

# Aufkommen, Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland

R. Neider

Nachdruck aus Amts- und Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) 12 (1982) Nr. 4 S. 351 / 356

## Inhaltsangabe

Überblick über die Erzeugergruppen, die Art und Mengen der entstehenden radioaktiven Abfälle, Beschreibung der Behandlung dieser Abfälle mit dem Ziel, sie in eine endlagerfähige Form zu bringen. Darstellung der bisherigen Erfahrungen bei der versuchsweisen Beseitigung radioaktiver Abfälle und der Pläne zur Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle im Salzstock Gorleben. Es bestehen gute Aussichten, das Ziel der Endlagerung radioaktiver Abfälle zu erreichen, sie nämlich in eine Position zu bringen, aus der heraus sie für die heute lebenden Menschen und für künftige Generationen keine Gefahr mehr darstellen.

*Radioaktiver Abfall – Endlager für radioaktiven Abfall – Wiederaufbereitungsanlage – Konditionierung von radioaktiven Abfällen – Beseitigung von radioaktiven Abfällen – Strahlenschutz*

## 1. Einführung

Der wachsende Berg von Abfällen aus den Haushalten und der Industrie bereitet heute ernsthafte Probleme. Man macht sich viel Gedanken darüber, wie Haus- und Industriemüll gefahrlos beseitigt werden kann. Mit unserem wachsenden Wohlstand hat das Volumen dieses Mülls lawinenartig zugenommen, und heute wird in der Bundesrepublik Deutschland pro Einwohner und Jahr etwa eine halbe Tonne Müll produziert, der gefahrlos beseitigt werden muß, weil er zum Teil auch Giftstoffe enthält.

Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen in der Medizin, der Technik, der Wissenschaft, der Industrie und vor allen Dingen beim Betrieb von Kernkraftwerken und dem damit verbundenen Kernbrennstoffkreislauf fallen Abfälle an, die zu einem großen Teil radioaktiv, also auch giftig, d. h. für die menschliche Gesundheit schädlich sind. Im folgenden soll ein Überblick darüber gegeben werden, welche Arten von radioaktivem Müll heute anfallen, ferner, wo und in welchen Mengen sie anfallen und wie man den radioaktiven Abfall behandelt, um ihn in eine möglichst ungefährliche Form zu bringen, in der er dann schließlich auch endbeseitigt werden kann. Das bedeutet, daß er in eine Position gebracht werden soll, aus der heraus er der Menschheit und der Umwelt nicht mehr schädlich werden kann.

## 2. Das Aufkommen radioaktiver Abfälle

In Tab. 1 wird ein Überblick über die Erzeugergruppen von radioaktivem Abfall und die Abfallarten gegeben (1). Zu den Erzeu-

gergruppen gehört der große Bereich der eigentlichen Kerntechnik, nämlich die Kernkraftwerke, Wiederaufbereitungsanlagen, sonstige Kernbrennstoffkreislaufanlagen, also z. B. Uran-Erzbergwerke oder auch Uran-Erzaufbereitungsanlagen und die Entwicklungszentren der kerntechnischen Industrie selbst, sowie die sogenannte Isotopenanwendung im F- + E-Bereich (Forschung und Entwicklung) an den Universitäten und sonstigen Forschungsinstituten, im medizinisch-pharmazeutischen Bereich, der nicht nur die Krankenhäuser umfaßt, sondern auch die pharmazeutische Industrie, im Bereich der Meß- und Prüftechnik sowie in der Industrie. Dazwischen stehen die kerntechnischen Großforschungszentren Karlsruhe, Jülich, Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung Berlin GmbH

und eine Reihe anderer Institutionen. Man unterscheidet zwischen dem Abfall, der nur Kernbrennstoffe, also z. B. nur Uran und Plutonium enthält, den mit Kernbrennstoff kontaminierten  $\beta$ - $\gamma$ -Gemische enthaltenden Abfall, der vor allem bei den Wiederaufbereitungsanlagen, in den Entwicklungszentren der kerntechnischen Industrie und den Großforschungszentren auftritt und die kernbrennstofffreien  $\beta$ - $\gamma$ -Strahler enthaltenden Abfälle. Dies sind relativ kurzlebige radioaktive Abfälle mit weniger als 30 Jahren Halbwertszeit. In sehr vielen Bereichen treten ferner noch tritiumhaltige Abfälle auf. In den kerntechnischen Großforschungszentren und in dem Bereich der sogenannten Radionuklidanwendung kommt ein breites Spektrum von Einzelradionukliden dazu.

Erzeugergruppen Abfallarten	KERNTÉCHNIK					ISOTOPENANWENDUNG			
	KKW	WA-Anlagen	sonstige Kernbrennst.-Kreis.-Anl.	Entwick.-Zentren d. Kernt. Industrie	kern-techn. Großforschungszentren	F + E (Univ. usw.)	Medizin Pharmazie	Meß- u. Prüf-technik	Industrie
kernbrennstoffhaltig (z. B. U und Pu)									
kernbrennstoffkontaminiertes $\beta$ - $\gamma$ -Gemisch									
kernbrennstofffreies $\beta$ - $\gamma$ -Gemisch									
ggf. verunreinigte Tritiumabfälle									
Einzelisotope (hierbei sehr breites Spektrum)									

Tab. 1. Abfallarten und Erzeugergruppen.

Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. R. Neider,  
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM),  
Berlin

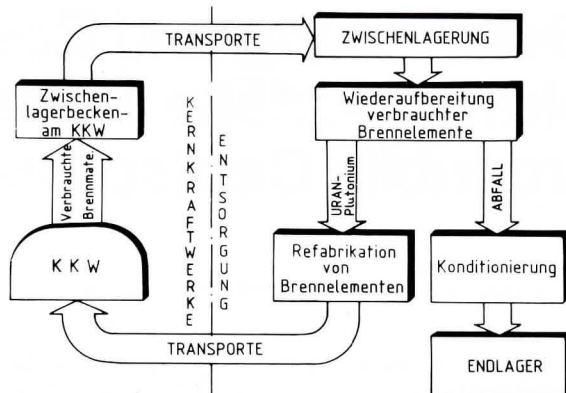


Abb. 1. Brennstoffkreislauf bei integriertem Entsorgungskonzept.

Abb. 1 stellt den Kernbrennstoffkreislauf unter der Voraussetzung eines integrierten Entsorgungskonzeptes, wie es z. Z. von der Bundesregierung verfolgt wird, dar [2]. Aus dem Kernkraftwerk kommen die verbrauchten Brennelemente in das Zwischenlagerbecken am Kernkraftwerk selbst und werden nach einer Abklingzeit von ein bis zwei Jahren zur längeren Zwischenlagerung befördert, um schließlich in die Wiederaufbereitungsanlage zu kommen. Dort wird das noch brauchbare Plutonium und Uran abgetrennt, zur Herstellung von neuen Brennelementen benutzt und wieder im Kernkraftwerk eingesetzt. Die übrigen Spaltprodukte, die bei der Kernspaltung entstanden sind,

werden als Abfall aus der Wiederaufbereitungsanlage abgeführt und konditioniert, d.h., sie werden in eine Form gebracht, in der die radioaktiven Stoffe möglichst gut eingebunden sind, so daß sie dann schließlich in ein Endlager verbracht werden können.

Man unterscheidet zwischen Rohabfällen (Tab. 2) und den endkonditionierten radioaktiven Abfällen (Tab. 3) [1]. Bei den Rohabfällen unterscheidet man nach den physikalisch-chemischen und den radiologischen Eigenschaften. Man kann jede der Klassen noch einmal nach ihrer spezifischen Aktivität einteilen, sofern es sich um gasförmige und flüssige Stoffe handelt.

phys.-chem. Eigenschaften	radiologische Eigenschaften		
gasförmige Rohabfälle	$< 10^{-10}$ Ci/m <sup>3</sup>	$10^{-10} - 10^{-6}$ Ci/m <sup>3</sup>	$> 10^{-6}$ Ci/m <sup>3</sup>
flüssige Rohabfälle nicht brennbar brennbar	$< 1$ Ci/m <sup>3</sup>	$1 - 10^3$ Ci/m <sup>3</sup>	$> 10^3$ Ci/m <sup>3</sup>
feste Rohabfälle nicht brennbar brennbar	$< 0,2$ rem/h	$0,2 - 2$ rem/h	$> 2$ rem/h
gärfähige Rohabfälle	an der Oberfläche		

Tab. 2. Klassifizierung von radioaktiven Rohabfällen (Vorschlag von H.-Ch. Breest).

- **schwachaktiv** (LAW = low activity waste)
  - $\leq 200$  mrem/h an der verpackten Oberfläche oder
  - $\leq 10$  mrem/h in 1 m Abstand von der Oberfläche
  - Keine zusätzliche Abschirmung erforderlich.
- **mittelaktiv** (MAW = medium activity waste)
  - $> 200$  mrem/h an der verpackten Oberfläche oder
  - $> 10$  mrem/h in 1 m Abstand von der Oberfläche
  - Zusätzliche Abschirmung zur Handhabung, aber noch keine maßgeblichen Kühlvorkehrungen erforderlich.
- **hochaktiv** (HAW = high activity waste)
  - verfestigte Spaltproduktkonzentrate aus der Aufarbeitung abgebrannten Kernbrennstoffs – ggf. unaufgearbeitete, abgebrannte Brennelemente: Schwere Abschirmung zur Handhabung und maßgebliche Kühlvorkehrungen erforderlich.

Tab. 3. Klassifizierung von endkonditionierten radioaktiven Abfällen (Vorschlag aus der Systemstudie „Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland“ Band 6 KWA 12/14).

Die festen nichtbrennbaren oder brennbaren Rohabfälle unterscheidet man nach der Dosisleistung an der Oberfläche.

Die Rohabfälle werden so konditioniert, daß sie in eine der in Tab. 3 aufgeführten drei Gruppen fallen.

Einige Beispiele für Grenzwerte für die spezifischen Aktivitäten von schwachaktiven Abfällen sind in Tab. 4 angegeben. Sie sind den Vorschriften der Gefährdungsverordnung Straße entnommen und gelten für feste Stoffe von geringer Aktivität.

Radionuklid	Zerfallsart	LLS-Grenzwert Ci/g
Am-241	$\alpha$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Pu-239	$\alpha$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
C-14	$\beta$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
H-3	$\beta$	2,0
Sr-90	$\beta$	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Co-60	$\beta, \gamma$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Cs-137	$\beta, \gamma$	$4,0 \cdot 10^{-2}$

Tab. 4. Grenzwerte für die spezifische Aktivität von schwachaktiven Abfallgebänden mit einer Masse von max. 500 kg.

In Abb. 2 ist die Anzahl und Art der im ehemaligen Salzbergwerk Asse II von 1967 bis 1978 eingelagerten radioaktiven Abfallgebände dargestellt [3]. Die Asse ist ein ehemaliges Salzbergwerk, das 1965 von der Bundesregierung gekauft und von 1967 an zur versuchsweisen Einlagerung von radioaktiven Abfällen benutzt wurde. In Abb. 2 ist angegeben, wieviel Abfallgebände dort in den verschiedenen Jahren eingelagert wurden. Die Säulen setzen sich aus 3 Abschnitten zusammen, der untere Abschnitt, also z. B. für das Jahr 1973, enthält 11460 200- oder 400-l-Fässer schwachradioaktiven Abfalls in einbetonierter Form, der nächste Abschnitt stellt 771 Fässer mittelradioaktiven Abfalls mit einer sog. verlorenen Betonabschirmung dar, bei denen die Dosisleistung an der Oberfläche des Fas-

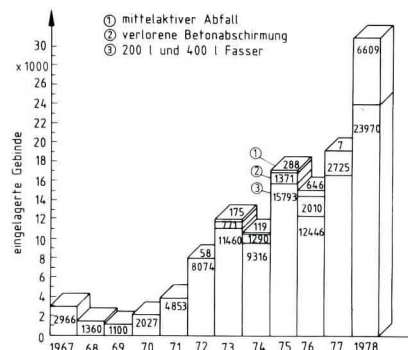


Abb. 2. Anzahl und Art der im ehemaligen Salzbergwerk Asse II von 1967–78 eingelagerten radioaktiven Abfallgebände.

ses größer als 200 Millirem/h war und deswegen eine zusätzliche Abschirmung benutzt werden mußte. Die Fässer wurden mit dieser Abschirmung eingelagert. Der oberste Abschnitt der Säulen repräsentiert mittelaktiven Abfall, der ohne derartige Abschirmungen eingelagert wurde, weil die Dosisleistung an der Außenseite des Gebindes so hoch war, daß sie mit einem besonderen Behälter zurASSE transportiert werden mußten. Da man aber diese teuren und schweren Behälter natürlich nicht in derASSE verschwinden lassen wollte, sind diese Fässer mit geeigneter Technik in derASSE untergebracht worden, die eine Strahlenbelastung des beteiligten Personals sehr klein gehalten hat. Diese Einlagerungstechnik ist schematisch in Abb. 3 dargestellt.

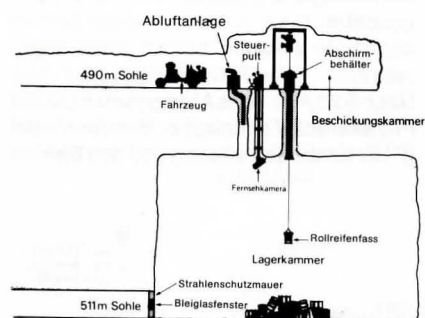


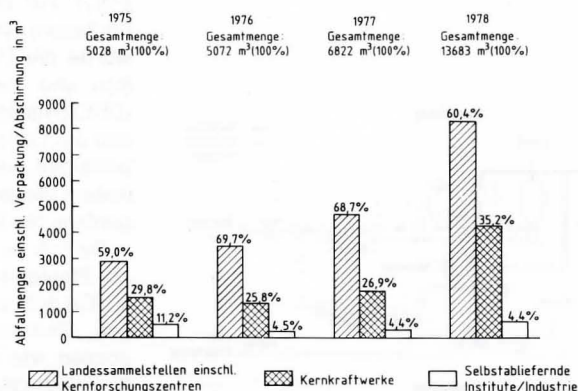
Abb. 3. Schema der Einlagerung mittelaktiver Abfälle in derASSE (aus GSF, Zur Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse).

Das meiste Volumen wird von den 200- und 400-l-Fässern, dem schwachradioaktiven Abfall, eingenommen. 1978 waren dies 23970 Fässer mit schwachaktivem Abfall und 6609 Fässer mit verlorener Betonabschirmungen.

Abb. 4 zeigt, woher diese Abfälle gekommen sind [4]. Dabei wird zwischen drei verschiedenen Gruppen unterschieden:

- Landessammelstellen:  
In jedem Bundesland existiert eine Sammelstelle für radioaktiven Abfall, an die der Abfall abgeliefert werden

Abb. 4. Herkunft der im ehemaligen Salzbergwerk Asse II von 1975-78 eingelagerten radioaktiven Abfälle.



Tab. 5. Schätzungen der PTB [5] für den jährlichen Abfall von radioaktiven Abfällen bei Betrieb einer Wiederaufbereitungsanlage mit einem Jahresdurchsatz von 1400 t.

Abfallart	Herkunft	Anzahl der Gebinde/Jahr	Art des Gebindes
HAW	Wiederaufbereitung	1.760	Glasblock
MAW	Wiederaufbereitung	16.795	400 l Faß
LAW	Wiederaufbereitung	10.560	400 l Faß
LAW/MAW	KKW		400 l Faß 200 l Faß z.T. mit verlorener Betonabschirmung
LAW	Landessammelstellen	3.180	200 l Faß
LAW/MAW	Großforschungszentren	5.637	400 l Faß 200 l Faß z.T. mit verlorener Betonabschirmung
Summe:		72.232	Gebinde

muß, der aus den wissenschaftlichen Instituten, der Medizin und der Industrie kommt.

- Kernkraftwerke.
- Selbst an das Endlager abliefernde Institute und größere Industriebetriebe, wozu zum Teil auch die Kernforschungszentren selbst gehören.

Bei den angefallenen Abfallmengen ist zu berücksichtigen, daß zu diesem Zeitpunkt, abgesehen von der kleinen Wiederaufbereitungsanlage in Karlsruhe, in der Bundesrepublik Deutschland noch keine Wiederaufbereitungsanlage in Betrieb war, was auch heute noch nicht der Fall ist. Die Situation wird sich ändern, wenn in der Bundesrepublik Deutschland eine Wiederaufbereitungsanlage in Betrieb sein wird. Zur Zeit werden konkrete Pläne verfolgt, eine Anlage mit einem jährlichen Durchsatz von 350 t zu errichten. In Tab. 5 ist eine Schätzung für den anfallenden radioaktiven Abfall bei einer Anlage mit einem jährlichen Durchsatz von 1400 t/Jahr enthalten. Mit diesen 1400 t/Jahr hätten etwa 50 Kernkraftwerke entsorgt werden können. Die Schätzungen stammen von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) [5]. Man erkennt in Tab. 5, daß der hochaktive Abfall (HAW) im Verhältnis zu den übrigen Abfallsorten nur relativ wenig Volumen einnimmt, nämlich nur

1760 Glasblöcke/Jahr, wobei ein Glasblock etwa 70 l Inhalt hat. Im Jahr fallen daher nur 130 m³ hochaktiver Abfall an. Dies gilt für 50 Kernkraftwerke und eine Wiederaufbereitungsanlage mit einem Durchsatz von 1400 t/Jahr. Auf das Volumen bezogen entsteht nur etwa 1% hochaktiver Abfall und 99% mittel- und schwachaktiver Abfall. Umgekehrt beträgt der Anteil des hochaktiven Abfalls an der Gesamtaktivität etwa 99%. Aus diesen Zahlen läßt sich auch folgern, daß beim Betrieb eines Kernkraftwerkes mit einer Leistung von 1000 MW und nachfolgender Wiederaufarbeitung der Brennelemente pro Jahr etwa 10 m³ hochaktiver flüssiger Abfall entsteht. Aus diesen 10 m³ flüssigem Abfall werden durch Eindampfen und Einbetten in Glas 2 bis 4 m³ fester Abfall produziert. Dieser feste verglaste Abfall wird in eine Stahlkille mit einem Durchmesser von 30 cm und einer Höhe von 1 m bei einer Wandstärke von 4,5 cm eingegossen.

### 3. Die Behandlung radioaktiver Abfälle

Radioaktive Rohabfälle müssen in eine sichere Form gebracht werden, in der sie zum Endlager befördert und dort auch sicher eingebracht werden können. Das geschieht bei den hochaktiven Abfällen dadurch, daß sie verglast werden. Eine industrielle Verglasungsanlage ist in Frankreich in Marcoule bereits seit mehreren Jahren in Betrieb, so daß die Franzosen schon einen erheblichen Anteil ihrer flüssigen hochaktiven Abfälle verglast haben. In der Bundesrepublik Deutschland sind derartige Anlagen in der Erprobung. Demnächst wird eine Verglasungsanlage von der Bundesrepublik Deutschland gemeinschaftlich mit anderen Ländern in Belgien bei der ehemaligen Wiederaufbereitungsanlage Eurochemic in Mol in Betrieb genommen werden. Schwachradioaktive Abfälle wird man im allgemeinen in Zement oder in Bitumen einbinden. Vorher müssen sie aber noch konzentriert und auf ein möglichst kleines Volumen gebracht werden, damit sie später nur wenig Raum einnehmen.

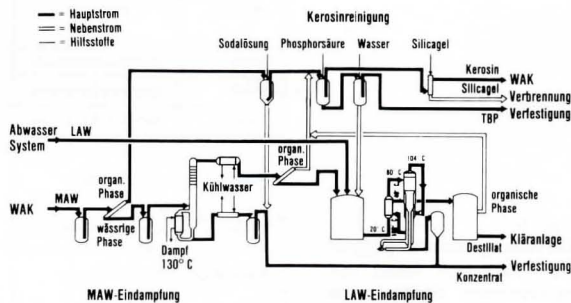
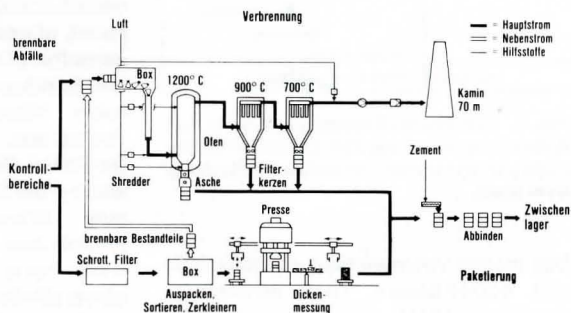


Abb. 5. Dekontamination von flüssigen radioaktiven Abfällen.

Abb. 5 zeigt ein Schema für die Dekontamination von flüssigen Abfällen [6]. Dabei findet eine Einengung und Abtrennung der radioaktiven Komponenten statt, so daß die große Menge der Flüssigkeit diese Anlage verläßt. Diese Anlage wird im Kernforschungszentrum Karlsruhe im halbtechnischen Maßstab betrieben. Es gibt zwei Einspeisungssysteme, nämlich für das niedrigaktive Abwasser aus dem Kernforschungszentrum (LAW) und für das hochaktive Abwasser aus der Wiederaufbereitungsanlage WAK (MAW). Das schwachaktive Abwasser geht in einen Auffangbehälter und wird verdampft, gleichzeitig wird die organische Phase abgeschieden und in einen anderen Kreislauf rückgeführt. Das Destillat wird nach entsprechender Messung auf noch vorhandene Aktivität in die Kläranlage abgegeben, und das Konzentrat wird durch Einbindung in Zement verfestigt. Bei den hochaktiven Flüssigkeiten aus der Wiederaufbereitungsanlage wird die in starkem Maße enthaltene organische Phase abgeschieden und gesondert weiterbehandelt. Dann folgt eine zweistufige Verdampfung. Das Konzentrat aus beiden Stufen wird abgeführt. Im oberen Teil des Bildes ist die Anlage zur Aufbereitung und zur Dekontaminierung der organischen Phase dargestellt. In Abb. 6 ist das Verfahren zur Verfestigung der radioaktiven Konzentrate dargestellt [6]. Aus dem Auffangbehälter wird das Konzentrat in eine 200- oder 400-l-Tonne gefördert, in die vorher flüssiger Zement gegossen wurde. Dann wird das Konzentrat in den Zement eingerührt, und man läßt alles fest werden. Nach dem Ver-

schließen ist das Abfallgebilde für das Zwischen- bzw. Endlager fertig. Das gleiche kann man auch mit Bitumen statt des Zements tun. Diese Art der Konditionierung wird allerdings im Augenblick nicht weiter verfolgt, weil von den Aufsichtsbehörden gefordert wird, daß ein Zwischenlager flugzeugabsturz sicher sein muß. Weil Bitumen bekanntlich brennbar ist, müßte ein derartiges Lager entsprechend geschützt werden. Es ist

Abb. 7. Verarbeitung von festen radioaktiv kontaminierten Abfällen.



auch noch offen, ob man im Endlager den Störfall „Brand des Bitumens der Abfallgebilde“ einkalkulieren wird oder nicht. Andererseits wird man nicht umhin können, den radioaktiven Abfall, der von der Wiederaufbereitung unserer Brennelemente in La Hague in Frankreich in die Bundesrepublik Deutschland zurückgeschickt wird, in bituminierte Form anzunehmen, weil dies von den Franzosen so vorgesehen wird.

In Abb. 7 ist die Verarbeitung von festen kontaminierten Stoffen dargestellt [6]. Es gibt zwei Möglichkeiten:

- Sie werden verbrannt, wobei die Abgase natürlich gefiltert und erst nach einer Messung über den Kamin abgeblasen werden. Die Asche mit den Filterkerzen wird mit Zement verfestigt.
- Nichtbrennbare Abfälle werden nach Auspacken, Sortieren und Zerkleinern auf ein möglichst kleines Volumen zusammengepreßt und dann ebenfalls mit Zement übergossen.

#### 4. Die Beseitigung radioaktiver Abfälle

Gemäß § 9 Abs. 3 des Atomgesetzes hat der Bund Anlagen zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle einzurichten. Die Errichtung und der Betrieb derartiger Anlagen bedarf eines sogenannten Planfeststellungsverfahrens. Nach § 23 Abs. 1 des Atomgesetzes ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) für die Einrichtung und den Betrieb

dieser Anlagen des Bundes zuständig. Sie hat im Auftrag des Bundes den Antrag für die Planfeststellung bei den zuständigen Landesbehörden zu stellen und die dafür erforderlichen Unterlagen zu erarbeiten. Bei der Wahrnehmung dieser Aufgaben bedient sie sich der Hilfe Dritter, so wird sie u. a. von der BAM, aber auch von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und von vielen anderen wissenschaftlichen Institutionen unterstützt. Zur Errichtung des eigentlichen Endlagers und zum späteren Betrieb wurde die Deutsche Gesellschaft zum Bau und zum Betrieb von Endlagern (DBE) gegründet. Sie wird also später einmal das Lager in Gorleben errichten und betreiben, wenn es dazu kommen sollte. Neben diesem Endlager in Gorleben ist geplant, das Endlager in der Asse wieder in Betrieb zu nehmen. Auch hierfür wird ein Planfeststellungsverfahren eingeleitet. Ein drittes Endlager ist in der ehemaligen Eisenerzgrube Konrad, die sich ebenso wie die Asse in der Nähe von Braunschweig befindet, geplant. In der

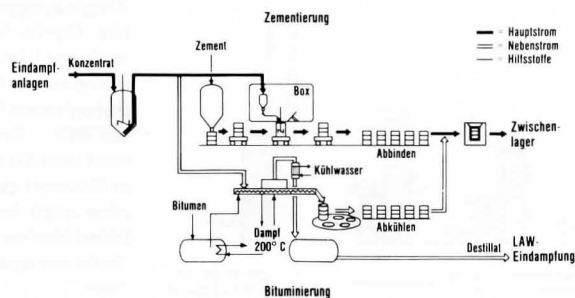


Abb. 6. Verfestigung von radioaktiven Konzentratrückständen aus der Dekontamination von flüssigen radioaktiven Abfällen.

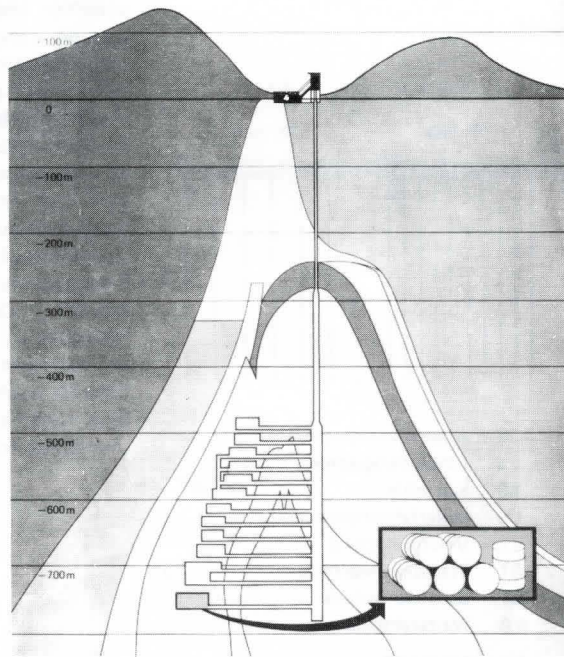


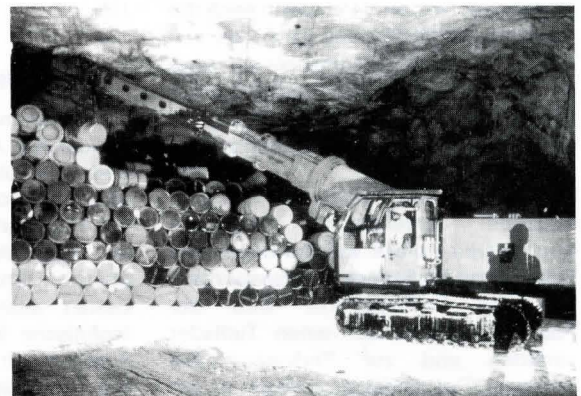
Abb. 8. Modellartiger Schnitt durch das Salzbergwerk Asse.

Bundesrepublik Deutschland hat man der Beseitigung radioaktiver Abfälle bereits sehr früh große Aufmerksamkeit geschenkt, denn schon 1965 ist das damals aufgelassene Salzbergwerk Asse von der Bundesregierung gekauft und dann dort das erste Versuchsendlager eingerichtet worden. Im Laufe dieser versuchsweisen Endlagerung hat sich die Praktikabilität und die Durchführbarkeit dieser Art von Endlagerung gezeigt. Abb. 8 zeigt einen modellartigen Schnitt durch das Salzbergwerk Asse. 200 m unter der Erdoberfläche beginnt der eigentliche Salzstock. Der Schacht in den Salzstock führt bis auf fast 800 m Tiefe. Man erkennt die Strecken, die ursprünglich zur Gewinnung des Salzes vorgebracht wurden, und großen Kammern, die als Einlagerungskammern benutzt wurden. In der Asse sind in der Vergangenheit im wesentlichen zwei verschiedene Einlagerungstechniken verwendet worden [7]: In Abb. 9 sieht man die Stapelung von 200-l-Fässern mit schwachaktivem Abfall. Während man dies in der ersten Zeit in der gezeigten Weise getan hat, wurden die Fässer später einfach in eine große Kaverne abgekippt und mit Salz überschüttet. Das war bei den schwachaktiven und bei den Abfällen, die eine verlorene Betonabschirmung hatten, möglich. Die mittelaktiven Abfälle ohne verlorene Betonabschirmung wurden in einem Transportbehälter, der die hohe Strahlung abschirmte, angefahren (Abb. 3). Dieser Behälter wurde über den Beschickungsschacht gefahren und

unten geöffnet. Dann wurde das Rollreifenfaß automatisch unter Beobachtung mit einer Fernsehkamera in die Lagerkammer abgelassen.

Die versuchsweise Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse erfolgte aufgrund anderer gesetzlicher Voraussetzungen als sie heute für ein Endlager angewendet werden müssen. Wie bereits ausgeführt, ist hierfür ein Planfeststellungsverfahren erforderlich, das 4–5 Jahre dauern kann. Deswegen stehen die Gruben Asse und Grube Konrad im Augenblick nicht für die Endlagerung zur Verfügung. Zur Zeit lagert daher ein großer Teil der in den letzten Jahren angefallenen radioaktiven Abfälle in den Abfallsammelstellen der einzelnen Bundesländer.

Abb. 9. Einlagerfahrzeug beim Stapeln von 200-l-Fässern mit schwach radioaktivem Abfall (aus GSF, Zur Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse).



Für das Endlager in Gorleben ist folgendes Konzept entwickelt worden. Die radioaktiven Abfälle sollen so in eine Position gebracht werden, daß sie nicht mehr in die Biosphäre eintreten können. Dafür bieten sich tiefe geologische Formationen, z. B. Salzstöcke, an, denn sie enthalten im allgemeinen große Partien reinen Steinsalzes. In einer hier ausgehöhlten Kaverne, die nach allen Seiten durch viele Hunderte Meter dicke reine Steinsalzformationen umgeben ist, liegt der Abfall praktisch unbeeinflusst sehr trocken, weil es dort kein Wasser gibt. Wenn eine derartige Kaverne mit radioaktiven Abfällen gefüllt ist, werden die noch verbliebenen Zwischenräume wieder mit Salz gefüllt. Aufgrund entsprechender Erfahrungen weiß man, daß der Druck des Gebirges (Konvergenz) das Salz zusammenfließen läßt, so daß nach einigen zig Jahren die Abfallgebinde hermetisch dicht vom Salz umschlossen sind.

Bekanntlich ist der Salzstock Gorleben im Wendland in Niedersachsen zur Aufnahme eines Endlagers für radioaktive Abfälle vorgesehen [2]. Zur Zeit wird durch Bohrungen und andere Untersuchungen erkundet, ob er dafür auch geeignet ist. Der Salzstock Gorleben gehört zu den größeren Salzstöcken in Niedersachsen. Seine Umriss sind durch seismische Messungen hinreichend bekannt. Er ist in SW-NO-Erstreckung rund 12 km lang und etwa 3 km breit, der Salzspiegel liegt 200 bis 300 m tief. Unter der Elbe setzt sich der Salzstock in die in der DDR gelegene Struktur Rambow fort.

Für das Endlagerbergwerk, das nach Abschluß eines Planfeststellungsverfahrens in dem Salzstock errichtet werden soll, existiert bisher nur eine standortunabhängige Planung. Diese Planung wird, entsprechend den Ergebnissen der untertägigen Erkundung, modifiziert und an die realen Verhältnisse innerhalb des Salzstockes angepaßt werden.

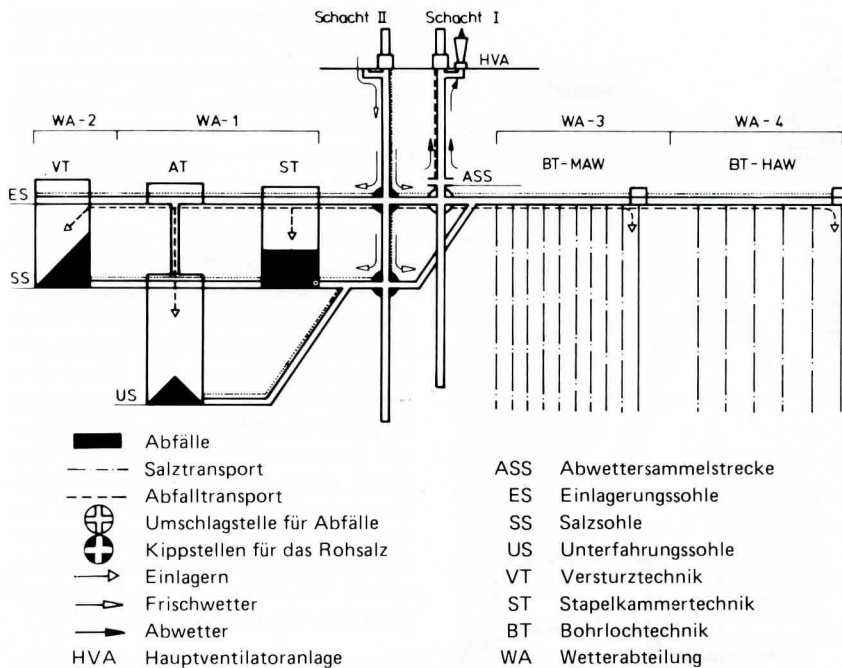


Abb. 10. Schematischer Schnitt durch das Endlagergrubengebäude (2).

Das derzeitige Konzept für ein Bergwerk sieht ein Endlager in einer Tiefe von 800 bis 1000 m vor. Der Abstand zum Salzspiegel soll mindestens 300 m betragen, der Abstand zu den Flanken des Salzstocks mindestens 200 m. Das Bergwerk wird durch zwei Schächte in ca. 500 m Abstand erschlossen werden, um die ein Sicherheitspfeiler von ca. 300 m stehen bleiben soll (Abb. 10).

Die schwach- und die meisten mittelaktiven Abfälle sollen nach der im Bergwerk Asse II entwickelten Technik in Kammern deponiert werden. Die Kammern sollen nach Beschickung mit Salz versetzt und versiegelt werden.

Die verglasten hochaktiven Abfälle und die mittelaktiven Abfälle mit nicht vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sollen etwa 1000 m davon entfernt auf der entgegengesetzten Seite der Schächte in Bohrlöchern untergebracht werden. Die Bohrlöcher für den HAW sollen nach der derzeitigen PTB-Planung eine Tiefe von 300 m und einen Durchmesser von etwa 35 cm haben; die Temperatur an der Oberfläche der verglasten Abfälle soll den Wert von 200 °C nicht überschreiten.

Die in Edelstahlkanistern und Abschirmbehältern angelieferten verglasten hochaktiven Abfälle werden durch den Schacht zur Endlagersohle transportiert. Auf der Endlagersohle wird der Abschirmbehälter auf einen Tieflader verladen und zur Endlagerstrecke gebracht. Das Endlagerbohrloch ist mit

einem Strahlenschutzschieber verschlossen, auf dem der Abschirmbehälter abgesetzt wird. Nach dem Öffnen des Verschlussbodens, des Abschirmbehälters und des Strahlenschutzschiebers auf dem Bohrloch wird der Behälter mit dem hochaktiven Abfall in das Bohrloch abgesenkt.

Das Bohrloch wird nach Beendigung der Einlagerung versiegelt. Die Lagerstrecke wird über den vollen Bohrlöchern verfüllt, damit immer nur der zum Betrieb des Endlagers notwendige Raum offensteht. Bei Verwendung heute üblicher Versatztechniken kann man davon ausgehen, daß bei den verfüllten Strecken ein Porenhohlraum von ca. 40 % übrig bleibt, der durch die Konvergenz des anstehenden Steinsalzes zunehmend geringer werden wird. Nach Einlagerung der vorgesehenen Abfälle in dem Bergwerk sollen alle noch offenen Hohlräume einschließlich der Schächte verfüllt werden [2].

### 5. Schlußfolgerungen

Die Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle stellt für die Technik und nicht zuletzt für die Materialprüfung eine Reihe von interessanten und reizvollen Aufgaben dar. Dabei handelt es sich um Fragestellungen, die zwar neuartig, aber vom Grundsatz her lösbar sind. Man besitzt ausreichend wissenschaftlich-technische Erfahrungen, um derartige Probleme zu lösen. Daran haben die in den verschiedenen Bereichen dieses

Problemkomplexes tätigen Wissenschaftler keine Zweifel. Dabei soll als Lösung angesehen werden, wenn erreicht worden ist, daß der radioaktive Abfall mit einer Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit so beseitigt wird, daß weder die heute, noch die künftig lebenden Menschen dadurch geschädigt werden. Der Endzustand wird dem Ausgangszustand ähnlich sein: Das radioaktive Uranerz lagerte in der Erde, wurde zur Energiegewinnung gefördert und verbraucht. Die dabei entstandenen radioaktiven Abfälle werden wieder in das Erdreich verbracht und haben nach 1000 bis höchstens 10 000 Jahren wieder eine spezifische Aktivität, die dem des Uranerzes entspricht.

### Literatur

- [1] Breest, H.-Ch.: Die Beseitigung radioaktiver Abfälle. 7. IRPA-Regionalkongress/13. FS-Jahrestagung, Köln, 15.-19. Oktober 1979. In „Radioaktive Abfälle“ FS-79-20-T, (1980) Mai, S. 13-34.
- [2] Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE). Zusammenfassender Zwischenbericht, Juni 1981.
- [3] Stippler, R. und H. Kleinemann: Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung bei der Lagerung von radioaktiven Abfällen in einem Salzbergwerk; 7. IRPA-Regionalkongress/13. FS-Jahrestagung, Köln, 15.-19. Oktober 1979. In „Radioaktive Abfälle“ FS-79-20-T (1980) Mai, S. 261-275.
- [4] „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Jahresbericht 1978, BMI, S. 155.
- [5] Illi, H., D. Ehrlich und E. Warnecke: Anforderungen an radioaktive Abfälle, abgeleitet aus den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung. PTB-SE-5, Dezember 1981.
- [6] Höhlein, G. und W. Lins: Die Behandlung radioaktiver Abfallstoffe. KfK-Nachrichten, Jahrg. 13 1-2/81, S. 73-78.
- [7] Zur Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse GSF 1975.