



INSTITUT FÜR TIEFLAGERUNG
Wissenschaftliche Abteilung
Technische Abteilung
GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG MBH
Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten
zur
ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE
Jahresbericht 1976

August 1977

GSF = T 70
KfK = 2522
PWA = 70/77

GESELLSCHAFT FÜR STRAHLEN- UND UMWELTFORSCHUNG MBH
MÜNCHEN

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG MBH KARLSRUHE

FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN ZUR
ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE
JAHRESBERICHT 1976

Institut für Tieflagerung (GSF)

Wissenschaftliche Abteilung, Clausthal-Zellerfeld

Technische Abteilung, Wolfenbüttel

Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle (GfK)

K. Dürr, H. Feddersen, D. Flach, K. Klarr, K. Kühn, R. Proske,
T. Rothfuchs, M. Schmidt, K. Schneider, G. Staupendahl, E. P. Uerpmann
(GSF - IfT/WA)

E. Albrecht, N. Jockwer, H. Kolditz, O. Opp, K. Thielemann
(GSF - IfT/TA)

W. Bechthold, W. Diefenbacher, H. J. Engelmann, E. Korthaus, H. Krause,
M. C. Schuchardt, E. Smailos
(GfK - ABRA)

August 1977

GSF - T 70
KFK - 2522
PWA - 70/77

Kurzfassung

Der vorliegende Bericht ist eine Gemeinschaftsarbeit der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München und der Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe und gibt einen Überblick über die im Jahre 1976 durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Es wird über die bergmännischen und baulichen Arbeiten berichtet, die im Salzbergwerk Asse bei Remlingen sowohl unter- als auch über-tage zur Durchführung kamen und die der Instandsetzung, Erhaltung und Erweiterung des Betriebes entsprechend seinen Aufgaben dienen.

Die Versuche zur Endlagerung schwachaktiver Abfälle auf der 750 m- und 725 m-Sohle und auch die versuchsweise Einlagerung mittelaktiver Abfälle auf der 511 m-Sohle wurden im Berichtszeitraum fortgeführt.

Es wird weiterhin berichtet über die Erprobung eines Abschirmbehälters, der das Umladen von Fässern aus dem Sammelbehälter S7V mit den Abschirmvarianten 1 und 2 (240 mm Stahlguß) in den Einzelbehälter E2 erlaubt, sowie über das Inbetriebnahmeprogramm für den Sammelbehälter TN 28/S5V.

Die Vorarbeiten zur singulären Einlagerung von AVR-Brennelementen wurden planmäßig fortgeführt und mit der Funktions- und Abnahmeprüfung der Beschickungseinrichtung abgeschlossen.

Im Zuge der Errichtung der Prototyp-Kaverne wurde der Schacht Asse 4 weitergeteuft. Die Gesamtteufe betrug am Ende des Berichtsjahres 975 m. Außerdem konnte der Rohbau der Schachthalle errichtet und die Dacheindeckung zum Jahresende abgeschlossen werden.

Der Bericht gibt ferner Auskunft über den augenblicklichen Stand der allgemeinen Forschungsarbeiten, besonders zur Einlagerung hoch-

aktiver Abfälle, sowie auf dem Gebiet der gebirgsmechanischen Untersuchungen und der Sicherheitsstudien.

Research and Development for the Disposal of Radioactive Wastes
Annual Progress Report 1976

Abstract

This report is a joint effort of the Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München and the Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe, presenting a survey of the work performed in 1976 in the field of disposal of radioactive waste.

The mining and construction work is discussed, which was carried out both underground and above at the ASSE Salt Mine near Remlingen and which was done for repair, maintenance and expansion of operation in accordance with its future purpose.

The experimental disposal of low-level wastes on the 750 and 725 m-level and the experimental disposal of intermediate-level wastes on the 511 m-level were continued in the period under review.

Furthermore the testing of a shielding adapter and the start up program for the shielding container TN 28/S5V are reported.

The preparations for the single test disposal of spent fuel elements from the AVR-reactor were finished with the function and acceptance tests of the loading equipment.

The sinking of the shaft Asse 4 was continued down to a level of - 975 m. Besides that the carcass work of the shaft sheds was finished.

Moreover, the report gives information on the present status of research and of its results, especially from work done in the field of disposal of high level waste, rock mechanics and safety studies.

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1.	Vorbemerkung	3
2.	Bergtechnischer Ausbau und bergbaulicher Betrieb des Salzbergwerkes Asse	5
2.1	Allgemeine Arbeiten untertage	5
2.2	Baumaßnahmen auf der Liegenschaft Asse	6
2.3	Gleisanschluß zur Schachtanlage Asse	7
3.	Versuchseinlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse	8
3.1	Versuchseinlagerung schwachaktiver Abfälle	8
3.2	Versuchseinlagerung mittelaktiver Abfälle	8
3.2.1	Bedingungen für die Versuchseinlagerung von mittelaktiven Abfällen in der Kammer 8a der 511 m-Sohle des Salzbergwerkes Asse	9
3.2.2	Abgeschirmte Transportbehälter	13
3.3	Vorarbeiten für den Versuch der Einlagerung abgebrannter AVR-Brennelemente	14
3.4	Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung	15
3.4.1	Umgebungsüberwachung	15
3.4.2	Betrieblicher Strahlenschutz	19
3.4.3	Zusammenfassung	22
4.	Prototyp-Kavernenanlage auf der Schachtanlage Asse	23
4.1	Erstellung der Prototyp-Kavernenanlage	23
4.2	Meßtechnische Einrichtungen zur Überwachung der Prototyp-Kaverne	26
5.	Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes	28
6.	Eisenerzbergwerk Konrad	29

	Seite	
7.	Allgemeine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	31
7.1	Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung hochaktiver Abfälle	31
7.1.1	Temperaturversuche und -berechnungen	31
7.1.2	Planung eines Transportbehälters	33
7.2	Gebirgsmechanische Untersuchungen	36
7.2.1	Gebirgsmechanische Untersuchungen für die Prototyp-Kaverne	36
7.2.2	Gebirgsbeobachtungsprogramm	39
7.3	Geologische und hydrologische Untersuchungen	41
7.4	Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Einlagerung von spaltprodukt haltigen Zementprodukten in unterirdischen Lagerräumen	43
7.5	Untersuchungen zu Vorgängen nach dem Er-saufen von Salzbergwerken	48
7.5.1	Bestimmung von Diffusionskoeffizienten	48
7.5.2	Messungen im vollgelaufenen Kalibergwerk Ronnenberg	48
7.5.3	Untersuchungen an hydraulischen Bindemitteln	49
7.6	Systemstudie "Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland"	50
7.6.1	Beschreibung und Bewertung von Endlager-verfahren	50
7.6.2	Risikoanalyse von Endlagersystemen	50
7.7	Auswertung des Berichtes BNWL-1900	53
8.	Literatur	54
9.	Veröffentlichungen	55

1. Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht soll einen Überblick über die wesentlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vermitteln, die auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfälle von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (GSF) zusammen mit der Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe (GfK) im Jahr 1976 durchgeführt worden sind.

Im Rahmen der Aufgabenteilung auf diesem Gebiet bearbeitet die Wissenschaftliche Abteilung des Instituts für Tieflagerung (WA) die berg- und geowissenschaftlichen Probleme, die Technische Abteilung des Instituts für Tieflagerung (TA) ist für bergtechnische Arbeiten zuständig und betreibt das Salzbergwerk Asse, während die Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle (ABRA) für kerntechnische Studien sowie für die Entwicklung und Erprobung kerntechnischer Einrichtungen für Transport und Einlagerung radioaktiver Abfälle verantwortlich zeichnet.

Einzelne Teilbereiche werden in Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen oder technischen Institutionen bearbeitet, z. B. gebirgsmechanische Untersuchungen mit der Technischen Universität Clausthal, geologische und hydrogeologische Fragen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover. Ein hydrogeologisches Forschungsprogramm wird gemeinsam mit dem Institut für Radiohydrometrie der GSF bearbeitet, an der Umgebungsüberwachung ist das Institut für Strahlenschutz der GSF beteiligt.

Technische Anlagen und Geräte zur Einlagerung und zum Transport von radioaktiven Abfällen werden in Zusammenarbeit mit der Abteilung RBT/PB der GfK entwickelt. Die Temperaturversuche und die

dazugehörigen theoretischen Berechnungen werden gemeinsam mit dem Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Lehrbeauftrag Leistungsreaktoren, der Technischen Hochschule Aachen und dem Referat Geothermik der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover durchgeführt.

Weiterhin konnten die laufenden Forschungsarbeiten im Rahmen des Programms "Endlagerung von radioaktiven Abfällen in geologischen Formationen" der Europäischen Gemeinschaft intensiviert werden.

Allen Behörden und Institutionen, die bisher durch ihre Mithilfe die Durchführung unserer Arbeiten unterstützt haben, soll auf diesem Wege Dank gesagt werden.

Die Autoren danken schließlich ihren hier nicht namentlich genannten Kollegen, ohne deren Beiträge die in diesem Bericht beschriebenen Arbeiten nicht hätten durchgeführt werden können.

2. Bergtechnischer Ausbau und bergbaulicher Betrieb des Salzbergwerkes Asse

2.1 Allgemeine Arbeiten untertage

Zur Versuchseinlagerung von radioaktiven Abfällen war für die Aufrechterhaltung eines geregelten Betriebsablaufes auch im Berichtsjahr eine Reihe bergmännischer Arbeiten durchzuführen. Dazu gehörten die regelmäßigen Prüfungen an den maschinen- und elektrotechnischen Anlagen sämtlicher Seilfahrteinrichtungen sowie entsprechende Wartungsarbeiten gemäß den geltenden Bergverordnungen.

Zum Ausgleich vorhandener Konvergenzen wurden im Blindschacht 3 Spitz- und Richtarbeiten durchgeführt. Nachdem durch die Wendelstrecke die einzelnen Sohlen zwischen der 750 m-Sohle und der 490 m-Sohle zugänglich gemacht sind, konnte der Blindschacht 2a außer Betrieb genommen werden.

Auf der 725 m-Sohle wurde die Kammer 8 im Älteren Steinsalz (Na₂) angefahren und dort die Zwischenlagerung von Salz für die spätere Abdeckung von Abfallfässern begonnen.

Beraubearbeiten mußten in den Kammern 5, 9, 10 und 11 der 750 m-Sohle und der Kammer 7 (Na₂) der 725 m-Sohle durchgeführt werden.

Im Carnallit-Bereich der Wendelstrecke waren ebenfalls Beraubearbeiten erforderlich. Zur Durchführung eines Eignungstestes wurden Probeflächen mit verschiedenen Beton- und Salzmörtelmischungen isoliert, um nach Ermittlung der günstigsten Rezeptur die Isolierung des gesamten Carnallit-Bereiches zur Verhinderung des Nachfalles vornehmen zu können. Daneben wurden größere Freiflächen mit Gebirgsankern und Maschendrahtverzug abgesichert.

An den Betonfahrbahnen wurden Schadstellen ausgebessert, und in den Zugangsstrecken zur AVR-Einlagerungsstrecke und zum Sprengstofflager sowie in der Wendel neue Betonfahrbahnen hergestellt. Die Meßstellen an der Strahlenschutzmauer zur Kammer 8a der 511 m-Sohle erhielten einen direkten Zugang von der 490 m-Sohle durch Herstellung eines neuen Hochbruches und Anlage eines Fahrweges in der Kammer 8 der 511 m-Sohle.

Auf der 775 m-Sohle wurde der Querschlag zum Blindschacht 4 aufgewältigt und befahrbar gemacht.

Zur Verbesserung der Wetterführung wurden in der Wendelstrecke zwei Wettertüren mit Fernbedienung eingebaut.

Im Rahmen des untertägigen Objektschutzes wurde die Kammer 3, die gleichzeitig den Zugang zur Einlagerungskammer 5 bildet, auf der 750 m-Sohle mit einem Gittertor abgesichert.

Aus der Laugesammelstrecke der 750 m-Sohle wurden im Berichtsjahr insgesamt 91 m^3 Lauge zur 850 m-Sohle gepumpt.

Die Markscheiderei führte untertage im Zusammenhang mit Neuaufahrungen und Nachrißarbeiten eine Vielzahl von Vermessungsarbeiten durch. Daneben erfolgten im Rahmen der Gebirgsbeobachtungsprogramme umfangreiche Kontrollmessungen. Die erforderlichen Messungen übertage in Verbindung mit den Bautätigkeiten für die Schachthallenerweiterung und den Gleisanschluß wurden ebenfalls durchgeführt.

2.2 Baumaßnahmen auf die Liegenschaft Asse

Als Zwischenlösung für den in Aussicht genommenen Bau eines Mehrzweckgebäudes wurde auf dem Betriebsgelände eine Verwal-

tungsbaracke errichtet, in der die Markscheiderei und der Strahlenschutzbeauftragte und weitere wissenschaftlich-technische Mitarbeiter sowohl der Technischen Abteilung als auch der Wissenschaftlichen Abteilung untergebracht sind. Außerdem konnten noch Räume für Gastwissenschaftler zur Verfügung gestellt werden.

2.3 Gleisanschluß zur Schachtanlage Asse

In Zusammenarbeit mit der Deutschen Eisenbahn Consulting GmbH in Frankfurt am Main (DEC), der als Planungsingenieur gleichzeitig die Oberleitung der Bauausführung übertragen ist, wird vom Bundesbahnhof Wendessen zur Schachtanlage Asse ein 7,2 km langes Grubenanschlußgleis erstellt. Die Erdarbeiten in Form von Erdeinschnitten und Dammschüttungen und die Entwässerungsarbeiten konnten auf der gesamten Länge zum Abschluß gebracht werden. Von den erforderlichen acht Brückenneubauten wurden sieben fertiggestellt. Der Anschluß der Bahntrasse an das Bundesbahngleis in Wendessen wurde hergestellt und mit der Verlegung des Oberbaues begonnen.

3. Versuchseinlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse

3.1 Versuchseinlagerung schwachaktiver Abfälle

Die Versuchseinlagerung schwachradioaktiver Abfälle wurde auch im Berichtsjahr reibungslos fortgeführt. Die Einlagerung erfolgte in den Kammern 5, 10 und 11 des Jüngeren Steinsalzes und Kammer 2 des Älteren Steinsalzes auf der 750 m-Sohle sowie in der Kammer 7 des Älteren Steinsalzes der 725 m-Sohle. Es gelangten 14.456 Fässer zur Einlagerung, wovon 2.010 Fässer mit verlorener Betonabschirmung versehen sind.

Nach Umstellung des Einlagerungsverfahrens auf Abkippen der Fässer über eine Böschung und anschließende Überdeckung mit Salz wurden die unteren Zugänge zu den Kammern 10 und 11 der 750 m-Sohle mit Beton verschlossen. Außerdem konnte der Hauptzugang zur Kammer 8 der 750 m-Sohle endgültig verschlossen werden, nachdem der Resthohlraum mit Fässern gefüllt war.

In der Kammer 11 der 750 m-Sohle wurden die Schichtdicken der eingelagerten Verlorenen Betonabschirmungen auf jeweils zwei Lagen der Behälter begrenzt und dann wieder mit Salz überdeckt. Damit konnte mit mehreren Einlagerungshorizonten die Füllung der Kammer mit Betonbehältern bis unter die Decke erreicht werden.

3.2 Versuchseinlagerung mittelaktiver Abfälle

Die versuchsweise Einlagerung mittelradioaktiver Abfälle wurde im Berichtsjahr im verstärkten Maße durchgeführt. Die Anlieferung betrug 646 Fässer zu je 200 l, so daß am Jahresende insgesamt 1.286 Fässer in der Kammer 8a der 511 m-Sohle eingelagert waren.

Zum Antransport der Fässer wurde neben dem Sammelabschirmbe-

hälter 7V erstmals der Abschirmbehälter TN28/S5V mit einer Aufnahmefähigkeit von 5 Fässern verwendet. Ebenfalls als Neuentwicklung kam der Umladebehälter U2 zum Einsatz. Der U2-Einzelabschirmbehälter ist für den innerbetrieblichen Transport auf der Schachtanlage Asse von übertage zur Beschickungskammer bestimmt.

Die gesamte maschinen- und elektrotechnische Anlage zur Einlagerung mittelradioaktiver Abfälle in der Beschickungskammer der 490 m-Sohle funktionierte weiterhin einwandfrei.

3.2.1 Bedingungen für die Versuchseinlagerung von mittelaktiven Abfällen in der Kammer 8a der 511 m-Sohle des Salzbergwerkes Asse

Als Voraussetzung für die Verlängerung der Genehmigung zur versuchsweisen Einlagerung von mittelaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse war die Novellierung der bisherigen Einlagerungsbedingungen erforderlich. Bei der Novellierung waren die in den letzten Jahren bei der Versuchseinlagerung gemachten Erfahrungen sowie die durch Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse zu berücksichtigen. Wie in den vergangenen Jahren ist die Gültigkeit der Einlagerungsbedingungen begrenzt auf die Versuchseinlagerung in die Kammer 8a der 511 m-Sohle, mit der Verfahren zur Endlagerung von mittelaktiven Abfällen und die dazu gehörenden Einrichtungen erprobt und damit Erfahrungen gesammelt werden sollen. Ferner soll der Versuch Hinweise liefern für die spätere Endlagerung mittelaktiver Abfälle im technischen Maßstab.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, daß das gewählte Einlagerungsverfahren sehr einfach und technisch zuverlässig ist. Es traten zu keiner Zeit ernsthafte Störungen oder eine Gefährdung des Betriebspersonals oder des Bergwerkes auf. In diesem Zusammenhang muß ferner berücksichtigt werden, daß die Asse ein altes Bergwerk ist, das mit dem Ziel des optimalen Salzabbaus betrieben wurde, so

daß die Lage der Kammer 8a innerhalb dieses Bergwerkes besondere Aspekte aufwirft. Daher sollen die für die Kammer 8a geltenden Einlagerungsbedingungen keine präjudizierende Wirkung auf die Bedingungen für zukünftige Einlagerungsvorhaben haben. Sie sollen vielmehr durch die Festlegung von Anforderungen an die zur Einlagerung abgelieferten Abfälle die Sicherheit des Grubenpersonals gewährleisten und damit die Durchführung des Versuchsbetriebes ermöglichen. Außerdem sollen sie eine langfristige Gefährdung der Umgebung des Versuchsendlagers ausschließen. Dazu muß von konservativen, d. h. restriktiven Werten, ausgegangen werden. Diese können erst nach Vorliegen fundierter Ergebnisse schrittweise korrigiert werden.

Die novellierten Einlagerungsbedingungen und insbesondere die in Tabelle 1 aufgeführten zulässigen Aktivitäten basieren auf den durch Untersuchungen in den vergangenen Jahren ermittelten Werten zur Radiolyse, zur Strahlenbeständigkeit und zur Auslaugbeständigkeit der Fixierungsmaterialien bzw. Abfallprodukte.

Tabelle 1: Zulässige Aktivität pro 200 l-Rollreifenfaß

Nuklidspektrum des Abfalls		Kenn- buch- stabe	Zulässige β/γ -Aktivität pro Rollreifenfaß [Ci]	
β/γ	α		Bitumen I	Beton II
Spaltproduktgemisch mit einem Anteil an Aktivierungsprodukten < 5 %	< 10^{-2} Ci/t	G	200	50
	< 5 Ci/t	H	100	50
Spaltproduktgemisch mit 5 bis 30 % Anteil an Aktivierungsprodukten	< 10^{-2} Ci/t	I	80	100
	< 5 Ci/t	K	40	100
Spaltproduktgemisch mit 30 bis 95 % Anteil an Aktivierungsprodukten	< 10^{-2} Ci/t	L	40	200
	< 5 Ci/t	M	20	200
Aktivierungsprodukte mit einem Anteil an Spaltprodukten < 5 %	< 10^{-2} Ci/t	N	30	400
	< 5 Ci/t	O	15	200
Aktivierte Strukturteile und radioaktive Quellen	< 10^{-2} Ci/t	P	50	1000
	< 5 Ci/t	Q	25	500

Für die Festlegung der zulässigen Aktivitäten in den Abfällen wurden die folgenden Sicherheitsanforderungen zugrunde gelegt:

1. Die endlagerrelevanten Eigenschaften der Fixierungsmaterialien dürfen durch den Zerfall der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide nicht beeinträchtigt werden. Für die hier zu berücksichtigenden Materialien Bitumen und Beton kann davon ausgegangen werden, daß Bitumen bis zu einer integralen Gesamtdosis von 10^8 rad und Beton bis zu einer integralen Gesamtdosis von 10^{10} rad strahlenbeständig sind.
2. Es muß gewährleistet sein, daß in der Lagerkammer die Bildung eines zündfähigen Gasgemisches infolge der in den Abfällen gebildeten Radiolysegase nicht eintreten kann. Bei Versuchen wurden die folgenden Wasserstoffbildungsraten ermittelt:

$$\text{Bitumen: } 3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 / \text{Mrad} \cdot \text{g}$$

$$\text{Zement: } 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3 / \text{Mrad} \cdot \text{g}$$

3. Nach einem nicht mit letzter Sicherheit auszuschließenden Volllaufen des Salzbergwerkes Asse darf die bis zu den Abfällen vordringene Salzlösung nur so weit kontaminiert werden können, daß auch nach dem Wiedereintritt dieser Salzlösung in die Biosphäre eine Gefährdung von Menschen und ihrer Umwelt ausgeschlossen werden kann. Da die Strahlenbelastung der Fixierungsmaterialien kleiner ist als die unter 1. angegebene zulässige integrale Gesamtdosis, wird davon ausgegangen, daß die Abfälle nach dem Volllaufen des Salzbergwerkes die gleichen Auslaugraten haben wie zum Zeitpunkt der Einlagerung.
4. Das langfristige Gefährdungspotential der eingelagerten Abfälle soll nicht größer sein als das eines dreiprozentigen Uran-Erzes.

3.2.2 Abgeschirmte Transportbehälter

Nach Fertigstellung und kalter Erprobung eines Abschirmadapters, der das vorläufige Umladen von Fässern aus dem Sammelbehälter S7V mit den Abschirmvarianten 1 und 2 (240 mm Stahlguß) in die Einzelbehälter E2 erlaubte, konnte der Transport von Abfällen der Dosisleistungsklasse IV (Oberflächendosisleistung 140 - 2000 rem/h bezogen auf das Nuklid Co-60) aufgenommen werden. Bis zur Inbetriebnahme der drei Umladebehälter, mit denen nach einem umfangreichen Inbetriebnahmeprogramm die Entladung des Sammelbehälters S7V/1 erfolgreich demonstriert wurde, konnte die Umladung mit dem Abschirmadapter ohne Störungen abgewickelt werden.

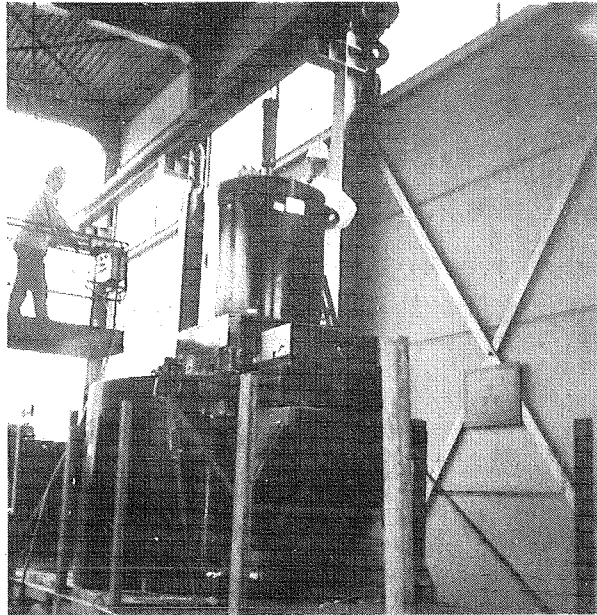


Abb. 1: Umladebehälter U2 mit Sammelabschirmbehälter S7V

Durch den Einsatz der drei Umladebehälter konnte die Umladung der mittelaktiven Abfälle wesentlich einfacher und schneller durchgeführt werden (Abb. 1).

Je zwei der drei Einzelbehälter E2 liefen abwechselnd bis zur Mitte des Berichtsjahres fahrplanmäßig zweimal wöchentlich zwischen dem Kernforschungszentrum Karlsruhe und dem Salzbergwerk Asse.

In Zusammenarbeit mit einer Industriefirma wurde der Sammelbehälter TN28/S5V für den Transport von fünf mittelaktiven Fässern erstellt. Das Inbetriebnahmeprogramm bei GfK und der Asse konnte im Oktober erfolgreich abgeschlossen werden.

3.3 Vorarbeiten für den Versuch der Einlagerung abgebrannter AVR-Brennelemente

Auf der 750 m-Sohle ist die singuläre Einlagerung von ca. 100.000 abgebrannten AVR-Brennelementen vorgesehen. Die erste der vier bereits im Vorjahr erstellten Einlagerungsbohrungen wurde mit dem Strahlenschutzschieber ausgerüstet. Über dem Bohrloch ist die nach dem gemeinsamen Projekt mit der Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA) konzipierte Beschickungseinrichtung montiert worden. Nach Abschluß der Elektroinstallation und der Montage des Steuerstandes konnte im November die erste Funktions- und Abnahmeüberprüfung vorgenommen werden (Abb. 2).

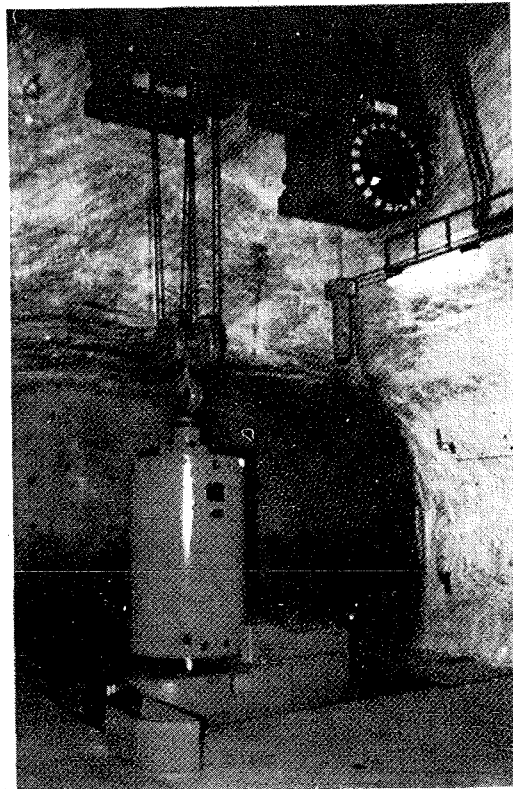


Abb. 2: Erprobung des Abschirmbehälters für abgebrannte AVR-Brennelemente

3.4 Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung

Die Strahlenschutzmessungen dienen zum einen der Überwachung der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Maßnahmen zum Schutz der Belegschaft sowie der Überwachung der Umweltradioaktivität im Bereich der Asse. Das gestiegene Interesse an Informationen über die Umweltbelastung durch Radioaktivitätsemissionen aus kerntechnischen Anlagen hat uns veranlaßt, auch die Einzelmeßergebnisse zu veröffentlichen.

3.4.1 Umgebungsüberwachung

Beta-Aktivität von Grund- und Oberflächenwässern

In Abstimmung mit dem geologisch-hydrologischen Forschungsprogramm wurden im Jahre 1976 an 28 Meßstellen 1 Liter-Proben entnommen. Liegt die Beta-Gesamtaktivität (β_g) der Eindampfrückstände über 10 pCi/l, so wird zusätzlich der K-40 Anteil ermittelt und durch Abzug die Beta-Restaktivität (β_n) berechnet. Die Meßergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Beta-Aktivität von Grund- und Oberflächenwässern

βg = β -Gesamtaktivität, βn = um den K-40 Anteil verminderte, nicht identifizierte β -Restaktivität, Zahlenangaben in pCi/l, tr = trocken

Probenahme:	März		Juli		Oktober	
	βg	βn	βg	βn	βg	βn
1 Brunnen Schacht II	5,7		9,2		9,3	
2 Obere Quellf. Gr. Vahlberg	5,6		5,3		<5	
3 Vorfluter östl. Gr. Vahlberg	<5		8,6		6,3	
7 Vorfluter oberh. Badeanstalt Remlingen	<5		29	25	tr	
9 Wasserversorgung Remlingen	26,8	<5	29,2	<5	29,5	<5
10 Wasserversorgung Schacht I	<5		<5		<5	
11 Vorfluter nördlich Schacht I	6,3		tr		tr	
12 Wasserversorgung Wittmar	5,2		9,7		12,4	<5
15 Quelle östl. Gr. Denkte	5,2		4,9		6,2	
19 Vorfluter oberh. Bad Gr. Denkte	10		12,8	6	9,2	
20 Quelle südl. Falkenheim	<5		<5		<5	
21 Quelle am Weiher Falkenheim	<5		<5		<5	
23 Wasserversorgung Mönchevahlberg	<5		<5		6,2	
25 Vorfluter nördl. Wittmar	65,8	<5	90,1	<5	93	<5
30 Drainage Park Gr. Vahlberg	7,9		<5		7,6	
31 Vorfluter östl. Gr. Denkte	6,5		12,4	<5	<5	
31 Wasserversorgung Falkenheim	<5		<5		<5	
35 Vorfluter Park Gr. Vahlberg	<5		<5		24,5	<5
39 Wasserversorgung Kissenbrück	-		<5		-	
41 Vorfluter westl. Espenberg	<5		<5		<5	
43 Löffelgraben nordöstl. Remlingen	6,5		7,5		<5	
45 Schacht Asse I	6,9		17,4	5,6	16,8	<5
46 Quelle bei 51 Gr. Vahlberg	<5		tr		tr	
51 Überlauf Wasserversorgung Gr. Vahlb.	<5		<5		<5	
60 Straßenbrunnen Remlingen	tr		tr		tr	
65 Überlauf Wasserversorgung Gr. Denkte	tr		10		<5	
66 Quelle Fehlscheune Gut Münchhausen	<5		<5		<5	
H11 Hydrologische Bohrung nördl. Bleierweg	985	<5	1040	<5	957	<5

Alpha-Gesamtaktivität und Gehalte von Cs-137 und Sr-90 im Trinkwasser

Wie in den vergangenen Jahren wurden 50 l-Proben aus Trinkwasserversorgungen der umliegenden Ortschaften Remlingen, Groß Vahlberg, Groß Denkte, Falkenheim und Mönchevahlberg untersucht. Anstelle der Trinkwasserversorgung von Wittmar wurde die von Kissenbrück mit aufgenommen.

Die Meßergebnisse der zehn im Jahre 1976 genommenen Proben lagen unterhalb der Nachweisgrenze der Meßanordnung, die für die α -Aktivität bei 5 pCi/l und für Cs-137 und Sr-90 bei 0,2 pCi/l liegt.

Aerosolaktivität der Luft

Die bodennahe Luft wurde monatlich an 7 Stellen in der näheren Umgebung auf α - und β -Aerosolaktivität untersucht. Die gemessenen Werte (vgl. Tabelle 3) lagen zwischen 10 und 500 pCi/m³ und damit innerhalb der Schwankungsbreite der Aktivität der natürlichen Radon- und Thoron-Folgeprodukte, wie sie auch von anderen Orten der Bundesrepublik bekannt sind. Die Aktivität der Filter nach sieben Tagen Abklingzeit lag stets unter der Nachweisgrenze von 0,3 pCi/m³.

Tab. 3: Aerosolaktivität der Luft im Jahre 1976 in der Umgebung des Salzbergwerkes Asse in pCi/m³

Meßstelle		15.1.	19.2.	18.3.	14.4.	13.5.	16.6.	20.7.	13.8.	14.9.	20.10.	22.11.	21.12.	
1. Wasserbehälter Zechengelände	α -Aktiv.	-	nicht zugänglich						-	96	-	360	66	450
	β -Aktiv.	-	nicht zugänglich						-	98	-	380	58	460
2. Aschenberg östlich Zechengelände	α -Aktiv.	19	120	180	280	23	11	65	74	53	240	23	450	
	β -Aktiv.	19	110	130	270	18	10	65	59	56	210	28	460	
3. Aschenkuhle westl. des Zechengeländes	α -Aktiv.	16	130	90	220	45	15	118	130	53	240	45	240	
	β -Aktiv.	9	110	95	210	36	16	105	105	43	210	36	240	
4. Landstr. Schacht II - Gr. Vahlberg	α -Aktiv.	17	140	150	92	24	33	61	67	49	220	24	470	
	β -Aktiv.	13	160	150	95	26	27	50	52	51	210	26	490	
5. Landstr. Schacht II- Remlingen	α -Aktiv.	17	130	120	270	33	39	54	95	55	220	32	500	
	β -Aktiv.	16	160	150	270	36	34	50	94	60	240	35	500	
6. Gr. Vahlberg, Grab Münchhausen	α -Aktiv.	12	180	110	29	24	120	130	96	55	150	24	420	
	β -Aktiv.	17	160	130	24	21	130	105	98	50	160	22	400	
7. stets in der Abwetter- fahne des Diffusors	α -Aktiv.	19	130	140	118	31	11	57	109	55	200	31	500	
	β -Aktiv.	19	110	150	110	21	10	47	100	57	200	21	400	

Bodenbewuchsproben

In der näheren Umgebung wurde an drei Stellen von je 0,25 m² eine Bewuchsprobe genommen. Nach der Veraschung der Proben wurden die β -Gesamt- und die β -Restaktivität bestimmt. Zum Vergleich sind in Tabelle 4 die Ergebnisse der Vorjahre mit aufgenommen worden.

Tab. 4: Aktivität von Bodenbewuchsproben

βg = β -Gesamtaktivität, βn = um den K-40-Anteil verminderte, nicht identifizierte β -Restaktivität; Zahlenangaben in pCi/g der Veraschungsrückstände.

Lage der Meßstelle zum Diffusor	1973		1974		1975		1976	
	βg	βn	βg	βn	βg	βn	βg	βn
ca. 110 m nordw.	33	13	6	-	62	47	31	26
ca. 35 m nordöstl.	25	18	145	136	84	59	39	22
ca. 50 m östlich	31	13	35	30	42	37	29	19

3.4.2 Betrieblicher Strahlenschutz

Ortsdosismessungen

Zur Bestimmung der akkumulierten Strahlendosis sind an verschiedenen Stellen Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) ausgehängt, die halbjährlich ausgewertet werden (vgl. Tabelle 5)

Tab. 5: Auswertung der Thermolumineszenz-Dosimeter

Meßort	Zeitraum		extrapol. Jahresdosis	genetisch signifikante ⁺⁾ Jahresdosis
	14. 4.76 -25.10.76	25.19.76 -17. 3.77		
1. Zisterne	-	34,5	87,5	72,9
2. Zaun östl.	46,5	42,0	95,7	79,8
3. Zaun südöstl.	41,8	38,8	87,1	72,6
4. Trafostation	38,9	36,2	81,2	67,7
5. Wohnh. Betr. Leit.	24,4	32,0	61,0	50,8
6. Pförtner	34,1	34,1	73,7	61,4
7. Büro Betr. Leit.	50,6	44,3	102,6	85,5
8. Schachthalle süd.	94,7	62,5	169,9	141,6
9. Anschlägerbüro	108,1	82,5	206,0	171,7

⁺⁾ 1,2 mR entspricht 1 mrem Keimdrüsendosis

Die äußere Strahlenexposition auf dem Gelände des Salzbergwerkes Asse (Meßort 1-7) entspricht der mittleren Strahlenexposition in der Bundesrepublik. Die Meßwerte in der Schachthalle sind durch den Einlagerungsbetrieb höher (vgl. Tabelle 5).

Überwachung der Grubenabluft

Die Grubenabluft wird kontinuierlich von einem übertage aufgestellten Meßgerät überwacht. Ein Teil des ausziehenden Wetterstromes wird hierzu über einen Filter geleitet. Gleichzeitig werden die Alpha- und Beta-Aktivitäten der abgeschiedenen Aerosole registriert. Nach Abklingen der kurzlebigen Folgeprodukte von Radon und Thoron, wurden auf den vierzehntäglich ausgewechselten Filtern folgende Aktivitäten gemessen (vgl. Tabelle 6):

Tab. 6: Langlebige Aerosolaktivität in der Grubenabluft
Zahlenangaben in 10^{-15} Ci/m³

Filterwechsel	α -Aktivität	β -Aktivität
9. 1.76	5	61
23. 1.76	7	94
6. 2.76	6	93
20. 2.76	6	113
5. 3.76	4	60
19. 3.76	4	54
2. 4.76	4	54
15. 4.76	5	64
30. 4.76	4	57
14. 5.76	4	73
28. 5.76	4	54
11. 6.76	3	45
25. 6.76	3	46
9. 7.76	4	48
23. 7.76	3	39
6. 8.76	1	24
3. 9.76	2	25
17. 9.76	2	23
1. 10.76	2	31
15. 10.76	2	72
12. 11.76	4	60
26. 11.76	3	38
11. 12.76	1	33
23. 12.76	3	59

Die Meßwerte liegen damit unter den Grenzwerten der 1. StrlSchV für die aus Kontrollbereichen herausgelangende Luft.

Tritium-Konzentration in der Grubenluft

Die Grubenluft wird nach zwei verschiedenen Methoden regelmäßig auf ihre Konzentration an Tritium untersucht. Dabei liegt die Tritiumkonzentration in allen begehbaren Grubenbauen unter der Nachweisgrenze kontinuierlich anzeigender Meßgeräte ($\approx 10^{-7}$ Ci/m³).

Zur genaueren Erfassung des Tritiumanteils in der Luft wird die Tritiumkonzentration der ausgefrorenen Luftfeuchte bestimmt. Diese Messungen werden im Abstand von 6 Wochen an wechselnden Meßstellen durchgeführt, so daß alle drei Monate dieselbe Meßstelle erfaßt wird. Im ausziehenden Wetterstrom auf der 490 m-Sohle wurde eine mittlere Konzentration von $3,7 \cdot 10^{-9}$ Ci/m³ ermittelt (Grenzwert der 1. StrlSchV: $2 \cdot 10^{-7}$ Ci/m³).

Personendosimetrie

Im Jahre 1976 wurden 41 Personen mit Filmdosimetern überwacht. Über 95 % der von der amtlichen Auswertungsstelle monatlich ermittelten Personendosen lagen unter der Nachweisgrenze von 40 mrem. Im einzelnen ergab sich folgende Verteilung:

Dosis mrem/Monat	0 - 40	41 - 80	81 - 120
Anzahl der ausgewerteten Filme	452	15	2

3.4.3 Zusammenfassung

Die mit der Lagerung von radioaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse zusammenhängende Strahlenexposition stellt weder für die Belegschaft noch für die Bevölkerung der umliegenden Ortschaften eine nennenswerte Belastung dar.

4. Prototyp-Kavernenanlage auf der Schachtanlage Asse

4.1 Erstellung der Prototyp-Kavernenanlage

Im Zuge der Errichtung der Prototyp-Kavernenanlage zur Durchführung von Versuchen für die Einlagerung von radioaktiven Abfällen wurde im Berichtsjahr der Kavernenschacht (Schacht Asse 4) von der 750 m-Sohle aus bergmännisch weiter abgeteuft und mit der Herstellung des eigentlichen Kavernenraumes begonnen. Erreicht wurde eine Gesamtteufe von 975 m. Oberhalb des Kavernenhalses wurde im Niveau -926 m der Ausbruch für die Unterbringung der Faßentladeanlage, der Kavernenklappe sowie der meßtechnischen Geräte und Meßwerterfassungsanlagen hergestellt.

Eine im Bereich der Entladekammer angesetzte Untersuchungsbohrung von 70 m Tiefe mit einer Neigung von 40° hat die in diesem Bereich erwartete geologische Struktur bestätigt.

Nach Fertigstellung des Fundamentes mit Verlagerungsrahmen auf der 490 m-Sohle konnte in dem Schachtteil zwischen der 490 m-Sohle und der 700 m-Sohle die aufgehängte Führung eingebracht und montiert werden.

Bedingt durch die vorrangig durchzuführenden bergmännischen Arbeiten im Schacht konnten die Maßnahmen zur Konservierung der Schachtwandungen nicht fristgemäß vorgenommen werden.

Nach Einbringen eines provisorischen Schachtverschlusses auf der 700 m-Sohle wurde bei der ersten Schachtbefahrung festgestellt, daß Feuchtigkeit aus den Grubenwettern von dem im Schacht anstehenden Carnallit aufgenommen worden war. Durch Messungen der relativen Luftfeuchte wurde festgestellt, daß die Carnallitflächen bei einem Feuchtigkeitsgehalt der Luft von mehr als 30 % durch Aufnahme von Wasser aus den Grubenwettern feucht werden. Bei darunter liegenden Werten trocknen die Schachtstöße wieder ab. Wettertechnische

Maßnahmen, wie Zwangsbelüftung des Schachtes durch Rückführung der relativ trocknen Wetter aus dem Abwetterstrom der 490 m-Sohle, führten nicht zum gewünschten Erfolg.

Durch den Einsatz einer Lufttrocknungsanlage sollen die Schachtstöße so weit abgetrocknet werden, daß die Konservierung der Schachtwandungen möglich ist.

Die Errichtung der übertägigen Gebäude für diese Anlage erfolgt unter Aufsicht des Staatshochbauamtes Braunschweig. Nach Beendigung der Erdaushubarbeiten wurden sämtliche Räume in den Kelleretagen -8,50 m und -4,68 m hergestellt, die diversen Deckenluken gefertigt sowie der Zellenschieber zur Umladezelle eingebaut. Der Rohbau der Schachthalle konnte errichtet werden (Abb. 3). Außerdem wurde die Dacheindeckung zum Jahresende abgeschlossen.

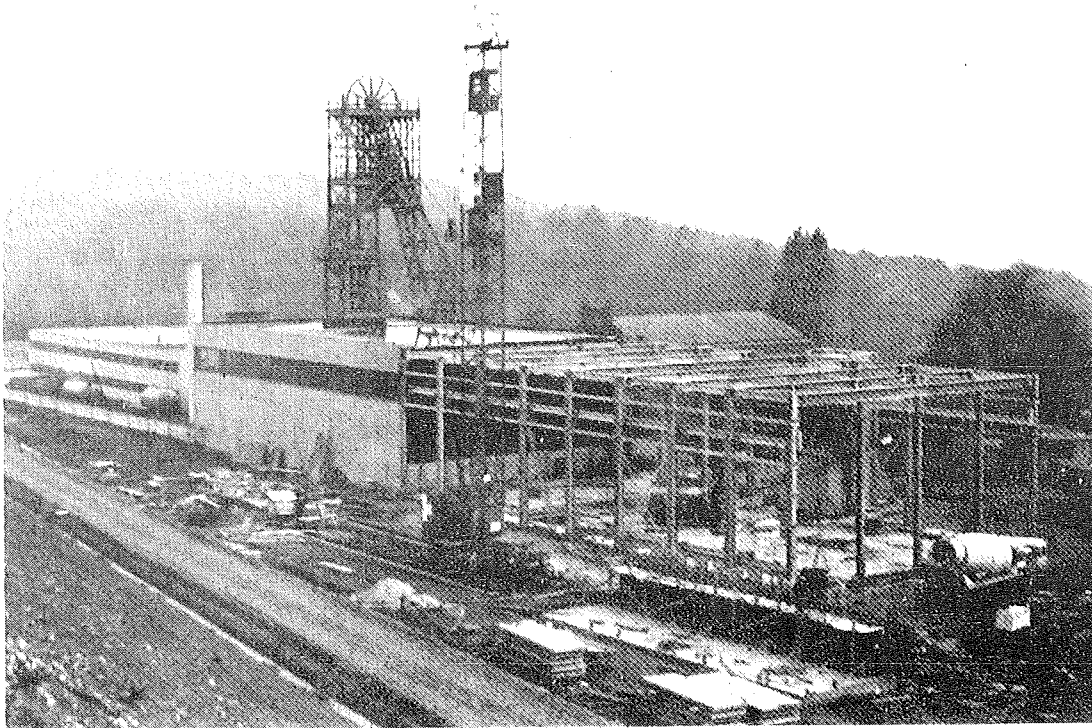


Abb. 3: Das Stahlgerüst der Schachthallenerweiterung ist fertiggestellt

In enger Zusammenarbeit mit den Genehmigungsbehörden, Gutachtern und Herstellern wurde der maschinen-elektrische und lüftungstechnische Teil bearbeitet. Eine Reihe von Anlagenteilen und Einrichtungen wurden bei den Herstellern sowie auf der Baustelle geprüft und abgenommen.

Versuche mit einem Modell der Faßabwurfanlage im Maßstab 1:10 (Abb. 4 und 5) konnten erfolgreich zum Abschluß gebracht werden. Die Anlage wurde konstruktiv so weiterentwickelt, daß die Abfallfässer nach Übernahme aus dem Schachtförderkorb unabhängig von Gewicht und Größe im lotrechten Fall den Kavernenhals passieren.

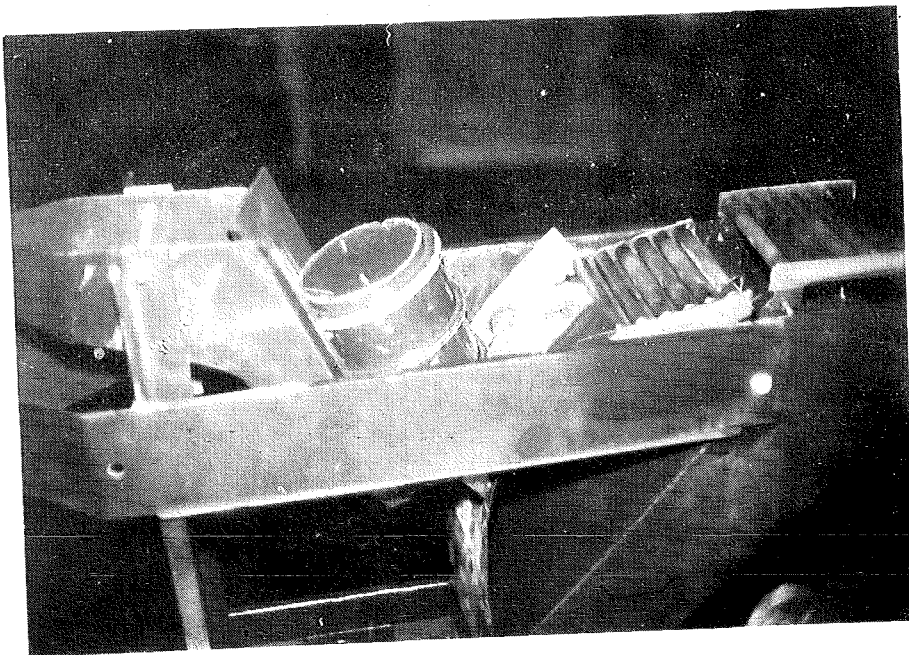


Abb. 4: Einrollvorgang in die Faßabwurfanlage (Modell)

Das Gutachten der Prüfstelle für Grubenbewetterung Bochum über die vorgesehene Auslegung der unter- und übertägigen Filter- und Lüfteranlagen liegt im Konzept vor. Die Planungsunterlagen für die wettertechnische Gesamtanlage wurden in Teilbereichen überarbeitet.

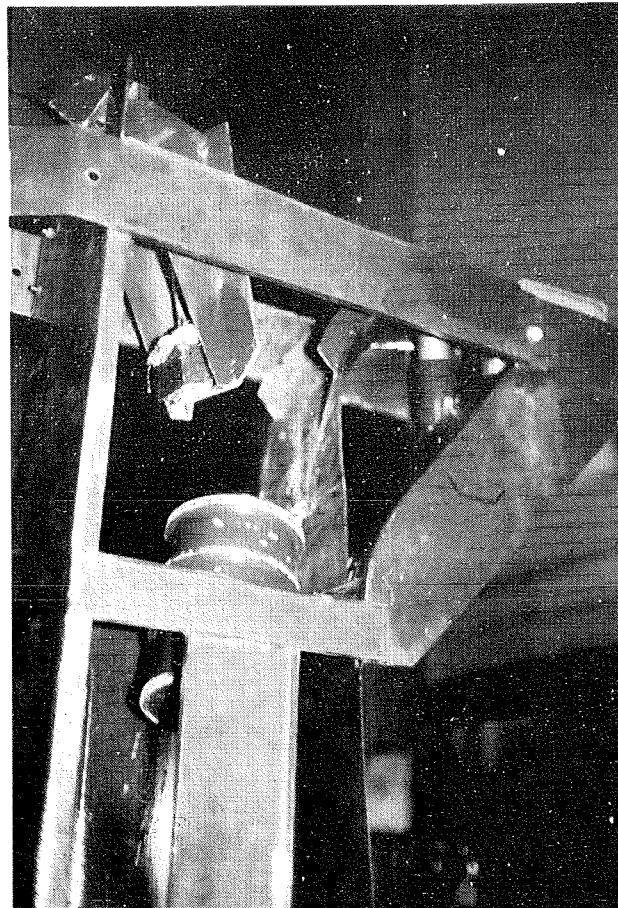


Abb. 5: Abwurfvorgang aus der Faßabwurfanlage (Modell)

4.2 Meßtechnische Einrichtungen zur Überwachung der Prototyp-Kaverne

Für das umfangreiche Programm zur Erfassung von Meßdaten aus dem Bereich der später nicht mehr zugänglichen Kaverne wurden Einrichtungen entwickelt, die zum Teil aber auch später noch über geeignete Vorrichtungen in die Kaverne eingeschleust werden können.

Parallel zu den bergmännischen Arbeiten wurde mit der Verlegung eines mit Temperaturfühlern ausgestatteten Meßrohres in einem Längsschlitz des Kavernenstoßes begonnen.

Die einzelnen Meßgeräte sowie die Einrichtungen zur Meßwerterfassung und Datenübertragung sowie die hierfür erforderliche Stromversorgungseinheit einschließlich Schalt- und Steuerelementen wurden in Auftrag gegeben.

Zur Einschleusung der einzelnen Meßgeräte von der im Niveau -926 m liegenden Meßwarte in den Kavernenraum wurde eine Arbeitsbox konzipiert, von der aus zwei Geräterohre in die darunter liegende Kaverne führen. Diese Box dient der kontaminationsfreien Ein- und Ausschleusung von Meß- und Probegewerten in die Lagerkaverne sowie als Lüftungstechnische Einrichtung zur Abdichtung der unter Unterdruck stehenden Kaverne mit der Möglichkeit, durch dosierte Zuluftmengen den unteren Teil des Kavernenhalses mit Frischluft zu spülen.

5. Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes

Nachdem im Februar 1976 der an das Landesbergamt Baden-Württemberg in Freiburg gestellte "Antrag auf Erteilung einer wasserrechtlichen Genehmigung und wasserrechtlichen Erlaubnis zur Versenkung tritiumhaltiger Abwässer in eine entölte Linse der Erdoellagerstätte Leopoldshafen" öffentlich ausgelegt worden war, gingen acht Einsprüche beim Landesbergamt gegen dieses Vorhaben ein.

Darin wurden neben einer allgemein ablehnenden Haltung gegen dieses Verfahren selbst von den Einsprechern Argumente vorgebracht, die nach behördlicher Auffassung noch ergänzende Untersuchungen notwendig machen.

Daraufhin wurde mit der Ausarbeitung und Zusammenstellung der geforderten Unterlagen begonnen.

6. Eisenerzbergwerk Konrad

Die im Jahr 1975 im Auftrag des Bundesministerium für Forschung und Technologie begonnene Untersuchung der Eignung der Schachtanlage Konrad als potentiellles Endlager für radioaktive Abfälle wurde fortgesetzt. Die Eignungsuntersuchung der Schachtanlage Konrad erfolgt im Rahmen eines Gestattungs- und Betriebsführungsvertrages von dreijähriger Dauer zwischen der Bundesrepublik Deutschland (BMFT) und den Stahlwerken Peine-Salzgitter. Ein zweiter Zwischenbericht mit positiven Ergebnissen geowissenschaftlicher Untersuchungen wurde im März 1976 vorgelegt.

Die hydrologischen Arbeiten zur Klärung der Herkunft der im Grubengebäude zusitzenden Wässer wurden weitergeführt, insbesondere erfolgte eine quantitative Erfassung sowie eine hydrochemische Untersuchung der Zuflüsse. Die Ergebnisse zeigen, daß es sich um Tiefenwässer handelt, die nicht am meteorologischen Kreislauf teilnehmen. Als Grundlage für weitere hydrologische Untersuchungen wurden Wasserdurchlässigkeitsmessungen an Gesteinen des Grubenbereiches durchgeführt.

Im Rahmen einer eingehenden tektonischen Analyse wurde mit der Zusammenstellung tektonischer Daten des Unter- und Übertagebereiches begonnen. Zusätzlich wurde eine tektonische Auswertung von Satellitenaufnahmen durchgeführt. Die kartierten Photolineationen geben Hinweise auf die in der Umgebung der Schachtanlage zu erwartenden Richtungen tektonischer Elemente. Neben ENE-streichenden Strukturen sind NNE- und NNW-orientierte Kluft- und Störungszonen zu erwarten.

Im Berichtsjahr wurden weiterhin die bergtechnischen und maschinentechnischen Gegebenheiten der Schachtanlage Konrad im Hinblick auf die Einlagerung radioaktiver Abfälle untersucht. Das Hauptgewicht lag dabei auf der Prüfung, bis zu welchen Abmessungen und Gewichten radioaktive Abfälle in die vorgesehenen Grubenräume eingebracht werden können.

Für die großzügig konzipierte Gesamtanlage ergab sich auch von den berg- und maschinentechnischen Gegebenheiten her ein positives Bild.

7. Allgemeine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

7.1 Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung hochaktiver Abfälle

7.1.1 Temperaturversuche und Berechnungen

Das Temperatur-Versuchsfeld 3 im Abbau 6 der 750 m-Sohle (s. Abb. 7) wurde im ersten Quartal des Berichtsjahres in Betrieb genommen. Die Aufheizung erfolgte in einem 27,5 m tiefen Bohrloch von 320 mm Durchmesser. Hierfür wurde ein 5 m langer Erhitzerstrang eigener Konstruktion und Fertigung, der aus fünf miteinander durch Gelenke verbundenen Einzelelementen bestand, in die Bohrung abgesenkt. Dieser Erhitzerstrang war so konzipiert, daß er sich nach dem Einfahren selbst im Bohrloch zentrierte und für kurzzeitige Heizungsunterbrechungen zum Zwecke der Kalibermessung wieder ausgezogen werden konnte. Die in den Strang eingespeiste elektrische Leistung betrug während der gesamten Versuchsdauer ≈ 9 kW. Das entspricht einer spezifischen Wärmeleistung der Erhitzer von 57 W/l. Es entwickelten sich dabei Erhitzer-Manteltemperaturen von rund 300°C .

Nach 90 Betriebstagen war die periodisch mit einer temperaturfesten Kalibersonde [1] kontrollierte Bohrlochkonvergenz mit einem Betrag von rund 100 mm in der vertikalen Mitte des Aufheizbereiches bereits so weit fortgeschritten, daß ein Anlegen der Bohrlochwandung an die Erhitzer unmittelbar bevorstand. Deshalb wurde der Versuch beendet, um ein Verklemmen der Heizelemente zu vermeiden.

Neben der Bestimmung der Kaliberänderung in der Erhitzerbohrung wurde der Einfluß des Temperatur-Versuchsfeldes auf das Deformationsverhalten eines Abbauhohlraumes und seiner Pfeiler sowie benachbarter Strecken in einem umfangreichen Meßprogramm [2] überwacht. Unter dem Blickwinkel der Eingabe experimenteller Daten in die bestehenden Rechenprogramme zur Temperatúrausbreitung um

eingelagerte hochradioaktive Abfälle in Salzkörpern wurde das sich entwickelnde Wärmefeld gemessen. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe war an den Messungen geringster erhitze-
ferner Temperaturerhöhungen beteiligt. Das vielfältige gewonnene Datenmaterial befindet sich in der Auswertung. Sämtliche für diesen Versuch konzipierten Apparaturen und Geräte haben gute Betriebserfahrungen geliefert und sollen auch in Folgeexperimenten eingesetzt werden.

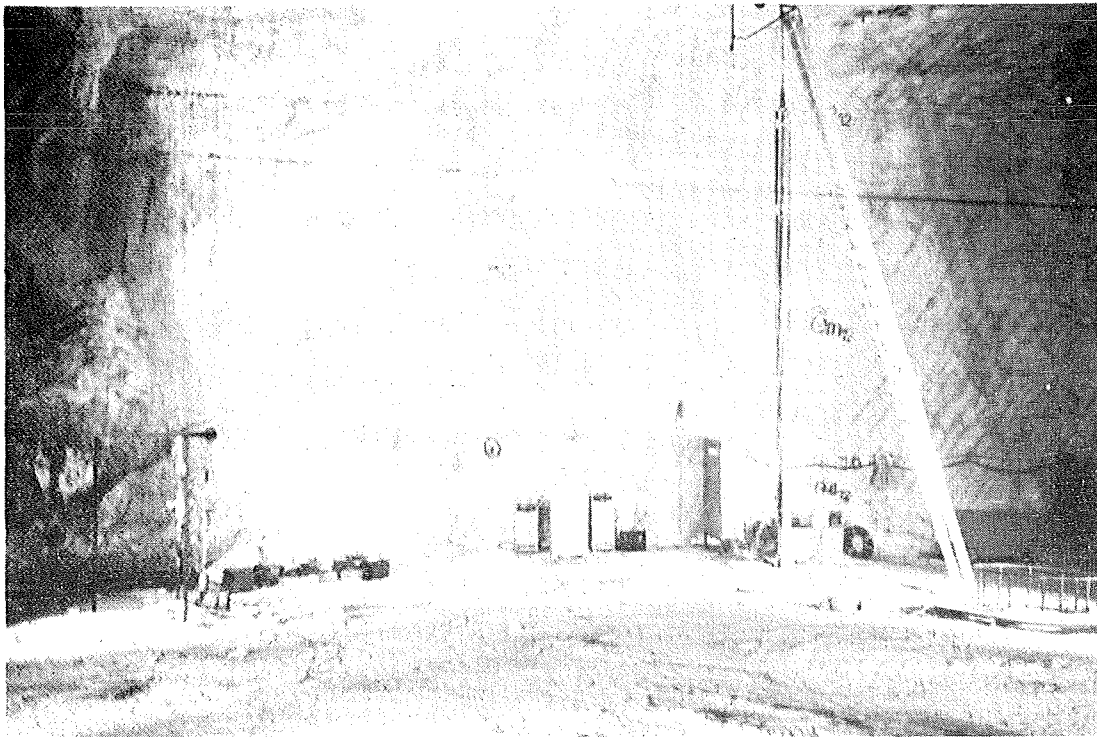


Abb. 7: Temperatur-Versuchsfeld 3 im Abbau 6 der 750 m-Sohle mit Erhitzerstrang und Datenerfassungsanlage

Für die in line-Messung der Bohrlochkonvergenz in beheizten Versuchslagerbohrungen wurde eine Meßeinrichtung, die auf einer elektrischen Kapazitätsmessung beruht, entwickelt und gebaut. Die erstmalige Anwendung dieses Meßverfahrens im Rahmen des Temperatur-Versuchsfeldes 3 verlief erfolgreich.

Mit der Auslegung einer speziellen Druckmeßeinrichtung für den geplanten Simulationsversuch zur Rückholbarkeit sowie einer Teststrecke für einen vorbereitenden Laborversuch wurde begonnen.

Das von der RWTH Aachen übernommene Programm ASYTE zur Berechnung der Temperaturentwicklung in Lagerfeldern hochaktiver Abfälle wurde durch die Einführung einer dritten Zone erweitert. Damit kann die Auswirkung der Pfeiler-Strecken-Geometrie näherungsweise berücksichtigt werden.

7.1.2 Planung eines Transportbehälters

Für den Transportbehälter für hochaktive Abfälle wurde ein neuer Entwurf ausgearbeitet. Für die Berechnung wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

Dimension des Glasblocks:	Länge	1000 mm
	Durchmesser	203 mm
Glaszusammensetzung:	Spaltproduktoxyde	20 %
	Gd ₂ O ₃	10 %
	Grundglas	70 %

wobei sich das Grundglas aus SiO₂; TiO₂; Al₂O₃; B₂O₃; CaO und Na₂O zusammensetzt.

Erfolgt die Verfestigung im Glas nach einer Lagerzeit des HAW von fünf Jahren, so befinden sich in einem Liter Glas die Spaltproduktaktivitäten aus 17,1 kg Schwermetall.

Zur Berechnung der Abschirmung wird das Programm SABINE verwendet.

Für die Berechnung der Neutronenabschirmung wurde von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Beginn der Wiederaufarbeitung 150 Tage nach Entnahme der Brennelemente aus dem Reaktor
- Verluste der Wiederaufbereitung je 1 % U und Pu
- 5 Jahre Kühlzeit nach Wiederaufbereitung
- Abbrand 34.000 MWd/t.

Den Hauptbeitrag der Neutronen-Quellstärke liefert Cm-244.

Die optimale Abschirmwirkung ergibt eine Materialkombination von 22 cm Blei und 12 cm Polyäthylen mit 2 % bzw. 10 % B₄C. In einem Meter Abstand von der Oberfläche des Transportbehälters ergibt sich eine aus γ - und Neutronenstrahlung zusammengesetzte Dosisleistung von 9,8 bzw. 9,3 mrem/h.

Neben Abschirmuntersuchungen wurden umfangreiche Wärmeberechnungen durchgeführt, für die folgende Daten zugrunde gelegt werden:

- max. Wärmefreisetzung im Glas: 60 W/l
- Füllmenge: 28,7 l
- max. abzuführende Wärmemenge pro Kokille: 1722 W.

Für die Wärmeabfuhr und zum Wärmeübergang dienen Rippen, die angewinkelt angeordnet werden, um den Behälteraußendurchmesser klein und Rippenoberfläche groß zu halten (Abb. 8). 48 Rippen sind in der Lage, die Wärme abzuführen, wobei die Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung an den Rippenteilen erfolgt, die aus der PE-Schicht der Abschirmung herausragen. Der Wärmeabfuhrwert am Behälter ist noch um die Wärmezufuhr durch Sonneneinstrahlung zu erhöhen, die im ungünstigsten Fall bis zu 2640 W betragen kann.

Bei einer maximalen Umgebungstemperatur von 38°C ergibt sich eine Oberflächentemperatur am Abschirmbehälter von 52°C.

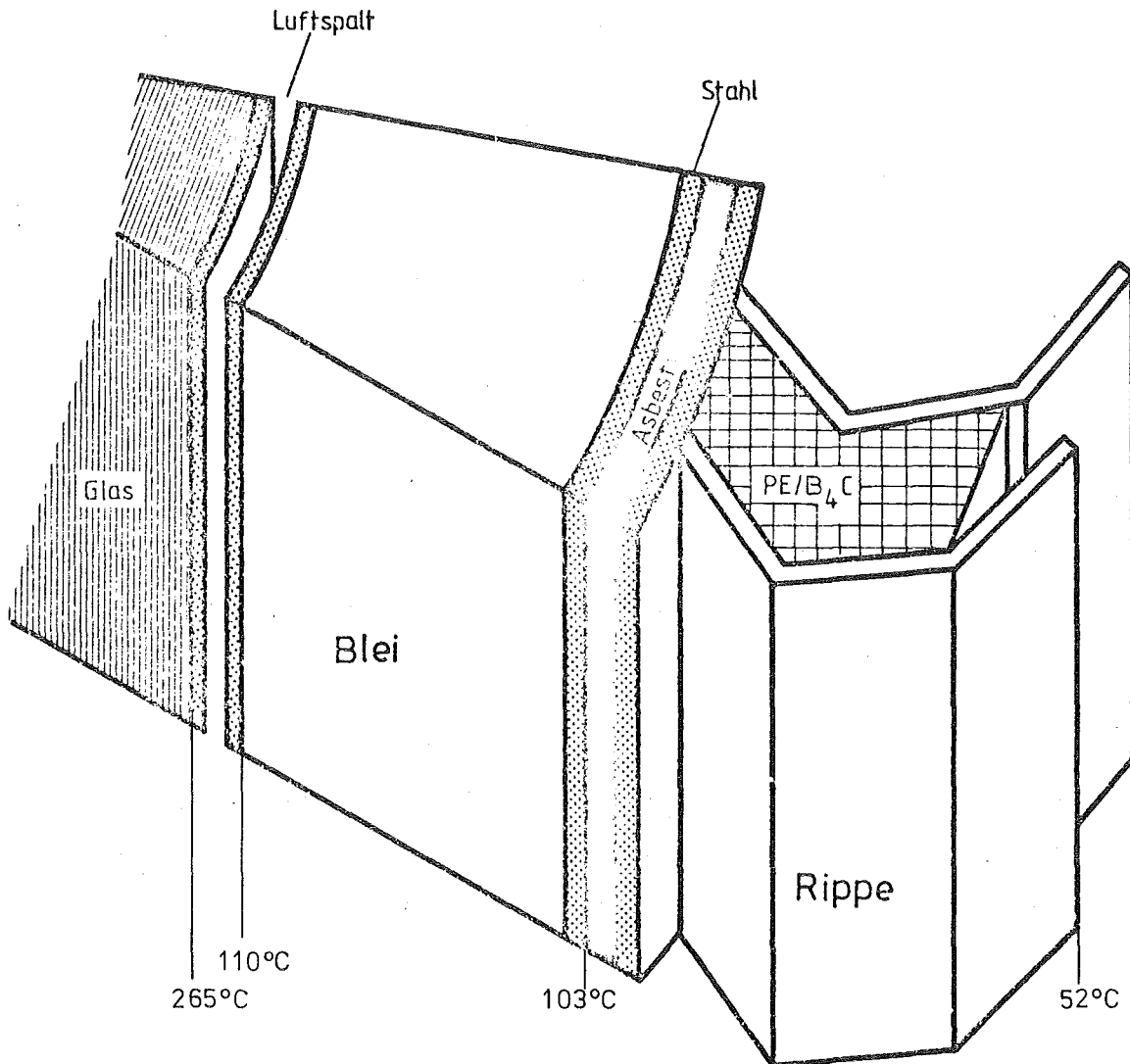


Abb. 8: Schema des Behälteraufbaus und auftretende Temperaturen

Der Behälter muß gemäß internationalen Transportvorschriften ein halbstündiges Schadenfeuer von 800°C überstehen. Bei dieser Temperatur schmilzt, läuft aus bzw. verbrennt das Neutronenmaterial PE/B₄C, das einen Schmelzpunkt von ca. 136°C besitzt. Die Berechnung für die Erhöhung der Bleitemperatur wird ohne die Polyäthylenschicht durchgeführt. Das Ergebnis der Rechnungen zeigt, daß eine 10 mm dicke Asbestschicht notwendig ist, um die maximale Temperatur an der Bleioberfläche unter der Schmelztemperatur des Bleis von 277°C zu halten.

Die während der Schadenfeuerzeit von einer halben Stunde freigesetzte Wärme aus der Kokille ist gegenüber der von außen einströmenden Wärme zu vernachlässigen.

Eine weitere Voraussetzung für die Zulassung des Transportbehälters als Typ-B-Verpackung ist eine Fallprüfung aus 9 m Höhe auf eine betonierte Unterlage. Die dabei auftretenden hohen mechanischen Belastungen des Behältermaterials führen zu überwiegend plastischen Verformungen. Die zu vernichtende Energie resultiert aus der Masse der einzelnen Bauelemente und deren Beschleunigungsweg und muß von der Unterlage und dem aufprallenden Behälterkörper aufgenommen werden. Exakte Verzögerungs- und Verformungswerte können bei der Kompliziertheit des Fallkörpers nur experimentell ermittelt werden.

Um die oben beschriebenen Rechenwerte für Abschirmung, Wärme- und mechanisches Verhalten zu bestätigen, werden mit vereinfachten Modellen im Maßstab 1 : 4 Versuche durchgeführt.

7.2 Gebirgsmechanische Untersuchungen

Einer der Schwerpunkte der Arbeiten auf diesem Sektor lag in der Auswertung neuerer Literatur über geomechanische Untersuchungsmethoden für Salzgesteine im Labor und über die Anwendbarkeit ihrer Ergebnisse bei der Bearbeitung und Lösung spezieller geomechanischer Aufgaben bei der sicheren Dimensionierung von untertägigen Hohlräumen, wie z. B. der Bemessung von Kavernen.

7.2.1 Gebirgsmechanische Untersuchungen für die Prototyp-Kaverne

Für die Prototyp-Kaverne im Salzbergwerk Asse wurden die erforderlichen analytischen Berechnungen zur Formgebung von Kavernenhals und

des sich daran anschließenden Übergangsbereiches zur Kaverne abgeschlossen.

Die bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, durchgeführten Triaxialversuche an Proben aus der Kavernenvorbohrung wurden ausgewertet. Diese Versuchsergebnisse sowie die vorab in einachsigen Versuchen ermittelten mechanischen Gesteinsparameter des Na 2β bildeten die Grundlage für eine erste numerische Vorab-Standsicherheitsabschätzung der Kaverne unter Verwendung eines Finite-Element-Rechenprogrammes, das eine größenordnungs- und tendenzmäßige Abschätzung der aus der Kavernenherstellung resultierenden Sekundärspannungen und Gebirgsverschiebungen für verschiedene Bauzustände erlaubt. Für Beanspruchungen unterhalb der Bruchgrenze wurde ein linear-elastisches Gebirgsverhalten zugrundegelegt. Als Bruchkriterium wurde die Mohr-Coulombsche Bruchhypothese verwendet. Die Berechnungen wurden von der BGR durchgeführt, die Ergebnisse gemeinsam bewertet. Die Resultate dieser Voruntersuchung unter Vorgabe vorsichtig eingeschätzter geotechnischer Kennwerte für das Ältere Steinsalz sowie unterschiedlicher Grundspannungszustände des Gebirges ergaben, daß die Bruchfestigkeit des Gebirges um die Kaverne nicht überschritten wird und daß damit die Kaverne in der vorgesehenen Form und Teufe aufgefahren werden kann. Sie hat gleichzeitig eine statisch günstige Form, welche eine gute räumliche Tragwirkung zuläßt und eine gleichmäßige Sekundärspannungsverteilung mit relativ geringen Spannungskonzentrationsfaktoren bedingt. Ein zeitabhängiges Materialverhalten konnte in dem benutzten Rechenprogramm noch nicht berücksichtigt werden. Daher soll die langfristige Standsicherheit dieser Kaverne mit Hilfe der am Ende des Berichtsjahres aufgenommenen in situ-Konvergenzmessungen kontrolliert werden.

Im Rahmen des in situ-Untersuchungsprogrammes für die Prototyp-Kaverne wurden die hierfür vorgesehenen Extensometer, Wegaufnehmer, Meßverstärker sowie die Geräte zur fernelektrischen Erfassung,

Aufbereitung und Registrierung der Meßdaten beschafft. Die benötigten Instrumente und Verstärker sowie die Anlagen zum automatischen Betrieb der Meßwarte in der Entladeanlage wurden durch eigene Laborleistungen ergänzt, zusammengebaut, getestet und für den Untertageeinsatz vorbereitet. Wegen der zu erwartenden hohen Umgebungstemperaturen von ca. 40°C im Kavernenbereich waren z. B. die Meßwertaufnehmer für die Extensometer zusammen mit den bis zu 115 m langen Meßleitungen und den nachgeschalteten Meßverstärkern unter vergleichbaren Grubenverhältnissen vorab untertage zu eichen. Ferner mußte eine Reihe von Problemen für den Einsatz eines Dataloggers in der Entladeanlage unter rauhesten Einsatzbedingungen gelöst werden, da mit längeren Netzausfallzeiten während des Teufbetriebes zu rechnen ist und dennoch eine Echtzeitregistrierung der Meßdaten gewährleistet sein muß.

Im Schacht Asse 4 wurden unterhalb der 750 m-Sohle drei Konvergenzmeßhorizonte und in der Entladeanlage bei 926 m Teufe ein Konvergenzmeßhorizont, sämtlich manuell abfragbar, eingerichtet und entsprechende Gebirgsbeobachtungen aufgenommen. Ferner wurden die ersten vier fernelektrischen Bohrlochextensometer in der Entladeanlage und dem Firstbereich der Kaverne installiert sowie die Meßwarte in der Entladeanlage eingerichtet. Die in die Kaverne führenden Meßleitungen sowie die Signal- und Steuerleitung zur 750 m-Sohle, von der aus die Meßwarte kontrolliert und gesteuert wird, wurden verlegt. Dort erfolgt schließlich zentral die Datenerfassung mit Fernschreiber und Lochstreifenstanze.

Die gesamte Datenerfassungsanlage für die fernelektrische Registrierung der Gebirgsverschiebungen mit Hilfe von bis zu 40 m Tiefe über den Kavernenstoß hinaus in das umgebende Gebirge reichenden Bohrloch-Mehrfachextensometern wurde außerdem so konzipiert, daß sie gleichzeitig die von der Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle der Gesellschaft für Kernforschung vorgesehenen Temperaturmessungen

von rund 34 Thermoelementen entlang des Kavernenstoßes übernehmen kann.

7.2.2 Gebirgsbeobachtungsprogramm

Das jährliche untertägige Gebirgsbeobachtungsprogramm wurde unter Erweiterung des Festpunktnetzes und Verbesserung des Meßsystems fortgeführt. Die nördlich der Abbaue zum Sattelkern hin gelegene Wendelstrecke zwischen der 490 m- und der 750 m-Sohle ist erstmalig in die Beobachtungen einbezogen worden. Die Festpunkte der 800 m-Sohle wurden durch Lotungen in zwei Rollöchern an die 775 m-Sohle angeschlossen.

Zur weiteren Verbesserung der Genauigkeit von Lagebestimmung der Kontrollpunkte wurden drei Seiten der Polygonzüge unabhängig von der Koordinatenbestimmung durch Längen- und Winkelmessung zusätzlich durch Kreismessungen richtungsorientiert. Mit diesen Maßnahmen soll erreicht werden, daß nach der nächsten Wiederholungsmessung für die Koordinatenberechnungen der Festpunkte ein einheitliches Rechensystem von der 490- bis zur 800 m-Sohle angewendet werden kann, das außerdem durch unabhängige Kreiselorientierungen abgesichert ist. Die diesjährigen Beobachtungen wurden wegen der notwendigen Vergleichsmöglichkeiten mit den vorausgegangenen Messungen noch nach dem alten System ausgewertet, das in Teilbereiche gegliedert ist. Gravierende Trendveränderungen gegenüber den Vorjahren haben sich bei den ermittelten Punktverlagerungen nicht ergeben. Die Verschiebungen liegen wie bisher im Bereich zwischen wenigen Millimetern und < 5 cm/Jahr je nach Teufenlage, Durchörterungsgrad des Gebirges mit bergmännischen Hohlräumen und Lagefestigkeit der vermessungstechnischen Anschlußbasen.

Zur Verfolgung des weiteren Verlaufs der querschlägigen Pfeiler-einengung auf der 553 m-Sohle zwischen den Abbauen 4 und 5 [3]

wurde gegen Jahresende eine zusätzliche Kontrollmessung durchgeführt. Ihre Ergebnisse zeigen keine weitere Beschleunigung des Stauchungsvorganges.

Die im Abbau 8 der 490 m-Sohle mit Konvergenzmessern registrierten Horizontalkonvergenzen [4] haben sich weiter verringert. Für das Berichtsjahr wurden in streichender Richtung Beträge von 2,8 mm/Jahr und querschlägig von 5,3 mm/Jahr ermittelt.

Seit 1975 sind von der Richtstrecke der 490 m-Sohle aus zwei Extensometer-Meßstellen mit gestaffelten Meßankern bis zu 4 m Stoßtiefe in der südlichen Salzflanke installiert (Abb. 9).

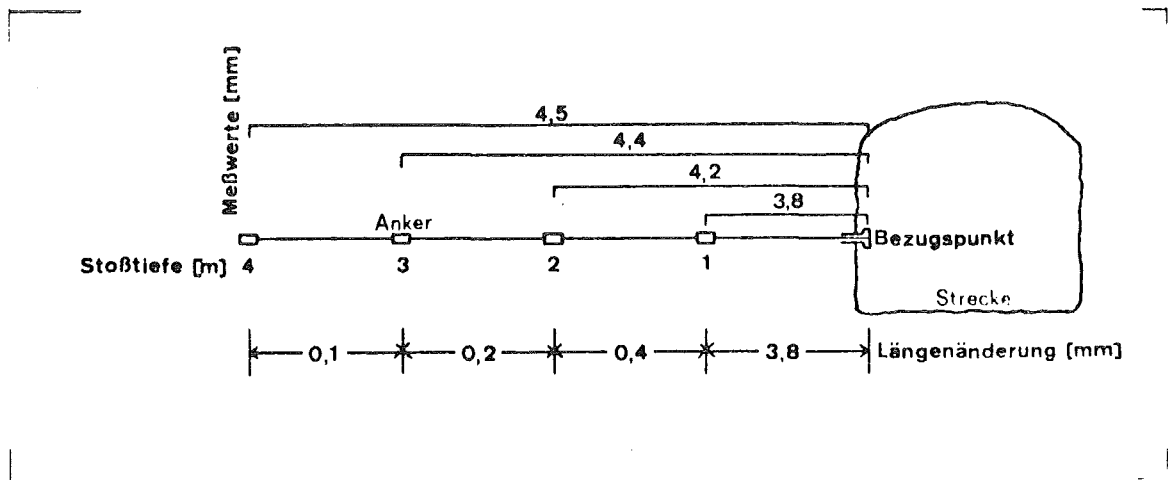


Abb. 9: Meßpunkt-Anordnung und Auswertungs-Prinzip einer Extensometer-Meßstelle auf der 490 m-Sohle

Die Meßergebnisse für bisher 425 Beobachtungstage wurden ausgewertet. Sie zeigen, daß sich für den Beobachtungszeitraum nennenswerte Längenänderungen von rund 3 bis 4 mm, die mit einer Stoßauflockerung gleichzusetzen sind, nur in einer Oberflächenzone von 0 - 1 m Gesteinstiefe abgespielt haben. In 1 - 2 m Stoßtiefe ist der Längenzuwachs mit < 1 mm im Mittel sehr gering, zwischen 2 und 4 m Abstand vom Streckenhohlraum liegt er fast bei Null.

Aus den Ergebnissen des übertägigen Senkungsnivellements lassen sich aus den bisherigen jährlichen Wiederholungsmessungen Setzungsbeträge geringsten Ausmaßes für einzelne Teile der Tagesoberfläche im kontrollierten Gebiet ableiten. Die Ermittlung der absoluten Beträge bedarf wegen ihrer Geringfügigkeit einer weiteren längerfristigen Absicherung.

Über sämtliche Ergebnisse der Gebirgsbeobachtungen ist der Bergbehörde ausführlich berichtet und mit ihr diskutiert worden.

7.3 Geologische und hydrologische Untersuchungen

Zur Erkundung der Salzstruktur wurden geophysikalische Methoden eingesetzt. Das elektromagnetische Reflexionsverfahren wurde in Zusammenarbeit mit dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung erstmals auf der Schachanlage Asse an bekannten Carnallitvorkommen auf seine Anwendbarkeit untersucht. Da sowohl vom Hangenden aus die Grenzfläche Weißes Liniensalz ($\text{Na}_3\beta$) / Carnallit (K_2C) als auch vom Liegenden her ein Reflexionshorizont im Carnallit geortet worden waren, wurde das Verfahren beim bergmännischen Abteufen des Schachtes Asse 4 unterhalb der 750 m-Sohle eingesetzt, um Angaben über die Begrenzung des Staßfurt-Steinsalzkörpers (Na_2) im Kern der Struktur zu erhalten. Ein Reflexionshorizont in 110 m Abstand von der Achse des Schachtes Asse 4 gegen Süden gibt Hinweise darauf, daß die zugehörige Prototyp-Kaverne von ausreichend Steinsalz umgeben ist.

Reflexionsseismische Versuchsmessungen zur Ortung der Salzbasis unter Ausnutzung der Sprengenergie beim Ausschießen der Kaverne wurden eingeleitet.

Der abgeteufte Schacht Asse 4 wurde von der 490 m-Sohle bis zum Beginn der Kaverne bei 959 m Teufe geologisch untersucht. Vom Niveau

der 490 m-Sohle bis zu demjenigen der 750 m-Sohle wurde eine Schachtkartierung durchgeführt. Zur besseren Anschaulichkeit wurde mit Hilfe der Schachtkartierung ein Modell angefertigt.

Es ergaben sich folgende Teufenlagen unter Gelände für die verschiedenen Schichten. Vom Niveau der 490 m-Sohle bis 563 m Teufe steht Weißes Liniensalz ($\text{Na}_3\beta$) an, mit fraglichem Orange-Liniensalz ($\text{Na}_3\gamma$) von 520 bis 536 m und einer schwach diskordant eingeschalteten Carnallitbank (K2C) von 0,5 m Mächtigkeit bei 541 m. Das Schichtfallen liegt zwischen 30° und 65° und ist nach NNE gerichtet. Von 563 bis 709 m steht Staßfurt-Carnallit (K2C) an, der zumeist brekziös als sogenannter "Trümmercarnallit", von 618 bis 633 m jedoch gebankt ausgebildet ist. Das Schichtfallen beträgt im gebankten Carnallitbereich 60° ENE. Das Schichtfallen einzelner Steinsalzbänke im stark verfalteten und brekziösen Carnallitbereich von 633 bis 709 m liegt zwischen 30° und 60° und streut nach allen Richtungen. Eine spiralförmige Anordnung des Schichtfallens im Uhrzeigersinn zur Teufe hin von ENE über E, S, W bis N ist wegen der "trümmerhaften" Ausbildung nur angedeutet und nicht statistisch zu belegen. Zwischen 709 und 730 m greift das + seiger aufgerichtete Kieseritische Übergangssalz (Na_2K) von Süden her in den Schacht hinein. Von 730 m bis in das Niveau der 750 m-Sohle ist wieder Carnallit (K2C) in brekziöser Ausbildung aufgeschlossen. Unterhalb der 750 m-Sohle (von -747 m NN ab) stehen 8 m Kieseritische und Polyhalitische Übergangsschichten ($\text{Na}_2\text{K} + \text{P}$) an. Von 755 bis 765,5 m folgt der Speisesalzhorizont (Na_2P). Unterhalb von 765,5 m steht der Schacht bis in die Kaverne hinein im Staßfurt-Hauptsalz ($\text{Na}_2\beta$). Das Schichtfallen unterhalb des Niveaus der 750 m-Sohle ist nur im obersten Bereich nach NE gerichtet. Bei 785 m Teufe sind dem Staßfurt-Hauptsalz stark deformierte Anhydritlagen und -bänke eingeschaltet, die mit 80° nach NE einfallen. Ab 805 m Teufe ist das Einfallen im Schacht dann stets gegen SW gerichtet und liegt im allgemeinen zwischen 20° und 40° . Die Anhydritlagen im Staßfurt-Hauptsalz bilden Fältelungen ab mit Amplituden vom Millimeter- bis Meterbereich.

Zur Erkundung des Gebirges in der Umgebung der Kaverne wurde eine Kernbohrung mit 40° Einfallen aus der Entladestation bei 926 m bis zur Endteufe von 70 m gegen die Südflanke niedergebracht. Die Bearbeitung der Bohrkerne erbrachte den Nachweis, daß - wie projiziert - oberhalb und mindestens 60 m neben der Kaverne Staßfurt-Steinsalz (Na_2S) ansteht.

Eine tektonische Auswertung von Satellitenaufnahmen des Asse-Höhenzuges und seiner Umgebung wurde durchgeführt. Die Photolineationen sind auf die 30-, 75-, 130- und 160°-Richtungen konzentriert.

Die Langzeitmessungen der hydrologischen Parameter (Ganglinien der Grundwasserspiegel, Quellschütterungen, Temperaturen, elektrische Leitfähigkeiten usw.) wurden an den Untersuchungsbohrungen und an ausgewählten Meßstellen weitergeführt.

Aus den Bohrungen wurden in verschiedenen Tiefen Wasserproben genommen und chemisch analysiert. Dadurch ist es möglich, die in Abhängigkeit von der Tiefe unterschiedlichen Leitfähigkeitswerte hydrogeochemisch zu interpretieren.

7.4 Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Einlagerung von spaltprodukt haltigen Zementprodukten in unterirdischen Lagerräumen

Im Rahmen der Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Einlagerung von radioaktiven Abfällen in unterirdischen Salzlagerräumen, wurden die auftretenden Temperaturen in einem zylindrischen Lagerraum beim Lagern von spaltprodukt haltigen Zementprodukten berechnet. Dabei wurde angenommen, daß die Abfallprodukte vernachlässigbar kleine Plutoniummengen enthalten. In diesem Falle tragen nur die Spaltprodukte zur Wärmeentwicklung bei. Bei üblichen Plutoniumgehalten im Abfall von etwa 1 % muß neben der Wärmeproduktion der

Spaltprodukte auch der Beitrag des Plutoniums zur Wärme berücksichtigt werden. Dies ist Gegenstand späterer Arbeiten.

Ziel der Berechnungen ist es, den Einfluß verschiedener Größen, wie Einlagerungsart der Produkte und Alter der fixierten Abfälle auf die Temperaturentwicklung im Lagerraum zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wurden Temperaturberechnungen bei instantaner ^{+) und stufenweiser Einlagerung von Produkten mit Spaltprodukten verschiedenen Alters ^{++) durchgeführt. Bei der stufenweisen Einlagerung wurde angenommen, daß der Lagerraum in zeitlich und mengenmäßig konstanten Einzelschritten während eines Zeitraumes von 10 Jahren befüllt wird.}}

Für die Berechnungen wurden Portlandzement 275 / Nitrat - Gemische mit einer Zusammensetzung von ca. 66 Gew. % Zement, 24,5 Gew. % H_2O und 9,5 Gew. % Salze zugrundegelegt. Die Dichte wurde mit 2,0 kg/l, die spezifische Wärme mit 0,23 cal/g^oC und die Wärmeleitfähigkeit mit 1,02 W/m^oC angenommen.

Die Zusammensetzung des in den Abfallprodukten enthaltenen Spaltproduktgemisches wurde entsprechend den Abfällen aus LWR-Brennelementen mit einem Abbrand von 33.000 MWd/t bei einer spezifischen Reaktorleistung von 30 MW/t angenommen. Die spezifische Anfangsaktivität ⁺⁺⁺⁾ der Produkte betrug 0,1 Ci/l bis 1 Ci/l.

-
- ^{+) Instantane Einlagerung bedeutet Befüllung des Lagerraumes in vernachlässigbar kurzer Zeit.}
 - ^{++) Mit Alter der Spaltprodukte wird die Zeit von der Reaktor-entnahme bis zur Einlagerung bezeichnet.}
 - ⁺⁺⁺⁾ Mit spezifischer Anfangsaktivität wird die spezifische Aktivität zum Zeitpunkt der Einlagerung bezeichnet.

Für die Berechnungen wurde ein zylindrischer Lagerraum mit einem Volumen von 15.000 m^3 gewählt. Sein Durchmesser betrug 23 m und seine Höhe 36 m. Für die Befüllung wurde angenommen, daß der Inhalt des Lagerraumes kompakt und homogen ist und an der Lagerraumwand dicht anliegt. Ferner wurde angenommen, daß der Lagerraum vollständig gefüllt ist.

Die Rechenergebnisse zeigen, daß sowohl die Einlagerungsart der Produkte als auch das Alter der Spaltprodukte einen starken Einfluß auf die Temperaturentwicklung in einem Lagerraum haben. Für die Maximaltemperatur gilt: $T_{\text{max}} = \Delta T_{\text{max}} + T_{\text{salz}}$. Für T_{salz} wurden 37°C entsprechend einer Tiefe von etwa 1.000 m zugrundegelegt.

Als Beispiel für die Ergebnisse zeigt Abb. 10 die auf der Zylinderachse auftretende Maximaltemperatur bei der Einlagerung von Produkten mit einer spezifischen Anfangsaktivität von 1 Ci/l und einem Alter der Spaltprodukte von 0,5 a bzw. 2 a sowohl für den Fall der instantanen als auch der stufenweisen Einlagerung. Man erkennt daraus, daß bei gleicher spezifischer Anfangsaktivität und gleicher Einlagerungsart ältere Spaltprodukte zu höheren Temperaturen im Lagerraum führen. Dies erklärt sich dadurch, daß mit zunehmendem Alter der Spaltprodukte die kurzlebigen Nuklide im Spaltproduktgemisch im wesentlichen abgeklungen sind und somit die Wärmeentwicklung hauptsächlich durch die langlebigen Nuklide bestimmt wird. Ferner zeigt die Abbildung, daß die bei der stufenweisen Einlagerung auftretenden Temperaturmaxima niedriger liegen als bei der instantanen. Der Grund dafür ist, daß bei der stufenweisen Einlagerung die einzulagernden Abfallmengen auf größere Zeiträume verteilt werden und dadurch die relativ gute Wärmeleitfähigkeit der Zementprodukte zu einem schnelleren Wärmetransport an das umgebende Salz führt als bei der instantanen Befüllung. Ein wesentlicher Unterschied zwischen instantaner und stufenweiser Einlagerung besteht darin, daß bei der stufenweisen Einlagerung das Temperaturmaximum viel später auftritt als bei der instantanen.

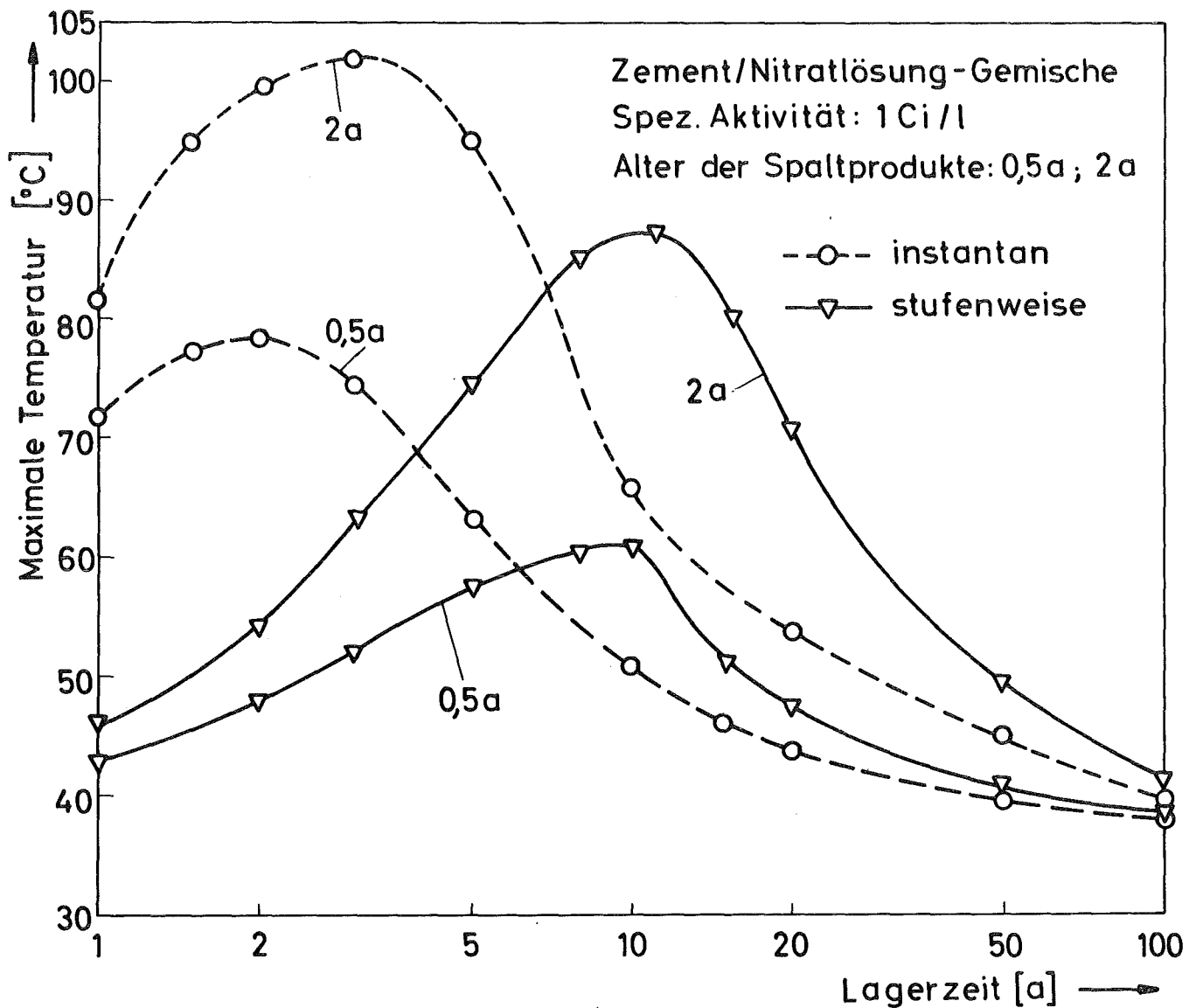


Abb. 10: Einfluß der Einlagerungsart und des Alters der Spaltprodukte auf die maximale Temperatur in einem zylindrischen Lagerraum ($V = 15.000 \text{ m}^3$, $D = 22,8 \text{ m}$, $H = 36 \text{ m}$) beim Lagern von Zementprodukten ohne Plutonium.

Aus den Ergebnissen der Berechnungen geht hervor, daß die in der Praxis zu erwartende stufenweise Einlagerung von zementierten spaltproduktthaltigen Abfällen mit einer spezifischen Anfangsaktivität bis 1 Ci/l und einem Alter der Spaltprodukte bis zu 2 a in dem hier be-

trachteten Lagerraum zu einer Maximaltemperatur im Abfallgut führt, die unterhalb des Siedepunktes des im Zement enthaltenen freien Wassers liegt. Somit werden bei den hier berechneten Temperaturen von maximal ca. 85°C keine negativen Auswirkungen auf die Eigenschaften der Zementprodukte erwartet. Eine Beeinflussung der Standfestigkeit des Lagerraumes infolge der hier berechneten maximalen Temperaturentwicklung im Inneren des Abfallgutes kann ebenfalls ausgeschlossen werden, da die Temperaturerhöhung des Salzes an der Wand des Lagerraumes sehr gering ist (max. ca. 5°C).

Die aus diesen Berechnungen gewonnenen Ergebnisse sind aus folgenden Gründen pessimistisch:

- Durch die Annahme, daß der Lagerraum vollständig befüllt ist und sein Inhalt kompakt ist, ergibt sich eine höhere Wärmeleistung pro Volumeneinheit als sie in der Praxis aufgrund des tatsächlich kleineren erreichbaren Füllungsgrades auftreten wird, d. h. in der Praxis dürften viel niedrigere Temperaturen auftreten.

- Die effektive Wärmeleitfähigkeit des Lagerinhalts wird höher sein, als in den Rechnungen zugrundegelegt wurde, da die Befüllung des Lagerraumes nur mit Abfallprodukten angenommen wurde, ohne den Einfluß des miteingelagerten gut wärmeleitenden Faßwerkstoffes auf die Wärmeableitung aus dem Abfall an das umgebende Salz zu berücksichtigen. Auch dieser Einfluß bewirkt, daß in der Praxis niedrigere Temperaturen auftreten werden.

Die Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Einlagerung von radioaktiven Bitumen- und Zementprodukten in unterirdischen Lagerräumen werden mit der Bestimmung des Einflusses der Dimensionierung eines Lagerraumes auf die Temperaturentwicklung fortgesetzt.

7.5 Untersuchungen zu Vorgängen nach dem Ersaufen von Salzbergwerken

7.5.1 Bestimmung von Diffusionskoeffizienten

Die Diffusion von Radionukliden in Wasser und Salzlösungen ist ein wichtiger Transportmechanismus im Falle eines Wasser- oder Laugeinbruchs. Deshalb wurde das Diffusionsverhalten radioaktiver Isotope in hochgesättigten Salzlösungen mit Unterstützung der Physikalisch-Technischen Abteilung der GSF am Forschungsreaktor Neuherberg gemessen. Die Selbstdiffusionskoeffizienten wurden nach der Offen-End-Kapillar-Methode ermittelt.

Die Diffusionskoeffizienten wurden für Cs-134 in gesättigter NaCl-Lösung mit $7,54 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$, in gesättigter MgSO_4 -Lösung mit $6,58 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$, in gesättigter MgCl_2 -Lösung mit $7,65 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$ und in Laugenproben aus dem Salzbergwerk Asse mit $9,7 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$ bestimmt.

7.5.2 Messungen im vollgelaufenen Kalibergwerk Ronnenberg

Die Messungen in dem 1975 infolge eines Wasser- und Laugeneinbruchs vollgelaufenen Kalibergwerkes Ronnenberg wurden in Zusammenarbeit mit der Kali-Chemie AG, Hannover, fortgeführt. Die Aufsättigung der zugeflossenen Wässer wurde weiter verfolgt. Nach einer in wenigen Wochen erfolgten Sättigung mit NaCl änderten sich die Konzentrationen nur noch langsam. Die für 1976 geplante Fertigstellung einer Strömungssonde verzögerte sich infolge technischer Schwierigkeiten auf Anfang 1977.

Im Führjahr 1976 wurde von der Kali-Chemie AG auf Anordnung der Bergbehörde mit der Verfüllung der Schächte begonnen.

In einem durch das BMFT geförderten Forschungsvorhaben wurde damit begonnen, die Vorgeschichte von Laugenzuflüssen im Kalibergwerk Ronnenberg und das letzte Ersaufen zu klären. Ziel des Vorhabens ist es, die Erfahrungen des Kalibergbaus in der Laugenerkennung und Laugenabwehr systematisch auszuwerten und für die Verbesserung der Sicherheit bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle nutzbar zu machen.

7.5.3 Untersuchungen an hydraulischen Bindemitteln

In enger Zusammenarbeit mit der Amtlichen Materialprüfanstalt am Institut für Steine und Erden der Technischen Universität Clausthal wurde eine Reihe von hydraulischen Bindemitteln auf ihre Eignung als Bindemittel für schwach- und mittelradioaktive Abfälle untersucht. Den zunächst über drei Jahre laufenden Auslaugversuchen in verschiedenen hochkonzentrierten Salzlösungen wurden z. B. Portlandzement 350, Hochofenzement, Magnesiacement, Tricalciumaluminat-freier Zement und eine Mischung von Portlandzement 350 mit 20 Gewichtsprozent Hüttensand unterworfen. Zur Beurteilung der Eignung wurden das Erstarrungsverhalten, die Zug- und Biegefestigkeit sowie Auslaugeraten von Cäsium, Strontium, Calcium und Silizium bestimmt. Eine weitere Fragestellung war das Einbindevermögen von hohen Natriummetaborat-Gehalten. Hochofenzement und C_3A -freier Zement zeigen schlechte Eigenschaften zur Fixierung schwachradioaktiver Abfälle. Auch PZ 350 und eine Mischung PZ 350 mit 30 % Hüttensand werden in Salzlösungen ausgelaugt. Die besten Resultate zeigte bisher Magnesiacement. Dies sind jedoch nur Zwischenergebnisse, weitere Untersuchungen sind erforderlich und geplant, damit spezielle positive Zementeigenschaften noch weiter verbessert werden können.

7.6 Systemstudie "Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland"

Die Systemstudie "Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland" wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie erstellt.

Die Studie soll die mit dem Anfall radioaktiver Abfälle verbundenen Probleme auf breiter Basis erfassen, um ein dem künftigen Abfallaufkommen angepaßtes Entsorgungssystem in der Bundesrepublik Deutschland vorzubereiten.

7.6.1 Beschreibung und Bewertung von Endlagerverfahren

Die im Jahre 1975 begonnene Beschreibung und Bewertung von für die Bundesrepublik Deutschland relevanten Endlagerverfahren wurde abgeschlossen. Der Versuch einer numerischen Bewertung ist gescheitert, da für den Gesamtbereich Entsorgung kein einheitliches numerisches Bewertungsverfahren entwickelt werden konnte. Die Arbeiten beschränkten sich daher auf eine Beschreibung und Kommentierung der Endlagerverfahren. Um einen Überblick über den F+E-Bedarf im Bereich der Endlagerung zu gewinnen, wurde eine Zusammenstellung der laufenden relevanten F+E-Vorhaben und Vorschläge für ergänzende F+E-Aktivitäten erarbeitet.

7.6.2 Risikoanalyse von Endlagersystemen

In Fortführung der Arbeiten aus dem Jahre 1975 auf dem Gebiet der Risikoanalyse geologischer Endlagersysteme wurden zunächst Freisetzungsmodelle entwickelt, welche eine potentielle Freisetzung von Radionukliden aus einem hypothetischen Endlager in das umgebende Deckgebirge beschreiben. Es wurden Modelle entwickelt für:

1. Freisetzung von Radionukliden aus intaktem Grubengebäude,
2. Freisetzung von Radionukliden nach vollständigem oder teilweisem Bruch des Grubengebäudes,
3. Freisetzung von Radionukliden durch menschliche Aktivitäten von außen.

Eine möglicherweise stattfindende Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager wurde auf der Basis der Freisetzungsmodelle berechnet und mit den aus den Fehlerbäumen bestimmten Wahrscheinlichkeiten der Ereignisketten zu relativen Risiken kombiniert. Es muß betont werden, daß aufgrund der großen Unsicherheiten bei der Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten keine absoluten Risikowerte angegeben werden können. Jedoch konnten die bestimmten Risiken in Relation zueinander in Farmer-Diagrammen dargestellt werden. Dabei stellte sich heraus, daß das mit den verschiedenen Ereignisketten verbundene Risiko sich nach seiner Höhe grob in drei Gruppen einteilen läßt (Abb. 11). Untersucht man die mit den höchsten Risiken behafteten Ereignisketten auf die Ursache eines denkbaren Laugeneinbruchs, so stellt sich heraus, daß für die "Betriebsphase" (20 a) und auch für die "10³-Jahre-Phase" bei etwa 75 % der Ereignisketten der Bruch des Grubengebäudes durch Gebirgsdruckbelastung die Ursache für den Laugeneinbruch sein könnte. In den restlichen 25 % der Fälle würde ein Laugeneinbruch im Schachtbereich zum Vollaufen des Grubengebäudes führen. Erst in zweiter Linie und unter sehr pessimistischen Annahmen spielen Naturereignisse wie z. B. Erdbeben eine Rolle. Für die dritte Gruppe gilt, daß die oben erwähnten Basisfehlerereignisse noch mit weiteren unwahrscheinlichen Fehlerereignissen kombiniert werden und dadurch das mit diesen Ereignisketten verbundene Risiko um mehrere Zehnerpotenzen kleiner ist. Diese dritte Gruppe stellt weiterhin das Risiko durch unentdeckt gebliebene Verwerfungen dar. Die Auswertung der Ursachen für die einzelnen Risiken zeigt, daß in dem vorliegenden modellhaften Endlagersystem zwei kritische Bereiche existieren, nämlich

1. ungenügende gebirgsmechanische Stabilität des Grubengebäudes,
2. fehlerhafter Schachtausbau im Bereich wasserführender Schichten.

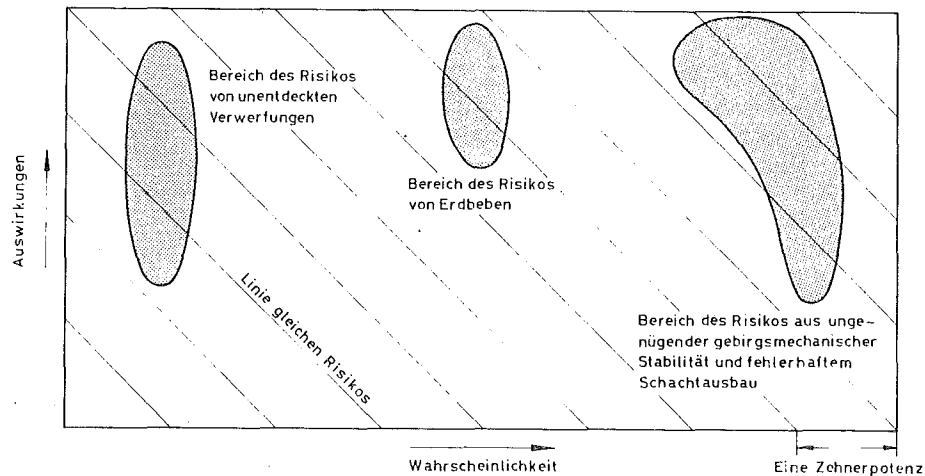


Abb. 11: Vereinfachtes Farmer-Diagramm für die " 10^3 -Jahre-Phase"

Die oben gezogenen Schlußfolgerungen über sicherheitskritische Bereiche gelten nur für das im Modell definierte hypothetische Endlager. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß für ähnliche Systeme die aus dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse bis zu einem gewissen Grade Gültigkeit besitzen.

Weiterhin hat sich gezeigt, daß die Methodik der Risikoanalyse durchaus auf ein bergmännisch-geologisches Endlagersystem anwendbar ist, wenn auch noch zahlreiche Untersuchungen im Bereich der Wahrscheinlichkeitsbestimmung, der Freisetzungsrechnungen und vor allem der Ausbreitung von Radionukliden in geologischen Schichten durchzuführen sind, um zu direkten Angaben über das Risiko eines solchen Systems für den Menschen zu gelangen.

Zur Weiterführung der risikoanalytischen Arbeiten wurde daher ein

F+E-Programm aufgestellt, dessen Ziel es ist, genauere Angaben über die Größe des Risikos solcher Endlager in geologischen Formationen machen zu können.

7.7 Auswertung des Berichtes BNWL-1900

Die in den USA im Mai 1974 veröffentlichte Studie BNWL-1900 "High-Level Radioactive Waste Management Alternative" wurde ausgewertet. In ihr war beabsichtigt, eine Anzahl denkbarer Alternativen für die langfristige Beseitigung hochradioaktiver Abfälle aus Wiederaufarbeitungsanlagen auszuarbeiten, die mit vorhandenen oder noch zu entwickelnden Technologien realisiert werden könnten.

Vier Grundkonzepte - Endlagerung in geologischen Formationen des Festlandes, im Meeresboden, außerirdische Beseitigung und die Beseitigung durch Transmutation - werden erörtert. Der außerirdischen Beseitigung radioaktiver Abfälle kann derzeit aufgrund der außerordentlich hohen Transportkosten und des nicht abschätzbaren Risikos (Bahninstabilitäten) lediglich ein theoretischer Wert beigemessen werden. Die Beseitigung der langlebigen Nuklide durch Transmutation ist für die anfallenden Abfallmengen und wegen der erforderlichen hohen Neutronenflüsse mit vorhandenen Technologien nicht möglich.

Die Endlagerung in geeigneten geologischen Formationen hingegen wird in Ländern, die mit der Endlagerproblematik konfrontiert werden, als sicher und praktikabel erachtet.

Prinzipiell ist auch die Endlagerung radioaktiver Abfälle in stabilen Formationen des Meeresbodens als durchführbar zu beurteilen.

8. Literatur

- [1] GSF - Jahresbericht 1973, S. 146, München 1974
- [2] GSF - Jahresbericht 1975, S. 206, München 1976
- [3] GSF - Jahresbericht 1975, S. 203, München 1976
- [4] GSF - Jahresbericht 1974, S. 164, München 1975

9. Veröffentlichungen

Endlagerung radioaktiver Abfälle

Gemeinsamer Jahresbericht 1975 des Instituts für Tieflagerung
der GSF und der Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle der
GfK

GSF - T 60

KFK 2309

ALBRECHT, E.: Erfahrungen und Probleme beim Abteufen eines
Bohrschachtes auf die Salzlagerstätte der Schachanlage Asse.

Kali und Steinsalz, Bd. 7, Heft 1, 13-20 (1976)

GSF - T 61

ALBRECHT, E.: Endlagerung radioaktiver Abfälle - eine Problem-
lösung des Umweltschutzes -. VGB Kraftwerkstechnik 56. Jahrg.,
4/1976, 231 - 232 (1976)

GSF - T 62

KÜHN, K.: Abgabe radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken - Feste
Abfälle -. Kernenergie und Umwelt, Hersg. K. Aurand, Erich
Schmidt Verlag, Berlin 1976, 144 - 151

GSF - T 63

KÜHN, K.: Das Endlagerkonzept der Bundesrepublik. Bericht des
Deutschen Atomforums über das Symposium "Entsorgung der Kern-
technik" in Mainz am 19. und 20. Januar 1976, 279 - 295

GSF - T 64

KÜHN, K., ALBRECHT, E., KOLDITZ, H., THIELEMANN, K.,
DIEFENBACHER, W.,¹ ENGELMANN, H. J.,¹ KRAUSE, H.,¹
SCHUCHARDT, M. C.,¹ SMAILOS, E.¹: Recent results and
developments on the disposal of radioactive wastes in the Asse Salt
Mine, Management of radioactive wastes from the nuclear fuel cycle.
(Proc. Symp. Vienna) IAEA, Vienna 1976, Vol. II, 287 - 294
GSF - T 65

¹ Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe

KÜHN, K.: Zur Endlagerung radioaktiver Abfälle - Stand Ziele und
Alternativen, Atomwirtschaft 21, 357 - 362 (1976)
GSF - T 66

KÜHN, K., HAMSTRA, J.²: Geologic isolation of radioactive wastes
in the Federal Republic of Germany and the respective program of
the Netherlands. Management of wastes from the LWR fuel cycle.
(Proc. Symp. Denver) USERDA, CONF-76-0701, Springfield, Va.,
580 - 600
GSF - T 67

² Reactor Centrum Nederland, Petten / Holland

ALBRECHT, E., KÜHN, K.: Die Endlagerung radioaktiver Abfall-
stoffe im Salzbergwerk Asse II. Exkursionsführer der 54. Jahresta-
gung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Braunschweig 1976,
55 - 61
GSF - T 68

KORTHAUS, E.; E. SMAILOS, W. COMPER: Zum Problem der
Wärmeentwicklung von spaltproduktthaltigen mittelaktiven Abfällen
bei der Einlagerung in einer Prototyp-Kaverne.
Reaktortagung, Düsseldorf, 30.3. - 2.3.1976, Deutsches Atomforum e. V.
Kerntechnische Ges. im Dt. Atomforum e. V.
Leopoldshafen 1976: ZAED S. 382 - 84

SMAILOS, E., W. DIEFENBACHER, W. COMPER: Die Bildung von Radiolysegasen aus spaltproduktthaltigen mittelaktiven Abfällen und ihre Berücksichtigung bei der Endlagerung in einer Prototyp-Kaverne.

Reaktortagung, Düsseldorf, 30.3. - 2.4.1976, Deutsches Atomforum e.V. Kerntechnische Ges. im Dt. Atomforum e.V., Leopoldshafen 1976/ZAED. S. 385 - 88

HAGEN, H., W. HILD, K. KÜHN: Management of radioactive wastes from fuel reprocessing in the Federal Republic of Germany. A survey on policy and R+D work. 2. Meeting of the Technical Committee on High-Level and Alpha-Bearing Wastes, Wien, May 10 - 14, 1976

SMAILOS, E., W. DIEFENBACHER, E. KORTHAUS, W. COMPER: Radiolysis and temperature effects in case of underground storage of bitumen. Seminar on the Bituminization of Low and Medium Level Radioactive Wastes. Proc., Antwerpen, May 18 - 19, 1976. Paris: OECD 1976

KFK - 2329 (Mai 76)

BAEHR, W., W. HILD: Behandlung schwach- und mittelaktiver Abfälle aus kerntechnischen Anlagen. Atomwirtschaft - Atomtechnik, 21 (1976), S. 346 - 51

KRAUSE, H.: Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Atomwirtschaft - Atomtechnik, 21 (1976), S. 343 - 46

KRAUSE, H. : Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle (ABRA) der Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe. Achema Jahrbuch 1974/1976. Hrsg. : Dechema, Bd. 1: Forschung und Lehre des Chemie-Ingenieur-Wesens in Europa, Frankfurt a. M. : Dechema 1976. S. 307 - 308

KRAUSE, H. : Arbeiten zur Behandlung radioaktiver Abfälle aus Wiederaufarbeitungsanlagen. In: Sammlung der Vorträge anlässlich des I. Statusberichtes des Projektes Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung am 17. 11. 1975. KFK-2255 (August 76) S. 7/1 - 18