreaktor SNR 300 werden in den kommenden Jahren fertiggestellt. Der Bundesinnenminister hat durch intensive Gespräche mit den an den Genehmigungsverfahren für diese Prototypen Beteiligten bewirkt, daß von belastbaren – und auch für die Finanzplanung der Projekte wertbaren – Verfahrensabläufen ausgegangen werden kann. Aus der Sicht des BMI gibt es danach keinen Gesichtspunkt, der die vorgesehenen weiteren Schritte in den Genehmigungsverfahren in Frage stellen könnte. Besonders mit dem Reaktorkonzept des Schnellen Brütters wird das Ziel verfolgt, Techniken zu realisieren, die den nuklearen Brennstoff besser ausnutzen. Die Hochtemperaturreaktoren bieten unter anderem die Möglichkeit zur nuklearen Prozeßwärmeerzeugung für die Kohlevergasung.

In der Industrie werden gegenwärtig neue Konzepte für THTR- und SNR-Folgeprojekte entwickelt.

Der BMI hat sich bereit erklärt, Gesprächskreise einzurichten, um mit Experten grundsätzliche sicherheitstechnische Fragen der in Bearbeitung befindlichen Konzepte zu erörtern. Ziel ist es, möglichst frühzeitig solche Fragestellungen zu identifizieren, die sich in einem möglichen späteren Genehmigungsverfahren bei der Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit als problematisch erweisen könnten.

Der Gesprächskreis für den HTR 500 und den Modul-HTR hat seine Arbeit bereits abgeschlossen. Für das künftige Brüterkonzept stehen die Arbeiten kurz vor Abschluß.

In der Entwicklung des SNR 300 und dem geplanten Bau einer Wiederaufarbeitungsanlage sehen Kernenergiekritiker den Beweis für ihre Behauptung, die Bundesregierung bereite den Weg zum Plutoniumstaat vor, in dem ein „radioaktiver Zerfall der Grundrechte“ stattfindet – um es in Anlehnung an den Titel eines Buches von Alexander Rossnagel zu formulieren. Zwar halte ich es für eine staatsbürgerliche Pflicht, rechtzeitig vor möglichen Gefahren für die Freiheitsrechte zu warnen, im Falle der friedlichen Nutzung der Kernenergie vermag ich aber derartige Tendenzen auch nicht im Ansatz zu erkennen. Die Bundesrepublik Deutschland hat sich vielmehr durch ihren Beitritt zur Westeuropäischen Union und zum Vertrag über die Nichtverbreitung von Kernwaffen verpflichtet, die Kernenergie ausschließlich zu friedlichen Zwecken zu nutzen. Sie unterwirft sich den strengen Kontrollen ihrer kerntechnischen Anlagen durch die IAEA.

Den Propheten des Plutoniumstaates gebe ich zu bedenken, ob sie nicht Ursache und Wirkung verwechseln: Nicht unser demokratischer Rechtsstaat will die Rechte seiner Bürger beschneiden, wohl aber sind wir zur Sicherung des Rechts-

staates und seiner Freiheiten gegen solche Personen verpflichtet, die meinen, notfalls mit Gewalt dem Staat und der großen Mehrheit seiner Bürger ihre persönlichen Glaubensartikel aufzwingen zu müssen. Polizeimaßnahmen werden nicht durch Gefahren verursacht, die von der Nutzung der Kernenergie ausgehen, sondern von denjenigen, die einen anderen Staat wollen als den des Grundgesetzes.

### Hoher Sicherheitsstandard

Um auf der Basis der heute vorhandenen hohen Sicherheit unserer kerntechnischen Anlagen auch zukünftig eine gleichermaßen positive Bilanz ziehen zu können, wie ich das eingangs tun konnte, reicht es nicht aus, die Hände in den Schoß zu legen und nur die Bewahrung des Erreichten zu versuchen.

Die letzten Jahre haben gezeigt, daß die Sicherheit der Kernkraftwerke weiter verbessert werden konnte. In den Vordergrund der Aufmerksamkeit rückte dabei die Auswertung der weltweiten Betriebserfahrungen.

Gerade die Arbeiten der GRS-Störfallstelle haben Beispiele dafür geliefert, welcher Sicherheitsgewinn aus einer Analyse aufgetretener Störungen resultieren kann. Ich denke dabei unter anderem an die jüngeren Arbeiten über die Fehlerhäufigkeit von Sicherheitsventilen und an die Anwendung probabilistischer Methoden auf einzelne, in Betrieb befindliche Kernkraftwerke. Untersucht wurden sogenannte Vorläuferereignisse für schwere Kernschäden. Erstmals handelt es sich hier um eine anlagenspezifische Studie, während bisher immer nur pauschal über den gesamten Kernkraftwerksbestand eines Landes gemittelt wurde. Auch die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die Ausgewogenheit des Sicherheitskonzeptes und eine gute Übereinstimmung mit den Aussagen der Deutschen Risikostudie. In diesem Sinne ermutige ich die Gesellschaft für Reaktorsicherheit, sich auch in Zukunft fachkundig und engagiert mit der Sicherheit unserer Kernkraftwerke zu befassen.

Ein wesentlicher Meilenstein unserer am Stand von Wissenschaft und Technik orientierten Sicherheitspraxis sind die am 31. Dezember 1983 im Bundesanzeiger veröffentlichten Störfall-Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren.

Diese Leitlinien dienen unter anderem zur Stärkung der Transparenz von Verfahren und der Erhöhung der Rechtsicherheit. Sie decken alle relevanten Störfälle ab und enthalten ebenso wie die zugehörigen Störfall-Berechnungsgrundlagen der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission hohe Sicherheitsreserven. Die dem Bundesminister des Innern nach dem Atomgesetz zufallende Aufgabe, Aufsicht darüber zu führen, daß die Sicherheit kerntechnischer Anlagen gewährleistet ist und stets am Stand von Wissenschaft und Technik gemessen wird, hat jedoch nicht zur Folge, daß jede neue Erkenntnis zwangsläufig zu neuen sicherheitstechnischen Anforderungen führen muß. Erst wenn eine sorgfältige Abwägung und Prüfung zeigt, daß die zusätzliche Maßnahme auch tatsächlich zu höherer Sicherheit führt, ist sie genehmigungsrechtlich umzusetzen. Umgekehrt können aber auch neue Einsichten bislang übliche Forderungen als überkonservativ identifizieren und so zu einem ausgewogenen hohen Sicherheitsniveau führen, wie das Beispiel des Wegfalls der Ausschlagsicherungen beim Kernkraftwerk Isar II gezeigt hat.

### Nukleare Entsorgung

Eine der wichtigsten Aufgaben, denen wir uns heute bei der Nutzung der Kernenergie gegenübersehen, ist die Entsorgung der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Einrichtungen. Die Vorträge des morgigen Tages werden diesem Thema gewidmet sein.

Genauso wie die Sicherheit unserer kerntechnischen Anlagen unabdingbare Voraussetzung für den weiteren Einsatz und für die Akzeptanz der Kernenergie in der Bevölkerung ist, so ist auch die Entsorgung ein unverzichtbares Glied in der Kette des Kernbrennstoffkreislaufs. Angesichts der teilweise mit großen Emotionen geführten Diskussion um die nukleare Entsorgung möchte ich feststellen:

Das deutsche Entsorgungskonzept hat sich bewährt. Es kann die nukleare Entsorgung auch langfristig gewährleisten. Es gibt keinen Grund, das Konzept in Frage zu stellen, und keine vernünftige Alternative zu dem 1979 von den Regierungschefs von Bund und Ländern beschlossenen Entsorgungskonzept. Deshalb muß es bei diesem Konzept bleiben.

Die Regierungschefs haben 1979 nicht das Postulat aufgestellt, vor dem Zubau weiterer Kernkraftwerke müßten erst sämtliche Entsorgungsanlagen betriebsbereit vorhanden sein. Die Regierungschefs haben vielmehr für die bedarfsgerechte Realisierung der Entsorgungsanlagen einen sich bis zum Ende dieses Jahrhunderts erstreckenden Zeitplan aufgestellt. Er konnte bislang in allen seinen Teilen eingehalten werden. Die Bundesregierung hat dies im einzelnen in ihrem Bericht an den Deutschen Bundestag zur Entsorgung der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Einrichtungen vom August letzten Jahres ausführlich dokumentiert.

Der Bericht wird zur Zeit von den zuständigen Ausschüssen des Deutschen Bundestages beraten. Am 24. Oktober 1984 hat der Ausschuß für Forschung und Technologie den Bericht mehrheitlich zustimmend zur Kenntnis genommen und begrüßt, daß der Bericht aufgrund der umfassenden Informationen eine zuverlässige parlamentarische Einschätzung der Entsorgungssituation erlaubt. Der Ausschuß anerkennt darüber hinaus mehrheitlich auch, daß sich seit Vorlage des Berichtes die positive Entwicklung bei Realisierung der Entsorgungsanlagen fortgesetzt hat. Hierfür einige Beispiele: am 5. September 1983 erhielt das Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Gorleben die atomrechtliche Einlagerungsgenehmigung. Auch das zweite Projekt, das Zwischenlager Ahaus, ist vorangekommen; am 6. Oktober 1983 wurde die baurechtliche Genehmigung zur Errichtung erteilt.

Auch das Planfeststellungsverfahren für das geplante Endlager in der ehemaligen Eisenerzgrube Konrad und die Arbeiten zur untertägigen Erkundung des Salzstocks Gorleben kommen planmäßig voran.

Sie alle kennen die Kritik an der Eignungsaussage zum Salzstock Gorleben. Die Bundesregierung ist unverändert der Auffassung, daß bisher keine Erkenntnisse vorliegen, die Zweifel an der Eignung des Salzstockes Gorleben zur Endlagerung radioaktiver Abfälle aufkommen lassen können. Auch die Anhörung im Innenausschuß des Deutschen Bundestages am 20. Juni 1984 hat die Eignungsfähigkeit erneut bestätigt. Die Bundesregierung hält weiterhin am Standort Gorleben fest, was durch die Aufnahme der praktischen Arbeiten zur untertägigen Erkundung im Mai dieses Jahres dokumentiert wird. Wir sehen derzeit keinen Grund, der Forderung nach Erkundung zusätzlicher oder alternativer Stand-



orte nachzukommen, sondern konzentrieren unsere Ressourcen auf die sorgfältige und deshalb allen wissenschaftlichen Ansprüchen genügende Erkundung des Salzstockes Gorleben. Unser Ziel ist es, Endlager zu bauen, die den hohen atomrechtlichen Anforderungen an den Schutz der Bevölkerung entsprechen. Wir haben nicht den Ehrgeiz, nur das schlechthin ideale Endlager zu errichten. Die Suche nach ihm dürfte voraussichtlich alle Zeitvorstellungen und Ressourcen sprengen. Aber das ist ja vermutlich genau das, was die Väter dieser Forderung bezwecken.

Die Verfahren für die Wiederaufarbeitungsprojekte in Wackersdorf und Dragahn laufen zielgerichtet und sachbezogen ab. Die Erörterungstermine haben im Frühjahr dieses Jahres stattgefunden.

Die Bundesregierung sieht in der Wiederaufarbeitung abgebrannter Kernbrennstoffe einen wesentlichen Bestandteil des deutschen Konzeptes zur nuklearen Entsorgung. Die Wiederaufarbeitung ist weltweit großtechnisch erprobt. Die Auslands wiederaufarbeitung kann langfristig der Forderung nach sicherer Entsorgung angesichts der Abhängigkeit vom Ausland nicht genügen. Im übrigen führt sie zum Verlust an Arbeitsplätzen und technologischem Know-how. Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung im Entsorgungsbericht vom August 1983 die Erwartung ausgesprochen, daß eine deutsche Wiederaufarbeitungsanlage im Einklang mit dem Beschluß der Regierungschefs vom September 1979 zügig verwirklicht wird. Dies entspricht auch den Erklärungen von Vertretern der Elektrizitätswirtschaft gegenüber der Bundesregierung und der Öffentlichkeit. Ich hoffe, daß die Elektrizitätswirtschaft jetzt kurzfristig in der Lage sein wird, ihre Bauentscheidung zu treffen. Der Standort für eine solche Wiederaufarbeitungsanlage ist für den Bundesinnenminister nach Abschluß der entsprechenden Prüfungen keine Sicherheitsfrage mehr, sondern ist ausschließlich eine unternehmerische Entscheidung.

Unbeschadet der eindeutig für die Wiederaufarbeitung sprechenden Argumente wird auch die Prüfung der im Regierungschef-Beschluß von 1979 vorgesehenen Anderen Entsorgungstechniken zügig fortgeführt. Ziel dieser Untersuchungen ist es, sich ein abschließendes Urteil darüber zu bilden, ob sich aus der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile ergeben können. Dieser klare Prüfungsauftrag darf keinesfalls dahingehend überinterpretiert werden, als handele es sich dabei um eine definitive Entscheidung über den zukünftig einzuschlagenden Entsorgungsweg.

Die Bewertung der sicherheitstechnischen Aspekte erfolgt unter Federführung des Bundesinnenministers unter Beteiligung der Länder auf der Grundlage intensiver fachlicher Zuarbeiten durch Reaktor-Sicherheitskommission und Strahlenschutzkommission sowie durch die GRS. Das Bundeskabinett wird sich Anfang nächsten Jahres mit dem Gesamtergebnis befassen. Der Bundestagsausschuß für Forschung und Technologie hat im übrigen auf seiner Sitzung am 24. Oktober 1984 einstimmig beschlossen, eine öffentliche Anhörung zu den alternativen Entsorgungstechniken möglichst kurzfristig, nachdem die Bundesregierung ihre Stellungnahme zu den vergleichenden Arbeiten abgegeben hat, durchzuführen.

Der Länderausschuß für Atomkernenergie hat bereits Anfang April eine auf dem damaligen, aber bis heute unveränderten Kenntnisstand beruhende Beurteilung der Anderen Entsorgungstechniken im Vergleich zur Wiederaufarbeitung abge-

geben. Er ist dabei unter anderem zu folgenden Schlußfolgerungen gekommen:

1. Zum Nachweis der Entsorgungsvorsorge kommen für die abgebrannten Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren aus heutiger rechtlicher und technischer Sicht andere Entsorgungstechniken nicht in Betracht.
2. Die zügige Verwirklichung einer deutschen Wiederaufarbeitungsanlage ist deshalb weiterhin geboten.
3. Die direkte Endlagerung ist derzeit für solche Brennelemente in Betracht zu ziehen, für die die Entwicklung einer eigenen Wiederaufarbeitungstechnik wirtschaftlich nicht vertretbar ist.

### Besorgnis in der Öffentlichkeit gegen die Nutzung der Kernenergie

Die positive Bilanz beim Betrieb der kerntechnischen Anlagen und bei der Realisierung der Entsorgungsanlagen hat nicht vermocht, alle Bedenken gegen die Kernenergienutzung zu zerstreuen. Das haben wir natürlich auch nicht erwartet.

Besorgnisse erweckt insbesondere die Endlagerung radioaktiver Abfälle, die als Achilles-Ferse des Kernbrennstoffkreislaufes angesehen wird. Angriffe werden deshalb inzwischen bevorzugt in diese Richtung und die damit eng verbundenen Transporte radioaktiver Stoffe gelenkt.

Ein Beispiel für teils durch Unkenntnis, teils durch gezielte Panik-Mache geschürte Besorgnisse in der Öffentlichkeit ist die Diskussion um den Untergang des französischen Frachters „Mont Louis“ mit 30 Fässern Uranhexafluorid. Für die Bevölkerung ging objektiv weder von einer etwaigen chemischen Reaktion des Uranhexafluorids mit dem Meerwasser noch von seiner Radioaktivität irgendeine Gefahr aus. Die in der Bundesrepublik Deutschland geltenden Sicherheitsbestimmungen gewährleisten die Sicherheit der Bevölkerung beim Transport radioaktiver Stoffe ebenso wie im übrigen Bereich der friedlichen Nutzung der Kernenergie: Bei jährlich etwa 400 000 Versandstücken mit radioaktiven Stoffen hat es bislang nicht mehr als zehn meldepflichtige Ereignisse pro Jahr gegeben. In keinem dieser Fälle ist es je zu einer Freisetzung mit Personenschäden gekommen.

Ein anderes Beispiel sind die unter dem Schlagwort „Tag X“ bekanntgewordenen Vorbereitungen und Aktionen gegen den Transport und die Endlagerung schwachradioaktiver Betriebsabfälle in das Faßlager auf dem Gelände des Zwischenlagers Gorleben. Das Faßlager hat, ebenso wie die Transporte, eine gültige Genehmigung, die erst aufgrund sorgfältiger Sachverhaltsprüfung durch die zuständige Behörde erteilt wurde. Die gegen diese Genehmigung angestrengten Gerichtsverfahren blieben bisher ohne Erfolg. Die Aktionen der zuständigen Behörden vor Ort haben die Entschlossenheit demonstriert, den Vollzug einer nach geltendem Recht erteilten Genehmigung notfalls auch gegen den Widerstand militanter Kernkraftgegner durchzusetzen. Eine andere Entscheidung bedeutet letztlich, unseren Staat dem Chaos anheimzugeben.

In diesem Zusammenhang begrüße ich die bisher ablehnende Haltung der Hessischen Landesregierung zum Ansinnen der Grünen, die Hanauer Nuklearbetriebe zu schließen. Die Betriebe haben eine gültige Genehmigung. Eine an Recht und Gesetz gebundene Landesregierung kann sich hierüber nicht hinwegsetzen, wenn nicht der Staat insgesamt ernsthaft Schaden erleiden soll.

## Rechtssetzungsvorhaben

Es ist eine nahezu triviale Erfahrung, daß es weder im Bereich der Technik noch in sonstigen Lebensbereichen absolute Sicherheit geben kann. Wenn dies das Atomgesetz von uns verlangt, hätte die friedliche Nutzung der Kernenergie nie aufgenommen werden können. Das Atomgesetz hat es uns aber als ständige Aufgabe auferlegt, den erforderlichen Schutz der Bevölkerung nicht statisch an einem einmal erreichten Stand, sondern dynamisch am Stand von Wissenschaft und Technik zu bemessen. Diese Forderung schlägt sich auch in den aufgrund des Atomgesetzes erlassenen Rechtsverordnungen nieder.

Die zur Zeit vorbereitete Novellierung der Strahlenschutzverordnung berücksichtigt einerseits die EG-Grundnormen mit dem hierin verankerten neuen Konzept der Effektiven-Dosis sowie andererseits praktische Erfahrungen aus der Anwendung der derzeit gültigen Fassung. Der vorliegende Verordnungsentwurf wird gegenwärtig noch einmal einer vollständigen Überprüfung durch einen vom BMI berufenen Ausschuß von Wissenschaftlern unterzogen, bevor er dann den Verbänden zur Stellungnahme übersandt wird.

Zur Stärkung der Rechtssicherheit sowie als Brückenschlag zu den technischen Regelwerken, insbesondere den des Kerntechnischen Ausschusses, erwägt der Bundesminister des Innern den Erlaß einer Verordnung mit dem Arbeitstitel „Anlagenerrichtungsverordnung“.

Gegenstand der Verordnung könnte unter anderem sein: eine weitere Verfestigung bestimmter Elemente aus den Störfall-Leitlinien durch Anhebung auf die Verordnungsebene sowie

die Regelung bestimmter Fragen im Entsorgungsbereich, insbesondere im Hinblick auf die Störfallauslegung bei Endlagern. Einbezogen werden könnten weiterhin die Grundsätze der Sicherung kerntechnischer Anlagen mit der Vorgabe der Orientierung am Grundsatz der Verhältnismäßigkeit.

Nicht dem Schutz des Menschen gegen die schädliche Wirkung ionisierender Strahlen, sondern zum Ausgleich finanzieller Schäden im Falle eines nuklearen Ereignisses dienen verschiedene Gesetzesinitiativen im Bereiche der atomrechtlichen Haftung.

Vor wenigen Wochen hat die Bundesregierung die Einbringung von Gesetzesentwürfen zur Ratifizierung der vorgesehenen Anhebung der Haftungssummen im Rahmen der Pariser und Brüsseler Konventionen beschlossen. Der Bundesrat hat keine Einwände erhoben. Am 8. November 1984 hat der Deutsche Bundestag einen Gesetzesentwurf der Regierungskoalition zur Verbesserung des innerstaatlichen Haftungsrechts durch Einführung einer unbegrenzten nuklearen Gefährdungshaftung in erster Lesung beraten. Angesichts der wirtschaftlichen Entwicklung und des sicheren Betriebs der kerntechnischen Anlagen kann sich die Kernenergie eine unbegrenzte Haftung leisten. Sie ist Ausdruck der Normalität, die unsere Kernenergienutzung zunehmend kennzeichnet.

Die Bundesregierung beabsichtigt darüber hinaus eine Initiative für eine eindeutige Verankerung der unbegrenzten Gefährdungshaftung auch in den internationalen Haftungskonventionen zu ergreifen, um eine Vereinfachung und bessere Verständlichkeit internationaler Regelungen im Zeichen der notwendigen Entbürokratisierung zu erreichen.

## Technikfeindlichkeit des Rechts?

Von E. Benda <sup>1)</sup>

### Das Recht als Hemmnis

Es ist kaum zweifelhaft, daß die meisten Leser die mit dem Thema gestellte Frage ohne langes Zögern bejahen werden. Schon aus dem Wesen des Rechts folgt eine eher bewahrende und konservative als eine den Fortschritt begünstigende Tendenz. Aufgabe der Rechtsordnung ist es, die im Verfassungs- und Gesetzesrecht getroffenen Entscheidungen durchzusetzen. Neuen Entwicklungen und veränderten Wertauffassungen paßt sich das Recht nur zögernd an. Je rascher neue Entwicklungen eintreten, desto größer wird der Abstand zwischen dem Recht und der Lebenswirklichkeit oder dem für fortschrittlich gehaltenen Neuen. So ist es nicht erstaunlich, daß diejenigen politischen Kräfte, die sich als progressiv verstehen, oft der Rechtsordnung gegenüber skeptisch, gelegentlich auch ablehnend gegenüberstehen. Wenn sie sich nicht offen über die geltende, aber von ihnen als nicht mehr

befriedigend empfundene Rechtsordnung hinwegsetzen wollen, sollen gedankliche Hilfskonstruktionen juristischen oder pseudo-juristischen Charakters, wie das heute oft diskutierte Widerstandsrecht, die Kluft überbrücken, oder es wird gegenüber der Gesetzeslage auf bestehendes oder vorgestelltes „höheres“ Recht verwiesen.

Im Bereich der Technik ist der prinzipiell vergleichbare Vorgang noch deutlicher, zumal sich in unserer Zeit der Fortschritt der Technik in immer schnellerem Tempo vollzieht, die Rechtsordnung aber weitgehend ratlos und stumm ist, wenn sie auf neuartige Fragestellungen ausreichende und rasche Antworten geben soll. Hinzu kommt, daß die als Gesetzgeber tätigen Politiker wie die mit der Rechtsanwendung befaßten Juristen Sachverhalte beurteilen müssen, bei denen es ihnen fast immer an eigener Sachkunde fehlt. So entsteht bei ihnen das Gefühl der Abhängigkeit von Sachverständigen, die zugleich aber eigene und oft schwer durchschaubare Interessen verfolgen können. Umgekehrt mögen Wissenschaftler und Techniker darüber Befremden empfinden, wenn die Regeln, denen sie unterworfen werden, von

<sup>1)</sup> Professor Dr. Ernst Benda, Präsident des Bundesverfassungsgerichts Karlsruhe a.D.

technischen Laien verfaßt werden. So entwickelt sich eine Atmosphäre gegenseitiger Abneigung oder doch Entfremdung. Die angebliche Technikfeindlichkeit des Rechts ist so zunächst weniger ein objektiver Zustand, als vielmehr eine Bewußtseinslage zwischen Technikern und Juristen. Daß beide Gruppen mit einer jeweils eigenen, dem anderen oft unverständlichen Sprache reden, macht eine Verständigung nicht leichter.

Es bleiben daneben aber andere Faktoren, die zu einem auch objektiv schwierigen Verhältnis zwischen Technik und Recht führen. Schon im Alltag des Bürgers, der sich etwa um eine Baugenehmigung bemüht, erweist sich die Rechtsordnung mit ihren umständlichen und zeitaufwendigen Genehmigungsverfahren als großes Hemmnis auf dem Wege zur Verwirklichung individueller Wünsche. Erst recht gilt dies für die Realisierung von Großprojekten wie etwa im Bereich des Reaktorbaues. Den langen und überaus komplizierten Genehmigungsverfahren folgen Jahre dauernde Gerichtsverfahren mit oft ungewissem Ausgang. Da solche Großprojekte Investitionen in Milliardenhöhe erfordern, ist das Risiko einer wirtschaftlichen Fehlinvestition sehr groß und überdies kaum kalkulierbar, da keine Gewähr dafür besteht, daß die Genehmigung durch die Behörden zügig erteilt werden und die sich oft anschließenden Gerichtsverfahren innerhalb angemessener Frist entschieden werden können. Je länger das Verfahren dauert, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, daß neue technische Entwicklungen zusätzlich berücksichtigt werden müssen. Der hieraus folgende zusätzliche finanzielle Aufwand entzieht sich oft der Vorausberechnung. So ist die Planung und Verwirklichung eines technischen Großvorhabens ein Glücksspiel mit einem enorm hohen Einsatz. Indem die Rechtsordnung kontrollierend und regulierend eingreift, macht sie technische Großprojekte zu einem unkalkulierbaren Risiko: Das Recht hemmt, so scheint es, nicht nur den technischen Fortschritt, sondern verhindert ihn auch, weil bereits eine Verzögerung über Jahre das Vorhaben zu einem wirtschaftlich untragbaren Wagnis umgestaltet.

## Das Verhältnis von Technik und Recht

### Ambivalenz der Technik

So verständlich es ist, wenn angesichts dieser durch viele Beispiele belegbaren Erfahrung der Eindruck einer Technikfeindlichkeit des Rechts entsteht, so wenig reicht diese Betrachtung aus, um unser Thema zu erfassen. Wer von dem Recht als einem Hemmnis des technisch-wissenschaftlichen Fortschritts spricht, legt dabei als Prämisse zugrunde, daß der Fortschritt stets wünschenswert, jedes Hemmnis daher negativ zu beurteilen ist. Auch dies ist verständlich aus der Sicht dessen, der neue technische Möglichkeiten zu realisieren sucht und nach eigener sachverständiger Einschätzung davon überzeugt ist, daß sein Vorhaben technisch durchführbar und in seinen Ergebnissen positiv zu beurteilen ist, also der Menschheit oder dem eigenen Volk zum Nutzen gerät und gefahrlos verwirklicht werden kann. Soweit es sich hierbei um die Beurteilung der Frage handelt, ob das einer technischen Anlage innewohnende Gefahrenpotential durch geeignete Sicherungsmaßnahmen kontrollierbar und beherrschbar bleibt, bleibt der Wissenschaftler oder Techniker innerhalb seiner eigenen Kompetenz; die Ambivalenz des technischen Fortschritts geht aber über die alleinige Zuständigkeit der Fachleute hinaus. Dies ist eine Frage, die nicht allein nach technisch-wissenschaftlichen, sondern auch nach

ethischen, rechtlichen und politischen Maßstäben und Prioritätsentscheidungen beantwortet werden muß. Wir wissen heute, daß der technische Fortschritt den Menschen vor den Naturgewalten schützen und ihm immer neue Möglichkeiten der Lebensgestaltung eröffnen kann, zugleich aber den Menschen durch die Zerstörung der Natur bedrohen oder neuartige Probleme für das Zusammenleben der Menschen bewirken kann. Wirtschaftswachstum und neue technische Entwicklungen haben stets ihren Preis. Aus ihnen ergeben sich neue Möglichkeiten, aber zugleich werden die vorhandenen und oft knappen Ressourcen investiert. Ob dies wünschenswert oder noch vertretbar ist, kann nicht allein nach dem aus Sachkunde begründeten Urteil der technischen Durchführbarkeit beurteilt werden, sondern muß als eine die Belange der Gesellschaft berührende Frage politisch entschieden werden. Die Rechtsordnung ist das Ergebnis solcher politischen Entscheidungen, die sie jedem Betroffenen deutlich und für sein Verhalten verbindlich machen soll. Gegenüber dem technisch-wissenschaftlichen Spezialisten behauptet daher das Recht nicht eine gleichwertige oder gar größere Sachkunde, wohl aber die Zuständigkeit oder jedenfalls Mitzuständigkeit für Entscheidungen, die Belange der unter dem Schutz der Rechtsordnung stehenden Menschen berühren oder in anderer Weise das Zusammenleben der Menschen verändernd beeinflussen können. Daß dieser Anspruch besteht, ist prinzipiell unbestreitbar. Die jeweilige Kontroll-dichte wird dabei nicht stets gleich sein, sondern von dem unterschiedlichen Ausmaß des Gefährdungspotentials abhängen. Ebenso wenig ist vorab entschieden, ob der Staat überall sein eigenes Instrumentarium einsetzen oder dies erst schaffen muß, um eine ausreichende Berücksichtigung anderer als der technischen Gesichtspunkte zu gewährleisten. Auch die Möglichkeit ist nicht von vornherein auszuschließen, daß sich aus der hohen Sachkunde der fachlich Zuständigen auch ein die außertechnischen Gesichtspunkte mitbedenkendes Bewußtsein der Eigenverantwortung des Wissenschaftlers ergibt. Andererseits reicht die bloße Hoffnung darauf, daß von neuen Möglichkeiten stets nur ein verantwortungsbewußter Gebrauch gemacht werde, nicht aus. Die wesentlichen Gesichtspunkte, aus denen sich die Antwort auf derartige Fragen ergibt, sind verfassungsrechtlich vorgezeichnet: der im Grundgesetz durch Art. 5 Abs. 3 gewährleisteten Freiheit der Wissenschaft steht die Verpflichtung des Staates gegenüber, die Würde des Menschen, sein Leben, seine Gesundheit und andere elementare Güter gegen Gefährdungen zu schützen. Hieraus ergibt sich nicht etwa die normative Prämisse, daß zwischen der Forschungsfreiheit und den verfassungsrechtlich geschützten Rechtspositionen der Menschen stets ein Gegensatz bestehen muß; im Gegenteil kann und soll gerade die möglichste Freiheit der Wissenschaft die Chance eröffnen, daß der Fortschritt in den Dienst des Menschen gestellt wird, wie dies selbstverständliches Ziel zum Beispiel der medizinischen Forschung ist.

Dennoch sind Konflikte nicht nur denkbar, sondern aktueller Bestandteil der gegenwärtigen Entwicklung. Ein neuerdings zunehmend diskutiertes Beispiel sind die außerordentlichen Fortschritte der Gentechnologie, aus denen sich Chancen und Risiken zugleich ergeben. Die Genetik hat nachgewiesen, daß bestimmte Eigenschaften an ein materielles Substrat gebunden sind und sich in gesetzmäßiger Weise auf Nachkommen übertragen lassen [1]. Heute ist man in der Lage, an dem materiellen Substrat, der DNA (Desoxyribonukleinsäure) gezielte Eingriffe vorzunehmen und die Eigenschaften des manipulierten Lebewesens gezielt zu verändern. Hieraus

ergeben sich bisher ungeahnte neue Möglichkeiten wie etwa die, Bakterienstämme zu züchten, die den bisher äußerst selten und kostspieligen, für die Medizin wichtigen Stoff Insulin in großen Mengen herstellen können. Andererseits besteht die vielleicht zunächst überschätzte, aber nicht völlig ausgeräumte Gefahr ungewollter Schaffung von für die Menschen gefährlichen Bakterien. Insbesondere im Bereich der Anwendung der Methoden der Gentechnologie auf menschliches Erbgut stecken Probleme und Gefahren, über die sich die Rechtsordnung nur sehr zögernd Klarheit zu schaffen beginnt.

Nicht die Technik selbst, sondern die Möglichkeit ihrer mißbräuchlichen Verwendung bestimmt das Gefährdungspotential der elektronischen Datenverarbeitung. Aus der Fähigkeit zur praktisch unbegrenzten Speicherung und Verarbeitung von Daten ergibt sich neben vielen positiven Einsatzmöglichkeiten auch die Gefahr einer unbefugten oder unbegrenzten Speicherung personenbezogener Daten und damit der Schaffung eines Überwachungs- und Kontrollpotentials, das sich der Staat, aber auch die Wirtschaft zunutze machen könnte. Die Gefahr eines solchen Mißbrauchs geht nicht von der Technik aus, sondern von ihren Anwendern, also nicht zuletzt vom Staat selbst. Es wäre daher ebenso sinnlos, den an der Entwicklung des Computers Beteiligten das Mißbrauchspotential vorzuwerfen, wie es unsachgemäß wäre, ihnen die Entwicklung hinreichender rechtlicher Kontrollmöglichkeiten zu überlassen, die den Mißbrauch zu verhindern geeignet sind.

Die Liste der Beispiele ließe sich fast beliebig verlängern. Aus allen Beispielen ergibt sich, daß es nicht weiter führt, sich gegen den — ohnehin nationale Grenzen überschreitenden — technischen Fortschritt protestierend aufzulehnen. Umso dringlicher ist es, ethische und rechtliche Wertvorstellungen zu entwickeln, die Antworten auf die mit der technischen Entwicklung verbundenen Risiken geben können. Dem Techniker mag eine originäre Sachkompetenz zukommen, was die Feststellung des Ausmaßes der Gefährdung angeht, die etwa von einem Kernkraftwerk herrührt [2]. Ob das so festzustellende Risiko angestichts eines überwiegenden Nutzens hinzunehmen ist und welche Maßnahmen zu seiner Begrenzung zu fordern sind, ist aber nur begrenzt eine technische Fragestellung. Die Entscheidung hierüber obliegt nicht dem Techniker, sondern dem demokratisch legitimierten Gesetzgeber.

#### Die Aufgabe des Gesetzgebers

Die Schutzpflicht des Gesetzgebers ergibt sich verfassungsrechtlich aus den in den Grundrechten enthaltenen Wertentscheidungen des Grundgesetzes. Nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts ist es Pflicht der staatlichen Organe, sich schützend vor die insbesondere in Art. 2 Abs. 2 Grundgesetz (GG) gewährleisteten Rechtsgüter (Leben und Gesundheit) zu stellen und diese vor rechtswidrigen Eingriffen Dritter zu bewahren [3].

Der Schutzpflicht des Staates entspricht der subjektive Schutzanspruch des Bürgers auf Gewährleistung seiner Grundrechte gegenüber Rechtsbeeinträchtigungen durch Dritte. So ist im Mühlheim-Kärlich-Beschluß von einer „eigenen Mitverantwortung“ des Staates für die von einem Kernkraftwerk ausgehenden potentiellen Gefährdungen die Rede [4]. Es ist wohl noch nicht hinreichend erkannt worden, daß die Schutzpflicht aller staatlichen Organe zur Abwehr von Grundrechtsgefährdungen dazu führt, die „Dritt-

wirkung“ der Grundrechte auch im nichtstaatlichen Bereich zu bewirken. Die Geltung der Grundrechte gegenüber Rechtsbeeinträchtigungen von anderer als staatlicher Seite bedarf einer aktiven Förderung der staatlichen Organe. Aus ihr ergeben sich hinreichende materiell-rechtliche Vorkehrungen ebenso wie die Pflicht zur „Nachbesserung“ bei Sicherheitsmaßnahmen, die nicht mehr dem jeweiligen Erkenntnisstand entsprechen [5].

#### Auswirkungen neuer Technologien auf die Grundrechte

Maßstab für den Schutz des Menschen vor möglichen aus der Nutzung der Technik entstehenden Gefahren sind in erster Linie die Grundrechte. Sie binden alle staatliche Gewalt als unmittelbar geltendes Recht (Art. 1 Abs. 3 GG). Damit ist aber noch nicht entschieden, welche Vorkehrungen im Einzelfall erforderlich sind oder wann die Nutzung einer Technik wegen ihres Gefährdungspotentials überhaupt zu unterbleiben hat. Das 1949 entstandene Grundgesetz hat die seitherige Entwicklung der Technik und die sich aus ihr ergebenden neuartigen Möglichkeiten und Gefährdungen nicht vorhersehen können. Es kann daher schwierig sein, im Wege der Verfassungsinterpretation Antworten auf solche neuartigen Situationen zu finden, die zudem das Verhältnis von Technik und Recht weitaus komplizierter gemacht haben, als dies früher der Fall war. Während die von einem Dampfkessel oder einem Kraftfahrzeug ausgehenden Gefahren auch für den technisch nicht vorgebildeten Juristen plausibel und in gewissem Umfange berechenbar waren, ist es heute selbst dem nicht spezialisierten Naturwissenschaftler regelmäßig nicht ohne weiteres möglich, sich über die Gefährdungspotentiale von Kernreaktoren oder etwa der Gentechnologie ein so genaues Bild zu machen, daß er Art und Umfang der erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen präzise definieren kann. Erst recht gilt dies für den technisch nicht vorgebildeten Juristen. Daher ist es unvermeidbar, daß die Rechtsnormen an den Stand der fachspezifischen Erkenntnisse anknüpfen. Der hierfür zu zahlende Preis besteht in der oft unvollkommenen Präzision des Gesetzes, das mit Generalklauseln arbeiten muß. Damit geht die Verantwortung auf den das Recht anwendenden Richter über, der unbestimmte Rechtsbegriffe auf den jeweiligen Fall anwenden und sich hierfür weitgehend der Unterstützung durch Sachverständige oder technische Normen bedienen muß. Die technischen Normen spielen hierbei eine besondere Rolle; sie gelten als antizipierte Sachverständigengutachten, die über den Stand der Technik Auskunft geben, also weniger Rechtsnormen als eine Zusammenfassung des Standes der Technik sind.

#### Kernenergie

Die Möglichkeiten, Probleme und Risiken der friedlichen Nutzung der Kernenergie sind Gegenstand vieler oft leidenschaftlicher Diskussionen. Die sich hieraus ergebenden möglichen Gefährdungen sind neuartig; um sie rechtlich zu bewerten, stehen nur sehr allgemeine verfassungsrechtliche Aussagen zur Verfügung. Dem Recht des bei Eintritt eines Schadens potentiell Betroffenen auf Schutz seines Lebens und seiner körperlichen Unversehrtheit (Art. 2 Abs. 2 GG) stehen die Grundrechte der Freiheit der Wissenschaft, Forschung und Lehre (Art. 5 Abs. 3 GG) sowie auf wirtschaftliche Betätigungsfreiheit (Art. 12 Abs. 1 GG) gegenüber. So ist der Staat ebenso zum Schutz vor möglichen Gefährdungen

aufgefordert, wie zur Förderung der Kernenergie. Die gesetzliche Regelung (§ 1 Ziff. 1 und 2 AtomG) betont den Schutzzweck ebenso wie den Förderungszweck. Ein Ausgleich wird in § 7 Abs. 2 Ziff. 3 AtomG versucht: eine Genehmigung darf nur erteilt werden, wenn die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb solcher Anlagen getroffen ist.

Die „erforderliche Vorsorge“ ist ein unbestimmter Rechtsbegriff, dessen Bestimmung Schwierigkeiten bereitet. Aus seine Auslegung wirken wiederum die Grundrechte ein. Leben und körperliche Unversehrtheit sind hohe Rechtsgüter. Daher setzt die Schutzverpflichtung schon bei einer entfernten Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts ein [7]. An das Merkmal „erforderlich“ sind strenge Anforderungen zu stellen. Die Schutzpflicht verlangt aber nicht eine Regelung, die mit absoluter Sicherheit Grundrechtsgefährdungen ausschließt. Dies würde, wie es im Kalkar-Beschluß heißt, „die Grenzen menschlichen Erkenntnisvermögens verkennen und weithin jede staatliche Zulassung der Nutzung von Technik verbannen“ [8]. Einer so verstandenen Technikfeindlichkeit wird damit vom Bundesverfassungsgericht eine Absage erteilt.

Es gibt damit kein „Grundrecht auf risikofreies Leben“, sondern einen der staatlichen Schutzverpflichtung entsprechenden Anspruch auf Risikominderung. Hieraus ergeben sich beispielsweise die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung und das Strahlenminimierungsgebot des § 45 Strahlenschutzverordnung. Nach Auffassung des Bundesverwaltungsgerichts im Stade-Urteil konkretisieren die Dosisgrenzwerte die äußerste nicht mehr überschreitbare Grenze der erforderlichen Schadensvorsorge, jenseits derer das „Strahlenrisiko“ beginnt [9].

Der Ambivalenz der Technik wird demnach Rechnung getragen, indem vorhersehbare Gefahren abgewehrt, aber ein nicht auszüräumendes Restrisiko hingenommen wird. Damit wird der Schutzpflicht ebenso wie der Förderpflicht Rechnung getragen; beide werden im Sinne praktischer Konkordanz zum Ausgleich gebracht.

Aus der Schwierigkeit, den Stand der Technik juristisch präzise zu bestimmen, ergibt sich eine Verlagerung des Grundrechtsschutzes auf Sicherungen verfahrensrechtlicher Art. Im Mülheim-Kärlich-Beschluß heißt es hierzu: „Das Grundrecht des Art. 2 Abs. 2 GG beeinflusst auch die Anwendung der Vorschriften über das behördliche und gerichtliche Verfahren bei der Genehmigung von Kernkraftwerken, deren vorrangige Aufgabe gerade darin besteht, Leben und Gesundheit vor den Gefahren der Kernenergie zu schützen“. „Eine solche Verletzung . . . kommt in Betracht, wenn die Genehmigungsbehörde solche Verfahrensvorschriften außer acht läßt, die der Staat in Erfüllung seiner Pflicht zum Schutz der in Art. 2 Abs. 2 GG genannten Rechtsgüter erlassen hat“ [10]. Das aus der Schutzverpflichtung des Staates abgeleitete „Recht auf Verfahrensteilhabe“ [11] wird zunehmend wichtiger als die Rechtskontrolle über die Erforderlichkeit und Geeignetheit materiell-technischer Maßnahmen der Gefahrenabwehr. Es soll die potentielle Grundrechtsgefährdung verhindern; falsch wäre es dagegen, hieraus ein Recht auf Partizipation am staatlichen Willensbildungsprozeß abzuleiten [12].

Wie jeder Praktiker weiß, sind die Genehmigungs- und Gerichtsverfahren im Bereich der Errichtung von Kernkraft-

anlagen überaus zeitaufwendig und in ihrem Ausgang schwer kalkulierbar. Hinzu treten politische Schwierigkeiten. Die einschlägige Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts wird man aber kaum als technikfeindlich bezeichnen können (anders mag es gelegentlich bei Verwaltungsgerichten liegen); Aufgabe der Gerichte ist nicht die Obstruktion mit juristischen Mitteln, wohl aber der jeweils erforderliche Schutz der Güter des Menschen – Leben, Gesundheit, Umwelt –, der im Konfliktsfalle auch das technisch Machbare begrenzen muß [13].

### *Datenverarbeitung und Datenschutz*

Daß der Staat von seinen Bürgern personenbezogene Daten verlangt, ist nicht neu. Uns allen ist die in der Weihnachtsgeschichte des Evangeliums geschilderte Volkszählung des Kaisers Augustus bekannt, die sogar die Verpflichtung einschloß, sich an seinen Geburtsort zu begeben. Zu allen Zeiten waren derartige Erhebungen ein Mittel, um für politische und Verwaltungsentscheidungen diejenigen Daten festzustellen, die Voraussetzung wirklichkeitsbezogenen Handelns waren. Auch im wirtschaftlichen und persönlichen Leben ist die Sammlung und Auswertung von Daten ein alltäglicher Vorgang.

Soweit für staatliche, gesellschaftliche oder private Zwecke Daten auf freiwilliger Basis erhoben werden, wird der Vorgang als normal und unproblematisch empfunden. Erst die zwangsweise Erhebung oder die heimliche Beschaffung (zum Beispiel durch polizeiliche Observation) führt zum Konflikt mit den Persönlichkeitsrechten der Betroffenen. So hatte das Bundesverfassungsgericht in seiner Mikrozensus-Entscheidung von 1969 erstmals Veranlassung, sich mit der (zwangsweise durchgeführten) Erhebung über das Urlaubsreiseverhalten von Bürgern zu statistischen Zwecken zu beschäftigen [14]. Auch wo es nicht um staatlichen Zwang zur Hergabe von Daten, sondern um sozialen oder wirtschaftlichen Druck geht, ergeben sich Konflikte. Für sie hat die Öffentlichkeit in letzter Zeit ein sehr geschärftes Bewußtsein entwickelt. So ist der Versuch der Banken, 1984 durch Änderung ihrer allgemeinen Geschäftsbedingungen sich größere Freiheit im Umgang mit den Daten von Bankkunden zu verschaffen, am öffentlichen Protest gescheitert.

Erst die Einführung der neuen Technik der automatischen Datenverarbeitung hat aber das Bedürfnis nach einer grundsätzlichen Reaktion der Rechtsordnung wachgerufen. Es ist die Technik, die hier das gesellschaftspolitisch bedeutsame Problem erzeugt hat: sie macht es nicht nur möglich, Daten schnell und unverlierbar zu sammeln, sondern führt auch die Datenverarbeitung zu einer ganz neuen Qualität. Bisher waren aus Gründen der langsamen und umständlichen Weitergabe von Daten ihre Benutzer weitgehend mit denen identisch, die die Daten gesammelt hatten. Heute können dagegen Daten jeglicher Art in großen Mengen, schnell und mühelos über miteinander verbundene Computer beliebig ausgetauscht werden. Die Zirkulation der gespeicherten Informationen ist technisch möglich geworden. „Die Daten werden aus ihrer Isolation gelöst, eine kontinuierliche, umfassende akribische und jedem Interessierten zugängliche Unterrichtung läßt sich erstmalig garantieren“ [15]. Hieraus ergeben sich früher unvorstellbare Verwendungsmöglichkeiten im staatlichen ebenso wie im wirtschaftlich-gesellschaftlichen Bereich. So beschreibt Horst Herold, der frühere Präsident des Bundeskriminalamts, die Einsatzmöglichkeiten im Polizeibereich so: „Bereits die derzeit einsetzbare Technik

führt zu einer grundlegenden Veränderung aller büro- oder textorientierten Tätigkeiten. Die polizeilichen Arbeitsplätze in Kriminalkommissariaten, Polizeirevierern, Grenzübergangsstellen, Flug- oder Seehäfen werden schrittweise Arbeitsplatzcomputer erhalten, in denen die Funktionen von Schreibmaschine, Datenstation und Fernschreiber auf einer Tastatur vereinigt sind. An diesen Endgeräten erfolgt die Bearbeitung aller Vorgänge – Aufnahme von Strafanzeigen, Erstellen von Berichten, Vernehmung von Beschuldigten oder Zeugen – wie bisher mit der Schreibmaschine, jedoch mit dem Unterschied, daß alle verwendeten Daten von der Maschine automatisch mitgelesen, gespeichert, verarbeitet, berechtigten Benutzern übermittelt, verknüpft und erkannte Zusammenhänge dem Sachbearbeiter zurückgemeldet werden“ [16].

Hieraus ergeben sich neuartige Fragestellungen. Bisher war nur die von der angewendeten Technik losgelöste Rechtsfrage zu beantworten, unter welchen Voraussetzungen der Staat seine Bürger durch Androhung von Zwangsmitteln veranlassen darf, ihm bestimmte personenbezogene Daten mitzuteilen. Heute ermöglicht es die Technik, daß der Bürger, wenn über ihn einmal Angaben zur Verfügung stehen, überhaupt nicht mehr gefragt werden muß. Alle irgendwo über ihn gesammelten Daten können miteinander verbunden und an beliebige Stellen weitergegeben werden. Der Bürger wird, technisch gesprochen, diesen Vorgang überhaupt nicht bemerken. So kann ein nahezu vollständiges Bild seiner Persönlichkeit erstellt werden. Dies ist ein durch die moderne Technik ermöglichter Vorgang neuer Qualität, auf den die Rechtsordnung antworten muß, wenn sie nicht den Einzelnen dieser Technik schutzlos ausliefern will.

Das Bundesverfassungsgericht hat in seiner Volkszählungsentscheidung von 1983 den Vorgang zum Anlaß genommen, seine bisherige Rechtsprechung zum Persönlichkeitsrecht des Einzelnen zu überprüfen und fortzuführen [17]. Schon in der Mikrozensus-Entscheidung [18] war aus dem Menschenbild des Grundgesetzes entnommen worden, daß der Einzelne „einen unantastbaren Bereich privater Lebensgestaltung“ haben müsse, „der der Einwirkung der öffentlichen Gewalt entzogen ist“. „Es widerspricht der menschlichen Würde, den Menschen zum bloßen Objekt im Staat zu machen . . . Mit der Menschenwürde wäre es nicht zu vereinbaren, wenn der Staat das Recht für sich in Anspruch nehmen könnte, den Menschen zwangsweise in seiner ganzen Persönlichkeit zu registrieren und zu katalogisieren, sei es auch in der Anonymität einer statistischen Erhebung, und ihn damit wie eine Sache zu behandeln, die einer Bestandsaufnahme in jeder Beziehung zugänglich ist“.

Diese Sätze sind dahin verstanden worden, daß bei der staatlichen Erhebung und Verwertung von personenbezogenen Daten nach Sphären zu unterscheiden sei. Manche Daten sind für sich betrachtet harmlos, weil sie neutrale Angaben betreffen, wie etwa Name und Wohnort, oder sich ohnehin aus dem Sozialverhalten des Menschen ergeben. Andere Daten dagegen beziehen sich auf den engsten Persönlichkeitsbereich des Menschen, in dem er den Anspruch erheben kann, vor privater oder staatlicher Neugier geschützt zu sein. Es sind aber ebenso rechtliche oder technische Gründe, die die Unterscheidung zwischen sensiblen und nicht sensiblen Daten als nicht mehr ausreichend erscheinen lassen, um den durch die elektronische Datenverarbeitung entstehenden Gefährdungen zu begegnen. Ein Staat, der der sozialen

Wohlfahrt und der Sicherheit und Gesundheit seiner Bürger dienen soll, muß sich oft auch um die Klärung von Sachverhalten bemühen, die tief in den persönlichsten Bereich des Menschen reichen. So gibt es seit langem etwa im Gesetz über die Bekämpfung von Geschlechtskrankheiten oder im Bundesseuchengesetz Auskunfts- und Meldepflichten über Krankheiten, deren Bekämpfung im öffentlichen Interesse liegt und auch dem Schutz des Einzelnen dient. Im Familienrecht oder im Strafrecht müssen oft Lebenssachverhalte ermittelt und festgehalten werden, die dem engsten Intimbereich zugehören, und auch eine wirksame soziale Hilfe für Gefährdete setzt die Kenntnis seiner persönlichen Lebensverhältnisse voraus, wenn die stets knappen Mittel des Staates sachgemäß eingesetzt werden sollen.

Zu solchen rechtlichen Gegebenheiten treten die sich aus der Technik ergebenden Faktoren. Die Informationstechnologie der EDV ermöglicht es, viele für sich gesehen harmlose Daten so miteinander zu verknüpfen, daß sich aus ihrer Summe ein umfassendes Persönlichkeitsprofil ergibt. „Durch“ – so heißt es im Volkszählungsurteil – „kann ein für sich gesehen belangloses Datum einen neuen Stellenwert bekommen; insoweit gibt es unter den Bedingungen der automatischen Datenverarbeitung kein belangloses Datum mehr“. Vielmehr kommt es entscheidend auf seine Nutzbarkeit und Verwendungsmöglichkeit an, also auf den Zweck, zu dem das Datum erhoben und für den es verwendet wird. Das Urteil beschreibt das Gefährdungspotential der EDV so: Heute sind „mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung Einzelangaben über persönliche oder sachliche Verhältnisse einer bestimmten oder bestimmbar Person . . . technisch gesehen unbegrenzt speicherbar und jederzeit ohne Rücksicht auf Entfernungen in Sekundenschnelle abrufbar . . . Sie können darüber hinaus – vor allem beim Aufbau integrierter Informationssysteme – mit anderen Datensammlungen zu einem teilweise oder weitgehend vollständigen Persönlichkeitsbild zusammengefügt werden, ohne daß der Betroffene dessen Richtigkeit und Verwendung hinreichend kontrollieren kann. Damit haben sich in einer bisher unbekanntem Weise die Möglichkeiten einer Einsichts- und Einflußnahme erweitert, welche auf das Verhalten des Einzelnen schon durch den psychischen Druck öffentlicher Anteilnahme einzuwirken vermögen“ [19]. Damit ist ein neuer, durch die Entwicklung der Technik bewirkter Sachverhalt umschrieben, auf den eine rechtliche Antwort gefunden werden muß. Hieraus ergeben sich viele schwierige und noch keineswegs abschließend beantwortete Einzelprobleme, denen hier nicht nachgegangen werden kann. Unbestreitbar erscheint es aber, daß man die neue Technik nicht einfach sich selbst überlassen, also untätig zusehen darf, welche gesellschaftspolitischen und den Einzelnen in seinem Persönlichkeitsrecht berührenden Fragen entstehen. Bekanntlich will das Volkszählungsurteil der neuartigen Gefährdung mit dem „Recht auf informationelle Selbstbestimmung“ als Teil des allgemeinen Persönlichkeitsrechts begegnen, also der „Befugnis des Einzelnen, grundsätzlich selbst über die Preisgabe und Verwendung seiner persönlichen Daten zu bestimmen“ [20]. Dabei wird dieses Recht nicht als ein schrankenloses verstanden; vielmehr regeln die längst bekannten rechtsstaatlichen Grundsätze, wie die Prinzipien der Verhältnismäßigkeit und der Normenklarheit, die Voraussetzungen, unter denen der Staat zur Erfüllung seiner Aufgaben von seinen Bürgern personenbezogene Auskünfte verlangen darf. Auch hier antwortet das Recht auf das Gefährdungspotential der Technik nicht mit indifferenzierter Feindseligkeit, sondern mit einer Abwägung, welche die

Gefahren zu vermeiden sucht, zugleich aber die positiven Folgen der Nutzung einer neuen Technik nicht verhindert.

### *Gentechnologie*

Als letztes und aktuellstes Beispiel mag die Gentechnologie dienen. Was zunächst nur von einem kleinen Kreis hochspezialisierter Naturwissenschaftler erkannt, entwickelt und angewendet worden ist, beschäftigt in neuester Zeit mit zunehmender Intensität die Öffentlichkeit, die hierbei fantastische, den Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis möglicherweise überholende Möglichkeiten diskutiert. Dies ist kein neuer Vorgang. Seit Jules Verne wissen wir, daß nicht selten die Utopien und Visionen der technisch-wissenschaftlichen Laien dem Stand der Technik vorauslaufen und nicht selten intuitiv voraussehen, was von der Forschung erst später realisiert wird. Zugleich zeigt sich auch hier, und hier mit besonderer Deutlichkeit, wie schwer es für die Rechtsordnung ist, sich auf neuartige technische Sachverhalte einzustellen und die sich hieraus ergebenden Probleme zu bewältigen.

Wohl noch nie hat eine neuartige Technik zu so dramatischen Fragestellungen geführt, wie sie mit der Gentechnologie, vor allem im Bereich der Humangenetik, verbunden sind. Der Mensch ist heute, zum ersten Male in seiner Geschichte, nicht nur in der Lage, die Abläufe der Entstehung von Leben zu begreifen, sondern auch gezielt auf sie einzuwirken. Nach dem pflanzlichen und tierischen Erbgut ist nun das menschliche Erbgut in den Mittelpunkt der Forschung gerückt. Die schon entwickelten, vielfach auch bereits angewendeten neuen Methoden reichen von der pränatalen Diagnostik und der Genomanalyse über die künstliche Befruchtung und den Embryotransfer bis hin zu den technisch schon weitgehend gegebenen, aber weitgehend auch von der Wissenschaft für unvertretbar gehaltenen Möglichkeiten des Klonens oder der Neukombination von Genen. Auch außerhalb des Humanbereichs ergeben sich nicht nur ganz neue Chancen für die Grundlagenforschung, sondern auch bisher für unerreichbar gehaltene praktische Anwendungsmöglichkeiten, wie die Herstellung seltener Naturstoffe, die Schaffung von Organismen mit verstärkt nutzbaren Eigenschaften (etwa von Stickstoffdünger unabhängige Kulturpflanzen) [21] oder neuartige therapeutische Möglichkeiten. So wird wieder die Ambivalenz der Technik deutlich, die stets Chancen und Risiken mit sich bringt.

Die mit der Gentechnologie verbundenen Erwartungen und Befürchtungen beruhen wohl gerade auf dem sich über den Bereich der Fachspezialisten hinaus entwickelten Gefühl, daß es um fantastische Entwicklungen geht, also um solche, die sich eigentlich der nüchternen Vernunft entziehen und nur jenseits des bisher real Erlebten vorstellbar sind. Für den Wissenschaftler, der solche neuen Möglichkeiten aufspürt, oder den Techniker, der sie in die praktische Anwendung umsetzen will, wird das Gefühl des Außerordentlichen, sich jenseits jeder bisherigen menschlichen Erfahrung Befindlichen eher Ansporn als Hemmnis sein. Es entspricht dem Selbstverständnis der Wissenschaft, daß sie kaum prinzipielle Grenzen ihrer forschenden Tätigkeit anzuerkennen vermag. Damit wird dem einzelnen Wissenschaftler nicht das persönliche Verantwortungsbewußtsein oder das Ethos abgesprochen. Wo aber diese ihn zum Einhalten bestimmen, endet die Suche nach naturwissenschaftlicher Wahrheit, die ihre Begrenzung nur durch die Unvollkommenheit menschlicher Erkenntnis definieren kann. Das sich hieraus ergebende Dilemma zwischen dem immer neuen

Bemühen um das Verstehen der Naturgesetze und der Einsicht, daß die sich ergebenden Erkenntnisse ebenso Nutzen wie Schaden für den Menschen bewirken können, kann nur durch die Beendigung forschender Arbeit oder ihre Fortsetzung ungeachtet aller Befürchtungen über mißbräuchliche Anwendung beantwortet werden. Die Last der sich hieraus ergebenden Verantwortung kann für den einzelnen Wissenschaftler unerträglich schwer werden. Wenn nicht alle ethischen Fragen allein auf seine Schultern geladen, sondern von der Rechtsordnung mitübernommen werden, bedeutet dies auch Hilfe für die Wissenschaft.

Vor eben dieser Situation scheinen wir auf dem Gebiet der Gentechnologie zu stehen. Überall wird die Befürchtung erkennbar, daß der nunmehr eingeschlagene Weg sich als Weg ohne Umkehr erweisen könnte [22]. Über die naheliegenden Gefahren, wie die der ungewollten Schaffung gefährlicher Mikroorganismen hinaus, auf die am ehesten die sachkundige Wissenschaft selbst antworten kann, stellen sich eine Fülle rechtlicher und ethischer Probleme die die Entscheidungskompetenz nur der Fachleute bei weitem überschreiten, aber bisher von Ethik und Recht überhaupt nicht oder nur äußerst unzulänglich behandelt, geschweige denn gelöst worden sind. Dies gilt bereits für die schon praktizierte In-vitro-Fertilisation (künstliche Befruchtung außerhalb des menschlichen Körpers mit anschließender Re-Implantation). Die hierbei gelegentlich vorkommende Gewinnung überzähliger, also nicht zu transferierender Embryonen ist nur eine der entstehenden Fragen. Verfassungsrechtlich handelt es sich hierbei um menschliches Leben, das nicht als überflüssig einfach weggeworfen werden darf und das auch nicht oder jedenfalls nicht ohne weiteres zum Objekt wissenschaftlicher Experimente gemacht werden darf. So stellt sich jedenfalls die Grundfrage, wie mit menschlichem Leben umzugehen ist, und was dies eigentlich ist. Da auch die Frau, deren Eizellen verwendet worden sind, nicht gezwungen werden kann, sie sich im nächsten Zyklus transferieren zu lassen, entsteht ein fast unlösbares Problem, bei dem zunächst nur feststeht, daß man es nicht der willkürlichen Entscheidung des jeweils beteiligten Wissenschaftlers oder Arztes überantworten darf; jedenfalls dem gewissenhaften Anwender der Technik würde damit eine Last aufgebürdet, die nicht zumutbar ist.

Das Beispiel zeigt, wie schwierig die Probleme auch für Ethik und Recht sind. Nach langem Schweigen der Politik sind in letzter Zeit eine Arbeitsgruppe der Bundesregierung, der der Verfasser angehört, und eine Enquete-Kommission des Bundestages gebildet worden, die sich um Antworten bemühen sollen. Daß dabei weder die Vertreter der einschlägigen Fachwissenschaften noch die Vertreter der philosophischen Ethik oder der Moralthologie oder der Rechtswissenschaften allein arbeiten, sondern sich gemeinsam der Probleme annehmen, ist über den engeren thematischen Bereich hinaus ein Schritt in die richtige Richtung, so wenig heute vorausgesagt werden kann, ob das Ergebnis dieser intensiven Arbeiten wirklich überzeugende und befriedigende Antworten liefern wird.

Damit kann, am wahrscheinlich schwierigsten der gegenwärtig aktuellen Probleme beispielhaft erörtert, vielleicht eine abschließende Antwort auf die mit dem Thema gestellte Frage gefunden werden. Recht und Technik stehen einander nicht unversöhnlich oder gar feindselig gegenüber. Sie sind aufeinander angewiesen und sollten zusammenarbeiten, um dem menschlichen Fortschritt zu dienen, aber den Menschen vor den sich hieraus ergebenden Gefährdungen zu schützen.

Wir haben es in den letzten Jahren mehr als früher gelernt, Fortschritt nicht um seiner selbst willen ungefragt zu bejahen. Ebenso unzureichend wäre es, Fortschritts- und Technikfeindlichkeit zu kultivieren und sich dabei darüber hinwegzusetzen, daß viele der heutigen Weltprobleme, wie etwa die Versorgung der immer rascher anwachsenden Bevölkerung mit Nahrungsmitteln, ohne technischen Fortschritt überhaupt unlösbar sind. Technikfeindlichkeit würde, so fortschrittlich sie heute manchem erscheinen mag, zu Lasten vor allem der wenig entwickelten Länder der Erde und der dort lebenden Menschen wirken. Wenn aber die Politik sich auf die Notwendigkeit besinnt, die durch Technik und Unvernunft der Menschen bedrohte Umwelt zu schützen, und die Rechtsordnung sich ihrer Aufgabe annimmt, die unverzichtbaren Güter des Menschen, wie insbesondere sein Leben und seine Gesundheit vor Gefährdung zu schützen, die auch von der Anwendung moderner Technik ausgehen können, dann sollte dies nicht als Technikfeindlichkeit mißverstanden werden.

Es bleiben unendlich viele und immer neue Einzelfragen, bei denen sich aus dem Standpunkt der Technik die eine, von der Verantwortung der Rechtsordnung her eine hiervon abweichende Antwort ergeben mag. Solche Konflikte müssen stets von neuem behandelt und gelöst werden. Verständnisschwierigkeiten sind oft unverkennbar, aber auch sie sind nicht unüberwindlich. Technik wird sich nicht als blinde Übertragung der Naturgesetze auf Maschinen oder Anlagen verstehen, die ohne Rücksicht auf die Folgen nur deshalb vorgenommen wird, weil es eben so funktionieren scheint; auch die Technik steht im Dienste des Menschen und will seinem Nutzen dienen, ohne ihm Schaden zuzufügen. Die Rechtsordnung wird sich nicht als Instrumentarium zur Verhinderung von Technik sehen wollen. Sie mag, skeptischer vielleicht als der von einer neuen Idee faszinierte Techniker oder Wissenschaftler, in erster Linie die möglichen Gefährdungen und erst in zweiter Linie den potentiellen Nutzen sehen und so eher Bremse als Motor des Fortschritts sein. Dies ist nicht so tragisch. Jeder Autofahrer weiß, daß ein

Fahrzeug ohne Motor nicht vorankommt, ein Auto ohne Bremse aber nicht für lange Zeit ohne Schaden seinen Weg nehmen wird. Beides gehört zu einer sauberen Konstruktion, und so gehören auch Technik und Recht zusammen, nicht als Feinde, sondern als Partner des Fortschritts.

#### Anmerkungen

- [1] Schöne, Hans-Hermann: Gegenwärtige Situation und zukünftige Entwicklung der molekular-biologischen und gentechnologischen Forschung, (Vortrag vom 33. Deutschen Kongreß für ärztliche Fortbildung am 12. Juni 1984 in Berlin, Manuskript S. 2)
- [2] Wagner, Hellmut: Schadensvorsorge bei der Genehmigung umweltrelevanter Großanlagen, DÖV 1980, S. 269.
- [3] BVerfGE 39, 1, 41; 46, 160, 164; 49, 89, 141; 53, 30, 57
- [4] Vgl. auch: Benda, Ernst: Technische Risiken und Grundgesetz, in: Technische Risiken und Recht, Hrsg.: Blümel, Wagner, S. 6
- [5] Vgl. Benda, aaO., Anm. 4
- [6] Vgl. auch Wagner, Hellmut: Die Risiken von Wissenschaft und Technik als Rechtsproblem, NJW 1980, S. 665 ff., 666
- [7] Vgl. Benda, aaO., Anm. 4
- [8] BVerfGE 49, 89, 143
- [9] BVG-Urteil vom 22.12.1980
- [10] BVerfGE 53, 30, 65 f.
- [11] NJW 1980, 1593 ff. unter Hinweis auf Häberle VVDS + RL 30 (1972), 86 ff.
- [12] So Ossenbühl, DÖV 1981, S. 6
- [13] Vogel, Oscar, in: Der technische Sachverständige im Prozeß, Hrsg.: Nicklisch, Heidelberg 1984.
- [14] BVerfGE 27, 1
- [15] Simitis, Spiros: „Datenschutz – Notwendigkeit und Voraussetzung einer gesetzlichen Regelung“, in DVR 2173, S. 138 ff., 168
- [16] Herold, Horst: Perspektiven im Bereich der Sicherheitsbehörden, Vortrag vom 5.9.1984 in Frankfurt, S. 8 f.
- [17] BVerfGE 65, 1
- [18] aaO., Anm. 14
- [19] BVerfGE 65, 1, 42
- [20] BVerfGE 65, 1, 42
- [21] Vgl.: Gutachten der Arbeitsgruppe am Bundesgesundheitsamt, in: „Ethische und rechtliche Probleme der Anwendung zellbiologischer und gentechnischer Methoden am Menschen“, Hrsg.: Bundesminister für Forschung und Technologie, S. 11
- [22] Eser, Albin: Genetik, Gen-Ethik, Gen-Recht? in SZ vom 23./24. Juni 1984, S. V.



# Einführung

Von O. Kellermann <sup>1)</sup>

Das Thema unseres heutigen Fachgespräches lautet „Sicherheitstechnik bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle“.

Entsorgung ist ein relativ junger Begriff, ein Modewort. Es beschreibt sehr gut die Aktionen, welche die Betreiber von Kernkraftwerken und die einschlägige Industrie unternehmen, um die Sorgenbringer zu beseitigen, um die Umwelt und die Nachwelt vor schädlichen Nebenwirkungen der Kernenergienutzung zu schützen. Die Kerntechnik darf für sich in Anspruch nehmen, das Problem der Abfallbeseitigung in einer Weise zu lösen, die für andere Schadstoffe Vorbild sein kann.

Unterstützt durch behördlichen Druck, der sich schon häufiger bei der Lösung technischer Probleme als hilfreich erwiesen hat, entwickelten Forschung und Industrie eine Reihe von Lösungsmöglichkeiten.

Die erste Antwort der Kernkraftwerksbetreiber auf den § 9a des Atomgesetzes hieß meistens COGEMA. Aber schnell wurden neue Antworten überlegt und entwickelt.

Kompaktlager und Trockenlager, Asse und Gorleben, Wackersdorf und Dragahn, PUREX und FEMO, Konrad, PAMELA und TOR, nicht zu vergessen das „Projekt Andere Entsorgungstechniken“. Diese Stichworte zeigen, daß die Beteiligten schnell auf die Anforderungen reagierten.

Betreiber und Behörden haben richtungsweisende Anstrengungen unternommen, um das Entsorgungsproblem der Kerntechnik zu lösen. Wenn ich richtungsweisend sage, dann denke ich an die technische Konzeption, an das erfolgreiche Bemühen um die Sicherheit, an den Vergleich mit dem Ausland und mit der Behandlung anderer Schadstoffe – nicht an die Kosten.

Der Aufwand und die Gründlichkeit, mit denen die Prozesse zur Schließung des Brennstoffkreislaufs analytisch und experimentell erforscht sind, beeindrucken auch die Fachwelt im Ausland.

Der Komplex Entsorgung im Brennstoffkreislauf umfaßt eine ganze Reihe von Einzelvorgängen:

- Abkühlung im Lagerbecken,
- Transport zum Zwischenlager,
- Lagerung im Zwischenlager,
- Transport zur Wiederaufarbeitungsanlage,
- Wiederaufarbeitung,
- Konditionierung und Zwischenlagerung von leicht-, mittel- und hochaktivem Abfall,
- Endlagerung,
- Transport von wiedergewonnenem Brennstoff.

Zur Entsorgung gehört auch die Behandlung radioaktiver Abfälle in Kernkraftwerken und die Stilllegung von Kern-

kraftwerken. Es gehört ferner dazu die Behandlung und Beseitigung aller Abfälle in Industrie und Forschung, in der Medizin und Meßtechnik, die beim Umgang mit radioaktiven Stoffen anfallen. Auf diese Komplexe gehen wir im Rahmen unseres Fachgespräches nicht ein.

Bei den aufgeführten acht Teilaufgaben des Komplexes Entsorgung ist die GRS seit Jahren als Gutachter tätig. Die Begutachtung der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) im Auftrage der baden-württembergischen Genehmigungsbehörde war vor fast 20 Jahren der erste Auftrag, den die Vorläuferorganisationen der GRS, IRS und LRA, gemeinsam abgewickelt haben.

In Zusammenarbeit mit den TÜV und anderen Partnern haben wir seit dieser Zeit kontinuierlich Sicherheitsfragen des Transportes der Zwischen- und Endlagerung, der Wiederaufarbeitung und andere Konzepte zur Schließung des Brennstoffkreislaufs untersucht. Die zur Verfügung stehende Zeit erlaubt es aber nicht, auf alle Teilschritte zur Entsorgung einzugehen.

In diesem Fachgespräch beschränken wir uns vielmehr auf die Sicherheitstechnik in Wiederaufarbeitungsanlagen, die Sicherheitstechnik bei der Einlagerung schwachaktiver Abfälle sowie auf einen allgemeinen Überblick über die derzeit laufenden Forschungs- und Erkundungsarbeiten.

Dr. Matting wird in seinem Beitrag über die Grundlagen des Konzeptes der nuklearen Entsorgung berichten sowie über die beabsichtigte praktische Umsetzung. Danach wird Dr. Popp auf die Forschungsaktivitäten eingehen, die im Zusammenhang mit der Sicherheit im Brennstoffkreislauf initiiert worden sind.

Der derzeit erreichte Stand der Sicherheitstechnik in der geplanten Wiederaufarbeitungsanlage wird von W. Thomas dargelegt werden, wobei er auch auf die gewonnenen Betriebserfahrungen mit den bisher betriebenen Wiederaufarbeitungsanlagen eingeht.

Die Behandlung und Lagerung des radioaktiven Abfalls wird von den einzelnen Staaten in unterschiedlicher Weise gelöst. Welche Lösungsmöglichkeiten gegeben sind und welche davon jeweils bevorzugt werden, wird von D. Rittig beschrieben werden. Dabei wird verdeutlicht werden, wie weit die Lösung der Endlagerproblematik in Deutschland fortgeschritten ist.

Zum Bau- und Untersuchungsfortschritt in den geplanten Endlagern Gorleben und Konrad wird Professor Dr. Röthemeyer einen Überblick geben, wobei er auf die Langzeitsicherheit der Einlagerungen radioaktiver Stoffe in Salz und Eisenerz eingeht.

Die Bewertung von möglichen Handhabungsstörfällen während der Einlagerung und die dazu gewählte Vorgehensweise wird von Dr. Wurtinger und Dr. Lange dargelegt. Hierbei geben sie Hinweise, wie diese Störfälle verhindert werden können, bzw. wie deren Eintrittswahrscheinlichkeit hinlänglich unwahrscheinlich gehalten werden kann.

<sup>1)</sup> Dipl.-Ing. Otto Kellermann ist Geschäftsführer der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH.

# Nukleare Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland

Von A. Matting <sup>1)</sup>

## Kurzfassung

Das in der Bundesrepublik Deutschland zugrunde liegende Konzept der nuklearen Entsorgung geht von dem Grundsatz aus, daß die Entsorgung der Kernkraftwerke eine unabdingbare Voraussetzung für die weitere friedliche Nutzung der Kernenergie bildet. Zur Entsorgung haben Bund, Länder und Abfallverursacher ihrer jeweiligen Verantwortung entsprechend beizutragen. Radioaktive Reststoffe sind von den Abfallverursachern – wie vom Atomgesetz gefordert – vorrangig schadlos zu verwerten. Sind die Voraussetzungen hierfür nicht gegeben, sind die Stoffe als radioaktiver Abfall geordnet zu beseitigen. Hierfür bereitet der Bund Endlager im Salzstock Gorleben und in der ehemaligen Eisenerzgrube Konrad vor.

Über die Grundlagen des Konzepts der nuklearen Entsorgung sowie über seine praktische Umsetzung wird berichtet.

## Abstract

The concept of Nuclear Waste Management in the Federal Republic of Germany is based upon the principle, that the disposal of radwaste from nuclear power plants is an indispensable prerequisite for the further peaceful utilization of nuclear energy.

Due to their related responsibility, Federal Government, Federal States and radwaste producers are obliged to contribute their part to Nuclear Waste Management.

As required by the Atomic Law, radwaste producers must utilize the radioactive residues in a way that excludes any harmful effects. If the radioactive residues cannot be handled this way, they are to be disposed of as radioactive wastes in an orderly manner. For this purpose, the Federal Government is preparing a salt dome near Gorleben and the former iron ore mine Konrad near Salzgitter as final deposits for such wastes.

It is reported about the principles underlying the concept of German Nuclear Waste Management as well as on its practical realization.

## Grundlagen der nuklearen Entsorgung

Die nukleare Entsorgung ist keine Erfindung unserer Tage. Es sei an die seit 1971 in Betrieb befindliche Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe und an die Versuchsendlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse zwischen 1967 und 1978 erinnert.

Ziel der nuklearen Entsorgung ist es, die bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie anfallenden radioaktiven Reststoffe entweder einer schadlosen Verwertung zuzuführen oder aber sie als Abfall geordnet zu beseitigen.

## Schadlose Verwertung

Die Entscheidung, ob radioaktive Stoffe verwertet oder beseitigt werden sollen, ist nicht in das Belieben des jeweiligen Anwenders gestellt. Der Gesetzgeber hat vielmehr im Atomgesetz den Vorrang der Verwertung vor der Beseitigung festgelegt und hierfür objektive Entscheidungskriterien aufgestellt, die gegebenenfalls gerichtlich nachprüfbar sind. Danach ist die schadlose Verwertung immer dann geboten, wenn sie

- nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich,
- wirtschaftlich vertretbar und
- mit den in § 1 Nr. 2 bis 4 des Atomgesetzes bezeichneten Zwecken vereinbar

ist.

Die zentrale und deshalb auch im Mittelpunkt des allgemeinen Interesses stehende Möglichkeit einer Verwertung radioaktiver Reststoffe ist zweifellos die Wiederaufarbeitung der in Kernkraftwerken abgebrannten Brennelemente. Die Gewinnung der hierin enthaltenen Kernbrennstoffe Uran und Plutonium ist Hauptziel des Wiederaufarbeitungsprozesses. Grundsätzlich erscheint aber – zumindest längerfristig – auch die Nutzung anderer Elemente, zum Beispiel Rubidium, Palladium, Rhodium, Silber oder einiger Aktiniden möglich.

Einzelheiten, wie diese schadlose Verwertung am zweckmäßigsten ins Werk zu setzen ist, überläßt der Gesetzgeber den in der Regel privaten Besitzern der radioaktiven Stoffe.

Wichtig ist nun, daß das Atomgesetz die Verwertung nicht davon abhängig macht, daß sie „wirtschaftlich“ ist, sondern daß sie „wirtschaftlich vertretbar“ ist.

Da das Atomgesetz von der privatrechtlichen Nutzung der Kernenergie ausgeht, liegt es nahe, die wirtschaftliche Vertretbarkeit für ein rein betriebswirtschaftliches Kriterium zu halten. Gerade im Falle der Kernenergienutzung in Kernkraftwerken würde dabei jedoch übersehen, daß die Kosten der Entsorgung die Kernkraftwerksbetreiber betriebswirtschaftlich insoweit nicht belasten, als sie an die Stromabnehmer weiter gegeben werden. Bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit der Verwertung radioaktiver Reststoffe sind damit auch volkswirtschaftliche Aspekte heranzuziehen.

Die Frage der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente ist für die Entsorgungspolitik in doppelter Hinsicht von Bedeutung, nämlich einmal unter dem Aspekt der Verwertung und dem der Entsorgung. Die Gewichtung dieser beiden Aspekte hängt naturgemäß von der jeweiligen energiepolitischen Situation ab. Unabhängig hiervon bleibt allerdings festzuhalten, daß die Wiederaufarbeitung als Teil der schadlosen Verwertung radioaktiver Reststoffe nach geltendem Recht geboten ist, weil die im Atomgesetz genannten Voraussetzungen hierfür erfüllt sind, das heißt

<sup>1)</sup> Ministerialrat Dr. Arnulf Matting, Bundesministerium des Innern, Bonn

- die Wiederaufarbeitung ist nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich,
- sie ist wirtschaftlich vertretbar in dem oben bereits erläuterten Sinne,
- die Wiederaufarbeitung ist auch mit den in § 1 Nr. 2 bis 4 des Atomgesetzes bezeichneten Zwecken vereinbar. In den anstehenden Genehmigungsverfahren nach § 7 ATG wird nachzuweisen sein, daß die Strahlenschutzgrenzwerte eingehalten werden. Auch besteht kein Gegensatz zwischen Wiederaufarbeitung, also dem Versorgungsinteresse mit Kernbrennstoffen, und dem Nichtverbreitungsinteresse, wie die 1979 bis 1981 durchgeführte Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE) nachgewiesen hat.

Neben den rechtlichen Aspekten spricht für eine deutsche Wiederaufarbeitungsanlage auch das Interesse am Erhalt von Arbeitsplätzen und Devisen, die Verbesserung der Versorgungssicherheit sowie der Erhalt von technischem Know-how. Die letzteren beiden Gesichtspunkte würden insbesondere bei Anwendung der Schnellbrüterttechnologie von besonderer Bedeutung sein, für die durch den Beschluß zur Fertigstellung des SNR-300 die Option zumindest gewahrt bleibt.

In diesem Zusammenhang ein Wort der Klarstellung: Der Bau einer Wiederaufarbeitungsanlage und deren Standort sind keine Entscheidung der Bundesregierung, sondern der Industrie. Diese hat mehrfach sowohl gegenüber der Bundesregierung wie gegenüber der Öffentlichkeit ihren Willen zum Bau einer solchen Anlage erklärt. Die Industrie hat deshalb folgerichtig bei den zuständigen Genehmigungsbehörden der Länder entsprechende Anträge gestellt, und zwar für die beiden Standorte Dragahn und Wackersdorf. Aufgabe der Landesbehörden wie des Bundesinnenministers ist es allein, über die gestellten Anträge in dem vorgegebenen rechtlichen Rahmen zu entscheiden.

Nur ergänzend soll darauf hingewiesen werden, daß die der Wiederaufarbeitung vorangehende Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente ebenfalls in Einrichtungen erfolgt, die von privater Seite zu errichten und zu betreiben sind. Zur Verfügung stehen hierfür die Lager für bestrahlte Brennelemente innerhalb der Kernkraftwerke sowie die bereits fertiggestellten bzw. noch im Bau befindlichen sogenannten „externen“ Zwischenlager in Gorleben und Ahaus. Die Aufbewahrung der abgebrannten Brennelemente in diesen beiden externen Lagern wird in speziellen Behältern erfolgen, die sich gleichermaßen für den Transport wie für die Zwischenlagerung eignen.

#### Geordnete Beseitigung

Die, wie das Atomgesetz sagt, schadlose Verwertung radioaktiver Reststoffe dient einem doppelten Zweck, nämlich einerseits der Ressourcenschonung, andererseits aber die Menge der erzeugten radioaktiven Stoffe nicht größer als nötig werden zu lassen.

Unbeschadet der Maßnahmen zur Verwertung entstehen bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie jedoch große Mengen radioaktiver Stoffe, die nicht weiter verwertet werden können und die demzufolge als radioaktive Abfälle geordnet beseitigt werden müssen. Die zum Teil außerordentlich langen Halbwertszeiten machen im Interesse des Schutzes der Bevölkerung einen entsprechend dauerhaften Ausschluß aus der Biosphäre notwendig. Dazu sind geeignete Endlager

einzurichten. Erst bei Vorhandensein solcher Endlager kann die Entsorgungskette als geschlossen bezeichnet werden.

Der Gesetzgeber hat im Zuge der 4. Atomgesetznovelle von 1976 die Besitzer radioaktiver Abfälle verpflichtet, diese abzuliefern, und zwar entweder an die von den Ländern einzurichtenden Sammelstellen zur Zwischenlagerung oder an Anlagen des Bundes zur Sicherstellung oder Endlagerung. Zumindest solange die Anlagen des Bundes noch nicht betriebsbereit zur Verfügung stehen, kann auf Zwischenlager in der Verantwortung der Abfallverursacher neben den Landessammelstellen nicht verzichtet werden. Für schwach- oder mittelaktive Abfälle bestehen solche Zwischenlagermöglichkeiten etwa in den einzelnen kerntechnischen Anlagen, in dem sogenannten „Faßlager“ Gorleben oder in dem geplanten Lager Mitterteich.

Auch wenn dies im Atomgesetz nicht ausdrücklich festgelegt wird, ist davon auszugehen, daß der Ablieferungspflicht der Abfallverursacher eine Annahmpflicht des Staates gegenübersteht. Er braucht die Abfälle allerdings nicht in jeder Form entgegenzunehmen: Die Bundesregierung kann bestimmen, wie zum Beispiel die Ablieferung durchzuführen ist und welchen Anforderungen radioaktive Abfälle bei der Ablieferung zu genügen haben. Vorgesehen ist, die Annahme- bzw. Endlagerbedingungen im Rahmen der Planfeststellungsverfahren für die Endlagerprojekte festzulegen. Ich gehe davon aus, daß Professor Röthemeyer in seinem Beitrag hierauf und auf die notwendigen Abstimmungen mit den Abfallerzeugern näher eingehen wird.

Die Zuständigkeit für Errichtung und Betrieb der Anlagen zur Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle hat sich der Staat selber vorbehalten. Er nimmt diese Aufgabe durch eine Behörde wahr, nämlich die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. Die PTB hat bei dieser Aufgabe nicht die Rolle einer Genehmigungsbehörde, sondern die des Antragstellers. Es scheint mir folgerichtig zu sein, wenn ich behaupte, daß aus dieser Rolle als Antragsteller die Verpflichtung der PTB entspringt, besonders engen Kontakt mit den Abfallverursachern zu halten. Dies einerseits, um das fachliche Know-how der Abfallverursacher für sich zu nutzen, andererseits aber, um so frühzeitig wie möglich die Anforderungen aus dem Endlagerbereich mit den Anforderungen aus Konditionierung und Verpackung der Abfälle miteinander in Einklang zu bringen.

Die von der PTB zu planenden, zu errichtenden und zu betreibenden Endlager unterliegen zum einen einem atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren und zum anderen einem nach dem Willen des Gesetzgebers hiervon ausdrücklich getrennten Verfahren nach dem Berg- und Tiefenspeicherrecht. Für diese letzteren Verfahren sind die für den jeweiligen Standort zuständigen Bergbehörden verantwortlich; das atomrechtliche Planfeststellungsverfahren wird von einer obersten Landesbehörde durchgeführt.

Bergrechtliches und atomrechtliches Planfeststellungsverfahren konkurrieren nicht, sondern ergänzen einander: Unbeschadet eines für einen bestimmten Standort eingeleiteten Planfeststellungsverfahrens kann die Entscheidung, ob an diesem Standort mit der hier vorliegenden geologischen Situation tatsächlich ein Endlagerbergwerk eingerichtet werden soll, erst dann getroffen werden, wenn die Eignung hierfür durch über- und untertägige Erkundungsprogramme abgesichert ist. Erst wenn diese Entscheidung gefallen ist, kann ein Planfeststellungsbeschluß ergehen. Erkundungs- und Errichtungsphase sind demnach zu trennen. Die Erkun-

dung erfolgt allein auf der Grundlage des Bergrechts. Mit der Errichtung hat dies auch dann nichts zu tun, wenn die zum Zwecke der Erkundung abgeteufte Schächte und die Strecken ganz oder teilweise auch im späteren Einlagerungsbetrieb genutzt werden können.

Die Grundsätze des Planfeststellungsverfahrens sind in § 9 b des Atomgesetzes geregelt. Die Genehmigungsvoraussetzungen lehnen sich eng an die Vorschrift des § 7 Atomgesetz an, der für die Genehmigung von Kernkraftwerken gilt. Im übrigen wird auf bestimmte Verfahrensregelungen des Abfallbeseitigungsgesetzes verwiesen. Im Zuge der Bereinigung des Verwaltungsverfahrensrechtes ist vorgesehen, diese Verweisung auf inhaltlich deckungsgleiche Bestimmungen des Verwaltungsverfahrensgesetzes des Bundes umzustellen.

Voraussetzung für die Genehmigung von Kernkraftwerken ist ebenso wie für die Endlager, daß die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist. Die bei Kernkraftwerken diese abstrakte Genehmigungsvoraussetzung konkretisierende Strahlenschutzverordnung ist bei Endlagern nur bedingt anwendbar: Weder gilt für die Planung von Auslegung und bestimmungsgemäßem Betrieb von Endlagern der § 45 der Strahlenschutzverordnung unmittelbar, noch der § 28 III für die Planung von Maßnahmen gegen Störfälle.

Eine mehr als nur akademische Frage ist im übrigen, was unter dem „Betrieb“ eines Endlagers zu verstehen ist. Ist es nur die Phase bis zur Stilllegung des Endlagers oder beginnt nicht erst mit der Stilllegung sein eigentlicher Betrieb, nämlich den dauerhaften Ausschluß der Radionuklide aus der Biosphäre zu gewährleisten? Es ist sicher nicht gerechtfertigt, jedenfalls hinsichtlich der Strahlenschutzziele, zwischen der Phase bestimmungsgemäßer Einlagerung radioaktiver Abfälle und der Langzeitphase nach Stilllegung des Endlagers zu unterscheiden. Auch die PTB geht in beiden Fällen einheitlich von dem 30 mrem-Konzept aus und legt nur bei ihrer Planung baulicher oder sonstiger technischer Schutzmaßnahmen gegen Störfälle während der Einlagerungsphase, also bis zur Stilllegung des Endlagers, das 5/15 rem-Konzept zugrunde.

Strahlenexpositionen in der Nachstilllegungsphase sind nur dann vorstellbar, wenn in das verfüllte und verschlossene Endlager Wasser eindringt, die durch Konvergenz des umgebenden Gebirges noch nicht vollständig umschlossene Abfallgebinde erreicht, kontaminiert wird und zur Oberfläche zurückkommt. Auch dieses Ereignis wird im Rahmen der Sicherheitsanalysen grundsätzlich untersucht. Das „Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung“ (PSE) hat zur Ermittlung solcher Strahlenexpositionen eine Methode entwickelt. Es sei darauf hingewiesen, daß alle bisher bekanntgewordenen Dosiswerte im Rahmen dieser Methodenentwicklung entstanden sind; keinesfalls handelt es sich schon um Ergebnisse im Rahmen von Planfeststellungsverfahren.

Hinsichtlich der Kosten für Errichtung und Betrieb der Endlager gilt das im gesamten Bereich der Umweltpolitik übliche Verursacherprinzip, das heißt die Zurechnung der als „notwendigem Aufwand“ entstehenden Kosten zu den Abfallverursachern. Diese haben zur Deckung des notwendigen Aufwandes für die Planung, den Erwerb von Grundstücken und Rechten, die anlagenbezogene Forschung und Entwicklung, die Errichtung, die Erweiterung und die Erneuerung von Anlagen des Bundes Beiträge zu entrichten.

Hierauf können von den Beitragspflichtigen Vorausleistungen verlangt werden. Dies erfolgt in der Tat, und zwar auf der Grundlage der Endlagervorausleistungsverordnung. In der Praxis bedeutet dies, daß die Arbeiten der PTB zunächst aus Mitteln des Bundeshaushaltes vorfinanziert und die verausgabten Gelder, soweit sie unter den Begriff des „notwendigen Aufwandes“ fallen, dann von den Abfallverursachern refinanziert werden. Die PTB erläßt zu diesem Zwecke jeweils für das abgelaufene Jahr Kostenbescheide. Die PTB ist darüber hinaus verpflichtet, den Abfallverursachern vor Beginn eines jeden Kalenderjahres die für dieses Kalenderjahr vorgesehenen Arbeiten offenzulegen und einen Kostenvoranschlag zu erstellen.

Die Endlagervorausleistungsverordnung ist in ihrer Geltungsdauer bewußt beschränkt worden. Vor Erlass einer endgültigen Kostenverordnung sollen zunächst nämlich Erfahrungen gesammelt werden. Die Endlagervorausleistungsverordnung wird daher spätestens am 31. Dezember 1986 außer Kraft treten.

### Praktische Umsetzung

Soweit ein zusammenfassender, die wesentlichen Rechtsvorschriften berücksichtigender Überblick über die Grundlagen der nuklearen Entsorgung. Die praktische Umsetzung muß berücksichtigen, daß der Gesetzgeber bei der 4. Novelle zum Atomgesetz bewußt davon abgesehen hat, den Entorgungsnachweis zur Genehmigungsvoraussetzung für kerntechnische Anlagen zu erheben. Die Entsorgungsvorsorge kann und muß aber im Rahmen des vom Atomgesetz eingeräumten behördlichen Ermessens berücksichtigt werden. Damit fließen aber neben den rechtlichen Aspekten zugleich Elemente des administrativen und politischen Willens in das Konzept zur nuklearen Entsorgung ein.

Unbestritten gilt zunächst der Grundsatz, den die Regierungschefs von Bund und Ländern in ihrem Beschluß vom 28. September 1979 bestätigt haben, daß nämlich die Entsorgung der Kernkraftwerke eine unabdingbare Voraussetzung für die weitere friedliche Nutzung der Kernenergie bildet.

Hierbei ist es das Ziel der Regierungspolitik, die benötigten Entsorgungsanlagen im eigenen Lande zu errichten und zu betreiben. Diesem Ziel steht nicht entgegen, daß die Elektrizitätsversorgungsunternehmen bis Anfang der 90er Jahre Wiederaufarbeitungsverträge mit der Cogema bzw. der BNFL abgeschlossen haben. So wichtig diese Beiträge zur Entsorgung sind, wird es jedoch für notwendig erachtet, im Interesse der gesicherten Entsorgung die bestehenden Abhängigkeiten vom Ausland mittel- bzw. langfristig abzubauen.

Ein weiteres Ziel der Entsorgungskonzeption ist, radioaktiven Abfall nur so kurzfristig wie nötig oberirdisch zu lagern oder mit anderen Worten: radioaktive Abfälle so rasch wie möglich der Endlagerung zuzuführen.

Unter Berücksichtigung dieser Zielvorgaben und des Beschlusses der Regierungschefs vom September 1979 wurde für die Realisierung der einzelnen Entsorgungsanlagen folgender zeitlicher Rahmen festgelegt:

so rasch wie möglich

- Erweiterung der Lagerungsmöglichkeiten für abgebrannte Brennelemente in Kernkraftwerken und die Errichtung von externen Brennelement-Zwischenlagern,
- Erweiterung der Zwischenlagermöglichkeiten für radioaktive Abfälle,

- Errichtung einer Wiederaufarbeitungsanlage,
- Erkundung des Salzstockes Gorleben, um seine Eignung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle feststellen zu können,

bis Mitte der 80er Jahre abschließende Beurteilung, ob sich aus der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile ergeben können, bis Ende der 80er Jahre Inbetriebnahme des Endlagers Konrad bei Salzgitter, und

bis Ende der 90er Jahre Inbetriebnahme des Endlagers Gorleben.

Die Feststellung, daß dieser langfristige Terminplan bislang in allen Teilen eingehalten werden konnte, ist zugleich die Feststellung, daß sich das in der Bundesrepublik Deutschland zugrunde liegende Entsorgungssystem bewährt. Gegen diese Aussage spricht nicht, daß der Nachweis der Bewährung für die zentralen Elemente - die Wiederaufarbeitung und die Endlager - erst noch erbracht werden muß. Hier aber stehen wir nicht am Anfang, und die positiven Erwartungen für die Zukunft gründen sich auf die erfolgreiche Fortsetzung der in Gegenwart und Vergangenheit durchgeführten Arbeiten.

Die Errichtung einer Wiederaufarbeitungsanlage, und zwar so zügig, wie dies unter Beachtung der in Betracht kommenden Gesichtspunkte möglich ist, haben bereits 1979 die Regierungschefs von Bund und Ländern gefordert. Gleichzeitig haben sie allerdings auch verlangt, daß andere Entsorgungstechniken, wie zum Beispiel die direkte Endlagerung von abgebrannten Brennelementen ohne Wiederaufarbeitung, auf ihre Realisierbarkeit und sicherheitstechnische Bewertung untersucht werden. Diese Untersuchungen sollen so zügig durchgeführt werden, daß ein abschließendes Urteil darüber, ob sich hieraus entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile ergeben können, in der Mitte der 80er Jahre möglich wird.

Auch dieser Termin wird mit Sicherheit eingehalten werden können: Die Ergebnisse des systemanalytischen Vergleichs der Entsorgungswegs mit und ohne Wiederaufarbeitung werden noch in diesem Jahr vorliegen. Bundeskabinett und Parlament werden sich hiermit zu Beginn des neuen Jahres befassen. Die bislang vorliegenden Ergebnisse lassen erkennen, daß die Umweltauswirkungen bei beiden Wegen gering sein werden. Es zeigt sich aber auch, daß die Wiederaufarbeitung - entgegen allen Unkenrufen - eine erprobte Technik darstellt, während die direkte Endlagerung hiergegen technologisch einen Rückstand von mehreren Jahren aufweist. Vor diesem Hintergrund hat deshalb der Länderausschuß für Atomkernenergie - vorbehaltlich einer abschließenden Bewertung - festgestellt, daß zum Nachweis der Entsorgungsvorsorge für die Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren aus heutiger rechtlicher und technischer Sicht die anderen Entsorgungstechniken nicht in Frage kommen. Die zügige Verwirklichung einer deutschen Wiederaufarbeitungsanlage ist deshalb weiterhin geboten.

Gleichwohl hält der Länderausschuß für Atomkernenergie es für notwendig, durch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten die direkte Endlagerung für solche Brennelemente einsatzbereit zu machen, für die eine Wiederaufarbeitung nicht in Betracht kommt. Hierzu zählen etwa die Brennelemente des THTR, bei denen eine Wiederaufarbeitung nach dem Stande von Wissenschaft und Technik nicht möglich ist oder die Entwicklung eines solchen Standes im Hinblick auf die vergleichsweise geringe Menge des rückge-

winnbaren Kernbrennstoffs wirtschaftlich nicht gerechtfertigt wäre. Im Interesse einer vernünftigen und flexiblen Fortentwicklung der Entsorgungspolitik ist es durchaus vorstellbar, zu gegebener Zeit die Rechtsvorschriften dahingehend zu überprüfen, daß auch solche abgebrannten Brennelemente direkt endgelagert werden können, für die im Prinzip eine Wiederaufarbeitung möglich ist. Über eine solche Erweiterung des Entsorgungskonzeptes ist aber erst zu einem Zeitpunkt zu entscheiden, zu dem solche Techniken tatsächlich einsatzbereit und entsprechende Erfahrungen verfügbar sind.

Zwei in anderen Ländern praktizierte Endlagerverfahren sind in dem deutschen Entsorgungskonzept nicht enthalten: die oberflächennahe Lagerung und die Meeresversenkung radioaktiver Abfälle. Über die Einbeziehung der oberflächennahen Lagerung bestimmter Abfälle in das deutsche Entsorgungskonzept kann derzeit schon aus dem Grunde nicht entschieden werden, weil die Voraussetzungen und Randbedingungen, unter denen ein Einsatz dieses Verfahrens in der Bundesrepublik Deutschland erwogen werden könnte, noch nicht genügend untersucht sind.

Nicht zur Diskussion hingegen steht für die Bundesregierung eine deutsche Beteiligung an der Versenkung radioaktiver Abfälle ins Meer. Nach dem Ratifizierungsgesetz zum Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen durch Schiffe und Luftfahrzeuge von 1977 darf die Erlaubnis zum Einbringen von Abfällen ins Meer nur erteilt werden, wenn die Beseitigung an Land nicht ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist und wenn durch das Einbringen keine nachteilige Veränderung der Beschaffenheit des Meerwassers zu besorgen ist.

Nach heutigem Kenntnisstand lassen sich jedoch alle Abfallarten an Land beseitigen. Dies gilt auch für die sogenannten Sonderabfälle. Beispielsweise stehen für die Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer aus der Wiederaufarbeitung die von der DWK beantragten Verfahren der Zementierung mit anschließender Endlagerung und die Tiefenversenkung zur Verfügung.

Unbeschadet dieser Haltung wirkt die Bundesregierung jedoch aus forschungspolitischen Gründen bei einschlägigen internationalen Untersuchungen zur Meeresversenkung radioaktiver Abfälle mit.

Andere Endlagerverfahren, wie zum Beispiel das Tiefbohrlochverfahren oder die In-situ-Verfestigung tritiumhaltiger Abwässer, haben eine gute Chance, später das derzeitige Endlagerkonzept des Bundes für feste radioaktive Abfälle zu ergänzen, das derzeit ausschließlich auf der Einlagerung in bergmännisch erschlossenen tiefen geologischen Formationen basiert. Bei Festlegung auf dieses Konzept haben weniger die Kosten als die Sicherheit der Bevölkerung im Vordergrund gestanden.

Das Endlagerkonzept des Bundes sieht zwei einander ergänzende Vorhaben vor. Ziel ist, das Endlager Gorleben noch in diesem Jahrhundert und ein zweites Endlager, vorgesehen hierfür ist das ehemalige Eisenerzbergwerk Konrad bei Salzgitter, noch in diesem Jahrzehnt in Betrieb zu nehmen. Ob dieses Ziel erreicht wird, hängt natürlich davon ab, daß in den atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren positive Beschlüsse ergehen. Von der Darlegung technischer Einzelheiten soll im Hinblick auf die weiteren Beiträge dieser Veranstaltung abgesehen werden. Erwähnt werden soll nur noch, daß vorgesehen ist, Gorleben schon im Hinblick auf seine

möglichst baldige Inbetriebnahme von allen experimentellen Arbeiten frei zu halten.

Die notwendigen forschungsrelevanten Untersuchungen werden vielmehr vorlaufend in der Asse durchgeführt. Unter Berücksichtigung des Vorranges dieser Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wird im übrigen derzeit geprüft, unter welchen technischen, finanziellen und zeitlichen Bedingungen eine Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse möglich sein könnte.

Die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle ist eine echte Pioniertat: zwar liegen weltweit in Teilbereichen Erkenntnisse vor, doch keine vollständigen Erfahrungen, auf die die PTB bei ihren Arbeiten zurückgreifen könnte. Vielleicht verführt das Fehlen solcher Erfahrungen manchen zu der Annahme, ein Endlager für radioaktive Abfälle sei doch nichts anderes als jedes „normale“ Bergwerk, nur mit dem Unterschied, daß hier keine Bodenschätze gefördert, sondern Strecken und Kammern mit radioaktiven Abfällen verfüllt werden. Diese Auffassung ist, weil sie die nukleartechnischen und strahlenschutztechnischen Belange und den Umfang der hierbei gegenüber den Genehmigungsbehörden zu führenden Nachweise vergißt, abwegig. Umgekehrt kann und darf aber auch nicht ausgeschlossen werden, daß das Fehlen von unmittelbar anwendbaren Erfahrungen aus der Errichtung und dem Betrieb von Endlagern zu Ansätzen führen kann, die sich später zum Beispiel als unnötig konservativ herausstellen. Deshalb gilt es, Kontrollen in das System einzubauen und zu versuchen, sich unbeschadet aller Langfristigkeit der Zielsetzungen eine hinreichende Flexibilität des Systems zu bewahren.

Dies gilt auch hinsichtlich der Organisationsstrukturen. Effiziente Arbeit verlangt im Hinblick auf den im Endlagerbereich notwendigen hohen Personal- und Kapitaleinsatz eine kompetente Mannschaft. Zahlreiche private und staatliche Stellen sind im Auftrage der PTB tätig und unterstützen deren gut 50 Mitarbeiter auf dem Gebiet der Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle. Die Zusammenarbeit so vieler verschiedener Institutionen erfordert von der PTB eine straffe Arbeitsorganisation, um Leerlauf, unnötige oder Doppelarbeit zu vermeiden. Zweifellos ist die PTB vorrangig verpflichtet, bei den von ihr zu beantragenden Endlagern die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Schadensvorsorge zu treffen. Ebenso zweifellos aber hat die PTB auch die Verpflichtung, mit dem ihr von den Abfallverursachern zur Verfügung stehenden Geld nach Art ordentlicher Kaufleute umzugehen.

Für die Aufgabenabwicklung im Endlagerbereich ist von besonderer Bedeutung, daß die PTB von der im Atomgesetz ausdrücklich eingeräumten Möglichkeit Gebrauch gemacht hat, sich bei der Erfüllung ihrer Pflichten der Mitarbeit eines Dritten zu versichern. Dies ist die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe, abgekürzt DBE. Die Zusammenarbeit zwischen PTB und DBE ist in einem Kooperationsvertrag geregelt, der im Juni 1984 neu gefaßt wurde, um eine weitere Verbesserung der Effizienz zu erreichen.

Mit dem Kooperationsvertrag hat die PTB die DBE beauftragt, als Dritter die Planung und Errichtung der Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle wahrzunehmen. Die Vorgaben der PTB werden von der DBE eigenständig ausgefüllt. Die PTB selber bleibt verantwortlich für Errichtung und Betrieb dieser Anlagen und ist insbesondere in dieser Eigenschaft Antragstellerin in den

atomrechtlichen Verfahren und eventuellen sonstigen Verwaltungsverfahren.

Von der im Atomgesetz eingeräumten Möglichkeit, sich bei der Erfüllung bestimmter Pflichten eines Dritten zu bedienen, wurde Gebrauch gemacht, um – wie es im Kooperationsvertrag heißt – „die sachgerechte und wirtschaftliche Nutzung der aus Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie der in der Industrie bereits vorhandenen Kapazitäten und Erfahrungen zu erleichtern“.

Im Hinblick auf dieses Ziel wurde Mitte dieses Jahres zusätzlich zu den bisherigen drei Gesellschaftern der DBE die DWK als vierter Gesellschafter aufgenommen. Zweck dieses Schrittes war einerseits, das bei der DBE verfügbare kerntechnische Know-how zu intensivieren, andererseits die Verursacher radioaktiver Abfälle in die Verantwortung für die Endlagerung einzubeziehen, also das der gesamten Umweltschutzpolitik zugrunde liegende Verursacherprinzip zu stärken.

Die Neuregelung der Zusammenarbeit von PTB und DBE und die Erweiterung des DBE-Gesellschaftskreises wird begleitet durch ein Bündel weiterer Maßnahmen, die die Effizienz der DBE-Arbeit, aber darüber hinaus auch die Verständigung der Beteiligten untereinander verbessern soll. Als Beispiele dafür sind

- Neustrukturierung des DBE-Aufsichtsrates mit erweiterten Einwirkungsmöglichkeiten von Seiten der Vertreter des Bundes,
- projektorientierte Neustrukturierung der DBE-internen Organisation,
- Einrichtung eines Gesprächskreises Entsorgung bei der Bundesregierung, dem neben Vertretern der mit Entsorgungsfragen befaßten Bundesressorts Vertreter der Elektrizitätswirtschaft und die PTB angehören.

Bereits vor einiger Zeit hatte sich auch der die atomrechtlichen Behörden des Bundes und der Länder umfassende Länderausschuß für Atomkernenergie eine neue, wirksamere Organisationsstruktur gegeben.

## Schluß

Zur nuklearen Entsorgung haben Bund, Länder und Abfallverursacher entsprechend ihrer jeweiligen Verantwortung beizutragen. Die zeit- und bedarfsgerechte Realisierung der Entsorgungsanlagen erfordert wirksame Strukturen und enge Kontakte zwischen allen beteiligten Stellen. Die Voraussetzungen hierfür sind geschaffen, ihre Bewährung zumindest teilweise bereits erfolgt.

Das deutsche Entsorgungskonzept hat sich ehrgeizige, aber realistische Ziele gesetzt. Es ist darauf angelegt, daß die Entsorgungsanlagen so rasch errichtet werden, wie dies ohne Abstriche an der Sicherheit möglich ist. Es muß unsere Aufgabe bleiben, dieses System regelmäßig auf seine Bewährung und Effizienz hin zu überprüfen.

Mit unserem Entsorgungskonzept haben wir, auch weltweit gesehen, überzeugende Erfolge erzielen können. Für die nächste Zeit gibt es insbesondere zwei Arbeitsschwerpunkte

1. die Standort- und Bauentscheidung für eine Wiederaufarbeitungsanlage zügig zu treffen, um die hier bislang noch vorhandene Lücke im Kernbrennstoffkreislauf zu schließen und
2. alle Anstrengungen zu unternehmen, damit noch in diesem Jahrzehnt das erste Endlager für radioaktive Abfälle in Betrieb genommen werden kann.

# Diskussion

G. Dreyer (Interatom):

Auf die Absenkung radioaktiver Abfälle im Meer sollte wegen der negativen Erfahrungen nachdrücklich verzichtet werden. Die Bundesregierung sollte in der EG entsprechende Schritte unternehmen.

A. Matting (BMI):

Die Meeresversenkung radioaktiver Abfälle steht für die Bundesregierung nicht zur Diskussion. Ich verweise hierzu nochmals auf die Ausführungen im Rahmen meines Vortrages.

E. Hicken (GRS):

Für wie lange kann man für Gorleben und Konrad Abfälle liefern?

A. Matting (BMI):

Nach den gegenwärtigen Planungen soll Konrad etwa 20 Jahre in Betrieb sein können. Diese Zahl ist dem zusammenfassenden Bericht, den die PTB veröffentlicht hat, entnommen. Genau kann man das nicht angeben, weil es abhängen wird von den weiteren Erkundungsergebnissen, der Weiterentwicklung der anfallenden Abfallmengen, der Fortentwicklung von Konditionierungsverfahren usw. Es wird sich auch ganz wesentlich nach dem Preis richten, der für die Endlagerung erforderlich sein wird. Wenn die Preise steigen, wird sich erfahrungsgemäß die Menge des anfallenden Abfalles verringern.

Für Gorleben hat man etwa eine Betriebszeit von 50 Jahren vorgesehen. Diese Angabe ist allerdings sehr unscharf, weil die untertägige Erkundung gerade erst begonnen hat und ohne Kenntnis der Ergebnisse dieser untertägigen Erkundung nur Willenserklärungen abgegeben werden können, aber keine belastbaren wissenschaftlichen Aussagen.

J. Hacker (GKN):

Staatssekretär Kroppenstedt hat erklärt und Sie haben es ebenfalls angedeutet, daß die Bundesregierung das langfristige Ziel hat, alle Entsorgungsschritte aus Gründen der Entsorgungssicherheit im Inland zur Verfügung zu haben. Nun ist es aber auch das Ziel der Bundesregierung, langfristig die Europäischen Gemeinschaften zu einer Europäischen Union weiterzuentwickeln, so daß dann zum Beispiel die Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und England den Charakter von Inlandsanlagen bekämen. Wird dadurch nicht dem Festhalten am langfristigen Aufbau einer deutschen Wiederaufarbeitungsanlage die Begründung „notwendiger Inlandsentsorgungsschritt“ entzogen? Ist es dann wirklich noch ein sinnvolles Ziel, in jeder Region des neuen Europas über alle Entsorgungsschritte selber zu verfügen?

A. Matting (BMI):

Eine Europäisierung der Entsorgungsanlagen ist sicher keine schlechte Vorstellung, sie deutet sich aber derzeit nicht an. Der entscheidende Punkt scheint mir die Endlagerung der radioaktiven Abfälle zu sein. Wenn wir im Ausland wiederaufarbeiten ließen, läge wegen der bei uns weit fort-

geschrittenen Arbeiten der Wunsch auf der Hand, daß die anderen Länder dann ihre Abfälle zum Beispiel in Gorleben endlagern wollen. Ich weiß nicht, wie das Land Niedersachsen, die Kommunalpolitiker oder die Bevölkerung vor Ort diesen Problembereich beurteilen werden, wenn bei ihnen nicht nur die Abfälle aus der Bundesrepublik, sondern aus ganz Europa endgelagert werden sollen.

J. Fidorra (GRS):

Für die Zukunft ist zu erwarten, daß konventionelle Schadstoffe ebenfalls in Tieflagern endgelagert werden. Kann im Prinzip in ein Endlager gleichzeitig nuklearer und konventioneller Abfall eingelagert werden?

A. Matting (BMI):

Wir haben hier ja ein konkretes Beispiel, nämlich Herfa-Neurode. Da haben Sie in einem bergmännisch aufgefahrenen Salzbergwerk die Einlagerung konventioneller Abfallstoffe. Das Modell Herfa-Neurode ließe sich im theoretisch-abstrakten Sinne auch auf Endlager für radioaktive Abfälle übertragen. Es wäre natürlich eine entsprechende Sicherheitsanalyse zu erstellen und selbstverständlich eine Genehmigung zu erteilen, die wiederum einen entsprechenden Antrag voraussetzt. Weder für Gorleben noch für Konrad sind solche Anträge gestellt worden.

E. Merz (KFA):

Ich habe mit Genugtuung zur Kenntnis genommen, daß die Bundesregierung die Möglichkeit der oberflächennahen Deponierung spezieller radioaktiver Abfälle nicht grundsätzlich ausschließt. Sie wiesen zu Recht darauf hin, daß für eine Entscheidung aber noch eine Reihe von Randbedingungen nicht genügend gut bekannt sind. Es scheint mir, daß eine Deponierung gewisser schwachradioaktiver Abfallsorten, ich denke vor allem an die großen Volumina aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen, sehr wohl mit gleicher Sicherheit möglich sein dürfte, wie dies im tiefen geologischen Untergrund der Fall ist. Der Kostengesichtspunkt muß hier neben der Sicherheit zur Beurteilung herangezogen werden. Es erscheint angebracht, dieses gewiß heikle Thema – trotz einer eher ablehnenden Einschätzung durch die Öffentlichkeit – umfassend auf ihr Eignungspotential zu untersuchen und dann auf der Basis von Aufwand und Risiko anhand von sicherheitstechnischen Fakten zu entscheiden. Meine Frage ist kurz gefaßt, inwieweit die Bundesregierung durch die Ministerien BMFT und BMI zielorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Zukunft zu fördern gedenkt.

A. Matting (BMI):

Die oberflächennahe Lagerung habe ich nicht grundsätzlich ausgeschlossen, es ist ja ein sehr viel praktiziertes Verfahren zum Beispiel in Frankreich, USA und anderen Ländern. Wir unterstellen diesen Ländern kein geringeres Sicherheitsbewußtsein.

Wir lassen – das gilt für den BMI – in gewissem Umfang die Möglichkeiten einer oberflächennahen Lagerung vom Grundsatz her untersuchen. Wir sehen nicht unsere Verantwortung darin, dieses Verfahren bis zur technischen Reife zu entwick-

keln. Es sind hier sicher noch einige wesentliche Schritte nachzutragen, bevor man sagen kann, daß die oberflächen-nahe Lagerung auf der Basis gesicherter Erkenntnisse beantragt werden könnte. Auch scheint mir eine direkte Übertragung der im Ausland gesammelten Erfahrungen nicht möglich zu sein. So müssen zum Beispiel die in der Bundesrepublik herrschenden klimatischen Verhältnisse und die geologische Situation berücksichtigt werden.

R. Neider (BAM):

Sie haben gesagt, daß die PTB bei der Festlegung der Strahlenschutzziele während der Betriebs- und Nachbetriebsphase des Endlagers Gorleben oder Konrad vom 30-mrem-Konzept ausgeht. Dies tut die PTB doch aufgrund von „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“, die vom BMI veröffentlicht wurden. Hat es einen Grund, daß Sie diese Kriterien nicht erwähnt haben?

Glauben Sie, daß es gerechtfertigt ist, das 30-mrem-Konzept nicht nur für die Betriebsphase zu fordern, wo es meiner Ansicht nach aufgrund § 45 der Strahlenschutzverordnung angewendet werden muß, sondern auch für die Nachbetriebsphase in einer sehr fernen Zukunft, zum Beispiel in 10000 Jahren?

A. Matting (BMI):

Die Anwendung des 30-mrem-Konzeptes auf den von Ihnen

genannten Fall ist zwar in einer BMI-Richtlinie enthalten, diese ist aber in Zusammenarbeit mit der RSK und der SSK entstanden. Der BMI hat sich da dem Rat seiner Beratungsgremien angeschlossen.

Die Anwendung des 30-mrem-Konzeptes auf die Nachbetriebsphase ist durchaus gerechtfertigt. Wir haben es hier im übrigen mit Planungswerten zu tun. Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens wird nachzuweisen sein, daß auch bei Zugrundelegung konservativer Berechnungsverfahren diese Werte nicht überschritten werden. Wir wollen der Bevölkerung in der Nach-Betriebsphase keine höheren Strahlenexpositionen zumuten als der Bevölkerung in der Betriebsphase. Das Sicherheitsniveau – auch für zukünftige Generationen – wird auf dem Niveau gehalten, das wir als verantwortlich anerkennen.

E. Hicken (GRS):

Kann man – bzw. ist geplant – in der Asse hochradioaktive Abfälle (HAW) endzulagern?

A. Matting (BMI):

Wir untersuchen derzeit intensiv die Randbedingungen, unter denen eine Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse in Frage kommen könnte. HAW wird hierbei jedoch nicht berücksichtigt.

## Forschung für die Sicherheit des Brennstoffkreislaufs

Von M. Popp <sup>1)</sup>

### Kurzfassung

Die friedliche Nutzung der Kernenergie befindet sich heute in der Phase der vollen Industrialisierung des Brennstoffkreislaufes. Die Forschung für die Sicherheit des Brennstoffkreislaufes bleibt jedoch langfristig eine staatliche Aufgabe.

Eine besondere staatliche Mitverantwortung besteht bei der Entwicklung von Konzepten und Technologien für die Durchführung internationaler Sicherungskontrollen, um die ausschließlich friedliche Verwendung der spaltbaren Materialien zu gewährleisten. Dies schließt sowohl die Effektivität der angewendeten Kontrollen wie auch ihre Verträglichkeit mit den wirtschaftlich-technischen Rahmenbedingungen großer industrieller Brennstoffkreislaufanlagen ein.

Anfang 1985 werden die Ergebnisse probabilistischer Untersuchungen für verschiedene Teilbereiche des Brennstoffkreislaufes im Rahmen des Projekts Sicherheitsstudien Entsorgung erwartet. Die Ergebnisse der Untersuchungen, ob die direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente ent-

scheidende sicherheitstechnische Vorteile gegenüber der Entsorgung mit Wiederaufarbeitung aufweist, werden in Kürze erwartet.

Fragen der Sicherheit des Brennstoffkreislaufes bleiben ein umfassendes Thema, das auch bei der jetzt von unserer Wirtschaftsordnung gebotenen Neuregelung der Verantwortungsbereiche von Staat und Wirtschaft weiterhin eine besonders enge Zusammenarbeit beider Bereiche erfordert.

### Abstract

The peaceful utilization of nuclear energy is presently in the stage of fully industrializing the nuclear fuel cycle. Research work on the safety of the fuel cycle remains, however, on a long-term basis a task of the federal authorities. To a large degree these authorities share in the responsibility for the development of concepts and technologies concerning the performance of international safeguard controls, which assure that fissile materials be exclusively used for peaceful purposes. This responsibility includes the effectiveness of performed controls as well as their compatibility with the economic and technical conditions, large industrial plants of the nuclear fuel cycle are submitted to.

<sup>1)</sup> Ministerialdirigent Dr. Manfred Popp, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn



Early in 1985 results of probabilistic assessments performed for several parts of the nuclear fuel cycle in the framework of the project "Safety studies — nuclear waste management" are expected. Assessment results on the question whether or not direct ultimate storage of spent fuel elements offers decisive safety advantages in comparison to a waste disposal with previous reprocessing are expected soon.

Questions on the safety of the nuclear fuel cycle remain a comprehensive theme, that under the redistribution of responsibilities between state and industry as it is demanded by the present economical conditions, even in future requires a very close cooperation between these two domains.

In diesem Jahr beträgt der Anteil der Kernenergie bei der öffentlichen Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland rund 25 %. Bedingt durch die Fertigstellung einer Reihe in Bau befindlicher Kernkraftwerke wird dieser Anteil in den nächsten Jahren rasch ansteigen und bald nach 1990 mit rund 35 % den Anteil der Steinkohle an der Stromerzeugung zumindest erreichen und den Anteil der Braunkohle deutlich übertreffen. Die Kernenergie wird dann, 35 Jahre nach Beginn der Entwicklung, zur wichtigsten Energiequelle für die Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland geworden sein. Sie erreicht damit eine Gesamtkapazität von rund 23 000 MW um 1990. Der Anteil liegt auf einem niedrigerem Niveau als früher vorhergesagt, ist aber, relativ zur gesamten Energieverbrauchsentwicklung, doch ein großer Erfolg. Wie an dem gegenwärtigen Ausbleiben neuer Kernkraftwerksaufträge abzulesen ist, wird der weitere Zubau von Kernkraftwerken nach Erreichen dieser Marke langsamer voranschreiten, falls sich die gegenwärtige Verbrauchsentwicklung nicht langfristig wieder deutlich verändert. In dieser Phase der Kernenergieentwicklung verlagert sich deshalb Mitte der 80er Jahre die Dynamik vom Kraftwerksbau zum zugehörigen Brennstoffkreislauf, bei dem in diesen Jahren die schon länger eingeleitete Überleitung in die Verantwortung der Wirtschaft weitgehend zum Abschluß kommt.

Die Uranversorgung wird dabei schon seit längerem im wesentlichen ohne entscheidende staatliche Unterstützung von der Versorgungswirtschaft selbst sichergestellt. Einzelne langfristige Explorationsvorhaben werden allerdings noch im Rahmen der allgemeinen Förderungsprogramme des Bundesministeriums für Wirtschaft unterstützt. Während die gegenwärtige Uranversorgungslage durch ein erhebliches Überangebot mit entsprechendem Preisverfall gekennzeichnet ist, sind längerfristig durchaus Vorsorgemaßnahmen für mögliche Uranverknappung und -verteuerungen angezeigt, die aber von der Versorgungswirtschaft auch ohne besonderes staatliches Engagement durchgeführt werden können.

Bei der Urananreicherung nach dem Zentrifugenverfahren haben die seit 1970 gemeinsam mit Großbritannien und den Niederlanden durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsprogramme zu einer sehr erfolgreichen Technologieentwicklung geführt, deren Entwicklungsstand jetzt eine volle wirtschaftliche Bewährung auf dem Weltmarkt erwarten läßt, selbst wenn gegenwärtig durch Überkapazitäten vor allem in den USA und in Frankreich ein sehr scharfer wirtschaftlicher Wettbewerb besteht. Zur Zeit wird deshalb auch über eine vorzeitige Beendigung der staatlichen Förderung der im Aufbau befindlichen Demonstrationsanlagen verhandelt.

Seit der Gründung der Deutschen Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) hat die Industrie die

Verantwortung für die in ihrem Zuständigkeitsbereich liegenden Schritte der Entsorgung von Kernkraftwerken, der Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente, der Wiederaufarbeitung und der Abfallbehandlung übernommen. Ein erstes Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Gorleben ist inzwischen betriebsbereit; ein Bauvorhaben für ein zweites Zwischenlager dieser Art in Ahaus ist auf gutem Wege. Eine Wiederaufarbeitungsanlage mit rund 350 t Jahreskapazität wurde auf der Grundlage eines sehr modernen technischen Konzeptes geplant; zwei Angebote verschiedener Industrie-gruppierungen liegen für zwei auch im bisher durchgeführten Genehmigungsverfahren parallel verfolgte Standorte in Bayern und Niedersachsen vor; eine Entscheidung über Standortauswahl und Baubeginn ist für den Dezember dieses Jahres angekündigt. Damit steht der gewichtigste Schritt für die Übernahme industrieller Verantwortung im Leichtwasserreaktor-Brennstoffkreislauf unmittelbar bevor.

Auch in dieser Situation bleiben jedoch wichtige Aufgaben im Verantwortungsbereich des Staates. Dazu zählt vor allem die Gewährleistung der Sicherheit der Anlagen des Brennstoffkreislaufs, einerseits durch Genehmigung und Aufsicht, andererseits über begleitende und überprüfende Forschungsvorhaben. Darüber hinaus verbleibt der letzte Schritt des Brennstoffkreislaufs, die Endlagerung der radioaktiven Abfälle, entsprechend den Regelungen des Atomgesetzes in direkter staatlicher Verantwortung.

Dabei hat die Frage der Sicherheit im Kernbrennstoffkreislauf eine andere Bedeutung als bei Kernkraftwerken und stellt sich auch für die verschiedenen Schritte des Brennstoffkreislaufs in unterschiedlicher Form, wenn es auch hier das grundlegende Ziel ist, die verwendeten radioaktiven Materialien so zuverlässig und vollständig wie möglich von der belebten Sphäre fernzuhalten. An dieser Stelle muß gerade in der aktuellen Situation allerdings auf eine Besonderheit des Brennstoffkreislaufs bei der Kernenergienutzung im Vergleich zum Umgang mit anderen Brennstoffen hingewiesen werden: Der Brennstoffkreislauf bei der Kernenergie ist grundsätzlich von der Biosphäre abgeschlossen; das Vorgehen bei Genehmigung und Sicherheitsforschung richtet sich deshalb darauf, die geringen Emissionen der Anlagen im Normalbetrieb und im Störfall so weit wie möglich einzugrenzen. Die Verbrennungsprodukte fossiler Energiequellen werden dagegen grundsätzlich an die Umwelt abgegeben, wobei gegenwärtig verstärkt versucht wird, durch Entschwefelungs- und Entstickungsanlagen für Kraftwerke oder Katalysatoren bei Automobilen den Umfang dieser Emission deutlich zu vermindern. Auch wenn die Gefährdungspotentiale der in den beiden Fällen freigesetzten Emissionen nicht vergleichbar sind, so ist es doch angebracht, auf diesen grundsätzlich anderen Ansatz im Kernbrennstoffkreislauf hinzuweisen.

Bei der Betrachtung von Sicherheitsfragen kann man den vorderen Teil des Brennstoffkreislaufs weitgehend ausklammern. Da in der Bundesrepublik Deutschland kein nennenswerter Abbau von Uran betrieben wird, wird dem an sich durchaus bedeutsamen Problem der Emissionen radioaktiver Stoffe beim Uranbergbau bei uns in der Forschung nur geringe Priorität beigemessen. Bei Urankonversion, Urananreicherung und Brennelementfabrikation ist im allgemeinen nur relativ schwach radioaktives Material in der Bearbeitung, so daß hier keine spezifischen nuklearen Sicherheitsprobleme zu bearbeiten sind. Die Forschung für die Sicherheit des

Brennstoffkreislaufs konzentriert sich daher auf den Bereich der Entsorgung. Auch hier ist aber ein Vergleich mit den Sicherheitsfragen bei Kernkraftwerken nicht möglich, weil zwar im ganzen sehr viel größere Mengen an radioaktiven Spaltprodukten gehandhabt werden, für denkbare Freisetzungsmechanismen aber ganz andere Randbedingungen vorliegen als bei Kernkraftwerken. Bei der Endlagerung schließlich geht es um die Aufgabe, den erforderlichen Abschluß der radioaktiven Abfälle von der Biosphäre über sehr lange Zeiträume zuverlässig sicherzustellen.

Damit ist im weiteren Sinne die Sicherstellung der Entsorgung überhaupt ein wichtiges und zentrales Element der sicheren Nutzung der Kernenergie. Dabei hält sich in vielen politischen und öffentlichen Diskussionen heute noch immer der Vorbehalt, daß die Entsorgung der Kernkraftwerke nicht gesichert sei oder zumindest das Vorantreiben geeigneter Lösungen zu lange vernachlässigt wurde. Dieser Einschätzung muß aus fachlicher Sicht deutlich widersprochen werden. Die Entwicklung von Technologien zur nuklearen Entsorgung zählte schon wenige Jahre nach ihrer Gründung zu den wichtigen Aufgaben der Kernforschungszentren in der Bundesrepublik Deutschland, vor allem im Kernforschungszentrum Karlsruhe. Dort wurde schon in den 60er Jahren die erste Laborwiederaufarbeitungsanlage (MILLY), die auch für hochabgebrannte Brennelemente geeignet ist, konzipiert und realisiert; 1967 wurde mit dem Bau der Wiederaufarbeitungsanlage (WAK) in Karlsruhe begonnen. 1964 erwarb der Bund das Salzbergwerk ASSE II als Versuchsanlage für die Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Endlagerung der verschiedenen Kategorien radioaktiver Abfälle. 1974 wurde das Konzept eines integrierten Entsorgungszentrums entwickelt und vorgestellt, das nach dem Scheitern der Pläne eines großen Entsorgungszentrums in Gorleben 1979 zu einem integrierten Entsorgungskonzept umgewandelt wurde. Bereits Anfang der 70er Jahre begann die Suche nach einem geeigneten Salzstock für den Bau eines Endlagers für alle Arten radioaktiver Abfälle einschließlich der hochaktiven Abfälle. Seit rund fünf Jahren verläuft planmäßig die Erkundung des Salzstocks Gorleben auf seine Eignung zur Einrichtung eines solchen Endlagers. Damit sind die Entwicklung und die Realisierung der nuklearen Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland weiter vorgeschritten als in praktisch jedem anderen Land der Welt.

Sicherheit ist ebenso wie bei Kernkraftwerken auch bei den Technologien des Brennstoffkreislaufs ein integrierender Faktor der Technik selbst. Es gibt deshalb keine von der Entwicklung der Technologien vollständig zu trennende eigenständige Sicherheitsforschung. Am wenigsten gilt dies noch für analytische Untersuchungen, die eine Bestimmung und Bewertung des Risikos nuklearer Anlagen zur Folge haben. Hier ist auch für den Bereich der Entsorgung in ähnlicher Weise wie bei den Risikostudien für Kernkraftwerke mit der Gründung und Durchführung des Projekts „Sicherheitsstudien der Entsorgung“ (PSE) ein Versuch einer zusammenfassenden Darstellung und Bewertung der Risiken unternommen worden. In diesem Projekt arbeiten seit 1979 mehrere Arbeitsgruppen in Einrichtungen der Industrie, Großforschung und Hochschulen an der Entwicklung und Erprobung von Methoden und Modellen, um die mit den Anlagen zur nuklearen Entsorgung verbundene Strahlenbelastung in Form einer Sicherheitsanalyse bestimmen zu können. In einem Teilprojekt wird ein sicherheitsanalytisches Instrumentarium für oberirdische Anlagen der Entsorgung

einschließlich Transporte entwickelt; in einem zweiten Teilprojekt wird ein entsprechendes sicherheitsanalytisches Instrumentarium für das geologische Endlager entwickelt. Die neu entwickelten Instrumentarien werden mit Fallbeispielen auf Anwendbarkeit und Aussagekraft getestet, wobei über zukünftige Anwendung noch nicht entschieden ist.

Das Projekt wird Ende 1984 abgeschlossen. Die Ergebnisse werden als Endbericht voraussichtlich Anfang 1985 veröffentlicht. Wegen eines starken Außeninteresses wurden verschiedene Zwischenberichte bereits zur Veröffentlichung freigegeben. Zu ihrer endgültigen Bewertung sollte aber der ausführliche Endbericht herangezogen werden. Dies wurde offenbar in der Öffentlichkeit nicht immer bedacht.

Bei den Studien für oberirdische Anlagen der Entsorgung im PSE geht es um die Modellierung der Freisetzung von Radionukliden aus Anlagen der Zwischenlagerung, Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung in einer projekunabhängigen und standortübergreifenden Vorgehensweise.

Bei den Studien für den Transport radioaktiver Stoffe geht es um die Modellierung einer angenommenen Freisetzung von Radionukliden aus Transportbehältern bei Unfällen während des außerbetrieblichen Transports radioaktiver Stoffe zwischen Kernkraftwerken und den Anlagen zur Entsorgung und Brennstoffrückführung. In beiden Teilstudien werden probabilistische Methoden zur Bewertung der Individual- und Kollektivdosen angewandt. Ergänzend wird ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der möglichen Belastung von Betriebspersonal und Bevölkerung beim bestimmungsgemäßen Transport entwickelt.

Die Arbeiten zu sicherheitsanalytischen Modellen für ein Endlager in einem Salzstock konzentrieren sich auf die Nachbetriebsphase des Endlagers für radioaktive Abfälle. Sie verfolgen das Ziel, ähnlich wie bei den Sicherheitsanalysen für oberirdische Anlagen, die Schutzwirkung der einzelnen Barrieren – in diesem Fall sowohl technischer als auch geologischer Barrieren – zu verstehen, abzuschätzen und zu modellieren. Da ein experimenteller Nachweis für die Richtigkeit einer Prognose für die langen zu betrachtenden Zeiträume – tausende von Jahren – nicht erbracht werden kann, soll die Sicherheitsanalyse für diesen Bereich so weit wie möglich auf allgemeingültige Naturgesetze gestützt und durch Erfahrungen aus dem Betrieb von Bergwerken und aus der Beobachtung geologischer Vorgänge untermauert werden. Mit dem angenommenen Ereignis „Wasserzutritt in die Resthohlräume des Endlagers“ wird versucht, deterministisch die mögliche Gefährdung aus diesem hypothetischen Ereignis zu ermitteln. Grundlagen der Modellierung sind bisher die vorläufige standortunabhängige Planung für ein Endlager in einem Salzstock und die bisher bekannten hydrogeologischen und hydromechanischen Kenntnisse für den Standort Gorleben. Erst nach Vorliegen der Ergebnisse der unternommenen Erkundung des Salzstocks sowie weiterer laufender Untersuchungen sind die Voraussetzungen für eine abschließende Sicherheitsanalyse gegeben.

Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen den Forschungsarbeiten von PSE und den Prüfungen im Rahmen laufender atomrechtlicher Genehmigungsverfahren für Wiederaufarbeitungsanlagen oder für andere Anlagen aus dem Entsorgungsbereich. Bei der Entwicklung der sicherheitsanalytischen Berechnungsmethoden für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Salzstock soll so vorgegangen werden, daß ein späterer Einsatz zum Nachweis der Einhaltung der Schutzziele für das Endlager möglich ist. Nach-

dem das Projekt PSE unter Federführung des Hahn-Meitner-Instituts (HMI), Berlin, durchgeführt wurde, werden die noch folgenden ergänzenden Arbeiten zum Thema von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF), München, durchgeführt.

Ohne der Vorlage und der Bewertung des Ergebnisberichts vorzugreifen, läßt sich aufgrund der bisherigen Ergebnisse des Projekts Sicherheitsstudien Entsorgung schon heute feststellen, daß sich auch durch die näheren Untersuchungen der Risiken des Brennstoffkreislaufs keine Veränderung in der Einschätzung der Risiken der Kernenergie ergibt und daß sich auch in bezug auf die bereits diskutierten Fragen im Zusammenhang mit den Risikountersuchungen für Kernkraftwerke die Risiken des Kernbrennstoffkreislaufs als noch deutlich niedriger erweisen werden.

Trotzdem gibt es an vielen Stellen des Kernbrennstoffkreislaufs und insbesondere auch der Entsorgungstechnologien viele Stellen, an denen sicherheitsbezogene Untersuchungen oder Weiterentwicklungen angebracht sind. Dies gilt zum Beispiel für die Rückhaltung bestimmter Isotope aus der Wiederaufarbeitung, zum Beispiel Krypton, oder für die Behandlung bestimmter spezieller Abfälle, wie zum Beispiel tritiumhaltiger Abwässer. Bei diesen Fragen, deren Untersuchung zum Teil noch vom BMFT gefördert, zum Teil auch in der Kooperation zwischen der DWK und dem Kernforschungszentrum Karlsruhe bearbeitet wird, erfolgt jetzt ebenfalls auch eine fortschreitende Übernahme der Verantwortung durch die Industrie, zum Teil aufgrund von zu erwartenden Entscheidungen in Verbindung mit dem geplanten Bau der Wiederaufarbeitungsanlage. Auf diese Themen soll hier nicht näher eingegangen werden.

Zur Forschung für die Sicherheit des Brennstoffkreislaufs gehört auch die Untersuchung von Alternativen zu dem als Hauptlinie verfolgten Weg in der Entsorgung. Von besonderer aktueller Bedeutung ist hierbei die Untersuchung, mit der aufgrund der 1979 von den Regierungschefs von Bund und Ländern beschlossenen Entsorgungsgrundsätze bis Mitte der 80er Jahre geprüft werden soll, ob die direkte Endlagerung von abgebrannten Brennelementen entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile gegenüber dem Entsorgungsweg mit Wiederaufarbeitung aufweist.

Zu diesem Zweck wurde im Rahmen eines Projekts „Andere Entsorgungstechniken“ (PAE), das vom Kernforschungszentrum Karlsruhe federführend betreut wurde, zunächst ein technisches Konzept zur direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren erarbeitet.

Diese Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit namhaften Industrieunternehmen und unter Beteiligung der DWK durchgeführt und führten in zwei Stufen nach Untersuchung zahlreicher verschiedener Konzepte zur Definition eines Referenzkonzeptes, wobei als Kriterien sicherheitstechnische Aspekte, technische Realisierbarkeit, Kosten, Aufwand für Kernmaterialüberwachung und Rohstoffverfügbarkeit zugrunde gelegt wurden. Unter diesen Kriterien erwies sich das relativ einfache Konzept des Verpackens mehrerer unterteilter Brennelemente in einen großen gasdichten korrosionsgeschützten Stahlcontainer als das verfolgenswerteste. Auf dieses System bezogen sich die in der Folge angestellten sicherheitstechnischen Untersuchungen, Realisierbarkeitsstudien, zu denen auch die Herstellung von 1 : 1 Modellen gehört, und die ergänzend durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

Die Ergebnisse der Studie werden Ende Dezember 1984 vorliegen und dann von der Bundesregierung ausgewertet werden, mit dem Ziel, die im Beschluß der Regierungschefs von Bund und Ländern vorgesehene Bewertung über entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile möglichst bald vorlegen zu können. Zahlreiche Aussagen der Studie sind als Zwischenergebnisse bereits bekannt. So zeigt es sich erwartungsgemäß, daß das Risiko für die Bevölkerung und die Beschäftigten in der Kernindustrie durch die direkte Emission von Spaltprodukten bei der Bearbeitung im Falle der direkten Endlagerung geringer ist als bei dem Entsorgungsweg mit Wiederaufarbeitung. Es hat seine Ursache einfach darin, daß die unterbleibende Bearbeitung der Brennelemente auch zu geringeren Freisetzungen an radioaktivem Material führt. Die hieraus errechenbaren Vorteile der direkten Endlagerung in bezug auf die Strahlenexposition sind jedoch sehr klein im Verhältnis zur Gesamtbelastung durch den nuklearen Brennstoffkreislauf. Die wiederum ist klein gegenüber der natürlichen Strahlenbelastung in der Bundesrepublik Deutschland und ihren verschieden bedingten Schwankungen. Es ist also fraglich, ob diese Größe als „entscheidend“ herangezogen werden kann. Im übrigen stehen den berechenbaren Risiken auch eine Reihe von kaum quantifizierbaren Risiken der anderen Entsorgungstechniken gegenüber. Vor allem ist die Anhäufung von Spaltmaterial, insbesondere Plutonium im Endlager mit dem damit verbundenen, in seiner Bedeutung schwer einschätzbaren Langzeitrisko zu nennen. Das Problem einer realistischen internationalen Sicherungsüberwachung eines Endlagers, das anders als im Entsorgungsweg mit Wiederaufarbeitung große Mengen an Spaltmaterial enthält, ist auch noch nicht gelöst. Die umfassende Bewertung der Ergebnisse der Untersuchung der anderen Entsorgungstechniken läßt deshalb den Nachweis entscheidender sicherheitsmäßiger Vorteile nicht erwarten. Andererseits erscheint nach weiterer Entwicklung eine sicherheitstechnische Realisierbarkeit zumindest als ergänzender Entsorgungsweg möglich. Ganz unabhängig von diesen Bewertungsfragen ist für die augenblickliche Entscheidung aber maßgeblich, daß die direkte Endlagerung bisher weltweit noch nie demonstriert wurde, während mit der Technik für den Entsorgungsweg mit Wiederaufarbeitung inzwischen jahrzehntelange Erfahrungen vorliegen. Aus diesem Grunde hatte der Beschluß der Regierungschefs von Bund und Ländern über die Entsorgungsgrundsätze konsequenterweise auch keinen Bezug zwischen der Entscheidung über den Bau einer ersten kommerziellen Wiederaufarbeitungsanlage und der Entscheidung über die sicherheitsmäßige Bewertung der anderen Entsorgungstechniken hergestellt. Vielmehr wurde eine Entscheidung über den Bau der ersten Wiederaufarbeitungsanlage so früh wie möglich gefordert und die sicherheitstechnische Bewertung der anderen Entsorgungstechniken künftigen Entscheidungen gegenübergestellt. In diesem Sinne hat auch der Länderausschuß für Atomkernenergie im April 1984 eine vorläufige Beurteilung der anderen Entsorgungstechniken vorgenommen. Vorbehaltlich einer abschließenden Bewertung nach Abschluß der laufenden Arbeiten kam er dabei einstimmig (bei Stimmenthaltung Bremens, wie auch bei der Beschlußfassung über die Entsorgungsgrundsätze 1979) unter anderem zu folgenden Schlußfolgerungen:

- Zum Nachweis der Entsorgungsvorsorge kommen für die abgebrannten Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren aus heutiger rechtlicher und technischer Sicht andere Entsorgungstechniken nicht in Betracht. Die zügige

Verwirklichung einer deutschen Wiederaufarbeitungsanlage ist deshalb weiterhin geboten.

- Aus entsorgungspolitischen Gründen ist ein paralleler Weg zur Entsorgung von Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren nicht ausgeschlossen. Deshalb sollen neben der Verwirklichung einer deutschen Wiederaufarbeitungsanlage Erfahrungen mit der direkten Endlagerung bestimmter Brennelemente und andere Entsorgungstechniken auch für Leichtwasserbrennelemente entwickelt werden. Wenn solche Techniken einsatzbereit sind, kann entschieden werden, ob sie längerfristig einen Entsorgungsanteil übernehmen sollen; die gesetzlichen Voraussetzungen hierfür wären dann gegebenenfalls zu schaffen.

Durch die fortschreitende Arbeit an der Studie hat sich die Beurteilungsbasis gegenüber den Zwischenergebnissen von April 1984 nicht wesentlich geändert.

Die Bundesregierung hat diese Auffassung stets konsequent und nachdrücklich unterstützt. Sie hat bei vielen Anlässen, bei Bundestagsdebatten ebenso wie durch Bundesinnenminister Zimmermann auf der Reaktortagung 1984, die Dringlichkeit der Entscheidung über den Bau einer deutschen Wiederaufarbeitungsanlage betont und den Zusammenhang mit der Entscheidung über die Bewertung der anderen Entsorgungstechniken negiert.

Trotzdem haben die anderen Entsorgungstechniken in Teilen der Energiewirtschaft und in weiten Teilen der Öffentlichkeit an Interesse gewonnen, nicht zuletzt, weil von ihnen günstigere betriebswirtschaftliche Daten als vom Entsorgungsweg mit Wiederaufarbeitung erwartet werden. Die hierzu durchgeführten und noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen lassen allerdings eine einfache Aussage zu diesem Thema nicht zu. Dazu sind die Vergleichsuntersuchungen in beiden Fällen, den Entsorgungswegen mit und ohne Wiederaufarbeitung, mit zu vielen Unsicherheiten und zu vielen Schätzungsbreiten für die Wahl der Parameter verbunden. Dem großen Investitionsvolumen für eine Wiederaufarbeitungsanlage steht dabei die große Ungenauigkeit in der Planung einer bislang noch nie realisierten Konditionierungsanlage gegenüber. Angesichts des gegenwärtig besonders niedrigen Preises für Uran und des korrespondierend niedrig anzusetzenden Wertes des in der Wiederaufarbeitung zurückgewonnenen Plutoniums erscheint es allerdings durchaus möglich, daß die direkte Endlagerung gewisse betriebswirtschaftliche Vorteile gegenüber der Wiederaufarbeitung verspricht, obwohl diese Vorteile einer Sensitivitätsanalyse unter realistischer Variation der einzusetzenden Parameter nicht immer standhalten. Die entscheidende wirtschaftliche Attraktivität anderer Entsorgungstechniken liegt aber gar nicht in diesen vermutlich geringen betriebswirtschaftlichen Vorteilen, sondern für viele in erster Linie darin, daß eine Entscheidung für diesen Weg zunächst überhaupt größere Investitionen vermeidet und die Realisierung konkreter Entsorgungseinrichtungen verhindert. Eine Entscheidung für die direkte Endlagerung heute würde zunächst die Demonstration dieser Entsorgungstechnik in kleinerem Maßstab erfordern und zur Folge haben, daß noch auf viele Jahre hinaus die Zwischenlagerung der einzige konkrete Entsorgungsschritt bleiben muß. Anders als in anderen Ländern mit ähnlich großen Kernenergieprogrammen ist aber bei uns in den vergangenen Jahren das alleinige Abstützen auf eine längerfristige Zwischenlagerung als „ungelöste“ Entsorgung betrachtet worden. Ein Bruch mit diesem Ansatz aus letztlich rein kommerziellen Überlegungen würde deshalb

eine erhebliche Gefährdung der weiteren Kernenergienutzung in der öffentlichen Meinung und der des Bestandes von Genehmigungen für Kernkraftwerke auch bei der Überprüfung vor den Gerichten zur Folge haben. Somit wäre es außerordentlich problematisch, vom seit jetzt über fünf Jahren bestehenden Grundkonsens in der nuklearen Entsorgung abzuweichen.

Mit einer Bauentscheidung für eine Wiederaufarbeitungsanlage erhält die deutsche Elektrizitätswirtschaft nicht nur die Glaubwürdigkeit für den eingeschlagenen Entsorgungsweg, sondern auch die Möglichkeit einer künftig flexibleren Gestaltung der Entsorgungswege. Zu diesen späteren Möglichkeiten zählen der Ausbau der Wiederaufarbeitungskapazität ebenso wie der eventuelle Einsatz der bis dahin weiter zu entwickelnden anderen Entsorgungstechniken zumindestens für solche Brennelemente, die sich für die Wiederaufarbeitung weniger eignen. Solche erweiterten Möglichkeiten zur Entsorgung im Inland würden auch die Preisgestaltung bei künftigen zur Ergänzung nach wie vor sinnvollen Auslandsverträgen für die Entsorgung eröffnen. Sie würde es auch ermöglichen, künftig von Möglichkeiten der Auslandsentsorgung in geeigneten Fällen Gebrauch zu machen, ohne daß es dabei – wie gegenwärtig – immer auch mit der Furcht vor einem Ausweichen vor der zunächst im Inland nötigen grundsätzlichen Lösung des Entsorgungsproblems verbunden wäre.

Das bedeutendste Projekt im Interesse der sicheren Beherrschung des gesamten Kernbrennstoffkreislaufs ist noch viele weitere Jahre die Erkundung des Salzstocks in Gorleben. Beim früheren Erzbergwerk KONRAD in Salzgitter dienen die gegenwärtigen Vorhaben im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens bereits dem Ziel der Errichtung eines Bundesendlagerbergwerks, in diesem Falle für schwachaktive Abfälle, sowie Abfälle aus dem Abriß von kerntechnischen Anlagen. Sie werden deshalb aus dem Haushalt der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) finanziert. Dagegen erfolgt in Gorleben entsprechend dem Beschluß der Regierungschefs von Bund und Ländern ein bergtechnisches Erkundungsprogramm, das die Eignung des Salzstocks auf die Aufnahme aller Kategorien radioaktiver Abfälle, insbesondere hochaktiver Abfälle untersuchen soll. Diese Erkundung ist nach dem Abschluß der Tiefbohrungen im Jahre 1982 mit dem Beginn der Errichtung des Erkundungsbergwerks in die 2. Phase getreten. Die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern (DBE), die die Arbeiten als Dritter im Sinne des Atomgesetzes aufgrund eines Kooperationsvertrages mit der PTB durchführt, hat im Jahr 1984 mit den Gefrierlochbohrungen für den Bau der beiden Erkundungsschächte in Gorleben begonnen. Die nächsten Jahre bis zum Auffahren der ersten Erkundungstrecken untertage zum Ende der 80er Jahre werden von diesem bergtechnischen Vorhaben bestimmt sein. Erst mit dem Streckenvortrieb untertage werden dann um 1990 wieder neue Erkenntnisse über die Struktur des Salzstocks und seine Eignung gewonnen werden können. Bis zum Abschluß dieser Phase werden die Arbeiten noch aus dem Haushalt des BMFT finanziert, da sie der Eignungsuntersuchung und noch nicht der Einrichtung eines Endlagerbergwerks dienen. Nicht zuletzt aufgrund der sehr positiven Entwicklung der Kooperation zwischen dem Bund, der im Atomgesetz mit der Zuständigkeit zum Bau und Betrieb von Endlagern beauftragten PTB und dem „Dritten“ im Sinne des Atomgesetzes, der DBE, kann eine termingerechte Durchführung des Erkundungsvorhabens in Gorleben erwartet werden. Damit wird

auch an dieser entscheidenden Stelle der Terminplan der Entsorgungsgrundsätze eingehalten.

In noch weiter gefaßtem Sinne gehört zu den Fragen der Sicherheit des Brennstoffkreislaufs auch die Sicherstellung der ausschließlich friedlichen Verwendung der Kernbrennstoffe. Die Bundesrepublik Deutschland hat bereits 1954 einseitig auf die militärische Nutzung der Kernenergie verzichtet. Sie unterliegt den Sicherungskontrollen von Euratom und als eines der mehr als 100 Mitgliedsstaaten des Nichtverbreitungsvertrages auch den Sicherungskontrollen der Internationalen Atomenergieorganisation IAEA in Wien. Diese Sicherungskontrollen werden durch die beiden internationalen Organisationen Euratom und IAEA von internationalen Inspektoren mit Methoden der Fernüberwachung, einer komplizierten Meßtechnik und zahlreichen Inspektionen in den kerntechnischen Anlagen durchgeführt. Da sich die in der Kerntechnik Tätigen an diese Situation seit langem gewöhnt haben, ist es nützlich, darauf aufmerksam zu machen, daß in der Geschichte die Kontrolle einer vertraglich eingegangenen Selbstbeschränkung von Staaten durch internationale Inspektoren eine ganz außergewöhnliche Einrichtung darstellt. Die Bundesrepublik Deutschland zählt zu den Ländern, die dieses System erhalten und in seiner Universalität und Effektivität steigern wollen. International wird an der friedlichen Ausrichtung des Kernenergieprogramms in der Bundesrepublik Deutschland und an dem positiven Ergebnis der durchgeführten Inspektionen nicht gezweifelt. Deshalb ist es – vorsichtig gesprochen – besonders ärgerlich, wenn jetzt erstmalig in der innenpolitischen Diskussion, von Grüner Seite, Zweifel an der ausschließlich friedlichen Ausrichtung des Kernenergieprogramms in der Bundesrepublik Deutschland geäußert werden.

Das System der internationalen Sicherungskontrollen, „Safeguards“, hat für die Bundesrepublik deshalb besondere Bedeutung, weil sie neben Japan das in der Kerntechnik am weitest fortgeschrittene Land ohne Kernwaffen ist. Da die Durchführung von Safeguards in Kernwaffenstaaten von anderer Qualität und Quantität ist – die Kernwaffenstaaten unterstellen einen Teil ihrer zivilen Anlagen freiwillig den Sicherungskontrollen – wird bei der Einführung von Safeguards in der Bundesrepublik in vielen Fällen Pionierarbeit geleistet. Dabei entsteht für uns die Mitverantwortung für die Entwicklung effektiver Safeguardskonzepte und Techniken, bei denen gleichzeitig darauf geachtet werden muß, sie so zu gestalten, daß sie möglichst geringe wirtschaftliche Nachteile und Risiken für den Betrieb industrieller Kernbrennstoffkreislauf-Anlagen mit sich bringen. Es ist evident, daß die Entwicklung von Safeguards-Techniken im Brennstoffkreislauf sehr viel anspruchsvoller ist als bei Kernkraftwerken, da es sich hier nicht nur um die Überwachung zählbarer und identifizierbarer Brennelemente, sondern um die Verfolgung des Durchgangs von radioaktivem Spaltmaterial durch chemische und fertigungstechnische Anlagen handelt. An der Entwicklung von Konzepten und Techniken für Safeguards wird seit langem in den Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich und der deutschen Kernbrennstoffkreislauf-Industrie gearbeitet. Für die geplante Wiederaufarbeitungsanlage ist bereits vor drei Jahren mit der Einbeziehung von Safeguards-Kriterien in die Planung und Entwicklung begonnen worden. Dabei wurde die Anlage des Baus wesentlich mitbestimmt von der Definition von Materialbilanzierungszonen, die an geeigneten Stellen eine genaue Messung des Spaltstoffflusses erlauben, in anderen Bereichen durch Unzugänglichkeit und physischen Abschluß eine Ab-

zweigung grundsätzlich verhindern. Schon dieses Beispiel der Einbeziehung der Erfordernisse effektiver Safeguards in die Planung einer Anlage von Anfang an zeigt, wie ernst dieses Thema in der Bundesrepublik Deutschland genommen wird. Sie zeigt aber auch, welches Gewicht Safeguards-Konzepten und -Techniken für Auslegung und Betrieb von Brennstoffkreislauf-Anlagen zukommt. Die Weiterentwicklung bleibt hier deshalb eine wichtige Daueraufgabe, gerade auch für die staatliche Forschungsförderung.

### Staatliche Förderung

Insgesamt wird sich der Übergang der Verantwortung vom Staat auf die Industrie und Elektrizitätswirtschaft bei der großtechnischen Realisierung des Brennstoffkreislaufs und bei der Planung der fortgeschrittenen Reaktorlinien auch in wesentlichen Veränderungen bei der Förderung der Kernenergieentwicklung niederschlagen. Dies bedeutet keineswegs eine grundsätzliche Veränderung in der Einstellung des Staates zur Förderungswürdigung der Kernenergie. Der Umfang der finanziellen staatlichen Förderung für Forschung, Entwicklung und Demonstration in der Kerntechnik kann in dieser Phase aber abnehmen. Vor allem die absehbar werdende Fertigstellung von THTR 300 und SNR 300 wie die voraussichtlich vorzeitig mögliche Beendigung der Förderung der Demonstrationsanlagen für die Zentrifugenanreicherung werden eine erhebliche Senkung im Mittelbedarf für die Förderung der Kernenergieentwicklung durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie mit sich bringen. Auch die Förderung der Reaktorsicherheitsforschung für Leichtwasserreaktoren kann in der 2. Hälfte der 80er Jahre reduziert werden, nachdem die meisten grundsätzlichen Fragen der Sicherheitsforschung inzwischen als gelöst gelten können.

Für die künftige Förderung von Forschung und Entwicklung verbleiben vor allem folgende Aufgaben:

- Fortführung grundlegender Arbeiten der Reaktorsicherheitsforschung (Materialforschung, Prüfverfahren, Risikoanalyse etc.)
- Weiterentwicklung der fortgeschrittenen Reaktorlinien Hochtemperaturreaktor und Schneller Brutreaktor zur Auswertung der Erfahrungen mit Bau und Betrieb von THTR 300 und SNR 300 und zur Bearbeitung grundlegender, vor allem sicherheitsbezogener Fragestellungen der Reaktortechnologie in beiden Bereichen, wobei die Planung konkreter Anlagen in der alleinigen Verantwortung der Wirtschaft liegt.
- Entwicklungsarbeiten zur Untersuchung der Möglichkeiten der Urananreicherung mit Laser.
- Fortführung grundlagen- und sicherheitsbezogener Arbeiten der Wiederaufarbeitung und Rezyklierung von Kernbrennstoffen, von Problemen der technischen Realisierung internationaler Sicherungskontrollen; die eigentliche Weiterentwicklung ist hier mit der Planung der ersten kommerziellen Wiederaufarbeitungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland bereits in die Verantwortung der Wirtschaft übergegangen.
- Fortführung der Forschung und Entwicklung für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle.
- Erkundung des Salzstocks Gorleben, wobei die hierfür in den nächsten Jahren rund 100 Mio. DM pro Jahr be-

tragenen Aufwendungen jeweils über die Vorausleistungsverordnung von den Verursachern erstattet werden.

Innerhalb der mit geringerem Umfang geförderten Kernenergieentwicklung wird deshalb die Bedeutung der Forschung für die Sicherheit des Brennstoffkreislaufs relativ deutlich zunehmen.

Insgesamt wird der Umfang der direkten Förderung der Kernenergieentwicklung durch den Bundesminister für Forschung und Technologie von gegenwärtig rund 1,2 Mrd. DM pro Jahr auf etwa die Hälfte absinken. Ein wichtiger Beitrag für die Weiterentwicklung der Kernenergie wird weiterhin aus Arbeiten der Kernforschungszentren zu erwarten sein, auch wenn sich hier die Arbeiten etwa für die Reaktorentwicklung in Würdigung der industriellen Verantwortung mehr auf grundlegende und sicherheitsbezogene Fragen

konzentrieren und mittelfristig abnehmen werden. Neben der Sicherheitsforschung für die fortgeschrittenen Reaktorlinien werden vor allem die speziellen Probleme des Brutreaktorbrennstoffkreislaufs für das Kernforschungszentrum Karlsruhe noch eine längerfristige bedeutende Aufgabe bleiben.

Die mit dieser Entwicklung verbundene Reduktion des Umfangs der finanziellen Förderung der Kernenergieentwicklung durch den Staat ist jedoch keinesfalls als Abkehr von der Förderungswürdigkeit der Kernenergie als Technologie und als Energiequelle zu werten. Sie ist vielmehr Ausdruck des erzielten kommerziellen Reifegrades dieser Technik. In diesem Stadium kann der weitere Erfolg der Kernenergie auch in der langfristigen Perspektive nur noch durch ein eigenverantwortliches Engagement der Wirtschaft gewährleistet werden.

## Diskussion

J. Baier (Noell):

Wird für die vorgesehene Standortentscheidung der DWK, die für Ende 1984 vorgesehen ist, auch die vorherige Einigung unter den betroffenen Landes-Ministerpräsidenten erfolgt sein? Andernfalls ist zu befürchten, daß die Politiker-Taktik auch diesmal die Bauentscheidung verhindert oder zumindest verzögert.

Wie sehen BMFT bzw. BMI das Problem?

M. Popp (BMFT):

Sie erwarten sicher nicht, daß ich hier im Wettstreit über den Standort der WAA Stellung beziehe.

Zunächst sollte angestrebt werden, Problemlösungen zu finden unter Zuhilfenahme technischer Kriterien, wobei aber nicht evident ist, daß sie zu so deutlichen Schlußfolgerungen führen, um als Entscheidungshilfe wirklich herangezogen werden zu können.

Auch bei anderen Investitionsentscheidungen stellt sich für die Wirtschaft diese Frage immer wieder und muß gelöst werden. Letzten Endes bleibt die Standortentscheidung ganz eindeutig im Verantwortungsbereich derjenigen, die für die Anlage sehr viel Geld investieren. Diese Verantwortung kann ihnen niemand abnehmen.

## Sicherheitstechnik in Wiederaufarbeitungsanlagen und Betriebsverfahren

Von W. Thomas <sup>1)</sup>

### Kurzfassung

Eine Wiederaufarbeitungsanlage stellt gegenüber einem Kernkraftwerk deutlich unterschiedliche sicherheitstechnische Aufgaben. Die Betriebsverfahren aus mehr als 30 Jahren Anlagenbetrieb bieten eine zuverlässige Basis für die Sicherheitstechnik, um alle Sicherheitsanforderungen zu erfüllen. Beim Anlagenbetrieb, der Reduzierung der Strahlenexposition des Betriebspersonals und der Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe wurden beachtliche Verbesserungen erreicht. Gegenwärtig liegen die mittleren Individualdosen für

das Betriebspersonal deutlich unter 5 mSv/a, die Kollektivdosen sinken. Die weitverbreitete Tendenz, fernbediente Instandhaltungstechniken einzusetzen, kann eine weitere Reduzierung der Strahlenexposition und des Anfalls an schwach- und mittelaktivem Abfall bewirken.

### Abstract

Compared with a nuclear power reactor a spent fuel reprocessing plant poses significantly different safety problems. Operational experience from more than 30 years of reprocessing operation provides a solid basis for plant design covering all requirements of safety. Remarkable improvements have been achieved in plant operation, occupational

<sup>1)</sup> Dipl.-Ing. Wolfgang Thomas, Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Garching

radiation protection and control of radioactive effluents. Presently averaged individual doses for occupational exposure are well below 5 mSv/a. Collective doses are decreasing. A widespread tendency to remote maintenance techniques may further reduce radiation exposure and the amount of low and medium level waste.

### Einleitung

Die Deutsche Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH (DWK) plant die Errichtung und den Betrieb einer Anlage zur Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen einschließlich der Refabrikation der gewonnenen Kernbrennstoffe zu Mischoxid-Brennelementen. Die von der DWK gestellten atomrechtlichen Anträge werden derzeit geprüft.

Das Thema dieses Beitrags beschränkt sich nicht nur auf das Sicherheitskonzept dieser beantragten Anlage; der sicherheitstechnischen Bewertung dieses Anlagenkonzepts kann nicht vorgegriffen werden. Ziel des Beitrages ist vielmehr eine zusammenfassende Darstellung des erreichten Standes der Sicherheitstechnik in Wiederaufarbeitungsanlagen (WAA) und der gewonnenen Betriebserfahrungen, vor allem in sicherheitstechnischer Hinsicht.

Einschränkend ist dazu zu bemerken, daß Informationen über sicherheitstechnisch wesentliche Fakten für die einzelnen Anlagen in unterschiedlicher Tiefe und Vollständigkeit vorliegen. Außerdem zwingt der hier gegebene Rahmen zu einer Auswahl und einer Beschränkung auf wichtige Punkte.

Da die Herstellung von Mischoxid-Brennelementen und die Behandlung der Abfälle, insbesondere der hochaktiven Abfälle, integraler Bestandteil moderner Wiederaufarbeitungskonzepte sind, werden einige Aspekte dieser Anlagenteile im Rahmen dieses Vortrags mitbehandelt. Fragen der Spaltstoffflußkontrolle, der Sicherung und Nichtverbreitung von Kernbrennstoffen sind nicht Gegenstand dieses Vortrags.

### Schutzziele

Als eine nach dem Atomgesetz genehmigungspflichtige Anlage muß eine Wiederaufarbeitungsanlage (WAA) den dort und in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Schutzziele entsprechen. Die angewendete Sicherheitstechnik hat zu gewährleisten, daß dies erreicht wird. Um zu zeigen, welchen Anforderungen die Sicherheitstechnik in einer WAA genügen muß, müssen die allgemeinen Schutzziele näher präzisiert werden. Dazu soll zunächst anhand einer Gegenüberstellung eines Kernkraftwerkes und einer Wiederaufarbeitungsanlage gezeigt werden, welche Unterschiede in den prozeß- und anlagentechnischen Gegebenheiten bestehen.

Der Vergleich der vorhandenen radioaktiven Stoffe in einem 1300-MW-Druckwasserreaktor (DWR) und in einer Wiederaufarbeitungsanlage mit 500 Mg Jahresdurchsatz, Mischoxid-Brennelementfabrikation, voll gefülltem Brennelementeingangslager mit 1500 Mg Schwermetall und einem Glaskokillenlager, das den verglasten hochaktiven Abfall (HAWC) von 20 Jahren Aufarbeitung enthält, ist in Tafel 1 dargestellt. Während das Kernkraftwerk um Größenordnungen mehr radioaktives Jod und kurzlebige Edelgase enthält, besteht das Aktivitätsinventar in einer WAA aus langlebigen Radionukliden; so liegen in der WAA die Nuklide Sr-90 und Cs-137 etwa hundertfach höher als im Kernkraftwerk. Zu beachten ist dabei allerdings, daß die radioaktiven Stoffe in einer WAA zum größten Teil in den eingelagerten Brenn-

Tafel 1: Aktivitätsvergleich Kernkraftwerk – Wiederaufarbeitungsanlage

	KKW	WAA
Jod (Bq)	$4,5 \cdot 10^{19}$	$2 \cdot 10^{13}$
davon I 131 (Bq)	$4 \cdot 10^{18}$	
Caesium 134, 137 (Bq)	$8,5 \cdot 10^{17}$	$5 \cdot 10^{19}$
Strontium 90 (Bq)	$2,6 \cdot 10^{17}$	$2,8 \cdot 10^{19}$
Krypton, Xenon (Bq)	$4,8 \cdot 10^{19}$	$7 \cdot 10^{17}$
Plutonium (Mg)	1	20 <sup>1)</sup>
Gesamtaktivität (Bq)	$5,2 \cdot 10^{20}$	$0,7-2,5 \cdot 10^{20}$ 2)

1) ~3 im Prozeß

2) ~ $4 \cdot 10^{17}$  im Prozeß

Tafel 2: Kenndatenvergleich Kernkraftwerk – Wiederaufarbeitungsanlage

	KKW	WAA
Temperaturen (°C)	~300	<135, meist tiefer Verglasung <1150
Druck (bar)	160	1
Leistungsdichte (kW/l)	~100	<0,01
Kernbrennstoff	Feststoff	Feststoff, Lösung
Neutronenbilanz	kritisch	unterkritisch

elementen und im verglasten HAWC, also nicht im Verarbeitungsprozeß, vorliegen. Dies gilt auch für den größten Teil des Plutoniums.

Ein analoger Vergleich der Betriebsbedingungen in einem DWR und in einer WAA zeigt, daß in einer WAA bei nahezu allen Prozessschritten geringe Temperaturen und Normaldruck herrschen (Tafel 2). Ausnahmen hiervon stellen der Auflöser ( $T \sim 110^\circ\text{C}$ ), die Verdampfer ( $T < 135^\circ\text{C}$ ) und die Verglasung ( $T = 1150^\circ\text{C}$ ) dar. Bei der Mischoxid-Brennelementherstellung wird der Sinterofen bei  $1700^\circ\text{C}$  betrieben. Damit stehen in einer WAA vom Prozeß selbst her nur wesentlich geringere Energien für eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe zur Verfügung als bei einem Kernkraftwerk.

In der Eingangsstufe der WAA werden die abgebrannten Brennelemente zerschnitten und der Kernbrennstoff durch Salpetersäure gelöst. Dabei wird die Brennstoffmatrix zerstört, man erhält noch radioaktive Stoffe in Form von Lösungen. Diese Lösungen sind ebenso wie die eingesetzten Säuren korrosiv. Bei der nachfolgenden Abtrennung der Spaltprodukte und Trennung der Spaltstoffe Uran und Plutonium sowie in der Reinigung dieser wiedergewonnenen Wertstoffe werden organische Lösungsmittel eingesetzt. Da die Spaltstoffe in gelöster Form vorliegen, ist keine feste, bezüglich der nuklearen Sicherheit eindeutige Situation wie im Reaktorkern gegeben, so daß auf anderem Wege die Kontrolle der Unterkritikalität sichergestellt werden muß. Da die flüchtigen Radionuklide, insbesondere Kr-85, C-14, Tritium und I-129, bei der Auflösung des

Tafel 3: Vorgänge bei der Wiederaufarbeitung

- Umgang mit korrosiven Stoffen (Brennstofflösung, Säuren)
- Umgang mit brennbaren radioaktiven Stoffen (Lösungsmittel)
- Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen (Lösungen, Feststoffe, zum Teil dispersibel)
- Umgang mit spaltbaren Stoffen (Lösungen, Feststoffe)
- Ableitung flüchtiger Radionuklide (Kr 85, Jod 129, C 14, Tritium) und von radioaktiven Aerosolen
- Emission von Strahlung (Gammastrahlung, Neutronenstrahlung)

Kernbrennstoffs freigesetzt werden, kommt der Abgasreinigung in einer WAA erheblich höhere Bedeutung zu als in einem Kernkraftwerk (Tafel 3).

Insgesamt zeigt der Vergleich, daß ein DWR und eine WAA grundverschiedene Anlagen darstellen. Es ist daher erforderlich, die Gegebenheiten einer WAA im einzelnen zu berücksichtigen, wenn es darum geht, sicherheitstechnische Schutzziele zu definieren und das Konzept einer Sicherheitstechnik für eine WAA zu entwickeln. Dies gilt auch für die Anwendung des kerntechnischen Regelwerks für Kernkraftwerke, dessen Übertragbarkeit auf eine WAA im Einzelfall sorgfältig zu prüfen ist.

Die sicherheitstechnischen Schutzziele bei der Wiederaufarbeitung können schlagwortartig wie folgt charakterisiert werden:

- Einschluß und Abschirmung radioaktiver Stoffe,
- Minimierung und Kontrolle der Ableitung radioaktiver Stoffe,
- Minimierung und Kontrolle der Strahlenexposition des Betriebspersonals,
- Gewährleistung der Unterkritikalität,
- Vermeidung von Brand und Explosion,
- sichere Abfuhr von Zerfalls- und Prozeßwärme,
- Schutz gegen Einwirkungen von außen.

### Sicherheitskonzept

Dem zentralen Schutzziel, die in einer WAA vorhandenen radioaktiven Stoffe sicher einzuschließen und abzuschirmen, muß eine Sicherheitstechnik entsprechen, die zwar im Prinzip ähnliche Merkmale wie die Sicherheitstechnik eines Kernkraftwerks aufweist, die jedoch unter sehr unterschiedlichen Randbedingungen und mit unterschiedlicher Wichtung zu verwirklichen sind. So kommt in einer WAA den automatisch wirksam werdenden Sicherheitseinrichtungen bezüglich der Forderungen nach Redundanz und Diversität wegen des meist trägen Verhaltens der Prozesse deutlich geringere Bedeutung zu als in einem Kernkraftwerk. Anforderungen an Qualitätssicherung, Instandhaltung und Stilllegung müssen gänzlich andere Randbedingungen berücksichtigen.

Das gleiche gilt für den mehrschaligen Einschluß der offenen radioaktiven Stoffe nach dem Barrierenprinzip und die Rückhaltung radioaktiver Stoffe in den Abgas- und Abluftsystemen; hier stellt die WAA deutlich schwierigere Aufgaben.

Eine umfassende Darstellung der sicherheitstechnischen Vorsorgemaßnahmen würde den Rahmen dieses Beitrags übersteigen; es sollen daher nur einige besonders wichtige Merkmale der Sicherheitstechnik dargestellt werden.

### Barrierenkonzept

Der Einschluß der radioaktiven Stoffe besteht im bestimmungsgemäßen Betrieb in der Regel aus mindestens zwei voneinander unabhängigen Rückhaltebarrieren gegenüber der Umgebung. Das Betriebspersonal wird durch mindestens eine Barriere geschützt. Bei Betriebsstörungen oder Störfällen müssen die Barrieren soweit wirksam bleiben, daß den Anforderungen der Strahlenschutzverordnung Rechnung getragen ist.

Diese Anforderungen werden durch bautechnische oder konstruktive Barrieren, wie Zellen- und Gebäudewände, Zellenauskleidungen, Bodenwannen, Behälter und Rohrleitungen, und durch teilweise wirksame Barrieren wie Druckstaffelung, Filter, Waschkolonnen und die Strömungsrichtung in Medien- und Chemikalienversorgung, erfüllt.

Die Einhaltung des geforderten Schutzprinzips durch bauliche und konstruktive Vorkehrungen bereitet im allgemeinen keine Schwierigkeiten; einige spezielle Aspekte, zum Beispiel die Frage der erforderlichen Dichtheit der Prozeßapparaturen und ihrer Überprüfung, müssen jedoch jeweils für den konkreten Fall, orientiert am Schutzziel, gelöst werden. Derartige Überlegungen sind beispielsweise für die Eingangszelle, wenn bei charginweisem Betrieb des Auflösers die Brennstabhülsen aus dem Auflöser entnommen werden, oder für Instandhaltungsvorgänge anzustellen. Dabei sind konstruktiv und organisatorisch Vorkehrungen zu treffen, einen Austritt radioaktiver Stoffe aus der ersten Barriere und damit eine Kontamination der Zelle so weit wie möglich zu verhindern.

Besonders sorgfältig ist die Einhaltung des Barrierenprinzips bei den für den Prozeß erforderlichen Hilfssystemen zu prüfen. Dies betrifft:

- Kühl- und Heizkreisläufe, Dampfversorgung,
- Rühr- und Meßluft, Druckluftversorgung,
- Chemikalienversorgung,
- Probenahmesysteme,
- Zuluftsysteme, Inertgassysteme,
- Abgas- und Abluftsysteme,
- leittechnische Systeme, Elektroversorgung.

Die hier wirksamen Rückhaltebarrieren sind meist nur teilwirksam, wobei ihre Wirksamkeit für einzelne Nuklide oder Nuklidgruppen unterschiedlich sein kann (zum Beispiel Filterverhalten gegenüber gasförmigen oder aerosolförmigen Schadstoffen). Durch sinnvolle Kombination von Rückhalteeinrichtungen und die Kontrolle ihrer Wirksamkeit gelingt es, auch diese möglichen Freisetzungspfade abzusichern oder die Ableitung radioaktiver Stoffe so zu begrenzen, daß den Anforderungen des Strahlenschutzes voll entsprochen wird.



## Abgasreinigung

Von besonderer Bedeutung in dieser Hinsicht ist die Abgasreinigung in einer Wiederaufbereitungsanlage. Bei der Brennstoffauflösung werden als flüchtige radioaktive Stoffe I-129, H-3, Kr-85 und C-14 in die Auflöserabgasstrecke freigesetzt. Während des Prozesses entstehen vor allem bei der Auflösung und durch Fördervorgänge, Meß- und Rührluft radioaktive Aerosole, die in den Abgasstrecken zurückgehalten werden müssen. Die Sicherheitstechnik der Wiederaufbereitung hat bezüglich dieser Aufgabe folgenden Stand erreicht:

Radioaktives langlebiges Jod wird bei der Auflösung zu 99 % in die Auflöserabgasstrecke abgeleitet und dort durch silberimprägnierte Filter nahezu vollständig zurückgehalten. Ein Prozent des Jods gelangt über die Speiselösung in den chemischen Trennprozeß und zum Teil in den konditionierten radioaktiven Abfall, zum Teil in das Behälterabgas. Insgesamt wird – wie der Anlagenbetrieb der WAK zeigt – ein Gesamt-Dekontaminationsfaktor (DF) von mindestens 100 eingehalten.

Tritium bleibt zu etwa 60 % fest in den Zircaloy-Hüllrohrabschnitten gebunden und wird mit diesen in Abfallgebinden fixiert. Das übrige Tritium wird durch geeignete Prozeßführung so eingeeignet, daß es zum überwiegenden Teil als tritiumhaltige Flüssigkeit zur Verpressung oder Fixierung in zementiertem Abfall gelangen kann. Damit ergibt sich ein Gesamt-DF von 7 bis 8.

Krypton und radioaktiver Kohlenstoff werden derzeit wegen ihrer geringen radiologischen Bedeutung als  $\beta$ -Strahler in den bestehenden WAA ohne Rückhaltung abgeleitet. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für Trennverfahren und die Konditionierung der abgetrennten Stoffe werden jedoch durchgeführt, so daß Rückhaltemaßnahmen getroffen werden können, wenn es der weitere Ausbau der Wiederaufbereitungskapazität geraten sein läßt. Bei derartigen Überlegungen muß auch eine mögliche Strahlenexposition durch die Rückhalte- und Konditionierungsmaßnahmen selbst und den Endverbleib der abgetrennten radioaktiven Stoffe berücksichtigt werden.

Die Reinigung der Abgase von nassen oder trockenen Aerosolen ist Stand der Technik. Durch sinnvolle Kombination von Wäschern, Fasermattenfiltern und hochwirksamen Feinfiltern kann die Ableitung von Aerosolen auf sehr kleine Werte begrenzt werden. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe bei der Verglasung des HAWC sind aus der Demonstrationsanlage PAMELA in Mol experimentelle Ergebnisse unter realen Bedingungen zu erwarten. Damit kann die technische Ausrüstung der Rückhalteinrichtung des Abgases der Verglasung optimiert werden.

## Kritikalitätssicherheit

Der unterkritische Zustand der Spaltstoffe kann bei der Wiederaufbereitungsanlage durch konstruktive und organisatorische Maßnahmen dauernd sichergestellt werden. Diese Vorkehrungen und Maßnahmen sind Stand der Technik und haben sich bewährt. Als generelles Auslegungsprinzip werden die Schutzvorkehrungen so gestaltet, daß ein Fehlereignis allein nicht zu Kritikalität führen darf. In der Praxis sind meist mehrere unabhängige Schutzmaßnahmen gleichzeitig wirksam. Bei der sicherheitstechnischen Analyse der einzelnen Verfahrensschritte sind vor allem folgende Möglichkeiten zu beachten:

- Ansammlung von Spaltstoff durch Ausfällung oder Phasentrennung,
- Fehlleitung von spaltstoffhaltigen Flüssigkeiten, zum Beispiel in Systeme der Medienversorgung oder in den Reworkbereich,
- Auslaufstörfälle.

Neben den erprobten Sicherheitsmaßnahmen, wie Einhaltung sicherer Geometrie, Konzentrations- oder Massenbeschränkung und Einsatz von Neutronenabsorbieren werden in mehreren Ländern Meßmethoden zur meßtechnischen Bestimmung des Restspaltstoffgehalts in abgebrannten Brennelementen zur Einsatzreife entwickelt. Meßreihen mit einem im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelten Prototyp verliefen erfolgreich.

## Kühlung selbsterhitzender Flüssigkeiten

Die durch den radioaktiven Zerfall auftretende Wärme hängt von der Abklingzeit der Brennelemente seit Entladung aus dem Reaktorkern ab. Diese Abklingzeiten werden heute deutlich länger veranschlagt als noch im Anlagenkonzept des Nuklearen Entsorgungszentrums (NEZ) Gorleben. Dadurch erhält man eine niedrigere Strahlenbelastung des organischen Extraktionsmittels und die Möglichkeit, den anfallenden HAWC unmittelbar zu verglasen. Eine umfangreiche Zwischenlagerung von selbsterhitzendem HAWC, wie noch für das NEZ vorgesehen, entfällt daher. Lediglich zur betrieblichen Entkopplung sind HAWC-Tanks noch erforderlich.

Die Kühlung dieser Tanks wird heute nach internationaler Praxis durch zuverlässige durchgehend zweisträngige Kühlung sichergestellt. Eine zusätzliche Kühlungsmöglichkeit wurde mit dem Siedekühlprinzip entwickelt, das aus der chemischen Industrie übernommen wurde (Bild 1). Dabei sorgt ein durch einen luftgekühlten Sekundärkreislauf rückgekühlter Kondensator dafür, daß aufsteigende Lösungsdämpfe

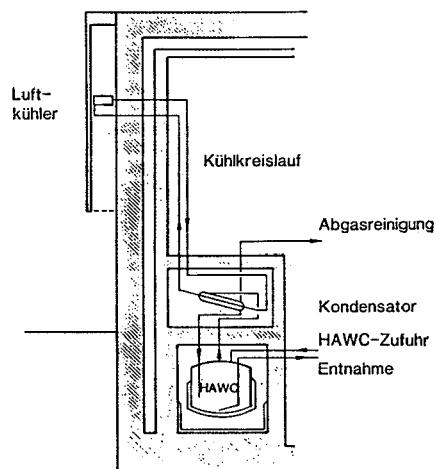


Bild 1: Siedekühlung der HAWC-Tanks

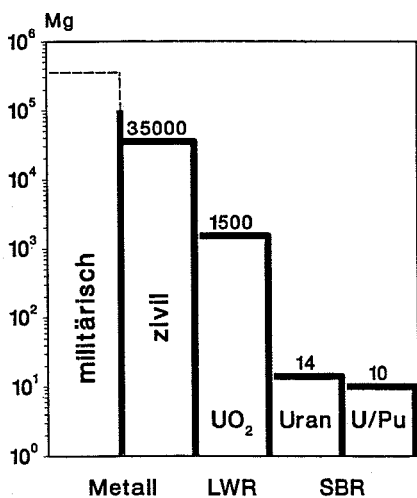


Bild 2: Aufgearbeitete Mengen Kernbrennstoff

aus dem siedenden HAWC auskondensieren und das Kondensat in den Tank zurückläuft.

#### Verfahrenstechnik der Aufarbeitung von LWR-Brennstoff

Gegenüber der Aufarbeitung von metallischen Brennelementen stellen sich der Sicherheitstechnik bei der Aufarbeitung von LWR-Brennelementen einige spezielle Aufgaben, die durch entsprechende Auslegung gelöst werden müssen. Dies sind vor allem:

- Das Schneiden von LWR-Brennelementen als Ganzes ohne Zerlegung in Einzelstäbe,
- die Auflösung von Uran-Plutonium-Mischoxid-Brennstoff,
- die Verhinderung von sogenanntem Crud,
- die Behandlung der Hülsenabschnitte und des Feedklärschlammes.

Das Schneiden ganzer LWR-Brennelemente durch eine Bündelschere ist heute vor allem aufgrund der maßstabgetreuen Einrichtungen im Technikum zur Komponentenerprobung (TEKO) des Kernforschungszentrums Karlsruhe und die erzielten guten Ergebnisse als technisch gelöst anzusehen. Die technische Auslegung der Schereinrichtung ist sowohl in Karlsruhe als auch in Frankreich so vervollkommen worden, daß eine fernbedienungsgerechte modulare Bauweise erreicht wird.

Durch geänderte Herstellungsverfahren bei der Brennelementherstellung gelingt es, nahezu vollständig in Salpetersäure löslichen Mischoxidbrennstoff zu produzieren. Erste Ergebnisse dieser nach einem Kofällverfahren (AUPuC) bzw. nach optimierten Komahl-Verfahren (OKOM) hergestellten Brennstoffe führen zu Löslichkeiten über 99 %.

Die Bildung von stabilen Emulsionen bei den Extraktionsprozessen, des sogenannten Crud, beruht auf dem Zusammen-

wirken von Feststoff-Feinteilen mit Zersetzungsprodukten des Extraktionsmittels Tributylphosphat (TBP).

Das TBP wird hydrolytisch durch wäßrige Salpetersäure und radiolytisch im Kontakt mit den Spaltproduktlösungen zersetzt. Die Gegenmaßnahmen zur Verhinderung des störenden Crud zielen daher darauf ab, Feststoffreste so weit wie möglich von der Extraktion abzuscheiden und die Kontaktzeiten zwischen Extraktionsmittel und Spaltproduktlösung kurz zu halten. Diese Ziele können durch Feedklärung, zum Beispiel mit einer Zentrifuge, und geeignete Trennapparate mit geringen Kontaktzeiten, wie Siebboden-Pulskolonnen, erreicht werden. Erfahrungen hierzu liegen aus La Hague und der EUROCHEMIC vor.

Hülsenabschnitte und Feedklärschlamm werden bis zu einer Konditionierung zwischengelagert (La Hague). Als Konditionierungsmaßnahme wurde in Karlsruhe die Zementierung erfolgreich demonstriert. Die Verglasung von Feedklärschlämmen hingegen scheint nicht geeignet, wie Jülicher Ergebnisse belegen. Insgesamt liegt hier ein Feld für weitere Verbesserungen.

#### Brand- und Explosionsschutz

In einer WAA wird mit brennbaren Lösungsmitteln umgegangen; deswegen kommt dem Brand- und Explosionsschutz hohe Bedeutung zu. Weitere Sicherheitsanforderungen resultieren aus der Wasserstoffentstehung durch Radiolyse und der Verhinderung von Brand und Explosion durch Zircaloy-Feinteile oder schwermetallbeladene organische Phasen (red oil). In den bestehenden WAA sind es die in vergleichbaren chemischen Anlagen getroffenen und auch bei der Wiederaufarbeitung bewährten Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen, die diesen Risiken begegnen. Ein für eine WAA neuartiges Schutzkonzept stellt die Inertisierung der wesentlichen Prozeßzellen dar. Dieses Konzept wird gegenwärtig geprüft. Weitere Sicherheitsmaßnahmen, wie die Abfuhr von Radiolyse-Wasserstoff durch Be- und Entlüftung sowie die Verhinderung von red-oil-Bildung oder Zircaloybränden sind Stand der Technik.

#### Betriebserfahrungen

Im Rahmen dieses Beitrags können die vorliegenden Betriebserfahrungen nur überblicksartig betrachtet werden. Dabei liegt das Schwergewicht der Betrachtung auf den sicherheitsrelevanten Ergebnissen, insbesondere auf den Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung, der Strahlenexposition des Betriebspersonals und auf wichtigen Störfällen. Zunächst soll jedoch kurz auf die erreichten Aufarbeitungsleistungen bezüglich Mengen und Abbrand eingegangen werden.

#### Aufgearbeitete Mengen, erreichte Abbrände

Bild 2 stellt die insgesamt aufgearbeiteten Kernbrennstoffmengen dar. Für die militärische Wiederaufarbeitung liegen lediglich geschätzte Werte vor. Im zivilen Bereich wurden mehr als zwanzigmal so viel metallische Brennelemente aus der französisch-britischen Reaktorlinie aufgearbeitet als LWR-Brennelemente. Die erreichten Durchsätze liegen in der Regel deutlich unter den geplanten Anlagenkapazitäten. Die Gründe hierfür sind sehr unterschiedlich und müssen in jedem Einzelfall anlagenbezogen betrachtet wer-

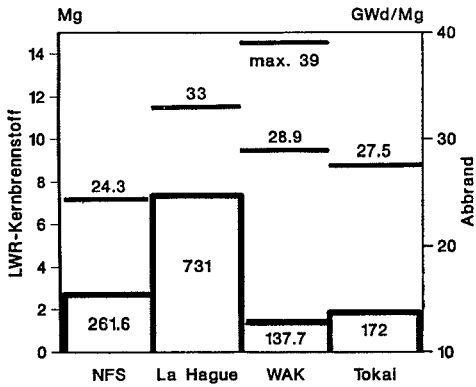


Bild 3: Aufarbeitung von Kernbrennstoff aus Leichtwasserreaktoren

den. Einige Stichworte müssen hier genügen: Zu geringes Brennelementangebot, technische Schwierigkeiten, Streik (NFS, West Valley), Aufarbeitung sehr kleiner Chargengrößen (WAK, EUROCHEMIC), Entwicklungsarbeiten (WAK), Stillstände wegen Instandhaltung (WAK, Tokai Mura). Andererseits werden hohe Durchsätze und Verfügbarkeiten für die militärischen Anlagen Hanford und Savannah River genannt. Die Aufarbeitungsanlage in La Hague erreichte mit LWR-Brennstoff mittlere Tagesdurchsätze von über 1 Mg/Tag bei einer Verfügbarkeit von etwa 70 %.

In Bild 3 sind die bis zum 31. Dezember 1983 aufgearbeiteten Mengen an LWR-Brennstoff und die durchschnittlichen Abbrände des Brennstoffs angegeben. Diesem Stand gegenüber beträgt die aufgearbeitete Menge LWR-Brennstoff in La Hague bereits 920 Mg (Juli 1984). Die Abbrände liegen

etwas unter den heute im Kernkraftwerk erreichten Werten, die Aufarbeitung einzelner höher abgebrannter Elemente zeigte keine Schwierigkeiten.

#### Ableitungen radioaktiver Stoffe

Für die europäischen WAA liegen Ableitungswerte mit Fortluft und Abwasser für die wichtigsten Nuklide und Nuklidgruppen bis 1980 vor. Typische Werte sind in den Bildern 4 und 5 dargestellt. Dabei zeigen die Ableitungen von Kr-85 und Tritium eine Korrelation mit dem Anlagendurchsatz und dem Abbrand der Brennelemente. Dieser Zusammenhang ist bei der Ableitung aerosolförmiger Aktivität nicht erkennbar. Weiter zeigen sich starke Standorteinflüsse, insbesondere bei der Ableitung mit dem Abwasser. Hier liegen die Ableitungen der am Meer gelegenen Anlagen La Hague und Windscale-Sellafield um Größenordnungen über den Ableitungswerten des Kernforschungszentrums Karlsruhe mit der WAK. Vergleicht man die Ableitungswerte der Anlagen La Hague und Windscale, die ähnliche Standortbedingungen aufweisen, so fallen die deutlich höheren Ableitungen der britischen Anlage ins Auge. Insbesondere die Ableitungen von Strontium und  $\alpha$ -Strahlern mit dem Abwasser sind sehr hoch. Demgegenüber liegen die für die geplante Anlage beantragten Ableitungen mit dem Abwasser nur leicht über den Ableitungswerten der WAK.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß Wiederaufarbeitungsanlagen deutlich höhere Ableitungen mit der Fortluft aufweisen als Kernkraftwerke, wobei allerdings berücksichtigt werden muß, daß eine WAA etwa 15 bis 20 Kernkraftwerke entsorgt. Die Ableitungen mit dem Abwasser sind für deutsche Standortverhältnisse in der gleichen Größenordnung wie bei einem Kernkraftwerk. Der Betrieb der WAK zeigt außerdem, daß die genehmigten Ableitungswerte deutlich unterschritten werden.

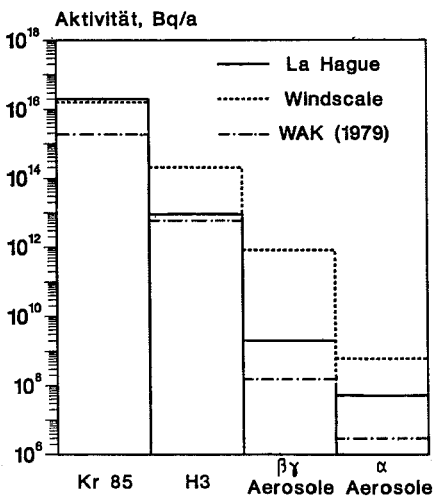


Bild 4: Ableitung mit der Fortluft (1980)

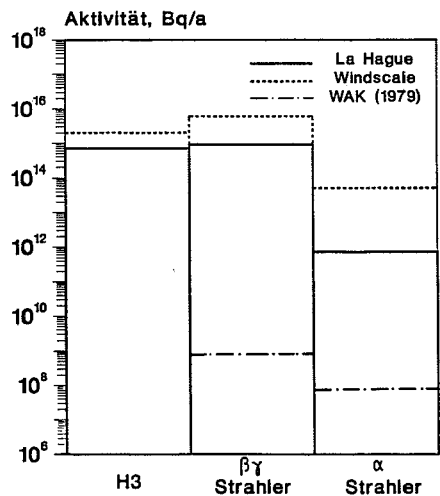


Bild 5: Ableitung mit dem Abwasser (1980)

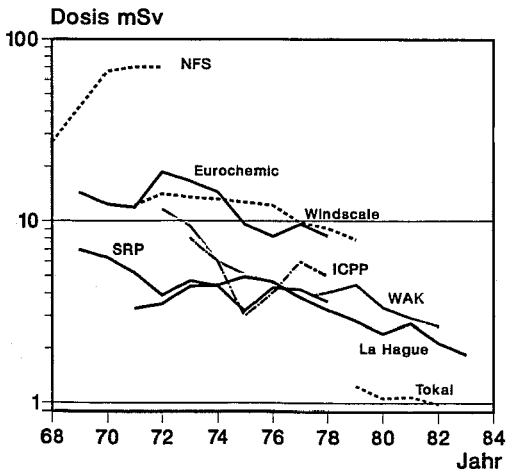


Bild 6: Mittlere Individualdosis in Wiederaufarbeitungsanlagen

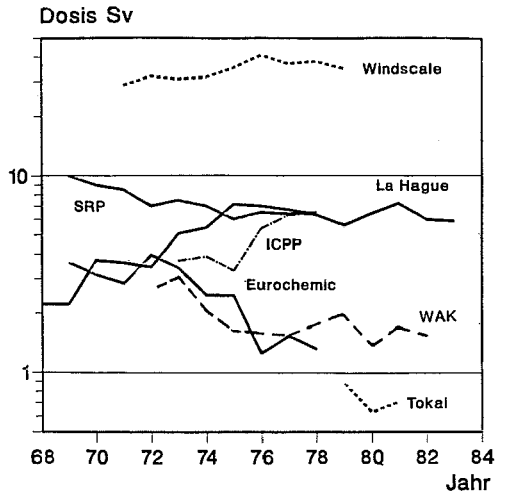


Bild 8: Kollektivdosis in Wiederaufarbeitungsanlagen

**Strahlenexposition der Beschäftigten**  
 Die Auswertung der vorliegenden Betriebserfahrungen zur Strahlenexposition des Betriebspersonals ergibt trotz steigender Durchsätze der Anlagen eine sinkende Tendenz der mittleren Individualdosis durch äußere Bestrahlung (Bild 6). Die einzige Ausnahme hiervon stellt die Anlage der NFS in West Valley dar, die bis zu ihrer Schließung sehr hohe und steigende Strahlenexpositionen der Bedienungsmannschaft aufwies. In den Anlagen WAK, La Hague und Tokai beträgt gegenwärtig die mittlere Individualdosis wenige Prozent des Grenzwerts (La Hague 4 %, WAK 4 bis 8 %, Tokai 2 %) und liegt damit deutlich unter den Dosiswerten anderer kerntechnischer Anlagen. Auch bei der Refabrikation der wiederge-

wonnenen Kernbrennstoffe zu Mischoxid-Brennelementen liegen die mittleren Individualdosen niedrig ( $\approx 10\%$  des Grenzwerts); allerdings ist hier keine sinkende Tendenz festzustellen. Die Dosiswerte bleiben in etwa auf gleicher Höhe (Bild 7).

Die entsprechenden Kollektivdosen für die WAA und die Brennelementherstellung (Bilder 8 und 9) bleiben mit Schwankungen nach oben und unten annähernd konstant, wobei beträchtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagen auftreten, die nicht mit dem unterschiedlichen Durchsatz allein zu erklären sind.

Eine nähere Betrachtung von Teilbereichen zeigt, daß höhere Strahlenexpositionen vor allem bei Instandhaltungsarbeiten,

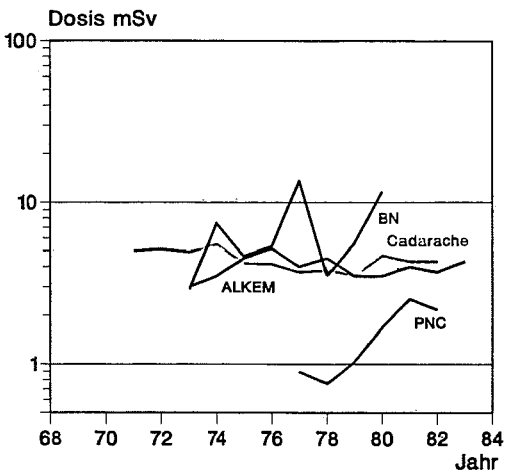


Bild 7: Mittlere Individualdosis der Uran/Plutonium-Brennelementherstellung

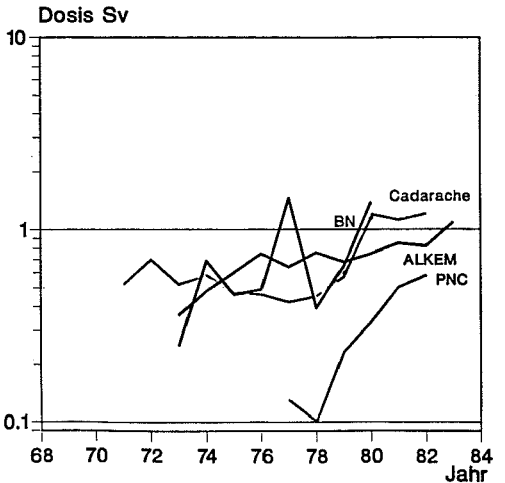


Bild 9: Kollektivdosis der Uran/Plutonium-Brennelementherstellung

bei der Probenahme und Analytik, beim Strahlenschutzpersonal und bei der Abfallkonditionierung auftreten.

Die Anzahl an Überschreitungen von Dosisgrenzwerten und von Inkorporationen radioaktiver Stoffe hat in allen Anlagen nach anfänglich zum Teil hohen Werten (Windscale) drastisch abgenommen. So kam es in La Hague seit 1974 zu nur zwei Fällen von Dosisüberschreitungen (57 mSv, ein Fall bei radiographischen Arbeiten). Die Anlagen Tokai und Savannah River Plant (seit 1969) weisen keine Fälle von Dosisüberschreitungen auf.

Eine Korrelation der Strahlenexposition mit dem Durchsatz der Anlagen zeigt, daß auch diese Kenndaten laufend fallen (La Hague von 5,8 Sv/GWa im Jahr 1975 auf 1,1 Sv/GWa im Jahr 1983).

### Störfälle

Als wesentliche Störfallmöglichkeiten sind in einer WAA zu betrachten:

- Kritikalität,
- Leckage,
- Brand,
- Explosion, exotherme chemische Reaktionen,
- Kühlausfall und Selbsterhitzung radioaktiver Flüssigkeiten,
- Mechanische Einwirkungen, Lastabsturz,
- erhöhte Ableitung radioaktiver Stoffe,
- Einwirkungen von außen.

Eine Betrachtung der Störfallerfahrungen ergibt folgendes Bild:

#### Kritikalitätsstörfälle

Weltweit sind bisher 37 Kritikalitätsunfälle bekannt geworden. Davon traten acht Ereignisse in Wiederaufarbeitungsanlagen oder vergleichbaren chemischen Prozeßanlagen auf. Die übrigen Kritikalitätsunfälle ereigneten sich überwiegend bei der Durchführung von kritischen Experimenten, in Testreaktoren sowie in Versuchs- und Prototypanlagen. Bei den Unfällen in chemischen Prozeßanlagen erhielten zwei Personen des Betriebspersonals tödliche Strahlungs Dosen (LASL 1958, Wood River Junction 1964). 17 weitere Personen wurden erheblich bestrahlt (Ganzkörperdosis > 50 mSv). Dabei handelte es sich stets um Kritikalitätsexkursionen in Lösungen. Als störfallauslösende Ereignisse waren Fehlleitung, Ansammlung von Spaltstoff und falsche Chemikalienzugabe von besonderer Bedeutung. Zur Personendosisüberschreitung kam es nur in ungeschirmten Räumen. In der Umgebung traten weder radiologische noch sonstige Schäden auf.

#### Leckagen

Auslaufstörfälle radioaktiver Flüssigkeiten innerhalb der Betriebsgebäude traten in nahezu allen Anlagen auf. Ein Teil der Leckagen führte zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe durch das Gebäude in den Untergrund oder über Rohrleitungen in die Umgebung. Die größten Freisetzungen dieser Art ereigneten sich in den siebziger Jahren in Hanford und Windscale. So führte in Hanford eine länger andauernde

Leckage aus einem Lagertank, der nur aus C-Stahl gefertigt war, zur Leckage von 435 m<sup>3</sup> hochradioaktiver Abfalllösung ins Erdreich. Neben etlichen weiteren Leckagen versickerte aus einem stillgelegten Gebäude in Windscale über mehrere Jahre eine Menge von 10 m<sup>3</sup> HAW. Mehrmals kam es aus der Anlage Windscale-Sellafield über die Abwasserleitungssysteme zu erhöhten Ableitungen in Oberflächengewässer und in die Irische See; beim letzten Ereignis dieser Art im Dezember 1983 wurden spaltprodukt- und aktinidenhaltige Lösungen aus einer Reinigungskampagne über die Abwasserleitung ins Meer geleitet. Wegen solcher Ereignisse und der hohen betrieblichen Ableitungen traten erhöhte Aktivitäts- und Strahlungspegel an der benachbarten Küste auf, die die Behörden veranlaßten, die Bevölkerung vor einem Aufenthalt am Strand zu warnen. Wesentlich günstigere Betriebserfahrungen liegen aus La Hague, der EUROCHEMIC und der WAK vor, wo es zwar auch zu kleineren Leckagen, zum Teil durch Freisetzung von schwach kontaminiertem Dampf, kam; die radiologischen Auswirkungen lagen jedoch im Schwankungsbereich der Ableitungen im bestimmungsgemäßen Betrieb. Die Leckagen der Auflöser in der WAK und in Tokai führten zwar zu langdauernden Anlagenstillständen, die radiologischen Folgen waren jedoch gering.

#### Brand

Obwohl bei der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mit brennbarem Lösungsmittel im Bereich der Extraktion umgegangen wird, zeigen die Erfahrungen, daß Brände nur selten auftreten und eher Bereiche der Elektroversorgung und Abfallbehandlung betreffen als den eigentlichen Aufbereitungsprozeß. Von Bedeutung für die Auslegung von Stromversorgungssystemen ist vor allem der Brand in La Hague im April 1984, der zu einem Totalausfall der Stromversorgung von etwa einer Stunde führte. Bei entsprechend redundanter Auslegung der Stromversorgungssysteme kann dieses Ereignis sicher verhindert werden.

#### Explosion

1953, bzw. 1959 ereigneten sich in Savannah River und Oak Ridge Verdampferexplosionen aufgrund der Reaktion von sogenanntem red-oil. Diese Explosionen führten zu leichten Personenverletzungen und erheblichen Sachschäden. Weitere explosionsartige Reaktionen durch Zündung von Metallspänen und durch radiochemische Zersetzung von Ionenaustauscherharz (Hanford) verursachten starke Kontaminationen. Die vertiefte Kenntnis der wirksamen physikalisch-chemischen Vorgänge hat dazu geführt, daß diese Störfallmöglichkeiten heute sicher verhindert werden.

#### Sonstige Ereignisse

Von den sonstigen Störfällen ist die exotherme chemische Reaktion von Zirkon-Spaltprodukt-Rückständen mit organischen Stoffen im Gebäude B 204 der Anlage Windscale von besonderer Bedeutung. Dieses Ereignis führte zu so einer starken Kontamination des Gebäudes mit radioaktivem Ruthen, daß das Gebäude mit der LWR-Eingangsstufe nicht mehr in Betrieb genommen wurde. Durch Einwirkungen von außen verursachte, größere Ereignisse sind nicht bekannt geworden. Eine größere Anzahl von Vorkommnissen betrifft den Absturz von Lasten, zum Beispiel von Brennelementen. Diese Ereignisse hatten nur betriebliche Konsequenzen.

### *Besondere Vorkommnisse in der WAK*

Von den im Berichtszeitraum von 1971 bis 1982 gemeldeten Vorkommnissen führten lediglich drei Ereignisse tatsächlich oder möglicherweise zu geringfügigen Überschreitungen von Strahlenschutz-Grenzwerten. Diese Ereignisse waren:

- Ausfall der Kaminüberwachung (1972),
- Plutonium-Inkorporation geringfügig über Grenzwert (1977),
- Strahlenexposition bei einem Mitarbeiter über dem Grenzwert (66 mSv).

In den letzten beiden Jahren traten nur Ereignisse ohne radiologische Folgen auf. Hiervon sind aus sicherheitstechnischer Sicht eine Brennelementverwechslung in der Eingangsstufe und ein Kühlungsausfall bei der HAWC-Lagerung von Bedeutung.

### **Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik**

Die Sicherheitstechnik bei der Wiederaufarbeitung hat sich seit den Konzeptionen für das NEZ Gorleben erheblich weiterentwickelt. Die wesentlichen Ziele dieser Weiterentwicklung bestehen darin, die Sicherheit stärker durch inhärente Eigenschaften oder passive Sicherheitsvorkehrungen zu gewährleisten, die Strahlenexposition des Betriebspersonals weiter zu reduzieren und die Verfügbarkeit der Anlagen zu erhöhen. Bedeutende Fortschritte haben sich vor allem bei der Brennelementlagerung, der Verglasung des HAWC und der Instandhaltungstechnik ergeben.

### **Lagerung der abgebrannten Brennelemente**

Die Entwicklung der trockenen Lagerung von Brennelementen zur technischen Reife und ihre Demonstration im Kernkraftwerk Würzgassen, in Jülich und in der WAK ermöglichen den Verzicht auf die umfangreichen Wasserbecken zur Brennelementlagerung, die bisher vorgesehen waren.

Bei der Trockenlagerung wird der Schutz gegen äußere Einwirkungen durch den Lagerbehälter selbst übernommen. Die Kühlung wird durch Naturzug-Luftkühlung sichergestellt.

### **Verglasung**

Wegen des Fortschritts der Verglasungstechnik für HAWC kann auf die großen Lagertanks für selbsterhitzenden HAWC verzichtet werden. Die Verglasung nach dem französischen AVM-Verfahren ist technisch demonstriert. Mehr als 700 m<sup>3</sup> HAWC sind nach diesem Verfahren verglast worden. Das deutsch-belgische PAMELA-Verfahren verzichtet auf eine vorherige Calcination und verwendet einen keramischen Schmelzofen. Nach inaktiven Verglasungsläufen in Karlsruhe soll in Kürze die Aufnahme des Demonstrationsbetriebs zur Verglasung von HAWC beginnen. Analoge Arbeiten laufen vor allem auch bei den amerikanischen WAA (Idaho, Savannah River, West Valley) zur Verglasung der sehr großen Mengen an HAWC aus der militärischen Wiederaufarbeitung.

### **Instandhaltungstechnik**

Bei der Instandhaltungstechnik in Wiederaufarbeitungsanlagen ist ein allgemeiner Trend zur Fernhandhabungstechnik

unverkennbar. Neben den sicherheitstechnischen Zielsetzungen werden davon erhöhte Verfügbarkeit, größere Flexibilität und Vorteile bei der Montage der Anlagen erwartet. Bereits in den Anlagen Savannah River Plant und Hanford kam eine Instandhaltungstechnik zum Einsatz, die im hoch- und mittelaktiven Bereich der Anlage vollständig mit Fernhandhabungstechnik (Canyon-Technik). Die wesentlichen Züge dieser Technik, die sich über Jahrzehnte bewährt hat, sind:

- Instandhaltung mit Kran unter Fernbedienung,
- direkte Sicht im mittelaktiven Bereich, Periskop im hochaktiven Bereich,
- modulare Bauweise der Anlagenkomponenten,
- abgeschirmte Kran-Service-Zelle.

Diese bewährte Instandhaltungstechnik wird für Neuplanungen weiterentwickelt. Genannt seien hier die FEMO-Technik der DWK und das Instandhaltungskonzept der geplanten Anlage UP-3 in La Hague.

Die FEMO-Technik ist gekennzeichnet durch:

- Instandhaltung durch Kran und zentrales Manipulator-Trägersystem,
- modularen Aufbau der Anlagenkomponenten und Handhabungseinrichtungen,
- Sicht über Fernsehkameras,
- eigenen Servicetrakt zur Instandhaltung.

Demgegenüber geht der Grad an Fernhandhabung in der Planung der UP-3 nicht ganz so weit:

- Geschweißte Prozeßapparaturen werden auf Lebensdauer ausgelegt; die Instandhaltungstechnik entspricht dort weitgehend den bewährten Praktiken der bestehenden Anlage in La Hague.
- Standardauslegung für Austauschkomponenten. Fernbedienbarer Austausch mit Hilfe von speziellen Transferbehältern.
- Modulare Bauweise und Fernhandhabung im Eingangsbereich.

Alle diese Fernhandhabungseinrichtungen werden in umfangreichen Tests in Testständen, meist im Maßstab 1:1, erprobt.

### **Zusammenfassung**

Die Aufarbeitung von LWR-Brennelementen nach dem PUREX-Verfahren ist heute Stand der Technik und wird großtechnisch durchgeführt. Die zugehörigen Verfahren der Abfallbehandlung haben dieses Stadium noch nicht in allen Fällen erreicht; Fortschritte insbesondere bei der Verglasung von HAWC sind erzielt worden.

Trotz unterschiedlicher Betriebserfahrungen mit Ergebnissen in den Anfangsjahren, die aus heutiger Sicht sicherheitstechnisch nicht befriedigen, hat die Sicherheitstechnik in WAA einen Stand erreicht, der einen sicheren Betrieb derartiger Anlagen erwarten läßt.

# Diskussion

A. Tietze (Universität Wuppertal):

Sie haben sich bei der Auflistung von Schutzzielelen für Wiederaufarbeitungsanlagen im wesentlichen auf Strahlenschutzziele und nuklearsicherheitstechnische Ziele beschränkt. Ich vermisse die Angabe von Schutzzielelen auf dem Gebiet des konventionellen Arbeitsschutzes.

Fragen:

1. Sind derartige Schutzziele definiert worden?
2. Welche sind es?
3. Wie sind sie abgeleitet worden?

W. Thomas (GRS):

Selbstverständlich muß eine Wiederaufarbeitungsanlage als eine chemische Fabrik den dafür gestellten konventionellen Schutzzielelen voll entsprechen. Die für die chemische Industrie geltenden Vorschriften zum Arbeitsschutz müssen daher in gleicher Weise erfüllt werden wie in anderen chemischen Anlagen.

Mein Vortrag beschränkt sich im wesentlichen auf die nuklearspezifischen Aspekte und die radiologische Sicherheit, die ja das Arbeitsgebiet der GRS darstellen; deshalb bin ich auf den konventionellen Arbeitsschutz, der durchaus gleichrangige Bedeutung hat, nicht im einzelnen eingegangen.

K. Becker (DIN/NKe):

1. Sind Versuche unternommen worden, die unterschiedlichen Personendosiswerte in Wiederaufarbeitungsanlagen mit den verschiedenen angewandten Meßverfahren – zum Beispiel Film und TLD und ihren spezifischen Eigenschaften wie Genauigkeit, Empfindlichkeit und Stabilität der Anzeige – in Zusammenhang zu bringen?
2. Könnten insbesondere niedrige Neutronendosen bei der Brennelementherstellung damit zusammenhängen, daß die teilweise noch zur Messung verwendeten Kernspurfilm „blind“ für die vorkommenden Neutronenenergien sind?
3. Ist es nach Ihrer Meinung opportun (wie zum Beispiel bei EUROCHEMIC), ein einfaches, billiges, integrierendes Hochdosis-Langzeitdosimeter für Unfälle, besonders Kritikalitätsunfälle, in Wiederaufarbeitungsanlagen als Ergänzung des Routine-Personendosimeters vorzusehen?

W. Thomas (GRS):

Die hier dargestellten Strahlendosen des Betriebspersonals sind die mit den amtlich vorgeschriebenen Personendosimetern gemessenen Dosen. Sie beziehen sich damit auf die aufgenommene Dosis aus  $\beta$ ,  $\gamma$ -Strahlung. Anteile der Neutronenstrahlung sind nicht enthalten.

Bei der Wiederaufarbeitung spielt die Neutronenstrahlung in den stark abgeschirmten Bereichen keine spezielle Rolle, da sie aufgrund der massiven Abschirmungen in den zugäng-

lichen Bereichen schwach ist. Bei Interventionen und im Teilbereich der Brennstoffverarbeitung mit Handtierung von Plutonium sind allerdings erhebliche Anteile an Neutronenstrahlung vorhanden. In den letzten Jahren sind hier, insbesondere im Kernforschungszentrum Karlsruhe, in Cadarache und in Japan, Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung der Neutronen-Personendosimetrie durchgeführt worden.

Es hat sich gezeigt, daß mit modernen Dosimetern, sogenannten Albedo-Dosimetern, Neutronendosen gemessen werden, die bei der Plutoniumverarbeitung Aufschläge von 30 bis 50 % auf die bisher gemessenen  $\gamma$ -Dosen bedeuten. Bisher hat man Neutronenpersonendosen aus Ortsdosismessungen abgeschätzt. Vergleiche mit den Meßwerten der neuen Neutronen-Personendosimeter führen zu ziemlich guter Übereinstimmung. Insgesamt befriedigt jedoch die meßtechnische Erfassung der durch Neutronen verursachten Personendosis noch nicht.

Der Einsatz eines speziellen Dosimeters für Kritikalitätsstörfälle erscheint nicht besonders sinnvoll. Zum einen ist ein Kritikalitätsstörfall in einer modernen Wiederaufarbeitungsanlage während ihrer Betriebszeit nicht zu erwarten. Würde ein solcher Fall dennoch auftreten und trotz der dicken Abschirmungen das Personal noch radiologisch betreffen, so würden wegen der parallel zu den Neutronen auftretenden harten  $\gamma$ -Direktstrahlung und der  $\gamma$ -Streustrahlung aus Abschirmungen auch die derzeit getragenen Dosimeter zum Nachweis ausreichen.

G. G. Eigenwillig (KWU):

Zunächst noch eine kurze Bemerkung zur Frage der Unfallverhütung in Wiederaufarbeitungsanlagen. Es gibt die Problematik der Anwendung konventioneller Unfallverhütungsvorschriften in kerntechnischen Anlagen. Darum hat der BMFT vor einem Jahr ein Vorhaben eingeleitet, das 1985 abgeschlossen werden soll. Es befaßt sich mit dem Thema des Arbeitsschutzes in Wiederaufarbeitungsanlagen.

Meine Frage an Herrn Thomas ist, warum die Kollektivdosis und die Individualdosis der Beschäftigten in der japanischen Wiederaufarbeitungsanlage Tokai so bemerkenswert niedrig ist.

W. Thomas (GRS):

Die Kollektiv- und Individualdosen der Anlage Tokai sind verglichen mit Dosiswerten aus anderen Anlagen in der Tat deutlich niedriger. Eine schlüssige Erklärung hierfür wüßten wir auch gerne, aber unsere Kontakte zu den entsprechenden japanischen Stellen sind begrenzt. Unsere Informationsquelle, eine Veröffentlichung von Ryoji Azo und seinen Mitarbeitern, enthält und zwar Angaben zu den Gesamtpersonalstärken und der Anzahl der Beschäftigten mit meßbaren Dosen; eine Begründung für die sehr kleinen Dosen läßt sich daraus jedoch nicht herleiten.

# Endlagerung im internationalen Vergleich

Von D. Rittig und H. Uhlenbruck <sup>1)</sup>

## Kurzfassung

Mit der Beseitigung radioaktiver Abfälle wird international die gleiche Zielsetzung verfolgt, das Auftreten unzulässiger Mengen radioaktiver Stoffe in der Biosphäre zu verhindern. In den einzelnen Staaten kommen dazu unterschiedliche Konzepte zur Anwendung.

Für schwach- und mittelradioaktive Abfälle wird die Endlagerung als oberflächennahe Lagerung oder durch Versenken im Meer praktiziert. Letztere wurde 1981 ausgesetzt. Staaten, die für diese Abfallarten ein aufwendigeres Konzept verfolgen, überbrücken die Zeit bis zu dessen Realisierung durch eine Zwischenlagerung.

Für die Endlagerung alphahaltiger und hochradioaktiver Abfälle gibt es international vergleichbare und technisch realisierbare Konzepte für eine Lagerung in tiefen geologischen Formationen. Diese befinden sich aber noch im Stadium der Entwicklung und Erprobung. Die vorhandenen Möglichkeiten zur sicheren Zwischenlagerung lassen es zu, die Kenntnisse über die langfristige Endlagerung dieser Abfälle auch noch über das Jahr 2000 hinaus weiter abzusichern und zu vertiefen.

Was die Bundesrepublik Deutschland betrifft, sind die Konzepte fachlich soweit ausgereift und die Planungen und Forschungsarbeiten soweit fortgeschritten, daß die Beseitigung aller anfallenden radioaktiven Abfälle grundsätzlich sichergestellt werden kann.

## Abstract

The disposal of radioactive wastes is internationally aimed at avoiding the presence of inadmissible quantities of radioactive material in the biosphere.

The disposal of low and medium radioactive wastes is performed either by shallow land burial or by submersion into the sea. The latter one has discontinued in 1981. Countries persuing a more ambitious procedure for the disposal of low and medium radioactive wastes use intermediate storage until this procedures can be realized.

Concerning the disposal of  $\alpha$ -emitting and high active wastes, internationally comparable and technically realizable concepts for a disposal in deep geological formations are existing, but, however, still in the trial and development stage. The possibilities available for the intermediate storage permit, to further confirm and to deepen the knowledges on the long term disposal of these wastes until beyond the year 2000. In the Federal Republic of Germany, concepts are matured and plans or investigations have progressed to such a degree, that the disposal of all radioactive wastes expected to come up can be assured.

<sup>1)</sup> Dipl.-Phys. Dieter Rittig und Dr.-Ing. Hermann Uhlenbruck, Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

## Einleitung

Der Einsatz natürlich vorkommender und künstlich hergestellter radioaktiver Stoffe in Industrie, Forschung und Medizin ist bekanntlich verbunden mit der Entstehung radioaktiver Abfälle.

Für die Abfälle besteht weltweit die Verpflichtung einer geordneten, das heißt sicheren Beseitigung. Einheitliches sicherheitstechnisches Ziel ist dabei, das Auftreten unzulässiger zusätzlicher Mengen radioaktiver Stoffe in der Biosphäre, also in dem von Lebewesen bewohnten bzw. bewohnbaren Raum, zu verhindern.

Entscheidenden Einfluß auf die Realisierung der Beseitigung in den einzelnen Staaten haben:

- die unterschiedlichen radiologischen Eigenschaften der Abfälle,
- die jeweiligen nationalen Entsorgungskonzepte,
- die nationalen geologischen Gegebenheiten für die Beseitigung sowie
- die einzelstaatlichen Bestimmungen des Strahlen- und Umweltschutzes.

Die unterschiedliche Wichtung des einen oder anderen Gesichtspunktes führt in den einzelnen Staaten zu verschiedenartigen Beseitigungskonzepten. Die Darstellung von möglichen Varianten der Beseitigung radioaktiver Abfälle und ihre Nutzung ist Inhalt des nachfolgenden Vergleichs. Die Betrachtungen stützen sich dabei auf Informationen aus den Staaten der Europäischen Gemeinschaft (EG-Staaten) und den Vereinigten Staaten von Amerika (USA). Soweit im Einzelfall darüberhinaus erwähnenswerte Entwicklungen und Erfahrungen aus anderen Staaten vorliegen, werden diese in den Vergleich mit einbezogen.

Die Beseitigung der radioaktiven Abfälle hat sich in den einzelnen Staaten, insbesondere vor dem Hintergrund nationaler Gegebenheiten, mit der Zeit unterschiedlich entwickelt. Eine vergleichende Betrachtung ist daher von vornherein erschwert. Zum besseren Verständnis der nationalen Endlagerkonzepte ist es deshalb notwendig, auch die wesentlichen Einflußfaktoren und hier insbesondere

- die Abfälle selbst und
  - die prinzipiellen Möglichkeiten ihrer Beseitigung
- etwas näher zu betrachten.

Aus diesem Grund wird nacheinander auf folgende Punkte eingegangen:

1. Herkunft, Art und Aufkommen radioaktiver Abfälle,
2. Beseitigungsmöglichkeiten für radioaktive Abfälle,
3. Stand der Praxis bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle,
4. Planungen und einschlägige Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für hochradioaktive Abfälle,
5. Zusammenfassender Vergleich.



## Herkunft, Art und Aufkommen radioaktiver Abfälle

Die Herkunft radioaktiver Abfälle ist zurückzuführen auf:

- Kernreaktoren und die dazugehörigen Versorgungs- bzw. Entsorgungsanlagen des Brennstoffkreislaufs,
- Kernforschungszentren und -laboratorien,
- Fabriken, Werkstätten und Krankenhäuser, in denen Radioisotope verarbeitet bzw. angewendet werden.

Unter Kernreaktoren sind dabei zu verstehen:

- Kernkraftwerke,
- Demonstrations- und Prototypkernkraftwerke sowie
- Forschungsreaktoren.

Mit den Versorgungsanlagen sind im wesentlichen angesprochen:

- Uranerzabbau und -aufbereitung,
- Uranhexafluorid (UF<sub>6</sub>)-Konversion,
- Anreicherung und
- Brennelementherstellung.

Entsorgungsanlagen sind

- Wiederaufarbeitungsanlagen sowie eventuell alternative
- Anlagen zur Konditionierung der Brennelemente für eine direkte Endlagerung.

Vom Prinzip her fallen radioaktive Abfälle unabhängig von ihrer Herkunft in mehr oder minder großem Umfang sowohl beim Betrieb als auch bei einer eventuellen Umrüstung sowie einer späteren Stilllegung und Beseitigung an. Das Spektrum der sogenannten Rohabfälle reicht dabei von leichtkontaminierten Reinigungsabfällen bis hin zu kontaminierten und aktivierten Strukturteilen sowie hochaktiven Spaltproduktlösungen. Dabei unterscheiden sich die Abfälle im wesentlichen durch die radiologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften.

Von den chemischen und physikalischen Eigenschaften beeinflussen die unterschiedlichen Aggregatzustände zum einen ganz wesentlich die Abfallbehandlung zur Endlagerung. Zum anderen ermöglichen sie aber auch zum Teil eine direkte Überführung in den Biozyklus. So werden zum Beispiel während des Betriebs von Kernkraftwerken und Wiederaufarbeitungsanlagen entstehende flüssige und gasförmige Abfälle, nach den staatspezifisch geltenden Strahlenschutzvorschriften und unter sachgemäßer Überwachung in Gewässer eingeleitet bzw. an die Atmosphäre abgegeben. Diese Abfälle sind nicht Gegenstand dieses Vergleichs. Dies gilt ebenso für die gasförmigen Isotope H 3, Kr 85, J 129 und C 14, die im wesentlichen aus der Wiederaufarbeitung herrühren. Diese Isotope unterliegen einer besonderen Betrachtung und für eine eventuelle Beseitigung einer ganz speziellen Behandlung.

Es ist verständlich, daß die Unterschiedlichkeit in den Eigenschaften der radioaktiven Abfälle auch zu unterschiedlichen Belastungen der Biosphäre führen kann und damit unterschiedliche Formen der Endlagerung bedingt. Um die Abfälle zumindest in ihren radiologischen Eigenschaften überschaubar zu machen, werden sie üblicherweise klassifiziert. Trotz verschiedener Bestrebungen gibt es jedoch noch keine einheitliche Klassifizierung, die international auch gültig ist.

Tafel 1: Aktivitätskonzentration für vier verschiedene Abfallklassen

Klasse	Aktivitätskonzentration	
	$\beta/\gamma$ in Ci/m <sup>3</sup>	$\alpha$ in Ci/m <sup>3</sup>
schwachaktiver Abfall <b>SAA</b>	$\leq 10^{-1}$	$< 10^{-2}$
mittelaktiver Abfall <b>MAA</b>	$10^{-1} - 10^4$	$< 10^{-2}$
alpha-strahlender Abfall <b>ALPHA</b>	$\leq 10^{-1}$	$> 10^{-2}$
	$10^{-1} - 10^4$	$> 10^{-2}$
hochaktiver Abfall <b>HAA</b>	$\geq 10^4$	$> 10^{-2}$

Für die folgenden Betrachtungen wird eine Abfallklassifizierung zugrunde gelegt, die auf einem Vorschlag der EG [1] basiert. Darüber hinaus werden für den vorliegenden Vergleich Richtwerte für die Aktivitätskonzentration in den einzelnen Klassen definiert (Tafel 1). Die Abfallklassen mit den Richtwerten für die Aktivitätskonzentrationen sind dabei so gewählt, daß sich die Daten über das Abfallaufkommen in den einzelnen Staaten noch am besten vergleichend darstellen lassen. Darüberhinaus haben diese Klassen den Vorteil, daß darauf auch die derzeit angewandten bzw. geplanten Beseitigungsaktionen der Staaten zurückgeführt werden können.

Dementsprechend werden folgende vier Abfallklassen eingeführt:

- schwachaktive Abfälle,
- mittelaktive Abfälle mit vorwiegend kurzlebigen Beta-Gamma-Strahlern und geringer bzw. vernachlässigbarer Wärmeproduktion,
- alphastrahlende Abfälle und
- hochaktive Abfälle, beide mit sehr langlebigen Isotopen und letztere auch mit sehr hoher Wärmeproduktion.

Zur Kategorie der *schwachaktiven Abfälle (SAA)* gehören hauptsächlich Abfälle schwachaktiver Konzentrationen aus den Forschungsanstalten, der industriellen und medizinischen Nutzung der Radioisotope sowie aus den verschiedenen Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs. Die Konzentration der Transurane (Plutonium, Americium usw.) ist in dieser Abfallkategorie praktisch gleich Null.

Die Kategorie der *mittelaktiven Abfälle (MAA)* umfaßt Verfahrensabfälle, die hauptsächlich Beta-Gamma-Strahler in verhältnismäßig hoher Konzentration enthalten. Die Abfälle stammen zum größten Teil aus Kernkraftwerken und Wiederaufarbeitungsanlagen und sind Ionenaustauscherharze, Filtereinsätze, Verdampfungsrückstände usw. Die Konzentration der Alphastrahler ist auch in dieser Abfallklasse praktisch gleich Null.

In der Kategorie der *alphastrahlenden Abfälle (ALPHA)* sind Abfälle zusammengefaßt, die Nuklide enthalten mit zum Teil sehr langen Halbwertszeiten, wie sie in Kernlaboratorien, in denen Transuranforschung betrieben wird, bei

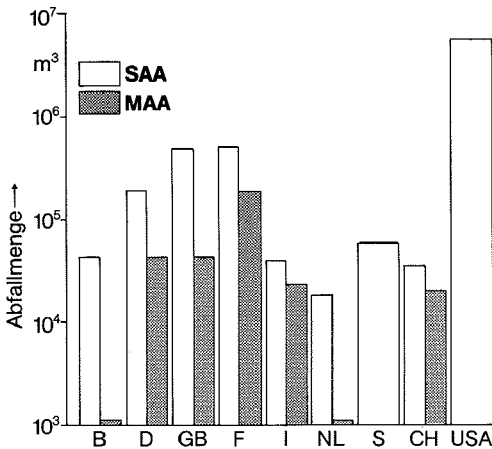


Bild 1: Abfallaufkommen für SAA und MAA bis zum Jahre 2000 (Schätzung)

der Brennelementherstellung, sowie bei der Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente anfallen. Ein Teil dieser Abfälle hat eine im Vergleich zur Alpha-Aktivität schwache spezifische Beta-, Gamma-Aktivität, ein anderer Teil dagegen besitzt eine mittlere spezifische Beta- und Gamma-Aktivität, wie beispielsweise die Endstopfen und Hülsen der Brennelemente.

Die Kategorie der *hochaktiven Abfälle (HAW)* bilden die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung mit hohen Gehalten an alpha- und betastrahlenden Spaltprodukten.

Bezogen auf die so eingeführten Klassen wird das Abfallaufkommen der einzelnen Staaten gegenübergestellt. Dabei wird das bis zum Jahr 2000 kumulierte Aufkommen, das auf den Schätzungen der jeweiligen Staaten basiert

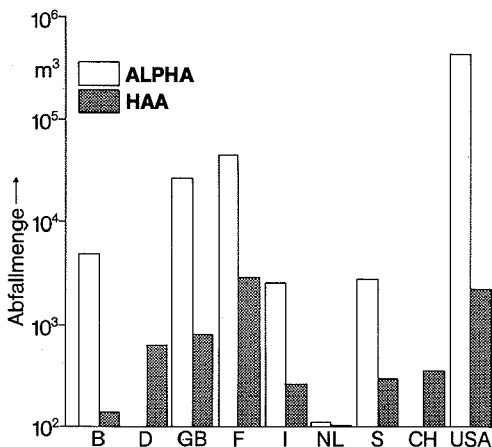


Bild 2: Abfallaufkommen für ALPHA und HAA bis zum Jahre 2000 (Schätzung)

[1, 2, 3, 4] herangezogen. Darin enthalten sind zwangsläufig auch Annahmen über den Umfang des zu verwirklichenden Kernenergieprogramms, die, ausgenommen von Schweden, aus heutiger Sicht zu optimistisch sind. Diese Abschätzungen liegen jedoch den Planungen der Lagerkapazitäten in den einzelnen Staaten zugrunde. Der nicht aus dem Brennstoffkreislauf kommende Anteil in den geschätzten Abfallmengen beträgt jeweils zwischen 15 und 20 %.

Das zu entsorgende Abfallvolumen ist in verschiedenen Staaten sehr unterschiedlich (Bild 1 und 2). Die geringen Mengen von mittelaktivem Abfall in Belgien und den Niederlanden stehen unter anderem im Zusammenhang damit, daß keine Wiederaufarbeitung realisiert ist bzw. realisiert werden soll und mit Rücknahme nach einer Wiederaufarbeitung im Ausland bis zum Jahr 2000 nicht gerechnet wird. In Schweden und den USA wird nicht zwischen schwach- und mittelaktivem Abfall unterschieden.

Im Vergleich zu den schwach- und mittelaktiven Abfällen ist das alphastrahlende bzw. hochaktive Abfallaufkommen generell über eine Zehnerpotenz niedriger.

Die Mengen hochradioaktiver Abfälle für die Bundesrepublik Deutschland resultieren aus den Abfällen der im Ausland wiederaufgearbeiteten Brennelemente. Darüber hinaus ist in der Bundesrepublik Deutschland und in der Schweiz die Kategorie der alphahaltigen Abfälle nicht definiert. Die alphahaltigen Abfälle werden aufgrund der Wahl der Endlagerform in der Klasse der schwach- und mittelaktiven Abfälle mit erfaßt.

Der geringe Anfall hochradioaktiver Abfälle in den USA ist mit dem derzeitigen Verzicht auf eine Wiederaufarbeitung und der Nichtberücksichtigung von abgebrannten Brennelementen in dem Abfallaufkommen zu erklären.

Eine Einschätzung der Größenordnung der angegebenen Abfallmenge ist durch einen Vergleich mit konventionellem Sondermüll möglich. Von letzterem fallen allein in der Bundesrepublik Deutschland jährlich 100mal soviel an wie radioaktiver Abfall in allen EG-Staaten zusammen [5].

### Beseitigungsmöglichkeiten für radioaktive Abfälle

Wie bereits eingangs erwähnt, ist bei einer Beseitigung der radioaktiven Abfälle zu verhindern, daß es zu einer unzulässigen zusätzlichen radioaktiven Belastung der Biosphäre kommt. Als prinzipielle Möglichkeiten einer Beseitigung radioaktiver Abfälle bieten sich an:

- die radioaktiven Abfälle ganz aus der Biosphäre zu entfernen;
- oder
- die radioaktiven Abfälle solange einzuschließen, das heißt von der Biosphäre fernzuhalten, bis sie infolge des radioaktiven Zerfalls keine unzulässige Belastung für diese mehr darstellen, was als „Endlagerung“ bezeichnet wird.

Die Entfernung aus der Biosphäre, das heißt die Überführung in den Weltraum oder in das Erdinnere stellt zumindest zur Zeit noch keine realistische Möglichkeit dar und wird hier auch nicht weiter betrachtet.

Die Wiederverwertung bzw. Beseitigung als konventioneller Abfall erfolgt in der praktischen Anwendung heute im

wesentlichen als Dekontamination von Stahlteilen im Rahmen von Umrüst- bzw. Stilllegungs- und Beseitigungsmaßnahmen. Entscheidenden Einfluß haben hierbei die Vorgaben für die Grenzwerte der Aktivitätskonzentrationen, die in den einzelnen Staaten sehr unterschiedlich sind (Tafel 2). Dabei variieren nicht nur die Bezugsgrößen, sondern auch die Grenzwerte selbst um mehrere Zehnerpotenzen [6], das heißt, in einigen Staaten können bestimmte Abfälle bereits wiederverwendet bzw. konventionell beseitigt werden, die in anderen Staaten noch im Rahmen der atomrechtlichen Genehmigungspflicht geordnet zu beseitigen sind.

Zur Beurteilung der Größenordnung der entsprechenden Grenzwerte beträgt die mittlere natürliche Aktivitätskonzentration im oberflächennahen Erdschicht etwa  $10^{11}$  Ci/g [7].

Für die Bundesrepublik Deutschland existieren keine verbindlichen Grenzwerte. Im Zusammenhang mit Umrüst- und Stilllegungsarbeiten hat sich aber von Seiten der Ländergenehmigungsbehörden der Wert aus § 4 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) eingebürgert. Danach liegt der Grenzwert für die spezifische Aktivität bei einem  $10^8$ -fachen der Freigrenzen pro Gramm aus Anlage IV der StrlSchV [8], das heißt nuklidspezifisch zwischen  $10^{10}$  und  $10^{11}$  Ci/g. Ebenfalls existiert eine entsprechende Grenzwertfestlegung für die zulässige Oberflächenkontamination.

Aus Umrüstaktionen aus deutschen Kernkraftwerken wurden inzwischen mehrere 100 t Stahlschrott aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen [9]. Gemessen am Gesamtaufkommen radioaktiver Abfälle und im Vergleich zur Endlagerung spielt die Wiederverwendung bzw. Beseitigung als konventioneller Abfall jedoch eine untergeordnete Rolle.

Die Problematik der Endlagerung besteht darin, die radioaktiven Isotope solange gezielt am Ort der Endlagerung festzuhalten, das heißt zu immobilisieren, bis die von ihnen bei einer Freisetzung verursachte Strahlenbelastung in der Biosphäre tolerierbar ist. Die Zeiträume, um die es sich dabei handelt, werden durch die Höhe der eingelagerten Aktivität, das heißt durch die Nuklidart und die Abfallmenge, und durch die Halbwertszeiten der gelagerten Nuklide bestimmt. Bekanntlich klingt die Aktivität in zehn Halbwertszeiten um den Faktor 1000 ab. Ganzheitlich gesehen, handelt es sich in etwa um Zeiträume

- größer 100 Jahre für schwachaktive Abfälle,
- größer 1000 Jahre für mittelaktive Abfälle,
- größer 10000 Jahre für alphahaltige und hochaktive Abfälle.

Der Einschluß der radioaktiven Stoffe erfolgt durch physikalisch-chemische, technische oder geologische Barrieren. Ein aufeinander abgestimmtes System mehrerer Barrieren, das in der Sicherheitstechnik bekannte Mehrbarrierenprinzip, garantiert dabei für die erforderlichen Zeiträume die Rückhaltung der Radioisotope von der Biosphäre. Als Barrieren kommen in Betracht:

- die physikalisch-chemische Fixierung der Aktivität in den Rohstoffen bzw. in einer Matrix, in der diese eingebettet sind,
- die mechanisch-technische Stabilität der Rohstoffe bzw. die Matrix umgebenden Behältnisse,
- die technische Auslegung des Lagers sowie

Tafel 2: Grenzwerte der Aktivitätskonzentration für die Beseitigung radioaktiver Abfälle

Land/ Institution	Bezugsgröße	Grenzwert
Österreich	Volumen	$10^{-5}$ Ci/m <sup>3</sup> ( $\sim 10^{-11}$ Ci/g)
IAEA Frankreich Luxemburg Niederlande	Masse	$2 \cdot 10^{-9}$ Ci/g
Grossbritannien		$10^{-11}$ Ci/g
Schweiz	Masse und Strahlenart	$\alpha$ : $2 \cdot 10^{-13}$ Ci/g $\beta/\gamma$ : $2 \cdot 10^{-10}$ Ci/g
Italien DDR Bundesrepublik Deutschland	Masse und Radiotoxizität (4 Nuklid- gruppen)	$10^{-8}$ – $10^{-11}$ Ci/g

- die mehr oder minder tiefen geologischen Schichten und Formationen.

In der praktischen Realisierung werden folgende Endlagerformen unterschieden:

- Versenkung im Meer,
- oberflächennahe Endlagerung,
- Lagerung in mehr oder minder tiefen Kavernen oder Bergwerken,
- Lagerung in tiefen geologischen Formationen;

wobei diese Endlagerformen unterschiedlich für die einzelnen Abfallklassen angewendet werden (Tafel 3). In den Spalten steigt von links nach rechts die Aufwendigkeit der geologischen Barrieren an. In den Zeilen nimmt von oben nach unten die radiologische Signifikanz der Abfälle zu. Die Diagonale zeigt die Endlagerformen, die zumindest zur Anwendung kommen müssen.

Praktisch angewendet wird derzeit nur die Meeresversenkung und die oberflächennahe Lagerung. Die Kavernen- bzw. Bergwerkskonzepte befinden sich in einer konkreten Planungsphase oder bereits im Bau. Die Lagerung in tiefen geologischen Formationen ist im Stadium der Forschung und Entwicklung. Dementsprechend werden hochaktive Abfälle derzeit weltweit noch zwischengelagert.

Eine Ausnahme stellt das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle in einem Salzstock in der DDR am Standort Morsleben dar. Dort wird die Lagerung dieser Abfälle bereits seit 1978 in tiefen geologischen Formationen praktiziert.

Im folgenden wird auf die Endlagerformen, wie sie in den einzelnen Staaten zur Anwendung kommen (siehe Tafel 3), näher eingegangen. Dabei werden auch, soweit vorhanden, die Betriebserfahrungen mit angesprochen.

Als erstes wird die Versenkung radioaktiver Abfälle im Meer diskutiert. Diese Einlagerungsvariante stellte für die europäischen Staaten die erste praktikable Möglichkeit einer Endlagerung schwach radioaktiver Abfälle dar.

Als nächstes wird die oberflächennahe Endlagerung behandelt, da sie heute die einzige praktizierte Form der Endlagerung ist.

Tafel 3: Nutzung der Endlagerformen

Klasse	Endlagerformen					
	Ver-senkung im Meer	oberflächen-naher Lagerung	Kavernen oder Bergwerke	tiefe Geologie		
				Granit	Granit	Ion
SAA	B, CH, GB NL, I	F, USA, GB CDN	CH, S D	D DDR		
MAA		F, USA, GB CDN	CH, S D, GB	D DDR		B
ALPHA			D, GB F	D DDR USA	CH S USA USA	I B USA
HAA				D NL USA	CDN CH GB F, J S USA	B I USA
	Praxis		Planung	F+E		

Die Kavernenlagerung bedingt ganz spezielle geologische Gegebenheiten insbesondere klüftenlose Granitformationen in geringen Tiefen, und wird darüberhinaus noch mit einer sehr aufwendigen Lagertechnik durchgeführt, wie am Beispiel von Schweiz und Schweden kurz gezeigt wird.

Schließlich werden die F+E-Arbeiten für die Endlagerung insbesondere der hochaktiven Abfälle für die Wirtsgesteine Salz, Kristallgestein zum Beispiel Granit und Ton diskutiert.

Wie stellt sich nun in diesem Vergleich das Endlagerkonzept der deutschen Bundesregierung dar?

1. Die Versenkung radioaktiver Abfälle im Meer wird lediglich beobachtet verfolgt und wissenschaftlich begleitet.
2. Für eine oberflächennahe Endlagerung gibt es zur Zeit nur vorläufige Überlegungen.
3. Die geologischen Gegebenheiten für eine Endlagerung in Kavernen sind nur beschränkt vorhanden.
4. Für alle radioaktiven Abfälle wird daher ausschließlich das Konzept der Lagerung in tiefen geologischen Formationen verfolgt.

Da für die nicht oder nur gering wärmeproduzierenden Abfälle, das sind schwach-, mittel- und alphahaltige Abfälle, das vorhandene Eisenerzbergwerk Konrad genutzt werden soll, ist diese Lagerform in Tafel 3 in der Spalte „Kavernen oder Bergwerke“ berücksichtigt.

Auf den gegenwärtigen Stand der Planungen und Forschungsarbeiten zur Endlagerung wird Professor Röthemeyer im nachfolgenden Beitrag am Beispiel der geplanten Endlagerstätten Konrad und Gorleben eingehen. Deshalb sollen an dieser Stelle nur einige kurze Anmerkungen gemacht werden.

Zur Durchführung eines umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsprogramms erwarb die Bundesregierung im Frühjahr 1965 das ehemalige Salzbergwerk Asse. Ziel dabei war es einerseits, generelle Fragen der Errichtung und des Betriebs eines Endlagerbergwerks für alle festen Abfälle zu klären. Andererseits sollten auch im großtechnischen Maßstab Methoden für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen in einem Salzstock erprobt werden.

Im Rahmen dieser Versuchsprogramme wurden bis zum Auslaufen der Einlagerungsgenehmigung Ende 1978 rund 125 000 Fässer schwach- sowie 1300 Fässer mittelradioaktiver Abfälle eingelagert [10]. Dies entspricht fast dem gesamten bis dahin angefallenen Abfallaufkommen. Die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden seit Januar 1979 ohne Einlagerung radioaktiver Abfälle fortgeführt. Vorrangig sind dies heute geologisch orientierte Untersuchungen für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle unter anderem mit speziell hergestellten Glaskokillen mit radioaktiver Beladung.

Die Realisierung eines Endlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle soll in naher Zukunft mit der Eisenerzgrube Konrad erfolgen. In der Zeit von 1976 bis 1982 wurde in einem Forschungs- und Entwicklungsprogramm die Eignung der Schachtanlagen aus bergtechnischer Sicht nachgewiesen. Der derzeit vorgesehene Grubenbereich kann für die Endlagerung von etwa 400 000 m<sup>3</sup> radioaktiven Abfalls genutzt werden, was auch bei den schon gezeigten Abfallmengen, bis über das Jahr 2000 ausreichen würde.

Für das gesamte Spektrum der Abfälle, einschließlich der hochradioaktiven Abfälle und eventuell direkt endgelagerter Brennelemente soll der Salzstock in Gorleben genutzt werden. Seit 1979 wird der Salzstock in einem umfangreichen Standortuntersuchungsprogramm von über Tage aus untersucht, dem ein untertägliches Erkundungsprogramm folgt.

### Praxis der Endlagerung

Die derzeitige Praxis der Endlagerung radioaktiver Abfälle beschränkt sich, wie schon erwähnt, auf die Versenkung im Meer und die oberflächennahe Endlagerung.

### Versenkung radioaktiver Abfälle im Meer

Die Versenkung schwachradioaktiver Abfälle im Meer wurde von 1967 bis 1981 im Nordostatlantik durchgeführt. Am Versenkungsort, der 700 km von den Küsten Spaniens und Irlands entfernt liegt, beträgt die Meerestiefe etwa 4000 m. An der Versenkungsaktion beteiligten sich die Staaten Großbritannien, Niederlande, Belgien und Schweiz. Tafel 4 zeigt die in diesem Zeitraum versenkten Abfallmengen und die zugehörigen Aktivitäten, aufgeteilt nach Beta-, Gamma-, Alpha- und Tritium-Aktivität. Entsprechend der Londoner Konvention von 1972 – einem Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen – sind Maximalwerte für die spezifische Aktivität und die Aktivität pro Versenkungsaktion

Tafel 4: Versenkung radioaktiver Abfälle im Meer

Zeitraum:	1967–1981
Mengen:	86 000 t
β/γ-Aktivität:	440 000 Ci
α-Aktivität:	12 500 Ci
Tritium-Aktivität:	430 000 Ci

festgelegt worden (Tafel 5). Die tatsächlich versenkten Abfallaktivitäten liegen zum Teil um Größenordnungen unter den zugelassenen Grenzwerten [11].

Tafel 5: Versenkung radioaktiver Abfälle im Meer: Aktivitäten und Grenzwerte

Nuklide	Aktivitäten der versenkten Abfälle	Aktivitätsgrenzwerte
$\alpha$	0,1 Ci/t	1 Ci/t
$\beta/\gamma$	5 Ci/t	100 Ci/t
Tritium	5 Ci/t	$10^9$ Ci/t

### Oberflächennahe Endlagerung

Die oberflächennahe Endlagerung wurde von den hier betrachteten Staaten bisher nur von Großbritannien, Frankreich und den USA und zwar für schwach- und mittelaktive Abfälle durchgeführt (Tafel 6). In Kanada wird diese Lagerform als rückholbare Lagerung praktiziert.

#### USA

In den USA wird seit 1962 die oberflächennahe Endlagerung in Gräben in lehmigem Sand betrieben. Die ersten drei errichteten Anlagen sind Mitte der 70er Jahre wieder geschlossen worden [12, 13]. Anlaß waren überdurchschnittliche Konzentrationswerte der Radionuklide H 3, SR 90 und Cs 137 in der Umgebung. Eine Untersuchung der NRC ergab, daß die Ursachen auf Schwächen in der Grabenabdeckung und im Drainagesystem zurückzuführen waren. Eine Überschreitung der zulässigen Dosisgrenzwerte wurde jedoch nicht festgestellt.

In den heute noch betriebenen Anlagen sind bei verbesserter sicherheitstechnischer Auslegung inzwischen etwa 800 000 m<sup>3</sup> radioaktiven Abfalls endgelagert worden. Bei einer derzeit bestehenden Lagerkapazität von etwa 4 Millionen m<sup>3</sup> sind in diesem Jahrhundert keine Engpässe zu erwarten. Die Betriebserfahrungen der heute betriebenen Anlagen zeigten bisher keine unerwarteten Ereignisse.

#### Frankreich

Frankreich verfügt seit 1969 mit dem „Centre de la Manche“ über ein oberflächennahes Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle [14]. Bis 1983 wurden etwa 220 000 m<sup>3</sup> feste Abfälle entgegengenommen, zum Teil dort konditioniert und endgelagert. Bei einer Gesamtkapazität von etwa 400 000 m<sup>3</sup> können bis Anfang der 90er Jahre radioaktive Abfälle endgelagert werden. In absehbarer Zeit erfolgt daher die Festlegung eines neuen Standortes.

Die Endlagerung mittelaktiver Abfälle erfolgt derzeit in Betonstrukturen, sogenannten „Monolithen“. Darüber werden die schwachaktiven Abfälle gestapelt und mit einer Erdabdeckung versehen, was dann insgesamt als „Tumulus“ bezeichnet wird. Dabei kommt ein aufwendiges überwachtes Drainagesystem zur Anwendung.

Aufgrund der bisherigen Betriebserfahrungen sowie umfangreicher Sicherheitsanalysen wird in Frankreich das mit dieser Endlagerart verbundene Risiko für die Umwelt als akzeptierbar angesehen.

#### Großbritannien

In Großbritannien erfolgt die oberflächennahe Endlagerung seit Anfang der 70er Jahre ebenso wie in den USA in Gräben [15]. Die Gräben werden durch ein Drainagesystem entwässert. Die Neigung des Geländes der am Meer liegenden Standorte und der darunter liegenden Lehmschicht gewährleistet, daß das Grundwasser zum Meer abfließt. Bei einer Gesamtkapazität von 1,5 Millionen m<sup>3</sup> und einem Lagerbestand von 500 000 m<sup>3</sup> sind keine Kapazitätsschwierigkeiten zu erwarten.

Über wesentliche Betriebsstörungen liegen keine Informationen vor. Eine vom Umweltministerium eingesetzte Arbeitsgruppe stellte fest, daß unter radiologischen Gesichtspunkten kein Anlaß bestand, die Genehmigungsaufgaben zu revidieren.

### Planungen, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Lagerung in Kavernen

In der Schweiz ist vorgesehen, schwach- und mittelaktive Abfälle in Kavernen einzulagern [2, 16]. Mehrere Standorte in klüftenlosen Granitformationen werden derzeit untersucht und dazu umfassende bau- und anlagentechnische Projekte ausgearbeitet. Die aufwendige Lagertechnik besteht darin, daß neben einer zusätzlichen Betonumhüllung für mittelaktive Abfälle die Abfallbinde in den Endlagerkavernen sukzessive einbetoniert werden. Darüberhinaus werden die verbleibenden, nicht beladbaren Hohlräume, ebenfalls mit Beton verfüllt. Nach der vollständigen Beladung des Endlagers erfolgt dies dann auch für die Empfangsanlagen und die Verbindungs- und Zugangsstollen.

Während in der Schweiz noch keine Standortfestlegung erfolgt ist, hat die schwedische Regierung den Bau eines ähnlichen Lagers bereits bewilligt. Das Endlager wird in Forsmark rund 100 km nördlich von Stockholm in einer Granitformation vor der Küste mit einem Lagervolumen von zunächst 110 000 m<sup>3</sup> eingerichtet [3, 17]. Die Inbetriebnahme ist für 1988 vorgesehen.

Tafel 6: Oberflächennahe Endlagerung radioaktiver Abfälle

Land	Anlage	Inbetriebnahme	Gesamtkapazität in m <sup>3</sup>	Lagerbestand in m <sup>3</sup>
USA	diverse Anlagen	ab 1962 bereits geschlossen	$1,8 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^5$
	diverse Anlagen	ab 1965	$3,6 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^5$
F	Centre de la Manche	1969	$4,0 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^5$
GB	Dounreay	1972	$3,4 \cdot 10^4$	
	Drigg	1971	$1,5 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^5$

## Tiefe geologische Formationen

Für hochradioaktiven Abfall aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente bestehen in allen Staaten Konzepte für eine Einlagerung in tiefen geologischen Formationen. Für die Wahl einer geeigneten Endlagerformation ist von wesentlicher Bedeutung

- die Langzeitstabilität der geologischen Formationen insbesondere unter dem Einfluß der lokalen Wärmebeanspruchung durch den hochaktiven Abfall,
- die Sorptionseigenschaften des Wirtsgesteins und Deckgebirges im Hinblick auf das Migrationsverhalten der langlebigen Radionuklide,
- die hydrogeologischen Eigenschaften der geologischen Formationen hinsichtlich des Auslagungsverhaltens des zur Einlagerung kommenden Abfallprodukts.

Wie schon gezeigt, sollen drei verschiedene Gesteinsformationen zur Anwendung kommen und zwar

- Salz,
- Kristallgestein, zum Beispiel Granit, und
- Ton.

Entsprechend den geographischen und geologischen Gegebenheiten wird in den einzelnen Staaten der einen oder der anderen Gesteinsformation der Vorzug gegeben. Beispielsweise in den Niederlanden, der DDR und der Bundesrepublik Deutschland dem Salz, in Kanada, Schweden, Schweiz, Frankreich, Großbritannien und Japan dem Kristallgestein sowie in Belgien und Italien dem Ton. In den USA werden alle obengenannten Formationen untersucht.

Vorkommen und Eigenschaften einer Gesteinsformation werden mit Hilfe aufwendiger geologischer und geohydrologischer Untersuchungen zum Beispiel durch Tiefbohrungen und untertägige Erkundungen ermittelt. Neben diesen standortspezifischen Untersuchungen werden in einigen Staaten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im wesentlichen zum thermomechanischen Verhalten des Wirtsgesteins und zur Nuklidmigration in untertägigen Untersuchungsstätten durchgeführt (Tafel 7) [16].

Auf das Migrationsverhalten der Radionuklide hat aber auch das Abfallprodukt und hier im wesentlichen die Verfestigungsmatrix einen entscheidenden Einfluß.

Tafel 7: Forschungsprogramme in untertägigen Untersuchungsstätten

Land	Untersuchungsstätte	Geologische Formation
Belgien	Mol	Ton
Bundesrepublik Deutschland	Asse	Salz
Kanada	Lac du Bonnet	Granit
USA	Nevada Test Site	Tuff
Schweden	Stripa-Mine	Granit
Schweiz	Felslabor Grimsel	Granit/Gneis

Forschungsarbeiten haben gezeigt, daß die Verfestigung von hochradioaktiven Abfällen in einer Matrix mit geringen Auslaugraten technisch machbar ist und zum Beispiel mit der Verglasung auch großtechnisch schon angewendet wird. Darüberhinaus erleichtert die Verfestigungsmatrix in Kombination mit dem Endlagerbehälter (zum Beispiel in Form einer gasdicht verschweißten Edelstahlkokille) die Handhabung im Endlager und die Zwischenlagerung.

Nicht alle Staaten haben sich bereits heute für eine Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente entschieden. Deshalb werden alternativ Untersuchungen zur direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente durchgeführt. Umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Realisierung unter sicherheitstechnischen Gesichtspunkten sind zum Beispiel in den USA, Schweden und der Bundesrepublik Deutschland in der Bearbeitung. Dabei werden die gleichen geologischen Formationen wie für die Endlagerung der hochaktiven Abfälle in den jeweiligen Staaten zugrunde gelegt. Ziel der Untersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland ist, eine Beurteilung zu ermöglichen, ob die direkte Endlagerung zu entscheidenden sicherheitsmäßigen Vorteilen gegenüber dem Entsorgungsweg mit Wiederaufarbeitung führen kann [18]. Diese Untersuchungen werden Ende dieses Jahres abgeschlossen, so daß mit einer abschließenden Bewertung in 1985 zu rechnen ist.

## Zusammenfassender Vergleich

Mit der Beseitigung radioaktiver Abfälle wird international einheitlich das Ziel verfolgt, das Auftreten unzulässiger zusätzlicher Mengen radioaktiver Stoffe in der Biosphäre zu vermeiden. Alle Staaten haben eine Konzeption für die Beseitigung radioaktiver Abfälle. Hauptsächliche Art der Beseitigung ist allgemein die Endlagerung.

Für schwach- und mittelaktive Abfälle wird die Endlagerung als oberflächennahe Lagerung und durch Versenkung im Meer praktiziert. Letztere wurde 1981 ausgesetzt. Die oberflächennahe Endlagerung wird in Frankreich, Großbritannien, den USA und mit Einschränkungen auch in Kanada durchgeführt. Andere Staaten verfolgen für diese Arten von Abfällen ein aufwendigeres Konzept und überbrücken die Zeit bis zur Realisierung durch eine Zwischenlagerung.

Die Betriebserfahrungen mit der oberflächennahen Endlagerung liegen selbstverständlich noch nicht für die notwendigen Zeiträume von 100 und mehr Jahren vor. Die bisherigen Erfahrungen und die praktizierten Techniken stützen jedoch das Vorgehen der betreffenden Staaten, diese weiter bzw. erweitert anzuwenden. Entscheidend ist dabei auch, daß es hier im Gegensatz zu der gezeigten Kavernenmethode zum Beispiel möglich ist, gegebenenfalls noch nachträglich Maßnahmen zu ergreifen. Aufwendige Endlagertechniken für schwach- und mittelaktive Abfälle – wie beispielsweise die Lagerung in Kavernen oder Bergwerken – erweitern die Umfänge der Planung, Entwicklung und Nachweisführung. Inwieweit sich diese Techniken überhaupt für schwachaktive bzw. mittelaktive Abfälle gegenüber einer oberflächennahen Lagerung auszeichnen, werden letzten Endes die Betriebserfahrungen zeigen.

Allgemein zwischengelagert werden derzeit die alphasaltigen und hochradioaktiven Abfälle. Für die Endlagerung gibt es international vergleichbare und technisch realisierbare Konzepte, die sich aber noch im Stadium der Entwicklung

und Erprobung befinden. Die vorhandenen Möglichkeiten zur sicheren Zwischenlagerung lassen es zu, die Kenntnisse über die langfristige Endlagerung dieser Abfälle auch noch über das Jahr 2000 hinaus weiter abzusichern und zu vertiefen.

Was die Bundesrepublik Deutschland betrifft, sind die Konzepte fachlich soweit ausgereift und die Planungen und Forschungsarbeiten soweit fortgeschritten, daß die Beseitigung aller anfallenden radioaktiven Abfälle grundsätzlich sichergestellt werden kann. Insbesondere läßt der derzeitige Kenntnisstand über die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in einer Salzformation erwarten, daß ein Endlager dieser Art als erstes in der Bundesrepublik Deutschland in Betrieb gehen wird. Mit der Eisenerzgrube Konrad wird darüberhinaus Ende der achtziger Jahre eine Endlagerstätte für alle anderen Abfälle zur Verfügung stehen.

#### Schrifttum

- [1] Mitteilung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften an den Rat: Erster Bericht über Lageranalyse und Perspektiven zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Gemeinschaft, EG-Dokument 7651/83, Bundesrat-Drucksache 295/83 vom 26. Juni 1983
- [2] Rometsch, R.: Nuclear Waste Management in Switzerland; IAEA-Bulletin, Vol. 24, No. 2, 1982
- [3] Bjurström, S., E. Svenske: The Swedish Program for Spent Fuel and Waste; Nuclear Europe 10/84
- [4] Spent Fuel and Radioactive Waste Inventories and Projections: US Department of Energy, DE 82, 307, NTIS September 1981
- [5] Simon, W.: Sonderabfallproblem beginnt mit der Abfallentstehung, VDI-Nachrichten, Nr. 10, 9. März 1984
- [6] Bischof, W.: Freigrenzenregelung für die Beseitigung radioaktiver

Abfälle im internationalen, inländischen und ausländischen Recht — eine rechtsvergleichende Übersicht; Fachverband für Strahlenschutz; IRPA-Regionalkongreß, Köln 1979; FS-79-20-T, Mai 1980

- [7] Bonka, H.: Strahlenexposition durch radioaktive Emissionen aus kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb. Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1982
- [8] Verordnung über den Schutz von Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung) vom 13. Oktober 1976. BGBl. I Nr. 125, 20. Oktober 1976
- [9] Ramcke, K.; D. Brandt; G. Knackstedt: KKW: Schadlose Verwertung von 900 t radioaktiver Komponenten; Atomwirtschaft, Oktober 1984
- [10] Endlagerung radioaktiver Abfälle. PTB aktuell, Ausgabe 9, Februar 1983
- [11] Luckner, C.; H. Kautsky: Entsorgung radioaktiver Abfälle durch Meeresversenkung. Fachheft Entsorgung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 2, Februar 1982
- [12] Data Base for Radioactive Waste Management. NUREG/CR-1759 Vol 1, November 1981
- [13] New Directions in US Waste Management: Zusammenfassung der Waste-Management-Konferenz in Tucson 1982. Nucl. Engineering International, Mai 1982
- [14] Gauvenet, A.: Prinzipien des französischen Entsorgungskonzepts, Atomwirtschaft, Aug/Sept. 1981
- [15] Hill, M.D.; I.F. White: Radiological Impact of Disposal of UK Solid Radioactive Waste, Present and Future. Nuclear Energy, 1982, Vol. 21, Aug. No. 4
- [16] Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA): Konzept der nuklearen Entsorgung in der Schweiz, 1983
- [17] Gries, W.: Die nukleare Entsorgung in Schweden, Atomwirtschaft, Mai 1983
- [18] Closs, K.D.; K. Einfeld; A. Jacobi; M. Pirk: Technik der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente. Atomwirtschaft, August/September 1984

## Diskussion

### R. Neider (BAM):

Herr Rittig, Sie haben erwähnt, daß die schadlose Verwertung von frei dekontaminierten Materialien aus Kernkraftwerken (KKW) eine untergeordnete Rolle spielt.

Ich meine, daß diese Wiederverwertung und vor allem auch die schadlose Beseitigung von schwach radioaktiven Abfällen, die gemäß Atomgesetz als nicht mehr radioaktiv angesehen werden müssen, künftig, wenn mehr KKW stillgelegt und abgerissen werden, eine nicht geringe Rolle spielen wird.

Zu Ihrer Bemerkung über die Praxis in der DDR meine ich, daß dort in einem ehemaligen Salzbergwerk praktisch schwach- und mittelaktiver Abfall endgelagert und nicht nur geforscht wird.

Was die oberflächennahe Vergrabung radioaktiver Abfälle in USA, England und Frankreich betrifft, so haben Sie gezeigt, daß diese Praxis sich dort bewährt hat und sicher ist. Deshalb ist es meines Erachtens nicht gerechtfertigt, wenn wir immer behaupten, wie es heute morgen hier auch geschehen ist, daß wir in der Bundesrepublik an der Weltspitze im Hinblick auf die Beseitigung radioaktiver Abfälle stehen.

### D. Rittig (GRS):

Zu den von Ihnen vorgetragenen Kommentaren möchte ich folgendes bemerken:

1. Die schadlose Verwertung von Stilllegungsabfällen wird sicherlich in Zukunft mehr an Bedeutung gewinnen. In dem von mir betrachteten Zeitraum bis zum Jahre 2000 sind die aus dem Geltungsbereich der jeweiligen nationalen Atomgesetze entlassenen Abfallmengen jedoch noch gering.
2. Das von Ihnen erwähnte Endlager für radioaktive Abfälle in Morsleben in der DDR stellt in der von mir gezeigten Tafel 3 tatsächlich eine Ausnahme dar. An diesem Standort wird ein Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle betrieben, das sich nicht mehr im Stadium der Forschung und Entwicklung befindet.
3. Die Bemerkung, daß wir in der Bundesrepublik Deutschland führend bei der Beseitigung radioaktiver Abfälle sind, bezieht sich in meinem Vortrag lediglich auf den Kenntnisstand über die Beseitigung hochradioaktiver Abfälle.

M. Laser (KFA):

Sie haben festgestellt, „daß die Beseitigung aller anfallenden radioaktiven Abfälle grundsätzlich sichergestellt werden kann.“ Im Vorjahr hat jedoch der BMFT ein Strategiegespräch zur Beseitigung von Sonderabfällen durchgeführt. Zu diesen Sonderabfällen gehören Tritium, C-14, Radium und I-129. Gegen die Endlagerung dieser Isotope in begehrbaren Endlagern bestehen erhebliche Vorbehalte.

Glauben Sie, daß unter diesem Gesichtspunkt die Beseitigung in der Bundesrepublik tatsächlich sichergestellt ist?

Sollte vielmehr nicht insbesondere für Tritium auch die Versenkung im Meer betrachtet werden? Die Versenkung ist

von deutschen Fachleuten als unbedenklich bezeichnet worden, wenn sie im bisherigen Umfang weitergeführt wird.

D. Rittig (GRS):

Die von Ihnen angesprochenen Sonderabfälle habe ich bewußt in meinem Vortrag ausgeklammert. Diese Abfälle unterliegen einer besonderen Betrachtung und für eine eventuelle Beseitigung auch einer ganz speziellen Behandlung, für die sicherlich in den notwendigen Zeiträumen auch geeignete technische Lösungen gefunden werden. Zur Zeit ist es jedoch vordringlicher, zunächst einmal die anderen radioaktiven Abfälle tatsächlich endzulagern.

## Die geplanten Endlagerbergwerke Gorleben und Konrad

Von H. Röthemeyer <sup>1)</sup>

### Kurzfassung

Die Erarbeitung praxistgerechter Endlagerungsbedingungen und die Festlegung von Rahmenbedingungen für die Planung und Erkundung der Endlager Gorleben und Konrad erfolgt auf der Basis einer vollständigen Erfassung und endlagergerechten Kategorisierung der radioaktiven Abfälle. Die Arbeiten führten dazu, daß etwa 95 % des anfallenden Abfallvolumens auch für die Endlagerung in der Schachtanlage Konrad vorgesehen ist.

Die Projekte Gorleben und Konrad werden weitgehend planmäßig fortgeführt. Die terminlichen Auswirkungen einer für den Nachweis der langfristigen Sicherheit des geplanten Endlagerbergwerkes Konrad notwendigen Tiefbohrung konnten so begrenzt werden, daß weiterhin mit dem Betriebsbeginn im Jahre 1989 zu rechnen ist.

Die heute angewandten Störfallbetrachtungen zum Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern sind so gut begründet und führen zu so geringen Dosisbelastungen, daß auch dieser Aspekt der Endlagerung als grundsätzlich gelöst angesehen werden kann.

### Abstract

The definition of disposal requirements with due regard to practice, and the establishment of basic conditions for the planning and investigation of the Gorleben and Konrad repositories are made on the basis of an overall registration and repository-specific categorization of the radioactive waste. The work carried out resulted in about 95 % of the waste volume being envisaged for disposal in the Konrad mine.

The Gorleben and Konrad projects are being continued practically according to schedule. As regards the dates already fixed, the effects of a deep drilling which has to be sunk to prove the long-term safety of the planned Konrad repository mine, could be limited to such an extent that it is still to be expected that operation can be started in 1989.

The examination of possible incidents carried out to prove the long-term safety of repositories is so well founded and the exposure rates obtained are so low that this aspect of disposal, too, can be regarded as settled in principle.

### Urteilsfindung über die Eignung geologischer Formation für die Endlagerung radioaktiver Abfälle

Die Erstellung technischer Anlagen und Produkte erfolgt in der Regel nach Vorschriften, die durch Gesetze, Verordnungen, Kriterien, Regeln, Richtlinien und Normen qualitativ und/oder quantitativ vorgegeben sind. Diese Vorschriften beruhen auf den mit den jeweiligen Anlagen und Produkten gemachten Erfahrungen und ihrer Bewertung. Sie werden laufend an den Stand von Wissenschaft und Technik und die Erfordernisse des Allgemeinwohles angepaßt. Sind alle zu beachtenden Vorschriften bei Planung, Bau und Betrieb der Anlagen bzw. Produkte nachweislich eingehalten worden, gelten sie als „sicher“. Eine Sicherheitsanalyse, in der das Versagen vorschriftsmäßig errichteter und betriebener Systeme und Komponenten unterstellt wird, erfolgt in der Regel nicht.

Die Voraussetzungen, die zur Entwicklung der oben genannten Vorschriften geführt haben, liegen für Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle zum Teil nicht vor, da unter anderem

– die Ingenieurkonzepte von der jeweils vorliegenden

<sup>1)</sup> Prof. Dr.-Ing. Helmut Röthemeyer, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig



nicht normierbaren geologischen Gesamtsituation geprägt werden;

- ihre Anzahl gering und ihre Zweckbestimmung unterschiedlich ist;
- lange Zeiträume zwischen dem Auffahren von Endlagerbergwerken gleicher Zweckbestimmung liegen;
- direkte Erfahrungen zur Beurteilung der Langzeitsicherheit nicht gemacht werden können.

Die erforderliche Sicherheit eines Endlagerbergwerkes in einer geologischen Formation muß daher durch eine Sicherheitsanalyse nachgewiesen werden, die dem System „geologische Gesamtsituation – Endlagerbergwerk – Abfallprodukte“ standortspezifisch Rechnung trägt.

Die Urteilsfindung schreitet daher in Phasen voran. Sie beginnt in der Regel mit weitgehend standortunabhängigen technischen Konzepten des Endlagerbergwerkes und der vorgesehenen Abfallgebinde. Im Eignungsfall endet sie mit der Festlegung der endlagerfähigen Abfallarten und der optimalen Anpassung des Endlagerbergwerkes und der Abfallgebinde an die geologische Gesamtsituation.

#### Endlagerungsbedingungen für radioaktive Abfälle

Der dargelegte Weg zum Eignungsnachweis für ein Endlagersystem bedeutet, daß die Anforderungen an endzulagernde Abfallgebinde unter Berücksichtigung der standortspezifischen Gegebenheiten festzulegen sind. Solche Endlagerungsbedingungen können im Prinzip ohne einen genauen Überblick über die vorhandenen und zukünftig zu erwartenden Abfälle erarbeitet werden. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig (PTB) hat sich jedoch von Anfang an dafür entschieden, diesen Weg auf der Basis einer Erfassung und endlagergerechten Kategorisierung aller Abfälle zu beschreiten. Hierfür sind insbesondere folgende Gesichtspunkte maßgebend:

- Erkundungsmaßnahmen, Planung von Endlagerbergwerken sowie Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und Untersuchungen können dem Abfallaufkommen und den vorhandenen Abfalleigenschaften entsprechend zielgerichtet durchgeführt werden;
- jedes Endlagersystem kann einzeln und in Verbindung mit anderen Systemen unter sicherheitsmäßigen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimiert werden (Endlagerstrategie zur Beantwortung von „Was – wieviel – wann – wohin?“);
- bei der Optimierung der Systeme einschließlich Logistik und Einlagerungsablauf kann das Ziel, letztlich zu weitgehend standortunabhängigen Endlagerungsbedingungen zu kommen, von Anfang an verfolgt werden.

Die von der PTB vorgeschlagene Kategorisierung<sup>2)</sup> [1] berücksichtigt die dargelegten Gesichtspunkte, macht die für eine Sicherheitsanalyse benötigten Angaben für Abfallgebinde erfaßbar und besitzt die notwendige Flexibilität im Hinblick auf zukünftig hinzukommende Abfallgebinde. Darüber hinaus war sie Voraussetzung für die Erarbeitung des Kostenschlüssels bei der Endlager-Vorausleistungsverordnung und wird auch die Festlegung späterer Endlagergebühren auf eine gute Basis stellen können.

2) Einteilung des radioaktiven Abfalls nach Herkunft, Behälter, Fixierung und Abfallart.

Die zur Einlagerung in die Schachthanlage Konrad vorgesehenen radioaktiven Abfälle werden in einer zur Zeit laufenden Sicherheitsanalyse auf ihre Endlagerfähigkeit überprüft. Dies wird im Beitrag von W. Wurtinger und F. Lange näher ausgeführt. Hier sei jedoch angemerkt, daß sich die Kategorisierung auch im Rahmen dieser Arbeiten als Basis zur Formulierung praxisgerechter Endlagerungsbedingungen bewährt hat.

#### Rahmenbedingungen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle

Der kurzfristigen Endlagerbedarfsplanung (etwa bis zum Jahre 2000) liegen die bereits angefallenen und die zu erwartenden Abfallmengen zugrunde. Unter Berücksichtigung der Bestrebungen der Abfallverursacher zur Reduzierung der radioaktiven Abfallmengen ergibt sich eine kumulierte Menge von etwa 300000 m<sup>3</sup>.

Die langfristige Endlagerbedarfsplanung (über das Jahr 2000 hinaus) geht unter anderem von einem elektrischen Energieverbrauch von 2500 Gigawattjahren aus Kernkraftwerken aus. Das führt zu einem Abfallvolumen von etwa 1,6 Mio. m<sup>3</sup>. Es fällt bei der Wiederaufarbeitung (38,8 %), dem Betrieb von Kernkraftwerken (50,4 %), den Großforschungseinrichtungen (6,8 %), der Industrie (1,7 %) und den Landessammelstellen (2,3 %) an.

Auf der Basis der Kategorisierung der radioaktiven Abfälle konnten die Rahmenbedingungen für Erkundung und Planung der Projekte Gorleben und Konrad festgelegt werden.

Der Salzstock Gorleben wird auf seine Eignung für die Endlagerung aller Arten fester und verfestigter radioaktiver Abfälle untersucht, also auch für die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle. In der Schachthanlage Konrad dagegen ist die Endlagerung solcher Abfälle vorgesehen, die eine vernachlässigbare thermische Einwirkung auf das umgebende Gestein haben.

Die genannte Zweckbestimmung führt dazu, daß etwa 95 % des anfallenden Abfallvolumens auch für die Endlagerung in der Schachthanlage Konrad vorgesehen sind. Für diese Abfälle werden somit zwei grundsätzlich unterschiedliche geologische Formationen auf ihre Eignung zur Endlagerung untersucht: Praktisch die Anwendung des Prinzips der „Redundanz und Diversität“ auf die Erkundung von Endlagern.

Ein unmittelbarer Entsorgungsdruck besteht nur für die Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Ihm muß durch die weitere zügige Erkundung des Salzstockes Gorleben, der Schachthanlage Konrad und der Fortführung der Standortuntersuchungen an der Asse Rechnung getragen werden.

#### Stand der Projekte Gorleben und Konrad

##### Gorleben

##### Standorterkundung

Die Arbeiten im Rahmen der übertägigen Erkundung umfaßten hydrogeologische Bohrungen und Salzspiegelbohrungen, den Bau und die Inbetriebnahme von Grund- und Oberflächenwassermessstellen und ein ausgedehntes Sprengseismik-Programm zur Erkundung der Salzstock-Umriss.

Die letzten zwei von insgesamt vier Pumpversuchen an zwei weiteren Standorten werden von Oktober 1984 bis Februar 1985 durchgeführt. Die Pumpversuche dienen der Vertiefung der Kenntnisse über die hydrogeologische Situation.

Die Frage, bis zu welcher Teufe Einflüsse von Deckgebirgs-wässern auf Bereiche unterhalb des Salzspiegels festzu-stellen sind, konnte auch mit der 42. Salzspiegelbohrung nicht abschließend geklärt werden. Hierzu ist zumindest noch eine weitere Salzspiegelbohrung bis 450 m Teufe und gegebenenfalls noch eine Folgebohrung erforderlich. Ein entsprechender Betriebsplan wurde beim Bergamt Celle eingereicht.

Der Schwerpunkt der Arbeiten hat sich auf die Errichtung der Tagesanlagen und Schächte für das Erkundungsbergwerk verlagert. Es soll dazu dienen, ein vollständiges Bild der geologischen Gegebenheiten im Salzstock zu erhalten.

Die Arbeiten zur Vorbereitung der untertägigen Erkundung konnten am 17. November 1983 begonnen werden und laufen ungestört.

Die beiden Schächte werden im Bereich des Deckgebirges im Tiefkälteverfahren abgeteuft. Im Mai wurde mit den für die Herstellung des Frostkörpers benötigten Gefrierbohrungen begonnen, so daß voraussichtlich mit dem Ab-teufen des ersten Schachtes im 2. Quartal 1985 angefangen werden kann.

#### Planungsarbeiten

Die zunächst standortabhängigen Planungsarbeiten werden unter Berücksichtigung der im übertägigen Erkundungsprogramm angefallenen standortspezifischen Erkenntnisse und neuerer Daten insbesondere aus dem Bereich der Wieder-aufarbeitung und direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente fortgeführt.

Die gegenüber den Planungen für das Entsorgungszentrum von 30 cm auf 43 cm vergrößerten Durchmesser und die von 900 W auf über 2 kW erhöhten Wärmeleistungen der Glas-koillien für die Wiederaufarbeitungsanlage (WA 350) führten zur Festlegung zum Teil neuer Randbedingungen für die Bohrlochfelder:

- Bohrlochtiefe: 300 m
- Bohrlochabstand: 57 m
- Stapelverhältnis: 1 : 1
- maximale Salztemperatur: 200 °C
- Zwischenlagerzeit: 30 Jahre
- Endlagerkapazität: 50 Betriebsjahre, elektri-scher Energieverbrauch 2500 Gigawattjahre.

Untersuchungen unter Zugrundelegung einer abschnittweisen Stapelung der Glasblöcke zeigen, daß hierdurch die Zwischen-lagerung zu Lasten des Endlagervolumens deutlich beein-flußt werden kann. Ein Stapelverhältnis von 1 : 3 zum Bei-spiel erlaubt die Endlagerung etwa ein Jahr nach Wieder-aufarbeitung bei Bohrlochabständen von 50 m. Das benötigte Endlagervolumen erhöhte sich allerdings um den Faktor 2,4. Daher kann erst bei Kenntnis des vorhandenen Endlager-volumens, das heißt nach der untertägigen Erkundung, eine Entscheidung gefällt werden. Aus heutiger Sicht ist von der bereits genannten Zwischenlagerung von 30 Jahren auszugehen.

#### F+E-Arbeiten und Untersuchungen

Die standortspezifische Konkretisierung der Planungsarbeiten für Gorleben – auch unter terminlichen Gesichtspunkten – macht es erforderlich, die für dieses Projekt wesentlichen F+E-Arbeiten und Untersuchungen in die Struktur- und Ablaufplanung der PTB einzubeziehen. Die PTB wird hier auch bei Arbeiten aus dem Bereich der Grundlagenfor-schung insbesondere bei der Vorgabe von Terminen und endlagerrelevanter Rahmenbedingungen sowie bei der Er-arbeitung von Alternativen – falls erwartete Ergebnisse nicht erreicht werden – mitwirken müssen.

Neben Untersuchungen zur Festlegung der bereits ange-sprochenen Abfallbasisdaten sind Arbeiten zur Realisierung der bisher in der Asse noch nicht erprobten Einlagerungs-techniken (Bohrlochtechniken) und zum Sicherheitsnach-weis in der Nachbetriebsphase („Wasserpfad“, Geotechnik) bedeutsam.

#### Termine

Bild 1 zeigt den heute gültigen Terminplan. Die Fortführung der übertägigen Erkundung bis zum Jahr 1986 liegt vor allem an den bereits angesprochenen Pumpversuchen. Diese Arbeiten sind nicht terminführend. Bei der terminführenden untertägigen Erkundung ist ein geringer Rückstand von etwa vier Monaten gegenüber dem Rahmenterminplan von 1981 eingetreten. Er kann jedoch noch aufgeholt werden, so daß die Eckdaten des Rahmenterminplanes weiterhin Gültigkeit haben.

#### Konrad

##### Standorterkundung

Die für die Erkundung der Schachtanlage Konrad vorlie-genden Rahmenbedingungen unterscheiden sich grund-sätzlich von denen in Gorleben, da

- die geologische Struktur durch die vorhandene Schacht-anlage bereits erschlossen ist;
- nur die Abfälle mit vernachlässigbaren thermischen Einwirkungen auf das umgebende Gestein endgelagert werden sollen;
- auf den Ergebnissen der seit 1975 vom Institut für Tief-lagerung der Gesellschaft für Strahlen- und Umwelt-forschung (GSF) durchgeführten Untersuchungen [2] aufgebaut wird.

Die Standorterkundung kann sich daher auf für ein Plan-feststellungsverfahren notwendige ergänzende und vertiefende Untersuchungen beschränken.

Die Arbeiten für den Sicherheitsnachweis insbesondere in der Nachbetriebsphase zeigten, daß eine Tiefbohrung zur Untersuchung des Deckgebirges und der Cornbrash-Zone erforderlich ist. Am 2. Juli 1984 wurde der Lokations-betriebsplan und am 6. September 1984 der Betriebsplan zur Errichtung des Bohrplatzes eingereicht. Die Verfahren sind so weit vorangekommen, daß voraussichtlich im Ok-tober mit der Errichtung des Bohrplatzes begonnen werden kann.

Die Planung sieht die Einlagerung in neu aufzufahrenden Feldesteilen und eine Ausdehnung der Einlagerungsbereiche bis zu den bislang nicht erschlossenen 800-m- und 1300-m-Sohlen vor. Dies macht ein untertägiges Erkundungspro-

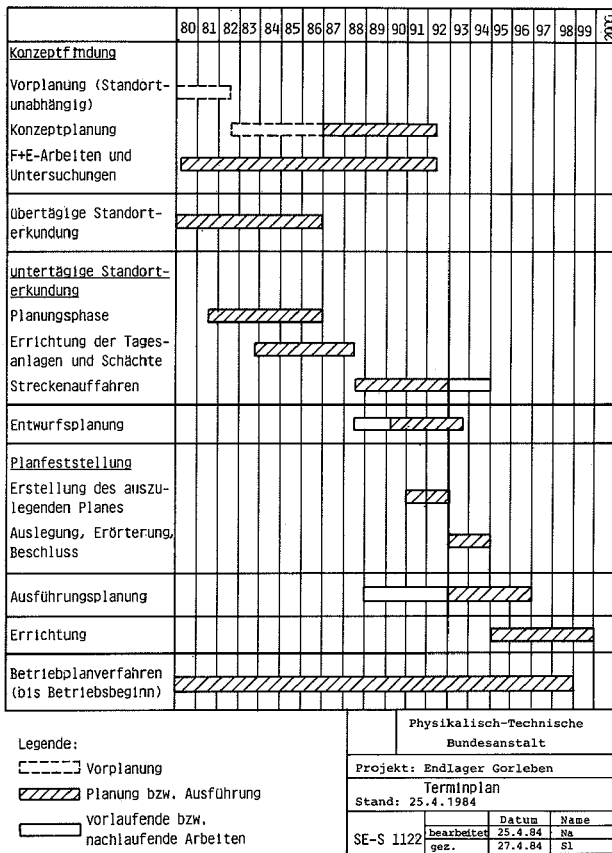


Bild 1: Terminplan für das Projekt Endlager Gorleben

gramm erforderlich; es dient dem Nachweis, daß die in dem bestehenden Grubengebäude gewonnenen Daten auch in den zukünftigen Einlagerungsfeldern gelten. Die Erkundung erfolgt durch Auffahren von Strecken bis an die Grenzen der Einlagerungsbereiche und durch Untersuchungsbohrungen.

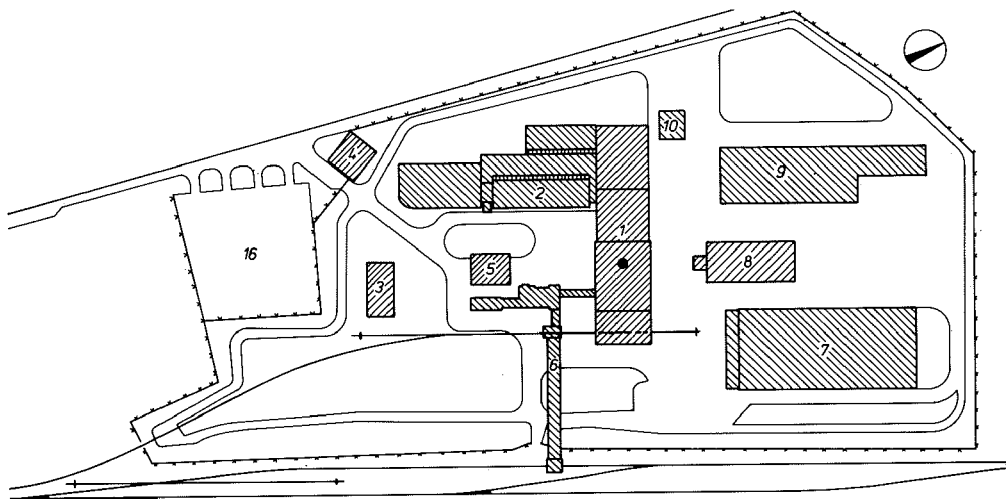
### Planungsarbeiten

Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt bei der Erstellung auslegungsreifer Planfeststellungsunterlagen. Hierzu konnten wesentliche, planungsbestimmende Arbeiten abgeschlossen werden.

Die Funktion der Schächte wurde an die der Planungen für Gorleben angepaßt. Demnach ist der Schacht Konrad 1 Seifahrt-, Förder- und einziehender Wetterschacht, während Schacht Konrad 2 für den Abfallgebindertransport vorgesehen ist. Die Planungsänderung bringt vor allem betrieb-

liche Vorteile; so ist es zum Beispiel bei termingerechter Inbetriebnahme der Schachanlage möglich, alle angefallenen und geeigneten Abfälle bis 1995 einzulagern.

Im Zusammenhang mit der Umstellung der Planungen auf eine getrennte Förderung von Erz und Abfall wurde auch das Handhabungs- und Einlagerungskonzept für die Abfallgebinde auf eine neue Basis gestellt. Um die Strahlenbelastung des Betriebspersonals zu senken, den Durchsatz zu erhöhen, die Handhabung zu vereinfachen und eine verbesserte Zwickelverhüllung zu erreichen, wurde die Faßeinlagerung auf eine Containereinlagerung umgestellt. Einzelgebinde (zum Beispiel verlorene Betonabschirmungen und Gußbehälter) werden auf Tauschpaletten transportiert. Der Transport der Abfalleinheiten im Endlager erfolgt vergleichbar wie in Gorleben, das heißt gleisgebundener Transport über Tage auf Plateauwagen am Förderkorb und gleisloser Transport unter Tage auf Hubtransportwagen zum Einlagerungsort.



1 Schachtanlage einschließlich Anbauten, 2 Verwaltungs- und Sozialgebäude, 3 Verwaltungsgebäude, 4 Wachgebäude, 5 Fördermaschine Süd, 6 Band-, Brech-, Sieb- und Verladeanlage, 7 Materialwirtschaft, 8 Fördermaschine Nord und Umformer, 9 Werkstatt mit Schaltheis, 10 Heizzentrale, 16 Parkplatz

Bild 2: Tagesanlagen Konrad 1

Die Bilder 2 und 3 zeigen Modelle der Tagesanlagen für Schacht Konrad 1 und 2. Bild 4 verdeutlicht den Einlageablauf im Endlagerbergwerk.

### Termine

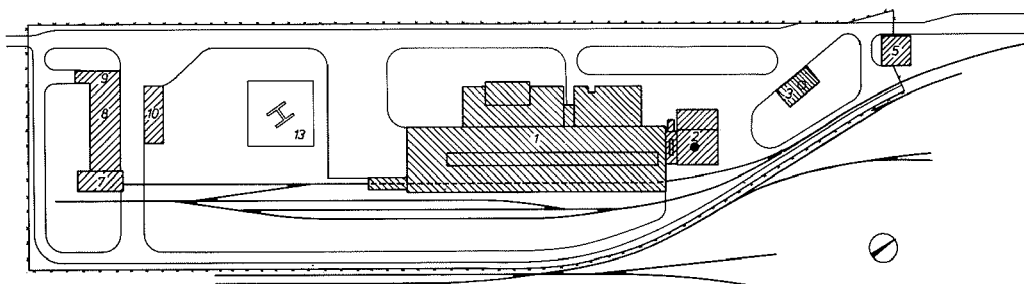
Bild 5 zeigt den Terminplan. Die Tiefbohrung konnte nicht mehr im ursprünglich vorgesehenen Terminplan [3] aufgefangen werden. Die Planungsunterlagen werden daher erst im Dezember 1985 vollständig sein können. Die PTB wird jedoch Plankapitel, die nicht von den Ergebnissen der Tiefbohrung berührt sind, zum ursprünglich vorgesehenen Termin (März 1985) fertigstellen, so daß weiterhin mit dem Betriebsbeginn im Jahre 1989 gerechnet werden kann. Fertiggestellte Plankapitel werden der Planfeststellungsbehörde zum frühest möglichen Zeitpunkt überreicht, damit ihre Prüfung unverzüglich beginnen kann.

### Beurteilung der Langzeitsicherheit

Zweifel an der sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle werden vor allem mit Schwierigkeiten beim Nachweis der Langzeitsicherheit begründet. Obwohl ein direkter Nachweis wegen der langen Zeiträume nicht möglich sein wird, sind die heute angewandten Störfallbetrachtungen so gut begründet und führen wegen der Vielzahl der (passiven) Barrieren zu so geringen Dosisbelastungen, daß auch diese Aspekte der Endlagerung als grundsätzlich gelöst angesehen werden können.

### Zutritt von Lösungen als Beispiel für Störfallbetrachtungen bei Endlagern in Salz

Der sichere Abschluß der radioaktiven Abfälle gegen die Biosphäre muß bei Endlagerbergwerken durch einzelne oder die Summe der Barrieren



1 Umladeanlage, 2 Förderturm mit Schachthalle, 3 Lüftergebäude mit Diffusor und Abwetterkanal, 5 Wachgebäude, 7-10 Betriebshof, 13 Hubschrauberlandemöglichkeit

Bild 3: Tagesanlagen Konrad 2

- Abfallform,
- Verpackung,
- Versatz,
- Endlagerformation,
- Deckgebirge/Nebengestein.

gewährleistet werden [4]. Bei Endlagerbergwerken in Salzgesteinen handelt es sich um praktisch trockene Bergwerke, das heißt die Endlagerformation in Verbindung mit sachgerechtem Versatz kann grundsätzlich den absoluten Einschluß der radioaktiven Abfälle allein übernehmen. Die anderen Barrieren werden nur im Störfall benötigt.

Nach heutiger Kenntnis kann als Störfall nicht ausgeschlossen werden, daß bei der Einbringung stark wärmeproduzierender Abfälle der Hauptanhydrit in der Barriere Salzstock eine Schwachstelle bezüglich möglicher Lösungszuflüsse darstellt [5]; [6]; [7]. Insbesondere könnten durch einen größeren Wärmeeintrag in den Salzstock Voraussetzungen geschaffen werden, bei denen heute geschlossene, verheilte

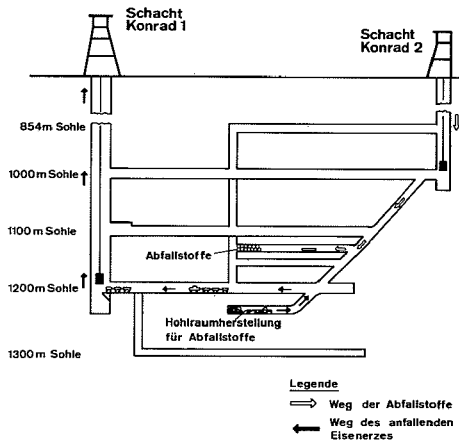


Bild 4: Einlagerungsablauf im Endlagerbergwerk

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989									
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Konzeptplanung</b>																
Standorterkundung unter Tage																
Tiefbohrung																
Abfallbasisdaten																
Einlagerung Abfallgebäude, Grubengebäude und Schächte, Infrastruktur und Hilfsanlagen																
Sicherheitsanalyse																
Sicherungsnachweis																
<b>Entwurfsplanung</b>																
Schachtförderanlagen																
Grubengebäude, maschinelle und elektrische Ausrüstung, äussere Anbindung, Aussenanlagen, Tagesanlagen, kerntechnische und Überwachungseinrichtungen																
Tellergebnisse für auszulegenden Plan																
<b>Planfeststellung</b>																
Erstellung des auszulegenden Planes																
Auslegung, Erörterung, Beschluss																
<b>Ausführungsplanung</b>																
Ausrüstung und Einrichtungen																
Infrastruktur und Hilfsanlagen																
Tagesanlagen und Schachtförderanlagen																
<b>Errichtung</b>																
Umrüstung der Schachtanlage Konrad																
<b>Betriebsplanverfahren (bis Betriebsbeginn)</b>																

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Terminplan			
Stand: 27.06.84			
SE-S 2122	bearbeitet	Datum	Name
	gez.	25.4.84	Sa, Gt
		27.4.84	Sl
Rev.	Datum	Änderung	Name
1	28.6.84	gepl. Tiefbohrung	Sa

Legende:

▨ Planung bzw. Ausführung

□ Nachlaufende Arbeiten

Bild 5: Terminplan für das Projekt Endlager Konrad

Wegsamkeiten erneut wirksam werden. Sicherheitstechnisch relevant sind die Lösungszuflüsse nur in der Nachbetriebsphase für einen begrenzten Zeitraum in den Feldesteilen, in welchen trotz Versatzes eine für Fließbewegungen ausreichende Permeabilität noch vorhanden ist.

Vorläufige Sicherheitsanalysen für Gorleben zeigen, daß auch bei Unterstellung dieses Störfalles Schutzziele eingehalten werden können, die sonst für den bestimmungsgemäßen Betrieb kerntechnischer Anlagen gelten [8].

#### Beispiel für eine Risikobetrachtung

Cohen [9] berechnet die Folgen der Endlagerung in 600 m Tiefe an einem durchschnittlichen Standort. Er unterstellt dabei, daß die Atome des Abfalls mit derselben Wahrscheinlichkeit durch Ingestion aufgenommen werden wie die Gesteinsatome. Der von einem Großkraftwerk jährlich erzeugte und endzulagernde Abfall würde bei dieser Betrachtung langfristig zu 0,02 zusätzlichen Krebstoten führen. Zum Vergleich wird das mit den Abfällen anderer Kraftwerke einschließlich photovoltaischer Konversion verbundene Risiko angegeben. Es liegt um mehr als das Tausendfache höher.

#### Zeitraumen für Sicherheitsbetrachtungen

Da bis heute noch keine vollständigen standortspezifischen Daten für Endlagerbergwerke vorliegen, ist vielfältig versucht worden, das Gefährdungspotential radioaktiver Abfälle unabhängig von der Endlagerformation mit anderen Stoffen aus der Umwelt des Menschen zu vergleichen und daraus Zeiträume abzuleiten, nach welchen keine Unterschiede mehr zwischen der Toxizität der radioaktiven Substanzen und dem Bezugssystem bestehen [6, 10, 11].

Aus diesen Vergleichen können aber absolute Zeitmaßstäbe nicht gewonnen werden, da

- der Radiotoxizitätsvergleich je nach zugrunde gelegter Basis zu sehr unterschiedlichen Zeiträumen (Hunderte bis Millionen von Jahren) führt;
- das Erreichen eines bestimmten Vergleichsniveaus nicht notwendigerweise die Einhaltung von Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung bedingt (das heißt Barrieren müssen noch wirksam sein);
- der Radiotoxizitätsvergleich wichtige, sicherheitsrelevante Faktoren wie zum Beispiel das Freisetzungverhalten nicht betrachtet.

Daraus ergibt sich, daß nur durch eine endlagerbezogene Sicherheitsanalyse unter Einschluß zu unterstellender Störfälle der Zeiträume festgelegt werden kann, in dem die vollständige oder teilweise Funktion einzelner Barrieren gegeben sein muß.

#### Beispiel für den Standort Gorleben

Oben wurde unterstellt, daß durch Wärme induzierte Spannungen vorhandene potentielle Wegsamkeiten für Wasser oder Salzlösungen (erneut) wirksam werden können. Kann weiterhin als Folge dieser Ereignisse ein Zufluß zu den Abfällen mit Nuklidfreisetzung in das Deckgebirge nicht ausgeschlossen werden, so bestimmt der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen Konzentrationen relevanter Nuklide in der „Biosphäre“ den Zeitraum, in dem die vollständige oder teil-

weise Funktion der Barrierewirkung des Deckgebirges nach Eintreten des Ereignisses erhalten bleiben muß. Da die durch Wärme induzierten Spannungen die Ursache für den geschilderten Ereignisablauf sind, kann aus der Berechnung des zeitlichen Verlaufs dieser Spannungen in der Expansions- und Kontraktionsphase des Salzstockes der Zeitraum für den Eintritt dieses unterstellten Ereignisses abgeleitet werden. Beide Zeiträume ergeben zusammen den Gesamtzeitrahmen für die sicherheitsmäßige Beurteilung dieses Störfalles in der Nachbetriebsphase. Hieraus lassen sich zeitabhängige Anforderungen an die Barrieren ableiten.

Nun bleibt zu fragen, wann Störfälle auch ohne wirksame Barrieren keine signifikanten Auswirkungen mehr haben. Hier führen schon einfache Modellbetrachtungen zu brauchbaren Antworten. Sie gehen davon aus, daß der Endlagerbereich einschließlich der radioaktiven Abfälle von Wässern aufgelöst wird. Die Radionuklidkonzentration dieser Salzlösung wird nach Verdünnung auf Trinkwasserqualität mit den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung für die Ingestion verglichen. Es ergibt sich, daß der Zeiträumen, wo Barrieren überhaupt noch wirksam sein müssen, größenordnungsmäßig durch 100 000 Jahre abgesteckt ist [12].

Cohen [9] zeigt für die im Kapitel „Beispiel für eine Risikobetrachtung“ beschriebene Endlagerung, daß die natürliche Radiotoxizität über dem Endlager nach 100 000 Jahren größer ist als im Endlagerbereich selbst.

#### Schrifttum

- [1] Brennecke, P.; D. Ehrlich; H. Illi; E. Viehl; E. Warnecke: „Radioaktive Abfälle endlageregerecht – Erfassung und Kategorisierung radioaktiver Abfälle“. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 34 (1984) Nr. 10, S. 767–770
- [2] Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH: „Eignungsprüfung der Schachanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle“. Abschlußbericht der GSF-T 136, GSF (Institut für Tieflagerung) München 1982
- [3] Röthemeyer, H.: „Stand der Erkundung von Endlagern“. Jahrestagung Kerntechnik 84, Fachsitzung Ver- und Entsorgung, Deutsches Atomforum e.V., Bonn
- [4] „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“. Bundesanzeiger 35 (1983) Nr. 2, S. 45/46
- [5] Zusammenfassender Zwischenbericht über bisherige Ergebnisse der Standortuntersuchung in Gorleben. PTB, Mai 1983
- [6] Herrmann, A.G.: „Radioaktive Abfälle – Probleme und Verantwortung“. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1983
- [7] „Störfälle als Folge des Zuflusses von Wässern oder Salzlösungen in ein Salinar-Bergwerk in steiler Lagerung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle“. PTB Inform.-Blatt 4/82 (1982)
- [8] Memmert, G.: Stenografisches Protokoll der „Öffentlichen Anhörung von Sachverständigen zu dem Bericht der Bundesregierung zur Entsorgung der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Einrichtungen“ am 20. Juni 1984, Deutscher Bundestag, 10. Wahlperiode, Innenausschuß, Drucksache 10/327, S. 31/124
- [9] Cohen, B.L.: „Before it's too late“. Plenum Press, New York and London (1983)
- [10] Haug, H.O.: „Zerfallsrechnungen verschiedener mittelaktiver und actinidenhaltiger Abfälle des LWR-Brennstoffkreislaufs“, Teil II: Radiotoxizitätsvergleich, KFK 3222, Kernforschungszentrum GmbH, Karlsruhe 1981
- [11] Koplik, C.M.; M.F. Kaplan u. B. Ross: „The safety of repositories for Highly Radioactive Wastes“. Rev. Mod. Phys. 54, New York, NY (1982), S. 269/310
- [12] Hollmann, A., et al.: „Modellbetrachtungen zur Freisetzung von Radionukliden aus endgelagerten Abfällen.“ (wird veröffentlicht)

# Diskussion

M. Ellmer (VAK):

Wann werden die Einlagerungsbedingungen bekanntgegeben und wie sieht die Kostensituation für die möglichen Kunden aus?

H. Röthemeyer (PTB):

Bezüglich der Kostensituation ist folgendes zu sagen: Seit Jahren gehen die Vorausleistungsbescheide an Sie als Verursacher heraus. Sowohl vorausschauend, als auch konkret nachprüfbar nach Ende eines Haushaltsjahres, so daß von daher die Verursacher genau Bescheid wissen, um was es hier geht. Wir haben den Verursachern im Gesprächskreis „Entsorgung“ sogar die genauen Kostenplanungen bis zum Jahr 2000 zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus habe ich auf der Jahrestagung Kerntechnik – nachlesbar im Band „Ent- und Versorgung“ – ausführlich die Kostenfrage dargelegt, so daß ich mir das hier ersparen möchte.

Bezüglich der Anforderung an die Abfälle wissen Sie, daß wir im engen Kontakt zu den Verursachern stehen. Hier sind viele Gespräche gelaufen, zum Teil unter dem Dach des BMI. Wir werden unsere Vorstellungen, die für den Plan erarbeitet wurden und die in vielen Teilen schon vorgeklärt sind, nochmals im Laufe dieses Jahres vorstellen und mit den Verbänden und Betroffenen diskutieren. Wir hoffen auch, durch Vermittlung des BMI, mit den Landes-sammelstellen ins Gespräch zu kommen.

G.G. Eigenwillig (KWU):

Die Frage von Herrn Ellmer (VAK) und der Vortrag von Herrn Professor Röthemeyer veranlassen mich zu einem Diskussionsbeitrag.

Die Annahmebedingungen für Abfallgebinde und damit verbunden die Spezifikation von Abfallbinden für die Endlagerung sind erst möglich, wenn die standortspezifischen Sicherheitsanalysen für das Endlager abgeschlossen sind. Dies hat auch Rückwirkungen auf die damit verbundene Produktkontrolle (Qualitätssicherung) für die Abfallgebinde. Dieses Vorgehen ist notwendig, weil Anforderungen an Abfallgebinde und deren Überprüfung sicherheitstechnisch gerechtfertigt werden müssen. Die Ergebnisse der Sicherheitsanalysen liegen bisher nicht abschließend vor. Die Arbeiten für den Luftpfad sind fortgeschritten und dies wird wohl in dem folgenden Beitrag der Herren Dr. Wurtinger und Dr. Lange (GRS) deutlich werden. Für den Wasserpfad liegt bisher nur von PSE ein Modell und keine Sicherheitsanalyse vor, wie Herr Dr. Popp (BMFT) in seinem Beitrag ausgeführt hat.

Herr Professor Röthemeyer hat in seinem Vortrag erwähnt, daß die KWU im Auftrag der PTB Arbeiten zur Erfassung von radioaktiven Abfällen, Verarbeitungsverfahren und Behältern und zur Produktkontrolle durchgeführt hat. Die KWU hat dabei auftragsgemäß die Abstimmung mit den Abfallversuchern gesucht und gefunden.

Wegen des Standes der Sicherheitsanalysen hat die KWU für die Produktkontrolle vierzehn endlagerrelevante Eigenschaften von Abfallbinden abgeleitet, die unter anderem auf den Gefahrgutverordnungen Eisenbahn und Straße und auf der Strahlenschutzverordnung beruhen. Falls die

Sicherheitsanalysen weitere endlagerrelevante Eigenschaften ergeben, können diese leicht in das System der Produktkontrolle eingefügt werden. Wenn zum Beispiel in der Zukunft die Sicherheitsanalysen für den Wasserpfad in der Nachbetriebsphase des Endlagers die Notwendigkeit zeigen sollten, daß Auslaugraten festgelegt werden müssen, so werden diese dann aufgenommen. Dieses Vorgehen bei der Produktkontrolle wurde im März 1983 der RSK vorge-stellt.

Die Abfallerfassung haben wir in Abstimmung mit den Verursachern durchgeführt. Die Abfallerfassung wurde durch äußere Gegebenheiten beeinflusst. So führte in einer Anzahl von Fällen die Ankündigung der Vorausleistungs-verordnung zu einer Reduzierung der Abfallmengen, während die Ankündigung des Planfeststellungsverfahrens für die Schachtanlage Konrad die Variationsbreite der Abfallgebinde durch die Verursacher erhöhte, um der befürchteten Gefahr auszuweichen, gegebenenfalls in der Zukunft vor-kommende Abfallgebinde nicht zur Endlagerung bringen zu können.

Jährlich findet im Haus der Technik in Essen eine Tagung über radioaktiven Abfall und Endlagerung statt. Dort hat im Oktober 1984 Herr Dr. Ambros (Kernkraftwerk Biblis) vorgetragen, welche großen Erfolge bei der Reduzierung der Abfallvolumina durch Änderung der Verarbeitungsverfahren erzielt werden können. Auf derselben Tagung hat Herr Dr. Rosenbaum (MAGS in Düsseldorf) erwähnt, daß eine Volumenreduzierung der bei der Landessammel-stelle abgelieferten Abfälle zu einer Kostensteigerung füh-ren kann. Zur Zeit betragen die Annahmeentgelte knapp 2000 DM je 200-Liter-Faß (Endabfall), sie müßten aber gegebenenfalls in naher Zukunft auf bis zu 6000 DM je 200-Liter-Faß angehoben werden. Dieser Kostenschub habe seine Ursache nicht in einer Explosion der Gehälter und Löhne im Öffentlichen Dienst, sondern beruhe auf den Fixkosten der Landessammelstelle aus Investitionen, Betriebsmitteln und Personal. Diese Fixkosten bleiben, die Abfallmengen, auf die sie umzulegen sind, nehmen aber ab. Ich erwähne dies, um deutlich zu machen, wieviel Bewegung noch auf dem Abfallsektor ist und wie kosten-trächtig sie sein kann.

Um eine kodierte Beschreibung für Abfallgebinde zu er-halten, die einer Vereinfachung dienen soll, hat die KWU Abfallkategorien vorgeschlagen, die auch mit den Verur-sachern abgesprochen wurden. Bei den Abfallkategorien beschreibt ein Buchstabe die Herkunft des Abfallgebindes und jeweils eine Ziffer den Behälter, die Verarbeitungsverfahren und die Abfallart. Die so erzielte Abfallbeschreibung mit den zugeordneten Datenblättern ist eine Grundlage für die Erstellung eines Systems für die Produktkontrolle der Abfälle und Abfallgebinde und für die Bearbeitung der Sicherheitsanalysen. Es ist zu hoffen, daß die Sicher-heitsanalysen im Ergebnis dazu führen werden, die inzwi-schen recht zahlreichen Abfallkategorien zu einer über-schaubaren Anzahl von Abfallklassen zusammenzufassen. Auf diese Weise gibt es auch Rückwirkungen auf die zu-künftige Spezifikation der endzulagernden Abfallgebinde. Und damit schließt sich der Kreis meiner Ausführungen.

(Anmerkung: Detaillierte Ausführungen über das Thema dieses Dis-kussionsbeitrags sind zu finden in: G.G. Eigenwillig, P.W. Brennecke, E.H. Warnecke „Ableitung von Anforderungen an endzulagernde Abfallgebinde und deren Prüfung“. Atomkernenergie · Kerntechnik 44 (2), Seiten 101 bis 104 (1984))

# Vorgehen bei den Störfallanalysen für die Schachtanlage Konrad

Von F. Lange und W. Wurtinger<sup>1)</sup>

## Kurzfassung

Bei der Störfallanalyse für die Betriebsphase der Schachtanlage Konrad wird überprüft, inwieweit die Auslegung der Anlage selbst, als auch die Auslegung der zur Endlagerung vorgesehenen Abfallgebinde den sicherheitstechnischen Anforderungen im Störfall entsprechen.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß ein Endlager so ausgelegt werden kann, daß das Auftreten von Störfällen während der Betriebsphase hinreichend sicher vermieden werden kann oder daß die Störfälle beherrscht werden. Dazu wurde die Auslegung der Abfallgebinde unter Störfallbedingungen eingehend überprüft. Ergebnis dieser Überprüfung sind konkrete sicherheitstechnische Anforderungen an die Auslegung von Abfallgebänden. Sie stellen sicher, daß auch im Störfall keine unzulässigen radiologischen Auswirkungen auftreten können. Dies kann durch Störfallrechnungen in Verbindung mit experimentellen Untersuchungen sowohl zur Freisetzung radioaktiver Stoffe als auch zu Rückhalteprozessen innerhalb der Anlage gezeigt werden.

## Abstract

In the framework of the accident analysis performed for the operating phase of the former iron ore mine Konrad as an ultimate storage facility for radioactive wastes, it has been reviewed, to what extent the design of the plant itself as well as the design of the waste packages designated for storage meet the safety requirements in case of an accident.

The investigations have shown, an ultimate storage facility can be designed in such a way, that accidents during the operating phase can either be avoided with a sufficient degree of reliability or that the consequences of accidents are sufficiently limited. In this context, the layout of waste packages (waste container plus waste form) under accident conditions has been investigated. Results of these investigations form the basis of defined safety requirements assure that even under accident conditions no inadmissible radiological effects may arise. This is substantiated by means of accident calculations in connection with experiments on both the release of radioactive material from waste packages under mechanical and thermal load conditions as well as on retention processes within the facility.

## Einleitung

Das Thema des Vortrages „Vorgehen bei den Störfallanalysen für die Schachtanlage Konrad“ erfordert einleitend eine etwas genauere Spezifizierung. Spricht man von Störfallanalysen in dieser allgemeinen Form, so hat man sich

bei einem Endlager mit der Betriebs- und der Nachbetriebsphase, das heißt der Langzeitsicherheit des Endlagers, auseinanderzusetzen.

Auf sicherheitstechnische Aspekte der Langzeitsicherheit ist Professor Rothemeyer in seinem Beitrag eingegangen. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Betriebsphase eines Endlagers. Im ersten Teil wird die grundsätzliche Vorgehensweise, im zweiten Teil die Ermittlung der radiologischen Auswirkungen bei der „Störfallanalyse für die Betriebsphase der Schachtanlage Konrad“ behandelt.

Eine Störfallanalyse für ein Endlager im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens wurde bisher noch nicht durchgeführt. Sie wirft aber, soweit es die Betriebsphase anbelangt, sicherlich keine grundsätzlichen neuen Fragestellungen auf. Hier ist eher darauf hinzuweisen, daß es sich bei einem Endlager um eine relativ einfache Anlage handelt.

Sowohl die betrieblichen Einrichtungen, als auch die Betriebsabläufe selbst sind einfach, verglichen zum Beispiel mit denen eines Kernkraftwerkes. Komplexe aktivitätsführende Systeme, in denen flüssige Medien unter hohem Druck und hoher Temperatur stehen, sind nicht vorhanden. Bei den Betriebsabläufen handelt es sich um den Transport und den Umschlag von Behältern, in denen die Aktivität in fester an ein Matrixmaterial gebundener Form vorliegt. Die Aktivitätskonzentration im Abfall ist gering und kann nicht zur Selbstheizung führen.

Darüber hinaus wird die Beurteilung der Sicherheit technischer Einrichtungen im Endlager dadurch erleichtert, daß die eingesetzte Technik, die Bergbautechnik, auf jahrzehntelange Betriebserfahrungen zurückgreifen kann.

## Die Störfallanalyse der Betriebsphase

Die Störfallanalyse für die Betriebsphase beinhaltet die Ermittlung der Störfälle, die zu einer Freisetzung von Radionukliden in die Umgebung über den Luftpfad führen können. Für die Betriebsphase ist nur dieser Freisetzungspfad von Bedeutung. Es sind dabei im wesentlichen drei Bearbeitungsschritte zu durchlaufen. Sie sind in Bild 1 gezeigt. Gleichzeitig gibt das Bild einen Überblick über die Punkte, auf die im Verlaufe des Vortrages näher eingegangen werden soll.

Der erste Schritt ist die Ereignisanalyse. Wesentlich für diesen Schritt ist, daß die für die betrieblichen Abläufe in der Anlage wesentlichen Daten bekannt sind. Dazu zählen die Daten zum Anlagenkonzept auf der einen und zu den zur Endlagerung vorgesehenen Abfallgebänden auf der anderen Seite.

Die Ereignisanalyse selbst besteht in einem systematischen Durchleuchten der Anlage zur Identifizierung unerwünschter Ereignisse. Ein Ereignis wird dabei dann als unerwünscht angesehen, wenn es zu einer betrieblich nicht vorgesehenen Belastung von Abfallgebänden führt und dadurch eine Freisetzung radioaktiver Stoffe zur Folge haben kann.

<sup>1)</sup> Dr. Florentin Lange und Dr. Wolfgang Wurtinger, Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln



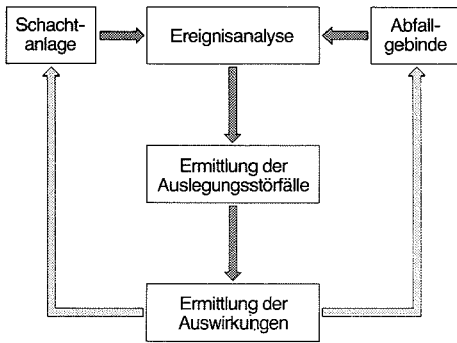


Bild 1: Ablaufschema einer Störfallanalyse (Betriebsphase)

Im zweiten Schritt werden die im Rahmen der Ereignisanalyse aufgefundenen unerwünschten Ereignisse bewertet, zu repräsentativen Störfällen zusammengefaßt und klassifiziert.

Der dritte und letzte Schritt der Störfallanalyse beinhaltet die Ermittlung der Auswirkungen. Dem Begriff Auswirkungen kommt dabei eine zweifache Bedeutung zu. Zum einen sind darunter die radiologischen Auswirkungen zu verstehen. Sie können infolge eines Störfalles in Form einer Strahlenexposition von Personen auftreten. Zum anderen sind aber auch die Auswirkungen auf die Auslegung und Konzeption von Anlage und Abfallgebinde gemeint. In der Phase der Konzeptentwicklung ist die Störfallanalyse eingebunden in einen iterativen Prozeß zur Optimierung des Gesamtkonzeptes.

### Ereignisanalyse

Wie in Bild 1 angedeutet, ist die Voraussetzung zur Durchführung der Ereignisanalyse, auf die nun näher eingegangen werden soll, die Erfassung der relevanten Daten zu Anlagenauslegung, den Betriebsabläufen und den Abfallgebinden.

Einen Einblick in Anlagenkonzept und Betriebsabläufe der Schachtanlage Konrad hat Professor Röthemeyer in

Tafel 1: Abfallbehälter zur Endlagerung radioaktiver Abfälle

Abfallbehälter	Länge/∅ (m)	Breite (m)	Höhe (m)	Max. Gebinde-masse (kg)
VBA-200	1,06		1,37	4000
VBA-400	1,06		1,51	4000
DWK-VBA	1,40		2,00	12500
Gußbehälter I	0,90		1,15	5370
Gußbehälter II	1,06		1,50	9700
Gußbehälter III	1,00		1,24	5200
Container I	1,60	1,70	1,45	≲ 20000
Container II	1,60	1,70	1,70	≲ 20000
Container III	3,00	1,70	1,70	≲ 20000
Container IV	3,00	2,00	1,45	≲ 20000
Container V	3,20	2,00	1,70	≲ 20000

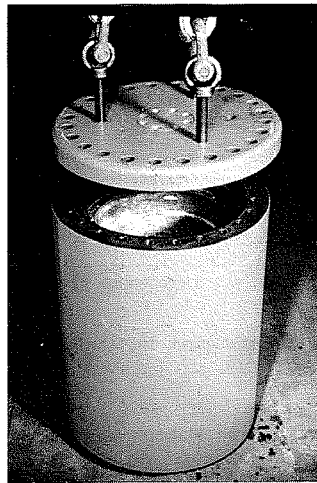


Bild 2: Gußbehälter

seinem Beitrag gegeben. Die Darstellung an dieser Stelle beschränkt sich deshalb unter dem Stichwort „Datenerfassung“ auf einige wenige Beispiele.

Was die Abfallgebinde anbelangt, so liegt hier inzwischen ein sehr umfangreiches Datenmaterial vor, das Angaben über Herkunft, stoffliche Zusammensetzung, Fixierung, Aktivitätsgehalt, Nuklidzusammensetzung und Verpackung der zur Endlagerung vorgesehenen Abfälle umfaßt. Für die Ereignisanalyse sind dabei vor allem die Verpackung, das heißt Form, Abmessungen, Gewicht und Auslegung der Abfallbehälter von Bedeutung.

Tafel 1 gibt einen Überblick über die zur Einlagerung in Konrad vorgesehenen Abfallbehälter zusammen mit zugehörigen Abmessungen und Gewichten. Neben den aufgeführten Containern sind auch noch Rundbehälter vorgesehen; zu ihnen zählen die Fässer mit verlorenen Betonabschirmungen (VBA) und die Gußbehälter.

Bild 2 zeigt ein Beispiel für einen Gußbehälter. In die stabilen und zum Teil mit Gußwandstärken bis zu 22 cm ausgestatteten Behälter werden zum Beispiel unfixierte Kugelharze aus der Primärkühlwasserreinigung von Druckwasserreaktoren, Abwasserkonzentrate oder Coreschrott verpackt.

Welche Betriebsabläufe bei der Einlagerung dieser Abfallgebinde zu analysieren sind, soll am Beispiel des Gebindeumschlags in der übertägigen Anlage der Schachtanlage verdeutlicht werden. Bild 3 zeigt in schematischer Darstellung den Grundriß dieser Anlage mit den für den Gebindeumschlag wesentlichen Einrichtungen. Die wesentlichen Betriebsabläufe in dieser Anlage sind:

- Einfahrt der Lkw bzw. Eisenbahnwaggons durch die Trocknungsanlage in die Umladehalle,
- Entfernen der Transportabdeckungen und Umsetzen der Gebinde mit dem Brückenkran von Lkw bzw. Waggon auf den bereitgestellten Plateauwagen,

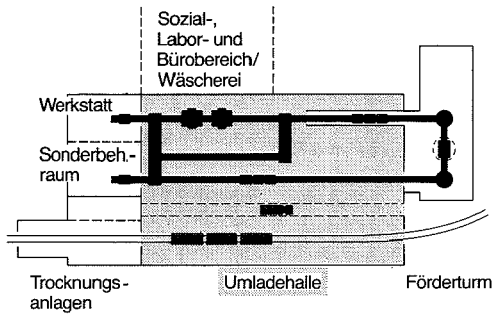


Bild 3: Übertägige Einrichtungen der Schachanlage Konrad am Schacht 2

- Fahrt des beladenen Plateauwagens über einen Querverschub in die Meßboxen der Eingangskontrolle und Verschub des beladenen Plateauwagens in die Schachthalle,
- Drehen des Plateauwagens um 90° und Aufschieben auf den Förderkorb bei gleichzeitigem Abschieben eines leeren Plateauwagens vom Förderkorb,
- Drehen und Verschub des leeren Plateauwagens in die Umladehalle.

Diese Abläufe wurden mittels Checkliste auf das Auftreten unerwünschter Ereignisse hin untersucht. Ein Beispiel für eine solche Checkliste, mit der die einzelnen Schritte im Betriebsablauf auf mögliche Ereignisse und auslösende Ursachen abgefragt werden können, ist in Tafel 2 gezeigt.

Die Analyse aller Betriebsabläufe in der Schachanlage, das heißt

- Anlieferung und Umschlag der Abfallgebände in der übertägigen Anlage,
- Abwärtsförderung der Gebände in der Schachtförderanlage,
- Umschlag der Gebände am Füllort und Transport auf der Strecke zur Einlagerungskammer,
- Umschlag und Ablage in der Einlagerungskammer

hat zur Ermittlung von etwa 50 unerwünschten Ereignissen

Tafel 2: Beispiel für Checkliste zur Auffindung unerwünschter Ereignisse

Ereignisse	Ereignisursachen
● Absturz von Abfallgebänden	● Materialversagen
● Absturz schwerer Lasten auf Abfallgebände	● Gebirgsmechanisches Versagen
● Kollision von Transportmittel mit und ohne Brand	● Handhabungsfehler
● Fahrzeugbrand	● Wartungsfehler
● Anlageninterner Brand	
● Anlageninterne Explosion	

geführt, die hinsichtlich Ursache, Ablauf und Belastung der Abfallgebände dokumentiert wurden.

#### Ermittlung der Auslegungstörfälle

Der Weg von den identifizierten Ereignissen zur Festlegung der Auslegungstörfälle führt

- über eine Zusammenfassung von Einzelereignissen zu repräsentativen Störfällen und
- über eine Bewertung der Störfälle hinsichtlich der zu treffenden Vorsorgemaßnahmen.

Der letztgenannte Schritt soll anhand der Darstellung in Bild 4 näher erläutert werden.

Das Bild zeigt unter den Begriffen Ereignis, Vorsorge und Maßnahmen drei getrennte Felder. Im ersten Feld sind die ein Ereignis charakterisierenden Begriffe aufgeführt. Im zweiten Feld unter dem Begriff Vorsorge ist angegeben, welche prinzipiellen Möglichkeiten es gibt, Vorsorge gegen ein Ereignis zu treffen. Das dritte Feld schließlich enthält die Maßnahmen, die dazu ergriffen werden können, nämlich Maßnahmen im Rahmen der Anlagen- oder der Abfallgebäudeauslegung.

Will man das Ereignis vermeiden, muß man primär Ursache, Ablauf und damit auch die auftretenden Lasten beeinflussen. Zur Begrenzung der Auswirkungen kann es zum Beispiel ausreichen, durch Rückhaltevorrichtungen die Ausbreitung der Schadstoffe zu verhindern. Dies gilt auch für eine entsprechende Gebindeauslegung, die den Quellterm und damit die Freisetzung aus dem Abfallgebände begrenzt.

Diese Zusammenhänge sind durch die zwischen den drei Feldern eingezeichneten Pfeile angedeutet. Sie machen insbesondere deutlich, daß zur Vermeidung eines Ereignisses primär Maßnahmen im Rahmen der Anlagenauslegung getroffen werden müssen. Zur Begrenzung der Auswirkungen dagegen kann sowohl eine entsprechende Auslegung der Anlage als auch die Auslegung der Abfallgebände beitragen.

Bild 5 verdeutlicht diese Vorgehensweise noch einmal anhand eines Ablaufschemas. Die identifizierten unerwünschten Ereignisse werden im oben dargestellten Sinne einer Bewertung unterzogen. Dabei werden die Auslegungstörfälle, die daraus resultieren, hinsichtlich der Art des Vorsorgenachweises in die beiden Gruppen unterteilt:

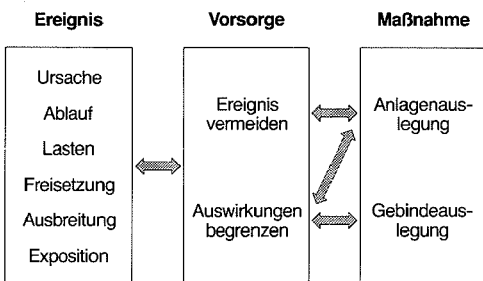


Bild 4: Bewertung unerwünschter Ereignisse

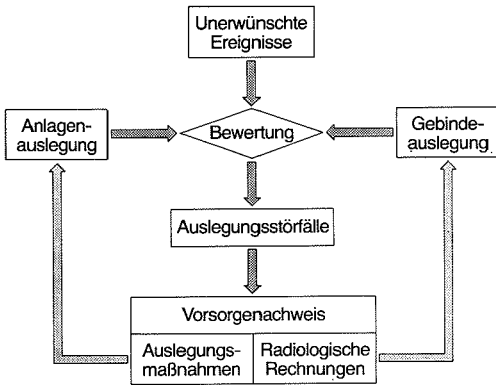


Bild 5: Ermittlung und Charakterisierung der Auslegungsstörfälle

1. Störfälle, die durch Auslegungsmaßnahmen an der Anlage „vermieden“ werden,
2. Störfälle, die in ihren Auswirkungen durch Auslegung der Abfallgebände begrenzt werden.

Bei der zweiten Gruppe wird, falls eine Freisetzung nicht ausgeschlossen werden kann, durch radiologische Rechnungen gezeigt, daß die Grenzwerte gemäß Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) eingehalten werden.

Das wesentliche Problem, das bei dieser Vorgehensweise zu bewältigen ist, wurde bisher noch nicht angesprochen, nämlich die für die Klassifizierung anzulegenden Bewertungskriterien.

Es sind Kriterien, die bei einer ingenieurmäßigen Bewertung herangezogen werden, wie „technische Machbarkeit“, „Aufwand“ und „Effektivität“ einer Maßnahme. Am Beispiel eines „spektakulären“ Störfalles wie dem Ereignis „Fördermittelabsturz im Schacht“ soll dies verdeutlicht werden. Dieser Störfall wurde der ersten Gruppe zugeordnet. Es ist effektiver und technisch „einfacher machbar“, durch Auslegungsmaßnahmen an der Anlage, das heißt in diesem Fall der Schachtförderanlage, sicherzustellen, daß dieser Störfall hinreichend sicher vermieden wird, als eine Vielzahl von Abfallgebänden gegen diesen Störfall auszuliegen. Zur Begründung muß noch einmal auf den in der Einleitung schon erwähnten Sachverhalt hingewiesen werden. Die Bemessung dessen, was „hinreichend sicher“ bedeutet, zum Beispiel im Hinblick auf die Zuverlässigkeit, mit der das Ereignis vermieden werden kann, wird wesentlich dadurch erleichtert, daß

1. das Gefahrenpotential, das bei der Förderung von Abfallgebänden zu beachten ist, gering ist,
2. bei der eingesetzten Technik, der Bergbautechnik auf jahrzehntelange Betriebserfahrungen zurückgegriffen werden kann.

Weitere Beispiele für Störfälle, die der ersten Gruppe zugeordnet werden, sind für Störfälle in der Umladehalle in Tafel 3 gezeigt. Für die aufgeführten Beispiele sind darüberhinaus einige der Auslegungsmaßnahmen genannt, die zur Vorsorge gegen diese Ereignisse getroffen werden.

Tafel 3: Beispiele für Störfälle in der Umladehalle

Störfall	Auslegungsmaßnahmen
Fahrzeugbrand	<ul style="list-style-type: none"> <li>● automatische Brandmeldeanlage</li> <li>● stationäre Sprühflut-Löschanlage in den Betonbanketten der Fahrspur am Gebindeumschlagsort</li> </ul>
Anlageninterner Brand	<ul style="list-style-type: none"> <li>● flächendeckendes automatisches Brandmeldesystem</li> <li>● Wandinnenhydranten, Handfeuerlöscher</li> <li>● Rauchabzugsanlage</li> <li>● in Brandbekämpfung ausgebildetes Betriebspersonal</li> </ul>
Erdbeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Auslegung der Umladehalle und des Brückenkrans auf Standsicherheit</li> </ul>

#### Sicherheitstechnische Bewertung von Abfallgebänden

Störfälle, gegen die Vorsorge durch Auslegung der Abfallgebände getroffen wird, sind in Tafel 4 gezeigt. Die dort aufgeführten Ereignisse können als repräsentativ angesehen werden für alle Ereignisse, die dieser Gruppe zugeordnet wurden.

Unter Zugrundelegung der bei diesen Störfällen für die Abfallgebände auftretenden Belastungen wird der rechnerische Nachweis erbracht, daß aufgrund der Auslegung der Abfallgebände, die radiologischen Auswirkungen unterhalb der Grenzwerte gemäß StrlSchV liegen. Ein prinzipielles Problem dabei liegt in der Unterschiedlichkeit des Abfallspektrums. Sie führt zunächst zu einer Vielzahl von Abfallgebänden, die sich hinsichtlich Aktivitätsgehalt, Abfallprodukt und Verpackung unterscheiden.

Für den Nachweis, daß diese Abfallgebände unter Störfallgesichtspunkten ausreichend sicher ausgelegt sind, gibt es zwei prinzipiell unterschiedliche Möglichkeiten. Sie sind der Darstellung in Bild 6 zu entnehmen.

Der eine Weg läuft über eine Erfassung der Abfalldaten und der Analyse der einzelnen Abfallgebände, die zur Endlagerung vorgesehen sind.

Der andere Weg besteht darin, daß man nicht die Abfallverursacher befragt, welche Abfälle wie konditioniert, das heißt hergestellt und verpackt, an das Endlager abge-

Tafel 4: Repräsentative Störfälle

Betriebsbereich	Störfall
Übertägige Anlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Absturz von Abfallgebänden beim Umschlag aus <math>\leq 3</math> m Höhe</li> </ul>
Untertägige Anlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Absturz von Abfallgebänden bei der Einlagerung aus <math>\leq 5</math> m Höhe</li> <li>● Brand eines beladenen Transportfahrzeuges (<math>T = 800^\circ\text{C}</math>, <math>\Delta t = 1</math> h)</li> </ul>

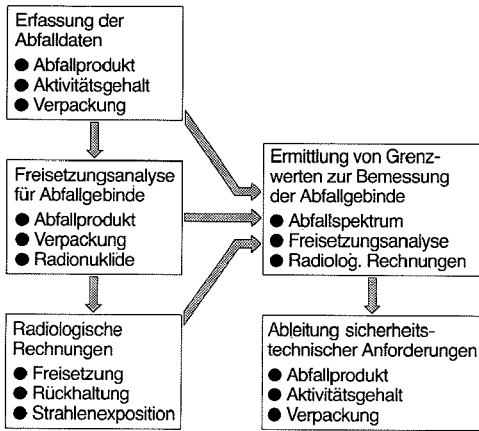


Bild 6: Sicherheitstechnischer Nachweis für die Auslegung der Abfallgebinde

liefert werden sollen, sondern ihnen Anforderungen oder Annahmebedingungen vorschreibt. Diese Anforderungen müssen dabei so gewählt werden, was zum Beispiel an Modellabfällen überprüft werden kann, daß sie die sicherheitstechnischen Erfordernisse gewährleisten.

Wie die in Bild 6 eingezeichneten Pfeile verdeutlichen, werden für die Schachtanlage Konrad beide Wege begangen, allerdings nicht alternativ, sondern in Kombination. Ergebnis dieses Weges sollen sicherheitstechnische Anforderungen an die Abfallgebinde bzw. Annahmebedingungen sein.

Die Voraussetzung dafür, solche sicherheitstechnischen Anforderungen ableiten zu können, wurden dadurch geschaffen, daß zunächst der Weg über die „Erfassung der Abfalldaten“ beschritten wurde. Die Vielzahl der dabei gewonnenen Informationen wurde kanalisiert und benutzt, um zu einem möglichst praxisgerechten Anforderungsprofil zu gelangen.

Nach dem derzeitigen Untersuchungsstand kann auf diese Weise die Vielzahl unterschiedlicher Abfallgebinde zu wenigen Abfallklassen zusammengefaßt werden. Die Arbeiten dazu werden erst Ende dieses Jahres abgeschlossen sein, sie sollen deshalb an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden.

Zum jetzigen Zeitpunkt kann jedoch gesagt werden, daß auf Basis dieser Klasseneinteilung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig konkrete Annahmebedingungen formuliert werden können. Sie werden festlegen, welche Behälter und welche Konditionierung des Abfalls zur Endlagerung geeignet sind und damit wesentlicher Bestandteil der Planfeststellungsunterlagen sein.

## Ermittlung der Auswirkungen

### Generelle Vorgehensweise

Aufgrund der skizzierten Vorgehensweise bei der Analyse unerwünschter Ereignisse während der Betriebsphase des Endlagers sind drei Störfälle als radiologisch repräsentativ klassifiziert worden:

#### 1. übertägig

- Absturz von Abfallgebinden in der Ent- und Umladehalle auf den Hallenboden aus maximal 3 m Höhe

#### 2. untertägig

- Absturz eines Abfallgebundes in einer Einlagerungskammer aus maximal 5 m Höhe,
- Brand eines beladenen Transportfahrzeuges auf einer Strecke.

Die erforderlichen Schutzmaßnahmen gegen diese Störfälle sind getroffen, wenn die ermittelten Strahlenexpositionen die Störfalldosisgrenzwerte des § 28 Abs. 3 der StrlSchV nicht überschreiten.

Die generelle Vorgehensweise bei der Ermittlung von Störfallauswirkungen erfolgt nach dem in den Störfall-Leitlinien des BMI für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktoren aufgeführten Grundsatz:

„Die für die Berechnung der möglichen radiologischen Störfallauswirkungen zu verwendenden Annahmen, Parameter und Rechenmodelle sind so festzulegen, daß für die zu berechnende Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage ein für Planungszwecke hinreichend sicheres Gesamtergebnis zu erwarten ist“.

### Bestandteile der Störfallberechnungen

Die Störfallanalyse bis hin zur Ermittlung der Körperdosen in der Umgebung der Anlage gliedert sich in folgende Bestandteile:

#### 1. Freisetzung radioaktiver Stoffe

- Charakterisierung des Quellterms aus dem Gebinde

#### 2. Rückhalprozesse innerhalb der Anlage

#### 3. Quellterm der atmosphärischen Freisetzung

- Charakterisierung des Quellterms in die Umgebung
- Art der Freisetzung

#### 4. Berechnung der Strahlenexposition

- Expositionsprofile
- Ausbreitungsrechnung
- Dosisberechnung

Die drei zuerst aufgeführten Bestandteile der Berechnung radiologischer Auswirkungen von Störfällen sind abhängig von den spezifischen Randbedingungen der kerntechnischen Anlage:

Im Falle eines Endlagers erfolgt die störfallbedingte Freisetzung aus Abfallgebinden. Inventar, Abfallprodukt und Behältereigenschaften bestimmen die Charakterisierung des Quellterms wie Nuklidzusammensetzung oder Größenspektrum freigesetzter Aerosolpartikel. Rückhalprozesse innerhalb der Anlage auf dem Transportweg vom Störfallort bis zur Freisetzung in die Atmosphäre sind abhängig von den speziellen Gegebenheiten der Anlage. Sie führen zu einem aus der Anlage freigesetzten Quellterm, der sich im allgemeinen von dem ursprünglichen innerhalb der Anlage unterscheidet. Auch die Art der Freisetzung in die Umgebung ist anlagenspezifisch.

Die sich anschließende Ermittlung von potentiellen Strahlenexpositionen erfolgt gemäß den in den Störfallberechnungsgrundlagen festgelegten Berechnungsverfahren. Diese

sind Standardverfahren, die weitgehend auf alle kerntechnischen Anlagen anwendbar sind. Auf spezielle Gegebenheiten beim Endlager, die an wenigen Stellen eine abweichende Vorgehensweise erfordern, wird noch hingewiesen werden.

Auf die Ermittlung der Freisetzungsteile aus Abfallgebänden und die Charakterisierung des Quellterms wird hier nicht detailliert eingegangen. Als Beispiel zeigt Bild 7 die Aerosolgrößenverteilung der bei einem 3 m Fall von zementierten Abfallprodukten freigesetzten Zementstaubpartikel. Dargestellt sind die differentiellen Freisetzungsteile pro  $\mu\text{m}$  Intervall im logarithmischen Maßstab gegen den aerodynamisch äquivalenten Partikeldurchmesser (AED). Die hier ermittelten Freisetzungsteile basieren auf Analysen experimenteller Untersuchungen.

Dem Bild sind folgende Informationen zu entnehmen:

- Die Größenverteilung radioaktiver Zementstaubpartikel steigt zu großen Partikeln hin an.
- Der integral bis heraus zu Partikeln von  $60 \mu\text{m}$  freigesetzte Anteil beträgt rund  $10^{-5}$ . Davon liegt nur etwa 1 % im Größenbereich bis  $10 \mu\text{m}$  und damit im lungen-gängigen Bereich.

In dieser Form werden die aus einem Gebinde mit zementierten radioaktiven Abfällen bei einem 3 m Fall freigesetzten radioaktiven Staubpartikel im allgemeinen nicht in die Umgebung gelangen. Vielmehr sind der Freisetzung störfallerzeugter radioaktiver Aerosole aus der Anlage in die Atmosphäre Rückhalteprozesse vorgeschaltet, die innerhalb der Anlage auf dem Transportweg vom Störfallort wirksam werden. Wichtiger Bestandteil der Störfallanalysen ist die Quantifizierung des Rückhaltevermögens innerhalb der Anlage.

#### Quantifizierung von Rückhalteprozessen

Auf die unterschiedliche Vorgehensweise bei der Ermittlung der Rückhaltung bei Störfällen in der übertägigen Anlage einerseits und in untertägigen Anlagenteilen andererseits wird hier kurz eingegangen:

Beim übertägigen mechanischen Störfall in der Ent- und Umladehalle sind die Randbedingungen wohl definiert:

- Absturz eines Abfallgebändes aus maximal 3 m Höhe,
- räumlicher Bereich in der Ent- und Umladehalle, wo das Ereignis eintreten kann,
- räumliche Abmessung der Halle,
- geschlossene Hallentore,
- Lüftungssystem mit Umluft und definiertem Frisch- und Abluftanteil,
- Anordnung der Abluftöffnungen.

Die konkurrierenden Prozesse der Sedimentation von Staubpartikeln auf horizontalen Oberflächen wie dem Hallenboden und der Abgabe in die Umgebung über das Abluftsystem bestimmen den Quellterm der atmosphärischen Ausbreitung. Dieser läßt sich analytisch bestimmen. Bild 8 zeigt noch einmal die für ein zementiertes Abfallprodukt bei Absturz aus 3 m Höhe ermittelte Verteilungsdichtefunktion der freigesetzten Zementpartikel. Zusätzlich ist das durch Rückhalteprozesse modifizierte, aus der Halle in die Atmosphäre freigesetzte Partikelgrößen-spektrum

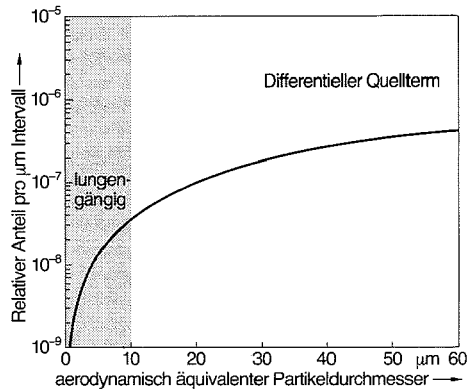


Bild 7: Mechanische Belastung zementfixierter Abfallstoffe (3 m Fallhöhe)

eingezeichnet. Die Effekte der Abscheidung durch Sedimentation auf dem Hallenboden sind deutlich erkennbar, ebenso die für größere Partikel mit dem Quadrat des aerodynamischen Durchmessers ansteigende Abscheideeffizienz. Das Maximum der differentiellen Freisetzungsteile des Quellterms der atmosphärischen Ausbreitung liegt jetzt im Bereich zwischen 10 bis  $20 \mu\text{m}$ . Für Partikel mit aerodynamischen Durchmessern um  $60 \mu\text{m}$  beispielsweise reduziert die Rückhaltung den Quellterm um zwei Größenordnungen.

Zum Vergleich ist eine experimentell im Abluftkamin von Kernkraftwerken ermittelte Größenverteilung radioaktiver Aerosole gegenübergestellt. Während bei aus Kernkraftwerken freigesetzten Aerosolen Partikel kleiner  $10 \mu\text{m}$  dominieren und die Partikelgrößenverteilung zu  $10 \mu\text{m}$  hin abfällt, besteht hier eine ganz andere Situation. Nur ein kleiner Bruchteil der aus der Anlage freigesetzten radioaktiv kontaminierten Zementstaubpartikel liegt im lungen-gängigen Bereich unterhalb von  $10 \mu\text{m}$ . Der überwiegende

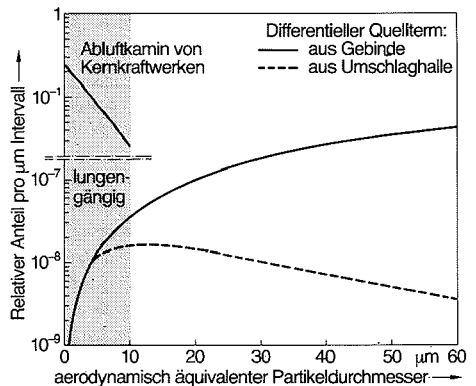


Bild 8: Mechanische Belastung zementfixierter Abfallstoffe (3 m Fallhöhe)

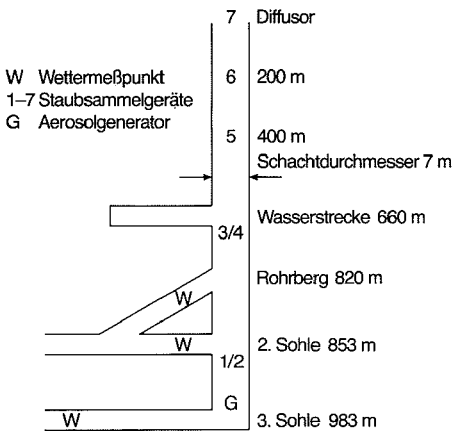


Bild 9: Aerosolausbreitungsexperimente im Abwetterschacht Konrad

Anteil der freigesetzten radioaktiven Stoffe weist Partikelgrößen oberhalb von  $10 \mu\text{m}$  auf.

An dieser Stelle ist es angebracht, kurz darauf einzugehen, wie diesen gegenüber Kernkraftwerken veränderten Randbedingungen bei der Berechnung von Strahlenexpositionen Rechnung getragen wird. Die Parameter in den Störfallberechnungsgrundlagen, die sich bei der Behandlung der atmosphärischen Ausbreitung auf das Ablagerungsverhalten von Aerosolpartikeln beziehen und für Partikel kleiner  $10 \mu\text{m}$  vorgesehen sind, müssen dem veränderten Ablagerungsverhalten größerer Partikel entsprechend angepaßt werden. Bei der trockenen Ablagerung wurden hier Parameter der TA Luft verwandt. Bei der nassen Ablagerung wurde für Partikel größer  $10 \mu\text{m}$  ein größerer Washoutkoeffizient angesetzt.

Die Störfallorte für die beiden übrigen zu analysierenden Störfälle befinden sich unter Tage auf einer Strecke oder in einem Einlagerungsfeld. Freigesetzte Staubpartikel oder Gase können durch die Bewetterung des untertägigen Streckennetzes und der Einlagerungsfelder zum ausziehenden Schacht luftgetragen transportiert werden, anschließend

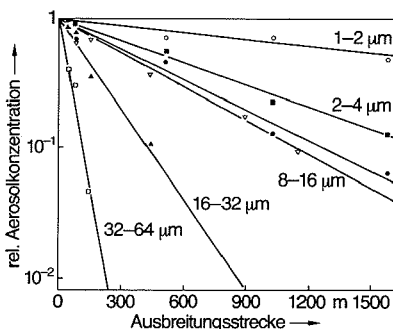


Bild 10: Aerosolexperimente in einer untertägigen Strecke (Wettergeschwindigkeit 1 m/s)

etwa 900 m vom Abwetterstrom schachtaufwärts mitbefördert und schließlich über den 45 m hohen Diffusor in die Atmosphäre freigesetzt werden.

Eine belastbare theoretische Quantifizierung der Abscheideprozesse für Aerosolpartikel, die einen Größenbereich von etwa  $0,1 \mu\text{m}$  bis etwa  $100 \mu\text{m}$  überdecken, ist bei den komplexen untertägigen Randbedingungen kaum möglich. Insbesondere kann die Rückhaltefunktion des fast leeren, nur mit wenigen Einbaustrukturen versehenen, nahe 1 km langen vertikalen Schachtes für größere Aerosolpartikel theoretisch kaum hergeleitet werden.

Daher wurde von uns ein experimentelles Meßprogramm aufgestellt und vom Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung, Hannover, durchgeführt. Ziel der Experimente war die Ermittlung belastbarer Daten zum größenabhängigen Abscheideverhalten von Aerosolpartikeln in untertägigen Strecken und im Abwetterschacht.

Die durchgeführten Experimente lassen sich kurz wie folgt charakterisieren:

- Mit einem geeigneten Aerosolgenerator wurde ein Testaerosol in den luftgetragenen Zustand gebracht, wobei etwa 2 bis 3 kg in einer Stunde versprüht wurden.
- Mit Staubsammelgeräten, die wetterabwärts entlang des Ausbreitungsweges, entweder in einer untertägigen Strecke oder im Schacht positioniert waren, wurden über die Dauer der vorbeiziehenden Aerosolwolke integrierende Staubproben gesammelt. Bild 9 zeigt schematisch eine Meßanordnung im Abwetterschacht. Der Durchmesser des kreisrunden gemauerten Schachtes beträgt 7 m. In diesem Fall befand sich der Aerosolgenerator kurz oberhalb der Einmündung der 3. Sohle in 983 m Teufe. Zwei Staubsammelgeräte waren 130 m höher vor der Einmündung der 2. Sohle positioniert. Zwei weitere befanden sich oberhalb aller Wettereinmündungen auf der Höhe der sogenannten Wasserstrecke. Drei folgende Staubsammelgeräte verteilen sich fast äquidistant über die restliche Schachtlänge bis zum Diffusor. An den beiden unteren Meßstellen wurden jeweils zwei Staubsammelgeräte eingesetzt, um eine weitgehende homogene Verteilung des versprühten Aerosols über den Schachtquerschnitt verifizieren zu können.
- Als Testaerosol wurde für den Größenbereich von einigen Zehntel  $\mu\text{m}$  bis herauf zu  $16 \mu\text{m}$  Ytterbiumchlorid-Aerosol verwandt, das sich über Atomabsorptionsspektrometrie gut gegenüber dem mitgesammelten Hintergrundstaub nachweisen läßt. Die an den verschiedenen Probenahmestellen jeweils noch luftgetragene Aerosolkonzentration wird in diesem Fall mit nach Größenintervallen sortierenden Impaktoren erfaßt.
- Für den Partikelgrößenbereich bis herauf zu  $100 \mu\text{m}$  wurde als Testaerosol Glasstaub eingesetzt, der eine Partikelgrößenverteilung zwischen etwa  $8 \mu\text{m}$  und  $100 \mu\text{m}$  aufwies. Das Glasstaubaerosol zeichnet sich dadurch aus, daß die einzelnen Partikel Kügelchen sind. Sie lassen sich dadurch unter dem Elektronenmikroskop eindeutig gegen die mitgesammelten, in ihrer Form irregulären Partikel des Hintergrundstaubes unterscheiden. Durch Sortieren der auf Bildausschnitten des Elektronenmikroskops sichtbaren Glasstaubpartikel in verschiedene Größenklassen und Auszählen wird die größenabhängige Konzentration des an den einzelnen Probenahmestellen noch luftgetragenen Testaerosols ermittelt.

Die Ergebnisse der Messungen zum Abscheideverhalten von Aerosolpartikeln beim Transport mit der Bewetterung durch untertägige Strecken sind in Bild 10 zusammengefaßt. Aufgetragen ist für verschiedene Partikelgrößenintervalle die jeweils noch luftgetragene Aerosolkonzentration im logarithmischen Maßstab gegen die Ausbreitungsstrecke. Wettergeschwindigkeiten bewegen sich auf den untertägigen Strecken im allgemeinen im Bereich von 1 bis 2 m/s. Für alle Größenfraktionen ergeben die Messungen einen exponentiellen Abfall der Aerosolkonzentration mit dem Ausbreitungsweg. Dies läßt sich auf die turbulenten Strömungsbedingungen der Wetter zurückführen. Bei Partikeln größer als 16 µm dominiert die Sedimentation das Abscheideverhalten. Entsprechend erfolgt die Abscheidung überwiegend auf dem Boden der Strecke. Für den sich nach unten anschließenden Größenbereich zwischen 1 und etwa 16 µm wird das Abscheideverhalten durch turbulente Diffusion bestimmt und erfolgt mehr oder weniger gleichmäßig an allen Oberflächen einer untertägigen Strecke.

Für Partikel im Bereich zwischen 8 und 16 µm geht die luftgetragene Aerosolkonzentration auf 1200 m Strecke um eine Größenordnung zurück, für Partikel zwischen 32 und 64 µm schon nach etwa 150 m Ausbreitungsweg. Aus diesen Messungen ergeben sich die für Störfallanalysen benötigten Daten zu Rückhalteprozessen auf untertägigen Strecken.

Die Ausbreitungsexperimente mit Glasstaubaerosol im Abwitterschacht liefern folgende Ergebnisse:

Die luftgetragene Aerosolkonzentration nimmt hier ebenfalls für eine feste Partikelgröße exponentiell mit dem im Schacht zurückgelegten Weg ab. Die Abscheideeffizienz steigt nach größeren Partikeln hin an. Die Abscheidung erfolgt sowohl an den Schachtwänden als auch an den regelmäßig eingebauten Strukturen der Förderkorbeinrichtung.

### Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich feststellen: Die grundsätzliche Vorgehensweise, wie sie in den Störfalleitlinien des BMI und in den zugehörigen Störfallberechnungsgrundlagen

festgelegt ist, wird in analoger Weise für die Störfallanalysen beim geplanten Endlager Konrad angewandt. Das betrifft zum einen das eingangs dargestellte Vorgehen bei der Analyse unerwünschter Ereignisse, zum anderen das Vorgehen bei der Ermittlung von radiologischen Auswirkungen von Störfällen und den Nachweis der Einhaltung der Störfallplanungswerte. Selbstverständlich muß den speziellen Gegebenheiten eines Endlagers und der einzulagernden Abfälle in geeigneter Weise Rechnung getragen werden:

- Einmal bei der Ermittlung und Charakterisierung des Quellterms bei störfallbedingter Belastung von Abfallgebänden: Hier wurde besonders auf den Beitrag großer Partikel bei mechanischer Belastung eingegangen.
- Dann bei der Bestimmung des Quellterms der atmosphärischen Ausbreitung: Hier wurden die experimentellen Untersuchungen zu Rückhalteprozessen in untertägigen Anlagenteilen kurz skizziert.
- Schließlich wurden bei den Berechnungsverfahren zu potentiellen Strahlenexpositionen Parameter der atmosphärischen Ausbreitung, die sich auf das Ablagerungsverhalten großer Partikel beziehen, entsprechend angepaßt.

Die für die Schachanlage Konrad durchgeführten Analysen haben gezeigt, daß wir ein geeignetes Instrumentarium besitzen, um auch für ein Endlager Störfallauswirkungen zu berechnen und zu bewerten. Die Störfallanalysen sind zum einen Bestandteil des oben angesprochenen iterativen Optimierungsprozesses in der Planungsphase. Sie haben Rückwirkungen für die Planung der Einlagerung gehabt. Zum anderen wird auf der Basis durchgeführter Störfallanalysen für das derzeit für ein Endlager Konrad vorgesehene Abfallspektrum die Einhaltung von Störfalldosisgrenzwerten überprüft. Ergebnisse der bisher durchgeführten Analysen zeigen, daß die Forderungen des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung erfüllt sind.

Schließlich bilden die Störfallanalysen auch für die derzeit in Bearbeitung befindliche Formulierung von Annahmebedingungen in Verbindung mit einem Anforderungsprofil an die Abfallgebände (s. Bild 6) eine entscheidende Grundlage.

## Diskussion

W. Jonas (Hochtiel):

Wurde bei der Ermittlung der Freisetzunganteile beim Absturz eines Abfallgebändes aus 3 m Höhe die Verpackung des Abfalles berücksichtigt und welche rechnerischen Untersuchungen bzw. experimentellen Befunde wurden in die Betrachtung einbezogen?

W. Wurtinger (GRS):

Der erste Teil Ihrer Frage nach Berücksichtigung der Behältereigenschaften kann mit Bezug auf die von mir angesprochene Bildung von Abfallklassen mit ja und nein beantwortet werden.

Die untersuchten Abfallgebände wurden in zwei Klassen eingeteilt. Bei der ersten Klasse wird von der Verpackung, das heißt dem Behälter, kein Kredit genommen. Hier wurde das Abfallgebände so behandelt, als wäre der Behälter nicht vorhanden. Dazu zählen zum Beispiel Abfälle, die in Containern oder Rollreifensässern verpackt sind. Dieses Vorgehen wurde nicht zuletzt deshalb gewählt, um überprüfen zu können, wie hoch die Aktivitätsbelastung des Abfalles sein darf, ohne daß auf Rückhalteeffekte durch das Verhältnis zurückgegriffen werden muß. Reichen die Rückhalteigenschaften des Abfallproduktes zur Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung im Störfall aus, kann auf Anforderungen an die Verpackung, zum Beispiel hinsichtlich be-

sonderer Dichtigkeit und Stabilität, in dieser Klasse verzichtet werden.

Bei der zweiten Klasse, zu der zum Beispiel Abfallgebinde mit einem Gußbehälter als Verpackung zählen, wird dagegen das Behältnis berücksichtigt. Hier wurde davon ausgegangen, daß der Behälter im Störfall seine Integrität behält und eine Freisetzung ausschließlich aufgrund von Leckagen, zum Beispiel infolge defekter Deckeldichtungen, auftreten kann. An diese Behälter ergeben sich demzufolge auch bestimmte Anforderungen an die unter Störfallbedingungen maximal zulässigen Leckagen.

Zum zweiten Teil Ihrer Frage ist zu sagen, daß für die Ermittlung der Freisetzungsteile die Ergebnisse unterschiedlicher experimenteller Untersuchungen herangezogen wurden. Was zum Beispiel das Zerkleinerungsverhalten von Zementmatrizen bei mechanischer Belastung anbelangt, so liegen hierzu Ergebnisse aus experimentellen Untersuchungen an kleinen Probenkörpern, aus Falltests an mittelgroßen Zementblöcken bis hin zu den Ergebnissen aus 1 : 1 Falltests mit Rollreifensäubern, die zum Beispiel beim KfK durchgeführt wurden, vor. Unter Heranziehung dieser experimentellen Daten wurde die Bildung bestimmter Staubpartikelfraktionen in Abhängigkeit vom spezifischen Energieeintrag in die Zementmatrix ermittelt. Über diesen empirisch bestimmten Zusammenhang zwischen spezifischem Energieeintrag und gebildetem Staubpartikelspektrum wurde durch Extrapolation auf die hier untersuchte Fallhöhe von 3 m bzw. den entsprechenden spezifischen Energieeintrag, das zugehörige Partikelspektrum und damit die freisetzbaren Partikelfraktionen abgeschätzt.

K. Backheuer (Sozialministerium, Kiel):

1. Frage:

Wie vertragen sich die vorgetragenen Untersuchungen mit der gängigen Strahlenschutzpraxis in der Bundesrepublik? Seit Inbetriebnahme der ersten Forschungsreaktoren 1956/57 wird in kerntechnischen Anlagen mit mittel- und schwachradioaktiven Abfällen umgegangen. In das Salzbergwerk Asse II wurden Tausende von Fässern eingelagert. Die Abfälle wurden in endlagergerechter Form auf Straße und Schiene transportiert. Auch heute gehört der Umgang mit konditionierten radioaktiven Abfällen zur täglichen Praxis in Zwischensammelstellen und kerntechnischen Anlagen. Von keiner Seite wurden bisher vergleichbare Untersuchungen gefordert. Dennoch war meines Erachtens der Strahlenschutz für die Beschäftigten und die Umwelt jederzeit gewährleistet. Gibt es Erkenntnisse, daß zukünftig in den genannten Bereichen ähnliche Untersuchungen angestellt werden müssen?

2. Frage

Wieso spielt der mehrfach zitierte § 28 Abs. 3 Strahlenschutzverordnung in diesem Bereich eine Rolle? Die Dosiswerte sind lediglich bei der Planung von Kernkraftwerken zugrunde zulegen.

W. Ullrich (GRS):

In den Beratungen der einschlägigen Gremien ist dieser Punkt heftig diskutiert worden. Man entschied sich für die Grenzwerte des § 28, 3 der Strahlenschutzverordnung.

Aus der Berechnungsvorschrift der DWR-Störfalleitlinien werden nur die allgemein gültigen Sachverhalte, die auch tatsächlich auf Endlagerbedingungen übertragbar sind, übernommen.

F. Lange (GRS):

Die Störfalleitlinien des BMI für Kernkraftwerke mit DWR stellen in Verbindung mit den Störfallberechnungsgrundlagen und den Dosisgrenzwerten des § 28, 3 eine Einheit dar, die eine ganz bestimmte Vorgehensweise festlegt wie Anlagen auf ihre radiologische Sicherheit überprüft werden können. Wenn Sie nun für eine andere kerntechnische Anlage analog vorgehen in der Definition bezüglich Auslegungsstörfall oder radiologisch repräsentativem Störfall, haben Sie eine entsprechende Vorgehensweise zur Ermittlung von Freisetzungsteilen und auch der Berücksichtigung von Rückhalteprozessen. Sie werden feststellen, wenn Sie radiologische Auswirkungen in der Anlagenumgebung ermitteln wollen, daß Sie mit den Berechnungsverfahren ein von der spezifischen Anlage unabhängiges Verfahren haben. Es handelt sich beim Endlager im wesentlichen um die gleichen Nuklide, die wir auch von Kernkraftwerken kennen. Es ist ein mit ganz geringen Änderungen standardisiertes Verfahren, das im Zusammenhang mit einer Bewertung von Grenzwerten zu sehen ist. Einerseits hat man die Vorgehensweise, um die Strahlenexposition zu ermitteln und andererseits einen Bewertungsmaßstab, nämlich die Dosisgrenzwerte, um festzustellen, ob diese eingehalten werden oder nicht.

H.-J. Hardt (BMI):

Wie unterscheiden sich die Annahmen zur Charakterisierung des Quellterms und zur Ausbreitung von den Annahmen, die den Beförderungsvorschriften für radioaktive Stoffe zugrundeliegen?

F. Lange (GRS):

Bezüglich der Transportvorschriften können mögliche Konflikte auffallen. Man muß allerdings feststellen, daß es sich hier um Vorschriften unterschiedlicher Qualität handelt. Die Transportvorschriften sind internationale Vereinbarungen, die in die nationale Gesetzgebung mehr oder weniger unverändert übernommen wurden. Wir haben gerade bei der Bewertung von Kernkraftwerken eine ganz typisch nationale Gesetzgebung mit einem durch die Strahlenschutzverordnung, Leitlinien und Berechnungsgrundlagen festgelegten Verfahren. Wir haben hier zwei Meßlatten mit dem internationalen Aspekt auf der einen und der nationalen Strahlenschutzverordnung auf der anderen Seite.

E. Kallee (Universität Tübingen):

Welche Art von Bränden wollen Sie in einer Umladehalle mit einem Handfeuerlöcher bekämpfen?

Handfeuerlöcher eignen sich im allgemeinen nur zum Löschen ganz spezieller Brände, beispielsweise Kabelbrände. Zwei Kilogramm Löschpulver haben eine Wärmekapazität von höchstens einem halben Liter Wasser. Im übrigen ist der psychologische und kommerzielle Wert von Handfeuerlöschern meist höher anzusetzen als ihre Löschwirkung.



W. Wurtinger (GRS):

Die Brandschutzmaßnahmen für die Umladehalle stützen sich nicht nur auf Handfeuerlöscher. Diese sind nur ein Teil eines in sich ausgewogenen Brandschutzkonzeptes, zu dem zum Beispiel auch ortsfeste Löscheinrichtungen gehören.

Handfeuerlöscher sollen insbesondere zur Bekämpfung von Entstehungsbränden eingesetzt werden. Hier gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten (zum Beispiel Reparaturarbei-

ten), bei denen Entstehungsbrände auftreten können, die mit einem Handfeuerlöscher erfolgreich bekämpft werden können. Ein wesentliches Ziel der Brandschutzmaßnahmen muß die erfolgreiche Meldung und Bekämpfung von Entstehungsbränden sein. In einem Stadium, in dem sich der Brand entwickelt, ausgebreitet und den Umfang eines Schadensfeuers angenommen hat, sind meist nicht nur Handfeuerlöscher, sondern auch andere Löscheinrichtungen überfordert, wenn sie erst zu diesem Zeitpunkt zum Einsatz kommen.

# Teilnehmerverzeichnis

## A

- Adams, W.**  
Harshaw-Chemie GmbH  
Victoriastr. 5, 5632 Wermelskirchen
- Alder, Heinrich**  
Schweiz. National-Versicherungsgesellschaft  
Postfach 85, CH-4003 Basel
- Alex, Herbert, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Ambros, Rainer, Dr.**  
RWE AG, — Betriebsverwaltung Biblis —  
Postfach 11 40, 6843 Biblis
- Antoni, Robert, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Aschhoff, Heinz-Gerd, Dr.**  
Uhde GmbH  
Postfach 2 62, 4600 Dortmund
- Ay, Hans-W., Dipl.-Ing.**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

## B

- Baatz, Henning, Dr.**  
GNS  
Goethestr. 88, 4300 Essen 1
- Bachhuber, Adolf**  
Bayernwerk AG  
Blutenburgstr. 6, 8000 München 2
- Bachner, Dietrich, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Back, Wilhelm, OTL**  
Bundesministerium der Verteidigung  
Postfach 13 28, 5300 Bonn
- Backheuer, Klaus, MinRat Dr.**  
Sozialministerium des Landes  
Schleswig Holstein  
Brunswiker Str. 16-22, 2300 Kiel 1
- Bäcker, Dieter, Dipl.-Ing.**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach
- Baier, Jürgen, Dr.-Ing.**  
Noell GmbH  
Postfach 62 60, 8700 Würzburg
- Baltes, Bruno, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Basse, Hermann, MinRat Dr.**  
Bayerisches Staatsministerium für  
Landesentwicklung und Umweltfragen  
Rosenkavalierplatz 2, 8000 München 81
- Bastl, Werner, Dr.-Ing.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching
- Batzies, Peter, Dipl.-Phys.**  
BBC AG  
Postfach 3 51, 6800 Mannheim 1
- Baukal, Werner, Dr.**  
Battelle Institut e.V.  
Am Römerhof 35, 6000 Frankfurt 90
- Baumgartl, Bruno, Dr.**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach
- Becker, Klaus, Prof.Dr.**  
DIN Normenausschuß Kerntechnik  
Postfach 11 07, 1000 Berlin 30
- Becker, Ulrich, Dipl.-Ing.**  
Bundesministerium für Arbeit  
und Sozialordnung  
Rochusstr. 1, 5300 Bonn-Duisdorf
- Behrendt, Volker, Dr.-Ing.**  
Dornier System GmbH  
Postfach 13 60, 7990 Friedrichshafen
- Berg, Karl-Heinz, MinRat Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1
- Bernard, Rudolf, Dipl.-Phys.**  
Badenwerk AG  
Postfach 16 80, 7500 Karlsruhe 1
- Bindewald, Hilmar, Dr.**  
Kernkraftwerk Würgassen  
Postfach 12 20, 3472 Beverungen 1
- Birkhofer, Adolf, Prof. Dr. Dr.-Ing. E.h.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching
- Bittner, Artur, Dr.-Ing.**  
Dyckerhoff & Widmann AG  
Postfach 81 02 80, 8000 München 81
- Blickle, Dieter, ltd. MinRat**  
Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand  
und Verkehr Baden-Württemberg  
Theodor-Heuss-Str. 4, 7000 Stuttgart 1
- Blum, Alfred, Dr.**  
RW TÜV  
Postfach 10 32 61, 4300 Essen 1
- Blumenkamp, H.-J., Dipl.-Ing.**  
Siempelkamp Gießerei GmbH & Co.  
Siempelkampstr. 45, 4150 Krefeld
- Bochmann, Hans, MinDir. Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1
- Boege, Ulf, MinRat Dr.**  
Bundesministerium für Wirtschaft  
Postfach 14 02 60, 5300 Bonn 1
- Bogorinski, Peter, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Boos, Alexander, ORR Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Bork, Michael**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Borsch, Peter, Dr.**  
KFA Jülich  
Postfach 19 13, 5170 Jülich 1

**Brakmann, Georg, Dipl.-Ing.**  
Westinghouse Nuclear International  
73, Rue de Stalle, B-1180 Brüssel

**Brenk, H.D., Dr.-Ing.**  
Brenk Systemplanung  
Heinrichallee 38, 5100 Aachen

**Brinkmann, Harro**  
DWK  
Hamburger Allee 4, 3000 Hannover 1

**Bröcker, Bernhard, Dr.**  
NWK  
Pappelallee 35-37, 2000 Hamburg 76

**Bröcking, Dietmar, RD Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Bromkamp, K.-H., Dr.-Ing.**  
HKG GmbH  
Siegenbeckstr. 10, 4700 Hamm 1

**Brudermüller, Gerhard, Dr.**  
Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft mbH  
Postfach, 7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2

**Brücher, Heiner, Dr.**  
KFA Jülich  
Postfach 19 13, 5170 Jülich 1

**Brück, Günter, Dr.**  
DAF  
Heussallee 10, 5300 Bonn 1

**Büchler, Heinz, MinRat Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Butz, Heinz P., Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 500 Köln 1

## C

**Chalupa, Gerhard, Dr.**  
Österreichisches Forschungszentrum  
Seibersdorf  
Lenaugasse 10, A-1082 Wien

**Christ, Alfred, Dr.**  
HRB  
Postfach 53 60, 6800 Mannheim

**Christandl, Ing. (grad.)**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Cramer, Heinz, stellv. Vorstandsmitglied Dipl.-Ing.**  
NWK AG  
Pappelallee 35-37, 2000 Hamburg 76

## D

**Dahlem, Pia**  
Bonner Energie-Report  
Bonner Talweg 68, 5300 Bonn 1

**de Haller, Yves**  
S.A. l' Energie de l' Quest Suisse  
Case Postale 1084, CH-1001 Lausanne

**Denk, Wolfgang, Dr.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching

**Dieckhoff, Gerwin, R.VG**  
Schleswig-Holsteinisches  
Verwaltungsgericht  
Gottorfstr. 2, 2380 Schleswig

**Dieterich, Lothar, Dipl.-Ing.**  
RWE AG  
Kruppstr. 5, 4300 Essen 1

**Dluzniewski, Eryk, Dipl.-Ing.**  
c/o KMC  
801, 18th Street NW Suite 300  
USA-Washington D.C. 20 00 6

**Dobrosavljevic, Nikola**  
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG  
Postfach, CH-8022 Zürich

**Dörge, Wolf, Dr.**  
Uhde GmbH  
Postfach 2 62, 4600 Dortmund

**Dörfler, Rudolf, Dipl.-Ing.**  
Fichtner Beratende Ingenieure  
Sarveystr. 3, 7000 Stuttgart 1

**Dorner, Jens P.**  
Kölnische Rundschau  
Stolkgasse 25-45, 5000 Köln 1

**Dornis, Dieter, Dipl.-Ing.**  
VdTÜV  
Kurfürstenstr. 6, 4300 Essen 1

**Dreyer, Gert, Projekt-Ing.**  
Interatom GmbH  
Postfach, 5060 Bergisch-Gladbach

**Dünner, Philipp, Dr.**  
Interatom GmbH  
Postfach, 5060 Bergisch-Gladbach

**Dürre, Wilhelm, RD Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

## E

**Eblenkamp, Bernhard, Dipl.-Ing.**  
Kernkraftwerk Stade GmbH  
Postfach 17 80, 2160 Stade

**Edelhäuser, Hannes, RD**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Eder, Erwin, Dr.-Ing.**  
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Rosenkavalierplatz 3, 8000 München 81

**Eigenwillig, Gerd G., Dr.**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

**Ellmer, Martin, Dir. Dipl.-Ing.**  
VAK  
Postfach 6, 8756 Kahl

**Endlicher, Wolfgang**  
TUV Baden  
Postfach 24 20, 6800 Mannheim 1

**Engelhardt, Hans-Peter, MinRat**  
Bundesministerium für Finanzen  
Graurheindorfer Str. 108, 5300 Bonn 1

**Ermisch, Günter, Staatssekretär, Dr.**  
Bundesministerium der Verteidigung  
Postfach 13 28, 5300 Bonn 1

**Ernst, Karl-Robert, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Erven, Ullrich, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Eschrich, Hubert, Dr.**  
Eurochemic  
Boeretang, B-2400 Mol

**Essmann, Jürgen, Dipl.-Phys.**  
Preußische Elektrizitäts AG  
Tresckowstr. 5, 3000 Hannover 1

## F

**Fabian, Hans-Ulrich, Dr.**  
NWK  
Pappelallee 35-37, 2000 Hamburg 76

**Fassbender, Josef, Dr.**  
KFA Jülich  
Postfach 1913, 5170 Jülich

**Fauk, Walter, Dipl.-Ing.**  
Badenwerk AG  
Badenwerkstr. 2, 7500 Karlsruhe 1

**Fechner, Jochen, Dr. MinRat**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Feistauer, Gerhard, Ing. (grad.)**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

**Fendler, Heinz-Gerhard, Dr.**  
TUV Baden  
Postfach 24 20, 6800 Mannheim 1

**Fichtner, Norbert, Dipl.-Ing.**  
DIN Normenausschuß Kerntechnik  
Postfach 11 07, 1000 Berlin 30

**Fidorra, Jörg, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Fierz, Henri**  
Basler & Hofmann  
Forchstr. 395, CH-8029 Zürich

**Fischbacher, Wolfgang, Dipl.-Ing.**  
Bayernwerk AG  
Blutenburgstr. 6, 8000 München 2

**Försterling, Wolfram, Dr.**  
Verwaltungsgericht Düsseldorf  
Bastionstr. 30, 4000 Düsseldorf 1

**Franzen, L. Ferdinand, Dipl.-Phys.**  
IAEA  
Postfach 2 00, A-1400 Wien

**Freund, Jürgen, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Friederichs, Hans, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Fröhlich, Hans.-J., Ing. (grad.)**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

**Fuchs, Jürgen, Dipl.-Phys.**  
Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft,  
Umwelt und Forsten  
Postfach 4 91, 7000 Stuttgart 1

## G

**Ganser, Benno, Dr.**  
NUKEM GmbH  
Postfach 11 00 80, 6450 Hanau 11

**Gast, Klaus, MinRat Dr.-Ing.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Geflitter, Ingo**  
KWU AG  
Postfach 32 20, 8520 Erlangen 2

**Geiger, Karl M., MinDirig.**  
Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft,  
Umwelt und Forsten  
Postfach 4 91, 7000 Stuttgart 1

**Geissler, Walter**  
Landesanstalt für Umweltschutz  
Hertzstr. 173, 7500 Karlsruhe

**Gill, Ralph, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching

**Glahn, Michael, Dr.-Ing.**  
HEW AG  
Überseering 12, 2000 Hamburg 60

**Greifelt, W., MinRat Dr.**  
Niedersächsisches Ministerium des Innern  
Lavesallee 6, 3000 Hannover 1

**Gross, Michael, Dipl.-Ing.**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

**Grotelüschen, Manfred, Dipl.-Ing.**  
VDI-Nachrichten  
Graf-Recke-Str. 84, 4000 Düsseldorf 1

**Gründler, Detlef, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Grundmann, Manfred, Dipl.-Ing.**  
Lahmeyer International GmbH  
Lyoner Str. 22, 6000 Frankfurt 71

**Güther, Gerhard, Dipl.-Ing.**  
Kernkraftwerk Unterweser AG  
Postfach 1 40, 2883 Stadland 1

**Gumprecht, Detlef, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Gutmann, Horst B., Dir.Dr.**  
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich  
Postfach 1 25, 5403 Mülheim-Kärlich

**Gutschmidt, Wolf-Dieter, Chem.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

## H

**Haack, Paul, Dr.**  
Zentralstelle für Sicherheitstechnik des  
Landes NW  
Ulenbergstr. 127-131, 4000 Düsseldorf 1

**Hacker, Jürgen**  
Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar GmbH  
Postfach, 7129 Neckarwestheim

**Haesner, Bernd, Dr.**  
TÜV Hessen  
Frankfurter Allee 27, 6236 Eschborn

**Hagen, Armin, RD**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Hagenberg, Wolfgang, Dr.**  
ALKEM GmbH  
Postfach 11 00 69, 6450 Hanau 11

**Hallfarth, Günter, Dr.**  
Kernkraftwerk Krümmel GmbH  
Elbuferstr. 82, 2054 Geesthacht

**Handge, Peter, Dipl.-Phys.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Hantke, Hans-Jürgen, Dr.**  
TÜV Bayern  
Postfach 21 04 20, 8000 München 21

**Hardt, Heinz-Joachim, RD**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Hartje, Bernward, Dipl.-Ing.**  
NOELL GmbH  
Postfach 62 60, 8700 Würzburg

**Hartmann, Klaus, Dr.**  
KWU AG  
Berliner Str. 295, 6050 Offenbach

**Heberlein, Joachim, Dipl.-Ing.**  
TÜV Baden  
Postfach 24 20, 6800 Mannheim

**Heidt, Volker, Dipl.-Phys.**  
EVS AG  
Kriegsbergstr. 32, 7000 Stuttgart 1

**Heinsohn, Hartmut, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Helmers, Helmut, Dipl.-Ing.**  
TÜV Hannover  
Postfach 81 07 40, 3000 Hannover 81

**Helwig, Udo, Dipl.-Ing.**  
RBU GmbH  
Rodenbacher Chaussee 6, 6450 Hanau 11

**Heimer, Hans, Geschäftsführer Dipl.-Ing.**  
NOELL GmbH  
Postfach 62 60, 8700 Würzburg 1

**Henkel, Fritz-Otto-, Dr.-Ing.**  
Wölfel, Beratende Ingenieure VBI  
Otto-Hahn-Str. 2a, 8706 Höchberg

**Henning, Klaus, Dipl.-Phys.**  
GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH  
Postfach 11 60, 2054 Geesthacht

**Hennings, Uwe, Dipl.-Ing.**  
BBR GmbH  
Postfach 51 43, 6800 Mannheim 1

**Herkommer, Erwin, W., Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Herzog, Theo, Dr.**  
Kernkraftwerk Isar  
Postfach 11 06, 8307 Essenbach

**Hicken, Enno, Prof. Dr.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching

**Himmel, Theodor, MinRat**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Hintze, Lothar, Dipl.-Ing.**  
Ministerium für Soziales, Gesundheit  
und Umwelt des Landes Rheinland Pfalz  
Postfach 31 80, 6500 Mainz

**Hitzschke, Uwe, Dipl.-Ing.**  
EVS AG  
Kriegsbergstr. 32, 7000 Stuttgart

**Hörmann, Eugen, Dipl.-Ing.**  
Dornier System GmbH  
Postfach 13 60, 7990 Friedrichshafen

**Hoermann, Heinz, Dr.-Ing.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching

**Hoffmann, Helmut, Dipl.-Ing.**  
Pfalzwerke AG  
Kurfürstenstr. 29, 6700 Ludwigshafen

**Hoffmann, W.E., Dipl.-Ing.**  
Geschäftsführer VdTÜV  
Kurfürstenstr. 56-58, 4300 Essen 1

**Hoffmann, Dieter, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Hofmann, Hans, Dipl.-Ing.**  
SDK Ingenieurunternehmen GmbH  
Postfach 22 27, 7850 Lörrach

**Hofmann, Werner, Dipl.-Ing.**  
Bundesministerium für Forschung und  
Technologie  
Postfach 20 07 06, 5300 Bonn 2

**Hofmann, Klaus, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Hohenhinnebusch, Wilhelm, Dipl.-Ing.**  
KfK  
Postfach 36 40, 7500 Karlsruhe 1

**Hohlefelder, Walter, RD Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Holm, Detlef, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Holzauer, Ulrich, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Hospe, Joachim**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

**Hossner, Rüdiger, Dipl.-Ing.**  
atomwirtschaft  
Postfach 11 02, 4000 Düsseldorf 1

**Huber, Josef, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching

## I

**Ivens, Günther**  
AVR GmbH  
Postfach 14 11, 4000 Düsseldorf 1

## J

**Jahns, Armin, Dipl.-Phys.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Jonas, Werner, Dr.**  
Hochtief AG  
Bockenheimer Landstr. 24, 6000 Frankfurt 1

**Joppa, Klaus, RD Dr.-Ing.**  
Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und  
Verkehr des Landes NW  
Haroldstr. 4, 4000 Düsseldorf

## K

**Kahlstadt, Peter, Dipl.-Phys.**  
Gemeinschaftskernkraftwerk Grohnde GmbH  
Postfach 12 30, 3254 Emmerthal 1

**Kallee, Ekkehard, Prof.Dr.**  
Medizinische Universitätsklinik  
— Isotopenabteilung —  
Otfried-Müller-Str. 10, 7400 Tübingen 1

**Kallmeyer, Dirk, Dr.**  
RWE AG  
Kruppstr. 5, 4300 Essen 1

**Karabateas, Antonios, Dipl.-Ing.**  
TÜV Stuttgart  
Postfach 13 80, 7024 Filderstadt

**Karger, Ludwig**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

**Keller, Wolfgang, Vorstandsmitglied, Dr.-Ing.**  
KWU AG  
Postfach 32 20, 8520 Erlangen 2

**Kellermann, Otto, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Kienle, Julius, Dipl.-Ing.**  
VDEW  
Stresemannallee 23, 6000 Frankfurt 70

**Kinner, Julius, Dipl.-Ing.**  
Kraftanlagen Heidelberg AG  
Im Breitspiel 7, 6900 Heidelberg 1

**Kirsch, Siegfried, Dr.**  
Sozialministerium des Landes  
Schleswig-Holstein  
Brunswiker Str. 16/22, 2300 Kiel

**Klang, Heinz, Dipl.-Ing.**  
Dyckerhoff & Widmann AG  
Postfach 81 02 80, 8000 München 81

**Kleemann, Georg**  
Stuttgarter Zeitung  
Postfach 1 41, 7000 Stuttgart 1

**Kleinschroth, K.-H.**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

**Klöpper, Klaus, Bauoberrat**  
Bayerisches Staatsministerium des Innern  
Karl-Scharnagl-Ring 60, 8000 München 60

**Knoll, Dieter, Dipl.-Phys.**  
TÜV Norddeutschland  
Große Bahnstr. 31, 2000 Hamburg 54

**Koch, Wolfgang, Dr.**  
Kölner Stadtanzeiger  
Dahlmannstr. 22, 5300 Bonn

**Kociok, Bernhard, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Köberlein, Klaus, Dr.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching

**König, Gert, Prof.Dr.**  
Technische Hochschule Darmstadt  
—Institut für Massivbau—  
Alexanderstr. 5, 6100 Darmstadt

**König, Werner, Ing. (grad.)**  
RW TÜV  
Postfach 10 32 61, 4300 Essen 1

**Köpper, Heinz-Dieter, Dr.Ing.**  
Zerna, Schultz & Partner  
Industriestr. 27, 4630 Bochum 7

**Kohl, Dr.**  
BBC AG  
Dudenstr. 44, 6800 Mannheim

**Köhler, Harald, Dipl.-Phys.**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach

**Kraus, Waltraud**  
TÜV Baden  
Dudenstr. 28, 6800 Mannheim 1

**Krause, Hans-Dieter, Dr.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching

**Kraut, Alfred, Prof. Dr.**  
Altomkernenergie — Kerntechnik  
Postfach 90 07 49, 8000 München 90

**Kraut, Alfred, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Kretzen, Hans-Hermann, Dr.**  
Interatom  
Postfach, 5060 Bergisch-Gladbach 1

**Kroiss, German, Dipl.-Ing.**  
TÜV Bayern  
Postfach 21 04 20, 8000 München 21

**Kroppenstedt, Franz, Staatssekretär**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Krüger, Klaus, Dipl.-Phys.**  
AVR GmbH  
Hambacher Forst, 5170 Jülich

**Kuhnt, Dietmar, Dir.Dr.**  
RWE AG  
Kruppstr. 5, 4300 Essen

**Kurpas, Rudolf**  
AVR GmbH  
Postfach 14 11, 4000 Düsseldorf 1

## L

**Lang, Günter**  
Kernkraftwerk Philippsburg GmbH  
Postfach 11 40, 7522 Philippsburg 1

**Lange, Florentin, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Laser, Manfred, Dr.**  
KFA Jülich  
Postfach 19 13, 5170 Jülich 1

**Ledermann, Herbert, Dr.-Ing.**  
Ingenieurberatung Dr. Ledermann  
Kolpingstr. 73, 6834 Ketsch

**Lehr, Günter, MinDir.Dr.**  
Bundesministerium für Forschung  
und Technologie  
Postfach 20 07 06, 5300 Bonn 2

**Lengerer, Albrecht, Dipl.-Ing.**  
Staatliche Materialprüfungsanstalt  
der Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 32, 7000 Stuttgart 80

**Liemersdorf, Heinz, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Liesenhoff, Horst, Dipl.-Ing.**  
Fraser GmbH  
Zindelstr. 12, 4300 Essen 1

**Lindauer, Erwin, Dr.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Lindeke, Klauspeter, Dr.-Ing.**  
TÜV Norddeutschland  
Grosse Bahnstr. 31, 2000 Hamburg 54

**Lipphardt, Günter, Direktor, Dr.**  
Hoechst AG  
Postfach 80 03 20, 6230 Frankfurt 80

**Loser, Herbert**  
Dornier-System GmbH  
Postfach 13 60, 7990 Friedrichshafen 1

**Luczak, Erwin, Ing. (grad.)**  
RW TÜV  
Postfach 10 32 61, 4300 Essen 1

**Ludwig, Friedrich, Dr.**  
Zentralstelle für Sicherheitstechnik  
des Landes NW  
Ulenbergstr. 127—131, 4000 Düsseldorf 1

**Lüdenbach, Bernhard**  
Interatom  
Postfach, 5060 Bergisch-Gladbach 1

**Lukacs, Gabor, Dipl.-Ing.**  
NIS GmbH  
Lyoner Str. 22, 6000 Frankfurt 71

**Lummerzheim, Diethard, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

## M

**Mäcke, K.-H., Dipl.-Ing.**  
TÜV Baden  
Dudenstr. 28, 6800 Mannheim

**Malmström, Heinz, Dipl.-Ing.**  
Brennelement-Zwischenlager  
Ahaus GmbH  
Postfach 32 20, 4422 Ahaus

**Mansfeld, Gerhard, Dr.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching

**Mareske, Armin, Dr.-Ing.**  
BEWAG  
Stauffenbergstr. 26, 1000 Berlin 30

**Markett, Josef, Dipl.-Ing.**  
Bonnenberg & Drescher  
Industriestr., 5173 Aldenhoven

**Marx, Franz, Dr.**  
KfK  
Postfach 36 40, 7500 Karlsruhe 1

**Matting, Arnulf, MinRat.Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Mauker, Rudolf, ltd. MinRat.Dipl.-Ing.**  
Bayerisches Staatsministerium für  
Landesentwicklung und Umweltfragen  
Rosenkavalierplatz 2, 8000 München 81

**Maurer, H.A., Dipl.-Ing.**  
Kommission der europäischen Gemeinschaften  
200, Rue de la Loi, B—1049 Brüssel

**May, Horst, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Mayer, Wolfgang, Dipl.-Ing.**  
Fichtner, Beratende Ingenieure  
Sarweystr. 3, 7000 Stuttgart 1

**Mazur, Heinz, Obering. Dipl.-Ing.**  
TÜV Hannover  
Am Tüv 1, 3000 Hannover 81

**Meier, Wolfhard, Dipl.-Ing.**  
Ministerium für Wirtschaft und Verkehr  
Rheinland-Pfalz  
Postfach 32 69, 6500 Mainz

**Meinhard, Günter, Dipl.-Ing.**  
Deutsche Babcock Werke AG  
Duisburger Str. 531, 4200 Oberhausen 1

**Mente, Michael, Dipl.-Ing.**  
IABG  
Einsteinstr. 20, 8012 Ottobrunn

**Merz, Erich, Prof. Dr.**  
KFA Jülich  
Postfach 19 13, 5170 Jülich

**Mester, Werner, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Meuresch, Siegfried, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Meyer, Fred, Dir. Dipl.-Ing.**  
RWE AG  
Postfach 11 40, 6843 Biblis 1

**Mika, Siegfried, Dipl.-Ing.**  
HRB  
Postfach 53 60, 6800 Mannheim 1

**Mischke, Joachim, Mitglied des Vorstandes, Dipl.-Ing.**  
DWK  
Hamburger Allee 4, 3000 Hannover 71

**Möller, Erich, Dipl.-Ing.**  
TÜV Norddeutschland  
Grosse Bahnstr. 31, 2000 Hamburg 54

**Morgner, Ekkehard, Dipl.-Ing.**  
TÜV Baden  
Postfach 24 20, 6800 Mannheim 1

**Moschke, Hans-Jürgen, Dr.**  
Dr. Moschke und Partner GmbH  
Schanzenstr. 36, 4220 Dinslaken

**Müller, Alfons, Dr.**  
TÜV Hannover  
Postfach 81 07 40, 3000 Hannover 81

**Müller, Klaus Ulrich, Dipl.-Ing.**  
Staatliche Materialprüfungsanstalt der  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 32, 7000 Stuttgart 80

**Müller, Werner, Dr.**  
Amt für Umweltschutz —Überwachung—  
Hammer Landstr. 12–14, 2000 Hamburg 26

**Müller, Wolfgang D.**  
atomwirtschaft  
Postfach 11 02, 4000 Düsseldorf 1

**Müller-Dietsche, Walter, Dipl.-Ing.**  
KfK  
Postfach 36 40, 7500 Karlsruhe 1

**Müller-Glewe, Jürgen, Dr.**  
TÜV Hannover  
Postfach 81 07 40, 3000 Hannover 81

**Mulde, Manfred, Dipl.-Ing.**  
TÜV Stuttgart  
Postfach 13 80, 7024 Filderstadt

## N

**Neider, Rudolf, Dir. Prof. Dr.**  
Bundesanstalt f. Materialprüfung  
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45

**Nerlich, Klaus-Dieter, Dipl.-Ing.**  
TÜV Bayern  
Postfach 21 04 20, 8000 München 21

**Nickel, Hubertus, Prof. Dr.**  
KFA Jülich  
Postfach 19 13, 5170 Jülich 1

**Nickel, Werner, Dipl.-Ing.**  
KWU AG  
Seligenstädter Str., 8757 Karlstein/Main

**Nieuwenhuizen, Klaus-D., Dipl.-Ing.**  
Berufsgenossenschaft der Feinmechanik  
und Elektrotechnik  
Gustav-Heinemann-Ufer 130, 5000 Köln 51

**Nitzki, Volker, Dr.-Ing.**  
TÜV Hannover  
Postfach 81 07 40, 3000 Hannover 81

## O

**Orth, Karl-Heinz, Dipl.-Ing.**  
KWU AG  
Postfach 32 30, 8520 Erlangen 2

**Osenroth, Klaus, Dipl.-Ing.**  
VGB - Technische Vereinigung der Groß-  
kraftwerksbetreiber e.V.  
Postfach 10 39 32, 4300 Essen 1

**Otte, Ulrich, ORR**  
Deutscher Wetterdienst — Wetteramt Essen —  
Wallneyer Str. 10, 4300 Essen 1

## P

**Passig, Ewald, Dipl.-Ing.**  
RWE AG  
Kruppstr. 5, 4300 Essen 1

**Patzelt, Alois, Dipl.-Phys.**  
Kernkraftwerk Philippsburg GmbH  
Postfach 11 40, 7522 Philippsburg 1

**Peinsipp, Norbert, ORR Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1

**Pelzer, Norbert, Dr.**  
Institut für Völkerrecht der  
Universität Göttingen  
Nikolausberger Weg 9c, 3400 Göttingen



- Petersen, Klaus, Dr.**  
RWE AG  
Kruppstr. 5, 4300 Essen 1
- Peuster, Karl, Dipl.-Ing.**  
Schillerstr. 29, 5000 Köln 40
- Pfaffelhuber, Josef K., MinDirig.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1
- Pfeifer, Heinz**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach
- Philipp, Joachim, Dr.**  
Fraser GmbH  
Zindelstr. 12, 4300 Essen 1
- Platthaus, Dietrich, Dipl.-Phys.**  
RWE AG  
Postfach 10 31 61, 4300 Essen 1
- Pohl, Udo, Dr.**  
Battelle-Institut e.V.  
Am Römerhof 35, 6000 Frankfurt 90
- Polzenberg, Rainer, Dipl.-Ing.**  
AVR GmbH  
Hambacher Forst, 5170 Jülich
- Popp, Manfred, MinDirig. Dr.**  
Bundesministerium für Forschung  
und Technologie  
Postfach 20 07 06, 5300 Bonn 2
- Prinz, Hubert M., Dipl.-Phys.**  
Fachinformationszentrum  
Energie, Physik, Mathematik  
7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2
- Püll, Karsten, Dir. Dipl.-Ing.**  
Technischer Überwachungsverein Bayern  
Postfach 21 04 20, 8000 München 21
- Pütter, Bernhard, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Q**
- Quirrenbach, Franz-Josef, Obering. Dipl.-Ing.**  
VdTÜV  
Postfach 10 38 34, 4300 Essen 1
- R**
- Ramcke, Klaus, Ing. (grad.)**  
Preußische Elektrizitäts AG  
Tresckowstr. 5, 3000 Hannover 1
- Reinstein, Dieter**  
BBC AG  
Postfach 3 51, 6800 Mannheim
- Reuter, Burkhard, Dipl.-Ing.**  
Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft mbH  
Postfach, 7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2
- Reuter, Bernd, MdB**  
Deutscher Bundestag —Innenausschuß—  
Bundeshaus, 5300 Bonn 1
- Richter, Herbert, Dr.**  
Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik  
Wöhlerstr. 11, 7800 Freiburg
- Richter, Hans, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Riech, Henning, Dipl.-Ing.**  
Hochtief AG  
Bockenheimer Landstr. 24  
6000 Frankfurt/Main 1
- Rimkus, H.-Jürgen, Dr.-Ing.**  
TÜV Bayern  
Postfach 21 04 20, 8000 München 21
- Ritter, H.A., ltd. MinRat Dr.**  
Ministerium für Arbeit, Gesundheit und  
Soziales des Landes NW  
Postfach 11 34, 4000 Düsseldorf 1
- Ritter, Karl-Heinz, Dipl.-Ing.**  
Versuchatomkraftwerk Kahl GmbH  
Postfach 6, 8756 Kahl
- Rittig, Dieter, Dipl.-Phys.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Rittscher, Dieter**  
GNS  
Goethestr. 88, 4300 Essen 1
- Ritz, Peter, Dipl.-Ing.**  
KWU AG  
Postfach 32 20, 8520 Erlangen
- Roedder, Peter, Dr.-Ing.**  
Gesellschaft f. Umweltüberwachung  
Industriestr., 5173 Aldenhoven
- Roethemeyer, H., Dir. Prof. Dr.-Ing.**  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Postfach 33 45, 3300 Braunschweig
- Rosendaal, Jan, Sicherheitsingenieur**  
Ned. Philips Bedrijven  
Postbus 218, NL—5600 MD Eindhoven
- Rubel, Hartmut, Dipl.-Ing.**  
KWU AG  
Postfach 32 20, 8520 Erlangen
- Ruckdeschel, Walter, RD Dr.**  
Bayerisches Staatsministerium für  
Landesentwicklung und Umweltfragen  
Rosenkavalierplatz 2, 8000 München 81
- Rüdiger, Bodo, Dipl.-Ing.**  
Battelle-Institut e.V.  
Am Römerhof 35, 6000 Frankfurt 90
- S**
- Saiger, Siegfried, Dr.**  
TÜV Bayern  
Postfach 21 04 20, 8000 München 21
- Sameith, Herwarth, RD Dr.-Ing.**  
Bundesminister für Forschung und  
Technologie  
Postfach 20 07 06, 5300 Bonn 2
- Sandner, Wolfgang, Dr.**  
FAG-Kugelfischer  
Tennenloher Str. 41, 8520 Erlangen

- Sappok Manfred, Dr.**  
Siempelkamp Gießerei GmbH & Co.  
Siempelkampstr. 45, 4150 Krefeld
- Schäfer, Hermann, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Forschungsgelände, 8046 Garching
- Schalopp, Bernhard, Dipl.-Phys.**  
Büro Schalopp Berlin  
Ringstr. 41–42, 1000 Berlin 45
- Scharfe, Achim, Dr.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Scharrer, Hartmut, Dipl.-Met.**  
Deutscher Wetterdienst –Wetteramt Frankfurt–  
Frankfurter Str. 135, 6050 Offenbach
- Schatz, Alfred, Dr.**  
BBC AG  
Postfach 3 52, 6800 Mannheim 1
- Scheffel, Heinz, Dir.Dipl.-Ing.**  
Koblenzer Elektrizitätswerk und  
Verkehrs-AG  
Schützenstr. 80–82, 5400 Koblenz
- Schenk, Herbert, Dr.**  
Kernkraftwerk Obrigheim GmbH  
Postfach 100, 6951 Obrigheim
- Scheunemann, Rüdiger**  
Deutschlandfunk  
Postfach 50 06 40, 5000 Köln 51
- Schier, Dr.**  
Hessisches Ministerium für  
Wirtschaft und Technik  
Kaiser-Friedrich-Ring 75, 6200 Wiesbaden
- Schifferdecker, F., Ing.(grad.)**  
Kernkraftwerk Obrigheim GmbH  
Postfach, 6951 Obrigheim/Neckar
- Schifferstein, Klaus, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Schill, Hans, MinDirig. Dr.**  
Bundesministerium für Wirtschaft  
Villemombler Str. 76, 5300 Bonn 1
- Schimmele, Gerd**  
Badenwerk AG  
Postfach 16 80, 7500 Karlsruhe
- Schlechte, Peter H., Dr.**  
Bayerisches Staatsministerium für  
Landesentwicklung u. Umweltfragen  
Rosenkavalierplatz 2, 8000 München 81
- Schmelzer, Bernd A.**  
Schieferbau Schmelzer & Co.  
Briloner Str. 23, 5780 Bestwig 3
- Schmidt, Wolfgang, Dr.**  
Bundesbahn-Zentralamt Minden  
Postfach 29 60, 4950 Minden
- Schmidtlein, Peter, Dr.**  
Universität Duisburg  
Lotharstr. 1, 4100 Duisburg 1
- Schmitt, Helmut, Dr.-Ing.**  
Fraser Unternehmensberatung GmbH  
Zindelstraße 12, 4300 Essen 1
- Schmitz, Gerd, Dipl.-Phys.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Schneider, Volker, Dr.**  
ALKEM GmbH  
Postfach 11 00 69, 6450 Hanau 11
- Schneider-Kühnle, Peter, Dr.**  
Schnell-Brüter-Kernkraftwerksgesell-  
schaft mbH  
Postfach 12 20, 4192 Kalkar
- Schnell, Christoph, Dr.**  
Dornier System GmbH  
An der B 31, 7759 Immenstadt
- Schnellenbach, Günter, Prof. Dr.-Ing.**  
Zerna, Schnellenbach & Partner  
Gemeinschaft beratender Ingenieure  
GmbH  
Viktoriastr. 47, 4630 Bochum 1
- Schnurer, Helmut, MinRat Dr.**  
Bundesministerium des Innern  
Postfach 17 02 90, 5300 Bonn 1
- Schöbel, Reinhard, Dipl.-Ing.**  
Uhde GmbH  
Postfach 2 62, 4600 Dortmund 1
- Schoenefeldt, Dieter, Dr.**  
NUKEM GmbH  
Postfach 11 00 80, 6450 Hanau 11
- Schöttl, Karl, Dipl.-Ing.**  
TÜV Bayern  
Postfach 21 04 20, 8000 München 21
- Scholz, Heinrich, Dipl.-Ing.**  
BEWAG  
Stauffenbergstr. 26, 1000 Berlin 30
- Schröter, Hans-Jürgen, Dr.**  
RW TÜV  
Postfach 10 32 61, 4300 Essen 1
- Schubert, Jürgen, Bergdir.**  
Oberbergamt  
Hindenburgplatz 9, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Schuck, Armin, Dipl.-Phys.**  
TÜV Baden  
Dudenstr. 28, 6800 Mannheim 1
- Schützle, Rainer, Dipl.-Ing.**  
MC-W Energie-Consult GmbH  
Postfach 30 08 09, 7000 Stuttgart 30
- Schulte, Josef, Dipl.-Ing.**  
Bayer AG  
5090 Leverkusen
- Schultheiss, Georg F., Prof.Dr.-Ing.**  
GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH  
Postfach 11 60, 2054 Geesthacht
- Schultz, Heinrich, Prof.Dr.**  
Technische Universität Hannover  
Appelstr. 9a, 3000 Hannover 1
- Schultz, Horst, Dr.-Ing.**  
Zerna, Schultz & Partner  
Industriestr. 27, 4630 Bochum
- Schulz, Helmut, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

- Schulze, Klaus-Peter, Dr.**  
DWK  
Hamburger Allee 4, 3000 Hannover 1
- Schumann, Klaus**  
Vereinigte Wirtschaftsdienste GmbH  
Siegfried-Klein-Str. 7, 4000 Düsseldorf 1
- Schuster, Günter, Generaldir. i. R. Dr.**  
Höhenweg 32, 5300 Bonn 1
- Schwarz, Ottmar, Dir.Dr.-Ing.**  
VGB Technische Vereinigung der  
Großkraftwerksbetreiber e.V.  
Postfach 10 39 32, 4300 Essen 1
- Schwarzer, Wolfgang, Dipl.-Phys.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Schweiker, Norbert, Dipl.-Ing.**  
Gemeinschaftskernkraftwerk  
Neckar GmbH  
Postfach, 7129 Neckarwestheim
- Schwinges, Bernd, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Seesing, Heinrich, MdB**  
Deutscher Bundestag  
Bundeshaus, 5300 Bonn 1
- Seibert, Reinhard**  
Kommission der Europäischen Gemeinschaften  
B.P. 1907 Bat. Jean Monnet  
L-2929 Luxemburg/Kirchberg
- Seipel, Heinz, MinRat.Dipl.-Ing.**  
Bundesministerium für Forschung und Technologie  
Postfach 20 07 06, 5300 Bonn 2
- Seitz, Günter, Dr.**  
Berufsgenossenschaft Feinmechanik und  
Elektrotechnik  
Gustav-Heinemann-Ufer 130, 5000 Köln 51
- Sell, Joachim**  
Dornier-System GmbH  
Postfach 13 60, 7990 Friedrichshafen 1
- Seredynski, Jan, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Seubert, Winfried, Dipl.-Ing.**  
Stadtwerke München  
Blumenstr. 28, 8000 München 2
- Seum, Jürgen**  
Neckarwerke AG  
Küferstr. 2, 7300 Esslingen
- Sieber, Winfried, MinRat Dipl.-Ing.**  
Niedersächsisches Ministerium für  
Bundesangelegenheiten  
Calenberger Str. 2, 3000 Hannover 1
- Simon, Manfred, Mitglied des Vorstandes, Dr.-Ing.**  
BBC AG  
Kallstadter Str. 1, 6800 Mannheim 1
- Sistenich, Peter, Dipl.-Ing.**  
RWE AG  
Kruppstr. 5, 4300 Essen 1
- Specht, Siegfried, Dr.**  
Bayerisches Staatsministerium für  
Landesentwicklung u. Umweltfragen  
Rosenkavalierplatz 2, 8000 München 81
- Spiegelberg, Friedrich**  
dpa-Außenbüro Essen  
Lindenallee 56, 4300 Essen 1
- Steiner, Erich, Dipl.-Ing.**  
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld  
Postfach 7, 8722 Grafenrheinfeld
- Stephan, Wolfgang, Dr.**  
Kernkraftwerk Obrigheim GmbH  
Postfach 100, 6951 Obrigheim
- Steuer, Jürgen, Dr.-Ing.**  
DIN Normenausschuß Kerntechnik  
Postfach 11 07, 1000 Berlin 30
- Stöcker, Ernst, Dipl.-Kfm.**  
RBU GmbH  
Rodenbacher Chaussee 6, 6450 Hanau 11
- Stucken, Günther, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Stumpf, Wolfgang, Dipl.-Ing.**  
RW TÜV  
Postfach 10 32 61, 4300 Essen 1
- Stute, Horst, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Sürth, Ulrich, Dipl.-Ing.**  
KWU AG  
Postfach 9 62, 6050 Offenbach
- Sütterlin, Ulrich, Dr.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Sulsmann, Dr.**  
HRB GmbH  
Gottlieb-Daimler-Str. 8, 6800 Mannheim 1
- T
- Täger, Klaus, Dr.**  
Wirtschaftsverband Kernbrennstoffkreislauf e.V.  
Adenauerallee 90, 5300 Bonn 1
- Terkessidis, Johann, Dr.**  
HHV GmbH  
Stettenericher Staatsforst, 5170 Jülich
- Thomas, Wolfgang, Dipl.-Ing.**  
GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1
- Tiemann, Arfst, Dipl.-Ing.**  
GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH  
Postfach 11 80, 2054 Geesthacht
- Tietze, Alfons, Prof.Dr.**  
Universität Gesamthochschule Wuppertal  
Gauss-Str. 20, 5600 Wuppertal 1
- Tillessen, Ulrich, Dr.**  
Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG  
Parkstr. 27, CH-5401 Baden
- Timm, Wolf, Dr.**  
Interatom GmbH  
Postfach, 5060 Bergisch-Gladbach 1
- Tscherner, Manfred, Dipl.-Phys.**  
TÜV Rheinland  
Postfach 10 17 50, 5000 Köln 1

**Tümmers, Josef, Dipl.-Ing.**

KWU AG  
Wiesenstr. 35, 4330 Mülheim

**Türk, Dieter, Dr.**

Hessischer Minister für Arbeit, Umwelt und  
Soziales  
Dostojewskistr. 4, 6200 Wiesbaden 1

## U

**Übbing, Helmut**

Frankfurter Allgemeine Zeitung  
—Rhein-Ruhr-Nachrichten—  
Berliner Allee 4, 4000 Düsseldorf 1

**Uhlenbruck, Hermann, Dr.**

GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Ullrich, Walter, Dipl.-Phys.**

GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Urbahn, Helmut, Dr.**

GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

## V

**Versteeg, M.F.**

Nucon B.V.  
Weesperzijde 150, NL—1009 AA Amsterdam

**Vetter, Heinz, Dir. Dr.**

Spitzwegstr. 4, 6900 Heidelberg

**Viefers, Wolfgang, Dr.**

GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

## W

**Wacher, Gerhard, Staatssekr. a.D. Vorsitzender des  
Vorstandes Dipl.-Ing.**

TÜV Bayern  
Postfach 21 04 20, 8000 München 21

**Wälzholz, Hans-Rudolf, MinDirig.**

Niedersächsisches Ministerium für  
Bundesangelegenheiten  
Calenbergster Str. 2, 3000 Hannover

**Wagner, Heinz, Prof. Dipl.-Ing.**

Lanzstr. 19, 6200 Wiesbaden

**Wahl, Jürgen, Dipl.-Phys.**

AVR GmbH  
Hambacher Forst, 5170 Jülich

**Wahlen, Edgar, Dipl.-Ing.**

AVR GmbH  
Hambacher Forst, 5170 Jülich

**Wallenwein, Eckhard H., Dipl.-Phys.**

NWK AG  
Pappelallee 35/37, 2000 Hamburg 76

**Walter, Wulf, Dr.**

Bayerische Rückversicherung AG  
Postfach 22 01 06, 8000 München 22

**Watzel, Gerhard, Dr.-Ing.**

RWE AG  
Kruppstr. 5, 4300 Essen 1

**Weber, Jakob**

KWU AG  
Postfach 32 20, 8520 Erlangen 2

**Weber, Josef, Dr.**

GRS  
8046 Garching

**Weber, Klaus, Geschäftsführer Prof. Dr.**

TÜV Hannover  
Postfach 81 07 40, 3000 Hannover 81

**Wendler, Eberhard**

Gemeinsame Forschungsstelle der  
Kommission der EG  
I—21020 Ispra (Varese)

**Wieland, Beat, Dr.**

Betriebsamt für Energiewirtschaft  
CH—3003 Bern

**Wiener, Ingeborg, Dr.**

Betriebsärztin der Nuklearfirmen  
Postfach 11 00 60, 6450 Hanau 11

**Wiesner, Siegfried, Dr.-Ing.**

RWTÜV  
Postfach 10 32 61, 4300 Essen 1

**Wieters, Carl-Ulrich, Dr.**

I. Physikalisches Institut der Universität Giessen  
Heinrich-Buff-Ring 16, 6300 Giessen

**Wimmers, Manfred, Dr.-Ing.**

AVR GmbH  
Hambacher Forst, 5170 Jülich

**Wirth, Wolfgang, Dipl.-Ing.**

Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich  
Postfach 1 25, 5401 Mülheim-Kärlich

**Witt, Werner, Geschäftsführer Dr.-Ing.**

TÜV Norddeutschland  
Grosse Bahnstr. 31, 2000 Hamburg 54

**Wolf, Dietrich, Dr.**

GRS  
Schwertnergasse 1, 5000 Köln 1

**Wolke, Klaus**

DWK  
Postfach 14 07, 3000 Hannover 1

## Z

**Zeibig, Herbert, Dr.**

Technische Beratung  
Apostelstr. 11, 5000 Köln 1

**Ziermann, Egon, Ing. (grad.)**

AVR GmbH  
Hambacher Forst, 5170 Jülich

**Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH**

Schwertnergasse 1  
5000 Köln 1

Forschungsgelände  
8046 Garching

ISBN 3 - 923875 - 06 - 1