

Eine Information
des
Bundesministers
für Forschung
und Technologie



Zur friedlichen Nutzung der Kernenergie

Eine Dokumentation der Bundesregierung

III d 5 Endlagerung radioaktiver Abfälle

5.1 Möglichkeiten der Endlagerung von radioaktiven Abfällen

Alle Nationen, die Kernforschung und Kerntechnik betreiben, stehen vor dem Problem der sicheren Beseitigung der dabei anfallenden radioaktiven Abfälle. So wird z. Z. eine große Zahl von Konzepten zur Lösung dieses Problems, die aber zum großen Teil noch nicht aus dem Stadium der Planung herausgewachsen sind, international diskutiert.

In Abb. 113 werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Beseitigung von radioaktiven Abfällen in der Bundesrepublik Deutschland, im Ausland sowie die international nutzbaren Gegebenheiten dargelegt.

Transmutation

Einige dieser Möglichkeiten sollen hier kurz erwähnt werden. Die Transmutation der langlebigen Actiniden, d. h.

- die Umwandlung in stabile oder kurzlebige Isotope durch den Einfang von Neutronen, oder
- die Umwandlung in kurzlebige Spaltprodukte durch Kernspaltung der schweren Elemente

wird diskutiert, um die langlebigen Actiniden dem Endlager fernzuhalten und so die langfristigen Sicherheitsprobleme bei der Endlagerung zu reduzieren. Es existieren bereits mehrere Konzepte zur Transmutation der langlebigen Actiniden. Nach neueren amerikanischen Untersuchungen scheint das durch den Betrieb der Anlagen für die Abtrennung der Actiniden aus dem radioaktiven Abfall, durch die Handhabung der dabei zusätzlich entstehenden Abfälle und die Rückführung in die Reaktoren, wo die Transmutation stattfinden soll, entstehende Risiko die Reduktion des langfristigen Endlagerisikos aufzuwiegen, so daß sich von daher kein Anreiz zur Abtrennung und Transmutation der Actiniden ergibt. Eine Abtrennung der langlebigen Actiniden ohne vollständige Transmutation brächte keinerlei Vorteil, da diese dann ebenfalls als hochaktiver Abfall endgelagert werden müßten.

Meer

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle durch Versenkung im Meer – hier handelt es sich durchweg um schwachaktive Abfälle – wird von der Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) organisiert und überwacht. Seit 1967 wurden etwa 37 740 t mit 3 220 Ci α -Aktivität und 170 000 Ci β - und γ -Aktivität in einer Tiefe von 4 500 m im Nordatlantik etwa

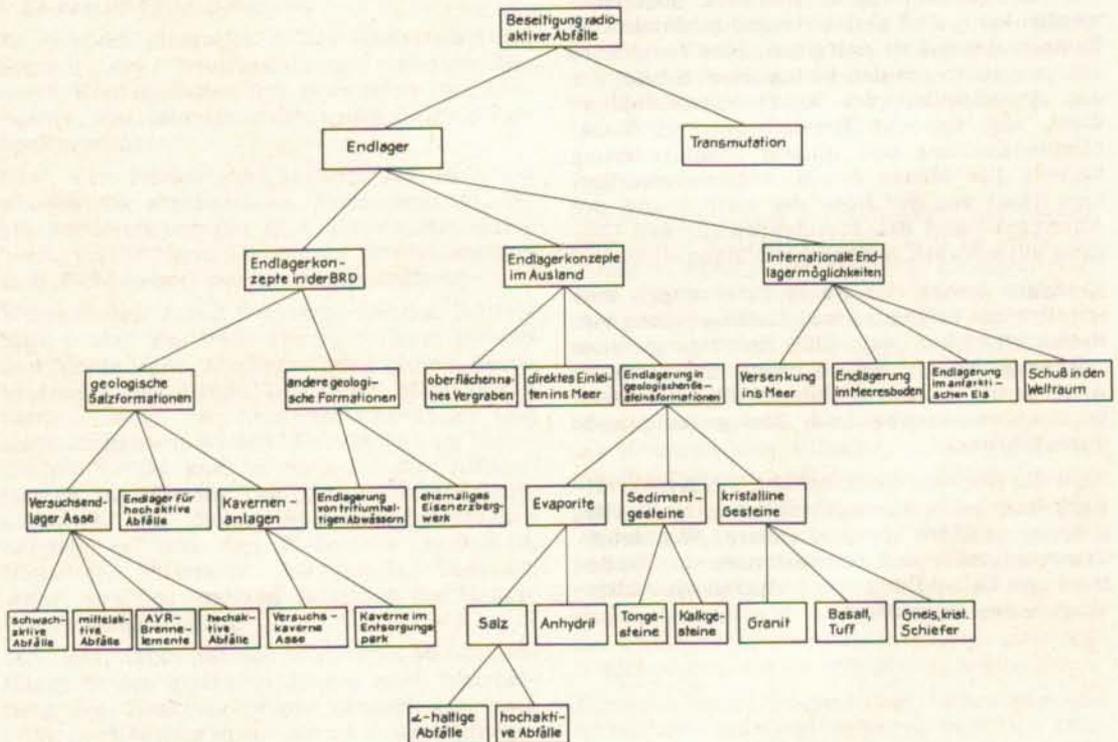


Abb. 113: Möglichkeiten zur Beseitigung radioaktiver Abfälle

2 000 km westlich der Kapverdischen Inseln versenkt. Diese Versenkungsaktionen sind von den nationalen Behörden zu genehmigen.

Das Versenkungsgebiet, Abfallart, Menge und Aktivität werden genau erfaßt, damit eine internationale Abstimmung der zu versenkenden Abfälle möglich ist. Die radioaktiven Abfälle müssen mit einem Bindemittel wie Bitumen oder Beton versetzt und sich in einem Stahl- oder Betonbehälter befinden.

Diese Art der Endlagerung hat sich als recht aufwendig und teuer erwiesen, so daß die Meeresversenkung in Zukunft wohl nur für einige spezielle Abfälle wie Tritium (Halbwertszeit 12,3 Jahre) oder Krypton-85 (Halbwertszeit 10,8 Jahre) Bedeutung erlangen könnte, wenn die entsprechenden internationalen Rechtsgrundlagen geschaffen werden können.

Eine andere, heute vor allem im Ausland diskutierte Endlagertechnologie ist die Einlagerung von hochaktiven Abfällen in Bohrlöchern im Meeresboden. Es ist geplant, den Bohrlöchern im Meeresboden eine Tiefe von 800 m zu geben, sie mit etwa 100 Abfallkannen aus rostfreiem Stahl zu füllen und die oberen 200 m mit Beton und Sedimenten zu versiegeln.

Die Sicherheit beider Endlagerkonzepte ist für den Fall der Freisetzung von Radionukliden – womit man bei der Versenkung der Abfallfässer sicher rechnet, während die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses bei der Einlagerung radioaktiver Abfälle in Bohrlöcher relativ gering ist – vor allem dadurch gegeben, daß eine vertikale Durchmischung der verschiedenen Tiefenschichten des Meeres kaum stattfindet, so daß der Transport freigesetzter Radionuklide in vertikaler Richtung, d. h. zur Meeresoberfläche oder höheren Meeresschichten, die einer Bewirtschaftung durch den Menschen unterliegen (Fischfang), fast ausschließlich auf der sehr langsamen Diffusion und nicht auf Konvektion beruht.

Weltraum

Ein weiterer Vorschlag, der vor allem in den USA diskutiert wurde, ist der Transport abgetrennter, langlebiger Bestandteile der radioaktiven Abfälle in den Weltraum bzw. der „Schuß in die Sonne“. Diese Konzepte zur Lösung des Problems der radioaktiven Abfälle haben sich jedoch als zu risikoreich und teuer erwiesen.

Aus den gleichen Gründen dürfte auch die Endlagerung von radioaktiven Abfällen im Polarkreis z. Z. nicht durchführbar sein.

Vergleicht man die in Abb. 113 angegebenen Alternativen der Endlagerung radioaktiver Abfälle, so ergibt sich vom Standpunkt der technischen Realisierbarkeit, der Sicherheit sowie der Kosten her, daß die Endlagerung in geo-

logischen Formationen die wahrscheinlich optimale Möglichkeit ist.

In Europa werden daher verschiedene geologische Formationen auf ihre Eignung als Endlager für radioaktive, besonders hochaktive Abfälle hin untersucht. Während man in der Bundesrepublik Deutschland bereits positive Erfahrungen mit der Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle in geologischen Salzformationen gemacht hat und auch die Endlagerung hochaktiver Abfälle in den gleichen Formationen vor keinen grundsätzlichen Schwierigkeiten mehr steht, werden in verschiedenen Ländern Europas auch andere geologische Formationen auf ihre Eignung hin untersucht.

So werden in Italien und Belgien mächtige Tonschichten, in Schweden Granite und in der Schweiz Anhydritformationen auf die Möglichkeit zur Endlagerung radioaktiver, speziell hochaktiver Abfälle überprüft. In den USA befindet sich ein Endlager für hochaktive Abfälle im Baustadium, das in einer tiefen geologischen Salzformation eingerichtet wird.

5.2 Endlagerung in Salzformationen am Beispiel des Versuchsendlagers Asse II

Als eine der sichersten Methoden der Endlagerung von radioaktiven Abfällen gilt heute das Einbringen in Gesteinsformationen des tieferen geologischen Untergrundes. Steinsalzformationen nehmen dabei aufgrund ihrer für die Endlagerung radioaktiver Abfälle günstigen Eigenschaften eine Vorrangstellung ein.

Da Steinsalz plastisches Verhalten zeigt, treten bei den in größeren Tiefen herrschenden Drücken keine Spalten oder Klüfte auf. Dadurch wird das Eindringen von Flüssigkeiten oder Gasen und umgekehrt auch ein ungehindertes Verlassen eingelagerter radioaktiver Stoffe verhindert. Salzformationen sind trotz der Wasserlöslichkeit des Salzes sehr beständig. Die meisten Salzstöcke in Norddeutschland bestehen seit etwa 200 Millionen Jahren und sind seit über 100 Millionen Jahren in ihrer jetzigen Form stabil. Zur Lagerung der radioaktiven Abfälle können große Hohlräume geschaffen werden, die über eine hohe Standfestigkeit verfügen und somit über längere Zeiträume stabil sind.

In der Bundesrepublik Deutschland sind geeignete Steinsalzformationen in genügender Zahl vorhanden, um die Entsorgung von radioaktiven Abfällen sicherzustellen.

Aufgrund der zitierten Eigenschaften des Salzes entschloß sich die Bundesregierung 1965 zum Ankauf des ehemaligen Salzbergwerkes Asse II durch die bundeseigene Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (GSF), um dort ein Versuchsendlager in einer Salzformation zu errichten und zu betreiben.

Die Asse ist ein etwa 8 km langer Höhenzug im nördlichen Vorland des Harzes, südöstlich von Wolfenbüttel. Sie wird durch einen Salzstock gebildet, der vor etwa 110 Millionen Jahren durch tektonische Kräfte aufgefaltet wurde. Dabei ist die Südflanke bis zur teilweisen Überkipfung aufgerichtet worden, während die

Schichten an der Nordflanke zunächst mit 40° einfallen und dann, weiter nach Norden absinkend, verflachen. Abbildung 114 zeigt einen Schnitt durch den Asse-Sattel im Bereich des Schachtes 2. Die Deckgebirgsschichten, bestehend aus verschiedenen Schichten von Keuper und Muschelkalk sowie Buntsandstein, treten

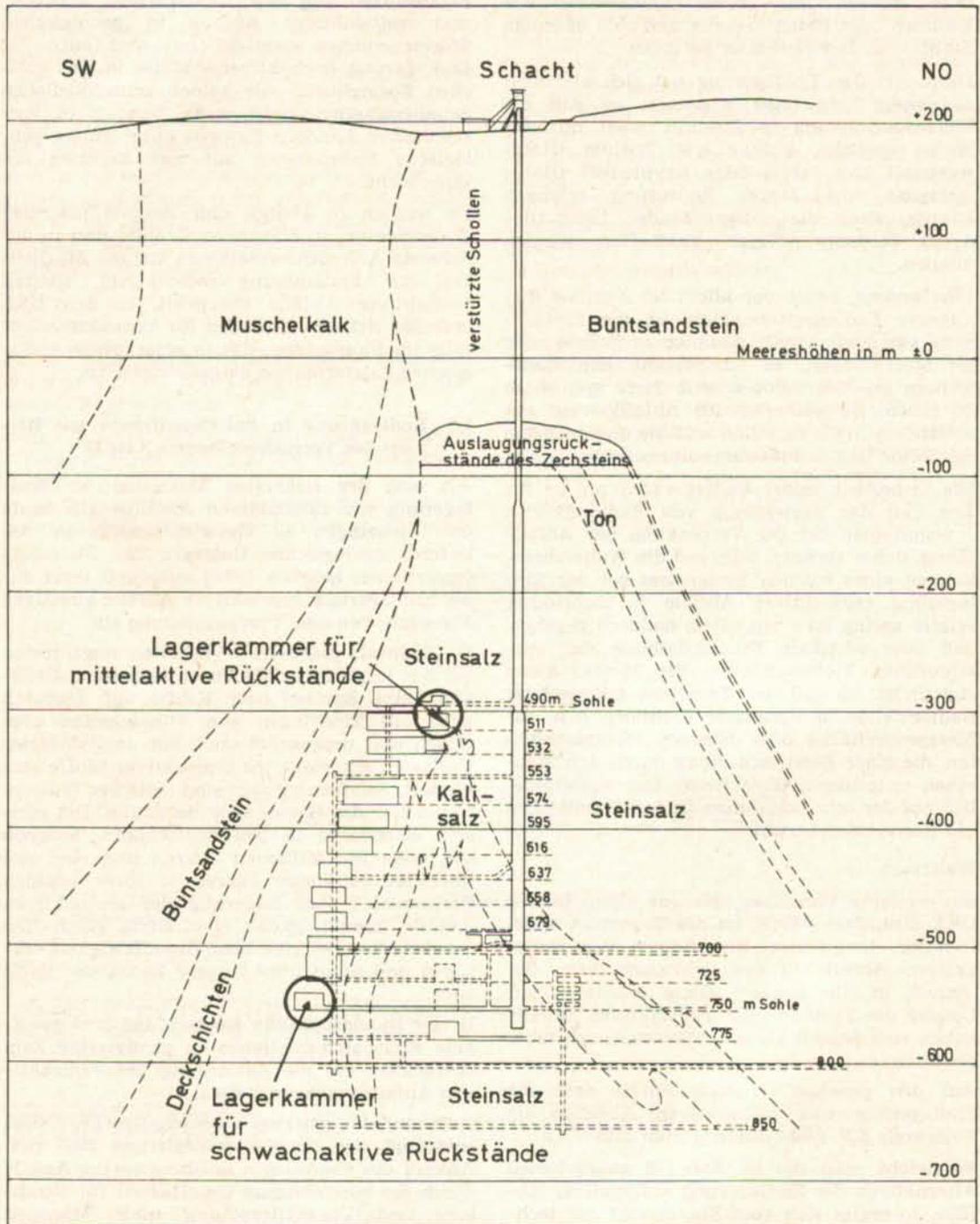


Abb. 114: Schnitt durch den Asse-Sattel im Bereich des Schachtes 2

über dem höchsten Teil des Salzsattels nicht unmittelbar aneinander, sondern haben zwischen sich das sogenannte Einsturzgebirge, bestehend aus sechs gegeneinander verkippten Großschollen des Unteren Buntsandsteins. Darunter befinden sich bis zum Salzspiegel, der im Bereich des Schachtes Asse 2 bei etwa 269 m Teufe liegt, die sogenannten Auslaugungsrückstände, eine Serie von tonigem Schluffgestein mit geringen Einschaltungen von Gips und Anhydrit.

Das Salz selbst ist aus einer Folge von Ablagerungen aus der Zechsteinformation aufgebaut.

Die tiefste und älteste in der Grube aufgeschlossene Salzpartie, das Na 2 oder Ältere Steinsalz, gehört der Staßfurt-Serie an. Sie ist mehr als 250 m mächtig. Ihre Basis liegt bei mindestens 1500 m Teufe. Darüber hinaus lagern etwa 10 bis 20 m mächtige kieseritische und polyhalitische Übergangsschichten bis zu dem auf der Südflanke 15 m und auf der Nordflanke bis zu 50 m mächtigen Kaliflöz Staßfurt. Dieses Flöz ist an der Asse carnallitisch ausgebildet.

Auf den Carnallit folgt die Leine-Serie. Der hier hineingehörende Graue Salzton und der Hauptanhydrit treten im Grubengebäude nur rudimentär und sehr selten als kleine tektonisch abgequetschte Schollen von geringer Mächtigkeit auf. Folgende Schichten sind vom Liegenden zum Hangenden aufgeschlossen worden: 30 m Liniensalz, 5 m Orangeaugensalz, 10 m Banksalz, 10 m Bändersalz, 7 m Buntes Salz, 35 m Anhydritmittelzone mit drei Anhydritmitteln von 1–2 m Mächtigkeit und 35 m Schwaden- und Tonmittelsalz. Diese Schichtenfolge mit einer Gesamtmächtigkeit von etwa 130 m wird zusammengefaßt unter dem Begriff Jüngerer Steinsalz oder Na 3.

Darüber liegt auf der Nordflanke eine weitere ca. 50 m mächtige Salzfolge der Aller-Serie = Na 4 oder Jüngstes Steinsalz. Sie enthält 13 m Roten Salzton, 1,3 m Pegmatitanhydrit, 35 m Jüngstes Steinsalz und den Grenzanhydrit.

Auf dem Scheitel der Salzstruktur ist das Na 4 im Bereich des Schachtes Asse 2 abgelagert.

Auf den Flanken hingegen wird es im Bereich der Schachanlage Asse II von dem überlagernden Grenzanhydrit und den als trocken angetroffenen Zechsteinletten geschützt. Ablaugungserscheinungen sind hier nicht bekannt und auch in hohem Maße unwahrscheinlich.

Einige geologische Horizonte, so z. B. Sandsteinbänke in der unteren Hälfte des Unteren Buntsandsteins, der Gipshorizont des Oberen Buntsandsteins sowie der Untere Muschelkalk sind als wasserführend anzusprechen. Meist handelt es sich im Bereich der Asse um Kluffwässer. Bei steiler bis seigerer Schichtlagerung können auch Schichtfugen, soweit sie nicht durch Tonbesteige abgedichtet sind, als Wasser-

wege dienen. Besonders im nordwestlichen Teil des Assezuges aus dem Gipshut austretende Solquellen mit Gesamtsalzgehalten bis zu 230 g/l deuten zusammen mit den geologischen Befunden auf eine in diesem Gebiet noch jetzt stattfindende Subrosion. Grundwasser, das sich in der Nähe des Salzkörpers befindet, hat nur Zutritt zu dessen Oberfläche. Das dichte Salzgestein enthält keine offenen Klüfte und Spalten, aus denen Grundwasser tiefer eindringen könnte. Durch die Subrosion an der Oberfläche der Salzmassen ist im Laufe von Millionen Jahren ein Salzspiegel entstanden, der in einer Tiefbohrung nahe des Schachtes Asse 2 vollkommen trocken angetroffen wurde. Die in den Nebengesteinsschichten zirkulierenden Wasser haben also keinerlei Verbindung mit dem Grubengebäude. Eine Verunreinigung des Grundwassers oder gar des Trinkwassers der umliegenden Gemeinden durch in der Schachanlage Asse II eingelagerte radioaktive Abfälle ist somit ausgeschlossen, zumal die Trinkwasserversorgung aus geologischen Horizonten erfolgt, die von den im Bergwerk anstehenden Schichten vollkommen isoliert sind.

Das Grubengebäude der Schachanlage Asse II erschließt den Bereich von 490 bis 850 m Teufe. Es untergliedert sich in 16 Sohlen, die in der Regel eine streichende Erstreckung haben. Oberhalb der 700-m-Sohle beträgt der seigere Abstand zwischen zwei Sohlen 21 m, unterhalb derselben 25 bzw. 50 m (Abb. 115). In ihrer Eigenschaft als ehemalige Hauptfördersohle besitzt die 750-m-Sohle die größte flächenmäßige Ausdehnung (Abb. 116). Dagegen sind auf der 800- und 850-m-Sohle nur Aus- und Vorrichtungstrecken aufgeföhren.

Außer durch den Tagesschacht ist das Grubengebäude in der Vertikalen durch zwei randständige und einen zentralen Blindschacht aufgeschlossen. Hinzu kommt eine Wendel von der 490-m-Sohle auf die 750-m-Sohle. Außerdem ist die 775-m-Sohle mit der 759-m-Sohle durch eine Wendel verbunden.

Der Hauptschacht wurde von 1906 bis 1908 abgeteuft und zu seiner Sicherung in den Jahren 1968 und 1969 vor dem alten Tübbingausbau eine Vorbausäule eingebracht (Abb. 136) sowie ein Wetterscheider bis zur 490-m-Sohle installiert. Alle Ausbauten im Schacht bestehen aus nicht brennbaren Materialien. Die 490-m- und 750-m-Sohle sind durch Füllörter an den Schacht angeschlossen. Zum Abbau des Steinsalzes wurden im Älteren Steinsalz auf der 750-m-Sohle 16 Kammern aufgeföhren, im Jüngerer Steinsalz auf 13 Sohlen insgesamt 129 Abbaue, alle südlich des Hauptschachtes (Abb. 115).

Nördlich des Hauptschachtes wurde früher in 26 Kammern Carnallit abgebaut, die Abbaue sind jedoch alle versetzt worden und heute nicht mehr zugänglich. Eine Wasserhaltung im

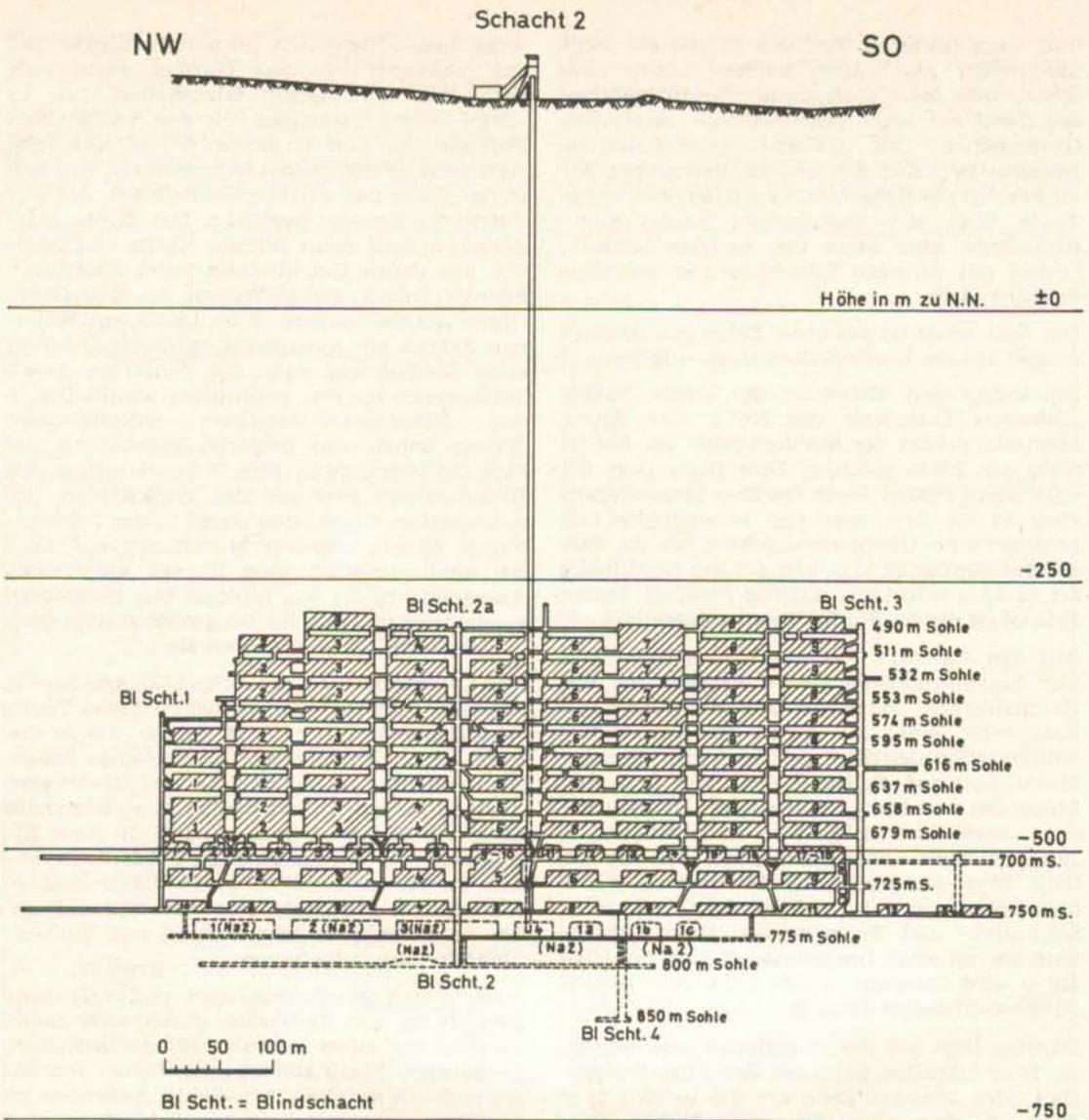


Abb. 115: Längsschnitt durch das Grubengebäude Asse

Hauptschacht entfällt, da der Schacht durch den Einbau der Vorbausäule vollkommen trocken ist. Auf der 750-m- und der 775-m-Sohle treten gesättigte Restlaugen mit einer Menge von etwa 0,5 l/min auf, die auf die 850-m-Sohle geleitet werden, welche als Sumpf für die gesättigten Salzlösungen dient. Als zweiter fahrbarer Ausgang ist der Bohrschacht 4 vorgesehen, der zur Zeit als Befüllschacht für die Kaverne abgeteuft wird.

5.3 Endlagerung schwachaktiver Abfälle

Eine einheitliche Definition der schwachaktiven Abfälle nach der Aktivität oder der Strahlung besteht z. Z. in der Bundesrepublik Deutschland – wie auch in anderen Ländern – noch

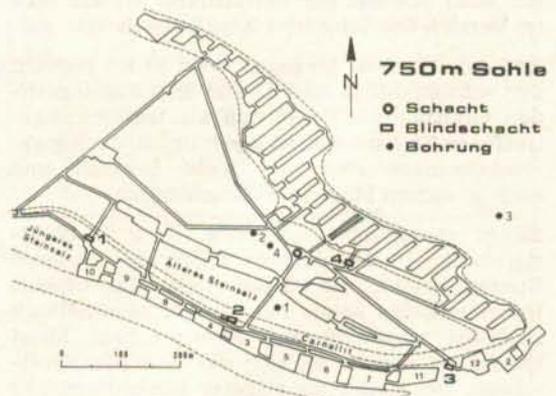


Abb. 116: Schnitt durch die 750 m-Sohle

nicht, obwohl im November 1967 von der IAEO in Wien der Versuch unternommen wurde, die Klassifizierung von radioaktiven Abfällen zu standardisieren. In Anlehnung an diesen Entwurf der IAEO gelten bei der Gesellschaft für Kernforschung mbH in Karlsruhe (GfK) und der Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA) folgende Aktivitätsgrenzen:

Abfall		
Flüssig Ci/m ³ (spez. Aktivität)	GfK	< 10 ⁻¹
	KFA	> 2 · 10 ⁻⁵ ÷ < 10 ⁻³
Fest R/h (Oberflächen- dosisleistung)	GfK	< 0,2
	KFA	< 1,0

Tab. 39: Aktivitätsgrenzen für schwachaktiven Abfall bei GfK und KFA

Für die Endlagerung müssen die in Tab. 39 beschriebenen radioaktiven Abfälle so konditioniert werden, daß sie den in den „Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse“ definierten Kriterien entsprechen. Zur Endlagerung im ehemaligen Salzbergwerk Asse II werden nur schwachaktive Abfälle zugelassen, deren Konditionierung und Aktivitätswerte den in Tab. 40 angegebenen Bedingungen entspricht.

Erläuterungen zu Tab. 40:

Die Betonauskleidung im Abfallfaß muß an Zylindermantel, Boden und Deckel eine Stärke von mindestens 5 cm beim 200-l-Faß und mindestens 7,5 cm beim 400-l-Faß haben. Der Betondeckel muß fest mit dem zylindrischen Betonmantel verbunden sein. Die allseitige Betonauskleidung soll die Stabilität der Behälter erhöhen und verhindern, daß bei der Manipulation oder einem Zwischenfall, z. B. Abspringen des Deckels, Aktivität freigesetzt wird (Abb. 117).

Als Bindemittel dürfen nur Fixierungsmaterialien, die sich auch nach mehreren Monaten in Wasser bzw. Salzlake nicht lösen und ein festes Endprodukt bilden (z. B. Beton, Bitumen), verwendet werden. Durch diese Behandlung soll verhindert werden, daß Abfallstoffe ausgegallt werden können.

Behälter, an deren Oberfläche höhere Dosisleistungen als 100 mrem/h oder in 1 m Abstand von der Oberfläche höhere Dosisleistungen als 10 mrem/h auftreten, müssen mit einem ca. 5–10 cm breiten, um den ganzen Behälter geführten Farbring gekennzeichnet sein.

Für bestimmte Abfallstoffe gelten Sonderregelungen:

Radioaktive Gase

Gasförmige Radionuklide können im Normalfall zur Einlagerung in der Asse nicht angenommen werden. Für solche radioaktiven Gase, wie Tritium oder Krypton-85, wird die Möglichkeit der Meeresversenkung untersucht.

Radiumhaltige Abfallstoffe

Abfallstoffe mit einem Gehalt an Radium-226 und Radium-228 zwischen 0,1 µCi und 10 µCi pro 200-l-Faß müssen zusammen mit geeigneten trockenen Adsorptionsmitteln (z. B. Aktivkohle, Korkmehl, Torf) in dicht verschlossenen Einzelmetallbehältern verpackt sein. Von den Adsorptionsmitteln, mit denen der Einzelmetallbehälter gefüllt sein muß, müssen mindestens 10 g Aktivkohle sein. Die Einzelmetallbehälter müssen sich ihrerseits in einem 200-l-Rollreifenfaß befinden. Der Zwischenraum zwischen Rollreifenfaß und Einzelmetallbehälter muß ebenfalls mit Adsorptionsmitteln gefüllt sein, von denen mindestens 1 Kilogramm Aktivkohle sein muß. α-Abfälle mit einem Gehalt an Radium-226 und Radium-228 zwischen 10 µCi und 10 mCi pro 200-l-Faß müssen zusammen mit geeigneten trockenen Adsorptionsmitteln in dicht verlöteten oder verschweißten Einzelmetallbehältern mit einer zugelassenen Leckrate von 10⁻⁵ Torr · Liter/Sekunde verpackt sein. Von den Adsorptionsmitteln, mit denen der Einzelmetallbehälter gefüllt sein muß, müssen mindestens 100 g Aktivkohle sein. Die Einzelmetallbehälter müssen sich ihrerseits in einem 200-l-Rollreifenfaß befinden. Der Zwischenraum zwischen Rollreifenfaß und Einzelmetallbehälter muß ebenfalls mit Adsorptionsmitteln gefüllt sein, von denen mindestens 10 kg Aktivkohle sein müssen. Auf dem äußeren Behälter (Rollreifenfaß) dieser radiumhaltigen Abfälle muß allseitig deutlich sichtbar die Aufschrift „Ra“ angebracht sein.

Tritiumhaltige Abfälle

Feste oder verfestigte radioaktive Abfälle dürfen Tritium nur bis zu 10 mCi/200 l Abfall enthalten.

Kernbrennstoffe

Kernbrennstoffe können wie sonstige schwachradioaktive Abfälle behandelt werden, wenn ihr Gesamtgehalt an spaltbarem Material (U-233, U-235, Pu-238, Pu-239, Pu-241) nicht höher als 15 g je Abfallbehälter liegt. Unabhängig von dieser Mengengrenzung müssen die maximal zulässigen α-Aktivitäten gemäß Tab. 40 eingehalten werden. Zur Aufbewahrung der Kernbrennstoffe ist eine Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, notwendig.

Thoriumhaltige Abfälle sind wie radiumhaltige zu behandeln, auf einem Faß thoriumhaltiger Abfälle muß die Aufschrift „Th“ vorhanden sein.

Abfallkategorie „A“

Feste, trockene Abfälle ohne Behandlung in beliebiger Form (keine Pulver, Granulate oder lösliche Produkte, die aus Abwasserdekontaminationsanlagen stammen).

Behälter	Blechtrommel oder Roll-sickenfaß, Deckel mit Spannring (verschraubt)		Blechtrommel oder Roll-sickenfaß mit allseitiger Betonauskleidung Deckel mit Spannring-verschluß (verschraubt)		200-Liter-Faß in 400-Liter-Faß eingesetzt, Zwischenraum mit Beton vergossen	Verlorene Beton-abschirmung mit Einsatz-behälter
	200 l	400 l	200 l	400 l		
Volumen	200 l	400 l	200 l	400 l	200 l	max. 200 l
max. zulässige*) α -Aktivität	nicht zulässig	nicht zulässig	0,001	0,001	0,01	0,02
max. zulässige β/γ -Aktivität	nicht zulässig	nicht zulässig	0,1	0,1	1	2

Abfallkategorie „B“

Feste, trockene Abfälle in beliebiger Form in dicht schließenden, formstabilen Innenbehältern (z. B. Blech- oder Kunststoffbehälter) mit einem maximalen Volumen von 30 Litern verpackt. Raum zwischen Innen- und Außenbehälter mit geeignetem Bindemittel allseitig ausgegossen (Bindemittelanteil mind. 30 Vol.-%; Wandstärke des Bindemittels zum Außenbehälter mind. 50 mm).

Behälter	Blechtrommel oder Roll-sickenfaß, Deckel mit Spannring (verschraubt)		Blechtrommel oder Roll-sickenfaß mit allseitiger Betonauskleidung Deckel mit Spannring-verschluß (verschraubt)		200-Liter-Faß in 400-Liter-Faß eingesetzt, Zwischenraum mit Beton vergossen	Verlorene Beton-abschirmung mit Einsatz-behälter
	200 l	400 l	200 l	400 l		
Volumen	200 l	400 l	200 l	400 l	200 l	max. 200 l
max. zulässige*) α -Aktivität	nicht zulässig	nicht zulässig	0,05	0,1	0,1	0,2
max. zulässige β/γ -Aktivität	nicht zulässig	nicht zulässig	1	2	2	5

Tab.40: Zulässige Aktivität pro Abfallbehälter [Ci]

Abfallkategorie „C“

In geeigneten Bindemitteln fixierte Abfälle (z. B. Schlämme, Verdampferkonzentrate, Ionenaustauscher, Aschen, formbeständige Abfälle wie aktivierte oder kontaminierte Teile).

Behälter	Blechtrommel oder Roll-sickenfaß, Deckel mit Spannring (verschraubt)		Blechtrommel oder Roll-sickenfaß mit allseitiger Betonauskleidung Deckel mit Spannring-verschluß (verschraubt)		200-Liter-Faß in 400-Liter-Faß eingesetzt, Zwischenraum mit Beton vergossen	Verlorene Beton-abschirmung mit Einsatz-behälter
	200 l	400 l	200 l	400 l		
Volumen	200 l	400 l	200 l	400 l	200 l	max. 200 l
max. zulässige*) α -Aktivität	0,2	0,4	2	4	4	10
max. zulässige β/γ -Aktivität	5	10	5	10	10	25

*) Für Kernbrennstoffe, Radium und Thorium gelten Sonderregelungen

Fortsetzung Tab. 40: Zulässige Aktivität pro Abfallbehälter [Ci]

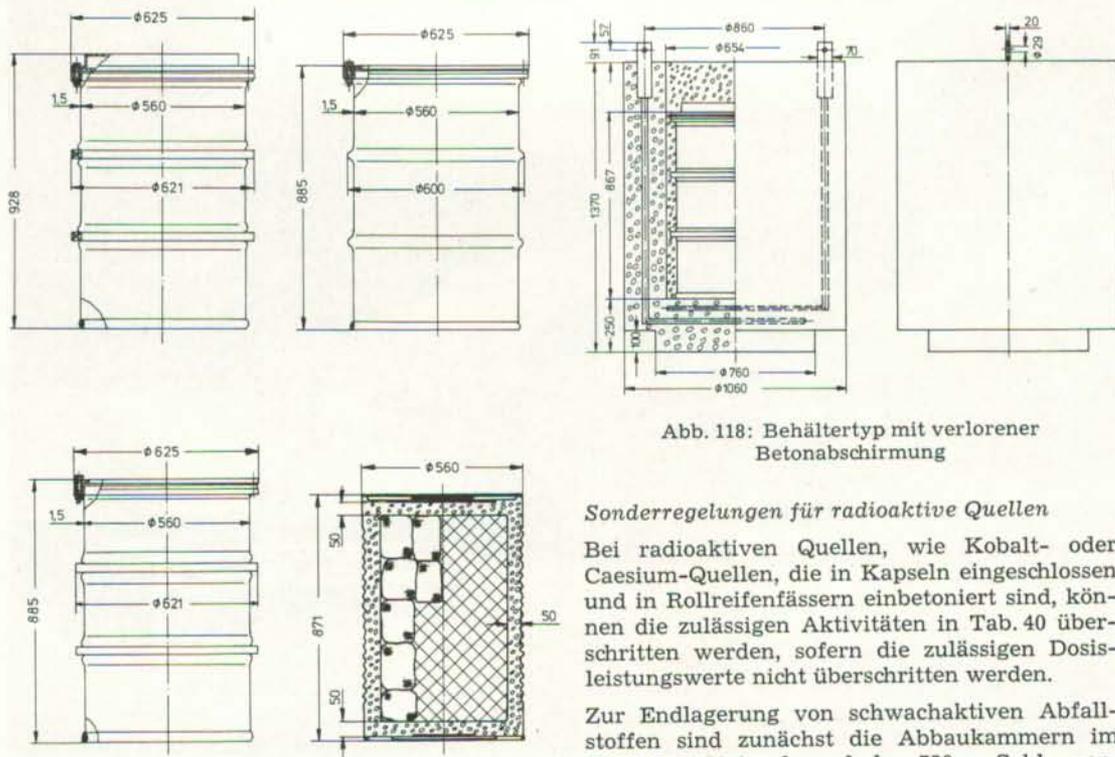


Abb. 118: Behältertyp mit verlorener Betonabschirmung

Abb. 117: Beispiel für Behältertypen

Sonderregelungen für radioaktive Quellen
 Bei radioaktiven Quellen, wie Kobalt- oder Caesium-Quellen, die in Kapseln eingeschlossen und in Rollreifenfässern einbetoniert sind, können die zulässigen Aktivitäten in Tab. 40 überschritten werden, sofern die zulässigen Dosisleistungswerte nicht überschritten werden.
 Zur Endlagerung von schwachaktiven Abfallstoffen sind zunächst die Abbaukammern im Jüngerer Steinsalz auf der 750-m-Sohle vorgesehen. Da die Abbaue mit einer Größe von

etwa $60 \times 40 \times 15 \text{ m} = 36\,000 \text{ m}^3$ seit mehreren Jahrzehnten offenstehen, haben sich Löser (abgeplatze Salzstücke) an den Firsten und Stößen gebildet, die aus Gründen der Sicherheit vor Beginn der Endlagerung entfernt werden mußten.

Die zur Endlagerung mit einem Kraftfahrzeug der Deutschen Bundesbahn zur Schachtanlage Asse II transportierten Behälter mit schwachaktiven Abfällen werden nach der Überprüfung der Oberflächendosisleistung, sowie der Dosisleistung in 1 m Entfernung von der Oberfläche, von einem eigens dazu konstruierten Gabelstapler aufgenommen und im Förderkorb abgesetzt. Insgesamt kann der Förderkorb 12 Abfallfässer $\cong 2,4 \text{ m}^3$ aufnehmen.

Im Füllort der 750-m-Sohle werden die Abfallfässer aus dem Förderkorb aufgenommen und zum Lagerraum transportiert, wo sie bis Ende 1974 mit Hilfe eines Mehrzweckfahrzeuges gestapelt wurden (Abb. 119).

Begonnen wurde mit der Einlagerung in der Abbaukammer 4 im Jüngeren Steinsalz auf der 750-m-Sohle. Nach Füllung dieser Kammer mit etwa 7000 Fässern, was etwa 1400 m^3 schwachaktivem Abfall entspricht, wurde sie verschlossen und die Einlagerung auf derselben Sohle in der Abbaukammer 1 am östlichen Rand des

Grubengebäudes fortgesetzt. Diese Kammer ist auch bereits mit 11 000 Fässern $\cong 2200 \text{ m}^3$ schwachaktivem Abfall verfüllt und verschlossen. Die Einlagerung wird in den Kammern 2, 11 und 12 fortgeführt. Dabei wird seit Ende 1974 in einem Versuch eine neue Einbringungstechnik für in Rollreifefässern anfallende schwachaktive Abfälle verwandt, während Abfälle in verlorener Betonabschirmung weiterhin nach dem oben beschriebenen Verfahren in den Lagerkammern gestapelt werden. Diese Versuchseinlagerung wird in den Kammern 8 und 9 der 750-m-Sohle durchgeführt.

Dazu werden die Einlagerungskammern seitlich in entsprechender Höhe angefahren. Nach dem Anschütten einer Salzböschung werden die Abfallfässer an der Oberkante dieser Böschung aus der Ladeschaufel des Transportfahrzeuges, in die sie im Füllort gestapelt werden, abgekippt und rutschen oder rollen die Böschung hinab. In zeitlich kurzen Abständen werden die Fässer mit Salzhautwerk abgedeckt (Abb. 120).

Die versuchsweise Einführung dieser neuen Endlagertechnik für schwachaktive Abfälle wurde aus folgenden Gründen vorgenommen:

- Erhöhung der Sicherheit am Arbeitsplatz,
- Erhöhung der langfristigen Sicherheit,
- Betriebliche und wirtschaftliche Vorteile.

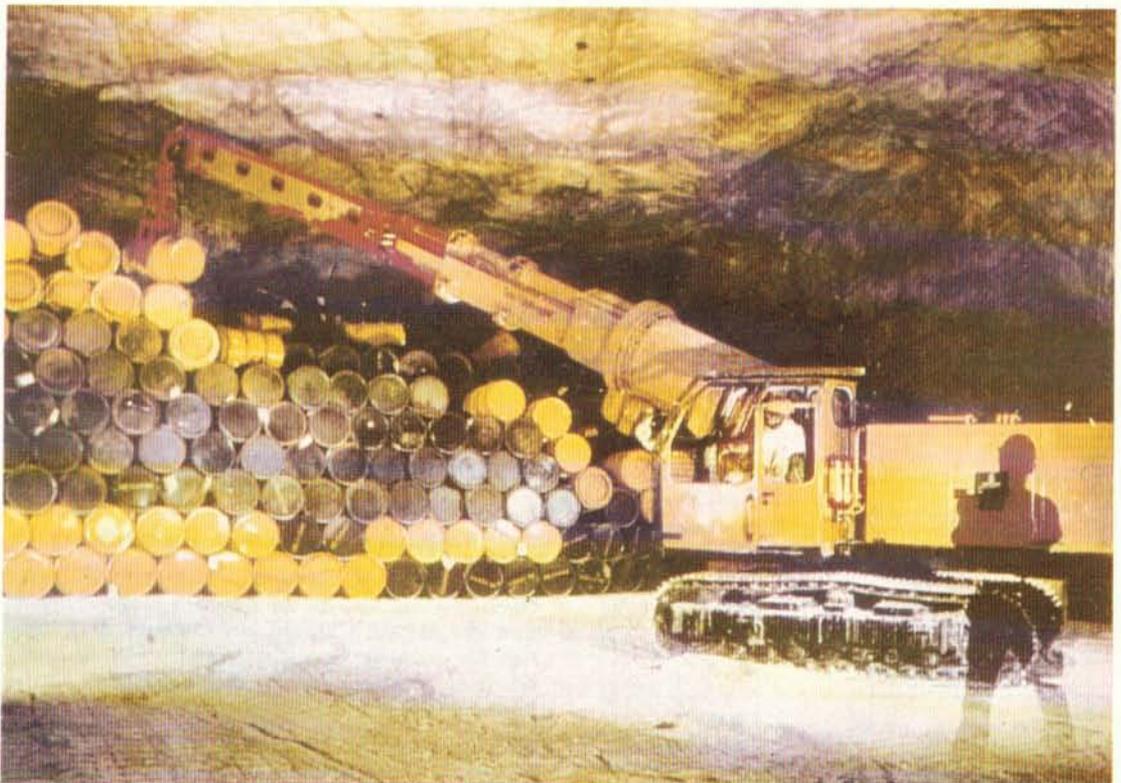


Abb. 119: Mehrzweckfahrzeug im Einsatz auf der 750 m-Sohle



Abb. 120: Schaufelradlader Typ L 182 im Einsatz beim Einlagern von schwachradioaktiven Abfallstoffen

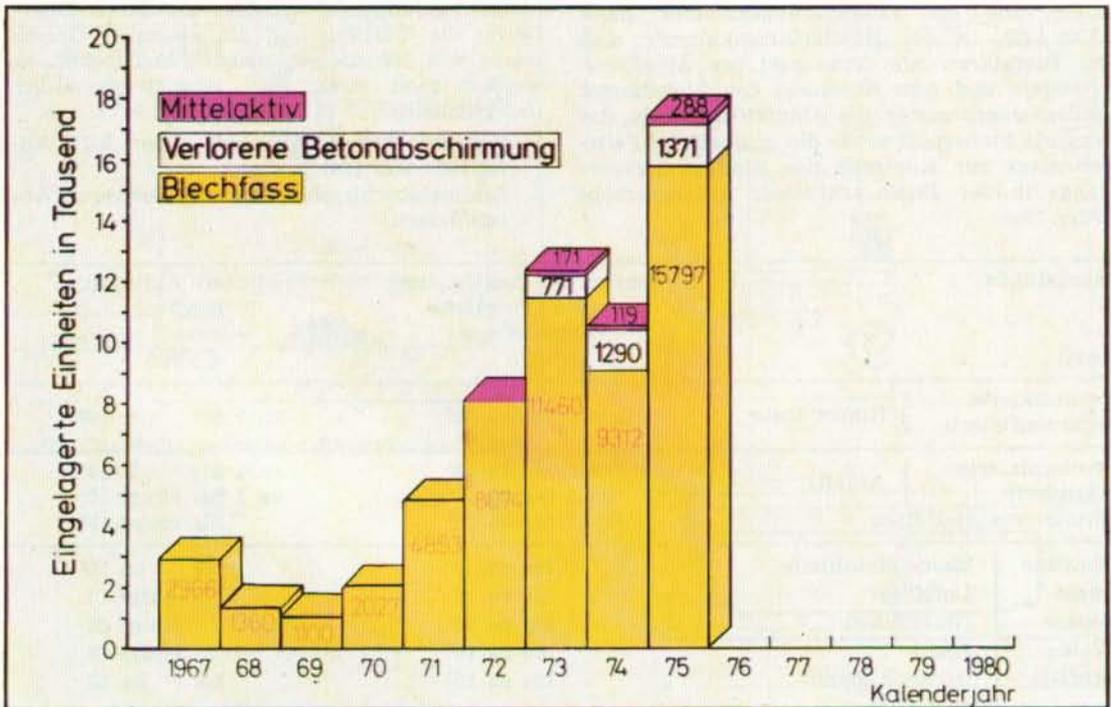


Abb. 121: Jährlich eingelagerte Mengen an schwachaktiven Abfällen

Bis Ende April 1976 sind in den Abbaukammern auf der 750-m-Sohle 68 000 Fässer mit schwachaktivem Abfall eingelagert und die Abbaukammern verschlossen worden. Die Entwicklung der jährlich eingelagerten Mengen an schwachaktiven Abfällen zeigt Abb. 121.

5.4 Endlagerung mittelaktiver Abfälle

Der mittelaktive Abfall setzt sich u. a. zusammen aus beton- oder bitumenfixierten Konzentraten und kontaminierten bzw. aktivierten Metallteilen (z. B. Brennelementhülsen). In den einzelnen 200-l-Fässern können je nach Abfallaktivitäten bis zu einigen 10^4 Ci auftreten (Tab. 41). Die obere Grenze für die Aktivität der mittelaktiven Abfälle ist theoretisch dann gegeben, wenn merkbare Wärmeezeugung in den Abfällen auftritt und deshalb eine Zwangskühlung erforderlich wird. Legt man die Häufigkeitsverteilung der Aktivität in den bereits eingelagerten Fässern zugrunde, so läßt sich nach Füllung der Lagerkammern eine Gesamtaktivität von $(1-3) \cdot 10^6$ Ci abschätzen. Die Dosisleistung an der Oberfläche der unabgeschirmten 200-l-Abfallfässer kann einige R/h bis 10^5 R/h betragen (Tab. 41).

Die Beschickungskammer im östlichen Feldeteil der 490-m-Sohle dient der Unterbringung der technischen Einrichtungen zur Endlagerung mittelaktiver Abfälle und deren Handhabung beim Einlagerungsvorgang. Die Kammer liegt zentral über der Kammer 8a auf der 511-m-Sohle, die als Endlagerungskammer dient (Abb. 122). In der Beschickungskammer sind der Portalkran zum Transport des Abschirmbehälters und zum Absenken des Abfallfasses in die Lagerkammer, die Abluftfilteranlage, das zentrale Steuerpult sowie die ausfahrbare Fernsichtanlage zur Kontrolle des Einlagerungsvorgangs in der Endlagerkammer untergebracht (Abb. 123).

Durch die 6 m mächtige Salzschwebe zwischen Beschickungs- und Endlagerkammer sind 6 Bohrungen niedergebracht. Die Beschickungsbohrung zum Absenken der mittelaktiven Abfälle in die Endlagerkammer ist mit einem Strahlenschutzschieber verschlossen. Drei weitere Bohrungen dienen zur Aufnahme der Fernsichtanlage, der Leuchte und zum Führen der Abwetter aus der Endlagerkammer über die Abluftfilteranlage, während zwei andere Bohrungen als Reserve bereitstehen. Alle Bohrungen sind so verschlossen, daß keine unzulässige Aktivität aus der Endlagerkammer entweichen kann. Zwei horizontale Bohrungen von der Kammer 8 und Kammer 7 zur Beschickungskammer dienen zu deren Bewetterung (Abb. 122).

Während die Beschickungskammer außerhalb des Einlagerungsbetriebes mit 2 m hohen Stahl-toren verschlossen ist, wird die Endlagerkammer auf der 511-m-Sohle durch eine Strahlenschutzmauer mit eingelassenem Bleiglasfenster, das der Beobachtung dient, vom Grubengebäude isoliert (Abb. 123).

Das Volumen dieser Endlagerkammer beträgt etwa 8000 m^3 . Bei einem angenommenen Schüttungswinkel des Lagergutes von 45° und einem geschätzten Schüttungsfaktor von 0,6 beträgt die Aufnahmekapazität der Kammer etwa 2000 m^3 oder 10 000 Fässer von je 200 l Inhalt.

Bedingt durch die hohe Aktivität und Oberflächendosisleistung der Fässer mit mittelaktivem Abfall, können diese nur in Abschirmbehältern gehandhabt werden, an deren Oberfläche die Dosisleistung die gesetzten Grenzwerte von 200 mrem/h nicht überschreitet. Es werden zwei Arten von Abschirmbehältern unterschieden:

1. Einzelabschirmbehälter mit einem 200-l-Abfallfaß (Abb. 124),
2. Sammelabschirmbehälter mit mehreren Abfallfässern.

Rückstände (Art)		Bereich der Dosisleistung an der Oberfläche eines Fasses R/h	Mittlere Aktivität pro Faß Ci/Faß									
betonfixierte bitumenfixierte	} Konzentrate	ca. 5 bis ca. 10^3	ca. 1 bis $2 \cdot 10^2$									
kontaminierte aktivierte Brennelement-Hülsen				} Abfälle	ca. 5 bis ca. 10^3 ca. 5 bis ca. 10^4 bis ca. 10^5	ca. 1 bis $2 \cdot 10^2$ ca. 1 bis einige 10^3 bis einige 10^4						
sonstige	} kleine Metallteile	bis ca. 10^3	bis ca. 10^2									
radio-				} trockene Ionen-	bis ca. 10	einige Ci						
aktive							} austauscher	bis ca. 10	einige Ci			
feste										} Asche	bis ca. 10	einige Ci
Abfälle												
	} austauscher	bis ca. 10^2	bis ca. 50									
				} austauscher	bis ca. 10^2	bis ca. 50						

Tab. 41: Aktivität mittelaktiver Abfälle

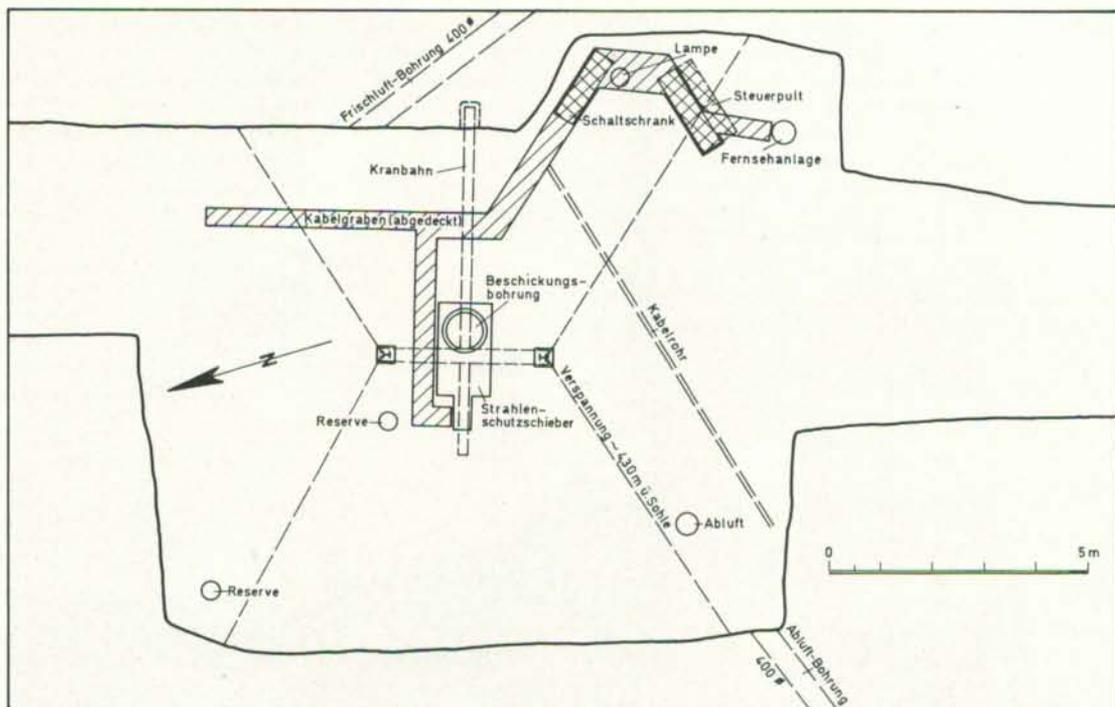


Abb. 122: Grundriß der Beschickungskammer

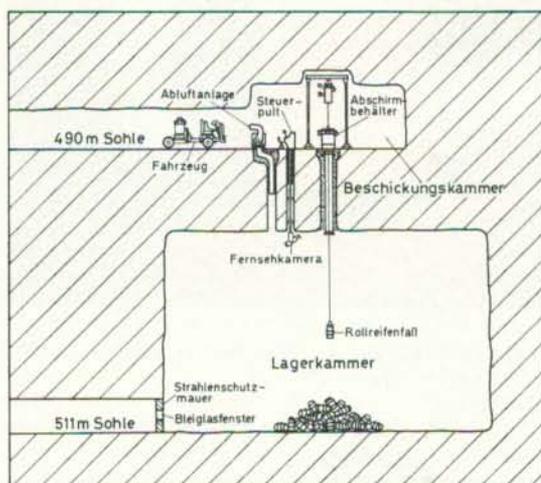


Abb. 123: Endlagerkammer mittelaktiver Abfälle

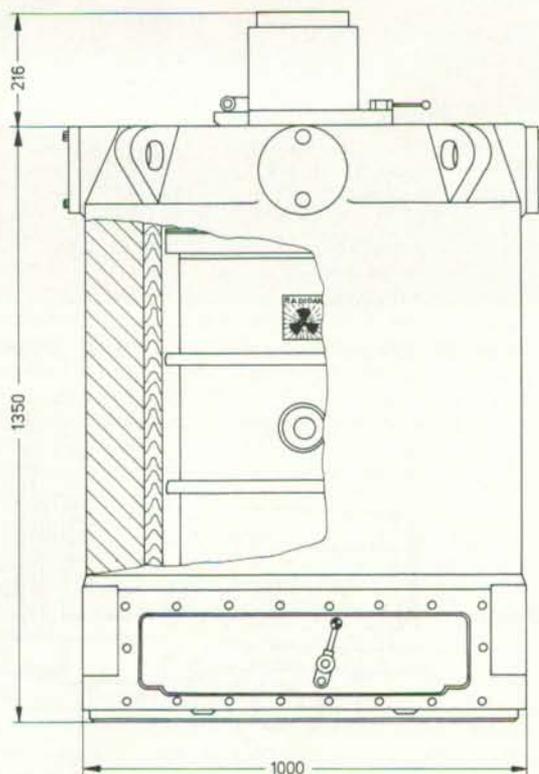


Abb. 124: Abschirmbehälter für radioaktive Abfälle



Abb. 125: Sammelabschirmbehälter 7 V für mittelradioaktive Abfallfässer — Gewicht: 25 bis max. 40 t

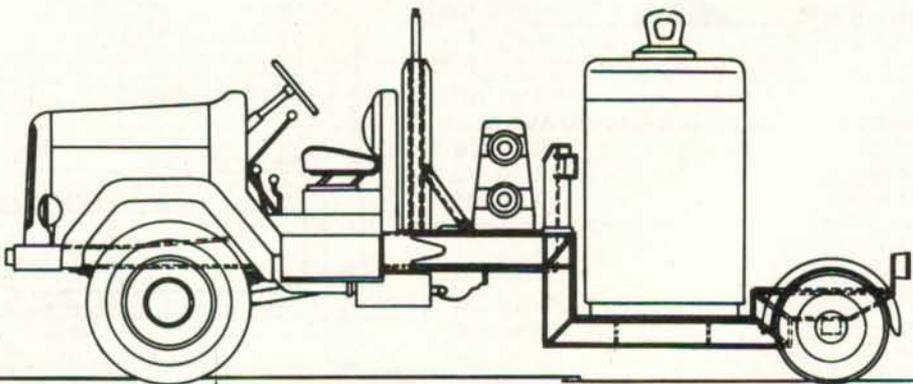


Abb. 126: Streckentransportfahrzeug

Werden die Abfallfässer in Einzelabschirmbehältern angeliefert, können diese direkt durch den Schacht zur Einlagerungssohle transportiert werden. Das Maximalgewicht der Abschirmung mit Abfallfaß darf jedoch 9,8 t nicht überschreiten.

Die in Sammelabschirmbehältern angelieferten Abfälle müssen in der Schachthalle in Einzelabschirmbehälter umgeladen werden (Abb. 125), wozu keine zusätzliche Strahlenabschirmung erforderlich ist. Der Einzelabschirmbehälter wird mit Hilfe eines mobilen Krans im Förderkorb abgesetzt, auf der 490-m-Sohle von einem Auslegerkran vom Förderkorb gehoben, auf dem Streckentransportfahrzeug (Abb. 126) abgesetzt und zur Beschickungskammer transportiert.

Nach Ankunft des Transportfahrzeuges in der Beschickungskammer wird der Abschirmbehälter mit Hilfe des 10-t-Krans angehoben und bis über das Bohrloch gefahren. Beim anschließenden Absenken des Behälters wird eine Feinjustierung durch Eingriff zweier gegenüberliegender Führungskeile in entsprechende Nuten im Behälter erreicht. Während der 1-t-Kran über den Behälter gefahren wird, werden die beiden Sicherungsbolzen aus dem Boden des Abschirmbehälters entfernt. Durch Betätigung eines Stellhebels wird ferner der Behälterboden mit der Schieberzunge des Strahlenschutzschiebers über einen Arretierbolzen mechanisch verbunden. Die Lastanhängelocke des Abschirmbehälters wird gelöst und über die Scharnierseite umgekippt.

Durch leichtes Anheben des Fasses im Behälter mit Hilfe des 1-t-Krans wird der Behälterboden frei und kann zusammen mit dem Strahlenschutzschieber geöffnet werden.

Bei Erreichen der „Offen“-Stellung der Schieber wird durch einen Endschalter der Stromkreis des 1-t-Krans freigegeben, und das Abfallfaß kann am Seil hängend in die Lagerkammer abgesenkt werden. Bei Aufsetzen des Fasses auf der 511-m-Sohle bzw. auf den bereits eingelagerten Fässern wird durch Seilentlastung der Absenkvorgang gestoppt. Hierdurch wird der Stromkreis für den Stoßmagneten zur Betätigung des Faßgreifers freigegeben. Vom Steuerpult wird der Magnet durch Knopfdruck in Funktion gesetzt und der Greifer löst sich vom Abfallfaß.

Die Faßgreifvorrichtung wird nun bis unter den Behälterdeckel hochgefahren. Anschließend wird der Strahlenschutzschieber sowie der Behälterboden geschlossen. Der Abschirmbehälter wird von dem 10-t-Kran wieder aufgenommen, auf dem Transportfahrzeug abgesetzt und zum Füllort zurückgebracht.

Ein Sicherungssystem in der elektrischen Steuerungsanlage verhindert, daß die Anlage durch Fehlschaltungen beschädigt werden kann.

Die Kontrolle der einzelnen Vorgänge in der Lagerkammer erfolgt über die Fernsehanlage, die von der Beschickungskammer aus bedient wird. Aufgrund von Kritikalitätsberechnungen läßt sich feststellen, daß bei den gegebenen Verhältnissen auch unter ungünstigsten Voraussetzungen – auch langfristig – keine Fälle vorstellbar sind, die zu einem Kritikalitätsunfall führen könnten.

Bis Ende April 1976 sind ohne Schwierigkeiten insgesamt 860 Fässer mittelaktiven Abfalls in die Lagerkammer auf der 511-m-Sohle eingebracht worden.

Nach vorliegenden Untersuchungen über die zu erwartenden Mengen an radioaktiven Abfällen wird die z. Z. bestehende Schachtförderanlage der Schachtanlage Asse 2 zu Beginn der 80er Jahre im Zwei-Schicht-Betrieb voll ausgelastet sein. Die auf dem Gelände der Schachtanlage z. Z. im Bau befindliche Kaverneneinlagerungsanlage soll daher

- zur Entlastung der Schachtförderanlage im Hauptschacht beitragen durch die Einlagerung von mittelaktivem Abfall in 200-l-Rollreifensäcken ohne Abschirmung,
- der Untertagebelegschaft einen zweiten befahrbaren Ausgang schaffen,
- als Versuchsanlage dienen, um Erfahrungen zu sammeln für eine im Entsorgungszentrum zu schaffende größere Kavernenanlage.

Hierzu wurde auf dem Gelände der Schachtanlage Asse 2, 50 m westlich des Hauptschachtes, ein Bohrschacht von 1,8 m Durchmesser bis in eine Teufe von 750 m aufgeföhren, der bis in eine Teufe von 400 m durch eine laugendichte Verrohrung und Zementation einen lichten Durchmesser von 1,5 m hat. Nach dem Anfahren der 750-m-Sohle wird von dort aus weitergeteuft und die Kaverne in einer Teufe zwischen 959,0 und 995,4 m bergmännisch aufgeföhren. Die Kaverne hat die Form eines gestreckten Rotationsellipsoids mit aufgesetztem Kegel und einem Rauminhalt von 10 000 m³ (Abb. 127). In einer Teufe von 926 m befindet sich die Entladeanlage (Abb. 128) und darunter bis zur Kavernenöffnung der Kavernenhals mit Fallrohr und Entlüftung. Der Schacht hat in 490 und 750 m Teufe Einstiegstationen für die Notföhren.

Übertage wird für die Manipulation der Abfallfässer eine Schachthalle mit einem Kran sowie einer heißen Zelle gebaut (Abb. 129). Als Einlagerungsbehälter sind nur 200-l-Rollreifensäcker vorgesehen.

Erfolgt die Anlieferung der Abfallfässer mit mittelaktivem Abfall in einem Einzelabschirmbehälter, so kann der Förderkorb direkt beladen werden, während bei der Anlieferung mit einem Sammelabschirmbehälter die Fässer zunächst in einen Einzelabschirmbehälter übernommen werden müssen. Der Einzelabschirm-

behälter wird dann vom 10-t-Kran aufgenommen und in der Nähe des Schachtes auf einem Strahlenschutzschieber abgesetzt. Nach dem Öffnen des Schiebers wird das Abfallfaß auf den Beschickungswagen in der heißen Zelle abgesetzt und von diesem im Förderkorb abgesetzt, der das Abfallfaß zur Entladestation in 926 m Teufe transportiert (Abb. 129). Dort wird durch Auffahren auf einen Kippdorn der Korboden des Förderkorbes hochgekippt und das Abfallfaß fällt durch das Fallrohr in die Kaverne (Abb. 128). Daraufhin fährt der Förderkorb nach Übertage zurück, um neu beladen zu werden. Ein Einlagerungsvorgang wird etwa 5 Minuten dauern, so daß in einer Schicht etwa 90 Abfallfässer mit mittelaktivem Abfall eingelagert werden können.

Der Ablauf des Einlagerungsvorgangs ist derart automatisiert, daß die Anlage von einem zentralen Steuerpult in der Schachthalle aus bedient werden kann.

Die Kaverne wird in einem geschlossenen Umluftsystem bewettert. Dazu wird die Kavernenluft im unteren Kavernenhals abgesaugt, gefiltert und durch den oberen Teil des Kavernenhalses wieder zurückgeführt. Dagegen erfolgt die Bewetterung des Bohrschachtes von der 750-m-Sohle her. Die Luft wird staubfrei gefiltert, bis kurz unterhalb des Kavernenmundes geleitet, von dort durch die Entladestation und den Bohrschacht gesaugt und nach Filterung mit einem Absolutfilter an die Atmosphäre abgegeben.

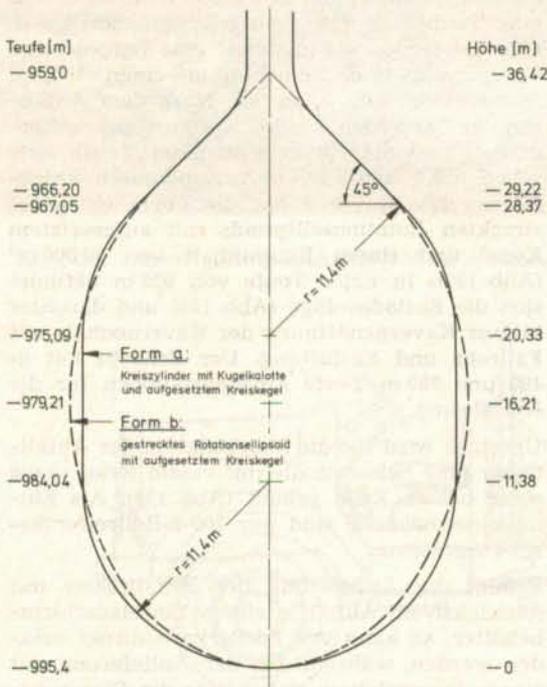


Abb. 127: Schachtanlage Asse 2 — Kaverne mit 10 000 m³ Inhalt (M 1 : 200)

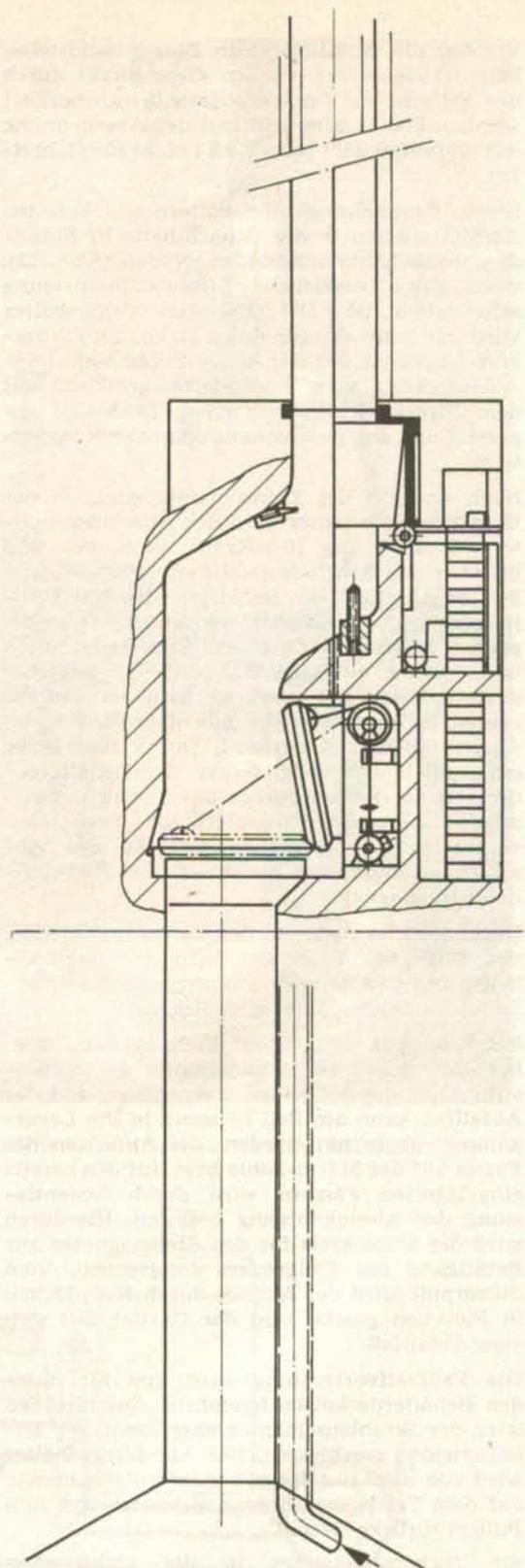


Abb. 128: Entladeanlage

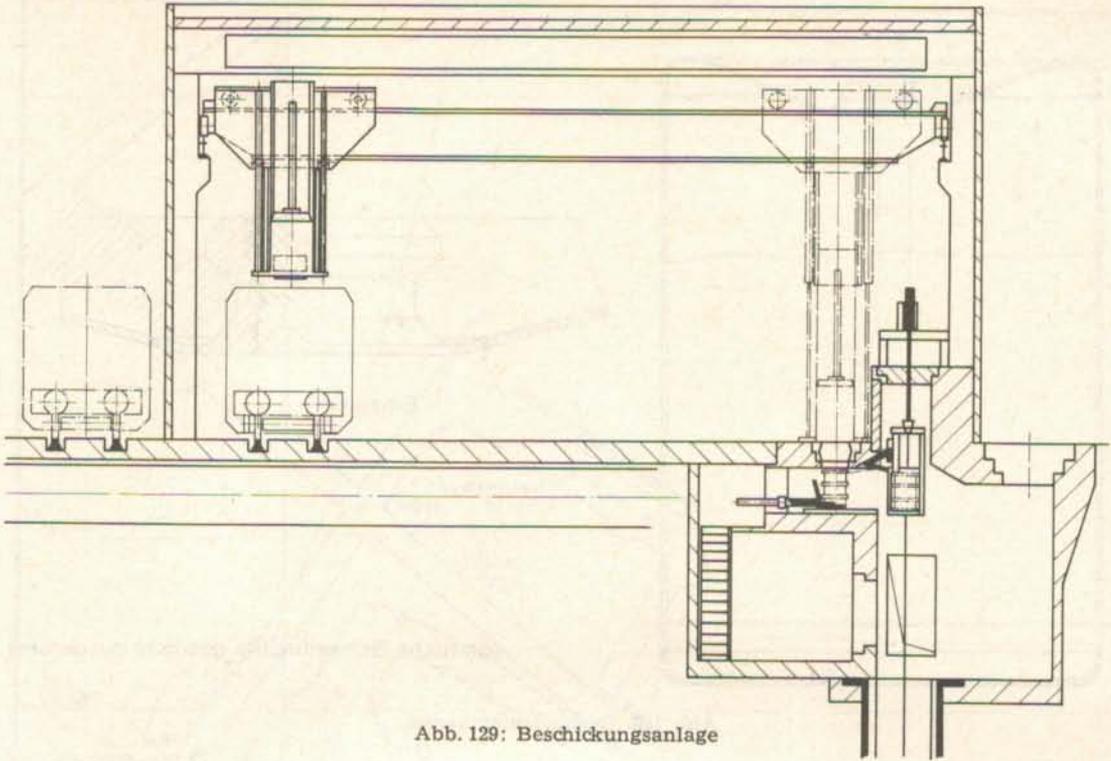


Abb. 129: Beschickungsanlage

5.5 Einlagerung von AVR-Brennelementen

Durch den Betrieb des AVR auf dem Gelände der Kernforschungsanlage Jülich seit 1967 fallen als radioaktiver Abfall hochabgebrannte oxidische und carbidische kugelförmige Brennelemente an. Während die oxidischen Brennelemente abgetrennt und in der im Bau befindlichen Wiederaufarbeitungsanlage JUPITER der KFA ab 1977 aufgearbeitet werden sollen, standen drei Alternativen für die Behandlung der carbidischen Brennelemente zur Diskussion:

- Verbrennen der Graphitmatrix und anschließendes Einschmelzen der „coated particles“ in Glas,
- Wiederaufarbeitung der Brennelemente, Verglasung und Endlagerung der Spaltproduktlösungen,
- Direkte Endlagerung in der Versuchsanlage Asse.

Durch die Verbrennung der Graphitmatrix würde das gesamte darin enthaltene Tritium und Kr-85 in das Abgas gelangen und müßte z. Z. an die Umwelt abgegeben werden. Dagegen bleibt bei der direkten Endlagerung der Brennelemente das H-3 und das Kr-85 in den Brennelementen eingeschlossen und ist so sicher vor der Umwelt isoliert, bis es zerfallen ist.

Die kugelförmigen carbidischen Brennelemente enthalten den Kernbrennstoff in sogenannten „coated particles“. Durch die Graphitmatrix

und die „coated particles“ sind die Schwermetalle und auch die entstehenden Spaltprodukte sicher eingeschlossen. Zwei Jahre nach der Entnahme der Brennelemente aus dem Reaktor beträgt die Aktivität einer gefüllten Verpackung (etwa 1000 Brennelemente) etwa 22 000 Ci. Als spezifische Aktivität ergibt sich, legt man das Volumen der Verpackungskanne zugrunde, 92,5 Ci/l, bezogen auf das reine Brennelementvolumen 195 Ci/l. An der Oberfläche der mit abgebrannten Brennelementen gefüllten Behälter kann eine Dosisleistung von maximal bis zu 10^6 R/h auftreten.

Als Verpackung der einzulagernden abgebrannten Brennelemente wird ein Behälter aus St 37 in der Form einer stapelbaren Kanne gewählt (Abb. 130). Jede dieser Kannen wird in der KFA Jülich mit 1000 Brennelementen gefüllt.

Der Abschirmbehälter ist ähnlich konstruiert wie der, der bei der Einlagerung von mittelaktivem Abfall Verwendung findet (Abb. 124).

In der Beschickungskammer, die im westlichen Feldesteil der 750-m-Sohle liegt (Abb. 131), werden sämtliche technische Einrichtungen, die für die Einlagerung der AVR-Brennelemente notwendig sind, untergebracht. Die Lagerbohrlöcher werden senkrecht nach unten in die Sohle gebohrt. Die geometrische Anordnung ist folgendermaßen: Die Bohrlöcher haben etwa 2,5 m Abstand vom nördlichen Stoß der Beschickungskammer und befinden sich in

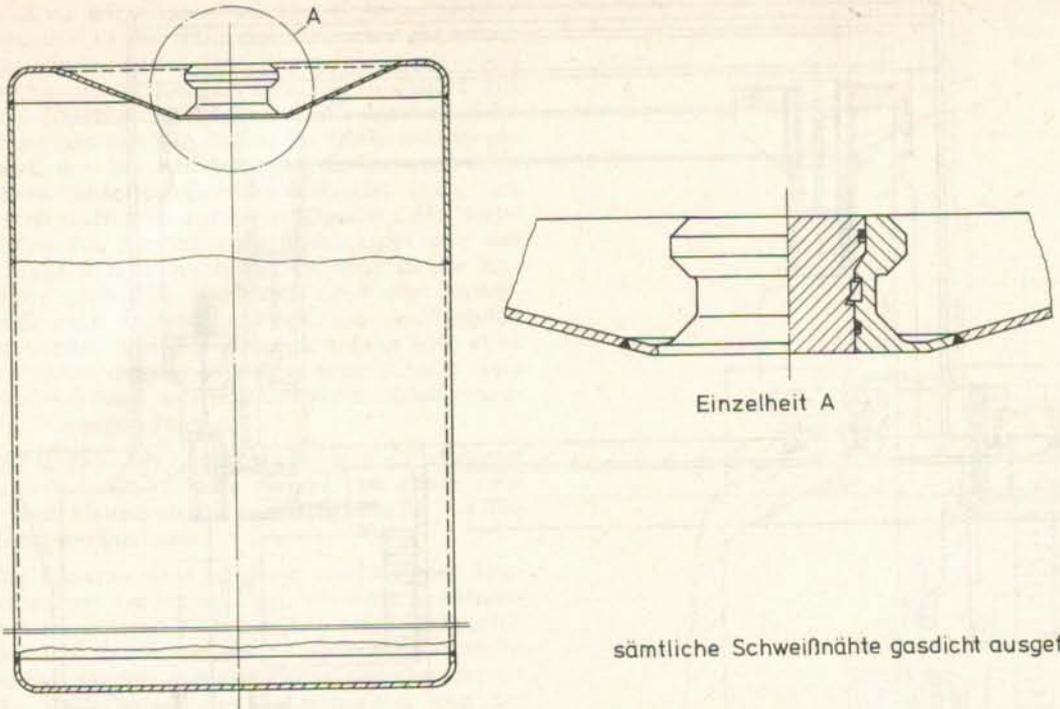


Abb. 130: Brennelementkanne

sämtliche Schweißnähte gasdicht ausgeführt

einer Linie mit einem Abstand von 5,0 m (Abb. 131).

Die für die Einlagerung von mittelaktiven Abfällen im Schachtbereich benutzten Krananlagen und Transportfahrzeuge werden auch für die Manipulation der abgeschirmten AVR-Reaktor-Brennelementkannen verwendet. Zusätzlich befindet sich in der Endlagerstrecke die Beschickungskrananlage mit einem 10-t-Kran, der dazu bestimmt ist, den Abschirmbehälter vom Transportfahrzeug auf die Schleusvorrichtung über dem Einlagerungsbohrloch abzusetzen, sowie ein 1-t-Kran, der die Brennelementkanne in das Einlagerungsbohrloch absenken soll (Abb. 132).

Die Brennelementkannen werden in Abschirmbehältern von Straßenfahrzeugen zur Asse transportiert. Vom in der Schachthalle abgestellten Fahrzeug wird mit Hilfe des 10-t-Krans der Abschirmbehälter abgehoben und auf dem Boden der Schachthalle abgesetzt. Durch ein mobiles Kranfahrzeug wird der Abschirmbehälter aufgenommen, im Förderkorb abgesetzt und zum Füllort der 750-m-Sohle transportiert.

Im Füllort der 750-m-Sohle wird der Abschirmbehälter mit Hilfe des vorhandenen Krans auf das Streckentransportfahrzeug umgesetzt und zur Endlagerstrecke transportiert. Die Entfernung zwischen Füllort und Endlagerstrecke beträgt etwa 610 m.

In der Endlagerstrecke wird der Abschirmbehälter vom Streckentransportfahrzeug auf die Schleusvorrichtung über dem Einlagerungsbohrloch umgesetzt (vgl. Abb. 132). Nach dem gleichzeitigen Öffnen des Bodenverschlusses des Abschirmbehälters und der Schleusvorrichtung wird die Brennelementkanne mit Hilfe des 1-t-Krans in das Bohrloch abgesenkt. Nach der Rückkehr des Krans in seine Ausgangsposition werden Schleuse und Verschlussboden des Abschirmbehälters geschlossen, der Abschirmbehälter auf dem Streckentransportfahrzeug abgesetzt und zum Füllort zurücktransportiert.

Abb. 133 gibt an, wie das Einlagerungsbohrloch nach dem Einbringen der letzten Kanne verschlossen wird.

Der Resthohlraum von 1,5 m Höhe dient nach dem Anbringen eines Deckels als Kontrollvolumen und wird vor Beendigung des Einlagerungsbetriebes auf der Grube und deren Aufgabe mit Beton vergossen.

Eine Einlagerungskanne (1000 Brennelemente) hat eine Wärmeleistung durch Nachwärmeproduktion von 72 W. Nach einer Berechnung mit pessimistischen Werten für eine 50 m lange Wärmequelle ergibt sich bei einer angenommenen Umgebungstemperatur des Salzes von 40° C ein Temperaturmaximum in der Quellennmitte von 43,3° C, an der Kannenwand von 42° C und im umgebenden Salz von 41° C.

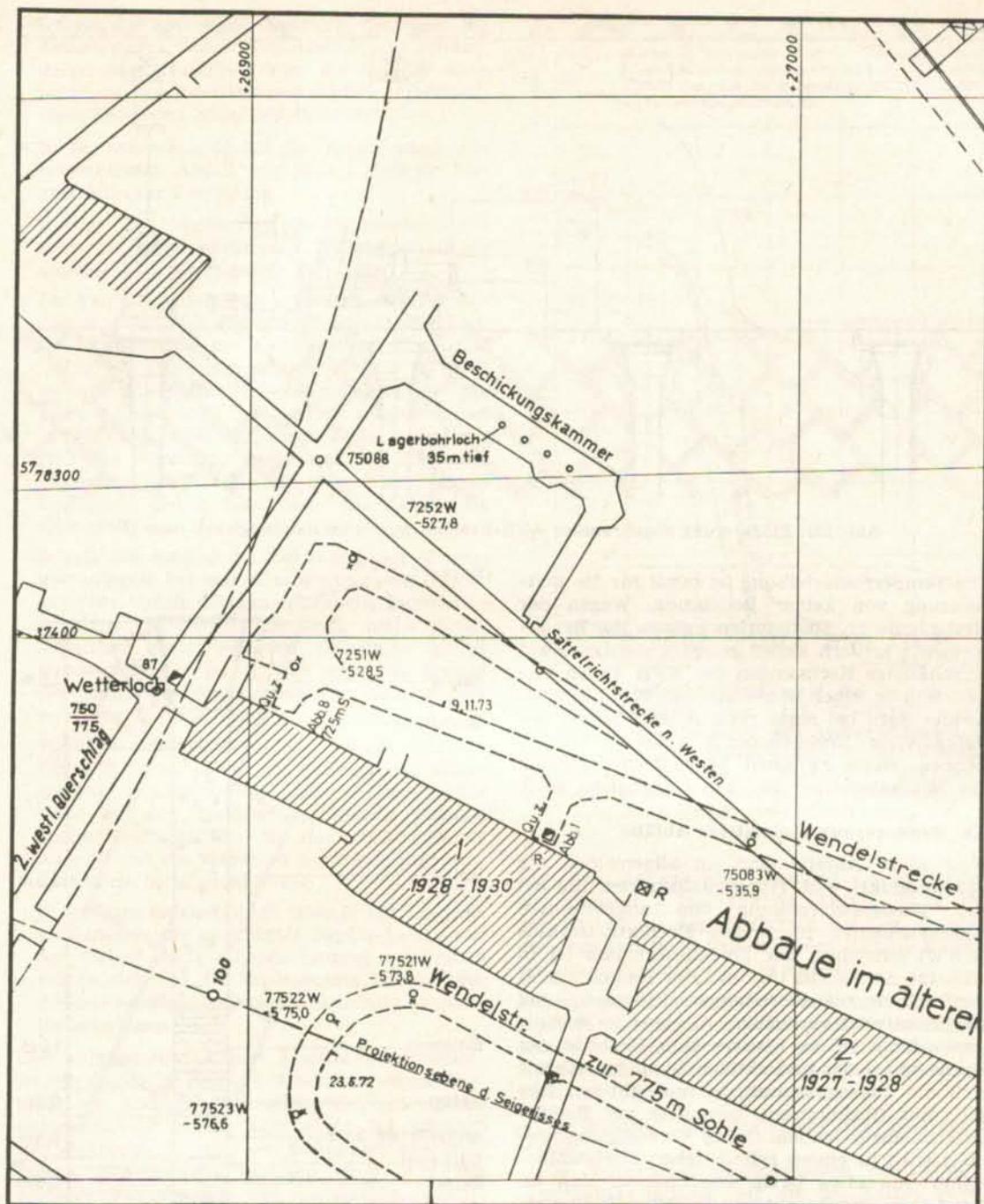


Abb. 131:ASSE — Schacht 2 — Grundriß der 750 m-Sohle (M 1:1000)

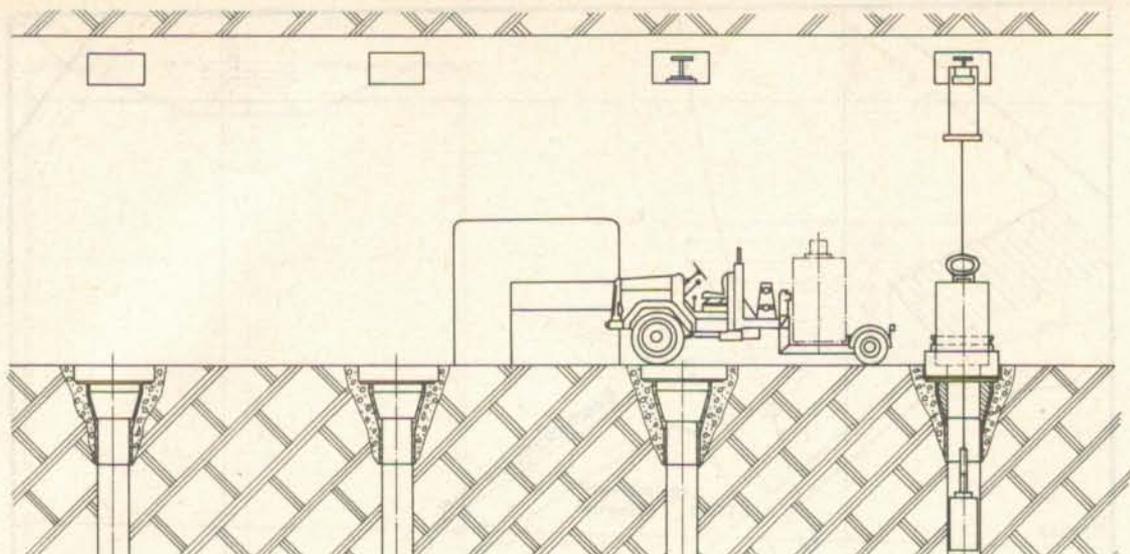


Abb. 132: Einlagerung abgebrannter AVR-Brennelemente im Salzbergwerk Asse II

Die Temperaturerhöhung ist somit für die Endlagerung von keiner Bedeutung. Wegen der Restgehalte an Spaltstoffen müssen die Brennelemente kritisch sicher gelagert werden. Zwei unabhängige Rechnungen der KFA Jülich zeigen, daß in einer Säule von ca. 60 cm Durchmesser auch bei einer eventuellen Flutung beliebig viele Brennelemente gelagert werden können, wenn zwischen benachbarten Säulen ein Mindestabstand von 2 m eingehalten wird.

5.6 Endlagerung hochaktiver Abfälle

Hochaktive Abfälle sind im allgemeinen die Spaltprodukt- und Transuranlösungen, die bei der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen im ersten Extraktionszyklus (1 WW) entstehen. Ihr Zerfallsverhalten ist in Abb. 134 dargestellt und mit der Radiotoxizität von Uranerz-Aufbereitungsrückständen und Hüllenmaterial verglichen. Als eine im technischen Maßstab zu realisierende Methode der Verfestigung der hochaktiven Lösungen scheint sich die Verschmelzung des hochaktiven Abfalls mit Glasbildnern, besonders mit Borsilikatglas, abzuzeichnen. Dieses Verfestigungsprodukt wird in einem zylindrischen Edelstahlbehälter von etwa 20 cm Durchmesser und ca. 1 m Länge eingebracht und in dieser Form endgelagert.

Auch für die Entwicklung und Erprobung von Endlagertechnologien zur Beseitigung von hochaktivem Abfall soll das ehemalige Salzbergwerk Asse als Versuchsanlage dienen. Von vornherein ist dabei aus folgenden Gründen auszuschließen, daß die Asse als reguläres Endlager für den hochaktiven Abfall, der bei einer großen Wiederaufarbeitungsanlage anfällt, genutzt wird:

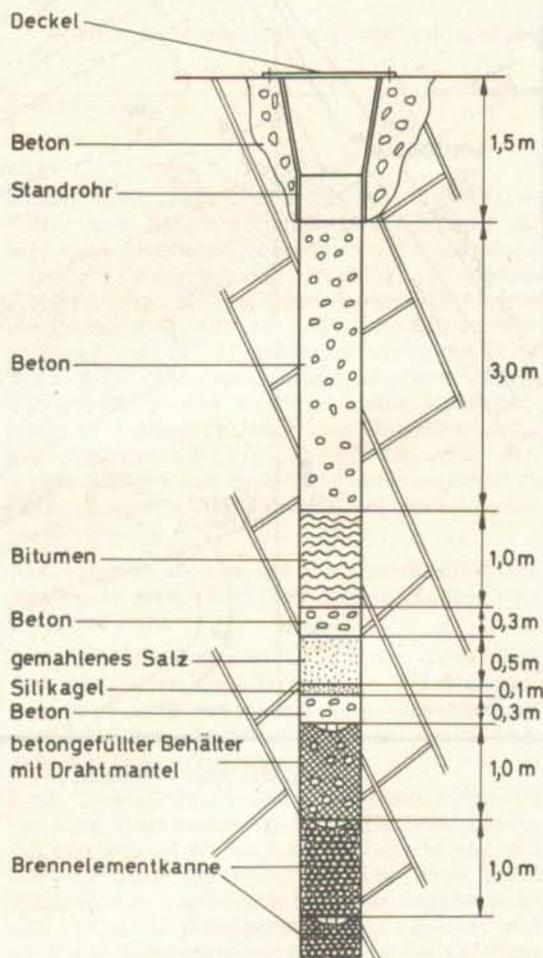


Abb. 133: Verschluss der gefüllten Lager-Bohrungen

- Durch die ehemalige Nutzung der Asse als Salzbergwerk sind Hohlräume entstanden, deren Standfestigkeit über die bei der Einlagerung von hochaktivem Abfall nur eine begrenzte Lagerfläche zur Verfügung.
- Infolge des begrenzten Salzvolumens steht auch nur eine bestimmte Wärmeaufnahme-kapazität zur Verfügung.
- Im Salzsattel der Asse existiert das carnallitisch ausgebildete Kaliflöz Straßfurt K2 (c). Bei Aufheizung des Carnallits ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) auf Temperaturen $> 110^\circ C$ muß mit der Abspaltung von Kristallwasser gerechnet werden, bei einer solchen von $> 165^\circ C$ kann es sogar zur Freisetzung von HCl -Gas kommen. Außerdem ist Carnallit besonders fließfähig, hat also eine geringe Festigkeit. Seine Löslichkeit in Wasser ist sehr groß.
- Durch die zusätzliche Belastung der Transportanlagen bei der Einlagerung von hochaktivem Abfall würden erhebliche logistische Probleme entstehen, die auch nicht durch Abteufen eines weiteren Schachtes gelöst werden können; im übrigen sollte die Anzahl der Bohrungen und Schächte in ein Endlager so gering wie möglich sein.
- Westlich der Schachanlage Asse II existiert die 1906 durch einen Wassereintrich vollge-laufene Schachanlage Asse I. Ihre Nähe wäre bei der Endlagerung großer Mengen hochaktiver Abfälle in das Salzbergwerk Asse II und der dabei zu berücksichtigenden Zeiträume nicht problemlos.
- Es gibt im Salzbergwerk Asse II ein Laugen-vorkommen an gesättigter $MgCl_2$ -Lauge auf der 750-m-Sohle. Dieses Laugenvorkommen würde sich bei der Einlagerung hochaktiver Abfälle langfristig gesehen ebenfalls nachteilig auswirken.

Die aufgezählten sieben Punkte beschränken jedoch das Salzbergwerk Asse II in seiner Eignung als Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle nicht. Zum einen ist nämlich der Zeitraum, für den die Sicherheit des Endlagers gewährleistet werden muß, für ein Endlager von schwach- und mittelaktiven Abfällen wegen des geringen Gehaltes an langlebigen Radionukliden sehr viel geringer als bei einem Endlager für hochaktive Abfälle, zum anderen ist beim schwach- und mittelaktiven Abfall keine Wärmeentwicklung vorhanden, die, bei einem so komplizierten Grubengebäude wie Asse II, wesentlich zu einem Bruch dieses Systems und so zum Eindringen von Wasser aus grundwasserführenden Schichten oder aus der bereits abgesoffenen Schachanlage Asse I führen könnte.

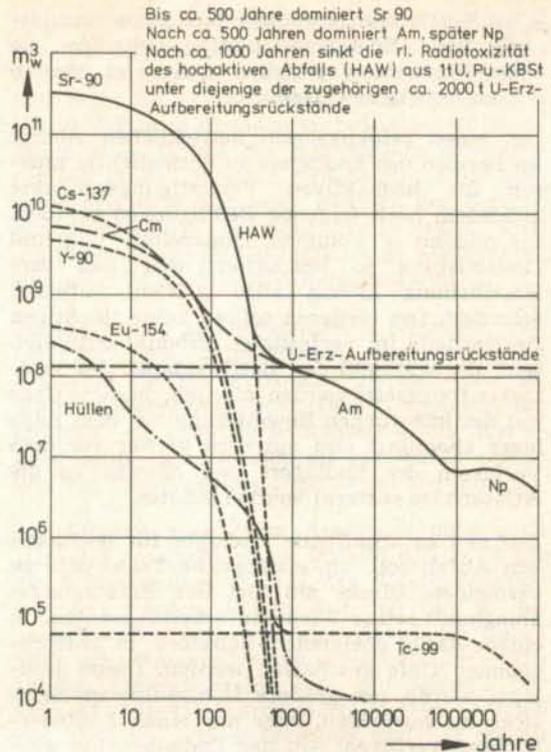


Abb. 134: Relative Radiotoxizität des hochaktiven Aufarbeitungsabfalls aus 1 t U, PU-KBST, zugehörigen Hüllen und der U-Erz-Aufbereitungsrückstände (Relative Radiotoxizität $\hat{=}$ das Wasser bzw. Luftvolumen, das zur Verdünnung auf maximal zulässige Konzentrationen im Trinkwasser bzw. in der Atemluft erforderlich wäre)

Eine zwischenzeitliche Lagerung – auch größerer Mengen – hochaktiven Abfalls (z. B. bis zur Erstellung des Endlagers bei der Entsorgungsanlage) wird jedoch weder technisch noch sicherheitstechnisch problematisch.

Neben speziellen Anforderungen an das Endlager für hochaktiven Abfall müssen auch ganz bestimmte Anforderungen an die hochaktiven Abfallprodukte gestellt werden, um eine sichere Endlagerung gewährleisten zu können:

- Das Produkt muß gegenüber dem Salz inert sein.
- Die kalorischen Eigenschaften des Abfallproduktes müssen auf die des Salzes abgestimmt sein.
- Das Produkt muß genügend homogen sein, damit es nicht zur Bildung von sogenannten „hot spots“ kommt.
- Die thermodynamische Stabilität des Glasproduktes muß genügend hoch sein, um eine Entglasung und Kristallisation zu verhindern.
- Die Konsistenz des Endlagerproduktes muß erhalten bleiben.
- Die Auslaugbeständigkeit gegenüber Wasser und Laugen muß möglichst hoch sein.

- Im Verfestigungsprodukt darf keine unzulässig hohe Energiespeicherung eintreten, die bei Erwärmung plötzlich freigesetzt werden könnte (Wigner-Effekt).

Um einen reibungslosen betrieblichen Ablauf im Bereich des Endlagers zu ermöglichen, müssen die hochaktiven Verfestigungsprodukte außerdem noch folgende Bedingungen erfüllen. Sie müssen in Volumen, Dimensionierung und Dosisleistung so beschaffen sein, daß ihre Handhabung keinen allzu großen Aufwand erfordert. Des weiteren sollten keine flüchtigen Bestandteile im verfestigten Produkt enthalten sein, die während der Betriebsdauer des Endlagers freigesetzt werden könnten, da diese Gase mit der künstlichen Bewetterung aus dem Endlager abgeführt und aus dem Wetter vor dem Verlassen des Endlagers und Abgabe an die Atmosphäre entfernt werden müßten.

Das neu zu schaffende Endlager für hochaktiven Abfall soll, um risikoreiche Transporte zu vermeiden, direkt am Ort der Entsorgungsanlage mit seiner Wiederaufarbeitungsanlage in einem dafür geeigneten Salzstock in entsprechender Tiefe geschaffen werden. Dieses Endlager würde, um größere Hohlräume im Salzstock zu vermeiden, über nur einen Endlagerhorizont verfügen. Auf der Endlagersohle werden verschiedene Endlagerstrecken aufgeföhren, in die die verfestigten Abfälle in Bohrlöcher mit einer ganz bestimmten, durch die thermische Leistung der hochaktiven Abfälle bedingten geometrischen Anordnung eingelagert werden sollen.

In die Endlagerstrecke, die in entsprechender Teufe in einem für die Endlagerung von hochaktivem Abfall geeigneten Salzstock aufgeföhren wird, werden zur Endlagerung des verfestigten Abfallproduktes senkrechte Bohrungen von einer Länge von ca. 50 m und einem Durchmesser von ca. 0,3 m in einer bestimmten geometrischen Anordnung in die Sohle vorgebracht (Abb. 135). Die geometrische Anordnung der Bohrlöcher auf der Endlagerstrecke wird, wie schon erwähnt, bedingt durch die Wärmeproduktion des hochaktiven Abfalls und die Wärmekapazität des das Bohrloch umgebenden Salzes. Der obere Teil des Einlagerungsbohrloches ist mit Beton eingefast und wird, sollte das Bohrloch mit Abfallbehältern gefüllt sein, auf eine Länge von ca. 5 m mit Salzgrus und einem Betonstopfen verschlossen.

Der verfestigte hochaktive Abfall wird grundsätzlich in Abschirmbehältern gehandhabt, die sicherstellen, daß keine schädlichen Strahlmengen aus dem Behälter herausgelangen. Aufbau und Form dieser Behälter hängen von der Aktivität und der thermischen Leistung der einzulagernden Einheit hochaktiven Verfestigungsmaterials sowie der technischen Beherrschbarkeit ab.

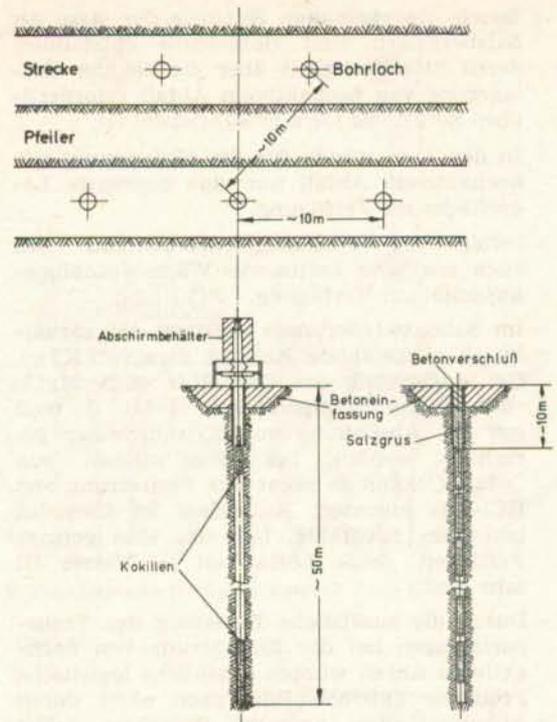


Abb. 135: Schematische Darstellung eines Lagers für hochaktive Abfälle

Der Transport des hochaktiven Abfalls und der Einlagerungsvorgang gleichen dem Verfahren der Einlagerung von AVR-Brennelementen. Die Dimensionierung der einzelnen technischen Einrichtungen wird natürlich davon verschieden sein, doch lassen sich zur Zeit nähere Angaben darüber noch nicht machen.

Nach Beendigung der Einlagerungsmaßnahmen in einer Endlagerstrecke wird diese wieder verfüllt und die Einlagerung in einer anderen Strecke fortgeföhrt. Ist die Betriebsphase des Endlagers beendet, wird dieses durch vollständiges Verföhren und Versiegeln des Schachtes von der Umwelt isoliert.

Endlagerkapazität in größerem Maße für hochaktive Abfälle wird in der Bundesrepublik Deutschland erst nach der Inbetriebnahme der großen Wiederaufarbeitungsanlage mit einer Kapazität von 1400 t/a, einer mehrjährigen Zwischenlagerung der anfallenden hochaktiven Lösungen in gekühlten Tanks und einer gewissen Verweilzeit der verfestigten Produkte im wassergekühlten Becken, d. h. frühestens Ende der 80er Jahre benötigt. Bis zur endgültigen Erstellung eines technisch detaillierten Konzepts für die Endlagerung von hochaktiven Abfällen werden noch vielfältige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vor allem auf dem Gebiet der Wärmeausbreitung im Salz durchgeföhrt, von deren Ergebnis die optimale Dimensionierung der Endlagereinrichtungen abhängt.

5.7 Umwelteffekte und Störfälle

Seit Beginn der Einlagerung radioaktiver Abfälle in das ehemalige Salzbergwerk Asse II werden die Aktivität der Wetter im Grubengebäude und die Aktivität der Luft sowie von Wasser- und Bodenproben in der Umgebung dieser Anlage untersucht.

Innerhalb des Grubengebäudes werden Gehalte an Tritium und Radonfolgeprodukte ständig überwacht. Zu keiner Zeit wurde eine unzulässige Aktivitätskonzentration in den Arbeitsbereichen festgestellt.

An 31 Meßstellen wurde im Jahre 1972 rings um das Salzbergwerk Asse II die natürliche Radioaktivität von Grund- und Oberflächenwässern gemessen. Von insgesamt 116 untersuchten Wasserproben lag die β -Gesamtaktivität bei 42 % unterhalb der Nachweisgrenze von 5 pCi/l, bei 37 % zwischen 5 und 10 pCi/l und bei 21 % über 10 pCi/l. An den letzteren wurde zusätzlich die β -Restaktivität bestimmt. Diese lag bei 80 % der Proben unterhalb der Nachweisgrenze von 5 pCi/l, bei den übrigen 5 Proben geringfügig darüber, wobei als höchster Wert 15 pCi/l festgestellt wurde.

Das Trinkwasser der Gemeinden Remlingen, Wittmar, Mönchevahlberg, Groß Vahlberg und Groß Denke sowie eines Jugendheimes wurde auf die Gesamt- α -Aktivität sowie auf Sr-90 und Cs-137 untersucht. Die Ergebnisse aller zehn analysierten Proben lagen unter der Nachweisgrenze der jeweiligen Bestimmungsmethode. Diese beträgt für die Gesamt- α -Aktivität 5 pCi/l, für die Aktivität von Sr-90 und Cs-137 jeweils 0,2 pCi/l.

In einer Entfernung zwischen 50 und 100 m vom Schacht Asse II wurden 1972 an drei Stellen insgesamt 6 Bodenbewuchsproben entnommen. Die daran bestimmte β -Bruttoaktivität lag zwischen 4,6 und 9,2 nCi/m². Der Mittelwert betrug 7,9 nCi/m². Die Ergebnisse wurden durch regelmäßig fortgeführte Messungen in den Jahren 1973 und 1974 bestätigt.

Die Belastung des in der Asse beschäftigten Personals durch radioaktive Strahlung wird ständig durch Füllhalterdosimeter, Film dosimeter sowie Ganzkörperzähler überwacht. Diese Messungen werden seit Beginn der Einlagerung durchgeführt (seit 1967). Eine Auswertung der monatlich erneuerten Film dosimeter des Personals ergibt, daß bis 1974 die durchschnittliche Dosisbelastung 280 mrem pro Mann und Jahr betrug. Die Extremwerte lagen im Minimum bei unter 40 mrem/a und im Maximum bei 1480 mrem/a. Diese Dosisbelastung liegt weit unter der maximal zulässigen von 5000 mrem/a für beruflich strahlenexponierte Personen. Durch Weiterentwicklung der Einlagerungstechnologie für schwachaktive Abfälle konnte seit 1974 eine erhebliche Reduzierung der Strahlenbelastung erreicht werden.

Durch die Art, Vorbehandlung und Verpackung des radioaktiven Materials sowie die einschlägigen gesetzlichen Vorschriften wird die Sicherheit beim Einlagerungsvorgang selbst gewährleistet. Sollte es dennoch zu betrieblichen Störfällen (z. B. Unfall des mit Fässern schwachradioaktiven Inhalts beladenen Strecken-transportfahrzeuges, oder Absturz des beladenen Förderkorbs im Schacht) kommen, wird die Folge davon im Höchstfall eine Kontamination eines eng begrenzten Bereiches sein.

Sollten solche Kontaminationen eintreten, stehen geeignete Möglichkeiten zur Verfügung – sowohl für die Personen- als auch für die Materialdekontamination. Der Kerntechnische Hilfszug des Kernforschungszentrums Karlsruhe kann, sollte es sich als notwendig erweisen, zur Unterstützung angefordert werden.

Als Störfall maximalen Ausmaßes oder auch „Größter anzunehmender Unfall“ (GAU) ist für die Schachanlage Asse II der Wassereintrich definiert worden. Bekanntlich hat sich in der benachbarten Schachanlage Asse I im Jahre 1906 ein Wassereintrich ereignet, der dazu zwang, diese Schachanlage aufzugeben. Der Schacht Asse III wurde nach kurzem Betrieb von 1921 bis 1925 aufgegeben und lief wegen fehlender Wartung von oben her voll Wasser. Im Gegensatz zur Schachanlage Asse I, auf der Kalisalze dicht unter dem Kainithut abgebaut wurden, was zum Wassereintrich führte, wurden auf der Schachanlage Asse II Kalisalze nur im Sattelkern abgebaut. Seit Übernahme der Schachanlage durch die GSF und den Vorbereitungen für die Einlagerung radioaktiver Abfälle ruht hier der Bergbau, so daß von daher keine weitere Gefährdung zu erwarten ist. Der Möglichkeit des Eindringens von Wasser durch den Schacht wurde durch Einbringen einer Schachtvorbausäule bis in 320 m Teufe begegnet, deren Aufbau Abb. 136 zeigt. Ein Eindringen von Wasser ins Endlager kann somit nur durch einen gebirgsmechanisch bedingten Vorfall, der allerdings äußerst unwahrscheinlich ist, herbeigeführt werden.

Bei einer theoretischen Betrachtung des Falls des Wassereintrichs ist die zufließende Wassermenge wichtig. Um diese abzuschätzen, kann man sämtliche einzelnen Wasserzuflüsse addieren, die bei den Abteufarbeiten im Schacht Asse II in den Jahren 1906 bis 1908 auftraten. Man kommt so rein rechnerisch auf einen Gesamtzufluß von 4360 m³ pro Tag. Diese ehemaligen Zuflüsse sind jedoch durch den Schachtausbau vollkommen abgedichtet. Berechnungen mit einem angenommenen Zufluß von 5000 m³ pro Tag haben gezeigt, daß die Lösung in jedem Niveau des Grubengebäudes Sättigungskonzentration erreicht haben würde, lange bevor der von unten aufsteigende Flüssigkeitsspiegel zur nächsthöheren Sohle gelangte.

Bei dem großen Volumen des Grubengebäudes würde es 3,3 Monate dauern, bis mit dem oben genannten Zufluß von 5 000 m³ pro Tag die 750-m-Sohle überschwemmt wäre. Das gesamte Grubengebäude wäre sogar erst nach 28 Monaten, also nach über 2 Jahren, vollgelaufen. In einer Normalkammer wäre der Sättigungsgrad jedoch bereits nach 6 Tagen auf einen Wert von über 90% gestiegen, was der Salzlösung ihr Lösungsvermögen im wesentlichen nehmen würde. Die Beeinträchtigung der Standfestigkeit des Grubengebäudes durch diesen hypothetischen Wassereintrich wäre somit minimal. Selbst wenn ein Salzpfeiler zwischen zwei Kammern durch die Auflösungsvorgänge von beiden Seiten her so lange angegriffen werden würde, würde die Pfeilertragfähigkeit nur um maximal 15% herabgesetzt, was die Standsicherheit nur unwesentlich beeinflussen würde. Dieser Effekt würde durch den hydrostatischen Druck der Salzlösung in der Kammer zu einem Teil sogar wieder ausgeglichen. Das Grubengebäude als Ganzes würde also bei einem Wassereintrich seine Standfestigkeit nicht verlieren.

Außerdem könnte eine großräumige Zirkulation der Wasser nicht erfolgen. Durch das Verschließen der Lagerkammern wird der Kontakt der radioaktiven Abfälle mit der Außenwelt erschwert. Sollte es trotzdem zu einem Kontakt der Abfälle mit Laugen kommen, so würden die Radionuklide wegen der Verfestigung der Abfälle nur sehr langsam ausgelaugt. Da keine großräumige Konvektion auftreten könnte, wäre die Verbreitung der ausgelaugten Radionuklide allein durch Diffusion möglich. Für den Aktivitätstransport durch die Diffusionsvorgänge in gesättigter NaCl-Lauge läßt sich für einen Zeitraum von ca. 10 000 Jahren ein Weg von einigen hundert Metern abschätzen. Eine Gefährdung des Grundwassers und damit des Biozyklus durch die eingelagerten Abfälle ist somit selbst bei Eintreten dieses maximalen Störfalls auszuschließen.

Das Eintreten eines Laugeneintrichs, wie er sich am 27./28. Juni 1975 auf dem Kalibergwerk Ronnenberg ereignete und letztlich zum Fluten des Bergwerks führte, läßt sich für das ehemalige Salzbergwerk Asse ausschließen, da die geologischen und bergmännischen Verhältnisse beider Anlagen vollkommen unterschiedlich sind. Auch eine Gefährdung der Asse durch den Laugeneintrich auf dem Kalibergwerk Ronnenberg selbst ist auszuschließen, da einerseits die Entfernung zwischen beiden Salzstöcken etwa 70 km Luftlinie beträgt und das Kalibergwerk Ronnenberg in einem anderen Salzstock liegt, der keinerlei Verbindung zu demjenigen der Asse hat.

Durch das Einbrechen eines tragenden Elementes im Grubengebäude, einer sogenannten Bergfeste, bedingt durch den auf ihr lastenden Gebirgsdruck, können das gesamte Gruben-

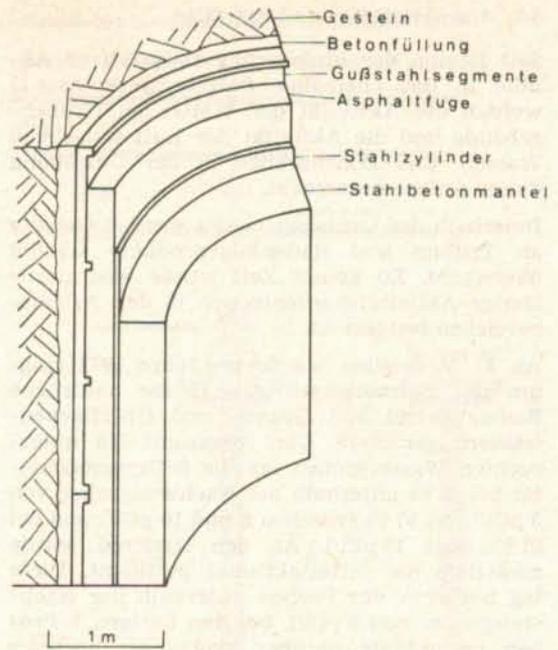


Abb. 136: Aufbau einer Schachtvorbau säule

gebäude oder Feldesteile zum Einsturz gebracht werden. Dies könnte zu einem Wassereintrich ins Endlager führen.

Als Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse der gebirgsmechanischen Untersuchungen und der Maßnahmen zur Überwachung der Grube sowie unter Berücksichtigung des Alters und Zustandes der Abbaukammern, der Auswertung von Erfahrungen aus anderen Kali- und Steinsalzbergwerken und der darüber vorliegenden Literatur kann die Wahrscheinlichkeit eines gebirgsmechanisch bedingten Störfalles wie folgt beurteilt werden:

- Eine unmittelbare Gefahr für das Grubengebäude durch einen gebirgsmechanisch bedingten Störfall besteht nicht.
- Die Ursache der bisher im deutschen Salzbergbau vorgekommenen gebirgsmechanisch bedingten Störfälle war stets der unsachgemäße Abbau von Kalisalzen. Auf der Schachtanlage Asse II ruht jedoch seit 1964 jeglicher Bergbau, der Abbau von Kalisalzen sogar schon seit 1925. Mit einem Gebirgschlag ist somit nicht zu rechnen.
- Der Bruch eines Normalpfeilers kann mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.
- Das langzeitige Zusammendrücken einzelner Abbaue durch allseitige Konvergenz ist zwar nicht auszuschließen. Dieser Vorgang beinhaltet wegen seiner örtlichen Begrenzung und der dabei auftretenden bruchlosen Verformung des Salzgesteins keine hydrologische Gefährdung. Das Zusammenbrechen größerer



Abb. 137: Karte der deutschen Erdbebengebiete

Feldesteile, also mehrerer über- und nebeneinander liegender Abbaukammern ist dagegen in hohem Maße unwahrscheinlich.

Übereinstimmend mit dieser Beurteilung zeigen die Ergebnisse des messtechnischen Überwachungsprogramms, daß das Grubengebäude gerade in dem Teil, in dem die Abbaukammern

auf den oberen Sohlen der inneren südlichen Salzflanke relativ nahe an den Rand des Salzsattels heranreichen, besonders standfest ist.

Das Auftreten von Erdbeben hängt auf das engste mit geologischen Bewegungsvorgängen zusammen, wobei Erdbeben fast immer und hauptsächlich von den großen Bruchzonen der

Erdrinde ausgehen. Der geologische Untergrund des Asse-Sattels ist jedoch tektonisch außerordentlich stabil. Er besteht aus Schichten des Erdaltertums, die durch ältere Gebirgsbildungen stark verfestigt sind. Wie bereits ausgeführt, hat sich die Auffaltung der Asse-Struktur vor rund 110 Millionen Jahren ereignet. In der jüngsten geologischen Formation, dem Quartär, dessen Dauer von ca. 600 000 Jahren durch radioaktive Altersbestimmungen ziemlich genau bekannt ist, dürfte sich kein nennenswertes Erdbeben in der norddeutschen Tiefenebene ereignet haben. Deshalb ist das Gebiet um die Asse auch nicht in der „Karte der deutschen Erdbebengebiete“ in DIN 4149 als solches ausgewiesen worden (Abb. 137).

Aus dem geologischen Bau des Asse-Sattels, seiner Umgebung und seines Untergrundes kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, daß für eine Zeit von einigen Hunderttausend Jahren nicht mit einem Erdbeben zu rechnen ist, welches die Sicherheit des Endlagers gefährden könnte.

Auch Erdbeben, deren Zentren in einem der Erdbebengebiete Deutschlands liegen, können in ihrer auftretenden Stärke das Versuchs-Endlager Asse nicht gefährden. So ereignete sich am 23. 6. 1975 im hessischen Raum ein Erdbeben, dessen Zentrum östlich von Bad Hersfeld zu lokalisieren war und dessen seismische Auswirkungen bis in die Räume Frankfurt/Mainz und Köln zu spüren waren. Mikro-seismische Erschütterungen haben wohl am 23. 6. 1975 auch Niedersachsen und das Gebiet der Asse erreicht. Im Grubengebäude der Asse sind jedoch keinerlei Schäden als Folge dieses Erdbebens festgestellt worden.

5.8 Kosten der Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle

Die Schachthanlage Asse wird als Forschungsstätte für die Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe im Auftrage der Bundesregierung von der GSF betrieben und finanziert. Nach erfolgreicher Durchführung der versuchsweisen Einlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle sollen nun für diese Dienstleistungen Gebühren erhoben werden. Mit der Gebührenerhebung soll folgendes Ziel erreicht werden:

- Kostendeckung für die Betriebs- und Investitionskosten der Einlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle (Kosten für Forschungsvorhaben werden damit nicht abgedeckt),
- Reduzierung der Dosisleistung an der Oberfläche der Behälter im Hinblick auf die Minimierung der Dosisbelastung des Einlagerungspersonals durch Festsetzung besonders günstiger bzw. erhöhter Gebühren für Abfälle geringer bzw. hoher Dosisleistung,
- Bessere Verfestigung und Verpackung der Abfälle im Hinblick auf die langfristige Sicherheit durch entsprechende Festsetzung der Gebühren für verschiedene Konditionierung der Abfälle und Abfallbehälter,
- Minimierung des gesamten Abfallvolumens.

In Tabelle 42 sind die Gebühren für die verschiedenen Aktivitätskategorien und Behältertypen angegeben.

Es ist jedoch zu beachten, daß diese Kosten zwar Asse-spezifisch sind, keineswegs aber die Kostenstruktur bei einem späteren Endlager ergeben. Die besonderen technischen Wartungen der Asse machen höhere Gebühren als in einem speziell hergerichteten Lager notwendig.

Aktivitätskategorie	Behältertyp	Gewicht kg	Dosisleistung mrem/h			
			0-100	100-200	200-500	500-1000
schwach-radioaktiv	200 l	bis 700	DM 150,-	DM 200,-	DM 600,-	DM 1100,-
		700-1250	DM 280,-	DM 460,-	DM 1900,-	DM 3700,-
	400 l	bis 700	DM 160,-	DM 220,-	DM 700,-	DM 1300,-
		700-1250	DM 280,-	DM 460,-	DM 1900,-	DM 3700,-
	200 l in 400 l	bis 1250	DM 190,-	DM 280,-	DM 1000,-	DM 1900,-
	Beton-behälter	bis 2500	DM 340,-	DM 580,-		
2500-5000		DM 740,-	DM 1380,-			
mittel-radioaktiv	E 1 / E 2 (S 7 V)	bis 9800	DM 2180,-			

Tab. 42: Gebühren für die Einlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse (Stand 1. 1. 1976)

5.9 Forschung und Entwicklung in der Schachanlage Asse

Im Rahmen des geologischen Forschungsprogramms werden z. Z. geophysikalische Untersuchungen zur detaillierten Erkundung der Salzstruktur im Bereich des Asse-Sattels durchgeführt. Gebirgsbewegungen werden mit Hilfe eines Festpunktnetzes erfaßt und ausgewertet. Außerdem werden Untersuchungen zu einer möglichen Subrosion oder Salzauftrieb am Asse-Sattel gemacht. Das hydrogeologische Forschungsprogramm dient der Erkundung der hydrogeologischen Situation im Bereich des Höhenzuges Asse. Mit Hilfe von Tiefbohrungen werden Fragen wie

- Verlauf des Salzspiegels,
- Wasserbewegungen am Salzspiegel,
- Zusammenhänge zwischen Laugen am Salzspiegel und dem Grundwasser des Deckgebirges

untersucht. Zur Überwachung des Grundwassers werden Isotopenmessungen an Grund- und Quellwässern aus der Umgebung des Endlagers Asse durchgeführt.

Das Salzbergwerk Asse II besteht hauptsächlich aus den neben- und übereinander angeordneten Bauen im Jüngerer Steinsalz Na 3. Zwischen diesen Kammern befinden sich in horizontaler Richtung die Pfeiler und in vertikaler Richtung die Schweben als Bergfesten. Festigkeit, Verformungsverhalten und Tragfähigkeit dieser tragenden Elemente bestimmen im wesentlichen die Standsicherheit des Grubengebäudes.

In einem umfangreichen gebirgsmechanischen Untersuchungsprogramm wird daher diese Standsicherheit bestimmt und laufend kontrol-

liert. In einem Grubengebäude treten, wenn auch in nur sehr kleinen Absolutbeträgen, immer Bewegungen auf. An allen interessierenden Stellen des Grubengebäudes Asse II sind deshalb Meßstellen eingerichtet, an denen mit unterschiedlichen Meßverfahren die dort auftretenden Bewegungen registriert werden. Abb. 138 zeigt als Ergebnisse solcher Messungen die Senkungsprofile von Firste und Schwebe im Abbau 7 der 490-m-Sohle nach 1391 Beobachtungstagen. In Abb. 139 wird die Horizontalkonvergenz im Abbau 8 der 490-m-Sohle dargestellt.

In gebirgsmechanischen Laboratoriumsversuchen soll die Festigkeit von verschiedenen Salzgesteinen unter normalen sowie unter speziellen Bedingungen (z. B. erhöhte Temperatur, Strahlung) ermittelt werden. Daraus ergeben sich Rückschlüsse auf die Standfestigkeit des Grubengebäudes der Asse sowie für die Dimensionierung von Hohlräumen (z. B. für die z. Z. im Bau befindliche Kaverne in der Asse sowie für das zu errichtende Endlager des geplanten Entsorgungszentrums).

Für die Endlagerung wärmeentwickelnder hochaktiver Abfälle in Salzformationen muß die Wärmeausbreitung im Salz sowie das Deformationsverhalten des Salzes bei Erwärmung untersucht werden. Dies geschieht in der Asse in einigen Großversuchen. Hierbei werden zunächst Erhitzer als Wärmequellen verwendet, später soll eine Versuchseinlagerung mit verfestigten hochaktiven Abfällen, die nach Beendigung der Versuche wieder aus dem Endlager entfernt werden könnten, durchgeführt werden.

Erste Auswertungen der Ergebnisse aus Versuchen mit Erhitzern zeigen, daß durch eine

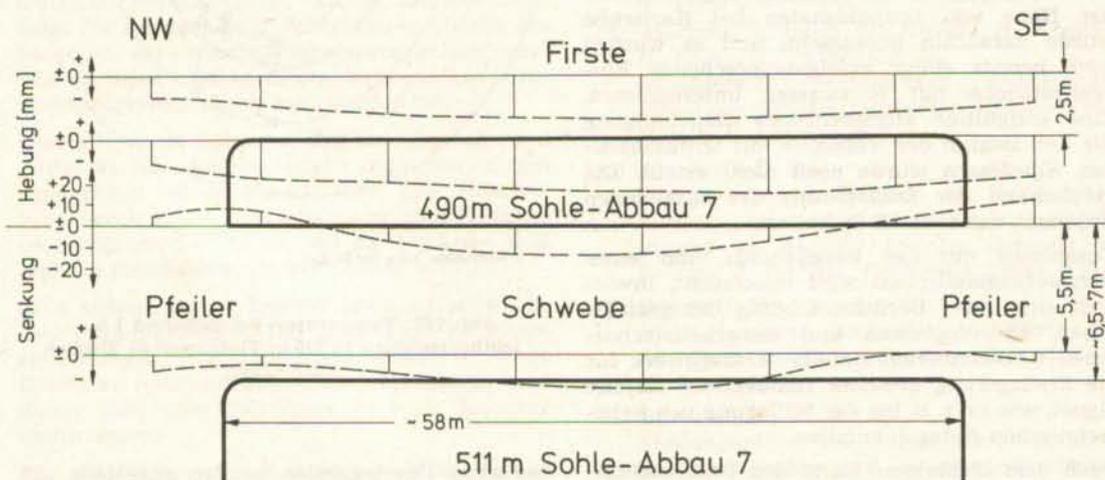


Abb. 138: Senkungsprofile vor Firste und Schwebe im Abbau 7 der 490 m-Sohle nach 1391 Beobachtungstagen

Erhitzertemperatur von 250–300 °C ein Nahbereich von etwa 70–100 cm im Salz auf über 50 °C aufgeheizt wird (Abb. 140). In größeren Entfernungen bis zu 2 m ist nur eine geringfügige Erhöhung der normalen Gebirgstemperatur festzustellen. Die gleichzeitig beobachtete Gebirgsbewegung war mit einem Maximalwert von 4 mm sehr gering. Zur Zeit werden die Ergebnisse des Temperaturversuchsfeldes 3 in der Asse ausgewertet, woraus weitere Erkenntnisse über die Wärmeausbreitung und das Deformationsverhalten des Salzes erwartet werden.

Zur Entwicklung eines optimalen Systems für die Endlagerung von hochaktiven Abfällen wird das z. Z. diskutierte Konzept am Beispiel der Asse risikoanalytisch untersucht. Aus dieser probabilistischen Methode der Risiko-bestimmung ergeben sich Kriterien für den Vergleich sowie für die Optimierung der konzipierten Systeme in technischer und sicherheitstechnischer Sicht. Es ist beabsichtigt, diese Risikoanalyse auch auf Endlagertechnologien schwach- und mittelaktiver Abfälle anzuwenden.

5.10 Untersuchungen über Endlagermöglichkeiten spezieller Abfälle

Tritium kann nicht durch Dekontamination der radioaktiven Abwässer von diesen abgetrennt werden, so daß eine große Menge tritiumhaltiger Abwässer anfällt, die aufgrund ihres hohen Gehaltes an Tritium nicht in die Umwelt abgegeben werden kann. Eine Endlagerung dieser flüssigen Abfälle in der Asse ist aus Sicherheitsgründen ausgeschlossen.

Als eine geeignete Möglichkeit der Beseitigung dieser Abwässer scheint sich das Einpressen in poröse Schichten des tieferen Untergrundes zu erweisen. Eine erschöpfte Erdöllagerstätte in der Nähe von Leopoldshafen bei Karlsruhe wurde daraufhin untersucht, und es wurden auch bereits einige erfolgversprechende Einpreßversuche mit Salzwasser unternommen. Eine endgültige atomrechtliche Genehmigung für den Beginn der Versuche mit tritiumhaltigen Abwässern wurde noch nicht erteilt. Die Möglichkeit der Endlagerung des anfallenden Kryptons wurde in 5.1 diskutiert.

Zusammen mit der Bergbehörde und einer Bergwerksgesellschaft wird untersucht, inwieweit sich unter Berücksichtigung der geologischen, hydrologischen und sicherheitstechnischen Gegebenheiten ein Eisenerzbergwerk für die Endlagerung gewisser radioaktiver Abfälle eignet, wie sie z. B. bei der Stilllegung von kern-technischen Anlagen anfallen.

Nach dem bisherigen Stand der Untersuchungen zeichnet sich aus geologischer und hydrologischer Sicht eine Eignung des Eisenerzbergwerks als Endlager für radioaktive Abfälle ab.

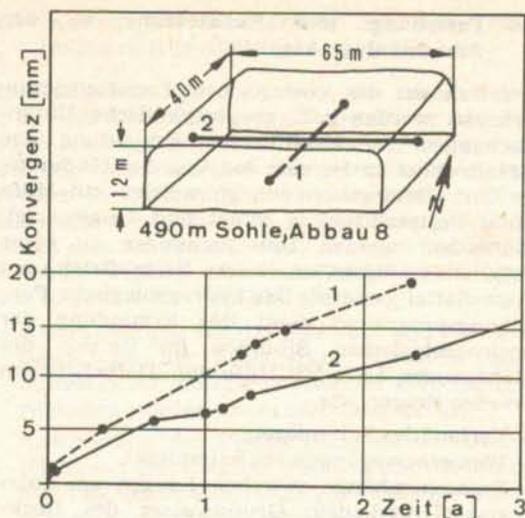


Abb. 139: Querschlägig (1) und streichend (2) gemessene Horizontalkonvergenzen im Abbau 8 der 490 m-Sohle

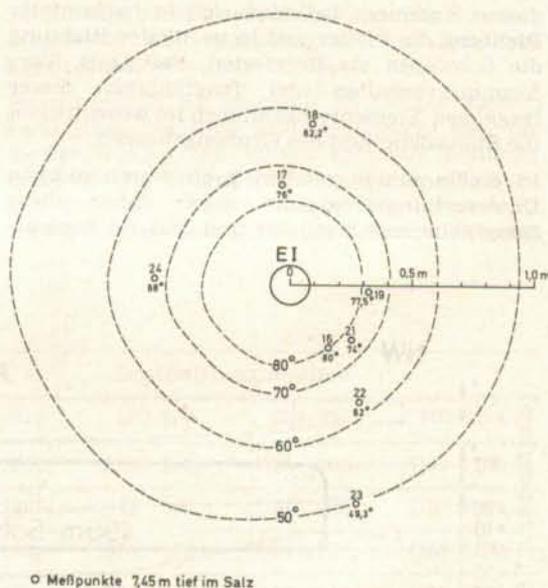


Abb. 140: Temperatur-Versuchsfeld 1 b — Isothermenplan in 745 m Tiefe nach 34 Wochen Aufheizung

Derartige Überlegungen wurden angestellt, um ohnehin vorhandene Schachtanlagen zur Endlagerung sperriger kerntechnischer Strukturmaterialien kostengünstig nutzen zu können.

5.11 Erfahrungen aus dem Betrieb der Versuchsanlage Asse für die Konzipierung von Endlagern

Durch die Versuchseinlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen in der Asse ist gezeigt worden, daß die Endlagerung dieser Abfälle mit den dort angewandten Techniken und Sicherheitsvorkehrungen in geologischen Salzformationen auch in größerem Maßstab grundsätzlich möglich ist.

Aus den bei diesen Endlagerungsmaßnahmen gesammelten Erfahrungen lassen sich für ein späteres Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle folgende hauptsächlichliche Konsequenzen ableiten:

- Der Raumbedarf für die große Menge schwachaktiver Abfälle sollte minimiert werden, d. h. das Abfüllen der Abfälle in Fässer, die im Endlager viel Platz einnehmen und den Raum nicht vollständig ausfüllen, sollte durch andere Techniken ersetzt werden.
- Da alle Abfälle durch einen Schacht ins Endlager gebracht werden, bestimmen die Kapazität der Fördermaschine und die Abmessungen des Schachtes die Einlagerungsleistung des Endlagers, d. h. es muß nach neuen, wirtschaftlicheren Methoden der Einbringung der Abfälle in das Endlager gesucht werden.
- Da mittelaktive Abfälle in Abschirmbehältern gehandhabt werden müssen, und diese durch Gewicht und Abmessungen eine großtechnische Anwendung dieses Konzepts verhindern, muß nach Wegen zur abschirmungslosen Handhabung dieser Abfälle gesucht werden.

Alle diese Forderungen sind bereits in einem neuen Konzept zur Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle in geologischen Salzformationen berücksichtigt, wie es für das Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle am Standort der Wiederaufarbeitungsanlage entwickelt wird und in einem aufwendigen Versuchsprogramm untersucht werden soll.

Dieses Konzept sieht vor, daß die schwach- und mittelaktiven Abfälle über Tage mit einem Bindemittel versetzt und über eine Rohrleitung durch einen Bohrschacht in eine Kaverne gebracht werden sollen, wo sie abhärten und jegliche Resthohlräume vermeiden.

Eine weitere Option besteht darin, den schwach- und mittelaktiven Abfall über Tage zu einem rieselfähigen Verfestigungsprodukt - etwa Granulat oder Pellets - zu verarbeiten und dieses über eine Falleitung in einer Kaverne endzulagern.

Für ein Endlager hochaktiver Abfälle ergeben sich aus einer Risikoanalyse eines hypothetischen Endlagers für hochaktive Abfälle in der Asse hauptsächlich folgende Konsequenzen:

- Vermeidung größerer Hohlräume, die über längere Zeit offenstehen.
- Sicherer Ausbau des Schachtes im Bereich grundwasserführender Schichten.

Auch diese Forderungen werden bei dem Konzept eines potentiellen Endlagers für hochaktive Abfälle, wie es z. Z. diskutiert wird, bereits berücksichtigt. Die Endlagerung hochaktiver Abfälle soll nach diesem Konzept nur auf einer Sohle tief im Kern des Salzstocks stattfinden und die aufgefahrene Endlagerstrecken werden nach dem Füllen der Endlagerbohrlöcher wieder vollständig versetzt. Nach Beendigung der Einlagerung werden das restliche Grubengebäude und der Schacht mit Salz verfüllt, so daß der ursprüngliche Zustand des Gebirges ohne künstliche Hohlräume wiederhergestellt und danach eine Überwachung dieses Endlagers überflüssig wird.

Zur Definition der eigentlichen Einlagerungstechnologie sowie zur geometrischen Anordnung der Bohrlöcher sind noch weitere Versuche in der Asse mit Erhitzern und auch „echten“ verfestigten hochaktiven Abfällen, die nach Beendigung der Versuche wieder entfernt werden könnten, notwendig.

Literatur

- [1] Albrecht, E.:
Der Ausbau des Steinsalzbergwerkes Asse II für die Einlagerung radioaktiver Rückstände, Bergbau 4 (1972) 82
- [2] Albrecht, E.:
Sicherungsarbeiten am Ausbau des Schachtes Asse 2, Kali und Steinsalz 58 (1970) 257
- [3] Albrecht, E.:
Die Endlagerung radioaktiver Rückstände untertage, Glückauf 105, 18 (1969) 871
- [4] Albrecht, E., Hepp, W., Kolditz, H., Krause, H., Kühn, K., Trabant, H. E.:
Endlagerung radioaktiver Rückstände, Schriftenreihe des Deutschen Atomforums, Heft 16, 2. Auflage 1969
- [5] Amphlett, C. B.:
Treatment and Disposal of Radioactive Wastes, International Series of Monographs on Nuclear Energy, Division V, Volume 2, Oxford, Pergamon Press (1961)
- [6] Baumert, B.:
Über Laugen- und Wasserzuflüsse im deutschen Kalibergbau, Dissertation, Aachen (1927)
- [7] Borchert, H.:
Stellungnahme zu Standsicherheitsfragen aus geologischer und gebirgsmechanischer Sicht bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse II (1974), Interner Bericht der GSF

- [8] Borchert, H., Klarr, K., Kühn, K.:
Studie über die bisherigen Laugenzuflüsse auf den Asse-Schächten und die Gefahr eines Wasser- oder Laugeneinbruchs in das Grubengebäude des Schachtes 2, GSF-Bericht T 10, 1967, Interner Bericht
- [9] Dürr, K., Kühn, K.:
Wärmeausbreitung und Deformationsverhalten des Gebirges im Temperaturversuchsfeld 1 b (1969), Interner Bericht der GSF
- [10] Dürr, K., Kühn, K.:
1. Bericht über die vorläufigen Ergebnisse des Temperaturversuchsfeldes, 1968, Interner Bericht der GSF
- [11] Gimm, W.:
Kali- und Steinsalzbergbau, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1968)
- [12] Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfallstoffen im Salzbergwerk Asse, GSF, München (1975), Interner Bericht
- [13] Vorläufige Bedingungen für die Versuchseinlagerung mittelaktiver Abfallstoffe im Salzbergwerk Asse II, GSF, München (1972), Interner Bericht
- [14] Zur Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse, Broschüre, GSF, München (1975)
- [15] Jahresberichte - Kurzfassung, 1971-1974, GSF, München (1971-74)
- [16] Sicherheitsstudie für die Einlagerung radioaktiver Rückstände im Salzbergwerk Asse II, GSF, München, GfK, Karlsruhe (1970)
- [17] Endlagerung radioaktiver Abfälle, Jahresbericht 1971, GSF, München, GfK, Karlsruhe, KFK 1585, GSF-T 42 (1971)
- [18] Endlagerung radioaktiver Abfälle, Jahresbericht 1972, GSF, München, GfK, Karlsruhe, KFK 1862, GSF-T 45 (1972)
- [19] Endlagerung verbrauchter Brennelemente aus dem AVR-Versuchskernkraftwerk im Salzbergwerk Asse, GSF, München, GfK, Karlsruhe, KFA, Jülich (1975)
- [20] Gebührenordnung für die Einlagerung schwach- und mittelaktiver Abfallstoffe im Endlager Asse, Entwurf, GSF, München (1975)
- [21] Erläuterungen zur neuen Einbringtechnik für schwachaktive Abfälle, GSF, München (1974)
- [22] Standardization of Radioactive Waste Categories, Technical Report Series No. 101, IAEA, Wien (1970)
- [23] Radioactive Waste Disposal into the Ground, Safety Series No. 15, IAEA, Wien (1965)
- [24] Kleimann, H., Uerpmann, E.-P.:
Bericht über die Aktivitäten der Grubenwetter der Schachanlage Asse II im Jahre 1974 (1975)
- [25] Klarr, K.:
Laugen im Grubengebäude der Schachanlage Asse II (1967)
- [26] Kühn, K.:
Anforderungen an verfestigte hochaktive Abfallprodukte vom Endlager her (1975), Interner Bericht der GSF
- [27] McGrath, P. E.:
Radioactive Waste Management, Potentials and Hazards from a Risk Point of View, KFK-1992 (1974)
- [28] Radioactive Waste Management Practices in Western Europe, NEA, Paris (1971)
- [29] Project Salt Vault: A Demonstration of the Disposal of High Activity Solidified Waste in Underground Salt Mines, ORNL-4555 (1971)
- [30] High-Level Radioactive Waste Management Alternatives, BNWL-1900 (1974)
- [31] Proceedings of the Symposium on the Solidification and Long-Term Storage of Highly Radioactive Wastes, Richland, Wash. (1966)
- [32] Management of Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes (Proc.-Symp. Aix-en-Provence, 1970) IAEA, Wien (1970)
- [33] Disposal of Radioactive Wastes into the Ground (Proc. Symp. Vienna, 1967) IAEA, Wien (1967)
- [34] Haug, H. O.:
Anfall, Beseitigung und relative Toxizität langlebiger Spaltprodukte und Actiniden in den radioaktiven Abfällen der Kernbrennstoffzyklen, KFK 2022, Karlsruhe, November 1975
- [35] Burkholder, Clominger, Bako, Jansen:
Incentives for Partitioning High Level Waste, BNWL-1927, November 1975
- [36] Radioactive Waste Disposal into the Atlantic 1967, Nuclear Energy Agency, Paris, September 1968
- [37] Radioactive Waste Management Practices in Western Europe, Nuclear Energy Agency, Paris, September 1971
- [38] Schneider, K. J., Platt, A. M. (Editors):
High Level Radioactive Waste Management Alternatives, BNWL-1900, May 1974
- [39] Hunzinger, W.:
Sicherheitsaspekte der Meeresversenkung radioaktiver Abfälle, Beilage zum Bulletin Nr. 14 der Schweizerischen Vereinigung für Atomenergie, August 1974