

INSTITUT FÜR TIEFLAGERUNG

Wissenschaftliche Abteilung
Technische Abteilung

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH

Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

zur

ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE

Jahresbericht 1977

Juni 1978

GSF - T 84
KFK - 2650
PWA-53/78

Als Manuskript vervielfältigt.

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor.

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, München
8042 Neuherberg, Post Oberschleisheim, Ingolstädter Landstr. 1
Tel.: (089) 38741 Telex: 05/23125

Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

zur

ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE

Jahresbericht 1977

Juni 1978

GSF - T 84

KFK - 2650

PWA-53/78

Kurzfassung

Der vorliegende Bericht der Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung, die zum 1. Januar 1978 aus dem Institut für Tieflagerung der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München und Arbeitsgruppen der Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle des Kernforschungszentrums Karlsruhe gegründet wurde, gibt einen Überblick über die im Jahr 1977 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 wurden im Berichtszeitraum fortgeführt. Im Berichtsjahr beschränkten sich die Versuche zur Einlagerung mittelradioaktiver Abfälle auf sieben Fässer.

Das Versuchsfeld für die singuläre Einlagerung von AVR-Brennelementen wurde betriebsbereit erstellt. Durch juristische, politische und verkehrstechnische Probleme verzögerte sich bisher die Versuchsdurchführung.

Im Zug der auf der Schachanlage Asse geplanten Prototyp-Kavernenanlage für die spätere Versuchseinlagerung mittelradioaktiver Abfälle wurde im Berichtsjahr der Kavernenhohlraum mit einer Endteufe von 996,1 m bergmännisch fertiggestellt.

Der Bericht gibt ferner Auskunft über den Strahlenschutz und die Umgebungsüberwachung sowie den augenblicklichen Stand der allgemeinen

Forschungsarbeiten, besonders zur Endlagerung hochaktiver Abfälle, sowie auf dem Gebiet der gebirgsmechanischen Untersuchungen und der Sicherheitsstudien.

Research and Development for the Disposal of Radioactive Wastes

Annual Progress Report 1977

Abstract

The present report deals with the activities of the "Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung" which was founded on January 1, 1978 and consists of institutes, branches and working groups both of the "Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München" and the "Kernforschungszentrum Karlsruhe" which are engaged in the field of radioactive waste disposal. This report presents a survey of the work performed in that field in 1977.

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 m- and 725 m-level was continued in the time period under review. Only 7 drums of intermediate level waste were experimentally disposed of in 1977.

The disposal field and the operational equipment for the single test disposal of spent fuel elements from the AVR-reactor were completed and are ready for operation. Due to juridical, political and transport problems there is a delay of the start of the test disposal. The mining of the prototype cavity was finished reaching a final depth of 996,1 m.

Moreover, the report gives information on means for radiation protection

and the results of the environmental surveillance programme. Also the present status of the research activities and their results, especially in the field of disposal of high level waste, rock mechanics and safety studies is reported.

Inhaltsverzeichnis

1. Bergtechnischer Ausbau und Betrieb des Salzbergwerkes Asse
2. Durchführung des Forschungsprogramms zur Tief Lagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse
3. Vorarbeiten für den Versuch der Einlagerung abgebrannter AVR-Brennelemente
4. Erstellung einer Prototyp-Kavernenanlage auf der Schachtanlage Asse
5. Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung
6. Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes
7. Eignungsanalyse Eisenerzbergwerk Konrad
8. Allgemeine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten
 - 8.1 Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung hochaktiver Abfälle
 - 8.1.1 Temperaturversuche und -berechnungen
 - 8.1.2 Planung eines Transportbehälters und der Einlagerungsgeräte
 - 8.2 Gebirgsmechanische Untersuchungen
 - 8.2.1 Gebirgsbeobachtungsprogramm im Salzbergwerk Asse
 - 8.2.2 Gebirgsmechanische Modellrechnungen
 - 8.3 Geologische und hydrologische Untersuchungen
 - 8.4 Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Einlagerung von bituminierten und zementierten Abfällen in unterirdischen Lagerräumen
 - 8.5 Simulationsversuch mit verrohrtem Bohrloch
 - 8.5.1 Entwicklung einer Standardsonde für systematische Untersuchungen zur wärmeinduzierten Bohrlochkonvergenz

- 8.5.2 Planung, Entwicklung, Beschaffung und Montage der meßtechnischen Überwachungs-einrichtungen
- 8.6 Vergleich der Endlagerung hochaktiver Abfälle mit der direkten Endlagerung von abgebrannten Brennelementen
- 8.7 Allgemeine sicherheitstechnische Untersuchungen
- 8.8 Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung
- 9. Information der Öffentlichkeit
- 10. Literatur
- 11. Veröffentlichungen

1. Bergtechnischer Ausbau und Betrieb des Salzbergwerkes
Asse

Die Durchführung des Forschungsprogramms zur Tieflagerung von radioaktiven Abfällen erforderte auch im Berichtsjahr eine Reihe bergmännischer Arbeiten. 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 Hauptschacht die Spurlatten gekürzt und in den Blindschächten 2, 2a und 3 Spitz- und Richtarbeiten durchgeführt.

Der Blindschacht 3 erhielt ein neues Signal- und Überwachungskabel. Zur Verbindung der Kammern 6 und 7 (Na 3) ist auf der 750 m-Sohle ein Durchhieb von 22 m Länge aufgeföhren worden. In allen Strecken und Kammern, in denen Transporte und Einlagerungen bisher stattfanden, erfolgten Beraube- und Sicherungsarbeiten, insbesondere im Carnallitbereich der Wendelstrecke und in den Kammern 6, 7 und 11 im Jüngeren Steinsalz sowie in der Kammer 2 im Älteren Steinsalz der 750 m-Sohle. Daneben wurden einzelne Freiflächen mit Gebirgsankern und Maschendrahtverzug abgesichert.

Neue Betonfahrbahnen wurden hergestellt. Auf der 775 m-Sohle kam es bei der Vorbereitung der Versuchsfelder zu Aufwältigungs- und Nachrißarbeiten im östlichen Teil des Grubengebäudes. Im Rahmen des Gebirgsbeobachtungsprogramms wurden auf den Sohlen 490 m, 511 m, 532 m, 553 m und 574 m zusätzliche Meßpunkte mit Extensometern eingerichtet.

Die Markscheiderei führte unter Tage im Zusammenhang mit Neuauföhren und Nachrißarbeiten eine Vielzahl von Vermessungsarbeiten

durch. Daneben erfolgten im Rahmen der Gebirgsbeobachtungsprogramme umfangreiche Kontrollmessungen. Ebenso wurden erforderliche Messungen über Tage in Verbindung mit den Bautätigkeiten für die Schachthallenerweiterung und den Gleisanschluß durchgeführt.

Der III. Bauabschnitt des hydrogeologischen Forschungsprogramms sieht die Herstellung von vier hydrogeologischen Untersuchungsbohrungen, einer geologischen Aufschlußbohrung und zwölf Grundwasserpunkten als Voraussetzung für die Durchführung von Pump-, Injektions- und Markierungsversuchen sowie Strömungsmessungen vor. Für diese Bohrungen wurde die Ausschreibung durchgeführt und der Auftrag erteilt.

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. Nach Abschluß der Erdarbeiten und Errichtung von sieben Brücken wurde der Oberbau vom Bahnhof Wendessen auf einer Länge von 5 km verlegt. Die schadhafte Gewölbebrücke bei Wittmar wurde abgebrochen und mit dem Bau einer neuen Spannbetonbrücke begonnen. Mit den Bauarbeiten für die Vorbereitung der Rangiergleise sowie der Gleisfeldbeleuchtung auf dem Betriebsgelände der Schachtanlage Asse wurde ebenfalls begonnen. Die Planungsarbeiten für den Bau eines Fertigbaues für das am Salzbergwerk unbedingt erforderliche Personal sind abgeschlossen. Die Erstellung soll im nächsten Jahr erfolgen. Im Rahmen des Objektschutzes wurde das Betriebsgelände mit einem neuen Zaun eingefriedet und neben weiteren Maßnahmen eine zusätzliche Außenbeleuchtung angebracht.

2. Durchführung des Forschungsprogramms zur Tieflagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse

Die Versuche zur Einlagerung schwachradioaktiver Abfälle wurden 1977 fortgesetzt. Die Einlagerung erfolgte in den Kammern 5, 7 und 11 des Jüngeren Steinsalzes und in der Kammer 2 des Älteren Steinsalzes auf der 750 m-Sohle. Es wurden 19.081 Fässer eingelagert, davon 2.725 Fässer mit verlorener Betonabschirmung. Die Kammer 11 der 750 m-Sohle wurde überwiegend mit verlorenen Betonabschirmungen und Salz vollständig gefüllt.

Der untere Zugang zur Einlagerungskammer 5 auf der 750 m-Sohle wurde mit Salzbeton verschlossen, außerdem wurde in dieser Kammer ein Schleuderband zur Verfüllung des Resthohlraumes zwischen Fässern und Firste mit Salzhautwerk probeweise eingesetzt. Diese Art der Hohlraumverfüllung hat sich nicht besonders bewährt.

Zur Weiterentwicklung von Kammerverschlüssen wurde ein ehemaliger Zugang zur Kammer 8 der 750 m-Sohle zusätzlich mit einem Betonverschluß versehen, bei dem versuchsweise ein bitumenhaltiger Zuschlagstoff verwendet wurde.

Die Versuche zur Einlagerung mittelradioaktiver Abfälle beschränkten sich im Berichtsjahr 1977 auf sieben Fässer. Die gesamte maschinen- und elektrotechnische Anlage zur Einlagerung mittelradioaktiver Abfälle in der Beschickungskammer der 490 m-Sohle funktionierte weiterhin einwandfrei.

3. Vorarbeiten für den Versuch der Einlagerung abgebrannter AVR-Brennelemente

Auf der 750 m-Sohle ist die singuläre Einlagerung von 100 Stahlkannen in vier 37 m tiefen Bohrlöchern vorgesehen. Ziel dieses Forschungsprogramms ist die Erprobung einer neuen Einlagerungstechnik, bei der mittelradioaktive Abfälle, die zwar relativ hohe Aktivitätswerte, aber noch keine zu berücksichtigende Wärmeproduktion besitzen, nicht in Kammern, sondern in Bohrlöchern eingelagert und sicherheitstechnisch überwacht werden. In den Stahlkannen sind jeweils 1000 AVR-Graphitkugelbrennelemente enthalten.

Nach Abschluß der Endmontage der Beschickungseinrichtung, die nach einem gemeinsamen Projekt mit der Kernforschungsanlage Jülich GmbH(KFA) und der Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung (EGT) konzipiert wurde, konnte das Lagerfeld betriebsbereit erstellt werden. Durch juristische, politische und verkehrstechnische Probleme verzögerte sich bisher die Versuchsdurchführung.

4. Erstellung einer Prototyp-Kavernenanlage auf der Schachtanlage Asse

Im Zuge der auf der Schachtanlage Asse geplanten Prototyp-Kavernenanlage für die spätere Einlagerung mittelradioaktiver Abfälle wurde im Berichtsjahr der Kavernenhohlraum mit einer Endteufe von 996,1 m bergmännisch fertiggestellt.

Die Kaverne hat die Form eines stehenden Ellipsoids mit einer größten Weite von 24,12 m und einem Gesamtvolumen von rd. 10.000 m³. Im Niveau 929,5 m wurde nach Abbruch eines den Anforderungen nicht genügenden Ringfundamentes der Hohlraum erweitert und mit dem Einbringen

eines neuen Fundamentes für die Fallrohrtour und die Verschußklappe begonnen. Zur Gebirgssicherung wurden die anstehenden Nachspitz- und Ankerarbeiten durchgeführt. Sowohl in der Kaverne als auch im oberen Schachtbereich des Schachtes Asse 4 wurde eine Vielzahl von Meß- und Überwachungspunkten eingerichtet.

Im Schachtbereich 700 m bis 490 m wurde eine Lufttrocknungsanlage installiert und probeweise in Betrieb genommen.

Im Rahmen des Teiles 3 des Kavernenprojektes "Erweiterung der Schachthalle", deren Ausführung in der Hand des Staatshochbauamtes II Braunschweig liegt, wurde die Schachthallenerweiterung mit der Umladezelle weitgehend fertiggestellt.

Im Zusammenhang mit dem Teil 4 des Kavernenprojektes "Lieferung und Montage der Förder- und Beschickanlage" wurde im Keller der Schachthallenerweiterung für die zukünftige Schachtförderung im Schacht 4 eine Trommelförderanlage montiert. In der Umladezelle sowie im Leerfaßlager wurden die Rollenbahnen und die zugehörigen Steuerungen angebracht. Anschließend konnte die Oberflächenbehandlung der Kellerwände beginnen. Der Erweiterungsbau der Schachthalle wurde fertiggestellt und die Krananlage in der Schachthalle installiert.

Für Fallversuche mit Fässern inaktiven Inhalts wurde der Blindschacht 1 hergerichtet. Das Verhalten der Fässer und der verschiedenen Fixierungsstoffe für mittelradioaktive Abfälle ist bei einer Fallhöhe von 86 m in einer Versuchsreihe getestet worden (Abb. 1, 2).

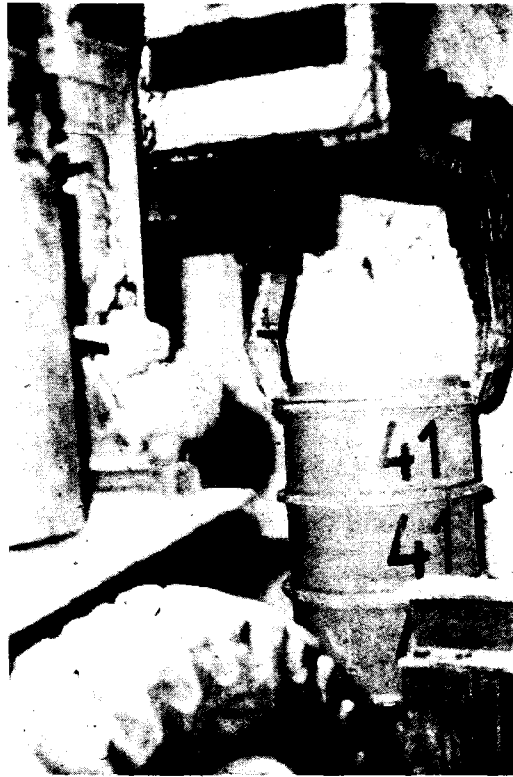


Abb. 1: 200 l-Faß kurz vor dem Fall

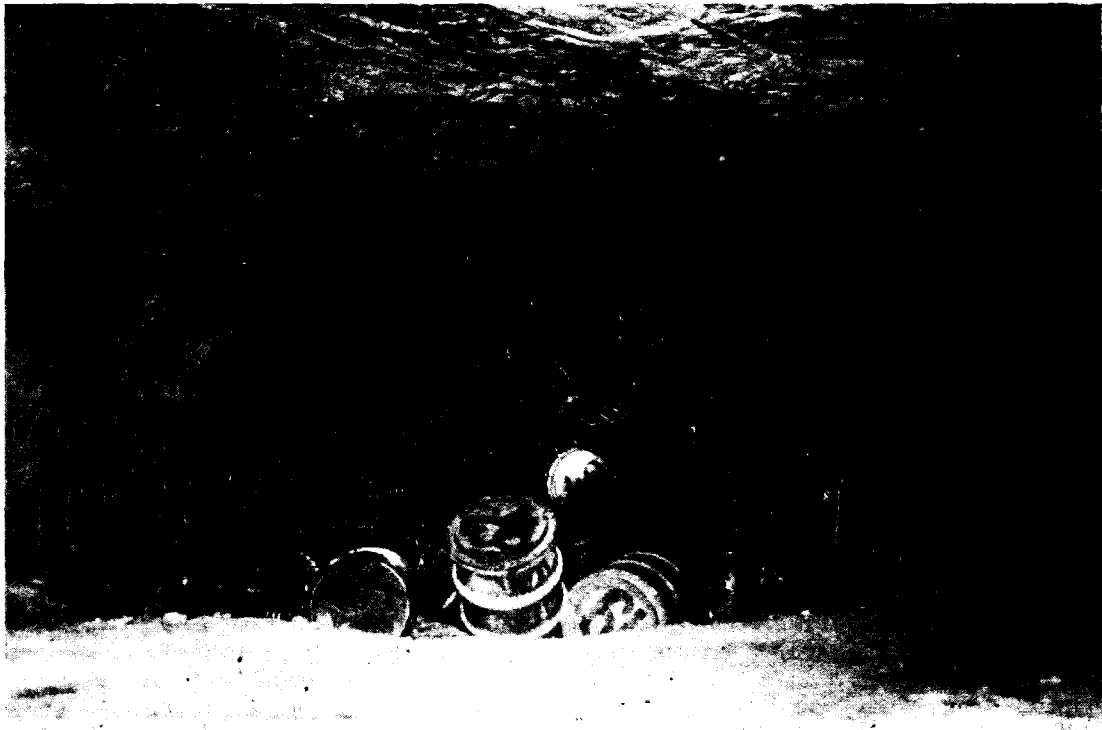


Abb. 2: 200 l-Faß kurz vor dem Aufprall

5. Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung

Das bei der Einlagerung radioaktiver Abfälle eingesetzte Personal wurde entsprechend der Strahlenschutzverordnung laufend überwacht. Ebenso erfolgten die Messung der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung und der Aerosol-Aktivität der Luft unter und über Tage an vielen repräsentativen Stellen. Eine Überschreitung der zugelassenen Personendosen und Aktivitätswerte konnte nicht festgestellt werden. Außerdem wurde die gesamte unter Tage beschäftigte Belegschaft einer Untersuchung im Ganzkörperzähler unterzogen. Dabei ergab sich kein Hinweis auf Inkorporation von radioaktiven Stoffen.

Die Grubenluft wurde kontinuierlich von einem über Tage aufgestellten Meßgerät überwacht. Ein Teil des ausziehenden Wetterstroms wurde hierzu über Filter geleitet. Die Aktivität dieser vierzehntägig ausgewechselten Filter wurde ausgemessen. Ab dem 1. 4. 1977 wurden zusätzlich alle Filter anschließend auf Einzelnuklide untersucht. Dabei zeigte sich, daß die von außen zugeführten Radionuklide (Be-7, Mn-54, Nb-95, Zr-95, Ru-103, Ru-106, Sb-125, Cs-137, Ce-141, Ce-144), die zum größten Teil aus Kernwaffenversuchen stammen, mit geringerer Konzentration nachgewiesen werden können als über Tage. Sie werden bereits auf dem langen Wege durch das Grubengebäude zum Teil abgeschieden. Lediglich bei Pb-210 ist eine geringe Anreicherung zu beobachten. Dieses Blei entsteht beim Zerfall von Radon, das aus radiumhaltigen Abfällen sowie aus den Verfestigungs- und Abschirmmaterialien Bitumen und Beton entweicht. Da die Tritiumkonzentration in der Grubenluft unterhalb der Meßgrenze kontinuierlich anzeigender Meßgeräte liegt, mußte sie durch Ausmessen der ausgefrorenen Luftfeuchte bestimmt werden. Die Proben hierzu wurden im Abstand von 6 Wochen an wechselnden Meßstellen genommen. Auch hier lagen die gemessenen Radionuklidkonzentrationen unter den für

die Beschäftigten und die Bevölkerung zugelassenen Werten.

Wie in den vergangenen Jahren wurden die Messungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität im Bereich der Asse fortgesetzt. In Abstimmung mit dem hydrogeologischen Forschungsprogramm wurden vierteljährlich an 28 Meßstellen 1 Liter-Proben von Grund- und Oberflächenwässern entnommen. Die Meßergebnisse zeigten keine merklichen Veränderungen gegenüber den Vorjahren und stellen Nullpegelwerte dar. Zur Untersuchung des Trinkwassers der umliegenden Ortschaften wurden halbjährlich fünf Proben entnommen. Darin wurde der Gehalt an Cs-137 und Sr-90 ermittelt. Die bisherigen Alpha-Bruttomessungen wurden durch eine gezielte Pu-239 Analyse mit einer Erfassungsgrenze von 5 fCi/l ersetzt. Durch ein vom Institut für Strahlenschutz ausgearbeitetes Verfahren konnten außerdem die Erfassungsgrenzen für Cs-137 und Sr-90 auf 50 fCi/l gesenkt werden. Die ermittelten Werte lagen für Pu-239 und Cs-137 alle unter der entsprechenden Erfassungsgrenze. Die gemessenen Werte stellen Nullpegelwerte dar.

Die bodennahe Luft in der näheren Umgebung der Schachtanlage wurde monatlich auf Alpha- und Beta-Aerosolaktivität untersucht. Die gemessenen Werte liegen innerhalb der Schwankungsbreite der Aktivität der natürlichen Radon- und Thoron-Folgeprodukte. Langlebige Aktivitäten konnten nicht nachgewiesen werden.

In der näheren Umgebung wurden wie jedes Jahr an drei Stellen Bodenbewuchsproben entnommen und die Beta-Aktivität der Veraschungsrückstände gemessen. Gegenüber den Vorjahreswerten waren keine Veränderungen festzustellen.

Das verstärkte Interesse in der Öffentlichkeit an den Arbeiten im Salzbergwerk Asse hat die Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung

veranlaßt, die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung der Jahre 1966 bis 1977 in einem zusammenfassenden Bericht darzustellen und zu veröffentlichen [1]. In Ergänzung dazu erschien ein Bericht über die Strahlenschutzmessungen 1976/77 im Bergwerk Asse [2].

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

Die vordringlichste Aufgabe bei diesem Vorhaben lag im Berichtszeitraum in der Bearbeitung des Antrages für die wasserrechtliche Genehmigung sowie für die wasserrechtliche Erlaubnis.

Wie berichtet, waren die Antragsunterlagen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens öffentlich ausgelegt worden. Umweltschutzverbände sowie auch Privatpersonen hatten daraufhin bei der zuständigen Genehmigungsbehörde, dem Landesbergamt Baden-Württemberg in Freiburg, Einspruch gegen dieses Vorhaben eingelegt.

Aufgrund dieser Einsprüche erhielt die Antragsstellerin (KfK) die Auflage, ergänzende Unterlagen zum Genehmigungsantrag selbst sowie Ausarbeitungen zu den einzelnen Einspruchsargumenten zu erstellen. Daraufhin wurden neben einer umfangreichen Störfallbetrachtung Ausarbeitungen zur Charakteristik des Speicherhorizontes sowie über die seismologische Sensitivität der Speicherstruktur angefertigt.

Das Geophysikalische Institut der Universität Karlsruhe untersuchte die seismischen Risiken für das betreffende Gebiet, führte Bodenuntersuchungen durch und erarbeitete ein Konzept für begleitende Messungen zur Erfassung und Lokalisierung seismischer Ergebnisse.

Des Weiteren wurde ein vollständiges Temperaturprofil der Injektionsbohrung Lh 2 erstellt.

Nach Zusammenstellung sämtlicher ergänzender Anlagen zum Antrag sowie der gesammelten Stellungnahmen zu den Einsprüchen wurde es behördlicherseits gewünscht, den kompletten Antrag in der jetzt vorliegenden, endgültigen Fassung allen mit diesem Vorhaben befaßten Instanzen nochmals zuzuleiten.

Dem Landesbergamt wurden zum Jahresende sämtliche Unterlagen zur Durchführung des Genehmigungsverfahrens zur Verfügung gestellt.

7. Eignungsanalyse des Eisenerzbergwerkes Konrad

Die 1975 in Form einer Studie begonnenen F+E-Untersuchungen wurden weitergeführt. Die hinsichtlich einer Eignungsfähigkeit der Schachtanlage Konrad als ein mögliches Endlager für radioaktive Abfälle bisherigen positiven Zwischenergebnisse konnten durch weitere Resultate bestätigt und ergänzt werden.

Die geowissenschaftlichen Untersuchungen mit dem Ziel einer zusammenfassenden Darstellung und Bewertung aller geologischen Parameter, der Tektonik und der Gebirgsmechanik sowie der Hydrologie dienen in der Hauptsache der Erforschung der Grubenwässer als möglichem Transportmedium für Radionuklide und der Wasserwegsamkeit des Gebirges zum Nachweis der Abgeschlossenheit des Systems gegenüber dem Biozyklus.

Ein anderer Schwerpunkt der geologischen Untersuchungen ist die Erfassung von rezenten tektonischen Vorgängen und seismischen Bewegungen im Grubengebäude. Die Ergebnisse sollen einen wichtigen Beitrag zur langzeitigen strukturellen Sicherheit des Systems liefern. Die umfangreichen wissenschaftlichen und technischen Vorarbeiten zu diesem Forschungsprogramm wurden am Ende des Berichtsjahres abgeschlossen.

Die hydrologischen Arbeiten zur Bestimmung des Ursprungs und der Verweilzeiten der im Grubengebäude angeschlagenen Wässer wurden weitergeführt, ihre Einstufung als fossile Standwässer bestätigt.

Im Anschluß an eine Zusammenstellung tektonischer Daten des Unter- und Übertagebereiches wurde unter Einbeziehung zusätzlicher tektonisch wichtiger Meßdaten das Material zur Eingabe in eine EDV-Anlage vorbereitet. Die Aufarbeitung erfolgt nach dem montangeologisch-tektonischen Auswertprogramm GELI.

Zwecks Beurteilung der kleinklimatischen Verhältnisse im Gebiet der Schachanlage wurde mit den notwendigen Vorarbeiten zur Erfassung der regionalen Meteorologie und zur meteorologischen Datenaufnahme begonnen. Die technische Ausstattung einer eigenen Wetterstation durch geeignete Meß- und Registriersysteme wurde festgelegt. Ein meteorologisches Meßprogramm wurde erstellt.

Zu den Eignungsuntersuchungen gehört auch eine Analyse der Grube und des Untertagebetriebes unter dem Gesichtspunkt einer möglichen späteren Einlagerung radioaktiver Abfälle. Da ein solcher Einlagerungsbetrieb sich wesentlich von einem normalen Abbaubetrieb unterscheiden wird, ist es notwendig, neue Hohlraumkonzepte zu entwickeln. Aufgrund der betrieblichen Erfahrungen konnten vier Modelle erstellt werden, die im Hinblick auf die einlagerbaren Medien, die zur Anwendung kommenden Einlagerungstechniken und auf ihre Risiken hin beurteilt werden müssen.

Maschinentechnisch wurde im Berichtsjahr durch Auftragsvergabe eine Untersuchung zur notwendigen Änderung und gegebenenfalls Erneuerung der technischen Einrichtungen eingeleitet. Konzepte zur Förderung kontaminierter Großkomponenten im Grubengebäude wurden erarbeitet.

In Zusammenarbeit mit dem Kernforschungszentrum Karlsruhe, Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle, wurde mit Untersuchungen zur Ausbreitung von Nukliden in untertägigen Hohlräumen und zur Nuklidfixierung durch Verfüllstoffe begonnen.

8. Allgemeine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

8.1 Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung hochaktiver Abfälle

8.1.1 Temperaturversuche und -berechnungen

Der Versuchsbericht über das Temperatur-Versuchsfeld 3, in dem das Gebirge über mehrere Monate mit elektrischen Erhitzern aufgeheizt wurde, wurde abschließend erstellt [3]. Er enthält sämtliche Angaben über Versuchsanordnung, -ausstattung und durchgeführte Messungen. Die gebirgsmechanischen Beobachtungsergebnisse wurden dargestellt und interpretiert. Die experimentellen Daten über die Wärmeausbreitung in diesem Versuch wurden aufbereitet.

Als Fortführung des Temperatur-Versuchsfeldes 3 [4] wurden das Konzept und die Meßprogramme für einen weiteren Temperaturversuch im Älteren Steinsalz fertiggestellt. In diesem Versuch soll neben der Messung der Temperatúrausbreitung in der Umgebung der Erhitzerbohrung die wärmeinduzierte Bohrlochkonvergenz mit einer stationären in-line Konvergenzmeßeinrichtung registriert werden. Diese in-line Meßeinrichtung ist notwendig, da das Bohrloch für Klimabestimmungen druckdicht verschlossen werden soll.

Zur Bestimmung der Feuchte im Bohrloch, die bei Bohrlochlufttemperaturen im Bereich von 100°C - 200°C nicht mehr mit normalen

Hygrometern gemessen werden kann, wird eine Kühlfalle über ein geschlossenes Rohrsystem an den Bohrlochverschluß angeschlossen.

Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Kühlfalle und der Druckdichtigkeit des Rohrleitungssystems wurde auf der 775 m-Sohle im Älteren Steinsalz ein Vorversuch aufgebaut, der bei horizontal angelegtem Erhitzerbohrloch die Messung des Temperaturgradienten in der unmittelbaren Bohrlochumgebung zuläßt. Dies konnte nur erreicht werden, indem das Bohrloch in der Nähe einer Stoßecke angelegt wurde, damit vertikal zur Bohrlochachse Meßbohrungen bis auf wenige Zentimeter an das Erhitzerbohrloch herangetrieben werden konnten (vgl. Abb. 3). Mit Hilfe der gemessenen Temperaturgradienten läßt sich die Migrationsgeschwindigkeit von Laugentröpfchen im Salz abschätzen, da sie dem Temperaturgradienten direkt proportional ist.

Erste Laboruntersuchungen zur Migration von Laugespuren im Steinsalz bedingt durch einen Temperaturgradienten, wie er beim Einbringen von hochaktivem Abfall in Salz entstehen könnte, wurden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, daß die Laugespuren in verschiedenen Komponenten im Steinsalz vorliegen. Weiterhin zeigten sich nach der Analyse der Migrationsversuche signifikante Laugekonzentrationsgradienten in den untersuchten zylindrischen Salzproben.

Die gebirgsmechanischen Laboruntersuchungen im Rahmen des von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Untersuchungsprogramms zur Versuchslagerung hochaktiver Abfälle wurden aufgenommen.

Diese Untersuchungen betreffen Laborexperimente an zunächst drei verschiedenen Salzgesteinen der Schachanlage Asse zur Bestimmung der rheologischen Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen und nach Bestrahlung. Ein Teil dieser Laborversuche wird gemeinsam mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover durchgeführt.



Abb. 3: Vorversuch zum Temperaturversuchsfeld 4
auf der 775 m-Sohle

1. Temperaturmeßbohrungen
2. Erhitzebohrloch mit angeschlossenem Rohrleitungssystem
3. Kühlfalle
4. Datenerfassungsanlage

Der Schwerpunkt lag dabei zunächst auf der Vorbereitung und der Durchführung von Kriechversuchen unter einachsiger konstanter Druckbeanspruchung und bei Temperaturen zwischen Raumtemperatur und einer Temperatur von 300°C an drei Probenserien von Asse-Steinsalz aus verschiedenen stratigraphischen Horizonten. Voraussetzung hierfür war eine entsprechende Probenahme und die Präparation der erforderlichen Prüfkörper.

Vor Versuchsbeginn wurden sämtliche Proben mittels Ultraschall im Durchschallungsverfahren getestet. Die entsprechenden Materialkennwerte wurden ermittelt und daraus die dynamischen elastischen Stoffkonstanten abgeleitet.

Zur Vorbereitung von triaxialen Verformungsversuchs-Serien an Würfelproben in der aufheizbaren Versuchsanlage der BGR wurden entsprechende Proben bereitgestellt und in Vorversuchen getestet.

Die Beschaffung von GSF-eigenen Versuchseinrichtungen für einachsige Temperaturversuche sowie die Konstruktion und Beschaffung einer aufheizbaren servogeregelten Triaxialen Prüfmaschine für zylindrische Prüfkörper von 250 mm Höhe und 100 mm Durchmesser konnten so weit vorbereitet werden, daß diese Anlagen am Institut für Tieflagerung der GSF bis Mitte des Jahres 1978 zur Verfügung stehen werden.

Die Entwicklung der Rechenprogramme für die Berechnung der instationären Temperaturfelder bei der Einlagerung hochaktiver Abfälle bzw. bei entsprechenden Simulationsversuchen wurde fortgesetzt.

Das 2-dimensionale Temperaturprogramm ASTEFE 1 für großräumige Rechnungen wurde von der RWTH Aachen übernommen und an die KFK-Rechenanlage angepaßt.

Die Version des 3-dimensionalen Programms CUBSIT für großräumige Rechnungen wurde für die Berücksichtigung schräger Salzstockflanken erweitert und getestet.

Das Programm ASYTE wurde dahingehend erweitert, daß durch die Vorgabe von orts- und zeitabhängigen Randbedingungen die Auswirkungen von nicht idealisierten Lagerverhältnissen (begrenzttes Lagerfeld, gestufte Einlagerung) näherungsweise berücksichtigt werden können.

Ein Hilfsprogramm für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse von Temperaturversuchen wurde erstellt und für die Auswertung der Meßergebnisse aus den Temperaturversuchsfeldern 2 und 3 anhand von ASYTE-Rechnungen eingesetzt.

Für das Temperaturversuchsfeld 2 hat sich die bemerkenswert gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Experiment, die bereits bei vorläufigen Auswertungen beobachtet worden war, bestätigt. Sie läßt den Schluß zu, daß die in der Rechnung verwendete Wärmeleitfähigkeit des Salzes (die auch den bisher durchgeführten Parameterstudien zugrundeliegt) weniger als 10 % von dem tatsächlichen Wert bei Jüngerem Steinsalz abweicht bzw. daß derartige Temperaturfelder mit entsprechender Genauigkeit vorherbestimmt werden können.

Bei der Auswertung der Ergebnisse aus dem Temperaturversuchsfeld 3 ergab sich die Schwierigkeit, daß die im Experiment aufgetretenen axialen Konvektionseffekte mit den verfügbaren Rechenprogrammen nicht explizit berücksichtigt werden konnten. Dies hat zur Folge, daß die Rechnung für die nahe den Erhitzern gelegenen Meßstellen signifikant höhere Werte lieferte als die Messung.

Insgesamt ist jedoch die Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung recht gut, so daß auch hieraus eine Bestätigung der verwendeten Wärmeleitfähigkeit des Salzes zu entnehmen ist. Der genannte Konvektionseffekt, der effektiv einer Verschmierung der Wärmequellen nach oben gleichkommt, wurde mit Hilfe einer zweiten über den Erhitzern liegenden Quellzone derart simuliert, daß die im Nahbereich gemessenen Temperaturwerte besser wiedergegeben wurden. Die mittlere Abweichung zwischen gemessenen und gerechneten Werten ließ sich dadurch auf etwa 15 % drücken.

8. 1. 2 Planung eines Abschirmbehälters und der Einlagerungs- geräte

Für die Entwicklung eines Transportbehälters und der dazu gehörigen Einlagerungsgeräte, die die hochaktiven Abfälle transportieren, in einem Versuch im Salzbergwerk Asse einlagern und nach Beendigung rückholen können, sind verschiedene Komponenten und Systeme zu entwickeln, bevor das eigentliche technische Einlagerungskonzept festgeschrieben und die Beschaffung des Behälters und der Einlagerungsgeräte vorgenommen werden können.

Im wesentlichen müssen folgende Fragen geklärt werden:

- Abschirmung beim Transportbehälter und während des Einlagerungs- und Rückholvorgangs,
- Kokillengreifsystem mit dazugehörigem Tragkabel und -winde,
- Schiebersystem zum Abschluß des Lagerbohrloches,
- Ausstattung der Lagerbohrlöcher,
- Rückholsystem der Kokillen aus der Lagerbohrung,
- Dichter Einschluß des hochaktiven Abfalls in Kokillen,
- Materialauswahl für Kokillen, Behälter und Geräte.

Die im Rahmen eines vorläufigen Sicherheitsberichtes durchgeführten Abschirmrechnungen für den Hochaktiv-Behälter ergaben als optimale zylindrische Abschirmung eine Kombination aus 22 cm Blei und 12 cm Polyäthylen mit 2 % oder 10 % B_4C . Die Neutronenabschirmrechnungen wurden mit einem eindimensionalen Rechenprogramm "SABINE" durchgeführt, jedoch muß aufgrund der weitreichenden Streustrahlung eine genaue Transportrechnung der Neutronen durchgeführt werden.

Bei der Anwendung des "SABINE-Programms" auf das vorliegende Abschirmproblem kann, bedingt durch die Möglichkeit der eindimensionalen Lösung, die tatsächliche Geometrie der Abschirmung nur sehr ungenau berücksichtigt werden. Bei größerer Dimension der Abschirmung, wie sie z. B. bei Reaktoren vorkommt, ist das Rechenverfahren anwendbar. Bei den relativ geringen Abmessungen des hier zu untersuchenden Transportbehälters können sich dagegen Ungenauigkeiten ergeben, die nur schwer abschätzbar sind.

Um die oben genannten Schwierigkeiten zu umgehen, wurde für die Neutronenrechnungen ein dreidimensionales "Monte-Carlo-Programm" (SAM-CE) verwendet. Eine Monte-Carlo-Rechnung stellt ein numerisches Analog-Experiment dar, bei dem durch Simulation der Wechselwirkungsprozesse die Strahlenteilchen längst ihres Weges bis zur Absorption verfolgt werden.

Ein Vergleich beider Rechenmethoden ergab, daß das eindimensionale Rechenprogramm sehr konservative Ergebnisse zeigte. Aus diesen Gründen wurde ein Abschirmbehältermodell im Maßstab 1 : 4 konstruiert und gefertigt (vgl. Abb. 4), an dem Versuche mit γ - und Neutronenquellen durchgeführt werden sollen, um die Genauigkeit der Rechnungen zu testen.

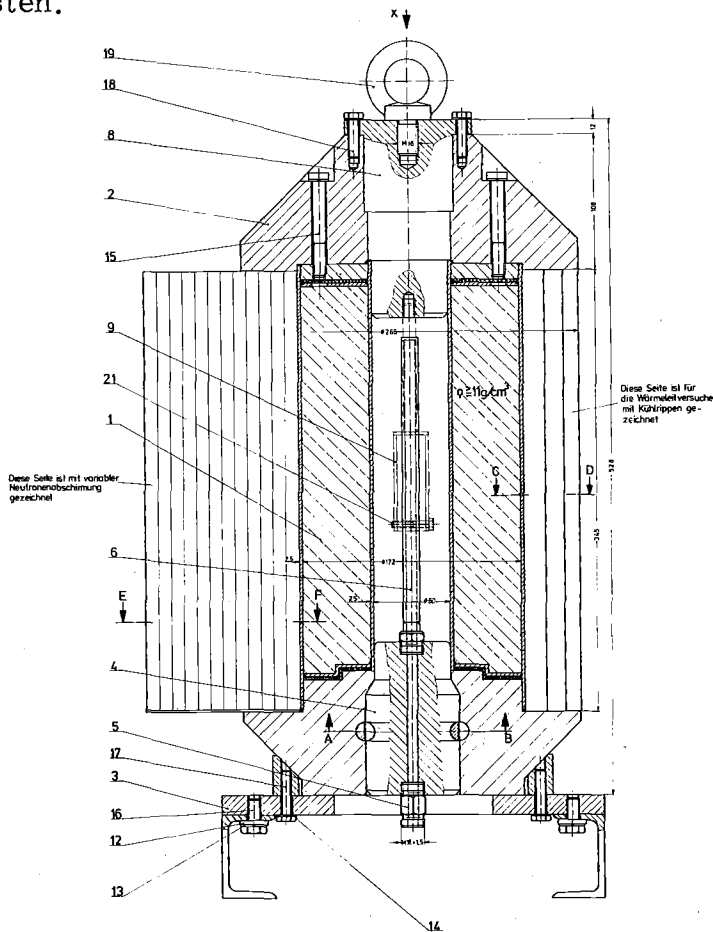


Abb. 4: Abschirmbehältermodell

In einem vorläufig aufgestellten Einlagerungskonzept war vorgesehen, analog dem Einlagerungssystem für mittelaktive Abfälle den Kokillengreifer im Transportbehälter anzuordnen. Der Auslösemechanismus, gesteuert durch einen Hubmagnet, sitzt dabei fest an einem Tragseil, das für den Entladevorgang des Behälters bzw. die Rückholung an den Greifer gekoppelt wird. Die Stromzuführung erfolgt über ein Kabel, das im Tragseil integriert ist. Untersuchungen bei Detailkonstruktionen des in Abbildung 5 gezeigten Greifersystems mit gefüllter Kokille haben Gewichte bis zu 400 kg erbracht. Ausreichend erprobte Tragkabel mit integrierter elektrischer Zuleitung mit einer zulässigen Bruchlast für dieses Gewicht und bei der zu erwartenden Temperatur sind handelsüblich nicht erhältlich. Deshalb wurden alternativ verkürzte Greifer ohne Abschirmstopfen entwickelt.

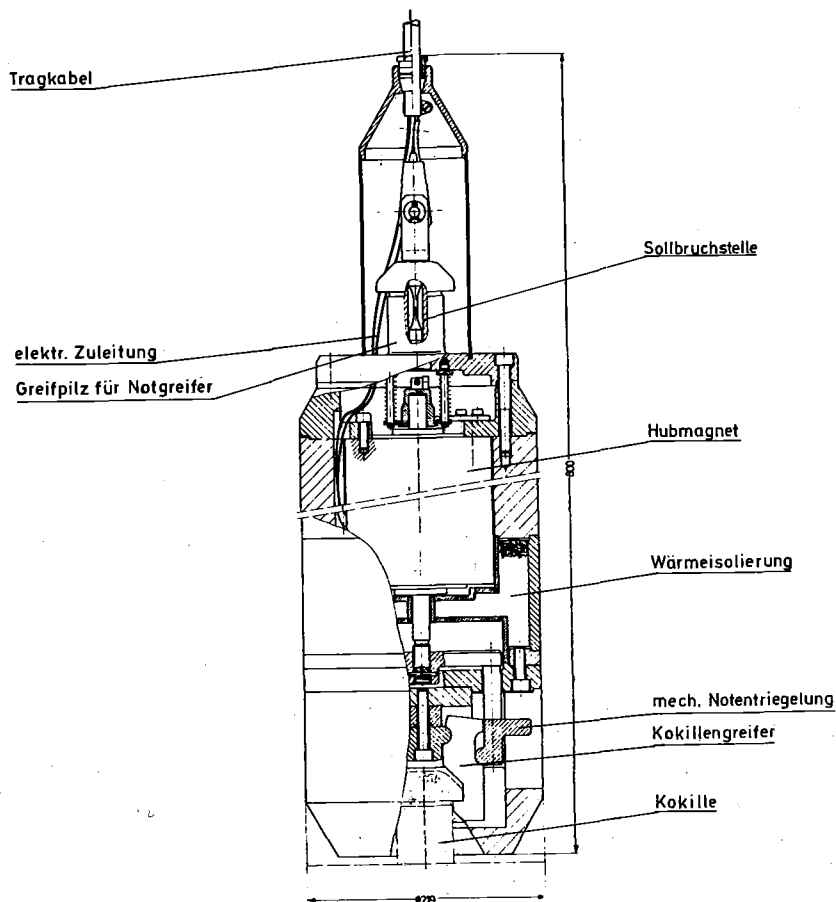


Abb. 5: Verkürzter Kokillengreifer mit Notrückholung und -entriegelung

An diesem verkürzten Kokillengreifer sitzen der Hubmagnet und die mechanische Greifvorrichtung fest am Tragkabel. Ein Abschirmstopfen entfällt, da der Be- und Entladevorgang mittels einer Abschirmglocke durchgeführt wird (vgl. Abb. 6).

Bei diesem Konzept entfällt die Durchführung des Tragkabels durch die Abschirmung, da die Tragkabelwinde in die Abschirmung integriert ist. Ein zweites Schiebersystem, analog wie am Fuß des Behälters, wird durch die Abschirmglocke geöffnet, der Kokillengreifer ist fest an das Tragkabel angeschlossen und kann die im Behälter befindliche Kokille greifen und einlagern bzw. nach dem Ablassen die eingelagerte Kokille aus dem Bohrloch in den Behälter zurückholen. Ein Ver- und Entkuppeln des Kokillengreifers mit dem Tragkabel entfällt.

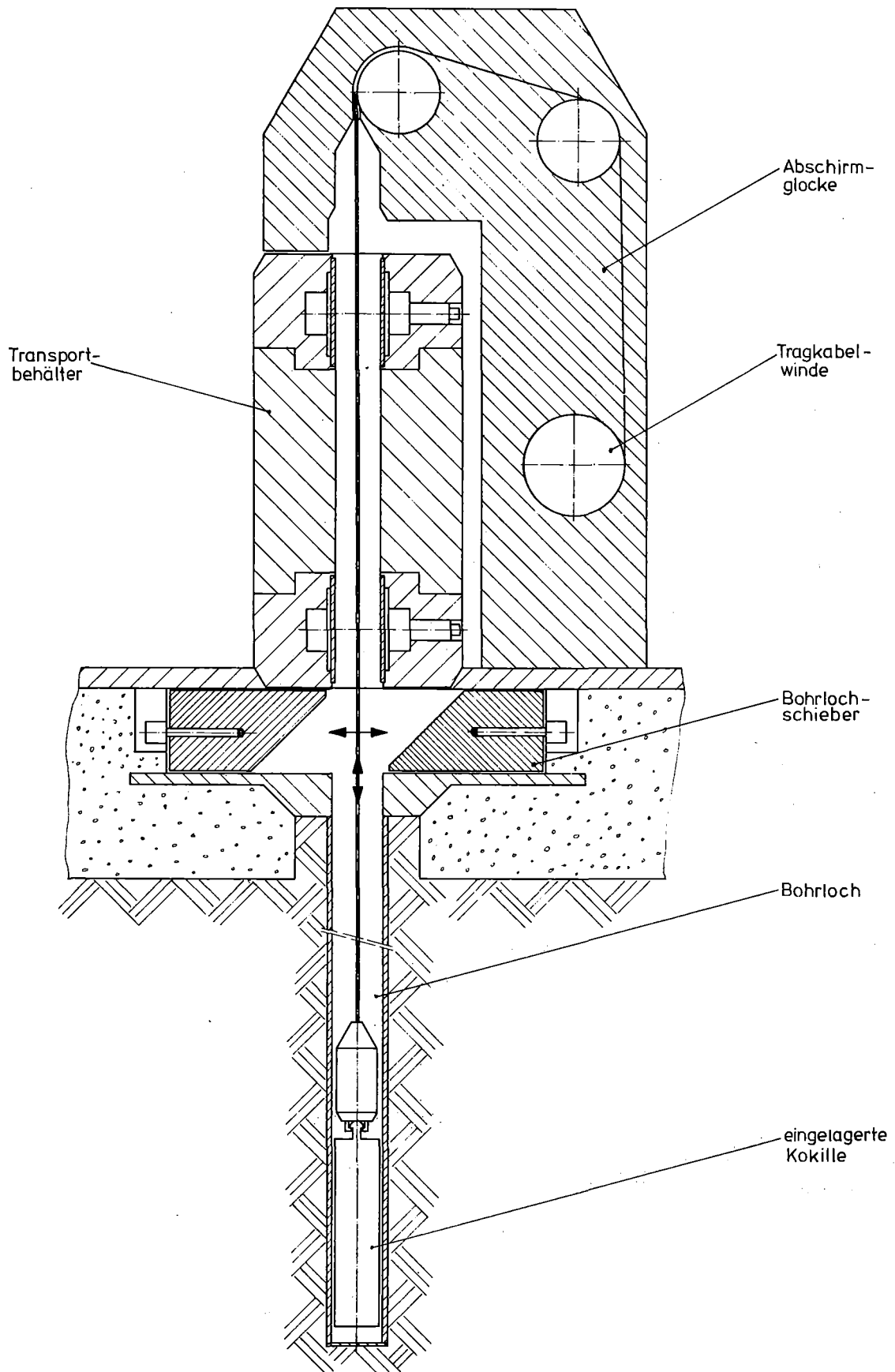


Abb. 6: Entladung des HAW-Behälters mit Abschirmglocke

8.2 Gebirgsmechanische Untersuchungen

8.2.1 Gebirgsbeobachtungsprogramm im Salzbergwerk Asse

Die jährlichen untertägigen Gebirgsbeobachtungen im Salzbergwerk Asse wurden programmgemäß fortgesetzt. Das umgestellte und erweiterte Orientierungssystem für die Lagebestimmung der Festpunkte [5] wurde durch eine Lotung im Schacht 2 ergänzt. Durch die Lotung und ein einheitliches Berechnungssystem werden alte Gebirgsbeobachtungspunkte in der Grube an das übertägige Festpunktnetz angeschlossen.

Die übertägigen Bezugspunkte können weitestgehend als bewegungsfrei angesehen werden. In den bisherigen Messungen ist auf jeder Sohle nach umfangreichen Testrechnungen eine Polygonseite nach Lage und Richtung für die Koordinatenberechnung der Kontrollpunkte als ortsfester Bezug angenommen worden. Mehrjährige Beobachtungen ergaben jedoch, daß die erforderliche Lagekonstanz nicht in allen Fällen vorhanden war. Um die daraus resultierenden Unsicherheiten bei der Berechnung und Deutung der untertägigen Bewegungserscheinungen im Umfang von einigen Millimetern pro Jahr so klein wie möglich zu halten, wurde die aufwendige Koordinatenübertragung von übertage erstmalig für die Gebirgsbeobachtungen angewendet. Dieses Verfahren soll bei allen zukünftigen Messungen beibehalten werden.

Da die Lagebestimmungen der Beobachtungspunkte gegenüber dem Vorjahr auf unterschiedlichen Bezugssystemen aufbauen, ist in diesem Jahr eine Aussage über Betrag und Tendenz von Punktverschiebungen nicht exakt möglich.

Der querschlägigen Einengung des Pfeilers zwischen den Abbauen 4 und 5 auf der 553 m-Sohle wurde wie bisher besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die Beobachtungen zeigen auch weiterhin keine Beschleunigung

des Stauchungsprozesses. Das Meßprogramm wurde für diesen Teil des Grubengebäudes beträchtlich erweitert. In den entsprechenden Pfeilern der 574 m-, 532 m- und 511 m-Sohle und einigen Zwischenbereichen wurden unter Verwendung von Drahtextensometern Vergleichsmeßstellen eingerichtet. Pfeilerstauchungen und -querdehnungen werden hier in vierteljährlichem Zeitabstand beobachtet und ausgewertet.

Für die Mehrzahl der Höhenfestpunkte an der Erdoberfläche wurden durch das Senkungsniwellement Hebungen in der Größe von einigen mm pro Jahr festgestellt.

Für die Erklärung dieses Phänomens wurde auf eine bereits früher geäußerte Vermutung einer Abhängigkeit zwischen den Höhenschwankungen an den Beobachtungspunkten und der Menge des jährlichen Niederschlages zurückgegriffen.

In Abb. 7 sind beispielhaft die Höhenänderungen des Punktes 9, der sich am Verwaltungsgebäude auf dem Werksgelände befindet, und die jährlichen Niederschlagsmengen an derASSE in Abhängigkeit von der Zeit gemeinsam dargestellt.

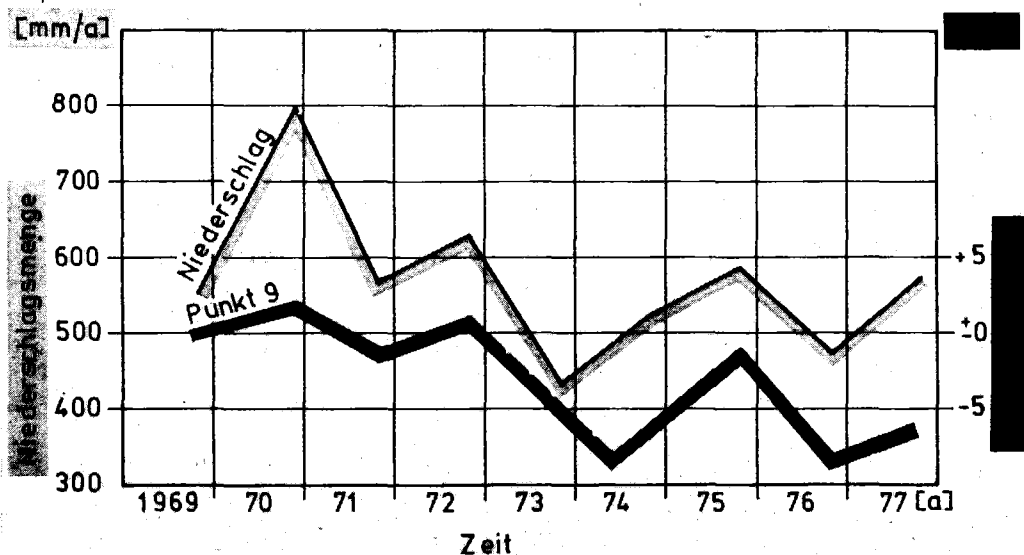


Abb. 7: Höhenänderung eines Nivellementpunktes und jährliche Niederschlagsmengen

Die Schwankungen der Niederschlagsmengen verlaufen + parallel zu der Höhenänderung. Für das Jahr 1977 lassen sich daraus die Hebungen an der Mehrzahl aller Punkte hinreichend begründen. Die Niederschlagskurve von 1969 bis 1977 hat insgesamt einen sinkenden Verlauf, der demjenigen der Höhenänderungen ähnlich ist. Es kann deshalb angenommen werden, daß die Höhenänderungen der einzelnen Punkte von Niederschlagseffekten überlagert werden und somit ausgewiesene Absenkungsbeträge nicht allein auf bergbauliche Nachwirkungen zurückzuführen sind.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, führt in der Schachtanlage Asse einen Temperaturversuch zur Ermittlung der Dichtigkeit des Salzgesteins gegenüber Flüssigkeiten durch. Im Rahmen dieses Versuches wurden die auftretenden Gebirgsdeformationen ermittelt und die Meßergebnisse der BGR zur Verfügung gestellt.

Die umfangreichen geomechanischen Untersuchungen, welche erstmalig direkt in einer im Salzgestein in großer Teufe hergestellten Kaverne durchgeführt werden können, dienen einerseits einem speziellen Forschungsprogramm, andererseits aber auch der laufenden Betriebsüberwachung unter sicherheitlichen Aspekten während der Bauphase und während der folgenden Betriebszeit dieser Kaverne. Die Installation von Extensometern im Rahmen des in situ-Untersuchungsprogramms für die Prototyp-Kaverne [6] wurde fortgesetzt und mit Fertigstellung der Kaverne abgeschlossen.

Ergänzend zu den bereits Ende 1976 in der Entladeanlage und im Firstbereich der Kaverne gesetzten fernelektrischen Mehrfach-Extensometern wurden mit Fortschreiten der Teufarbeiten in der Kavernen-Mittelebene, Teufe 979,2 m, drei 6-Punkt-Extensometer in 40 m tiefen Horizontalbohrlöchern installiert. Ferner wurden in rd. 989 m Teufe zwei weitere fernelektrisch betriebene 4-Punkt-Extensometer in 15 m tiefen und mit 50^g einfallenden Bohrungen eingebaut. Somit

konnten entsprechend der Planung im Kavernenbereich insgesamt 44 fernelektrisch betriebene Festpunkte zur Gebirgsbeobachtung in Betrieb genommen werden, welche in radialer Richtung die Verschiebungen des Gebirges um die Kaverne in unterschiedlichen Stoßtiefen laufend registrieren. Bei der Konzeption des Meßverfahrens und während der Einbauarbeiten waren wegen der gegebenen besonderen Verhältnisse und der zu erwartenden großen Gebirgsverschiebungen eine Reihe von technischen Problemen sowohl vorab als auch unmittelbar vor Ort zu bewältigen. Die Abfrage sämtlicher Meßstellen erfolgt zentral von einer Meßwarte in der Entladeanlage ca. 33 m oberhalb der Kaverne mit Datenfernübertragung zur 750 m-Sohle. Anfangs erfolgte die Datenerfassung im 4 h-Rhythmus, der schließlich auf einen 8 h-Takt erhöht werden konnte. Ergänzt wurden diese Gebirgsbeobachtungen durch manuell vorgenommene Konvergenzmessungen in der Kaverne (vgl. Abb. 8).

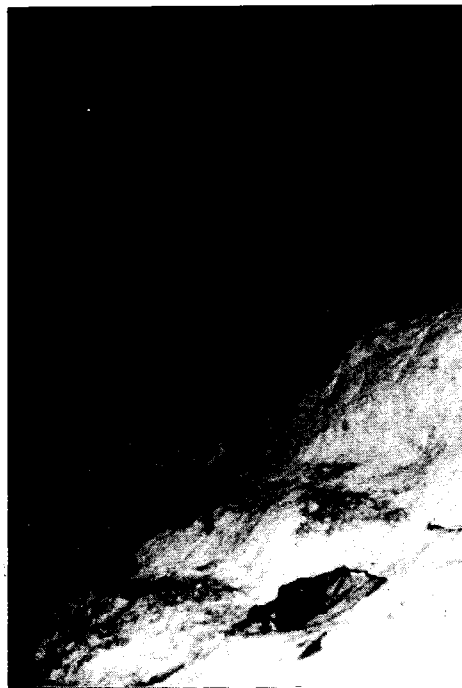


Abb. 8: Konvergenzmessung in der Prototyp-Kaverne
in 989 m Teufe

Dabei werden sowohl die Durchmesserkonvergenzen der Kaverne in zwei Meßebenen und verschiedenen Radialschnitten als auch die Sohlenhebungen und die Senkungen des Kavernendaches entlang des Kavernenhalses beobachtet. Außerdem wurden im Kavernenhals selbst sowie in der inzwischen umkonzipierten und erweiterten Baugrube für das Abschlußfundament der Kavernenanlage in rd. 930 m Tiefe weitere Konvergenzbeobachtungspunkte eingerichtet und die Gebirgsbeobachtungen aufgenommen.

Soweit es der betriebliche Ablauf der Bauarbeiten beim Auffahren dieser Kaverne zuließ, wurden im Berichtsjahr außerdem in Zusammenarbeit mit der BGR felstechnologische Untersuchungen in der Kaverne aufgenommen und wiederholt. Dabei wurden in bis zu 15 m tiefen Bohrlöchern in den Kavernenstößen Ultraschall-Laufzeitmessungen zur Kontrolle der Gebirgsauflockerung sowie Tests mit einer Dilatometersonde zur Aufnahme von "Arbeitskennlinien" des Salzgebirges in situ vorgenommen.

In Ergänzung zu den von der BGR und KFK durchgeführten Temperaturbeobachtungen im Kavernenbereich wurde am Jahresende eine weitere stationäre Temperaturkette mit 6 Temperaturfühlern in der Mittelebene der Kaverne eingebaut, die auch während des späteren Betriebes der Kaverne eine Kontrolle der Gebirgstemperatur und ihres Gradienten in radialer Richtung bis zu 15 m Stoßtiefe zuläßt.

In Zusammenarbeit mit einer Industriefirma wurde die Form der Kaverne nach deren Fertigstellung mit einer Laser-Echosonde optisch vermessen.

8. 2. 2 Gebirgsmechanische Modellrechnungen

Aus der Vielzahl der vorhandenen Computerprogramme zur Durchführung von Rechnungen nach der Methode der finiten Elemente wurden SAP IV und NON SAP ausgewählt, die als Standardprogramme zu bezeichnen sind. Ausgehend von den einfachsten Modellvorstellungen (linear-elastisches Verhalten, Zeit- und Ortsunabhängigkeit der Materialparameter, stationäre Temperaturfelder) sollen damit auch komplizierte und damit realistischere geomechanische Modelle berechnet werden.

Die Implementierung beider Programme in Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum der Technischen Universität Clausthal steht vor dem Abschluß. Sie werden voraussichtlich bereits Anfang 1978 verfügbar sein.

Die Aufstellung von zwei Modellen aus dem Bereich des Salzbergwerkes Asse ist bereits abgeschlossen. Dafür mußten zunächst zwei Plotprogramme für die graphische Darstellung des Elementennetzes und der Ergebnisse erstellt werden. Ein weiteres Programm, an dem z. Zt. noch gearbeitet wird, soll dazu dienen, daß das Elementennetz automatisch generiert wird, wodurch die Arbeit stark erleichtert und beschleunigt wird.

Um die Materialparameter, die in die Stoffgesetze einfließen und auf denen die Modellrechnungen letztlich beruhen, hinsichtlich Zeit-, Orts- und Temperaturabhängigkeit richtig beurteilen zu können, wurde bereits damit begonnen, neben den beschriebenen Arbeiten eine auf die Verhältnisse des Salzbergwerkes Asse bezogene rechnergestützte Geomechanikdatei zu erstellen.

8.3 Geologische und hydrologische Untersuchungen

Zur Erkundung der Asse-Salzstruktur sowie des Vorkommens und der Strömungsverhältnisse von Grund- und Tiefenwässern in der näheren und weiteren Umgebung des Salzbergwerkes Asse wurden die Messungen mit den bisher angewandten Verfahren fortgesetzt. Die untertägigen reflexionsseismischen Messungen unter Ausnutzung der Sprengenergie beim Aufahren der Kaverne wurden abgeschlossen. Die Auswertung mit Hilfe von Rechenprogrammen wurde eingeleitet.

Messungen nach dem elektromagnetischen Reflexionsverfahren ermöglichten die Verfolgung eines Reflexionshorizontes im Süden der Prototypkaverne zur Tiefe hin und ergaben eine Versteilung des Nordfallens bis in die Lotrechte im Niveau der Kavernensohle bei einer maximalen Annäherung an die Kavernenachse von 105 m. Der Versuch, mit elektromagnetischen Reflexionsmessungen die Raumlage des Salzspiegels von untertage aus zu orten, brachte nicht den gewünschten Erfolg; jedoch konnte ein durchgehender Reflexionshorizont mit einem Abtauchen von 10⁰ nach Südosten etwa im Niveau der projizierten Anhydritmittel-Hauptbänke ermittelt werden.

Spurenelementanalysen an Kernproben aus einer geologischen Erkundungsbohrung im Süden der Kaverne ergaben in 63-67 m Bohrteufe stark wechselnde, abnorm hohe Bromgehalte im Staßfurt-Halit, die auf metasomatische Prozesse zurückzuführen sind.

Innerhalb der Kaverne wurde das Vorkommen von Abschalungen kartiert. Die Aufnahme der Kavernenwandung hinsichtlich der petrographischen Ausbildung und geologischen Struktur ergab, daß die Schalenbildung in diesem Fall unabhängig von geologischen Einflußgrößen auftritt. Die Kaverne befindet sich vollständig im Staßfurt-Hauptsalz in typisch grobkristalliner Ausbildung mit Anhydritlinien von 1 bis 3 mm Stärke in durchschnittlich 10 cm Abstand. Diese Schichtung streicht in der Kaverne

Ost-West und fällt mit 25 bis 70° gegen Süden ein, wobei das Einfallen von Norden nach Süden steiler wird und im Durchschnitt rund 45° beträgt. Es treten Spezialfalten mit Amplituden bis in den Meterbereich auf. Ein Abtauchen der übergeordneten Faltenachse konnte nicht festgestellt werden.

In der Endladeanlage für die Kaverne wurde die Schichtung im Staßfurt-Halit anhand der Anhydritlagen kartiert. Das Streichen verläuft hier Nordwest-Südost, während das generelle Einfallen nur noch 18 bis 25° beträgt.

Im Schacht Asse 4 wurde die gebankte Zone innerhalb des Staßfurt-Carnallitites im Hinblick auf die eingeschalteten Steinsalzbänke untersucht und dabei die normale Lagerung für diesen Bereich bestätigt.

Für das Temperatur-Versuchsfeld 4 wurde ein geeigneter Standort nach geologischen Gesichtspunkten ausgewählt. In diesem Zusammenhang wurde der 2. westliche Querschlag der 750 m-Sohle geologisch kartiert.

Für einen Vorversuch zum Temperatur-Versuchsfeld 4 wurden ein Erhitzerbohrloch und sieben Beobachtungsbohrlöcher in Staßfurt-Salz auf der 775 m-Sohle niedergebracht. Da die Erhitzer sich im Polyhalitbänkchen-Salz (Na_2P) befinden, wurden die einzelnen Bänkchen in diesem Bereich kartiert. Unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse wurde ein Standort für die Kammer zur Erprobung fortschrittlicher Einlagerungstechnologien für mittelaktive Abfälle vorgeschlagen.

Polyhalitproben von sechs verschiedenen Stellen des Grubengebäudes der Schachtanlage Asse II wurden zur Altersbestimmung nach dem Kalium-Argon-Verfahren an das Laboratorium für Geochronologie der Universität Heidelberg gesandt.

Die erforderlichen hydrologischen Langzeitmessungen an den Quellen, Brunnen, Vorflutern und Untersuchungsbohrungen in der Umgebung wurden weitergeführt. Um die Meßergebnisse in den hydrologischen Aufschlußbohrungen zu verbessern, wurden eine Temperatursonde und eine Vertikalströmungs-sonde neu konstruiert. Die Vertikalströmungs-sonde zeigt - als Novum bei hydrologischen Flügelsonden - außer der Geschwindigkeit auch an, ob die Strömung nach oben oder unten gerichtet ist.

Für die Wasserprobenahme aus großen Tiefen in Bohrungen wurde ein mechanischer Wasserprobenehmer entwickelt und gebaut, der störungsfrei arbeitet und es erlaubt, aus jeder beliebigen Tiefe klar definierte Wasserproben zu ziehen. Die Wasserproben wurden chemisch analysiert.

Die Feldmessungen an vollgelaufenen Salzbergwerken wurden fortgesetzt. Es konnte an weiteren Beispielen gezeigt werden, daß sich in den Schachtröhren mit der Zeit verschiedene Wasserschichten ausbilden, welche in der Temperatur, der Dichte und dem Salzgehalt von oben nach unten zunehmen. Innerhalb der einzelnen Wasserschichten, welche einige Meter bis einige hundert Meter tief sind, betragen die vertikalen Temperaturgradienten etwa $1 \cdot 10^{-3}$ C/m. Die Dichte und die chemische Zusammensetzung sind in den meisten Fällen innerhalb einer solchen Wasserschicht sehr ähnlich. Von einer Schicht zur darunter befindlichen ändern sich die physikalischen und chemischen Parameter sehr stark. Die Übergangszonen liegen zwischen etwa 20 cm bis 3 m Dicke mit Temperaturgradienten von 1 bis ca. 50° C/m.

In Abbildung 9 sind die Temperaturgradienten in der Wassersäule eines vollgelaufenen Kalischachtes als Funktion der Tiefe dargestellt. Die Übergangszonen können sowohl als scharfe und etwa symmetrische Sprünge wie in Abb. 9 dargestellt, als auch unsymmetrisch, über einen größeren Bereich erstreckt, auftreten.

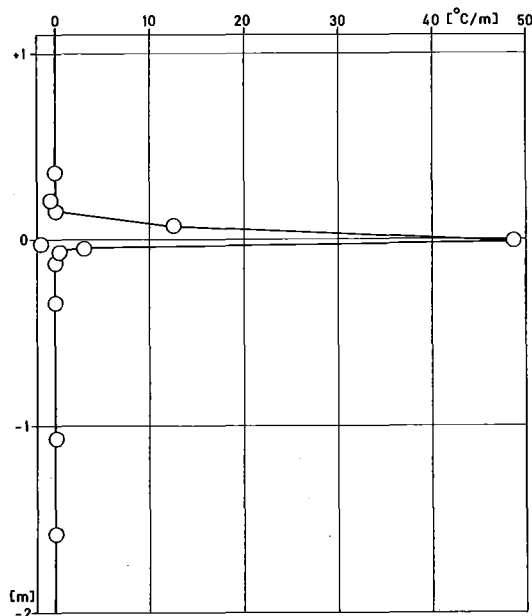


Abb. 9: Temperaturgradienten in der Wassersäule eines vollgelaufenen Kalischachtes als Funktion der Tiefe

Durch weitere Arbeiten soll das Verhalten dieser Grenzschichten in Feldversuchen genauer untersucht und in Laborversuchen nachgebildet werden. Ziel der Untersuchungen sind genauere Kenntnisse über die Entstehung solcher Grenzschichten und ihre Rolle, welche sie bei der Ausbreitung eventuell ausgelaugter Radionuklide spielen.

Durch einen speziellen Zuschnitt der untertägigen Hohlräume in einem zukünftigen Endlager lassen sich radioaktive Abfälle sicher und auf Dauer vor einem Kontakt mit Wasser geschützt lagern. Eine Patentanmeldung ist erfolgt. Der Patentantrag schlägt Maßnahmen vor, mit denen ein Zutritt von Wasser in die Endlagerbereiche verhindert werden kann. Selbst nach einer Überflutung ist eine Versiegelung durch vorab verlegte Rohrleitungen von übertage mit geeigneten Materialien möglich und sicher durchführbar.

Weiterhin wurde ein Verfahren zur Umkleidung von Abfallfässern mit einer auslaugbeständigen, geschlossenen Hülle vorgeschlagen und zum Patent angemeldet. Das Verfahren sieht vor, radioaktive Abfälle mit einer gegenüber Wasser und Salzlösungen beständigen allseitigen Hülle aus z. B. Kunstharzen zu überziehen. Wenn dieses Kunstharz Styrol als Lösungsmittel enthält, lassen sich Formkörper aus geschäumten Polystyrol zur Aufnahme des mit Bindemittel verfestigten Abfalls verwenden. Nach dem Aushärten der Bindemittel kann der Formkörper durch z. B. Styrol-haltiges Polyesterharz ersetzt werden und die Kunstharzummantelung geht mit dem Abfall eine feste und dichte mechanische Verbindung ein. Die Umhüllung mit Kunstharzen läßt sich bei allen heute gebräuchlichen Abfallbehältern wie 200 - und 400 l-Fässern sowie bei verlorenen Betonabschirmungen anwenden.

8.4 Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Einlagerung von bituminierten und zementierten Abfällen in unterirdischen Lagerräumen

Die Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Einlagerung von bituminierten und zementierten Abfällen in unterirdischen Lagerräumen wurden mit der Bestimmung des Einflusses der Dimensionierung eines Lagerraumes auf die Temperaturentwicklung fortgesetzt. Es wurden dabei die auftretenden Temperaturen in zylindrischen Lagerräumen ($V = 15.000 \text{ m}^3$, Durchmesser/Höhe - Verhältnis $D/H = 0,1$ bis $1,5$) beim Lagern von spaltproduktartigen Bitumen/Salz-Gemischen (ca. 50 Gew. % Salze) und Zement/Salz-Gemischen (ca. 10 Gew. % Salze) mit und ohne Plutonium berechnet.

Die spezifische Anfangsaktivität der Produkte ohne Plutonium betrug $0,1 \text{ Ci/l}$ bis 1 Ci/l . Für die Produkte mit Plutonium wurden folgende Aktivitätswerte gewählt:

Für Bitumenprodukte:

0,1 Ci/l an Spaltprodukten und $5,8 \cdot 10^{-3}$ Ci/l an Plutonium,

Für Zementprodukte:

$2,6 \cdot 10^{-2}$ Ci/l an Spaltprodukten und $1,5 \cdot 10^{-3}$ Ci/l an Plutonium.

Das Alter der Spaltprodukte wurde mit 0,5 a, 1 a und 2 a angenommen. Die Einlagerungsart der Produkte wurde als instantan angenommen, der Befüllungsgrad der Lagerräume zu 100 % gesetzt.

Die Rechnerergebnisse zeigen, daß die Dimensionierung eines Lager- raumes einen starken Einfluß auf die Temperaturentwicklung hat. Für die Maximaltemperatur gilt: $T_{\max} = \Delta T_{\max} + T_{\text{Salz}}$. Für T_{Salz} wurden 37°C entsprechend einer Tiefe von etwa 1000 m zugrundegelegt.

Als Beispiel für die Ergebnisse zeigt Abb. 10 die auf der Zylinderachse auftretende Maximaltemperatur in Abhängigkeit vom D/H-Verhältnis beim Lagern von spaltprodukt- und plutoniumhaltigen Bitumenprodukten mit einem Alter der Spaltprodukte und des Plutoniums von 0,5 a. Man erkennt daraus, daß der maximale Temperaturwert, und damit auch der ungünstigste Fall, bei einem D/H-Verhältnis von etwa 1 auftritt. Stark gestreckte oder flache Lagerräume ($D \ll H$ oder $D \gg H$) führen zu günstigeren Temperaturverhältnissen. Ferner geht aus den Berechnungen hervor, daß bei den hier betrachteten Aktivitätsverhältnissen Spaltprodukte/Plutonium die maximale Temperatur (T_{\max}) hauptsächlich durch den Beitrag des Plutoniums bestimmt wird

Die aus den Berechnungen gewonnenen Ergebnisse sind aus folgenden Gründen konservativ:

- Durch die Annahmen, daß die Lagerräume vollständig befüllt sind und ihr Inhalt kompakt ist, ergibt sich eine höhere Wärmeleistung

pro Volumeneinheit, als sie in der Praxis aufgrund der tatsächlich kleineren erreichbaren Füllungsgrade auftreten wird.

- Die effektive Wärmeleitfähigkeit des Lagerrauminhalts wird höher sein als in den Rechnungen zugrundegelegt wurde, da die Befüllung der Lagerräume nur mit Abfallprodukten angenommen wurde, ohne den Einfluß des miteingelagerten Faßwerkstoffs auf die Wärmeab-
leitung aus dem Abfall an das umgebende Salz zu berücksichtigen.

Infolge dieser konservativen Annahmen werden in der Praxis niedrigere Temperaturen auftreten, als sie hier ermittelt wurden.

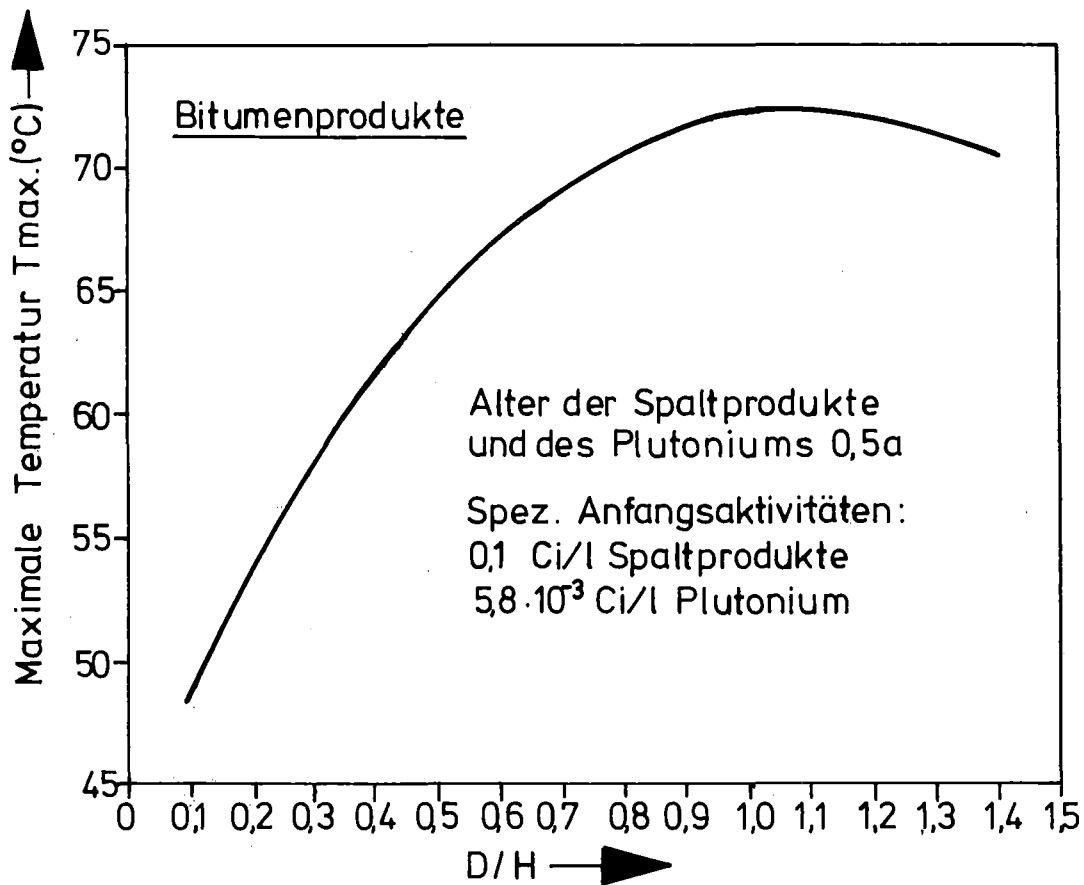


Abb. 10: Maximale Temperatur in zylindrischen Lager-
räumen (15.000 m^3) bei instantaner Einlagerung
von spaltprodukt- und plutoniumhaltigen Bitu-
menprodukten in Abhängigkeit vom Verhältnis
D/H

8.5 Simulationsversuch mit verrohrtem Bohrloch

Die für die Versuchsdurchführung wesentlichen Komponenten, wie Leistungsregelung für die Erhitzer, batteriegepufferte Stromversorgung für die Meßwerterfassungsanlage, Meßstellenumschalter und die Rechereinheiten, wurden bestellt und zum Teil bereits erprobt.

Die für die Bohrlochauskleidung bestimmten Rohrstücke wurden im Berichtszeitraum vollständig ausgeliefert und stehen nun für die weitere Bearbeitung zur Verfügung.

Für die Auslegung der Erhitzer sowie zur Ermittlung der im Simulationsversuch zu erwartenden Temperaturbedingungen wurde ein Versuchsaufbau erstellt und betrieben.

Eine Profilsonde zur Inspektion von Bohrlöchern unterschiedlichen Kalibers wurde gebaut und erprobt. Die Untersuchungen ergaben wertvolle Hinweise auf die in den Simulationsversuchen zu erwartenden Versuchsbedingungen. Weiterhin wurden Labor- und Hilfsgeräte für die Komponentenerprobung sowie Heizkabel und Meßaufnehmer beschafft.

1. Erhitzerversuch

Elektrisch gespeiste Wärmequellen - im folgenden als Erhitzer bezeichnet - dienen in den geplanten Simulationsversuchen zur Darstellung der thermischen Eigenschaften der hochradioaktiven Abfälle. Es wurde eine Erhitzerkonzeption entwickelt, welche auf eine Vielzahl von Erhitzerformen anwendbar ist.

Koaxiale Heizleiter, bestehend aus einem temperaturbeständigen Widerstandsdraht, umgeben von MgO als Isolator und einem Schutzmantel aus rostfreiem Stahl (Inox), werden auf zylindrischen Trägerkörpern aus VA-Stahl aufgebracht. Die Befestigung erfolgt dabei durch Verstemmen in einer Spiralnute, welche auf dem Trägerkörper

eingedreht ist. Für den elektrischen Übergang vom Heizleiter zu den Stromanschlüssen werden sogenannte Kaltleiter mit Ni-Seele über Muffen mit dem Heizleiter verschweißt (Abb. 11).

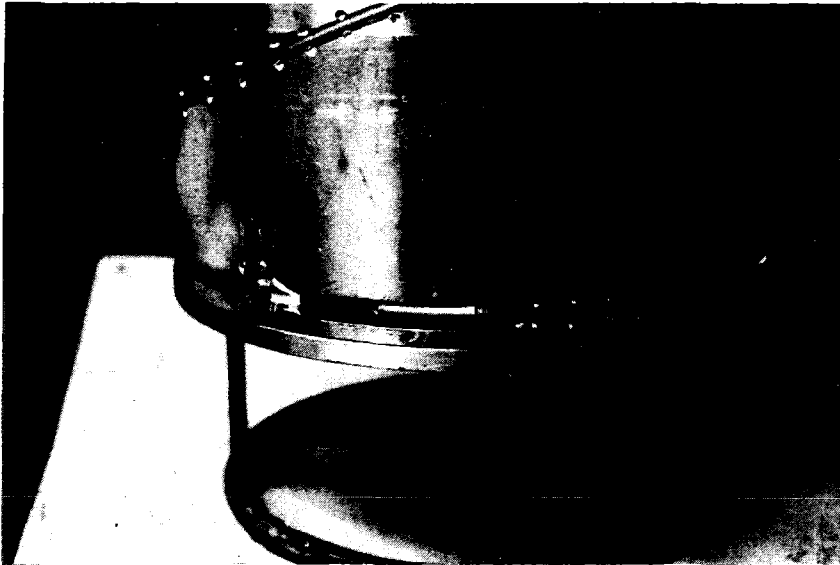


Abb. 11: Verbindungsmuffe Heizleiter-Kaltleiter in tangentialer Anordnung

Zur Erprobung dieser Bauform in mechanischer, thermischer und elektrischer Hinsicht wurde ein Versuchsaufbau, bestehend aus einem zylindrischen Erhitzer ($l = 800$; $\phi = 220$) umgeben von einem thermisch isolierten Futterrohr mit den für die Simulationsversuche vorgesehenen Abmessungen errichtet und betrieben (Abb. 12). Die Meßwerterfassung erfolgte mit der bereits gelieferten Meßwerterfassungsanlage UPH 3200.

Während der Fertigung der Erhitzer und bei der Durchführung von drei Testreihen konnten folgende Erfahrungen gesammelt bzw. Ergebnisse erzielt werden:

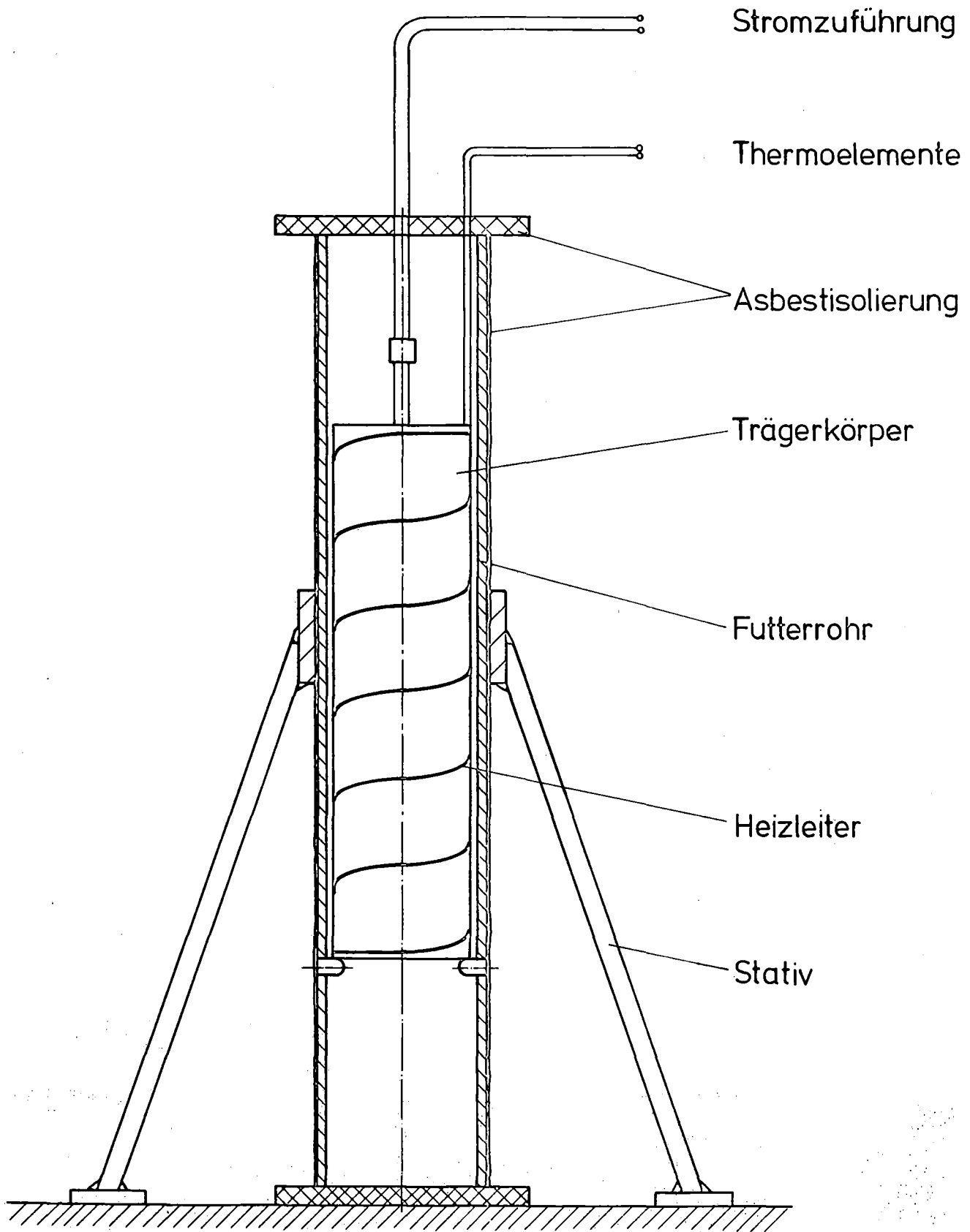


Abb. 12: Versuchsaufbau zur Erhitzer-Erprobung

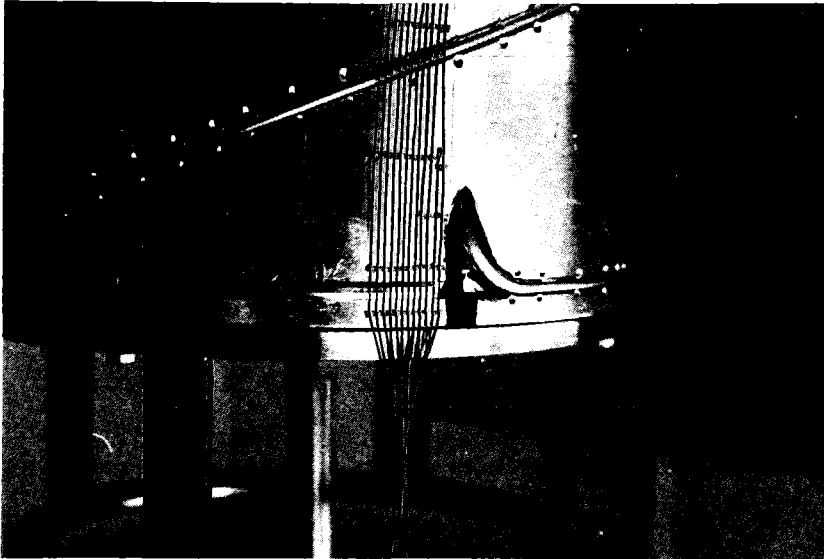


Abb. 13: Axiale Durchführung des Heizleiters;
Mantelthermoelemente

- a) Die Konfektionierung der Heizleiter mit Verbindungsmuffe und Kaltleiter kann in der Thermoelementwerkstatt (HW) des KFK zuverlässig durchgeführt werden. Zur Erleichterung der Befestigung auf dem Trägerrohr ist eine tangentielle Anordnung (Abb. 11) der Verbindungsmuffe einer axialen Anordnung (Abb. 13) vorzuziehen.

- b) Bei einer Auslegung der Erhitzer auf eine elektrische Leistung (N_N) von 2 kW kann eine Überlast von 50 % über 24 h ohne Störungen verkraftet werden. Dabei wurden Temperaturen bis zu 900°C erreicht. Die Anordnung übersteht elektrische und thermische Schockbelastung. Nachträgliche mechanische Behandlung der Kaltleiter beeinflusst nicht deren elektrische Isolationswerte. Störungen durch elektrische Überschläge treten an den offenen Enden der Kaltleiter auf, falls diese hohen Temperaturen

($T \geq 400^{\circ}\text{C}$) ausgesetzt sind; desgleichen oxidieren die verwendeten Ni-Verbindungselemente. Es ist beabsichtigt, die erstgenannte Schwierigkeit durch Keramik-Metall-Abschlüsse zu beheben. Zur Vermeidung von Oxidation wird es erforderlich sein, die Ni-Teile z. B. durch Vergolden zu schützen.

- c) Durch insgesamt 17 Thermoelemente wurde die Temperaturverteilung auf dem Erhitzer und dem Futterrohr gemessen. In Abb. 14 ist die Temperaturverteilung auf einer Mantellinie des Erhitzers für $N = 2 \text{ kW}$ dargestellt. Die Temperaturspitzen liegen auf den Windungen des Heizleiters, die "Welligkeit" beträgt maximal 20 % der mittleren Erhitzertemperatur von $T = 425^{\circ}\text{C}$. Bei diesem Wert stellt sich auf dem Futterrohr, welches mit 3 mm starkem Asbestband isoliert ist, eine mittlere Temperatur von 230°C ein.

Die lokalen Temperaturschwankungen betragen dort weniger als 1 % des angegebenen Wertes. Die getestete Wicklungsdichte ist deshalb für die geplanten Simulationsversuche voll ausreichend.

- d) Für die Abfrage der Temperaturmeßstellen wurde die neu beschaffte Meßwerterfassungsanlage in Betrieb genommen und dabei umfangreichen Funktionstests unterzogen. Die Anpassung extrem dünner und langer Thermoelemente, wie sie im vorliegenden Fall verwendet wurden, verursacht unvorhergesehene Schwierigkeiten, da der Meßwert vom Innenwiderstand ($1 \text{ k}\Omega$) des Thermoelements abhängt. Dieses Problem ist durch die Verwendung von Halbleiterschaltern (MOS) bedingt. Da für die Simulationsversuche aus Festigkeitsgründen erheblich dickere Thermoelemente angewendet werden, läßt sich der genannte Einfluß auf den Meßwert deutlich verringern. Gleichzeitig werden aber auch an der Elektronik entsprechende Änderungen erforderlich sein.

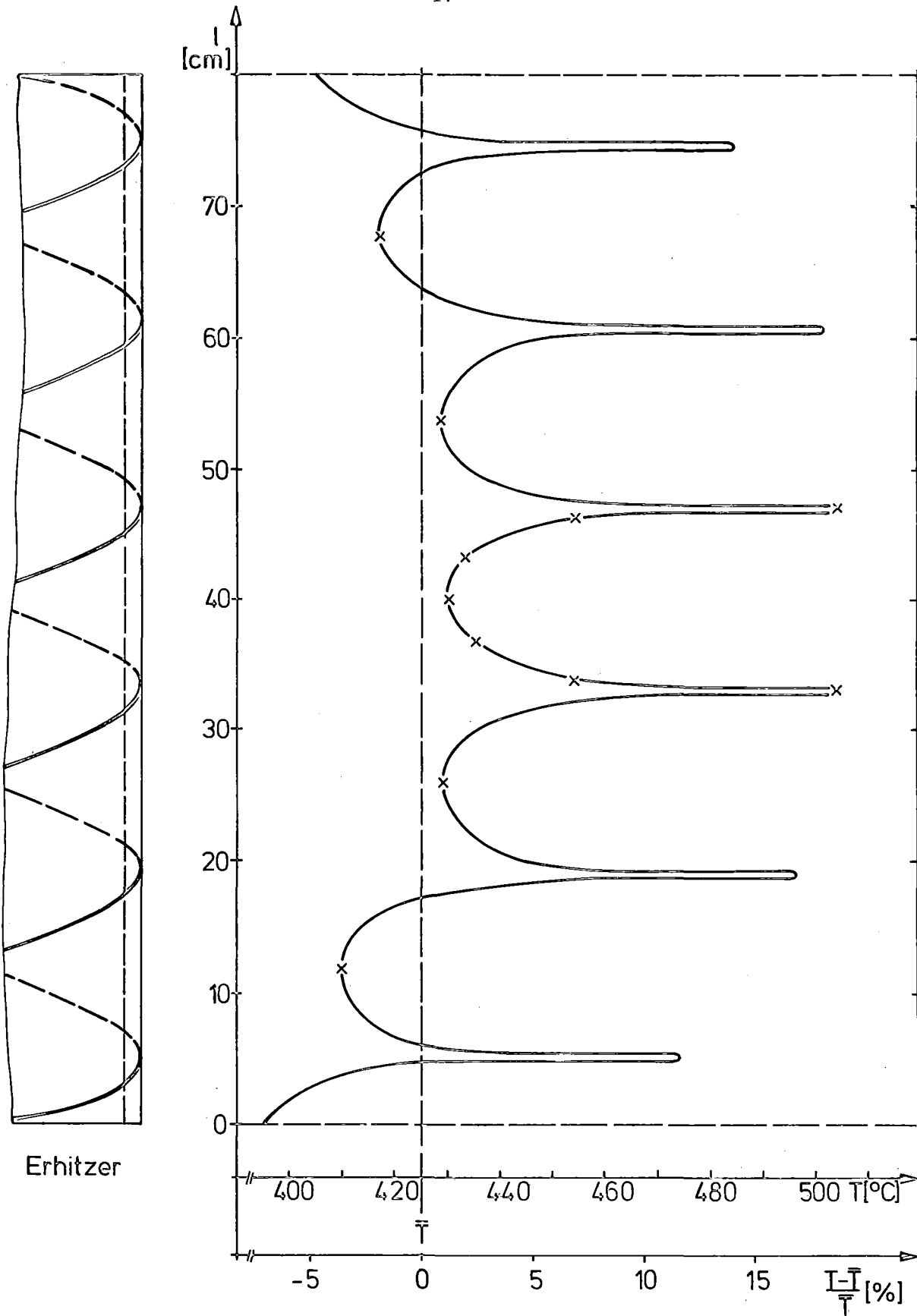


Abb. 14: Temperaturverteilung auf der Erhitzer-
oberfläche

Der Erhitzerversuch hat Erfahrungs- und Meßwerte für die Auslegung und den Bau von zukünftigen Erhitzern geliefert. Durch die Inbetriebnahme der Meßwerterfassungsanlage konnten prinzipielle Schwierigkeiten bei der Anwendung hochohmiger Thermoelemente erkannt werden.

2. Profilsonde

Die Kenntnis von Oberflächenbeschaffenheit und Querschnittsform von Bohrlöchern ist für den Einsatz verschiedener Meßverfahren zur Bestimmung des Konvergenzdrucks von entscheidender Bedeutung. Vor allem ist zu klären, in wieweit die Oberflächenrauigkeit (Rißbildung) und die Querschnittsform durch die wärmeinduzierte Konvergenz beeinflußt werden.

Neben allgemeineren Aspekten ergibt sich die Notwendigkeit derartiger Untersuchungen aus der Beschaffenheit der beiden vorgesehenen Meßverfahren für die Ermittlung der Druckbelastung der Verrohrung in dem geplanten Simulationsversuch.

Als konventionelle Meßwertaufnehmer werden hochtemperaturfeste Dehnmeßstreifen (DMS) verwendet, die auf der Innenseite der Verrohrung angebracht werden. Dieses Verfahren liefert zunächst die durch die Druckbelastung bewirkten Verformungen der Rohrstrecke, die dann mit einem geeigneten Auswerteprogramm auf die entsprechenden Druckwerte umgerechnet werden. Für diese Methode ist wichtig, daß der kreisförmige Querschnitt des Bohrlochs während seiner Konvergenz erhalten bleibt, da sonst Beulungen der Rohrstrecke auftreten können, die durch die DMS-Aufnehmer nicht richtig erfaßt werden können und auch kaum interpretierbar wären. Als direktes Druckmeßverfahren ist vorgesehen, spezielle Druckmembranen auf die Verrohrung aufzuschweißen, und den Druck, der sich in dem mit Quecksilber gefüllten Hohlraum zwischen Membran und Rohr aufbaut, mit einem über ein Kapillarrohr angeschlossenen Druckaufnehmer zu messen. Dieser Druck ent-

spricht dem zu bestimmenden Auflagedruck des Salzes, sofern dieses gleichmäßig an der Membran aufliegt und sich nicht aufgrund extremer Rauigkeiten teilweise auf der Membranunterlage, d.h. der Verrohrung, abstützt.

Um zu ermitteln, inwieweit die Bohrlöcher insbesondere nach stärkerer wärmeinduzierter Konvergenz den genannten Kriterien genügen, wurde eine Bohrlochinspektionssonde entwickelt und für die Untersuchung der Bohrlöcher eines abgeschlossenen Temperaturversuchs eingesetzt.

Die Sonde (Abb. 15) erlaubt die Erstellung von Oberflächenabdrücken sowie gleichzeitig die Bestimmung von je zwei zueinander senkrechten Durchmessern eines Bohrlochs.

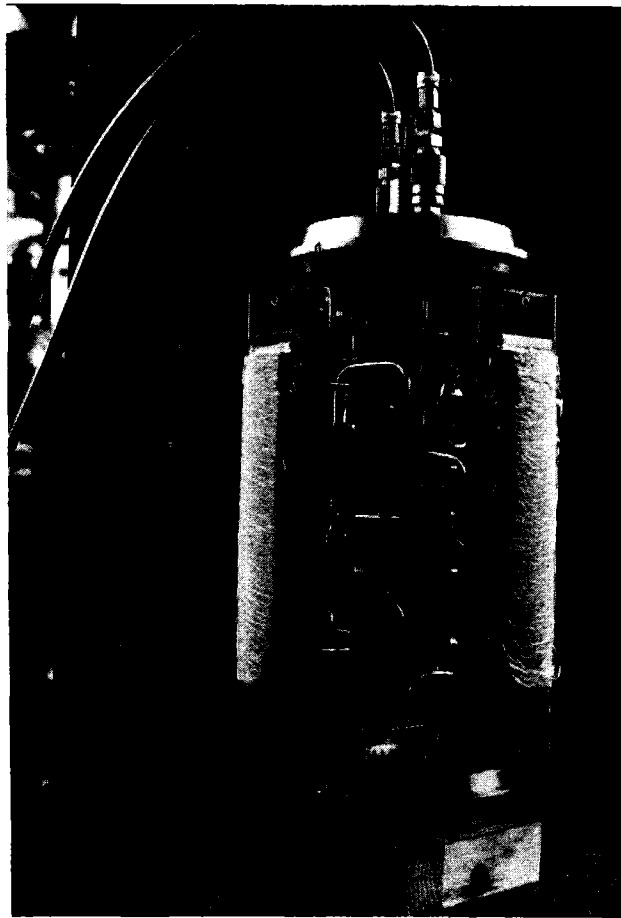


Abb. 15: Profilsonde mit angeschlossenen Hydraulikschläuchen, in ausgefahrenem Zustand

Die Abdrücke werden durch hydraulisches Anpressen von plastilinbeschichteten Platten an die Bohrlochinnenwand gewonnen. Aus dem dabei auf mechanischem Wege mit Schleppzeigern registrierten Ausfahrhub der Andruckplatten lassen sich die beiden Durchmesser bestimmen (Abb. 16). Der Einsatz der Sonde erfolgte nach zufriedenstellender Laborerprobung im Bergwerk Asse auf der 750 m-Sohle in den beiden Bohrlöchern des Temperaturversuchsfeldes 3. Dabei wurden mehrere Abdrücke in verschiedenen Teufen der Bohrlöcher angefertigt.



Abb. 16: Hydraulik-Zylinder der Profilsonde mit Schleppzeiger und Skala

Durch Ausgießen der Plastilinabdrücke mit einer speziellen gipsartigen Masse konnte ein genaues Abbild der Bohrlochoberfläche erstellt werden. Mit Hilfe der auf den Skalen angezeigten Werte und der mittleren Dicke der Plastilinschichten wurde auf geometrischen Wege der Durchmesser des Bohrlochs bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, daß das Salz, wenn man die Unregelmäßigkeiten an der Salzoberfläche vor der Aufheizung berücksichtigt, sehr gleichmäßig konvergiert (Abb. 17). Abweichungen von der runden Querschnittsform des Bohrlochs vor und nach der Aufheizung konnten im Rahmen der Meßgenauigkeit (± 2 mm) nicht festgestellt werden. Diese Ergebnisse sagen aus, daß abhängig von der Beschaffenheit des Bohrlochs bei der Erstellung (Oberflächenrauigkeit 3 mm, Kreisform) beide Druckmeßverfahren verwendbar sind. Zur Inspektion der Bohrlöcher, die für den Simulationsversuch erstellt werden, wird die Profilsonde wiederum eingesetzt werden.

8. 5. 1 Entwicklung einer Standard-Sonde für systematische Untersuchungen zur wärmeinduzierten Bohrlochkonvergenz

Die Entwicklung der Standard-Sonde wurde fortgeführt. Die Konstruktion der Sonde selbst, die im wesentlichen aus dem zentralen beheizten Körper und zwei kleineren nicht beheizten Teilstücken besteht, ist nahezu abgeschlossen. Für die in line-Konvergenzmessung ist die Sonde mit fünf Ringflächenelektroden ausgestattet. Außerdem sind einige Thermoelemente zur Temperaturüberwachung vorgesehen.

Die Abb. 18 zeigt eine Schemazeichnung der in einem Bohrloch eingebrachten Sonde einschließlich der an der Bohrlochwand sitzenden äußeren Ringelektroden für die Konvergenzmessung.

Die Datenerfassungs- und Steuerungselektronik sowie die Stromversorgungseinheit für den Erhitzer wurden bestellt.

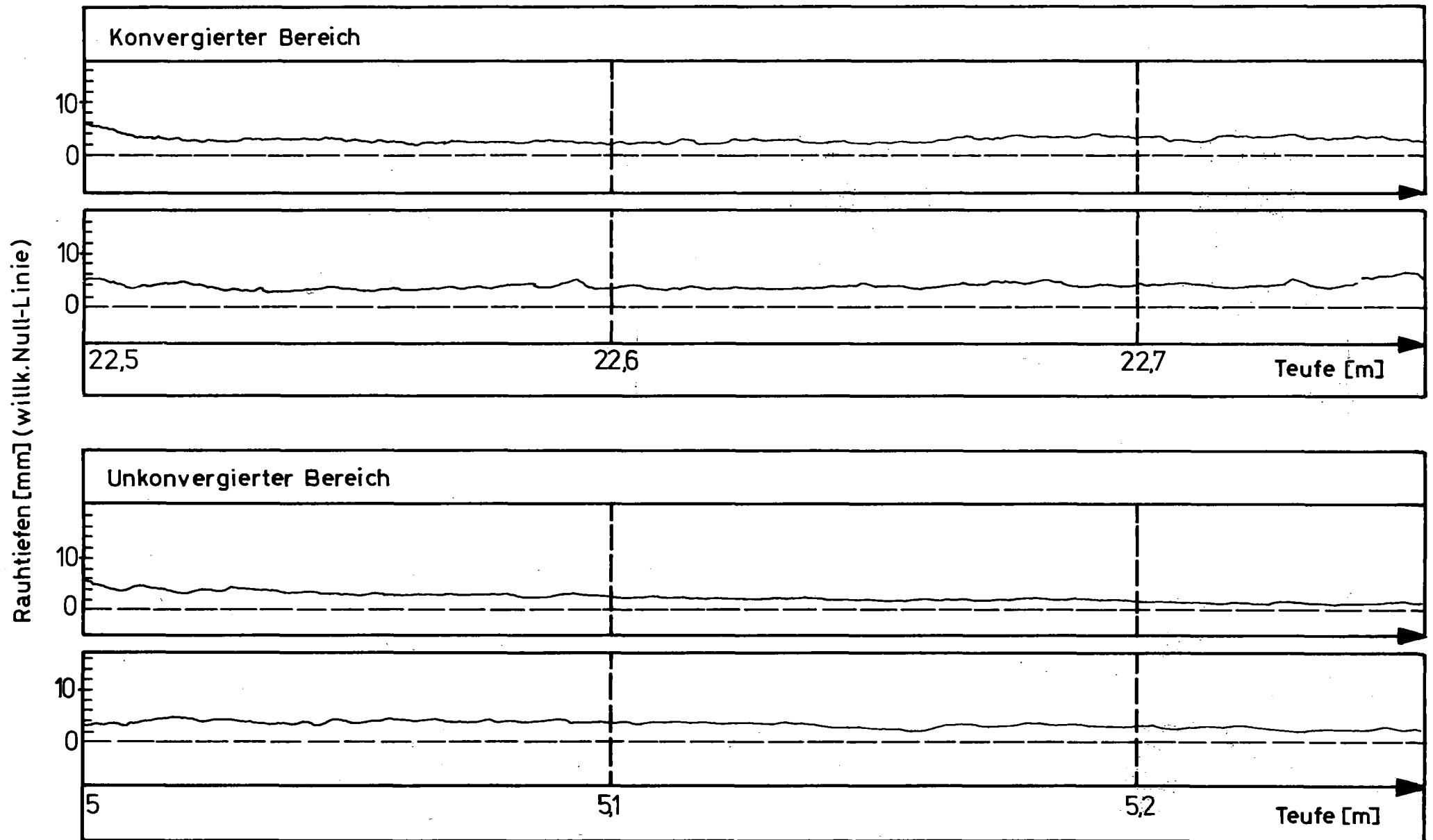


Abb.17: Oberflächenprofil des Salzes Bohrloch 4, Kammer 6, 750m Sohle

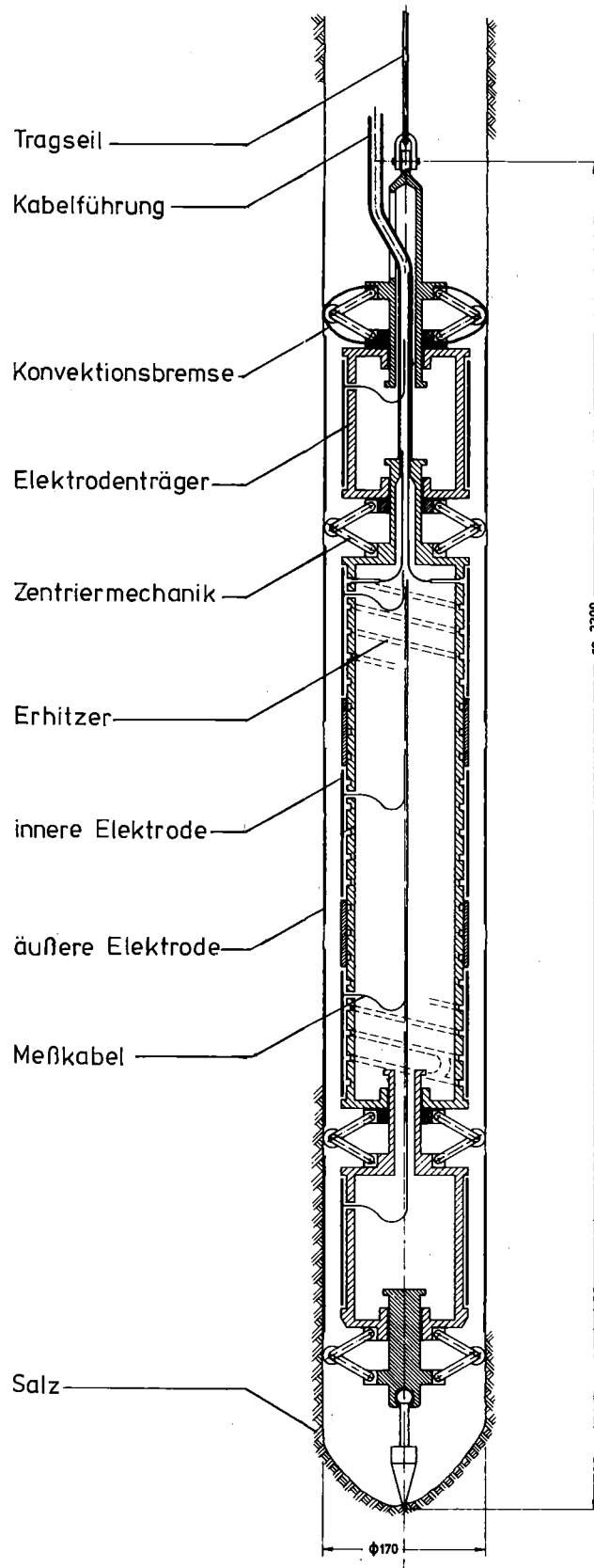


Abb. 18: Mechanisches Prinzip der Standardsonde

Die Elektronik, die mit einem Microprozessor ausgestattet ist (Abb. 19), erfüllt folgende Funktionen:

- Eingangsumschaltung für fünf Kapazitäten (für die Konvergenzmes-
sung), sieben Thermoelemente sowie die Meßsignale für Erhitzer-
spannung und Strom,
- Meßsignalverarbeitung, Anzeige und Archivierung,
- Meßzyklus-Steuerung,
- Regelung der Erhitzerleistung durch Pulsgruppensteuerung,
- Stromausfallregistrierung durch Verwendung einer Batterie-
pufferung für Timer und Zeitspeicher.

Eine Anschlußmöglichkeit an die auf der Asse zu installierende Klein-
rechneranlage ist vorgesehen.

8.5.2 Planung, Entwicklung, Beschaffung und Montage der meß- technischen Überwachungseinrichtungen

Bei der Durchführung der geplanten Simulationsversuche und beim Ein-
satz der Standardsonde werden mehrere physikalische Meßgrößen
(Temperaturen, Dilatationen, Drücke, Kapazitäten, Spannungen und
Leistungen) an einer Vielzahl von Meßstellen zu erfassen und zu ver-
arbeiten sein.

Unter diesen Voraussetzungen und unter Berücksichtigung der speziel-
len untertägigen Bedingungen wurde bereits in der Konzeptphase der
Experimente deutlich, daß eine lückenlose Statusüberwachung der Ver-
suche, z. B. die Einhaltung auslegungsbedingter Grenzwerte auf der
Verrohrung, nur durch Einsatz spezieller software auf einem geeig-
neten Kleinrechnersystem gewährleistet werden kann.

Es wurde deshalb ein kleinrechnergestütztes Datenerfassungs- und
Steuerungssystem entworfen, bei dem mit Hilfe von Anwenderpro-

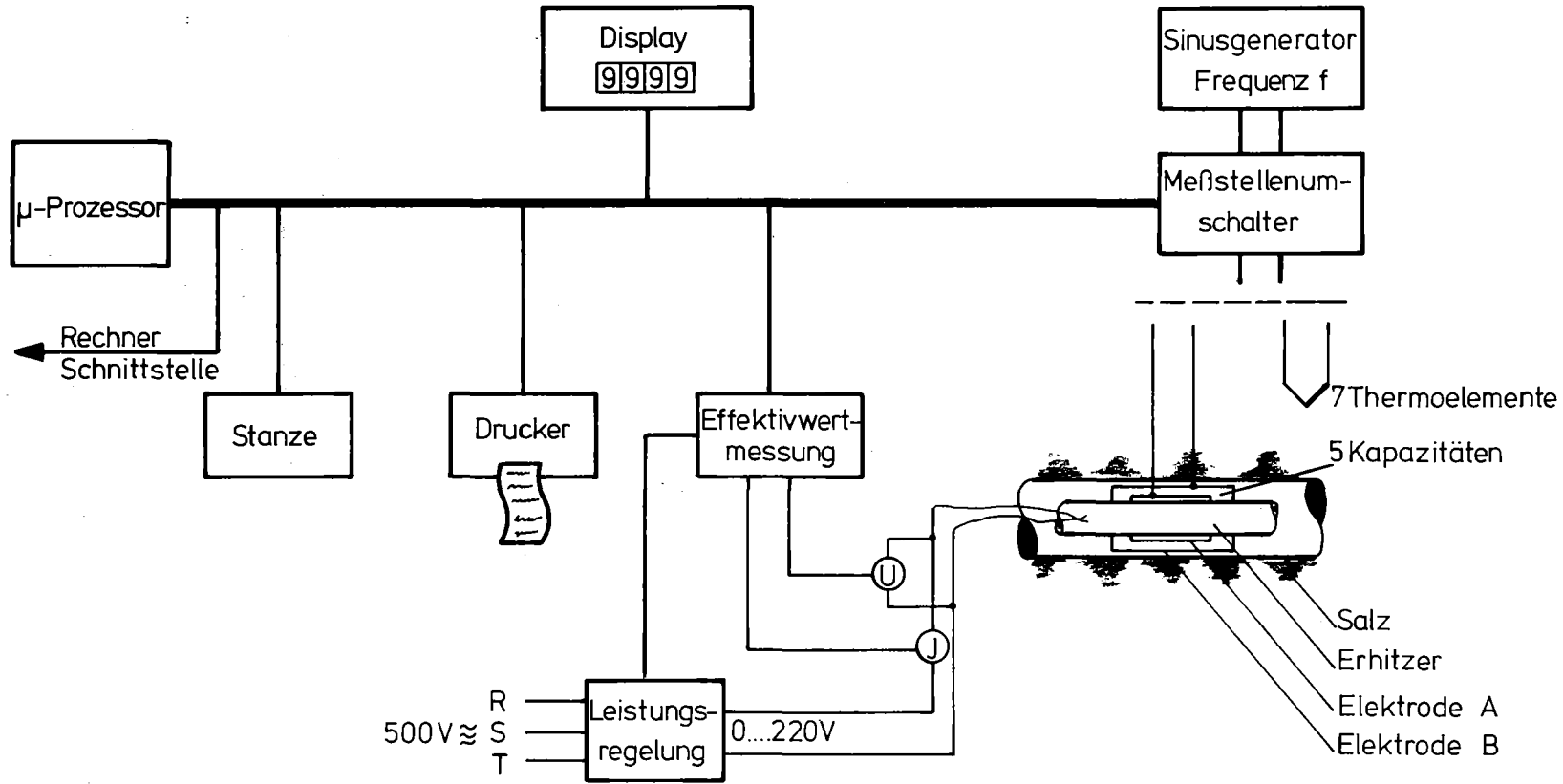


Abb. 19: Elektronik- und Versorgungsteil für die Standardsonde

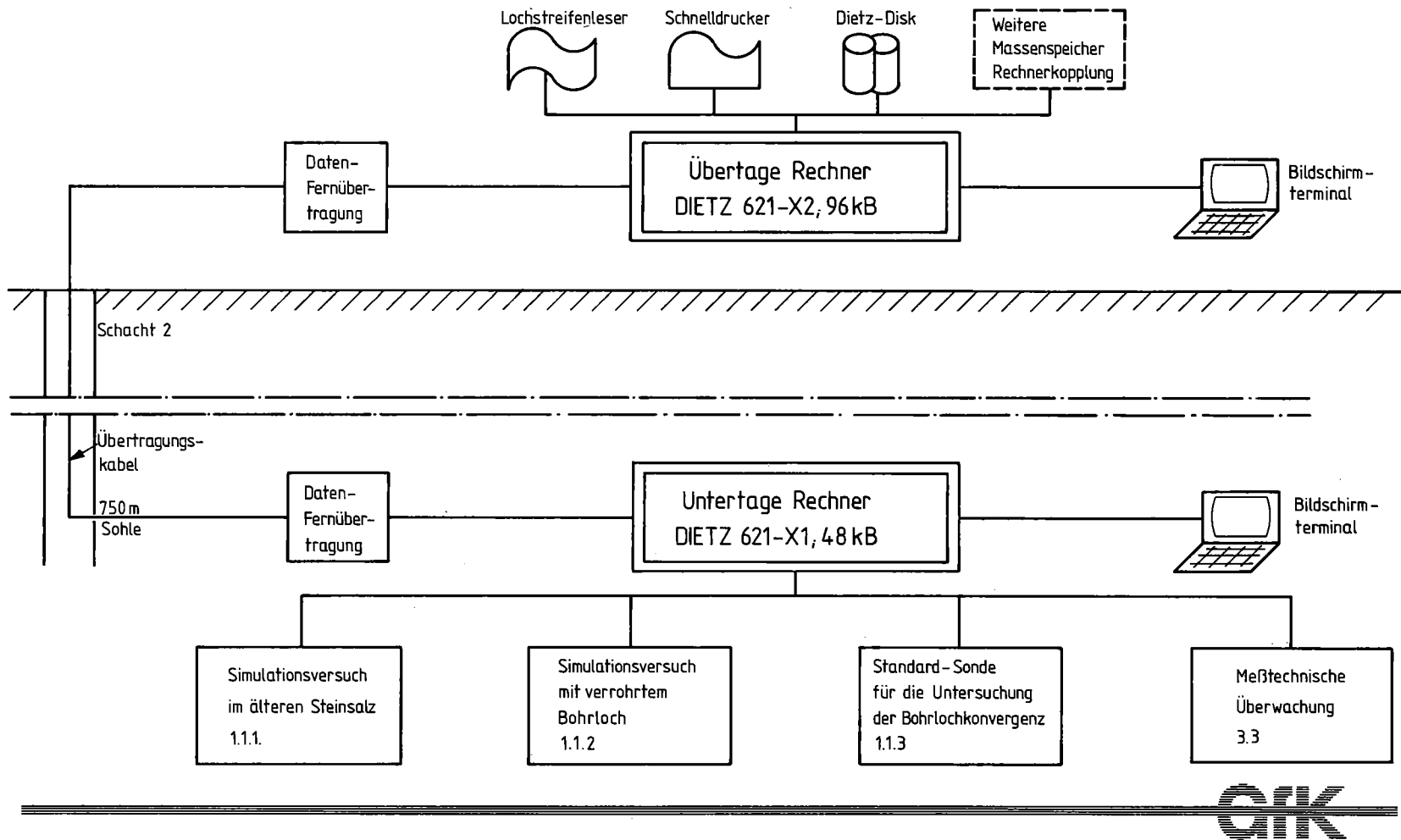
grammen eine Steuerung der experimentellen Komponenten wie Meßstellenumschaltanlagen, Leistungsregelungen und Signalgeber erfolgt. Gleichzeitig ist damit eine Reduktion, Darstellung und Archivierung der gewonnenen Daten möglich. Untertage können wegen des hohen Staubaufkommens mechanisch betriebene Massenspeicher wie Magnetplatten und Magnetbänder nicht eingesetzt werden. Deshalb ist eine Datenübertragungsstrecke durch den Hauptschacht vorgesehen. Der Datenaustausch erfolgt dann zwischen einer Zentraleinheit unter Tage und einem Kleinrechner über Tage, der die Peripheriegeräte zur Datenausgabe und Speicherung steuert (Abb. 20). Erfahrungsgemäß ver- geht zwischen Beschaffung und Verfügbarkeit eines Rechnersystems für die Anwendung ein Zeitraum von mindestens zwei Jahren. Es wurde deshalb im Berichtszeitraum die Ausschreibung und Auftragsvergabe der Rechenkomponenten durchgeführt. Gleichzeitig wurde die Zusammenarbeit mit einer erfahrenen Datenverarbeitungsgruppe im Institut für angewandte Kernphysik (KFK) begonnen.

Die geplante Anlage wird gleichzeitig für die Erfassung und Verarbeitung von Daten herangezogen werden, die bei der Erprobung der kerntechnischen Komponenten im Rahmen des HA-Programms anfallen werden. Hier sind insbesondere die für den Strahlenschutz erforderlichen Meßwerte wie Dosisleistungen, Luftkontamination und dgl. zu nennen. Mit der Beschaffung der zugehörigen Meßgeräte wurde begonnen.

8.6 Vergleich der Endlagerung hochaktiver Abfälle mit der direkten Endlagerung von abgebrannten Brennelementen

Im Rahmen des "International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (INFCE)" Programms wurde ein Vergleich der Endlagerung von hochaktiven Ab-

Abb. 20: Datenerfassungsanlage für die Simulations-
versuche in der Asse



fällen und der Beseitigung der abgebrannten Brennelemente ohne vorherige Wiederaufarbeitung vorgenommen.

Im Gegensatz zu den verglasten hochaktiven Abfällen enthalten die abgebrannten Brennelemente neben dem gesamten nicht abgebrannten Kernbrennstoff auch alle bei der Kernspaltung entstandenen Spaltprodukte, mithin auch die flüchtigen Spaltprodukte. Der in den Brennstäben enthaltene Brennstoff ist nach der Entnahme aus dem Reaktor weder als auslaugbeständig noch als mechanisch stabil anzusehen. Ob die Korrosionsbeständigkeit und die Dichtigkeit der Brennstabhüllen unter Endlagerbedingungen in den langen hier zu betrachtenden Zeiträumen ausreichend ist, muß bezweifelt werden. Bei einer Zerstörung der Brennstabhüllen müßte jedoch mit dem Entweichen der in ihnen enthaltenen flüchtigen Radionuklide gerechnet werden.

Die nicht aufgearbeiteten Brennelemente sind daher nach heutigem Kenntnisstand ohne eine zusätzliche Konditionierung nicht für die Endlagerung geeignet, wenn die bei der Endlagerung von hochaktiven Abfällen gewährleistete Sicherheit eingehalten werden soll. Eine hinreichende Konditionierung der Brennelemente, mit der das Entweichen der flüchtigen Radionuklide und die Auslaugung des Brennstoffs bei einem Kontakt mit Wasser oder Lauge verhindert wird, ist gegenwärtig noch nicht erprobt, erscheint jedoch mit angemessenem Aufwand möglich. Doch auch bei der Endlagerung von hinreichend konditionierten Brennelementen verbleiben einige aus der Sicht der Endlagerung wesentliche Nachteile:

Die Wärmeentwicklung in 1 t nicht aufgearbeitetem Brennstoff ist infolge des höheren Gehalts an Plutonium höher als die Wärmeentwicklung in den hochaktiven Abfällen, die bei der Wiederaufarbeitung von 1 t Brennstoff anfallen. Infolgedessen ist die Wärmebelastung des Endlagers bei der Endlagerung von nicht aufgearbeiteten Brennelementen

höher als bei der Endlagerung von hochaktiven Abfällen. Daher müssen die Brennelemente in einer größeren Fläche innerhalb des Endlagers verteilt werden. Für die Endlagerung von hochaktiven Abfällen kann darüber hinaus durch eine oberirdische Zwischenlagerung die in den Salzstock eingebrachte Wärmemenge in angemessenen Zeiträumen verringert werden. Zur Erzielung der gleichen Verringerung der Wärmeleistung müßten die nicht aufgearbeiteten Brennelemente wesentlich länger zwischengelagert werden, da sich wegen des langsamen Zerfalls der Plutonium-Isotope auch die Wärmeentwicklung langsamer verringert.

In den letzten Jahren durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, daß das Gefährdungspotential der hochaktiven Abfälle nach ungefähr 1.000 Jahren vergleichbar ist dem Gefährdungspotential von Uran-Erz-Lagern. Diese Aussage träfe bei der direkten Endlagerung der abgebrannten Brennelemente nicht zu. Bei der direkten Endlagerung der Brennelemente müßte daher höhere Anforderungen an die langfristige Wirksamkeit der Barrieren gestellt werden als bei der Endlagerung hochaktiver Abfälle.

Wegen des höheren Gefährdungspotentials über lange Zeiträume ist außerdem bei der Endlagerung der konditionierten abgebrannten Brennelemente ein Ausschluß aus der Biosphäre erforderlich, der über längere Zeit wirksam bleiben muß als bei der Endlagerung von hochaktiven Abfällen. An die Konditionierung der Brennelemente müßte somit höhere Anforderungen gestellt werden, als an die Konditionierung der hochaktiven Abfälle. Bisher ist kein Konditionierungsverfahren technisch erprobt, das den dichten Einschluß des Brennstoffs über geologische Zeiträume gewährleistet.

Das zur Zeit in der Bundesrepublik Deutschland verfolgte Endlagerkonzept für die Lagerung von verglastem HAW sieht vor, daß die Glasblöcke in ca. 50 m tiefe Bohrlöcher im Steinsalz gestapelt werden.

Unter der Berücksichtigung des Durchmessers der Glasblöcke von 20 bis 30 cm ergibt sich, daß ein Bohrloch die Abfallmenge faßt, welche bei der Wiederaufarbeitung von ca. 25 t Brennstoff entsteht. Bei einem Verlust von 1 % des in den Brennelementen gebildeten Plutoniums und dessen Verbleib beim hochaktiven Abfall beträgt somit das pro Bohrloch vorhandene Pu-239-Inventar ca. 1,3 kg. Aufgrund des 100-fach höheren Plutoniumgehaltes in den Brennelementen wird zur Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit die pro Bohrloch einzulagernde Abfallmenge entsprechend geringer sein müssen. Dies hat zur Folge, daß wesentlich mehr Bohrlöcher niederzubringen sein werden.

Bei der Wiederaufarbeitung und anschließenden Abfallbehandlung besteht die Möglichkeit, die anfallenden Abfälle ihren Eigenschaften entsprechend differenziert zu behandeln und einer sicheren Endlagerung zuzuführen. Eine derartige Differenzierung der Abfälle ist bei der direkten Endlagerung der Brennelemente nicht möglich. Auch aus diesem Grund kann bei der Endlagerung der Brennelemente nicht das gleiche Maß an Sicherheit gewährleistet werden wie bei der Endlagerung von hochaktiven Abfällen.

Während nach der Wiederaufarbeitung die Kernbrennstoffe, hier insbesondere das Plutonium, wieder in die Reaktoren zurückgeführt werden und dort zu kurzlebigen Spaltprodukten gespalten werden, sind durch die direkte Endlagerung der Brennelemente große Mengen an Kernbrennstoffen der unmittelbaren Kontrolle durch die Menschen entzogen. In der ersten Phase nach der Einlagerung wären sie infolge der von den Spaltprodukten ausgehenden Strahlung ohne erheblichen Aufwand nicht zugänglich. Nach dem Abklingen der Spaltprodukte wären die Brennelemente jedoch wieder handhabbar und das Plutonium könnte aus ihnen extrahiert werden. Die Rückgewinnung der Plutoniumverluste aus den hochaktiven verglasten Abfällen kann demgegenüber als unmöglich angesehen werden. Das Risiko der mißbräuchlichen Verwendung

und Proliferation des Plutoniums wäre somit von der jetzigen auf zukünftige Generationen verschoben. Durch die direkte Endlagerung der Brennelemente entsteht zusätzlich die Notwendigkeit, das Endlager über lange Zeiträume zu überwachen. Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung der verschiedenen sicherheitsbestimmenden Parameter bei der Endlagerung hochaktiven Abfalls und der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch die Wiederaufarbeitung der Kernbrennstoffe und die anschließende Endlagerung der radioaktiven Abfälle die Risiken für die jetzige und die zukünftige Generationen auf ein Minimum gesenkt werden. Nach Abschluß der Arbeiten im Endlager ist eine Überwachung des Endlagers nicht erforderlich. Bei der direkten Endlagerung der Brennelemente sind die verbleibenden Risiken wesentlich höher und machen eine Überwachung des Endlagers erforderlich.

Tabelle 1: Sicherheitsbestimmende Parameter bei der Endlagerung hochaktiver Abfälle im Vergleich zur direkten Endlagerung von abgebrannten Brennelementen

	Endlagerung nach Wiederaufarbeitung	Direkte Endlagerung der abgebrannten Brennelemente
Aktivitätsinventar	Spaltprodukte plus U- und Pu-Verluste; keine flüchtigen Radionuklide im Endlager	Spaltprodukte, Kernbrennstoffe, Hüllmaterialien; alle flüchtigen Radionuklide im Endlager
Kernbrennstoffe	ca. 1 % des Inventars des abgebrannten Brennstoffes (U- u. Pu-Verluste)	Inventar des abgebrannten Kernbrennstoffs zu 100 % im Endlager
Langfristiges Gefährdungspotential	nach ca. 1000 Jahren nicht höher als Gefährdungspotential von Uran-Erzen	nach Abklingen der Spaltprodukte mehr als eine Zehnerpotenz höher als Gefährdungspotential der hochaktiven Abfälle. Erst nach ca. 10^6 Jahren gleich dem Gefährdungspotential von Uran-Erzen
Wärmeentwicklung	bestimmt durch Zerfall der Spaltprodukte; schnell abnehmend	höher als im hochaktiven Abfall, langsam abnehmend
Kritikalität	Kritikalitätsrisiko nicht vorhanden	Kritikalitätsrisiko vorhanden
Freisetzung von flüchtigen Radionukliden	nicht möglich	nicht auszuschließen
Konditionierungsverfahren	den Anforderungen entsprechend entwickelt	technisch nicht erprobt; Erfahrungen liegen nicht vor
Abfallbehandlung	Separation und differenzierte Behandlung der Abfälle je nach Anforderungen; z. T. Stand der Technik	Differenzierung nicht möglich
Plutonium-Behandlung	Rückführung in Reaktoren, Rückgewinnung der Verluste aus den Abfällen nicht möglich	große Mengen Plutonium im Endlager; Rückgewinnung nach Abklingen der Spaltprodukte nicht unmöglich. Proliferationsrisiko auf zukünftige Generationen verschoben

8.7 Allgemeine sicherheitstechnische Untersuchungen

Für die Versuchsanlage Asse wurden weitere sicherheitstechnische Untersuchungen angestellt. Dazu gehörten auch Betrachtungen zur unkontrollierten Kettenreaktion bei schwach- und mittelradioaktiven Abfällen nach einem angenommenen Wassereinbruch in die Versuchsanlage.

Befinden sich in einer Lagerkammer in Zement fixierte Abfälle, kann eine Sedimentation und die damit verbundene Aufkonzentrierung der Kernbrennstoffe erst nach Zerstörung der Abfallfässer und einer Zersetzung des Betonproduktes erfolgen. Dieser Zersetzungsprozeß kann erst nach einem Wasser- oder Laugeneinbruch in die Abfallkammer stattfinden. Dieses eingeflossene Wasser bewirkt eine Neutronenmoderation. Da jedoch in einem Salzbergwerk das Wasser innerhalb kurzer Zeit eine gesättigte Salzlösung bildet, absorbiert diese Lösung wegen des hohen Einfangquerschnittes der Chlorionen Neutronen wesentlich besser als reines Wasser. Kritikalitätsberechnungen mit den relevanten Randbedingungen ergaben, daß bei Einhaltung der gegenwärtig zulässigen Kernbrennstoffgehalte der Abfallfässer auch im Falle einer Zersetzung des Fixierungsmaterials keine unkontrollierte Kettenreaktion stattfinden kann.

Da Bitumen ein mögliches Fixierungsmaterial für Abfälle ist, welche in Kavernen eingelagert werden können, mußte, auch wegen der zunehmenden Viskosität im relevanten Temperaturintervall, geklärt werden, wie schnell Sedimentationsvorgänge im Bitumen ablaufen und welche Auswirkungen die Absetzung haben könnte. Dazu wurde als einfaches Modell eine Suspension von so wenigen Teilchen im Bitumen angenommen, daß zwischen ihnen keine Wechselwirkungen berücksichtigt werden mußten. Diese Teilchen bewegen sich unter dem Einfluß von Schwerkraft und Auftrieb, gebremst durch die Stokessche Kraft infolge der Zähigkeit des Bitumens.

Für Teilchen mit einem Durchmesser von 20μ liegt die Sedimentationsgeschwindigkeit zwischen $3 \cdot 10^{-3}$ mm/a bei 30°C und 52 mm/a bei 90°C im Bitumen B 15. Diese Bewegung führt zu einer Aufkonzentrierung der Abfallteilchen. Je nach Anfangsgehalt des Bitumenproduktes an Abfallteilchen kann dadurch eine Aufkonzentrierung stattfinden. Der Aufkonzentrierungsfaktor ergibt sich aus dem Verhältnis der Raumausnutzung der Abfallteilchen bei einem bestimmten Anfangsgehalt zur maximal möglichen Raumausfüllung (74 %). Dieser Faktor varriert zwischen 5, 1 und 2, 6 bei 30 bzw. 50 Gew. %.

Weiterhin wurden theoretische Untersuchungen zur Löslichkeit von Transuranen aus schwach- und mittelaktiven Abfällen durchgeführt, da von der Annahme ausgegangen werden kann, daß nur in Lösung befindliche Transurane durch Lauge transportierbar sind.

Aufgrund der Löslichkeit von Plutoniumhydroxid, wie es im Abfall vorkommt, ergab sich, daß es nur begrenzt von der Lauge gelöst werden kann. Unter Berücksichtigung der Dissoziation des Plutoniumhydroxides, Wertigkeitsänderungen und Komplexbildung mit Chlorionen können maximal $7 \cdot 10^{-5}$ Ci/m³ Plutonium in Lösung gehen. Bei Verdünnung einer konzentrierten Gleichgewichtslauge mit einem Salzgehalt von 484 g/l auf trinkwassermäßigen Salzgehalt wird auch die Plutoniumkonzentration unter den MZK-Werk aus der Strahlenschutzverordnung reduziert.

Die theoretischen Untersuchungen zum Verhalten von Americium in Lauge sind noch nicht abgeschlossen. Erste Ansätze dazu wurden mit dem Verhalten von Plutonium- und Radiumverbindungen verglichen.

Aus den bisher theoretisch berechneten Löslichkeiten lassen sich für Plutonium keine einzulagernden Höchstmengen, weder pro einzelner Behälter noch für das gesamte Salzbergwerk, ableiten. Infolgedessen muß das Uranerzmodell, aus welchem höchstzulässige Menge abgeleitet werden können, als konservativ gewertet werden.

Im Berichtsjahr wurden Berechnungen zur Entwicklung von Radiolysegasen bei der Versuchseinlagerung von mittelaktiven Bitumen- und Zementprodukten in der Kammer 8a des Salzbergwerkes Asse II durchgeführt.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen, daß auch unter konservativen Annahmen (Freisetzung der Radiolysegase aus den Abfällen und ihren Verpackungen zu 100 %, Verbleiben der freigesetzten Radiolysegase in der Kammer zu 100 %) die gegenwärtig eingelagerten mittelaktiven Abfälle einen Radiolysegasanteil in der Kammerluft von maximal 0,4 Vol. % ergeben. Damit liegt die Radiolysegaskonzentration um den Faktor 10 niedriger als die untere Zündgrenze eines Radiolysegas/Luft-Gemisches.

Bei einer weiteren Befüllung der Kammer 8a mit einer Einlagerungsrate von 1000 Fässern pro Jahr (bei gleichbleibendem Verhältnis Bitumenfässer/Zementfässer wie bisher) und einer Befüllung mit insgesamt 10.000 Fässer ($\hat{=}$ 25 Vol. % Befüllungsgrad der Kammer) ergeben die Berechnungen einen Radiolysegasgehalt der Kammerluft bei Beendigung der Einlagerung von ca. 5 Vol. %.

Angesichts der Belüftung der Kammer 8a kann jedoch die Bildung von zündfähigen Radiolysegas/Luft-Gemischen ausgeschlossen werden.

8.8 Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE)

Da die Systemstudie "Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland" zu Beginn des Berichtsjahres auslief, wurde ein F+E-Programm erarbeitet, in dessen Rahmen die begonnenen Arbeiten zur Risikoanalyse bergmännisch-geologischer Endlagersysteme weitergeführt werden konnten.

Dieses F+E-Programm wurde in das neue "Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE)" eingebracht, an dem viele Institutionen beteiligt sind.

Ziel dieses F+E-Programmteiles ist es unter anderem, eine möglichst realitätsnahe risikoanalytische Beurteilung des potentiellen Endlagers für hochradioaktive Abfälle im zukünftigen Entsorgungszentrum zu erhalten.

Die Methodik der Risikoanalyse solcher Endlagersysteme wurde im Berichtsjahr weiterentwickelt. Eine der wesentlichen Unsicherheiten bei der Bestimmung des Risikos liegt - das zeigen die bisherigen Arbeiten [7] - in der Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten für Fehlerereignisse. Da für die zu untersuchenden Fehlerereignisse auch in Zukunft keine statistisch abgesicherten Fehlerraten zu erhalten sein werden, wurden Überlegungen angestellt, wie die Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten aus der Risikoanalyse möglichst eliminiert oder, sollte dies nicht möglich sein, auf einen späteren, nicht so bedeutenden Schritt in der risikoanalytischen Methodik verschoben werden kann.

Diese Überlegungen führten dazu, von der bisher angewandten "klassischen" Methodik der Risikoanalyse abzugehen. Ein Vorschlag für eine dem System angepaßte Methodik wurde erarbeitet. Diese besteht aus folgenden Arbeitsschritten:

Zunächst werden Fehlerbäume erstellt, die das Gesamtsystem und mögliche Fehlermöglichkeiten beschreiben. Aufgrund solcher Fehlerbäume werden Fehlersequenzen ermittelt.

Die radiologischen Konsequenzen möglicher Fehlersequenzen werden nach verschiedenen repräsentativen Freisetzungsmodellen errechnet. Freisetzungsmodelle werden auf der Basis der Fehlersequenzen, der Eigenschaften des Endlagersystems und der endgelagerten Abfälle entworfen und beschreiben die Mechanismen, die zur Freisetzung von Radionukliden aus der Endlagerformation führen können. Die detaillierte Beschreibung von Fehlersequenzen und der zugehörigen Freisetzungsmechanismen bildet das sogenannte "Fehlerszenario".

Stellt sich aufgrund solcher Berechnungen heraus, daß eine unzulässige Belastung der Biosphäre durch nach einem bestimmten Freisetzungsmodell freigesetzte Radionuklide nicht auftritt, so ist auch das mit den dem Freisetzungsmodell zugeordneten Fehlersequenzen verbundene Risiko vernachlässigbar.

Sollten jedoch aufgrund verschiedener Fehlersequenzen unzulässige Belastungen der Biosphäre entstehen, müßte untersucht werden, wie wahrscheinlich solche Fehlersequenzen sind, um auf der Basis einer solchen Abschätzung entscheiden zu können, ob diese Fehlersequenzen ein ernstzunehmendes Risiko darstellen. Ist dies der Fall, so werden aus der Kenntnis des Endlagersystems und der Fehlersequenzen Vorschläge zur Minimierung des Risikos gemacht.

Zusammengefaßt lassen sich die einzelnen Schritte der Methodik wie folgt darstellen:

1. Analyse des Systems mit Fehlerbäumen für jede der drei Zeitphasen.
2. Ermittlung von Fehlersequenzen.
3. Erstellung von Freisetzungsmodellen.
4. Zuordnung von Fehlersequenzen zu den Freisetzungsmodellen.
5. Detaillierte Beschreibung von Fehlersequenzen und Freisetzungsmodellen als "Fehlerszenarien".
6. Ermittlung der Freisetzung und Ausbreitung von Radionukliden.
7. Entscheid über unzulässige radiologische Belastungen der Biosphäre.
8. Vorschläge von Maßnahmen zur Minimierung von Risiken.

9. Information der Öffentlichkeit

An sechs "Tagen der offenen Tür" konnte rund 2.800 Besuchern aus der interessierten Bevölkerung der näheren Umgebung Gelegenheit zur Besichtigung der Versuchsanlage Asse geboten werden.

Darüber hinaus wurden ca. 3.200 Fachbesucher aus dem In- und Ausland sowie Besucher aus allen Bevölkerungsschichten über die Forschungstätigkeit auf der Schachtanlage Asse durch Grubenbefahrung umfassend informiert.

Daraus resultierte für das Jahr 1977 eine Gesamtbesucherzahl von annähernd 6.000 Personen.

10. Literatur

- [1] Stippler, R., Kleimann, H.
Umgebungsüberwachung im Bereich des Salzbergwerkes Asse,
zusammengefaßter Bericht 1966 - 1976, April 1977, GSF-T 71

- [2] Stippler, R., Kleimann, H.
Strahlenschutzmessungen 1976 - 1977 im Bergwerk Asse,
September 1977, GSF-T 72

- [3] Dürr, K.
Temperaturversuchsfeld 3 - Versuchsbericht, Clausthal-
Zellerfeld, Mai 1977, GSF - T 73

- [4] GSF-Jahresbericht 1976, S. 211, München 1977

- [5] GSF-Jahresbericht 1976, S. 208. München 1977

- [6] GSF-Jahresbericht 1976, S. 207/208, München 1977

- [7] GSF-Jahresbericht 1976, S. 203, München 1977

11. Veröffentlichungen

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Gemeinsamer Jahresbericht des Instituts für Tieflagerung der GSF und der Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle der GfK.
GSF - T 70, KFK 2522, PWA 70/77

Albrecht, E. und Breest, H. Ch. :

The development of radioactive wastes disposal - techniques and the radiation - exposure of the personnel at Asse Pilot Plant. In: Proceedings of the symposium on waste management (Ed. R. G. Post). Tucson/Arizona, USA: National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce, Springfield, Virginia 22161, 283 bis 302 (1977),
GSF - T 75

Albrecht, E., Hagen, M., Kühn, K. :

Beseitigung nuklearer Abfälle. In: Energie und Umwelt, ENVITEC 77, Kongressberichtswerk (Ed. : C. König). Jülich: Vulkan-Verlag, 86 bis 92 (1977), GSF - T 76

Dürr, K. :

Temperatur-Versuchsfeld 3, Versuchsbericht, Clausthal-Zellerfeld, Mai 1977, GSF - T 73

Jakubick, A. T. :

Transfer and distribution of tritium in a partially saturated natural soil. 4. Meeting of the European Geophysical Society, München, September 6 - 9, 1977

Jakubick, A. T. :

Wanderung langlebiger Transuranisotope (z. B. Pu-239, Am 241) im Boden und in geologischen Formationen. In: Projekt Nukleare Sicherheit. Halbjahresbericht 1977/I. KFK-2500 (Dezember 1977)

Jakubick, A. T.:

Wanderung und Verteilung von Plutonium in natürlichen Böden.

In: Projekt Nukleare Sicherheit. Halbjahresbericht 1976/2. KFK-2435
(April 1977, S. 488-91

Jakubick, A. T.:

Geochemistry and -physics of plutonium migration. 2. Symposium on
the Origin and Distribution of the Elements, Paris, May 10-18, 1977

Kolditz, H.:

Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe - Eine Maßnahme des Umweltschutzes. In: Die Schweizer Gemeinde, 91, 25 bis 27 (1977), GSF - T 77

Krause, H.:

Radioaktive Abfälle und ihre Überführung in endlagerfähige Produkte.
Kommunalwirtschaft (1977), S. 149-53

Krause, H., Starch, M.:

Die Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle. VDI-Z. 119
(1977), S. 430-33

Krause, H.:

Behandlung und Endlagerung radioaktiver Abfälle aus dem Brennstoffkreislauf. Chemiker-Zeitung, 101 (1977), S. 240-47

Kühn, K.:

Wichtige Entscheidungen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.
Jahrbuch der Atomwirtschaft 1977, A 53 - A 58 (1977), GSF - T 18

Natau, O., Schmidt, M. W.:

Festigkeitsmechanische Laboruntersuchungen an vorgeklüfteten Modellkörpern aus bindigem Lockergestein, Braunkohle, Heft 8. Aug. 1977,
S. 321-324, GSF - T 79

Proske, R. :

Previous Results of Risk Analysis of a Repository for Radioactive Waste in Geologic Formations in the Federal Republic of Germany, Proc. OECD-CEC-Workshop on Risk Analysis und Geologic Modelling in Relation to the Disposal of Radioactive Wastes into Geologic-Formations, JRC-Ispra, May 23-27, 1977, GSF - T 80

Proske, R. :

Status and Future Development of Risk Analysis of Repositories for Radioactive Waste in Salt Formations in the Federal Republik of Germany, ibid, GSF - T 81

Proske, R. :

Contributions to the Risk Analysis of a Repository for High Level Waste in Geologic Salt Formations, Transactions of the 1977 Annual Meeting of the American Nuclear Society, New York, N.Y., June 12-16, 1977, GSF - T 82

Proske, R. :

Beiträge zur Risikoanalyse eines hypothetischen Endlagers für hochaktive Abfälle, Dissertation TU Clausthal, August 1977, GSF - T 74

Proske, R. :

Endlagerung radioaktiver Abfälle, Kommunalwirtschaft, Heft 5, 1977, GSF - T 83

Stippler, R., Kleinmann, H. :

Umgebungsüberwachung im Bereich des Salzbergwerkes Asse. Zusammengefaßter Bericht 1966 - 1977. Veröffentlicht als Manuskript bei: Institut für Tieflagerung (1977), GSF - T 71

Stippler, R., Kleimann, H. :

Strahlenschutzmessungen 1976/77 im Bergwerk Asse. Veröffentlicht als Manuskript bei: Institut für Tieflagerung (1977), GSF - T 72