

# Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung

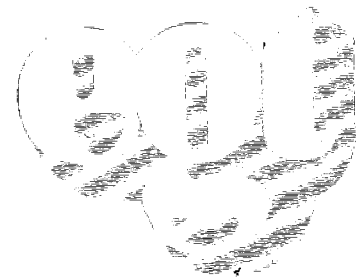
## **Jahresbericht 1980**

Gesellschaft für  
Strahlen- und Umweltforschung mbH · München  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH



# Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung

## **Jahresbericht 1980**



GSF-T 132  
KfK 3245

Gesellschaft für  
Strahlen- und Umweltforschung mbH · München  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH

# Inhalt

1. Ausbau und Betrieb der Versuchsanlage Asse .....	3
2. Entwicklung endlagerrelevanter Daten und Methoden in der Versuchsanlage Asse .....	6
3. Weiterentwicklung der Einlagerungsverfahren für schwach- und mittelaktive Abfälle .....	8
4. Entwicklung und Bau einer Kammer für die Versuchs- einlagerung mittelaktiver Abfälle .....	9
5. Prototyp-Kavernenanlage im Salzbergwerk Asse .....	10
6. Untersuchungen zur Versuchseinlagerung hochaktiver Abfälle .....	12
7. Lagerung und Verfestigung von radioaktiven Abfällen in untertägigen Hohlräumen .....	23
8. Beurteilung der Schachtanlage Konrad für die Einlagerung radioaktiver Abfälle .....	27
9. Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes .....	34
10. Quantitativer Anforderungskatalog für Abfallprodukte .....	35
11. Sicherheitsanalysen für Endlager .....	40
12. Vorträge und Veröffentlichungen .....	42

# Einleitung

Der vorliegende Jahresbericht 1980 der Entwicklungsgemeinschaft Tief-  
rung (EGT) informiert über Tätigkeiten und Ergebnisse der durchgeführten  
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Die Arbeiten der EGT für das Planfeststellungsverfahren zur Endlagerung  
radioaktiver Abfälle in der Schachanlage Asse und für die Zwischenlagerung  
schwachradioaktiver Abfälle sind in dem vorliegenden Bericht angedeutete  
Ergebnisse dieser Arbeiten fanden in gesonderten Konzepten und Gene-  
gungsunterlagen ihren Niederschlag.

Im Berichtszeitraum konnten im Salzbergwerk Asse aus Genehmigungs-  
gründen keine Einlagerungsversuche mit radioaktiven Abfällen durchgeführt  
werden. Deshalb fehlen entsprechende Ergebnisse im vorliegenden Bericht.

Die F+E-Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit auch mit externen In-  
stitutionen durchgeführt. Ihnen sei für ihre konstruktive Mitarbeit gedankt.

Folgende Institutionen sind in besonderem Maße an den F+E-Arbeiten der  
beteiligt:

- Amtliche Materialprüfanstalt (AMPA), Clausthal
- Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin
- Bundesanstalt Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover
- Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin
- Institut für Chemie der Explosiv- und Treibstoffe (ICT), Berghausen
- Kali-Chemie AG, Hannover
- Kali und Salz AG, Kassel
- Kernforschungsanlage Jülich (KFA), Jülich
- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB)
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH), Aachen
- Siemag-Transplan, Netphen
- Stahlwerke Peine-Salzgitter, Salzgitter
- Technische Universität Clausthal
- Universität Karlsruhe
- Westfälische Berggewerkschaftskasse (WBK), Bochum

# 1. Ausbau und Betrieb der Versuchsanlage Asse

Nach dem Auslaufen der Genehmigung zur Einlagerung schwachaktiver Abfälle am 31.12.1978 konnten auch im Jahre 1980 in der Schachanlage Asse keine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten unter Verwendung radioaktiver Abfälle durchgeführt, oder radioaktive Abfälle eingelagert werden.

Die Arbeiten konzentrieren sich deshalb im Berichtsjahr

- auf den weiteren Ausbau der Schachanlage, hauptsächlich im Hinblick auf den Tiefenaufschluß bis zur 950 m-Sohle,
- auf die weitere Erkundung des Salzstockes,
- auf die Strahlenschutzüberwachung des Grubengebäudes und der Umgebung
- und auf die Erarbeitung umfangreicher Unterlagen für das Planfeststellungsverfahren zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse.

## 1.1 Bergmännische Planungen und Arbeiten

Der Planungsauftrag für den Tiefenaufschluß des Grubengebäudes bis zur 950 m-Sohle wurde im Laufe des Berichtsjahres termingerecht abgeschlossen. Ein weiterer Planungsauftrag über das Einbringen von Versatzmaterial in die Abbaukammern im Jüngeren Steinsalz (Na3) der Schachanlage Asse wird zur Zeit noch bearbeitet.

Für die Herstellung der Arbeitssicherheit in den Grubenbauen war es notwendig, die Firsten und Stöße von mehr als 3000 m Strecken mit der Firstenfräse zu berauben. Die im Vorjahr begonnenen Aufwältigungsarbeiten der für die rückholbare Zwischenlagerung schwachradioaktiver Abfälle vorgesehenen Abbaukammern wurden abgeschlossen, da in Kürze nicht mit der Genehmigung für eine rückholbare Zwischenlagerung zu rechnen ist.

In einer Abbaukammer auf der 750 m-Sohle wurde eine Mischanlage installiert, um Möglichkeiten der Verfestigung von Grubenlauge mit hydraulischen

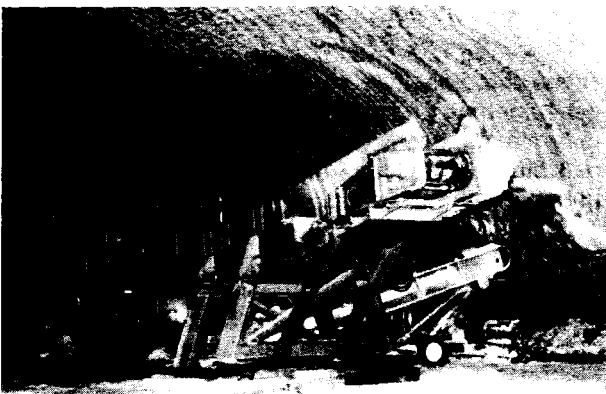


Abb. 1:  
Brecher- und Blasversatzanlage zur Verfüllung der Resthohlräume von Kammern

Bindemitteln zu untersuchen. Eine Brecher- und Blasversatzanlage ist eingesetzt, um den Resthohlraum von Einlagerungskammern mit Steinsalz zu verblasen. Mit dieser Anlage wurden in der Kammer 6 im Älteren Steinsalz auf der 750 m-Sohle die Hohlräume über den Abfallbehältern mit Steinsalz verfüllt.

Auf der 490 m-Sohle wird in der Kammer 3 ein zentrales Kernlager für die Unterbringung der Bohrkerne aus den geologischen Untersuchungsbohrungen eingerichtet. Zu diesem Zweck wurde aus der Wendelstrecke eine Zufahrtsstrecke in die Kammer aufgeföhren und die Kammerfirste beraubt.

Für die Forschungsaufgaben der wissenschaftlichen Abteilung wurden im Berichtsjahr insgesamt ca. 600 m Strecken aufgewältigt bzw. neu aufgeföhren sowie Bohrlöcher unterschiedlichen Durchmessers mit einer Gesamtlänge von ca. 1400 m gestoßen. Ein Teil der Strecken und Bohrungen dient der Gebirgsbeobachtung im Bereich der Abbaukammern im Jüngeren Steinsalz oberhalb der 700 m-Sohle. Auf der 775 m-Sohle wurden Grubenbaue und Bohrungen für das neue Temperaturversuchsfeld 5 hergestellt; der Einbau eines Teils der Meßinstrumente ist bereits erfolgt. Nach Abschluß der geologischen Untersuchungsbohrungen auf der 800 m-Sohle begann vom Bohrort aus die Aufföhren von drei Strecken. Diese sind für das Aussohlen von 5 Modellkavernen mit je 10 m<sup>3</sup> Inhalt und für die Aufnahme der beim Aussohlen anfallenden Lauge bestimmt.

## 1.2 Geologische und geophysikalische Erkundungsarbeiten am Asse-Salzsattel

Zur Erschließung neuer wissenschaftlich-technischer Versuchsfelder unterhalb der 750 m-Sohle sind mehrere untertägige Erkundungsbohrungen erforderlich. Durch diese Aufschlüsse unbekannter Gebirgsteile sollen die Ausdehnung des Staßfurt-Halites innerhalb des Asse-Hauptsattels und im Südlichen Nebensattel sowie die Verbreitung nicht-halitischer Salinargesteine in der dazwischenliegenden Mulde nachgewiesen werden. Im Berichtsjahr wurden 12 Kernbohrungen nach dem Counterflushverfahren mit insgesamt 3747 Bohrmeter abgeteuft, davon neun Bohrungen mit zusammen 2390 m Länge im östlichen Grubenfeld von der 800 m-Sohle aus und drei Bohrungen mit zusammen 1357 m Länge im zentralen Grubenfeld von der 775 m-Sohle aus. Die noch laufende geologische Auswertung dieser Bohrungen hat bisher ergeben, daß in dem erschlossenen Teufenbereich zwischen 775 und 1100 m unter Rasenhängebank die Liegendfläche des carnallitischen Kaliflözes Staßfurt durchschnittlich mit etwa 35° nach Nordosten einfällt, während die südliche Hangendbegrenzung des Staßfurt-Halites im Südlichen Nebensattel durchschnittlich mit etwa 50 bis 55° nach Südwesten einfällt.

Die Tiefenlage der Muldenumbiegung zwischen rund 900 und 950 m Teufe und ihr leichtes Achsenabtauchen nach Westen stimmen mit der Ortung durch

elektromagnetische Reflexionsverfahren überein. Aus den Bohrungen geht auch hervor, daß laterale Fazieswechsel innerhalb der salinaren Schichtfolge auftreten.

Die untertage durchgeführte Sprengseismik mit mehrfacher Überdeckung und Stapeltechnik unter Verwendung einer digitalen Meßapparatur wurde unter Einsatz elektronischer Datenverarbeitung ausgewertet und interpretiert. Im Bereich der untersuchten Südwestflanke wurden hierbei Reflexionen innerhalb und außerhalb der Salzstruktur registriert.

Um die Gliederung der Schichtfolgen verfeinern zu können, wurden Proben für die qualitative und quantitative Bestimmung des unlöslichen Rückstandes im Staßfurt-Halit sowie für die Bestimmung des Bromidgehaltes bezogen auf 100% Natriumchlorid in den Schichten im Liegenden des Kaliflözes Staßfurt genommen.

Zur Beurteilung der Zusammensetzung, Entstehung und Umbildung von Kluffüllungen im Staßfurt-Carnallit wurden Gesteinsproben entnommen und Dünnschliffe angefertigt. Außerdem wurden für Versuchsfelder Stöße und Strecken oder Bohrkerne feinstratigraphisch aufgenommen.

Im Deckgebirge wird der Muschelkalk auf den Flanken der Asse einer eingehenden Bearbeitung unterzogen. Basierend auf dem Ton /Karbonat-Verhältnis, dem biogenen Anteil sowie der Härte, Struktur und Farbe wurde eine lithostratigraphische Feingliederung des größten Teiles vom Unteren Muschelkalk durchgeführt, soweit die Bohr- und Geländeaufschlüsse dies zuließen.

Für ein Versuchsfeld zur Laugenmigration unter Aufheizung wurde eine geologische Beschreibung der 800 m-Sohle auf der Basis von Kartierungen und feinstratigraphischen Untersuchungen im Maßstab 1:100 erstellt. Als Grundlageninformation für die Planung zum Versatz der Leinesalz-Abbaue wurde eine Serie von 9 geologischen Schnitten durch die Südwestflanke der Salzstruktur angefertigt. Daneben wird die systematische geologische Kartierung und Profildarstellung für das gesamte Grubengebäude weitergeführt. Die 700, 725, 775 und 800 m-Sohlen wurden im Maßstab 1:1000 vollständig ergänzt, so daß der Bereich unterhalb der 700 m-Sohle geologisch überarbeitet vorliegt.

### 1.3 Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung

Auch ohne Einlagerung von radioaktiven Abfällen wurde — entsprechend der Strahlenschutzverordnung und den Auflagen der Genehmigungsbehörde — die Überwachung des untertage beschäftigten Personals, der eingelagerten radioaktiven Abfälle sowie der Umgebung der Schachanlage Asse fortgeführt.

Die Überwachung des Personals mit Dosimetern zeigte in keinem Fall eine Überschreitung der gesetzlich zugelassenen Grenzwerte. Bei der Untersuchung der untertage beschäftigten Personen im Ganzkörper-

perzähler wurde kein Hinweis auf Inkorporation von radioaktiven Stoffen im Beruf festgestellt.

Bei den Messungen der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung und des Aktivitätsgehaltes der Luft unter und über Tage an vielen repräsentativen Stellen konnten keine Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt werden.

Die zur Umgebungsüberwachung in regelmäßigen Abständen entnommenen Wasser-, Luft- und Bodenbewuchsproben aus der näheren und weiteren Umgebung der Schachanlage Asse lagen mit ihrem Aktivitätsgehalt im Bereich der natürlichen Umweltradioaktivität. Sie lassen keine Beeinflussung durch die eingelagerten radioaktiven Abfälle erkennen. Mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) wurde die Strahlendosis an 24 Stellen, verteilt auf 12 Sektoren, im Abstand von einem und zwei Kilometern von der Schachanlage Asse ermittelt. Die Ergebnisse lagen in der gleichen Höhe wie die Meßwerte des vorhergehenden Jahres. Eine ausführliche Darstellung aller gemessenen Werte erfolgt im Jahresbericht „Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung im Bereich der Schachanlage Asse“.

### 1.4 Genehmigungssituation

Die vor dem Inkrafttreten der 4. Novelle zum Bundes-Atomgesetz erteilten Genehmigungen für Endlagerversuche mit radioaktiven Abfällen sind Ende 1978 ausgelaufen. Anträge auf Anschlußgenehmigung wurden vorsorglich im Jahre 1978 gestellt. Als Ergebnis zwischenzeitlich geführter Gespräche zwischen Vertretern des Landes Niedersachsen und des Bundes wurde im Jahre 1979 dem zuständigen Bergamt Goslar ein Antrag nach der Strahlenschutzverordnung auf Einlagerung von 25.000 Behältern mit schwachradioaktiven Abfällen in rückholbarer Form eingereicht.

Ebenfalls 1979 wurde gemäß der Zuständigkeitsregelung des novellierten Atomgesetzes von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt ein Antrag auf Planfeststellung für die Endlagerung der in rückholbarer Form nach Vorliegen der entsprechenden Genehmigung eingelagerten schwachradioaktiven Abfälle dem Niedersächsischen Sozialminister in Hannover vorgelegt.

Der Antrag zur rückholbaren Zwischenlagerung schwachradioaktiver Abfälle wurde auf Anforderung der Genehmigungsbehörde durch umfangreiche Unterlagen ergänzt. Da die Bergbehörde erkennen ließ, daß die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle nur unter Erfüllung besonders schwerwiegender Auflagen für den Forschungsbetrieb erfolgen kann, hat sich die Reaktorsicherheitskommission, Unterausschuß „Nukleare Entsorgung“, im Auftrag des Bundesinnenministeriums in zwei Sitzungen mit dieser Frage befaßt und empfohlen, einen umfassenden Planfeststellungsantrag für die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle zu stellen. Die Gespräche über diesen Themenkreis sind noch nicht abgeschlossen.

## 1.5 Information der Öffentlichkeit

Das Interesse an Befahrungen der Schachtanlage Asse ist im Jahre 1980 weiter gestiegen. Deshalb wurden die Möglichkeiten zur Durchführung von Gruppenbesichtigungen weiter ausgebaut. Im Berichtsjahr fanden 6 „Tage der offenen Tür“ statt, an denen rund 2900 Besucher das Informationsangebot nutzten. Etwa 8700 Fachbesucher aus dem In- und Ausland und Besucher aus allen Bevölkerungsgruppen konnten über die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf der Schachtanlage Asse durch Film, Vortrag und Führung umfassend informiert werden. Daraus resultierte für das Jahr 1980 eine

Gesamtbesucherzahl von über 11.600 Personen. Über das Befahren der Schachtanlage hinaus soll ab 1981 den Besuchergruppen die Gelegenheit zu weiteren Informationen durch die Errichtung eines Ausstellungsgebäudes außerhalb des Schachtgeländes gegeben werden.

Es wurden 2 Broschüren mit einer Auflage von insgesamt 40 000 Exemplaren herausgegeben, die über die Arbeit des Instituts zur Tieflagerung informieren.

Die Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung beteiligte sich an der „ENVITEC 80“ in Düsseldorf sowie an der Hannover-Messe.



## 2. Ermittlung endlagerrelevanter Daten und Methoden in der Versuchsanlage Asse

Für die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle in einem Salzstock sind die Kenntnisse über die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse des Deckgebirges und des Salzstockes selbst sowie über die Standfestigkeit der untertägigen Hohlräume von wesentlicher Bedeutung. Für die Ermittlung dieser Kenntnisse werden in der Versuchsanlage Asse Methoden entwickelt und Daten erarbeitet.

### 2.1 Seismische Überwachung des Grubengebäudes

Der geologische Untergrund des Asse-Sattels besteht aus Schichten des Erdaltertums und ist aus diesem Grunde außerordentlich stabil. In der Karte der deutschen Erdbebengebiete ist deshalb auch das Gebiet um die Asse als nicht erdbebengefährdet ausgewiesen. Um trotzdem genauere Angaben für regionale Seismizität machen zu können, wurde die seit 1978 in der Grube Konrad betriebene Seismometerstation durch eine identische Anlage in der Asse ergänzt. Es liegen jetzt aus einem knappen Jahr gleichzeitige Registrierungen seismischer Ereignisse von beiden Standorten vor. Die überwiegende Anzahl der Ereignisse, die jetzt auch je nach Entfernung auf 5 bis 20 km genau geortet werden können, sind Sprengerschütterungen (z. B. in Steinbrüchen). An der Interpretation wird noch gearbeitet. Zusätzlich werden die Erschütterungen im Grubengebäude selbst über ein Netz mit 7 Geophonen beobachtet, mit denen eine Genauigkeit der Ortung von 10 bis 30 m erreicht wird. Die Intensität dieser Ereignisse war bisher jedoch klein gegenüber den durch den normalen Grubenbetrieb (z. B. Sprengerschütterungen) hervorgerufenen Erschütterungen.

Neben diesen passiven seismischen Messungen wird als aktives Verfahren die Hammerschlagseismik eingesetzt. An ausgesuchten Orten, insbesondere in der Umgebung geplanter Temperaturversuchsfelder, sollen mit Durchschallungsmessungen dynamische Gesteinsparameter und etwaige Änderungen davon ermittelt werden.

### 2.2 Hydrogeologisches Forschungsprogramm

Im hydrogeologischen Forschungsprogramm konnte im Herbst mit Versuchen zur Ermittlung von hydrologischen Kennwerten begonnen werden. Diese sich über 4 Jahre erstreckenden Messungen begannen Anfang November mit der Durchführung von sogenannten Leistungspumpversuchen. Solche Leistungspumpversuche sollen die potentielle Förderleistung an gepumptem Grundwasser in allen geologischen Formationen des Asse-Deckgebirges ermitteln und bei Erreichung des Beharrungszustandes der Wasserabsenkungskurve die Bestimmung der hydraulischen Kennwerte der grundwasserführenden

Gesteinsschichten ermöglichen. Die Durchführung und die aus den Versuchen zu gewinnenden Aussagen beinhalten einen hohen Meß- und Interpretationsaufwand, da die hydraulischen Verhältnisse in den zumeist geklüfteten Gesteinen mit lokalen Fließvorgängen in Schichten des Buntsandsteins, Muschelkalks, Keupers und Juras in normaler und gestörter Lagerung sich als sehr komplex erweisen. Nach einer Grobvorauswertung des ersten bereits abgeschlossenen Pumpversuches zeigt sich, daß die bisher als wasserstauend eingestuften Sedimente des Juras vermutlich als wirksame geologische Barriere zwischen dem Asse-Sattel und genutzten Grundwasserleitern der Kreide-Mulden definiert werden können.

Die Fortführung der Langzeit-Meßreihen der Schüttung, Temperatur, Leitfähigkeit und der kontinuierlich registrierten Pegelstände ermöglichte es, die Grundwassermeßstellen, die unmittelbar von den Niederschlägen beeinflußt werden, von solchen zu unterscheiden, die eine verzögerte Ansprechzeit und somit eine größere Verweilzeit des Wassers im Untergrund aufweisen. Pegelstände in Salzspiegelbohrungen, d. h. in solchen Bohrungen, die nur das zwischen Gipshut und Salz migrierende Wasser erfassen, verhalten sich anders als solche, die nur Deckgebirgswasser enthalten. Ein Vergleich mit den Niederschlägen zeigte aufgrund des nassen Sommers 1980 ein anderes Abflußverhalten als in den Vorjahren. Eine neue meteorologische Station auf dem Betriebsgelände der Schachanlage Asse bestätigt und vereinfacht die meteorologische Datenerfassung.

Eine erste hydrochemische Auswertung bisher anfallender Analysendaten ermöglichte eine erste Charakterisierung der Grundwasserstockwerke nach den in ihnen vorkommenden autochthonen Wässern, so daß eine entsprechende vorläufige Identifizierung von allochthonen, d. h. migrierenden Grundwässern, entlang von Störungen aus anderen Aquiferen möglich wird.

Das in den USA entwickelte mathematische Radionuklidmigrationsmodell SWIFT zur Ausbreitungsrechnung von Radionukliden bei einem hypothetischen Ersaufen eines Bergwerkes wurde auf seine Anwendungsmöglichkeit für die Asse-Verhältnisse überprüft und als geeignet für dreidimensionale Migrationsberechnungen angesehen. Mit einem solchen Modell können nach Eingabe der aus den hydrogeologischen Großversuchen ermittelten Daten Sicherheitsbetrachtungen für das Grubengebäude in der Nachbetriebsphase auch über längere Zeiträume angestellt werden.

### **2.3 Gebirgsbeobachtungsprogramm im Salzbergwerk Asse**

Die Polygonmessungen zur Beurteilung und Überwachung der Standsicherheit der Schachanlage Asse wurden fortgesetzt. Eine Studie über die bei der Bestimmung der Punktanlage im Grubengebäude erreichte Genauigkeit hat ergeben, daß die Lageveränderung untertägiger Punkte mit der gewünschten absoluten Genauigkeit von 15 mm durch das bisher angewendete Meßsystem nicht erreicht worden ist. Diese Aussage gilt besonders für schachtferne Punkte. Es wurden inzwischen einige Änderungen in der Anlage und der Meßmethode vorgenommen, um die Meßgenauigkeit zu erhöhen.

Trotz dieser Einschränkungen lassen sich aus den Lageveränderungen 1977 bis 1980 für den Bereich des Grubengebäudes großräumige Deformationstrends ableiten, die mit den gebirgsmechanischen Auswirkungen der vorhandenen Hohlräume langfristig in Beziehung gebracht werden können. Eine zusammenfassende Analyse der Meßergebnisse ergab folgendes Gesamtbild:

1. Die Konvergenz des Baufeldes im Jüngeren Steinsalz auf der Südflanke setzt sich aus Komponenten zusammen, die aus Richtung der hangenden und liegenden Gebirgsstelle kommen.
2. Die horizontalen Verschiebungen der liegenden, dem Sattelkern zugewandten Gesteinspartien, sind zum Abbauschwerpunkt gerichtet.
3. Der Bereich um die Sattelachse östlich des Hauptschachtes scheint sich zumindest auf der 490 m und 750 m-Sohle in relativer Ruhe zu befinden.
4. Eine Abhängigkeit der Verschiebungsgröße vom Durchbaugrad des Gebirges scheint sich in einzelnen Feldteilen abzuzeichnen.
5. Zur Erhärtung der Ergebnisse bedarf es weiterer Beobachtungen.

Die Pfeilerüberwachung wurde fortgesetzt. Die Ergebnisse zeigen allgemein eine gleichbleibende Deformationsgeschwindigkeit der kontrollierten Stützelemente des Grubengebäudes. Mit zusätzlich eingerichteten Beobachtungsstellen in Abbauen und Pfeilern wurden bisher gleiche Resultate erzielt.

Neu in die Deformationsüberwachung wurde der Schacht 2 aufgenommen. In acht verschiedenen Horizonten wurde die Schachtwandung vermessen und daraus die Schachtmittelpunkte errechnet. Durch Vergleich mit Wiederholungsmessungen am gleichen Ort in den Folgejahren soll die Lagekonstanz der Schachtachse kontrolliert werden.

Das jährliche Feinnivellement zur Überwachung der Tagesoberfläche im Bereich des Grubengebäudes und seiner weiteren Umgebung ist durchgeführt worden. Die Meßdaten zeigen keine Abweichungen von den Verhaltenstrends der Vorjahre.

### **3. Weiterentwicklung der Einlagerungsverfahren für schwach- und mittelaktive Abfälle**

Im Mittelpunkt dieses Vorhabens standen Forschungsarbeiten zur Verfüllung und zum Verschluss von Hohlräumen. Entsprechend einem Auftrag des BMFT wurden darüber hinaus verschiedene Entsorgungsalternativen verglichen und ihre Realisierbarkeit beurteilt.

#### **3.1 Untersuchungen zur Verfüllung von Hohlräumen**

Die Untersuchungen zur Verfüllung von Hohlräumen waren hauptsächlich auf die Erarbeitung eines Versatzkonzeptes für die Abbaukammern in der Südflanke der Schachanlage Asse gerichtet. Das Konzept wurde in einen technischen und einen gebirgsmechanischen Teil untergliedert. Zusammenfassend bestätigt die Konzeptstudie, daß durch Einbringen von Versatz in die Abbaukammern der Südflanke eine gebirgsmechanische Langzeitstützwirkung als auch eine deutliche Verminderung des Hohlraumvolumens erreicht wird.

Bei der Restverfüllung einer Kammer auf der 750 m-Sohle wird gleichzeitig in der Firste die Tragwirkung des Versatzes auf das Gebirge untersucht. Hierzu ist ein orthogonal angeordnetes System von induktiven Wegaufnehmern installiert, das die Registrierung der Gebirgsbewegung in drei unabhängigen Richtungen gestattet. Erste Auswertungen nach der Versatzeinbringung deuten an, daß die Bewegungsgeschwindigkeit eine abnehmende Tendenz hat. Für eine abschließende Bewertung ist jedoch die Fortsetzung der Messungen nach dem endgültigen Verschluss der Kammer erforderlich.

#### **3.2 Untersuchung von Entsorgungsalternativen**

Im Auftrage des BMFT wurden Untersuchungen zur rückholbaren untertägigen Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen durchgeführt. Dabei wurde die untertägige Zwischenlagerung als eine mögliche Variante zur oberirdischen Zwischenlagerung betrachtet.

Den Untersuchungen wurden die Planungsunterlagen für das Endlagerbergwerk des Nuklearen Entsorgungszentrums und der Druckwasserreaktor Typ Biblis zugrunde gelegt. Es zeigte sich, daß die rückholbare Einlagerung in Bohrlöchern und die Lagerung der Brennelemente in Behältern am besten geeignet wären.

Für die Bohrlochlagerung ist eine zusätzliche Verpackung der Brennelemente erforderlich. Das technische Konzept sieht vor, daß die Abschirmbehälter aufrecht stehend zur Einlagerungssohle gebracht, dort umgelegt und in horizontaler Lage auf ein Transportfahrzeug geladen werden. Dies ist notwendig, um das Streckenprofil in gebirgsmechanisch vertretbaren Grenzen zu halten. Mit dem Transportfahrzeug sollen dann die Abschirmbehälter zur Einmündung der Einlagerungsstrecke gebracht werden.

Hier müssen sie mit einer speziell ausgebildeten gleisgeführten Brückenkrananlage wieder aufgerichtet und in einen Sohlengraben der Einlagerungsstrecke gestellt werden. Dieser Sohlengraben erscheint notwendig, um den langen Abschirmbehälter aufrecht in der Einlagerungsstrecke zu manipulieren. In der Einlagerungsstrecke ist eine Einlagerungsmaschine vorgesehen, die alle für die Einlagerung notwendigen Einrichtungen besitzt. Sie nimmt den Abschirmbehälter entgegen, transportiert ihn aufrecht durch den Sohlengraben zum Bohrloch und läßt hier die Brennelementkanister ab. Jedes Bohrloch wird mit einem Bohrlochschieber ausgestattet, der nach der Einlagerung wieder verschlossen und durch einen Betonpaßstein gesichert wird.

Als einfacher hat sich die Behälterlagerung erwiesen, sie ist jedoch kostenaufwendiger. Die Konditionierung der abgebrannten Brennelemente beim Endlager kann hier entfallen, weil diese bereits in den für die Zwischenlagerung vorgesehenen Transportbehältern angeliefert werden. Für die untertägige Zwischenlagerung wurde ein handelsüblicher Transportbehälter ausgewählt, der zu diesem Zweck leicht modifiziert wird. Er kann drei Brennelemente aufnehmen.

Wenngleich noch nicht alle Ergebnisse vorliegen, ist doch jetzt schon erkennbar, daß die rückholbare untertägige Zwischenlagerung sehr kostenaufwendig, problematisch in der Realisierung und ohne erkennbaren Gewinn an Sicherheit gegenüber der übertägigen Zwischenlagerung ist.

## 4. Entwicklung und Bau einer Kammer für die Versuchseinlagerung mittelaktiver Abfälle

Nach Fertigstellung der ausschreibungsreifen Unterlagen für die Geräte zur automatischen Einlagerung mittelaktiver Abfallfässer erfolgte die Planung der Geräte für die Einbringung des Versatzes. Der Versatz soll die Hohlräume zwischen den Abfallfässern minimieren und so die Sicherheit der Lagerung mittelaktiver Abfälle erhöhen. Die Ausbildung der Geräte hängt stark von den technologischen Stoffeigenschaften der einzubringenden Materialien ab. Aus ingenieurtechnischer Sicht lassen sich diese Materialien in solche einteilen, die sich trocken in die Einlagerungskammer einschütten lassen, wie z. B. loses Salz, Tone oder Industrieschlacken, und in Stoffe, die in flüssiger Form in die Einlagerungskammer eingegossen werden und sich später dort verfestigen. Hierbei ist hauptsächlich an verschiedene Betonsorten zu denken.

Im Falle eines Versatzes mit Beton wird vorgeschlagen, diesen fertig anzuliefern und auf dem Grubengelände in Behälter mit 2 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen umzufüllen. Mit diesen Behältern wird der Beton nach untertage zur Beschickungskammer gebracht, in der sich die demontable Anlage zur Versatzeinbringung befindet. Durch vier symmetrisch angeordnete Bohrungen kann der Beton über beschwerte Betonförderschläuche in die Einlagerungskammer bis knapp über den Faßberg abgelassen werden. Diese Schläuche sind über Rohrweichen mit der Betonförderpumpe verbunden. Die Einbringung der Betonmenge von 2 m<sup>3</sup> erfolgt innerhalb weniger Minuten. Die Reinigung der in den Schläuchen verbliebenen Betonreste geschieht durch angefeuchtete Schwammkugeln.

Wenn in der Einlagerungskammer der Kegel des Faßberges an der tiefsten Stelle die Bodenfläche um ca. 0,5 m überdeckt, wird der erste Beton eingebracht. In einer normalen Schicht können ca. 85 m<sup>3</sup> Beton eingefüllt werden. Damit kann der zylindrische Fußteil des Faßberges versetzt werden. Weitere Versatzkampagnen folgen in Abhängigkeit vom jeweiligen Befüllungsstand der Kammer. Wenn die Einlagerungskammer vollständig mit Abfall gefüllt ist, wird der restliche Hohlraum durch den zentralen Bohrlochschieber vollständig mit Beton versiegelt. Die Verfüllung eines mit Fässern gefüllten Hohlraumes mit Zementbrei nach der beschriebenen Methode wurde in einem Modellversuch demonstriert.

## 5. Prototyp-Kavernenanlage im Salzbergwerk Asse

Im Mittelpunkt der Arbeiten des Jahres 1980 standen die Abnahme der übertägigen Einrichtungen sowie die Erarbeitung von Programmen für Versuche in der Prototypkaverne. Die Beobachtungen der Gebirgsverschiebungen um die Kaverne wurden fortgesetzt.

### 5.1 Abnahme der Anlage

Die Gesamtabnahme der Anlage durch die Aufsichtsbehörden wurde abgeschlossen. Im einzelnen handelt es sich dabei um

- die Krananlage mit dem Umladebehälter
- die Transport- und Manipulationseinheiten in einer strahlendichten Umladezelle und
- das hydraulisch gesteuerte Entlade- und Verschlusssystem der Kavernenanlage.

Für die auf der 926 m-Sohle einzurichtende Meßbox wurde das Meß- und Überwachungsprogramm eingerichtet. Es umfaßt:

- die Temperaturbestimmung an der Oberfläche des Abfallgutes mit einer Infrarotsonde
- die Dosisleistungsmessung der Abfallprodukte
- die Erfassung des Staubgehaltes der Kavernenatmosphäre mit einem Durchflußsammler
- die Bestimmung des Aktivitätsgehaltes des Staubes in einem automatischen Alpha-, Beta-, Gamma-Meßplatz.

Eine von der Meßbox aus absenkbar Bildübertragungseinheit überwacht den Einlagerungsvorgang. In einem Funktionstest wurden die fernbedienbaren Arbeitsabläufe sowie die Übertragungsqualität erprobt.

Die bergmännischen Arbeiten am Schacht 4 fanden mit dem Verschließen der Sohlenanschlüsse des Schachtes auf der 490 m-Sohle und der 750 m-Sohle ihren Abschluß.

### 5.2 Arbeiten zur Erprobung der Anlage

Für die Erprobung der Einlagerungsanlage mit unterschiedlichen Fässern und für Staubbefreiungsexperimente wurden vorbereitende Arbeiten, wie Herstellung simulierter Abfallgebände, durchgeführt und die entsprechenden Versuchsprogramme erarbeitet.

Ein besonderes Augenmerk wurde der Vorbereitung von Experimenten zur Staubbefreiung beim Fall von Fässern in die Kaverne gewidmet.

Ziel der Experimente ist es, Aussagen und Meßdaten über die Staubentwicklung aus den zerstörten Fässern, über Staubgehalt und -menge sowie über die Ausbreitung von lungengängigen, schnell sedimentierfähigen Stäuben im Kavernenhohlraum und das vertikale Staubkonzentrationsverhalten zu erhalten.

Die Durchführung der Messungen soll mit Filterbatterien, Elutriatoren, Impaktoren und Sedimentationschalen erfolgen.

Zur Messung des Staubgehaltes und der Staubaubreitung in der Kaverne werden fünf von Stahlseilen getragene Plattformen in unterschiedlichen Höhen angebracht. Auf den Plattformen werden die genannten Meßgeräte positioniert. Die Sedimentationschalen werden zum Auffangen des Grobstaubes auf dem Boden der Kaverne aufgestellt. Die Impaktoren und Elutriatoren ermöglichen, die Korngrößenverteilungen und den Feinstaubgehalt als Funktion der Höhe zu messen. Die Filterbatterien erlauben eine quantitative und qualitative Aussage über den Staubgehalt als Funktion der Höhe und der Zeit. Die Auswertung der Proben erfolgt durch gravimetrische Analyse, über Atomabsorptionsspektrometrie und durch Ausmessen und Auszählen der Staubpartikel im Lichtmikroskop.

### 5.3 Gebirgsmechanische Arbeiten

Nach Fertigstellung der Befahrungseinrichtung in Schacht 4 konnten dort die manuellen Gebirgsmessungen wieder aufgenommen werden. Damit liegt nach rund 300 Tagen wieder ein kompletter Meßzyklus für die 9 Meßhorizonte des unverrohrten Schachtabchnittes zwischen 539 m und 924 m (Endladeanlage) vor. Qualitativ bestätigen sich die bisher getroffenen Aussagen über das Gebirgsverhalten:

- Die Gebirgsverschiebungen vollziehen sich mit abnehmender Rate.
- Das Deformationsbild kann als homogen betrachtet werden.
- Bruchverformung ist bisher nirgends eingetreten und kann aufgrund des Deformationsbildes auch nicht erwartet werden.

Die Beobachtungen der Gebirgsverschiebungen um die Kaverne mit Hilfe der fernelektrischen Extensometer wurden auch im Jahre 1980 kontinuierlich und planmäßig fortgesetzt. An der bereits im Vorjahr mitgeteilten Tendenz der mit den Extensometern K2 bis K8 erfaßten relativen Gebirgsverschiebungen waren auch in diesem Jahr keine Änderungen festzustellen. Die Geschwindigkeit der Relativverschiebungen zwischen den einzelnen Festpunkten im Gebirge und den Referenzpunkten an den Extensometerköpfen nimmt weiter stetig ab.

Ein stationäres Kriechen mit konstanten Geschwindigkeiten ist nicht festzustellen. Beispielsweise beträgt bei dem Extensometer K6 die kumulierte radiale Gesamtdehnung des Gebirgsabschnittes von 1,4-3,4 m Stoßtiefe nunmehr insgesamt 1,3 %. Dies entspricht einer Zunahme der Dehnung innerhalb

dieses Abschnittes während der vergangenen 10 Monate um 0,14%. Für den Gebirgsabschnitt von 25,9 bis 40,4 m Stoßtiefe beträgt die kumulierte Dehnung schließlich nur noch 0,07%. Die Zunahme der Dehnung beträgt hier im gleichen Zeitraum nur noch rund  $6 \cdot 10^{-4}\%$ .

Voraussetzung für eine vollständige und repräsentative Analyse des Verschiebungsfeldes um die Kaverne im absoluten Maßstab ist allerdings eine integrale Bewertung der manuellen und fernelektrischen

Beobachtungen unter gegenseitiger Kopplung. Diese ist zur Zeit noch nicht möglich, da die manuellen Beobachtungen, wie bereits erwähnt, seit nahezu drei Jahren durch Baumaßnahmen und in jüngster Zeit durch eine begrenzte Schalenbildung am Kavernenstoß unterbrochen sind. Es fehlt dabei eine neue „Stützstelle“ aus jüngster Zeit, die eine Beurteilung erlaubt, ob und in welchem Maße die tiefstgelegenen Festpunkte derzeit noch in Bewegung sind.

## 6. Untersuchungen zur Versuchseinlagerung hochaktiver Abfälle

### 6.1 Thermophysikalische in situ-Untersuchungen zur HAW-Einlagerung im Steinsalz

Der Simulationsversuch im Älteren Steinsalz soll der Untersuchung der thermisch induzierten Wasserfreisetzung bei der Aufheizung des Steinsalzes infolge einer Einlagerung von wärmeerzeugenden hochradioaktiven Abfällen dienen. Die Wärmeproduktion der Abfälle wird durch elektrische Erhitzer simuliert.

Für den Versuch wurden die Erhitzer (200 mm Durchmesser) in ein 15,0 m tiefes, vertikales Bohrloch mit 250 mm Durchmesser im Bereich zwischen 9,6 m und 15,0 m Tiefe eingebaut. Die Gesamtleistung der Erhitzer betrug 9000 Watt. Das Bohrloch wurde im oberen Drittel (5 m) mit je einem einzementierten Standrohr und aufgeflanschem Deckel druckdicht verschlossen. Durch den Bohrlochdeckel wurden alle Meß- und Versorgungsleitungen druckdicht hindurchgeführt. Die Temperaturverteilung in der Bohrlochumgebung wurde in zwei Temperaturmeßflächen dreidimensional erfaßt.

Zunächst wurde der natürliche Laugenzufluß ohne Aufheizung in einer an das Bohrloch angeschlossenen Kühlfalle gemessen. Die Zuflußrate betrug ca. 0,8 g/Tag. Nachdem die Erhitzer eingeschaltet worden waren, stieg der Feuchtigkeitszufluß (vgl. Abb. 1) zunächst spontan auf ca. 40 bis 50 g/Tag an, nahm jedoch bereits nach ca. 20 Tagen kontinuierlich ab und erreichte nach ca. 50 Tagen eine nahezu konstante Rate von ca. 8 g/Tag. Diese Freisetzungsr

blieb bis zum Versuchstag 148 konstant, stieg aber zwischen Versuchstag 160 und 180 auf ca. 13 bis 14 g/Tag an. Es ist wahrscheinlich, daß dieser kurzfristige Anstieg in dem Ausfall von Erhitzer 2 und 3 (40% der Erhitzergesamtleistung) am 148. Versuchstag begründet ist. Der hierdurch verursachte Rückgang in der Gesteinstemperatur führte zu einer Kontraktion des umliegenden Salzgebirges mit begleitender Mikrorißbildung und damit zu einer Erhöhung der Permeabilität und beschleunigter Wasserfreisetzung. Nach Versuchstag 180 stabilisierte sich die Freisetzungsr

Die Abbildung 2 zeigt den Gasdruck im aufgeheizten Bohrloch. In dieser Abbildung sind auch die Zeiträume gekennzeichnet, in denen die Kühlfalle eingeschaltet war. Generell läßt sich sagen, daß nach dem jeweiligen Einschalten eine kurzfristige Abnahme des Gesamtgasdruckes zu verzeichnen war, die auf die Reduzierung des Wasserdampfpartialdruckes im Bohrloch infolge der Kondensation des Wassers in der Kühlfalle zurückzuführen ist. Es sind jedoch auch Druckabnahmen registriert worden, die nicht mit dem Betriebszustand der Kühlfalle zu korrelieren sind. Hierbei könnte es sich um Druckabnahmen infolge thermisch induzierter Mikrorißbildung handeln. Die Untersuchung dieses Sachverhalts wird u. a. Gegenstand eines geplanten Versuches sein, bei dem begleitend zur Druckmessung auch Permeabilitätsmessungen und seismoakustische Messungen durchgeführt werden sollen.

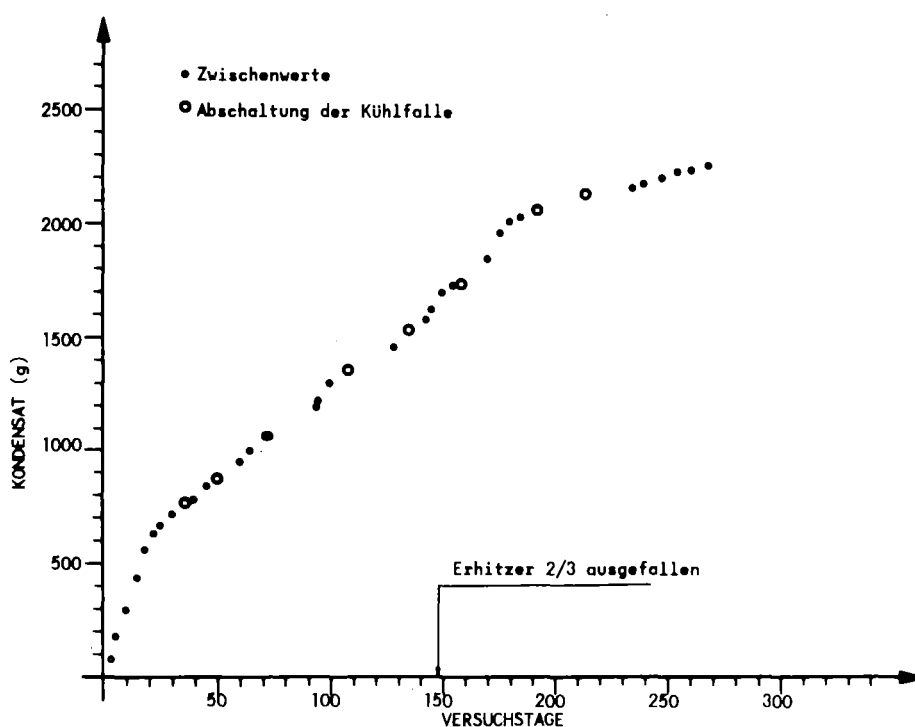


Abb. 1:  
Feuchtigkeitszufluß im Bohrloch als Funktion der Zeit (Kondensat in der Kühlfalle)

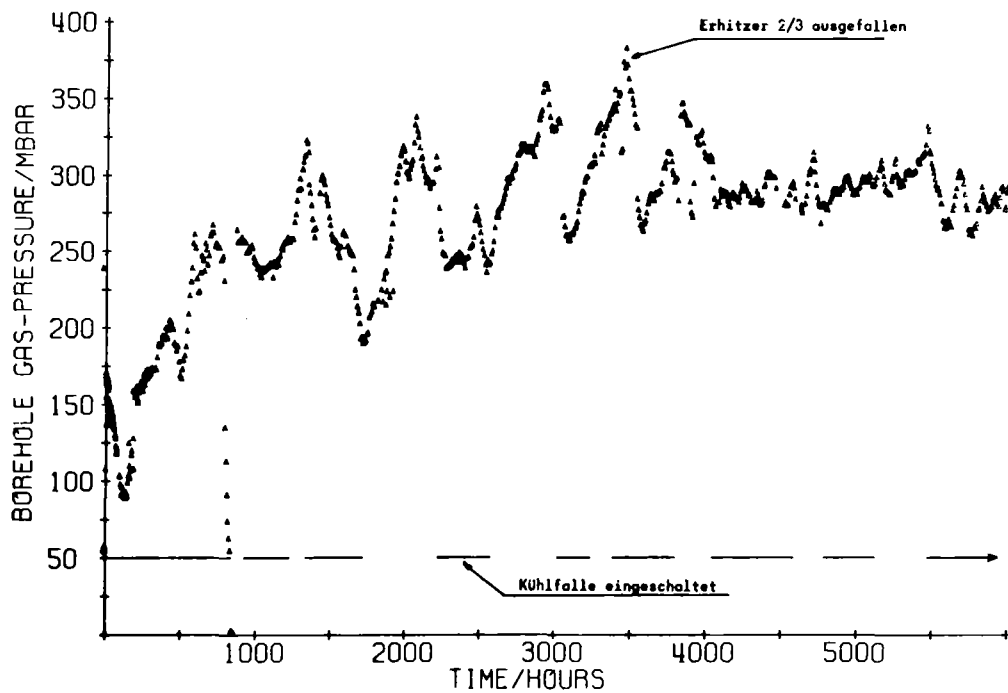


Abb. 2:  
Änderung des Gas-  
druckes im aufgeheiz-  
ten Bohrloch durch  
Einschalten der Kühl-  
folie und mögliche  
Mikrorißbildung

Parallel zu diesen Messungen wurde die Temperaturverteilung im umliegenden Gebirge in zwei senkrecht zueinander angeordneten Meßebenen erfaßt. Bei der radialen Temperaturverteilung konnten keine signifikanten Inhomogenitäten bezüglich des Wärmeleitvermögens des Na<sub>2</sub>U festgestellt werden.

## 6.2 Freisetzung und Diffusion der im Steinsalz enthaltenen Wasser- und Gaskomponenten

Zur Ermittlung des im Steinsalz enthaltenen Wassers wurden bislang 200 Proben aus dem Salzbergwerk Asse aus verschiedenen Teufen und stratigraphischen Horizonten untersucht. Dabei wurde der Wassergehalt nach mindestens zwei voneinander unabhängigen Verfahren bestimmt. Die Abb. 3 zeigt die Häufigkeitsverteilung des Wassergehaltes dieser Proben. Hieraus geht hervor, daß etwa 55% einen Wassergehalt < 0,1% und 75% < 0,2% haben.

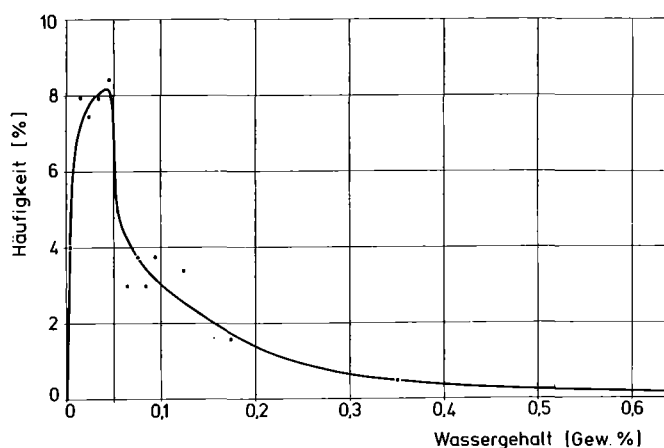


Abb. 3:  
Häufigkeitsverteilung des Wassergehaltes von Stein-  
salzproben

Untersuchungen, die an Bohrkernen aus einem stratigraphischen Horizont durchgeführt wurden, ergaben, daß innerhalb dieses Horizontes der Wassergehalt in Bereichen von etwa 1 m um den Faktor 10 schwanken kann. Der Hauptanteil des im Steinsalz enthaltenen Wassers stammt von den kristallwasserhaltigen Nebenmineralen Polyhalit und Kieserit her. Der Anteil an Laugeneinschlüssen ist vergleichsweise gering (< 0,01 Gew.-%).

Für die Entwicklung eines Diffusionsmodells ist das thermische Verhalten der hydratisierten Minerale von Bedeutung, daher wurde die Kristallwasserfreisetzung des Polyhalits und Kieserits untersucht. In diese Untersuchungen wurde der Carnallit mit einbezogen, obwohl er in den für die Endlagerung in Frage kommenden Horizonten nicht vorkommt, jedoch Steinsalz an Carnallitformationen angrenzen kann und diese somit indirekt aufgeheizt werden können. Das thermische Verhalten der hydratisierten Minerale zeigte, daß die Freisetzungparameter des Kristallwassers von der Feuchtigkeit der Luft über dem Mine-



ral abhängt und für absolut trockene Atmosphäre keine unterste Freisetzungstemperatur existiert. Abb. 4 zeigt die Temperatur der beginnenden Kristallwasserfreisetzung in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchtigkeit des Carnallits. Die Kristallwasserfreisetzen der Minerale Polyhalit und Kieserit zeigen ein ähnliches Verhalten, nur daß der Bereich in dem dieser Vorgang stattfindet, beim Carnallit zwischen 40° und 90° C, beim Polyhalit zwischen 200° und 250° C und beim Kieserit zwischen 250° und 325° C liegt.

Innerhalb eines Endlagerhorizontes wird das thermisch freigesetzte Wasser auf den Kristallgrenzflächen, den Mikrorissen und intergranularen Hohlräumen infolge von Gesamtdruck-, Partialdruck-, Konzentrations- und Temperaturgradienten diffundieren. Für die Entwicklung eines mathematischen Diffusionsmodells und zur Berechnung wieviel Wasser in einem Endlagerbohrloch freigesetzt wird, wurde begonnen, die Diffusionskonstanten, die Porosität, Permeabilität und innere Oberfläche von Steinsalzproben zu bestimmen. Die vorläufigen Werte für die Diffusionskonstanten infolge Konzentrationsgradienten liegen zwischen  $0,2$  und  $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$ , die der Permeabilität zwischen  $0,05$  und  $121 \mu\text{D}$  und die der Porosität zwischen  $0,01$  und  $0,74 \text{ Vol.-%}$ .

### 6.3 Untersuchung der Vorgänge beim Eindringen von Wasser oder Lauge in ein hochaktives Endlager

#### Feldversuche an vollgelaufenen Schächten

Vollgelaufene Schächte haben scharf geschichtete, unterschiedlich salzhaltige Wasserkörper, deren Temperatur sich an den Grenzschichten sprunghaft ändert, während sie sonst oft über den gesamten Bereich eines Wasserkörpers konstant ist.

Strömungsmessungen zeigen in Bereichen konstanter Zusammensetzung und Temperatur verhältnismäßig starke Unruhe, so daß dort von einem relativ schnellen Temperatur- und Stofftransport durch turbulente Konvektionsströmungen ausgegangen werden kann. Abbildung 5 zeigt Strömungs- und Temperaturprofil in einem Teil einer Schachtwassersäule. Aufgenommen wurden die relativen Änderungen einer Propellerumdrehung zur Fahrgeschwindigkeit der Meßsonde im Vergleich zum Temperaturverlauf. Hier überschichten sich zwei turbulent durchmischte Lösungen.

Werden Konzentrationsänderungen nicht durch Nachströmen ausgeglichen, bilden sich Zwischenschichten aus Mischlösungen, diese verschieben das

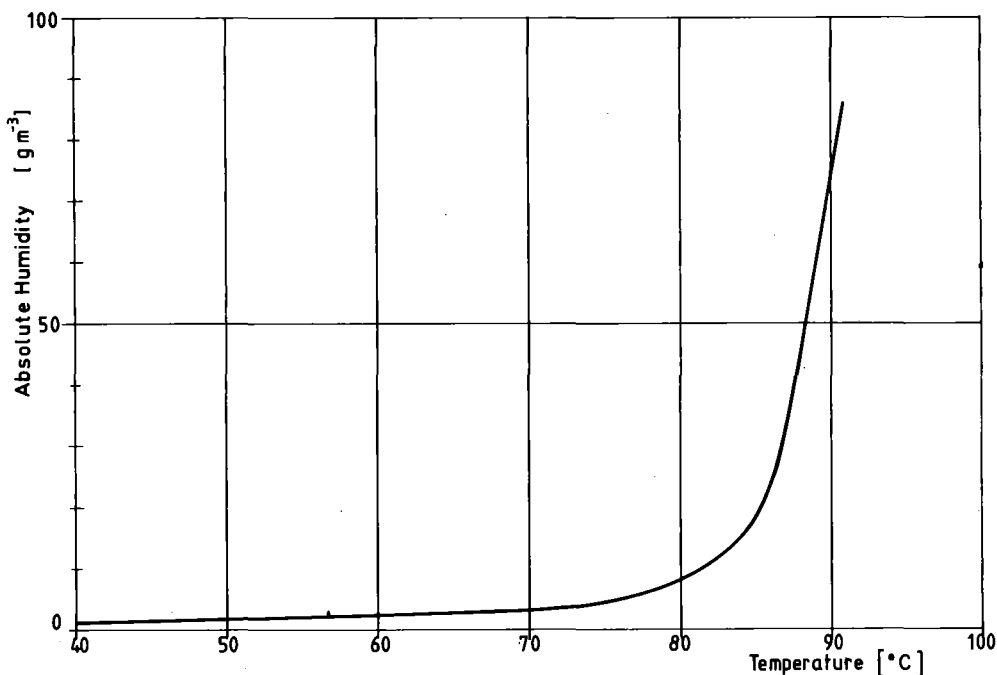


Abb. 4: Temperatur der beginnenden Kristallwasserfreisetzung aus Carnallit in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchtigkeit

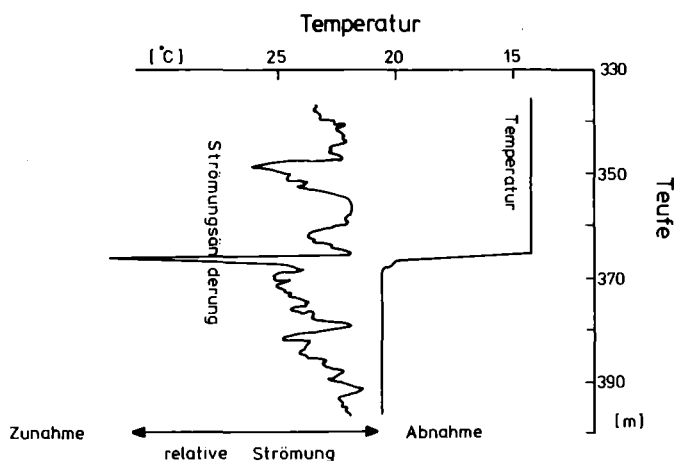


Abb. 5:  
Vergleich der Temperatur- und Strömungsverhältnisse in einer Schachtröhre. Zwei turbulente Zonen mit konstanter Temperatur bilden eine scharf geschichtete Grenzfläche bei ca. 356 m Teufe

Konzentrations- und Temperaturgefälle an den Grenzflächen, bis es zur Gleichgewichtseinstellung zwischen Strömung und Diffusion kommt. Dieser Vorgang konnte auch im Technikumsversuch beobachtet werden.

Daß die entstehenden Dichtegrenzen starke Barrieren für die konvektive Ausbreitung gelöster Stoffe darstellen, zeigt die Betrachtung der Magnesium- und Natriumkonzentration. So werden z. B. in einem Schacht in einer  $MgCl_2$ -gesättigten quaternären Lösung 96 g  $Mg^{2+}$  /l gemessen. Die darüber liegende NaCl-Schicht enthielt nur noch 0,9 g  $Mg^{2+}$  /l, wobei das anstehende Steinsalz, mit dem die Lösung im Gleichgewicht steht, selbst schon etwa 1%  $Mg^{2+}$  enthalten dürfte. Der  $Na^+$ -Gehalt dieser Lösung lag bei 120 g/l. Die darüber geschichtete Wassersäule enthielt 0,8 g  $Na^+$  /l.

Wären nun in der untersten Schicht radioaktive Isotope gelöst, so läge deren Konzentration im Spurenbereich. Die Transportmechanismen und Ausbreitungsgeschwindigkeiten derartiger Radionuklide, sowohl innerhalb der einzelnen Laugenkörper als auch über Grenzschichten zweier Laugenkörper, sind noch weitgehend unbekannt. Hierzu befindet sich ein Tracerversuch in einem gefluteten Schacht in Vorbereitung.

### Versuche im Technikumsmaßstab mit gläsernen Modellen

Ergänzend zu den Schachtmessungen wurde mit Versuchen in einem im Technikumsmaßstab nachgebildeten Schachtmodell begonnen. Hierbei werden zwei unterschiedlich temperierte, verschieden dichte Salzlösungen übereinander geschichtet. Die untere Schicht wird getracert und zur besseren Unterscheidung angefärbt. Durch Probenahme und Analyse wird die Verteilung des Tracers verfolgt. Die Temperatur wird gemessen und die Phasengrenze durch Zeitrafferaufnahmen beobachtet.

Konvektionsbedingte leichte Ausbuchtungen der Phasengrenze führen bei diesen Temperaturen zu keiner sichtbaren Durchmischung. Eher verhalten sich diese Phasen — mechanische Einflüsse ausgenommen — wie zwei nicht miteinander mischbare Flüssigkeiten, die einen in beiden Flüssigkeiten löslichen Substanzanteil haben.

Begleitende Untersuchungen dienen der Ermittlung dimensionsloser Kennziffern für eine optimale Übertragbarkeit der Ergebnisse auf natürliche Verhältnisse.

## 6.4 Deformationsmessungen in untertägigen Hohlräumen im Zusammenhang mit in situ-Versuchen

### Deformationsmessungen in der Versuchsstrecke des Temperaturversuchsfeldes 4 (TVF 4)

Die Messungen im TVF 4 wurden soweit möglich unmittelbar (3 Tage) nach der Streckenauffahrung begonnen. Der typische zeitliche Verlauf der Stoßdeformation ist am Beispiel des Extensometers 24 zu sehen (vgl. Abb. 6). Die nichtlineare Primärkonvergenz ist nach ca. 200 Tagen abgeklungen und die Deformation geht in einen linearen Bereich mit annähernd konstanter Deformationsgeschwindigkeit über.

Aus dem Konvergenz/Zeitdiagramm des Extensometers 24 ist deutlich zu erkennen, daß der Absolutbetrag der Verformung während der Zeit, in der nicht geheizt wurde, mit zunehmender Verankerungstiefe zunimmt, dagegen die relativen Längenveränderungen zwischen den einzelnen Ankerpunkten mit der Tiefe abnehmen.

Die mittlere Geschwindigkeit der horizontalen Raumkonvergenz zwischen den Extensometern 22 und 24 beträgt während des gleichen Zeitraumes ca. 3,2 mm/100 Tage. Vergleicht man den halben Betrag der Geschwindigkeit der Raumkonvergenz mit dem Betrag der Verformungsgeschwindigkeit zwischen Stoß und Anker 2404 in 9 m Gesteinstiefe, so besteht eine Differenz von ca. 0,3 mm/100 Tage, d. h. der Anker 2404 ist nicht in Ruhe. Die Verformungen durch die Streckenauffahrung sind also nach 600 Tagen Hohlraumöffnung in 9 m Gesteinstiefe noch nicht abgeklungen. Dieser Sachverhalt ändert sich, nachdem am Meßtag 637 die Erhitzer im Bohrloch 2 (mittlere Entfernung zum Extensometer 24 17 m) eingeschaltet wurden. Der halbe Betrag der Geschwindigkeit der Raumkonvergenz ist für ca. 100 Tage mit 3 mm/100 Tage größer als zuvor und nahezu identisch mit der Verformungsgeschwindigkeit zwischen Stoß und Anker 2404 in 9 m Gesteinstiefe. Ungefähr ab Versuchstag 800 nimmt dann die Geschwindigkeit der Raumkonvergenz wieder ab, während die Verformungsgeschwindigkeit zwischen dem Stoß und Anker 2404 weiter konstant bleibt. Offensichtlich wirkt sich die Aufheizung in diesem Bereich derart aus, daß kurz nach Aufheizbeginn die Verformung des Gebirges im Bereich des Ankers 2404 zur Ruhe kommt, sich die Bewegungsrichtung aber ab Versuchstag 800 im Vergleich zur Meßzeit vor der Auf-

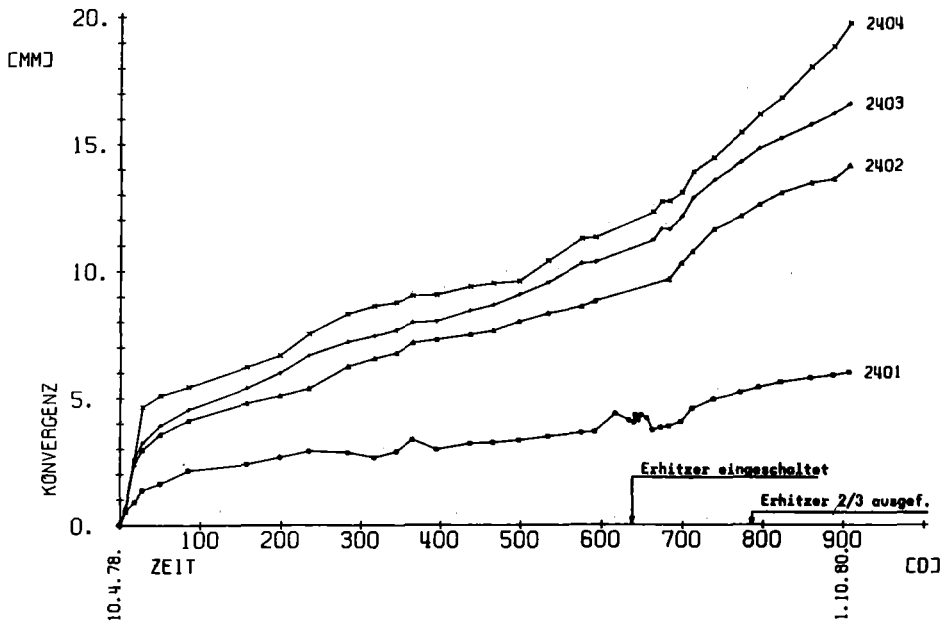


Abb. 6:  
Verformung / Zeit-Diagramm  
von Extensometer 24, natür-  
liche Deformation des  
Streckenstoßes und Einfluß  
der Aufheizung

heizung umkehrt, und zwar in Richtung Gebirge. Dies würde bedeuten, daß im stoßernen Bereich durch die Aufheizung eine Kompaktierung des Gebirges bewirkt wird, die der anfänglichen Auflockerung nach der Hohlraumöffnung entgegenwirkt.

Ob und inwieweit die Abnahme der Geschwindigkeit der Raumkonvergenz nach Versuchstag 800 auf eine Abnahme der Kriechrate oder einen Rückgang der thermischen Ausdehnung des Gebirges infolge des Ausfalles von Erhitzer 2 und Erhitzer 3 (40% der Gesamtwärmeleistung) zurückzuführen ist, kann z. Zt. anhand der vorhandenen Meßkurven nicht ein-

deutig geklärt werden. Die langfristige Fortsetzung der Messungen ist zur Klärung dieses Sachverhaltes notwendig.

In der Abbildung 7 ist die vertikale Raumkonvergenz über dem Erhitzerbohrloch 2 zwischen den Extensometerstützen 23 und 25 (vgl. Jahresbericht 1978) aufgetragen. Dem Konvergenz / Zeitdiagramm kann entnommen werden, daß nach dem Ausfall von Erhitzer 2/3 eine deutliche Abnahme der Konvergenzgeschwindigkeit zu registrieren ist. Die Ursache der Abnahme der Verformungsgeschwindigkeit muß auch hier geklärt werden.

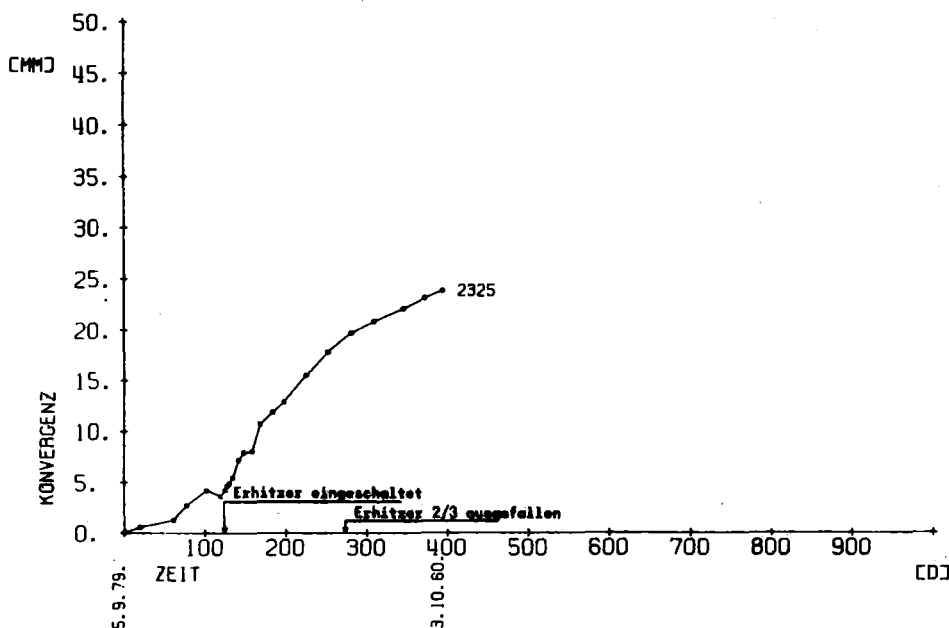


Abb. 7:  
Vertikale Raumkonvergenz  
zwischen Punktpaar 23 und  
25 in der Versuchsstrecke  
über der Erhitzer-Bohrung

## 6.5 Absolutspannungsmessungen im nicht-aufgeheizten und aufgeheizten Gebirge

In situ-Messungen mit der Salzmeßpatrone zur Bestimmung des Spannungszustandes im Salinar sollen zu einem Vergleich mit den Meßergebnissen der Bohrlochentlastungsmethode herangezogen werden. Die Salzmeßpatrone besteht zum größten Teil aus arteigenem Material (Salz). Lediglich die eingeklebten Dehnungsmeßstreifen und die Zuleitungen bilden einen Fremdkörper. Salzmeßpatronen wurden zunächst für Laborversuche konstruiert. Auf den sorgsam präparierten Flächen sind Dehnungsmeßstreifen orientiert aufgeklebt. Da bei hydrostatischen Druckversuchen in der Manteldruckanlage die Meßpatrone direkt dem Öl ausgesetzt wird, muß die Patrone mit einem geeigneten Dichtungsmittel bestrichen werden.

Abbildung 8 zeigt das Dehnungsverhalten eines in der Salzmeßpatrone eingebauten Meßstreifens bei hydrostatischer Belastung. Wie zu ersehen ist, besteht zwischen dem Be- und Entlastungsweig eine relativ geringe Hysterese. Um den Einfluß des hydrostatischen Drucks auf die Dehnungsmeßstreifen zu ermitteln, wurden Belastungsversuche an einem Aluminiumzylinder gefahren. Die Versuche ergaben, daß der Einfluß relativ gering ist. Bis zu einem Druck von 40 MPa beträgt die Abweichung etwa  $7 \mu\text{m}/\text{m}$  je 10 MPa.

Zur Durchführung von Spannungs- und Permeabilitätsmessungen mittels Hydro-Frac (Aufreißverfahren) wurde auf der 775-m-Sohle der Schachtanlage Asse eine Versuchsstrecke aufgefahren. An der Entwicklung eines geeigneten Packersystems wird z. Zt. gearbeitet. Für den Einbau einer Monitor-Station zur Registrierung von Spannungsumlagerungen wurde im Bereich des neu aufgefahrenen Temperaturversuchsfeldes V ein Stoß hergerichtet. Festigkeitsme-

chanische Untersuchungen im Labor an dem zu verwendenden Verspannungsmaterial wurden durchgeführt.

## 6.6 Experimentelle Untersuchung der rheologischen Eigenschaften von Salzgestein unter Normalbedingungen und bei erhöhter Temperatur und Strahlenbelastung

### Einaxiale Versuche

Seit Mitte 1979 werden Druck-Zeitstandsversuche bei Raumtemperatur mit 170 bar durchgeführt, ohne daß bisher ein Abschluß des sekundären Kriechverhaltens erkennbar wäre. Serienversuche bei erhöhten Temperaturen konnten zunächst wegen der schlechten Temperaturhomogenität innerhalb der Prüfkörper nicht durchgeführt werden (ca. 15 bis 20% im Bereich von 100 bis 400° C). Diese Diskrepanz konnte durch Installation einer besonderen Zusatzheizung auf ca. 1% reduziert werden. In bisher vier Versuchen konnte das viskose Verhalten von Steinsalz auch für den Zugbereich bestätigt werden.

In ca. 40 Versuchen wurde eine Abhängigkeit der Festigkeit des Steinsalzes vom Abstand zur Stoßoberfläche festgestellt. Prüfkörper aus streckennahem Bereich weisen z.B. eine etwa doppelt so hohe Kriechgeschwindigkeit auf wie solche aus etwa 2 m Stoßtiefe. Vergleichende Versuche wiesen nach, daß die Spaltzugfestigkeit von Salz je nach Versuchsbedingungen ca. 70 bis 90% der einaxialen Zugfestigkeit beträgt.

Torsionsversuche ergaben einen gleich großen Wert für den E-Modul im Zug- und im Druckbereich. In diesem Versuch wurde gleichzeitig der Schubmodul entwickelt.

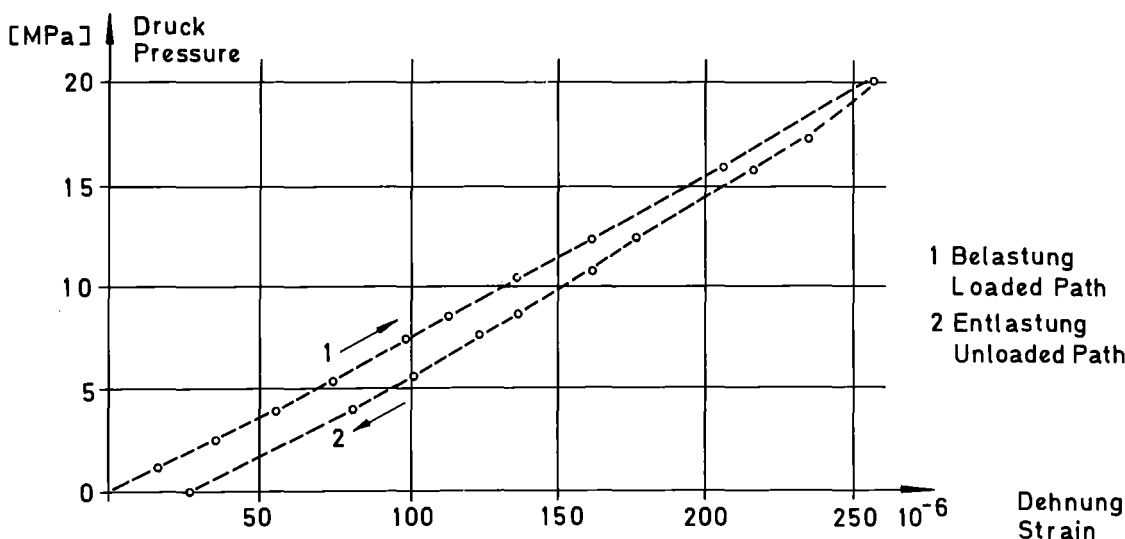


Abb. 8: Spannungs-Dehnungsverhalten der Salzmeßpatrone bei hydrostatischer Belastung

### Triaxiale Experimente

Im Jahre 1980 wurden die ersten mehrachsigen Laborversuche an Steinsalz-Zylindern unter Einsatz der Triaxial-Prüfanlage begonnen. Triaxial-Versuchsreihen am Jüngerem Steinsalz (Na3) der Schachanlage Asse wurden zunächst bei Raumtemperatur und Manteldrücken zwischen 12,5 bar (1,25 MPa) und 100 bar (10,0 MPa) als weggeregelte und als kraftgeregelte „Kurzzeit“-Versuche durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Experimente sind in der Abbildung 9 graphisch dargestellt. In erster Näherung konnte für den Untersuchungsbereich der Zusammenhang in beiden Fällen durch einen linearen Ansatz mit jedoch unterschiedlichen Koeffizienten recht gut beschrieben werden. Dabei wurden die lastgeregelten Versuche mit einer Anfangs-Spannungsrate von  $1,0 \text{ MPa} \cdot \text{min}^{-1}$ , die weggeregelten Versuchsreihen mit einer axialen Anfangs-Stauchungsrate von  $4 \cdot 10^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  durchgeführt. Dieses Versuchsprogramm wird zukünftig unter Ausdehnung auf höhere Manteldrücke durch Versuchsreihen bei unterschiedlichen Stauchungsraten sowie erhöhten Temperaturen erweitert.

### 6.7 Geophysikalische Untersuchung und Überwachung des Gebirgsverhaltens in der Umgebung untertägiger Temperaturversuche

#### Mikroseismische Beobachtungen

Beim Erhitzen des Gesteins sind Änderungen in der Spannungsverteilung und in den mechanischen Eigenschaften zu erwarten. Eine wesentliche Frage dabei ist, ob die Reaktion des Gesteins stetig oder mittels plötzlicher Entspannungen vor sich geht. Dies kann mit einem Netz von Geophonen nachgewiesen werden.

Das mikroseismische Netz in der Asse ist seit Mai 1980 in Betrieb. Sprengungen in der Grube können auf teilweise besser als 30 m genau geortet werden. Spontane mikroseismische Ereignisse kommen vor. Die Häufigkeit solcher Ereignisse mit Amplituden deutlich über der Bodenunruhe ist 5 bis 15 pro Monat. Die Wellenlängen sind dabei mit 50 bis 200 m sehr viel größer als die bei Sprengerschütterungen. Die Kompressionswellen sind bei den spontanen Ereignissen weit weniger ausgeprägt, d. h. die Scherwellen haben wesentlich größere Amplituden. Demzufolge ist die Ortung hier schwieriger und zeigt je nach Stationswahl größere Streuungen. In den meisten Fällen bleiben die Amplituden unter denen von Sprengarbeiten,

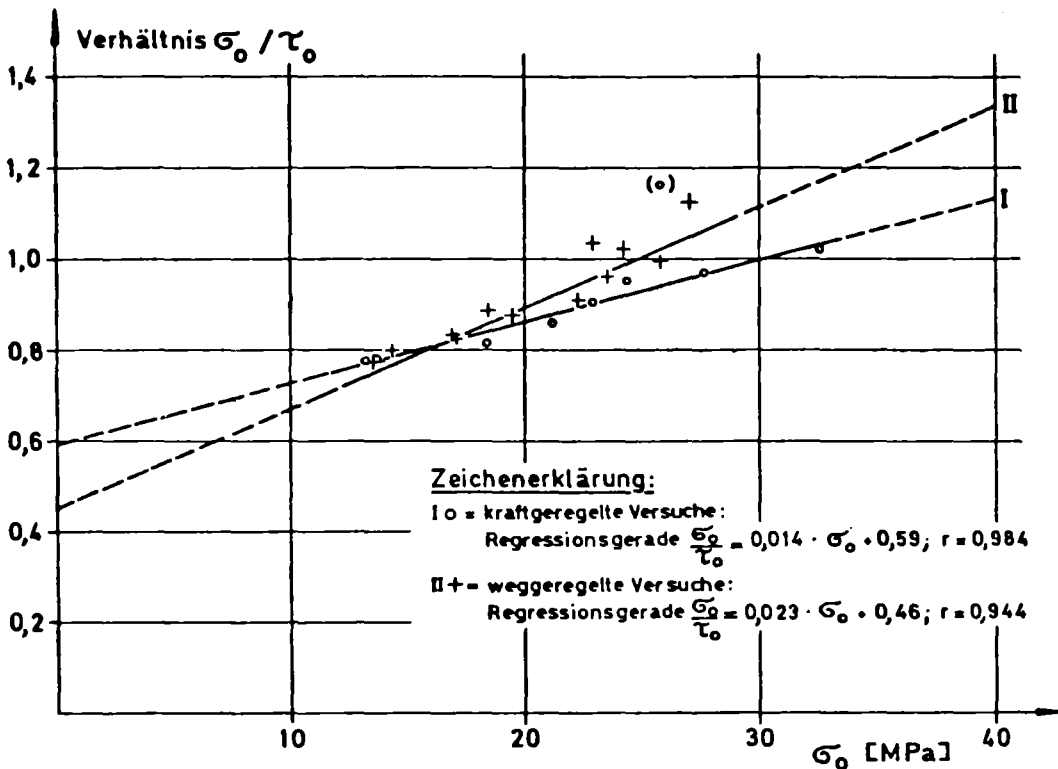


Abb. 9:  
 Verhältnis der Oktaedernormalspannung zur Oktaederschubfestigkeit  
 in Abhängigkeit von der Oktaedernormalspannung

jedoch sind innerhalb eines halben Jahres zwei Ereignisse mit mindestens gleich hohen Amplituden aufgetreten. In der unmittelbaren Umgebung des Temperaturversuchsfeldes IV wurde bisher kein Ereignis geortet.

Um die Ursachen solcher Ereignisse unterscheiden zu können (Firstfall, Rißbildung, Verschiebung längst bestehender Risse), wird es erforderlich, einige der bisher nur vertikal ausgerichteten Geophone durch horizontale zu ergänzen.

### Hammerschlagseismik

Hauptziel ist die Bestimmung von Kompressionswellen- und Scherwellengeschwindigkeit an ausgesuchten Stellen in der Grube. Später soll dazu die Änderung von Amplitude und Spektrum mit der Entfernung untersucht werden. Da bei größeren Entfernungen die Hammerschlagsignale ziemlich schwach werden, ist eine wesentliche Aufgabe der elektronischen Ausrüstung die Stapelung wiederholter gleichartiger Signale und damit eine Erhöhung des Signal / Rausch-Abstandes. Das gestapelte Signal (3 Komponenten) und ein Referenzsignal aus der Nähe der Anregung können zur weiteren Auswertung auf Magnetband übernommen werden. Das System wurde aus Laborgeräten zusammengestellt und für den Untertagebetrieb hergerichtet. Ein erfolgreicher Probeinsatz hat stattgefunden.

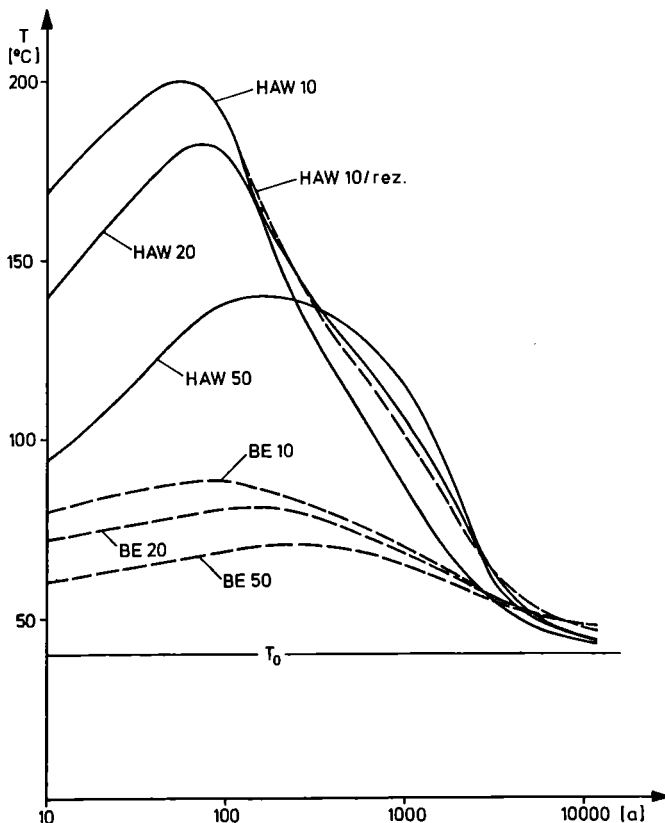


Abb. 10: Temperaturen an der Bohrlochwand

## 6.8 Entwicklung von Rechenmethoden für Standfestigkeitsberechnungen unter Berücksichtigung erhöhter Temperaturen

### Temperaturrechnungen

Unter Verwendung der 2- und 3-dimensionalen Rechenprogramme ASYTE, CUBSIT und CUB3DG wurden Rechnungen zur klein- und großräumigen Temperaturentwicklung bei verschiedenen Varianten von Endlagern für hochaktive Abfälle bzw. abgebrannte Brennelemente durchgeführt.

Die Rechnungen basierten im Falle von HAW auf dem Endlagerkonzept für Gorleben. Für die BE-Lagerung wurde angenommen, daß die gesamte Lagerfläche des Endlagers im Salzstock Gorleben genutzt werden kann.

Aufgrund der in diesen Konzepten vorgesehenen Aufteilung der Endlagerbereiche in mehrere Einzelfelder (6 nebeneinanderliegende Felder auf einer Ebene bei HAW, 3 übereinanderliegende Lagerebenen für die BE-Lagerung), die sich nach längeren Zeiten wechselseitig beeinflussen, mußten spezielle Techniken zur Überlagerung der klein- und großräumigen Temperaturverteilung angewandt werden. Eine direkte Modellierung und Berechnung der gesamten Lagerstruktur ist aus Gründen des Speicherplatzes und Rechenzeitaufwandes nicht möglich. (Ein Programmsystem, das automatisch die Ausführung und Kopplung von klein- und großräumigen Einzelrechnungen ermöglichen soll, befindet sich in der Entwicklung).

Als Beispiel für die Ergebnisse zeigt die Abbildung 10 den zeitlichen Verlauf der Salztemperaturen an der Bohrlochwand in der Lagerfeldmitte, d. h. an der Position der maximalen Temperaturerhöhungen. Die Bezeichnungen der HAW- bzw. BE-Varianten beziehen sich auf die Zeitpunkte der Wiederaufarbeitung bzw. der Endlagerung nach Reaktorentnahme, wie aus der nachfolgenden Aufstellung ersichtlich wird.

	$t_{WA}$ (Jahre)	$t_E$ (Jahre)
HAW 10	7	10
HAW 20	20	20
HAW 50	50	50
HAW 10/rez.	7	10
BE 10	-	10
Be 20	-	20
BE 50	-	50

Für den Vergleich der Temperaturerhöhungen ist zu beachten, daß bei den BE-Varianten nur die Hälfte des Inventars ( $t_{SM}$ ) der HAW-Varianten zugrunde gelegt und die aufgewandte Lagergrundfläche etwa um den Faktor 2,5 größer angenommen wurde.

Die Variante HAW 10/rez. entspricht einem Brennstoffzyklus mit 2-maliger Pu-Rezyklierung. Die Endlagerfläche ist in diesem Fall um 33% größer angenommen als bei den anderen HAW-Varianten (bei einer um 25% verringerten Spaltproduktkonzentration in den Abfallblöcken).

## Thermomechanische Modellrechnungen

Eine neue Version des Finite Elemente Programms ADINA wurde auf der Rechenanlage des KfK implementiert und dahingehend erweitert, daß ein temperaturabhängiges Kriechgesetz berücksichtigt werden kann. Mit Hilfe dieses Rechenprogramms wurden verschiedene Beispiele zu den thermomechanischen bzw. gebirgsmechanischen Folgen der Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Salzstock untersucht.

Die thermomechanischen Belastungen, d.h. die Spannungen und Verformungen im System Salzstock, Nebengestein, Deckgebirge bei der Endlagerung von HAW sowie von abgebrannten Brennelementen wurde anhand stark idealisierter Modellvorstellungen analysiert.

Die Spannungen und Verformungen in der Umgebung von beheizten Bohrlöchern in Salz wurden am Beispiel des Temperaturversuchs 3 in der Asse, bei

dem die Bohrlochkonvergenz gemessen worden war, untersucht. Bei diesen Rechnungen wurden der Elastizitätsmodul und die Druckrandbedingungen variiert, um den Einfluß dieser Parameter zu ermitteln. In der Abb. 11 ist der zeitliche Verlauf der Bohrlochkonvergenz auf halber Höhe der Wärmequelle für mehrere der betrachteten Parameterkombinationen dargestellt. Ebenfalls dargestellt sind die Ergebnisse, die mit dem FEM-Programm MAUS zu diesem Modellfall durchgeführt wurden, wobei die Kenngrößen des primären und sekundären Kriechens variiert wurden.

Die berechneten Konvergenzwerte liegen um etwa 40-70% niedriger als die gemessenen Werte. Der Grund für diese Diskrepanz kann in dem sekundären Kriechverhalten des Salzes liegen, das am Ort des Experiments unter in situ-Bedingungen eventuell anders war als bei den Laborversuchen an kleinen Proben, mit denen die Stoffwerte für die Rechnungen ermittelt wurden.

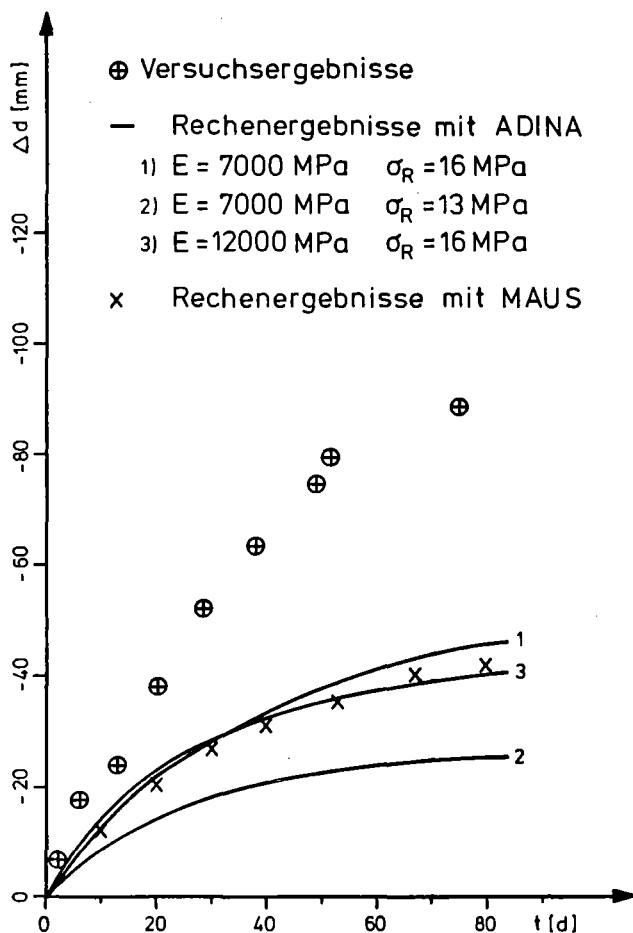


Abb. 11:  
Zeitliche Änderung des Bohrlochdurchmessers

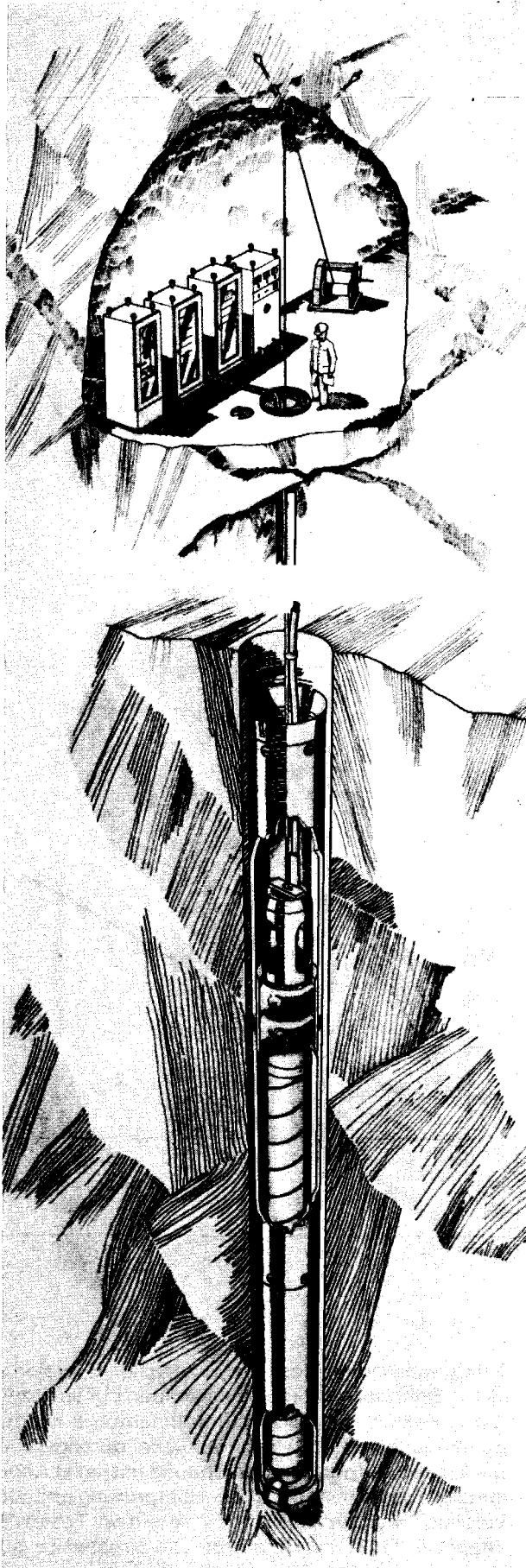


Abb. 12: Versuchsrohrstrecke mit Meßanlage

## 6.9 Entwicklung von technischen Einrichtungen und Geräten für Transport und Endlagerung

### *Untersuchungen zur Standfestigkeit von Bohrlochverrohrungen und Erprobung einer Standardkonvergenzsonde*

Zur Messung des Gebirgsdrucks auf die Verrohrung von Bohrlochern mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen wurde im Salzbergwerk Asse eine Versuchsrohrstrecke mit Erhitzer und Meßanlage (Abb. 12) aufgebaut und Anfang Mai 1980 in Betrieb genommen. Die zur Zeit eingespeiste Erhitzerleistung beträgt 2,0 kW, die Maximaltemperatur an der äußeren Rohroberfläche ca. 230° C. Ergänzend zu den in situ-Versuchen in der Asse wurden Laborversuche durchgeführt, um das Zeitstandverhalten (Drift und Kriechen) der eingesetzten Dehnungsmeßstreifen festzustellen.

Im HD-Versuchsstand und im Simulationsversuch werden 3 verschiedene DMS-Typen getestet:

- Typ I: hohe Driftrate, nicht linear, schlecht zu korrigieren,
- Typ II: lineare Driftrate, gut zu korrigieren, Fehler mit Driftkorrektur nach 150 Meßtagen < 20 bar,
- Typ III: sehr niedrige Driftrate, Fehler ohne Driftkorrektur nach 130 Meßtagen < 10 bar, Fehler mit Driftkorrektur nach 130 Meßtagen < 2 bar.

Die Laborversuche zur Messung der Konvergenz des Salzes mit der Standardsonde wurden erfolgreich abgeschlossen. Dabei wurden die Meßsignale der Kapazitätsmeßstellen über einen längeren Zeitraum unter Betriebstemperatur (ca. 200° C) beobachtet. Es konnte keine Veränderung der Meßwerte festgestellt werden. Nach Abschluß der Messung wurde die Sonde mechanisch überarbeitet und mit zwei komplett montierten Positioniervorrichtungen zur Asse transportiert. Der für die in situ-Erprobung erforderliche Betriebsplan wurde eingereicht. Die Genehmigung erfolgte Ende September, ab Mitte November konnten die Versuche begonnen werden.

### *Technische Einrichtungen*

Der ausschreibungsreife Entwurf eines Transportbehälters mit einer Bleiabschirmung von 15 cm für Gammastrahlen und 12 cm Polyäthylen mit Borkarbid als Neutronenabschirmmaterial ist fertiggestellt worden.

Die Bohrlochschiebereinheit erfüllt alle erforderlichen Funktionen für den sicheren Verschluß der Bohrlöcher. Er ist für Wartungs- und Reparaturarbeiten austauschbar.

Einen Schwerpunkt der HAW-Kokillenentwicklung bildete die Handierbarkeit nach dem Einsetzen des Verschlußdeckels. Dafür wurden ein Schrumpfsitz entwickelt und Versuche zur Ermittlung der Belastbarkeit und Dichtigkeit einer solchen Schrumpfvorbindung durchgeführt (Abb. 13).



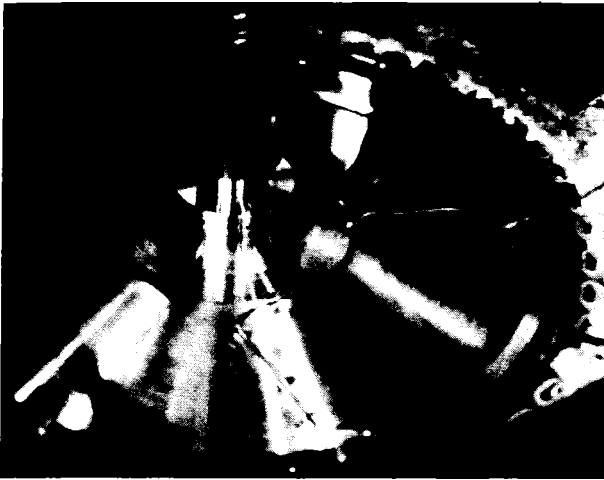


Abb. 13: Einschrumpfen des HAW-Kokillendeckels

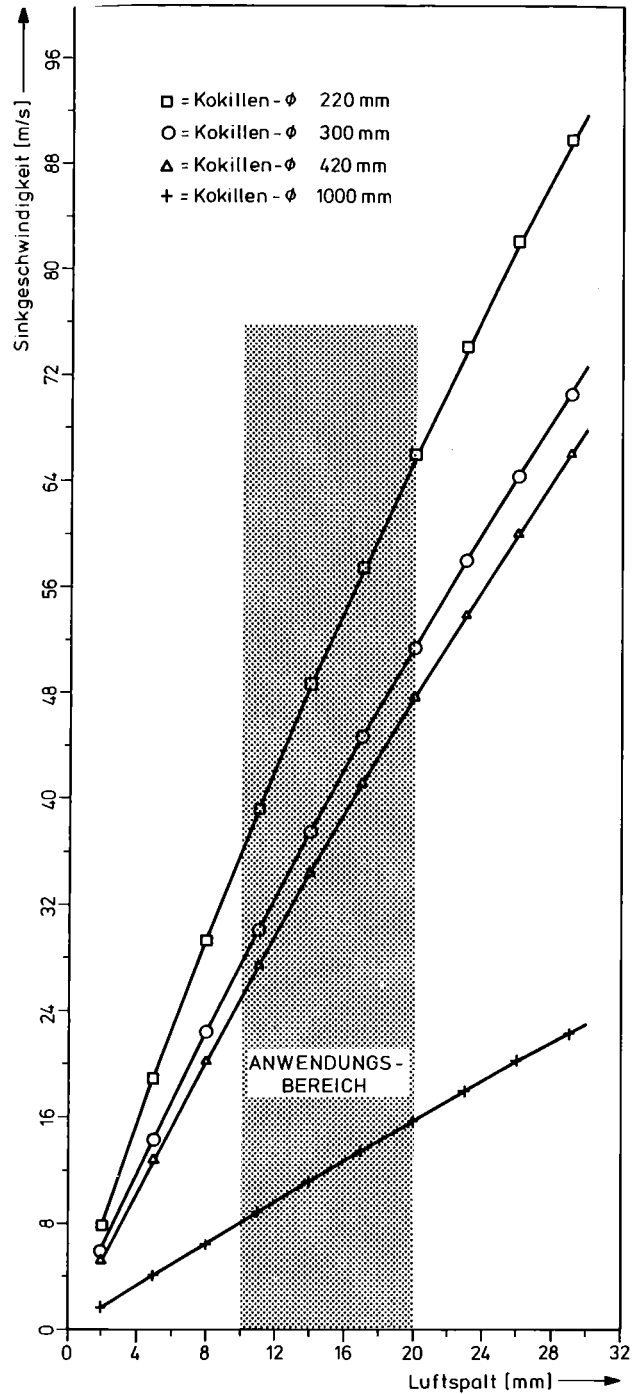


Abb. 14: Sinkgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Luftspalt für verschiedene Kokillendurchmesser

Folgende Ergebnisse konnten erzielt werden:

- Die Leckrate der Schrumpfung beträgt bei  $200^{\circ}\text{C} < 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ PA} \cdot 1 \cdot \text{sec}^{-1}$
- Die Belastbarkeit der Schrumpfung bei Raumtemperatur ist größer 30 kN.
- Die Lösung der Schrumpfung erfolgte bei 30 kN Zugkraft und  $144^{\circ}\text{C}$  Kokillendehntemperatur.

Zur Ermittlung der im Störfall bei einem Kokillenabsturz in tiefe Bohrlöcher auftretenden maximalen

Sinkgeschwindigkeiten bzw. kinetischen Energien in einem Bohrloch mit einem bestimmten Luftspalt zwischen Kokille und Bohrlochrohrinnenwand wurden Berechnungen und Modellversuche durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Berechnungen sind in Abbildung 14 zusammengefasst. Zur Überprüfung und zum Vergleich wurden Messungen an einem Teststand (Maßstab 1:10) durchgeführt. Die Ergebnisse aus Rechnungen und Messungen zeigten eine gute Übereinstimmung.

## 7. Lagerung und Verfestigung von radioaktiven Abfällen in untertägigen Hohlräumen

Alternativ zu den bislang erfolgreich erprobten Varianten von Einlagerungstechnologien für die Beseitigung mittel- und schwachradioaktiver Abfälle werden Verfahren untersucht, die es gestatten, die Abfälle behälterlos in kavernenartige Lagerräume zu transportieren. Dort härten die Abfälle zu einem quasi monolithischen Block aus. Der durch in situ-Verfestigung entstehende Monolith soll dem umgebenden Gebirge nahekommende mechanische Eigenschaften aufweisen.

Dieses Verfahren bewirkt im Vergleich zur konventionellen Endlagertechnik niedrigere Dosisbelastung des Betriebspersonals, ist kostengünstiger und gestattet in seiner Gesamtheit einen kurzfristigen Form- und Kraftschluß zwischen Einlagerungsprodukt und Gebirge. Neben einem besseren Nutzungsgrad im Verhältnis zwischen Abfall- und Lagerraumvolumen sind auch eine Verkürzung der offenen Standzeit und eine stete Verkleinerung der freien tragenden Gebirgsteile um den Hohlraum erreichbar.

Während in der ersten Projektphase der prinzipielle Nachweis der technischen und sicherheitstechni-

schen Realisierbarkeit erbracht wurde, werden in der derzeit laufenden zweiten Projektphase neben sicherheitstechnischen und verfahrenstechnischen Untersuchungen insbesondere Arbeiten zum Produktverhalten unter Endlagerbedingungen mit dem Ziel durchgeführt, Unterlagen für ein sicherheitstechnisches Konzeptgutachten zu erarbeiten. Referenzprodukt sind mit Abfallsalz beladene Pellets. Die Hohlräume zwischen den Pellets sollen mit Beton verfüllt werden.

### 7.1 Untersuchung verschiedener Zemente als Bindemittel für die Lagerung und Verfestigung von radioaktiven Abfällen in untertägigen Hohlräumen

Die Untersuchungen wurden mit verschiedenen Mischungen (vgl. Tabelle 1) durchgeführt. Hinsichtlich der Eigenschaften waren die Scherfestigkeit Bindemittel-Salz, mechanische Eigenschaften (Druckfestigkeit, dyn. E-Modul), die Rohdichte und die Porenradienverteilung zu bestimmen.

Mischung	56 Tage		1/2 Jahr		1 Jahr	
	Festigkeit	Bemerkungen	Festigkeit	Bemerkungen	Festigkeit	Bemerkungen
1. PZ 35 F/Wasser	- > 44 =	1.kein Result. 2.Salzr. gepl.	- 44	1.kein Result. 2. Abscherung	31 -	1.Abscherung 2.kein Result.
2. API/Class G/ Wasser	- -	1.kein Result. 2.kein Result.	54 -	1.Abscherung 2.kein Result.	- -	1.kein Result. 2.kein Result.
3. HOZ/Wasser	- 70	1.kein Result. 2.Abscherung	- -	1.kein Result. 2.kein Result.	- -	1.kein Result. 2.kein Result.
4. Magnesia-Zement/ Wasser	52 -	1.Abscherung 2.kein Result.	- -	1.kein Result. 2.kein Result.	- -	1.kein Result. 2.kein Result.
5. HOZ/Wasser/Sand	≥ 24 -	1.Salzr. gepl. 2.kein Result.	≥ 64,3 -	1.Salzr. gepl. 2.kein Result.	≥ 63 -	1.Salzr. gepl. 2.kein Result.
6. API/G/Wasser/ Sand	- -	1.kein Result. 2.kein Result.	≥ 128 67,7	1.Salzr. gepl. 2.Abscherung	≥ 95 114	1.Salzr. gepl. 2.Abscherung
7. PZ 35 F/Wasser Sand	≥ 71 =	1.Salzr. gepl. 2.kein Result.	≥ 139 -	1.Salzr. gepl. 2.kein Result.	72 ≥ 77	1.Abscherung 2.Salzr. gepl.
8. PZ 35 F/Wasser/ ZDM 4	- -	1.kein Result. 2.kein Result.	108,8 -	1.Abscherung 2.kein Result.	- -	1.kein Result. 2.kein Result.
9. PZ 35 F/Wasser/ Wasserglas	- -	1.Schwind.Risse 2.Schwind.Risse	- -	1.Schwind.Risse 2.Schwind.Risse	≥ 50 -	1.Salzr. gepl. 2.kein Result.

Tabelle 1:

Ermittelte Scherfestigkeiten ( $10^{-2}$  N/mm<sup>2</sup>) an überbohrten Betonkernen nach in situ-Verweilzeit (56 Tage, 1/2 Jahr, 1 Jahr)

## Scherfestigkeit Bindemittel - Salz

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Scherfestigkeitsprüfung. Wie aus der Spalte „Bemerkungen“ ersichtlich ist, platzte bei vielen Versuchen der Salzring noch bevor die Kerne herausgedrückt wurden. In diesen Fällen würde die tatsächliche Scherfestigkeit höher als der ermittelte Wert liegen, der somit nur eine Mindestfestigkeit angibt und deshalb auch mit „größer gleich“ gekennzeichnet wurde.

Aufgrund der Auswirkungen von Versuchsbedingungen auf die Werte der Scherfestigkeit ist es nicht möglich, für die einzelnen Mischungen eine verlässliche Aussage über die Abhängigkeit der Scherfestigkeit und den Kontakt Bindemittel - Salz zu machen. Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung mit den Werten der vergangenen Prüftermine. Portlandzement mit H<sub>2</sub>O zeigt dagegen keine hohen Scherfestigkeitswerte. Tendenzen bei anderen Mischungen lassen sich aufgrund der geringen Anzahl von Meßwerten nicht erkennen.

## Mechanische Eigenschaften

Kennzeichnende mechanische Eigenschaften von verfestigten Bindemitteln sind Druckfestigkeit und dynamischer E-Modul. Analog zu den Versuchsbedingungen vorangegangener Prüftermine wurden Prüfkörper aus dem Bohrkern herausgebohrt, planparallel geschliffen und auf Druckfestigkeiten geprüft.

Bezüglich der Druckfestigkeiten (vgl. Tab. 2) ergaben sich nach einem Jahr interessante Aspekte. Die Mischungen mit Zusätzen zeigen einen geringen Festigkeitsabfall. Der allgemein bekannte positive Ein-

Mischung	56 Tage	1/2 Jahr	1 Jahr
1. PZ 35 F/Wasser	60,0	54,6	40,5
2. API/Class G/Wasser	68,8	58,3	-
3. HOZ/Wasser	75	39,2	62,7
4. Magnesia-Zement/Wasser	3,2	-	-
5. HOZ/Wasser/Sand	65	62,1	46,2
6. API/G/Wasser/Sand	63	75,9	66,7
7. PZ 35 F/Wasser/Sand	50	42,3	35,1
8. PZ 35 F/Wasser/ZDM 4	68	42,2	35,4
9. PZ 35 F/Wasser/Wasserglas	72	46,3	47,4

Tabelle 2:

Einachsige Druckfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) von Betonprüfkörpern in Abhängigkeit von der in situ-Verweilzeit

fluß von Quarz auf die mechanischen Eigenschaften eines Zementsteins zeigt sich auch hier. Die mit Sand angemachten Mischungen weisen einen weitaus geringeren Festigkeitsabfall auf als die ohne Zusatz. Bei Zugabe von ZDM 4 stabilisiert sich die Festigkeit, obwohl dies nicht mit einer Verringerung der Porenradialverteilung verbunden ist, wie man annehmen müßte. Tiefbohrzement zeigt auch hier die besten Werte, während die Festigkeit von Hochofenzement, die noch bei den Halbjahresproben sehr abfiel, sich nun zu stabilisieren scheint. Wie bei Sandzusatz

könnte auch hier der hohe SiO<sub>2</sub>-Gehalt infolge des Hüttensandes eine Rolle spielen. Der Zusatz von Wasserglas bewirkt schließlich keinen Festigkeitsabfall im Vergleich zu den Proben nach halbjähriger Lagerungszeit, denn hier wird das Wasser stärker gebunden und somit eine Austrocknung erschwert.

Mischung	56 Tage	1/2 Jahr	1 Jahr
1. PZ 35 F/Wasser	2,88	2,74	2,56
2. API/Class G/Wasser	2,55	2,11	-
3. HOZ/Wasser	2,67	2,54	3,26
4. Magnesia-Zement/Wasser	0,61	-	-
5. HOZ/Wasser/Sand	3,17	4,16	2,94
6. API/G/Wasser/Sand	3,08	4,72	3,74
7. PZ 35 F/Wasser/Sand	3,38	3,86	3,59
8. PZ 35 F/Wasser/ZDM 4	2,67	3,08	2,58
9. PZ 35 F/Wasser/Wasserglas	2,37	2,47	2,34

Tabelle 3:

Dynamisch ermittelte E-Moduli an Beton nach 56 Tagen, 1/2 Jahr und 1 Jahr in situ-Verweilzeit

Bei Betrachtung des dynamischen E-Moduls (Tab. 3) finden sich die Festigkeitsverminderungen nur begrenzt bestätigt. Dies war jedoch nicht zu erwarten, da der Einfluß verschiedener Parameter auf den dynamischen E-Modul teilweise gegensinnig verläuft, wie z. B. die Austrocknung eines Zementsteines, die eine Erhöhung des E-Moduls bewirkt, und der Festigkeitsabfall, der eine Erniedrigung des E-Moduls mit sich bringt.

## Rohdichten

Die Abnahme der Rohdichte (Tab. 4), die bei den Halbjahresproben noch zu sehen war, hat sich erwartungsgemäß nicht fortgesetzt, und es ist daher anzunehmen, daß dieses jetzt eingestellte konstante Niveau erhalten bleibt, da die wesentlichen Bildungs- und Umbildungsprozesse abgelaufen sind und weitere Reaktionen nur diffusionsbestimmend sein können.

Mischung	56 Tage	1/2 Jahr	1 Jahr
1. PZ 35 F/Wasser	1,983	1,849	1,894
2. API/Class G/Wasser	1,960	1,809	-
3. HOZ/Wasser	1,950	1,856	1,989
4. Magnesia-Zement/Wasser	1,623	-	-
5. HOZ/Wasser/Sand	2,087	2,088	2,127
6. API/G/Wasser/Sand	2,148	2,213	2,230
7. PZ 35 F/Wasser/Sand	2,250	2,211	2,252
8. PZ 35 F/Wasser/ZDM 4	1,871	1,915	1,895
9. PZ 35 F/Wasser/Wasserglas	1,854	1,799	1,915

Tabelle 4:

An überbohrten Betonproben ermittelte Rohdichte

## Porenradienverteilung

Bei den Porenradien wurde diesmal eine Untersuchung in Abhängigkeit von der Lage im Bohrkern vorgenommen. Es ergab sich dabei deutlich eine Verschiebung der Porenradien zu höheren Werten in der Randzone. Dies trat besonders bei Portlandzement und Hochofenzement auf und war bei API/Class G zumindest nicht klar zu erkennen. Die Randzone mit den größeren Porenradien enthielt trichloridhaltige Mineralumwandlungen, die beim Hochofenzement schon bei den Halbjahresproben festgestellt wurden. Diese chloridhaltigen AFm-Phasen, die damals mit Friedel'schem Salz bezeichnet wurden, zeigten sich nun auch bei anderen Zementen, auch beim Portlandzement, während beim Tiefbohrzement nur Spuren davon feststellbar waren. Es ließ sich in Abhängigkeit von der Zeit kein Zusatz der Friedel'sches Salz enthaltenen Randzone zur Mitte dieses Bohrkerns erkennen. Die chloridhaltige Randzone zeigte schon bei den 28-Tage-Werten eine Stärke von 6 mm, die sich auch bei den Jahreswerten nicht vergrößerte. Es konnten keine anderen chloridhaltigen Phasen, wie z. B. das Trichloridhydrat, festgestellt werden. Dies deckt sich auch mit Literaturrecherchen, wo eine Bildung von Trichloridhydrat bei erhöhter Temperatur nicht stattfindet. Bildung von chloridhaltigen AFt- und AFm-Phasen zeigt sich nur bei Zementen mit  $C_3A$ -Gehalt.  $C_3A$ -freie Zemente, wie z. B. Tiefbohrzement, würde dann kein Friedel'sches Salz enthalten. Bei diesen Untersuchungen wurde jedoch kein  $C_3A$ -freier Tiefbohrzement benutzt, sondern  $C_3A$ -armer Zement, so daß auch dort in geringen Mengen das Friedel'sche Salz nachgewiesen werden konnte. Der Einfluß der Zementsorte auf die Porenradienverteilung läßt sich anhand der Diagramme ermitteln. Es zeigt sich jedoch, daß Zusätze wie Sand eine Verschiebung der Porenradien zu höheren Werten mit sich bringen. Für eine weitere Diskussion sollte jedoch die Untersuchung der Wasserdampfdiffusion abgewartet werden.

## 7.2 Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Lagerung und Verfestigung von radioaktiven Abfällen in untertägigen Hohlräumen

Die Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der behälterlosen Lagerung von MAW/LAW in großräumigen Kavernen (Referenzsystem A: 75.000 m<sup>3</sup> Nutzvolumen) wurden fortgesetzt. Hierbei wurde der Einfluß der Produkttemperatur zum Zeitpunkt der Einlagerung (25°C, 40°C) auf die maximale Temperatur in der Kaverne ermittelt. Neben den Produkttemperaturen wurden auch die Temperaturprofile im umgebenden Salzgestein berechnet.

Das zugrunde gelegte Abfallprodukt bestand aus 52 Vol.-% Pellets (beim Einbringen in die Kaverne bereits vollständig ausgehärtet) und 48 Vol.-% Zementsuspension mit Sand/Zement = 1. Für die Suspension wurde ein Zement HOZ NW/HS mit niedriger Hydratationswärme ( $Q_{\infty} = 65 \text{ Kcal/kg}_{\text{Zem}}$ ) angenommen. Um möglichst niedrige Produkttemperaturen zu erreichen, wurde die jährlich einzulagernde Abfall-

menge von 18.750 m<sup>3</sup> in 12 Einlagerungskampagnen pro Jahr (Schichtdicke 1,26 m) unterteilt. Als Gesamteinlagerungsdauer wurden 4 Jahre zugrunde gelegt.

Die Rechenergebnisse zeigen, daß bereits nach Einbringen der ersten Schicht 90% des Temperaturmaximums in der Kaverne erreicht werden. Die höchste Temperatur wird 4 Jahre nach Beendigung der Einlagerung erreicht. Sie liegt je nach Produkttemperatur zum Zeitpunkt der Befüllung zwischen 71°C (Produkttemperatur 25°C) und 80°C (Produkttemperatur 40°C). Da die maximale Produkttemperatur fast ausschließlich durch die kurzzeitig auftretende Hydratationswärme des Zementsteins bestimmt wird, nimmt sie sehr schnell wieder ab. Die Temperaturerhöhung in der Kaverne liegt 10 Jahre nach Beendigung der Befüllung nur noch ca. 3°C über der Gebirgstemperatur (40°C).

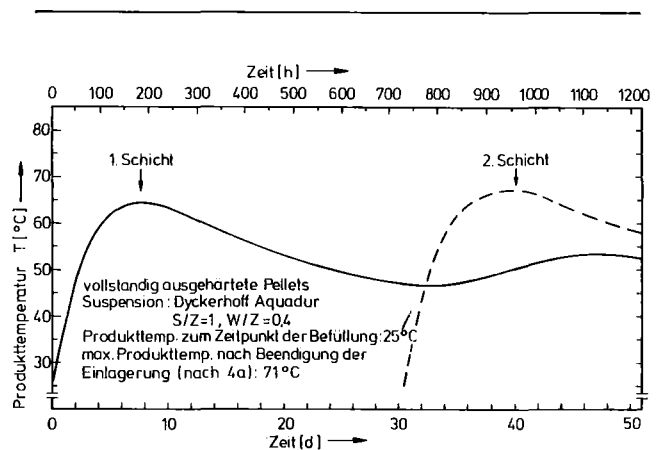


Abb. 1:  
Zeitlicher Verlauf der Produkttemperatur in der Zeitspanne zwischen der Einlagerung von zwei Schichten (Schichthöhe 1,26 m) in eine Kaverne mit 75.000 m<sup>3</sup> Nutzvolumen

Als Beispiel für die Berechnungen zeigt Abb. 1 den zeitlichen Temperaturverlauf in einer schichtenweise befüllten 75.000 m<sup>3</sup>-Kaverne zwischen der Befüllung der ersten zwei Schichten. Die Temperatur in der Kaverne durchläuft ca. 10 Tage nach Einbringen der jeweiligen Schicht ein Temperaturmaximum. Danach fällt die Temperatur bis zur Befüllung der nächsten Schicht ab. Die an der Kavernenwand auftretende Salztemperatur liegt bei ca. 54°C und damit 14°C oberhalb der Umgebungstemperatur.

Die Berechnungen haben gezeigt, daß bei Verwendung von vollständig ausgehärteten Pellets sowie eines Zementes mit niedriger Hydratationswärme für die Suspension bei der Einlagerung Temperaturen erreicht werden können, die deutlich unter der aus Gründen der Produktqualität vorgegebenen maximal zulässigen Produkttemperatur von 90°C liegen.

### 7.3 Untersuchungen zur gebirgsmechanischen Standsicherheit des Systems

Im Rahmen dieser sicherheitstechnischen Untersuchungen wurde das Kurzzeitverhalten mittels elastischer Ansätze und das Langzeitverhalten unter Zuordnung eines rheologischen Modells simuliert. Der Einfluß der Befüllung der Kaverne auf das Verformungsverhalten des Gebirges wurde für eine 50- und 100-%ige Befüllung berechnet. Während Abbildung 2 die Verschiebungen der Hohlraumwandung 4 Jahre nach Auffahrung und 68 Tage nach der Einbringung des Produktes bei 50% Befüllung der Kaverne zeigt, läßt Abbildung 3 die Vertikalverschie-

bung der Kavernensohle an ihrem tiefsten Punkt bei leerem Hohlraum und 100% Befüllung erkennen.

Die bisherigen Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß durch die behälterlose Einlagerung von radioaktiven Abfällen das Stabilitätsverhalten der Einlagerungsräume günstig beeinflusst wird. Dies ist weitgehend auf die Reduktion der sogenannten „offenen Standzeit“ des Lagerraumes zurückzuführen.

Vom Institut für Statik der TU Braunschweig wurden im Rahmen der Standsicherheitsanalyse FEM-Berechnungen zum Spannungsverformungsverhalten der Kaverne bei 30% und 70% Teilausbruch durchgeführt.

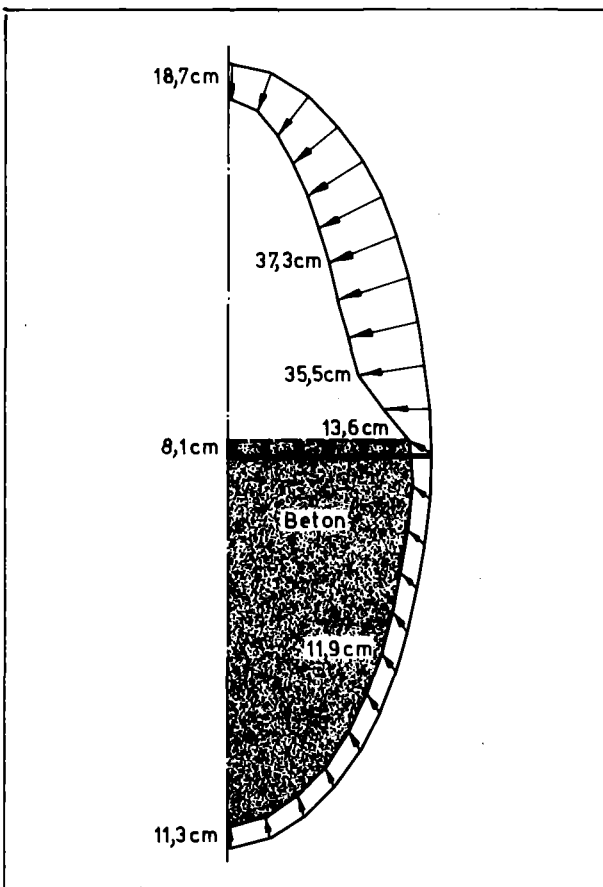
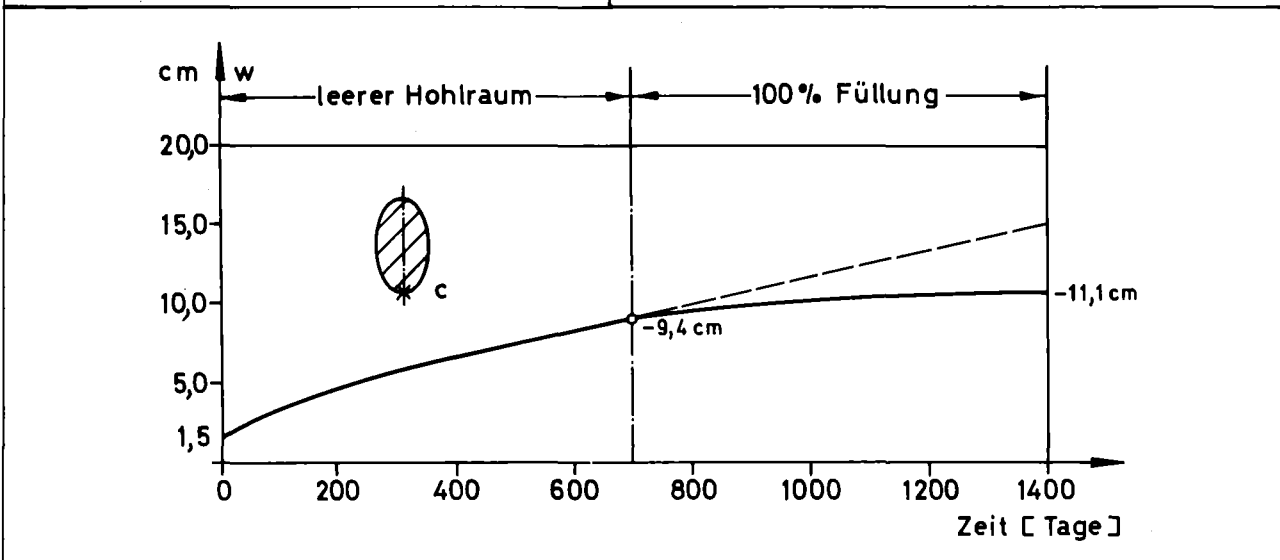


Abb. 2:  
Verschiebungen der Hohlraumwandung 4 Jahre nach Auffahrung und 50% Befüllung

Abb. 3:  
Vertikalbewegung der Kavernensohle an ihrem tiefsten Punkt bei leerem Hohlraum und bei 100% Befüllung



## 8. Beurteilung der Schachtanlage Konrad für die Einlagerung radioaktiver Abfälle

Die Eignungsprüfung des Eisenerzbergwerks Konrad für die Endlagerung schwachradioaktiver Abfälle und Großkomponenten aus der Stilllegung von Kernkraftwerken wurde fortgesetzt. Auf geowissenschaftlichem Gebiet wurden dabei im erforderlichen Rahmen sowohl Grundlagenforschung zur Eignung nicht-salinarer Festgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle als auch Entwicklung geeigneter und anwendbarer Untersuchungsmethoden durchgeführt. Die Ergebnisse aus dem gesamten zurückliegenden Untersuchungszeitraum wurden in einem zusammenfassenden Zwischenbericht dargelegt und im Dezember 1980 veröffentlicht. Wichtiges Ergebnis ist, daß die Grube aus geologischer und hydrogeologischer Sicht für die Endlagerung geeignet und das erarbeitete bergtechnische Einlagerungsmodell aus gebirgsmechanischer Sicht sicher ist.

### 8.1 Geologische Untersuchungen

#### Feinpetrographische Bearbeitung des Endlagers und der Nebengesteine

Die feinpetrographischen Untersuchungen wurden durch eine Ergänzung der Probenanzahl aus den Schachtprofilen Konrad 1 und 2 auf 200 Stück intensiviert, um die statistische Aussagegenauigkeit für die bisher ermittelten Daten zu erhöhen. Bestimmt wur-

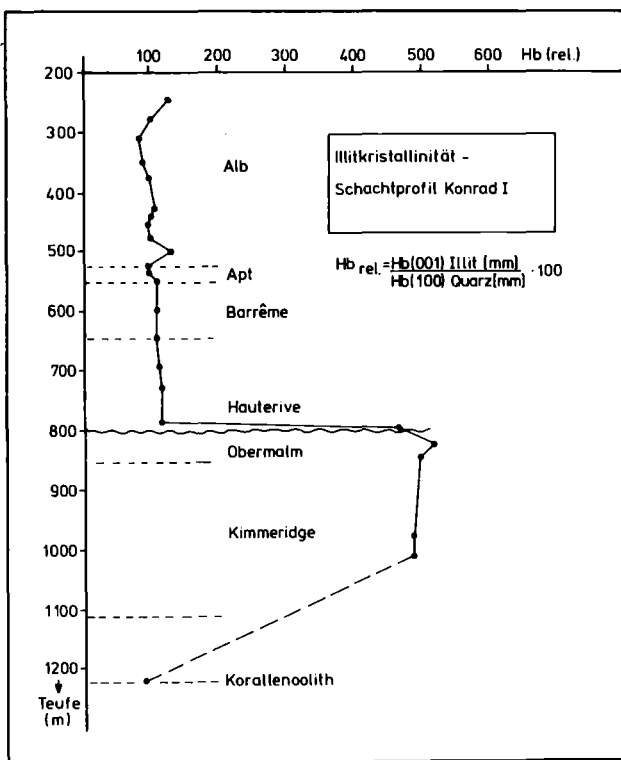


Abb. 1: Bestimmung der diagenetischen Beanspruchung des Konrad-Deckgebirges

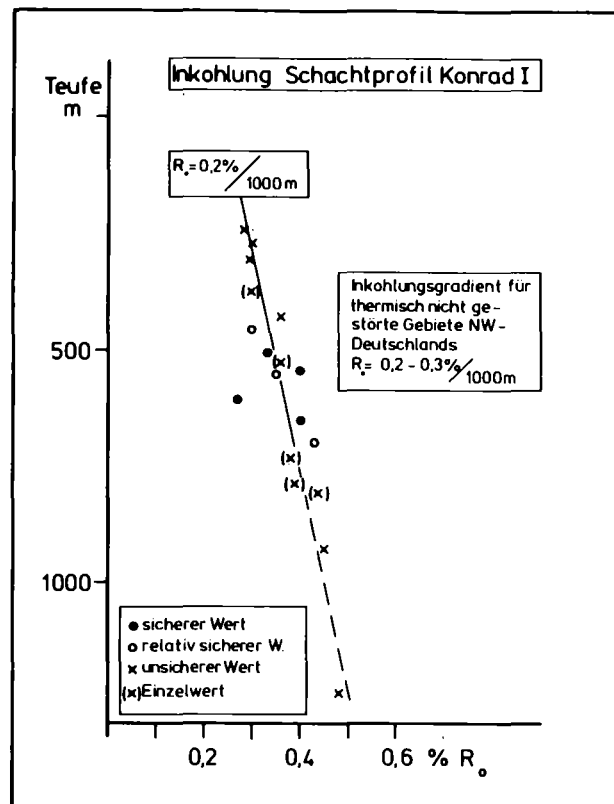


Abb. 2: Diagenesegraduntersuchungen zur Bewertung temporärer Beanspruchung und Veränderungen des Konrad-Deckgebirges

den neben dem Gesamtmineralbestand und dem wichtigen Tonanteil auch Karbonatgehalt, Permeabilität, Porosität und an ausgewählten Proben Chemismus, spezifische Oberfläche und Austauschkapazität. Die smektitreichen Albsedimente weisen Porositäten von  $< 20$  Vol.-% auf, wobei in den unterlagernden Neokomsedimenten, bedingt durch eine zunehmende Kompaktion der Gesteine, noch geringere Werte festgestellt werden konnten. Die korrespondierenden Permeabilitäten bewegen sich im Bereich von  $< 2 \mu\text{D}$  bzw.  $< 40 \mu\text{D}$ . Im Erzlager selbst wurde unter Anwendung des hydraulic-fracturing-Verfahrens die in situ-Permeabilität des Gebirges ermittelt. Die Werte erreichen schon in geringer Entfernung vom Gebirgsstoß nur eine Größenordnung von ebenfalls  $< 40 \mu\text{D}$ , was durchaus den Werten wasserstauer Gesteine entspricht.

#### Genesegraduntersuchungen

Die Genese-Entwicklung der Sedimentgesteine wurde durch Inkohlungsgrad und Illit-Kristallitätsuntersuchungen an 25 Proben aus dem Schachtprofil der Eisenerzgrube Konrad näher bestimmt. Die zusam-

mengefaßten Untersuchungsergebnisse weisen auf eine diagenetisch ungestörte Tiefenlage der Formation in einem geothermisch nicht gestörten Gebiet hin. Postdiagenetische Umwandlungsprozesse aufgrund von erheblichen Druck- und Temperaturveränderungen mit resultierender Verschiebung der physikalischen und chemischen Gleichgewichte haben nicht stattgefunden (Abb. 1 und 2).

Der Inkohlungsgrad wurde durch mikroskopphotometrische Messung der Vitrinitreflexion unter Ölimmision (Ro) bei 546 nm bestimmt. Gleichzeitig mit der Reflexionsmessung erfolgte eine qualitative Beschreibung der mikroskopisch erkennbaren organischen Teilchen und die Beobachtung des Fluoreszenzverhaltens des Liptinits bei Blaulichtanregung, das bei geringem Anteil an Vitrinit oder dessen Fehlen wertvolle Hinweise auf den Inkohlungsgrad vermittelt. Bis auf einige Ausnahmen enthalten die Proben wenig bis sehr wenig organische Teilchen.

Die Inkohlung nimmt im Schachtprofil zwischen 240 und 1225 m Teufe von ca. 0,29% Ro auf etwa 0,48% Ro zu. Damit geht die Inkohlung der heutigen Teufelage annähernd parallel. Mit ca. 0,20% Ro auf 1000 m Teufe entspricht der Inkohlungsgradient dem in thermisch nicht gestörten Gebieten beobachteten Gradienten.

Zur Bestimmung der Kristallinität des Illits werden die röntgenographische Beugungsmaxima (001) von Illit und (100) von in der Probe enthaltenem Quarz registriert und die korrespondierenden Halbwertszeiten der Peaks ausgewertet. Das Maß der Kristallinität ist als ein statistischer Parameter zu verstehen, wobei die Illit-Kristallinität mit abnehmender rel. Halbwertsbreite zunimmt. Die Konrad-Proben weisen für die Unterkreidesedimente einen Illit mit einer hohen Kri-

stallinität ( $Hb_{rel.} = 80 - 130$ ) auf, die als „ererbte“ Kristallinität auf das Sedimentationsstadium zurückzuführen ist.

### Tektonische Aufnahme der Kreideformation im Vergleich zur Juraformation

Zur Klärung der Frage nach dem genauen Alter der tektonischen Elemente und ihren Auswirkungen in den Kreide-Deckschichten wurden in Ermangelung entsprechender Aufschlüsse im Grubenbereich in verschiedenen Tagesaufschlüssen der Umgebung tektonische Messungen durchgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den Jura-Werten aus der Grube wurden dafür Bereiche des umgebenden subherzynen Beckens ausgewählt, die von der tektonischen Zergliederung durch Salzstöcke weitgehend verschont geblieben sind. Insgesamt wurden ca. 8.000 Klüfte eingemessen, die über das Rechenprogramm Geli ausgewertet wurden.

Erste Ergebnisse lassen eine auffällige Übereinstimmung zwischen den Klüftwerten des Jura und der Oberkreide erkennen. Dabei sind sowohl die Richtungswinkel als auch die gürtelförmige Anordnung der Klüftmaxima in der Lagenhalbkugelprojektion weitgehend identisch. Die zugehörigen Fallwinkel sind dagegen in den Tagesaufschlüssen generell etwas flacher. Auch erscheinen hier die E-W-gerichteten Klüfte weniger häufig. Anzeichen entsprechender Störungen, wie sie mit z. T. großen Verwerfungsbeträgen in der Grube aufgeschlossen sind, konnten nicht festgestellt werden. Danach stellt sich der tektonische Bau der Grube als durchaus vergleichbar mit den von der Salzstocktektonik unbeeinflussten Teilbereichen des subherzynen Beckens dar (Abb. 3 und 4).

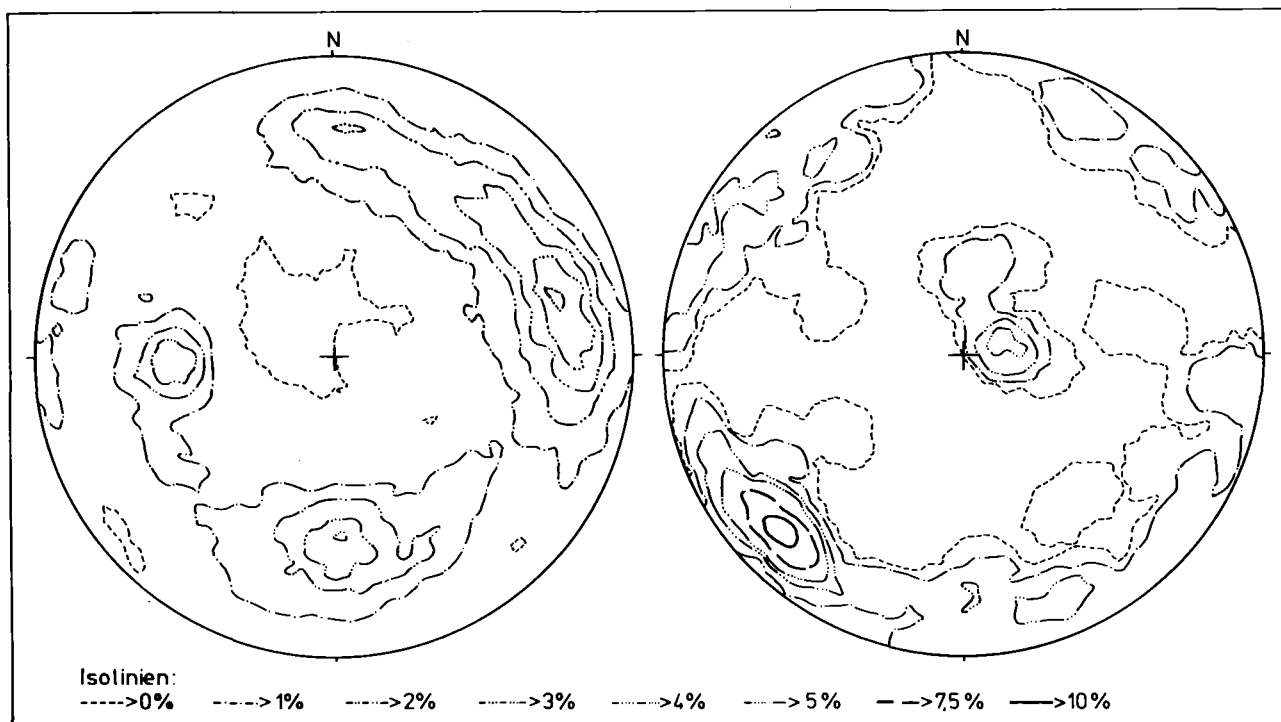


Abb. 3:  
Tektonische Trennflächen in der Juraformation (unter Tage)

Abb. 4:  
Tektonische Trennfläche in der Kreideformation (über Tage)

Für die 7 verschiedenen tektonischen Teilbereiche der Grube, die sich je nach Lage zu den Hauptstörungenrichtungen in ihren Hauptkluftmaxima unterscheiden, konnte keine an besondere tektonische Trennflächen gebundene Wasserführung festgestellt werden.

## 8.2 Hydrogeologische Untersuchungen

### Wetterteststrecke

Geringfügige Tropf- und Sickerwässer haben vereinzelt im Grubenrevier zu Salzstalaktit-, Salzrasen- und Salzhaarbildungen geführt, deren Entstehungsmechanismus durch eine feintektonische/geochemische Bearbeitung weiter untersucht wird. Diesbezügliche hydrogeologische Arbeiten wurden mit der Fertigstellung und der technischen Einrichtung der Wetterteststrecke im Unterwerksbau der Grube in 1230 m Tiefe begonnen. Die Wetterteststrecke wird durch eine ca. 1 m starke Yton-Mauer verschlossen, die beidseitig mit einem Kunststoff verspritzt wurde, um so sicherzustellen, daß ein unkontrollierter Wetteraustausch zwischen der Wetterteststrecke und der Grubenluft stattfinden kann. Es sind Wetterlütten für den einziehenden und ausziehenden Wetterstrom eingelassen, die jeweils mit Feuchte- und Temperaturfühlern und Wettergeschwindigkeitsmessern versehen sind. An beiden Lütten sind Lüfter installiert, so daß die Strecke einmal mit saugender und einmal mit blasender Bewetterung belüftet werden kann. (Zwischen Gebirge und Mauer wurden als Teil eines zu-

sätzlichen Meßprogramms 20 Druckkissen zur Überwachung des Belastungsdruckes aus dem Gebirge installiert (Abb. 5)).

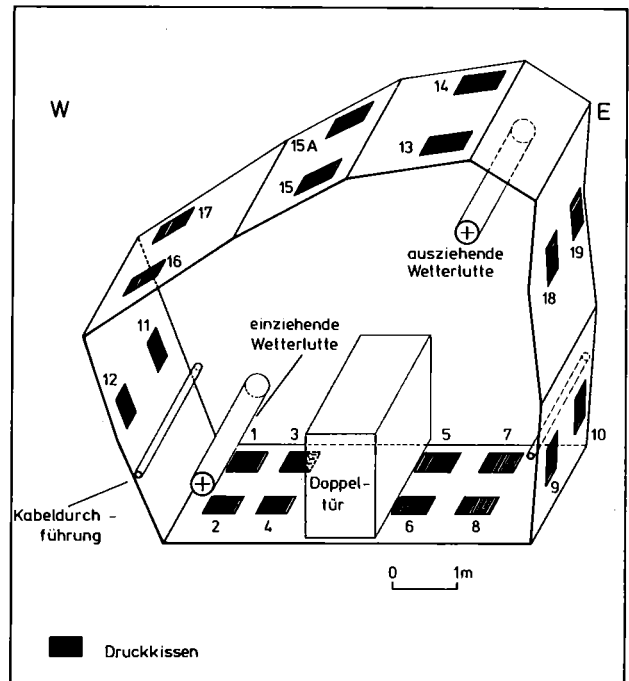
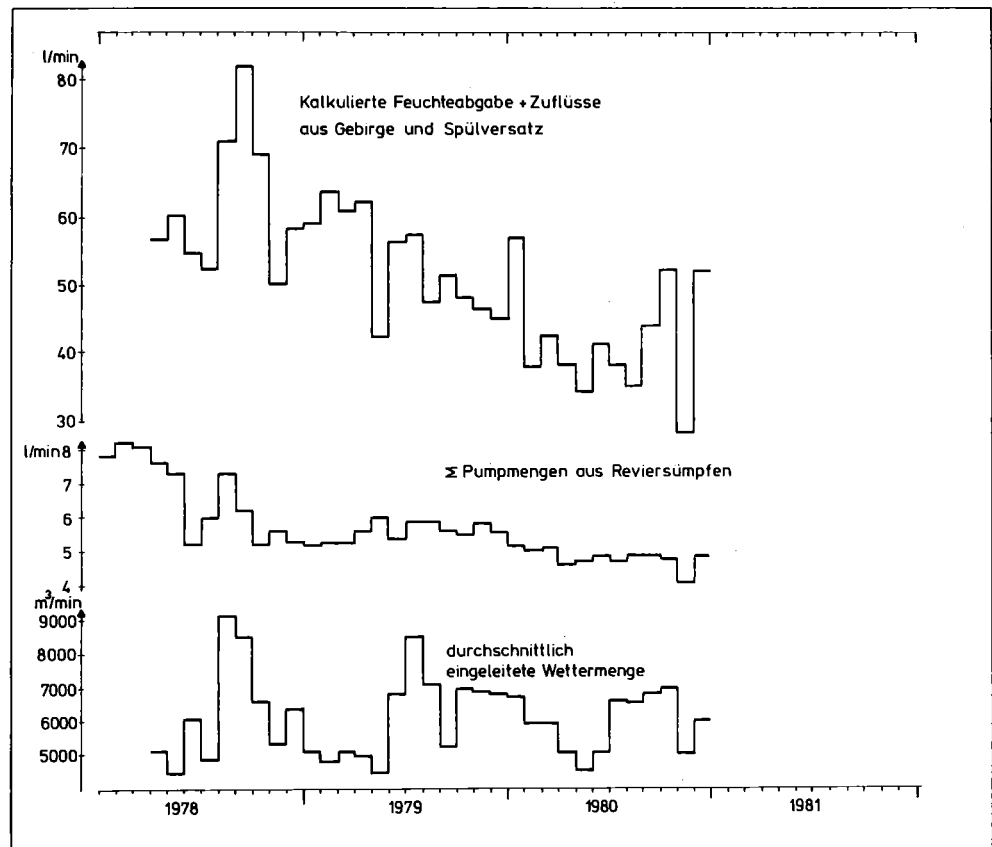


Abb. 5: Abschlußmauer der Wetterteststrecke mit Druckkissen zur Überwachung des Belastungsdruckes aus dem Gebirge

Abb. 6: Feuchteabgabe des Gebirges, kalkuliert auf der Basis der gemessenen Werte für die Feuchtigkeitszunahme der Grubenwetter und der Sicker-/Spülversatzrestwässer





Zu den begleitenden Messungen in der Strecke gehören Gebirgstemperatur- und Feuchtemessungen in Bohrlöchern sowie geoelektrisches Sondieren und Kartieren zur Erfassung von Gebirgswiderstandsänderungen, die durch Feuchteaustrag auftreten können.

### Wetter-Wasserbilanz

Die Dauerbeobachtung der Grubenwässer wurde an 24 Meßstellen fortgesetzt. Dabei konnte im Vergleich zu den Vorjahren eine weitere Abnahme des Wasserzulaufes im Grubenrevier, ausgenommen die beiden Schachtbereiche, auf insgesamt 5 l/min beobachtet werden (Abb. 6).

Diese Ergebnisse und die seit etwa 1 1/2 Jahren durchgeführten Wettermessungen zur Bestimmung des durch den Wetterstrom transportierten Wassers wurden zur Erstellung einer Wassermengenbilanz herangezogen.

Anfallendes Grubenwasser gelangt zusammen mit der ausziehenden Grubenfeuchte auf verschiedenen Wegen nach über Tage.

- Sickerwässer, die sich an den verschiedenen Pumpensümpfen sammeln, werden in den Hauptsumpf geleitet und von dort in ein Rückhaltebecken nach über Tage gepumpt. Die monatliche Pumpmenge ergibt umgerechnet einen Durchschnittswert von 15 l/min.
- Kondens- und Regenwasser, das sich im Schachtsumpf 1 sammelt und einmal jährlich gehoben wird, beläuft sich auf 0,2 l/min.
- Verdunstungswasser, das vom Wetterstrom aufgenommen wird und über den ausziehenden Wetterschacht die Grube verläßt, wird durch wöchentliche Wettermessungen bestimmt. Die kalkulierte Feuchtemenge beträgt 40 - 80 l/min.
- Betriebswasser, das zur Staubbiederschlagung verwendet wird, verläßt in geringen Mengen mit dem Fördergut die Grube. Der geschätzte Feuchteaustrag liegt bei 1 l/min.

Dem kumulierten Wasseraustrag aus der Grube steht die eingeleitete Frischwassermenge gegenüber. Aus der Differenz ergibt sich eine angenäherte Wasserbilanz für die Feuchteabgabe des Gebirges und des ehemals eingebrachten Spülversatzes. Die ermittelten monatlichen Durchschnittswerte zeigen einen deutlichen Abwärtstrend. In den Sommermonaten 78/79 wurde bei angenähert gleich großen Grubenwettermengen eine Abnahme dieser Gesamtfeuchte um ca. 25% festgestellt. Die an den Pumpensümpfen im Revier gemessenen Wasserzulaufmengen verhalten sich entsprechend.

### Geochemische Untersuchungen der Grubenwässer

Um Hinweise auf das Alter und die Herkunft der Konrad-Wässer zu bekommen, wurden im Rahmen der geochemischen Untersuchungen Quellwässer und Erdölwässer aus bestimmten stratigraphischen Horizonten in der Umgebung der Schachanlage Konrad analysiert und mit den Konrad-Wässern verglichen.

Unter Berücksichtigung aller Analysenergebnisse (insgesamt ca. 80 Analysen) gibt es für die Konrad-Wässer einschließlich des Hilswassers im Schacht II keinen Hinweis auf Zumischung jüngerer Wässer. Aufgrund der relativ hohen Br-, J-, BO<sub>3</sub>- und Sr-Gehalte können die Wässer des Korallenoolith gut identifiziert werden.

In Abb. 7 werden ein Hilswasser aus der weiteren Umgebung der Schachanlage Konrad (Quellwasser), eine Analyse des Hilswassers aus dem Schacht Konrad II, eine Analyse des Grubenwassers aus der 5. Sohle (Pendelbohrung) und ein Korallenoolithwasser aus einer Erdölbohrung (Hohenassel) gegenübergestellt. Vergleicht man die beiden Hilspalten, so zeigt sich, daß sie besonders im Chemismus der Hauptbestandteil (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) einen gänzlich unterschiedlichen geochemischen Charakter aufweisen.

Anders fällt der Vergleich zwischen Korallenoolith und dem Hilswasser aus dem Schacht Konrad II aus. Beide Wässer zeigen einen ähnlichen Charakter. Das Korallenoolithwasser ist wegen seiner größeren Tiefenlage nur höher salinar als das Wasser aus dem

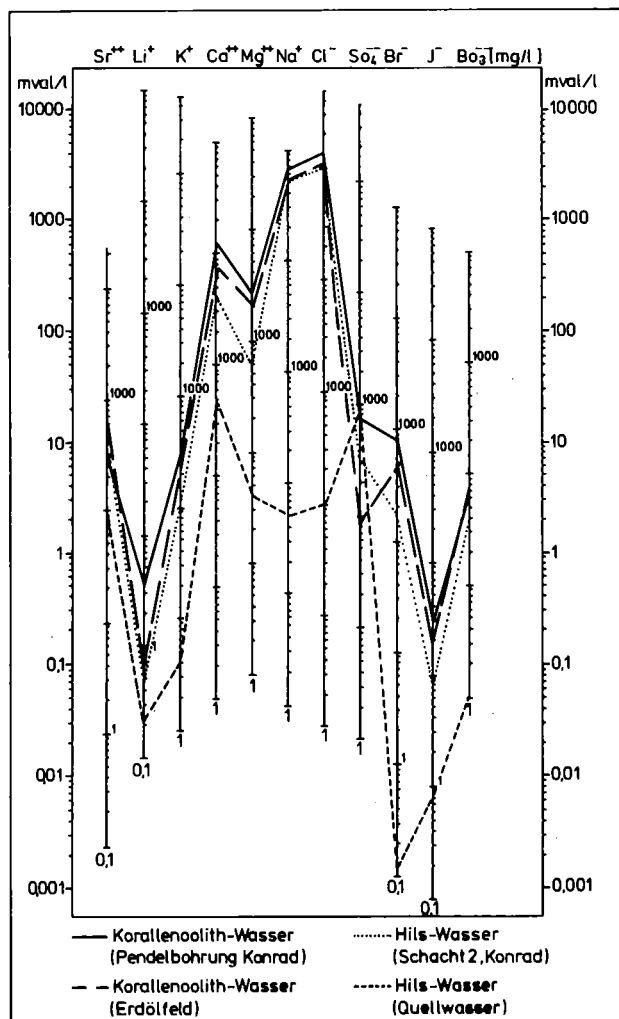
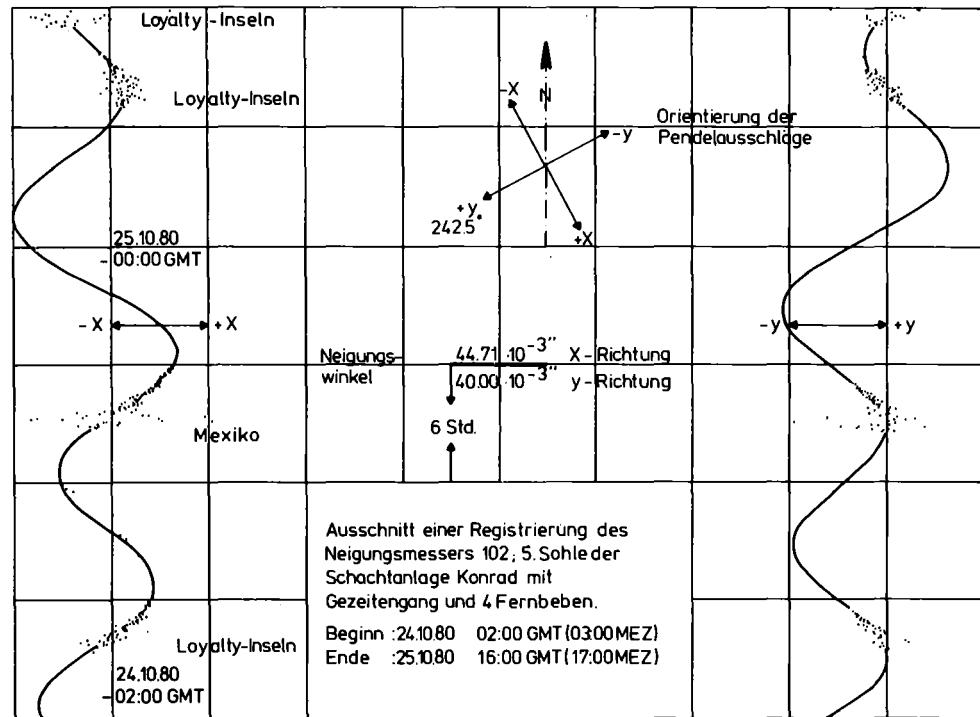


Abb. 7: SCHOELLER-Diagramm zur vergleichenden Darstellung des Chemismus der Korallenoolith- und Hilswässer aus der Grube Konrad und von anderen Vorkommen.

Abb. 8:  
Ausschnitt einer  
Registrierung des  
Neigungsmessers  
102,5. Sohle der  
Schachanlage Konrad  
mit Gezeitengang  
und 4 Fernbeben  
Beginn: 24. 10. 80  
02.00 GMT  
(03.00 MEZ)  
Ende: 25. 10. 80  
16.00 GMT  
(17.00 MEZ)



Hilsbereich. Das Korallenoolithwasser hat allerdings deutlich höhere Gehalte von solchen Ionen, die zur Anreicherung eine lange, ungestörte Verweilzeit benötigen, wie Lithium, Brom und Jod, so daß daraus gefolgert werden kann, daß eine Zumischung aus dem Hilswasser in das Korallenoolithwasser nicht stattfindet.

### 8.3 Gebirgsmechanische Untersuchungen

Die beiden Extensometerstationen in  $30,2 \text{ m}^2$  bzw.  $39,4 \text{ m}^2$  großen Streckenquerschnitten lieferten genügend Meßdaten, um den Konvergenzablauf in einer für die Einlagerung geeigneten Streckenform und -größe als logarithmische Funktion der Zeit eindeutig zu sichern. Nach 2 Jahren Beobachtungsdauer haben sich an der Station 1 Gesamtbeträge von  $37 \text{ mm}$  für die vertikale und  $11 \text{ mm}$  für die horizontale Konvergenz eingestellt. Neue Konvergenz- und Extensometermeßstationen wurden auf verschiedenen Teilsohlen im vorgerichteten Feldesteil zwischen der 4. und 5. Sohle eingebaut. Damit werden die Bewegungen gemessen, die eine begonnene Streckenerweiterung auf  $40 \text{ m}^2$  in diesem Feldesteil in den umliegenden Grubenbauen auslöst.

Als gebirgsmechanische Laborversuche wurden frac-Versuche an Minikernen und auch Triaxialdruckversuche durchgeführt. Die dabei gemessenen Werte für die hydraulische Zugfestigkeit und die Druckfestigkeit des Korallenoolithherzes werden zusammen mit bereits vorliegenden Werten aus einaxialen Versuchen für eine spätere Modellrechnung zur Stabilität der Einlagerungshohlräume verwendet.

### 8.4 Geophysikalische Untersuchungen

Die seismische Überwachung wurde im vergangenen Jahr ohne Unterbrechung weitergeführt, so daß nun bereits über einen Zeitraum von  $2 \frac{1}{2}$  Jahren Meßdaten zur regionalen Seismizität vorliegen. Durch den Aufbau einer zweiten seismischen Beobachtungsstation im Salzbergwerk Asse haben sich die Interpretationsmöglichkeiten für die in der Grube Konrad registrierten Ereignisse erhöht. Auch die zusammenschauende Auswertung der Meßwerte aus beiden Stationen hat keine Anzeichen einer Einwirkung von natürlichen Ereignissen auf das Grubengebäude erkennen lassen. Die über mikroseismische Arrays bestimmten Kompressionswellengeschwindigkeiten liegen im Eisenerz je nach Grubenbereich zwischen  $3500 \text{ m/s}$  und  $4300 \text{ m/s}$ .

Die Einrichtung von 3 Neigungsmeßstationen zur Beobachtung aperiodischer tektonischer Bewegungen wurde mit dem Aufbau einer zentralen, digital arbeitenden Datenerfassung abgeschlossen. Nachdem noch erhebliche Umrüstungsarbeiten zur Korrosionsbekämpfung an der Bohrlochverrohrung und den Gehäusen der geophysikalischen Pendel notwendig geworden waren, steht jetzt eine für den Bergbau einmalige Anlage zur Verfügung, mit der sehr langsam ablaufende seismische, tektonische und gebirgsmechanische Bewegungen in der Grube gemessen werden können. Während der bisherigen relativ kurzen Beobachtungsdauer konnten neben der Registrierung von Gezeitenhub und größeren seismischen Ereignissen keine Anzeichen für extrem langsame aperiodische Bewegungen im geologisch-tektonischen System festgestellt werden (Abb. 8).

Einen Registrerausschnitt des Neigungsmessers auf der 5. Sohle zeigt die Abbildung 8. Er wurde ausgewählt, da hier während eines 40-stündigen Intervalls 4 Fernbeben auftraten, die als deutlich kurzperiodische Signale auf den normalen Gezeitengang aufmoduliert sind. Nach den Durchgängen der Erdbebenwellen, die in jedem der Fälle eine Dauer von über 2 Stunden erkennen lassen, ist keine Verschiebung in den Spuren zu beobachten.

Das heißt, daß diese Beben keine bleibenden Veränderungen in dem Grubengebäude verursacht haben. Die beim Durchgang der Erdbebenwellen beobachteten maximalen Neigungen erreichten Werte bis ungefähr  $45 \cdot 10^{-3}$  Winkelsenkungen bei den einzelnen Komponenten und lagen damit in der gleichen Größenordnung wie die derzeitigen Gezeitenamplituden.

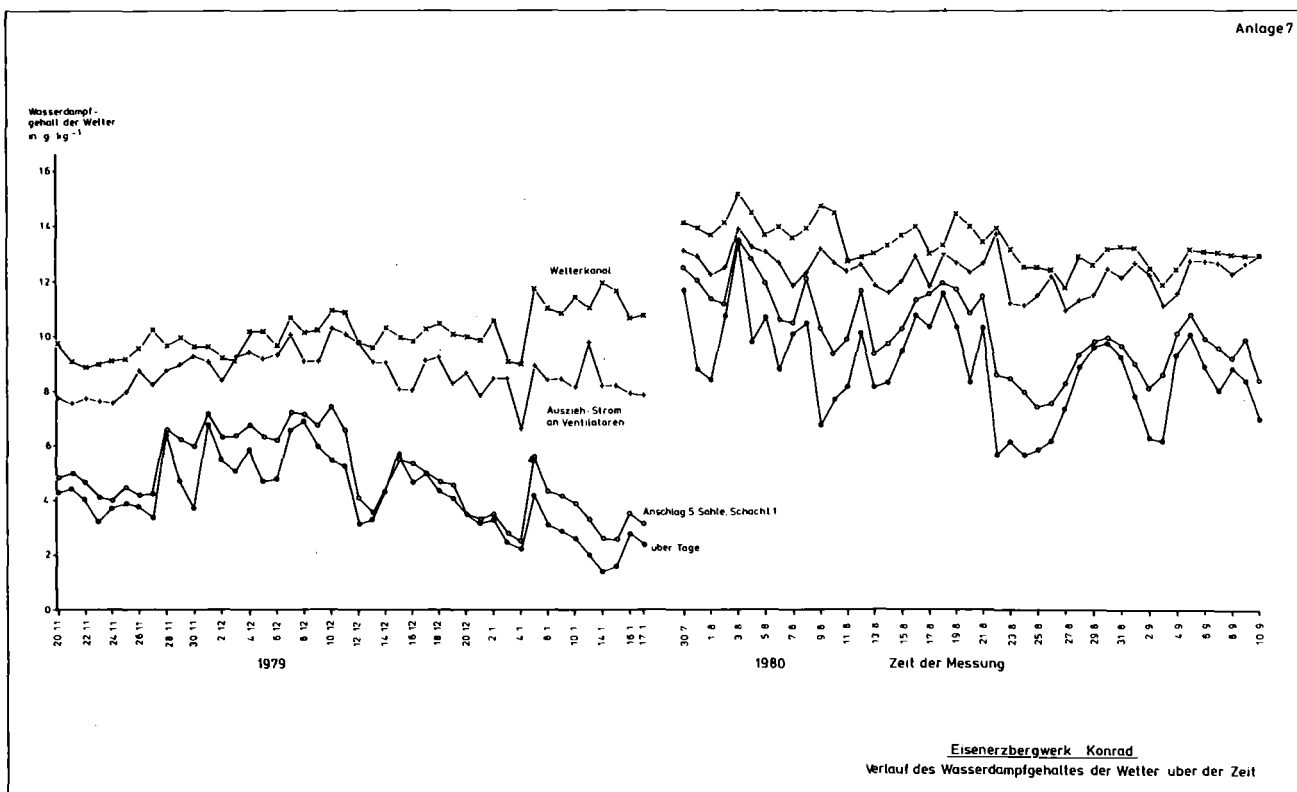
## 8.5 Bergtechnische Untersuchungen

Die bergtechnischen Untersuchungen wurden mit der Messung der Grubenwetter fortgesetzt. Das Ereignis der Wintermeßkampagne hat gezeigt, daß der Gesamtwetterstrom in der Größenordnung von 100 bis 130 m<sup>3</sup>/s liegt und sich die Wetterstromverteilung in der Grube bei verschiedenen bewetterungstechnischen Betriebszuständen nur wenig ändert. Der Wasserdampfgehalt der ausziehenden Wetter ist im Winter ebenfalls nur geringen Schwankungen unterworfen. Die Summe des Wassergehaltes wurde am Ausziehschacht mit maximal ca. 10 g/m<sup>3</sup> bestimmt. Um genauere Aussagen über die Wetterstrom- und Feuchtebilanz des gesamten Jahres machen zu können, wurde in den Sommermonaten eine zweite Meßkampagne durchgeführt.

In der Abb. 9 ist der Wasserdampfgehalt der Wetter an verschiedenen Meßstellen des Wetternetzes aus Winter- und Sommermessung aufgetragen. Dabei zeigt sich, daß der Wasserdampfgehalt der Wetter nicht nur bei ihrem Eintritt in die Grube, sondern auch im Wetterkanal bei der Sommermessung höher ist als bei der Wintermessung. Die durchschnittliche relative Feuchtigkeit der Wetter im Wetterkanal betrug im Winter etwa 67%, im Sommer etwa 87%.

Die Wintermessungen machten deutlich, daß der größte Teil der Wasserdampfaufnahme im Grubenfeld erfolgte, in geringerem Maße in den Schächten. In der Sommermessung tritt diese Abstufung nicht so deutlich hervor. Bemerkenswert ist, daß mit einem plötzlichen starken Rückgang des Wasserdampfgehaltes der Luft über Tage nicht auch ein so starker Rückgang des Wasserdampfgehaltes der Wetter am Füllort der 5. Sohle einhergeht. Es muß also in einem

Abb. 9: Verlauf des Wasserdampfgehaltes der Wetter



solchen Fall eine verstärkte Wasserdampfaufnahme im Schacht 1 erfolgen. Dagegen ist die Wasserdampfaufnahme der Wetter in diesem Schacht bei einem plötzlichen Anstieg des Wasserdampfgehaltes der Luft über Tage häufig verhältnismäßig gering.

Die Messungen zeigen weiter, daß die Wetter beim Durchströmen des Grubengebäudes zum Teil auch meßbare Feuchteaufnahme und im Wetterkanal einen höheren Feuchtigkeitsgrad aufweisen. Inwieweit diese Zunahme der Feuchtigkeit durch Feuchteabgabe aus dem Gebirge oder durch Leitungswasser, das im Grubengebäude zur Zeit verbraucht wird, begründet ist, kann anhand der vorliegenden Untersuchungen nicht beurteilt werden und war auch nicht Gegenstand der Untersuchung.

Bei den von August bis September 1980 durchgeführten wettertechnischen Untersuchungen im Grubengebäude Konrad wurde die Wetterstrom- und Feuchtebilanz routinemäßig überwacht. Es wurde festgestellt, daß

- die Ergebnisse der im Sommer und der im Winter durchgeführten Messungen gut übereinstimmen und sich ergänzen,
- der von den Wettern aufgenommene Wasserdampf einen durchschnittlichen Wassertransport im Winter von etwa 85 t d<sup>-1</sup> und im Sommer von nur etwa 49 t d<sup>-1</sup> darstellt.

## 8.6 Kerntechnische Untersuchungen

### Untersuchungen zu Stilllegungsabfällen

Ziel dieser Untersuchungen war, Art und Menge der bei der Stilllegung von KKW anfallenden radioaktiven Abfälle zu spezifizieren sowie ein Behältersystem zu konzipieren. Es wurden alle radioaktiven Abfälle aus der Stilllegung von Kernkraftwerken modellmäßig untersucht, unabhängig von Art und Umfang der für die Endlagerung im Erzbergwerk Konrad in Frage kommenden Abfälle. Art, Menge und zeitlicher Anfall der Abfälle von Leistungsreaktoren wurden zusammengestellt.

Aktivitätsgruppen	Abfallmassen aus 29 KKW 10 <sup>3</sup> Mg
Gruppe 1: $\geq 3 \cdot 10^{-4}$ Ci/g Einbauten des Reaktor- druckbehälters	3.5
Gruppe 2: $10^{-4}$ - $10^{-8}$ Ci/g Komponenten und Bauteile die im weiteren Einfluß- bereich des Neutronen- flusses liegen	13.2
Gruppe 3: $< 10^{-8}$ Ci/g Kontaminierte Teile	300

**Tabelle 1:**  
Einteilung der Abfallmassen aus der Stilllegung von 29 KKW (= 30 GWe) in Aktivitätsgruppen)

Mit Hilfe von Referenzdaten einzelner Leistungsreaktoren wurde die bei einer planmäßigen Stilllegung zu erwartende Masse an Stilllegungsabfällen aus 29 Reaktoren ermittelt. Randbedingungen waren:

- Die Förderkapazität der Grube Konrad
- Totale Beseitigung der Reaktoren
- Verpackung in „verlorenen Behältern“
- Wartezeiten zwischen der letzten Abschaltung und dem Beginn der Beseitigung: 1, 10, 30 u. 50 Jahre.

Bei der Stilllegung der betrachteten 29 KKW fallen ca. 8.000.000 Mg Abfall, davon 320.000 Mg radioaktive Abfallmassen an.

Im Hinblick auf die Konzipierung von Verpackungssystemen wurde eine Einteilung der Stilllegungsabfälle in verschiedene Aktivitätsgruppen (bezogen auf das Radionuklid Co-60) vorgenommen. Tabelle 1 gibt die Verteilung der Abfallmassen auf die Aktivitätsgruppen an.

Die Behälterauslegung orientierte sich im wesentlichen an der spezifischen Aktivität der Abfälle und an den allgemeinen Randbedingungen für Transport und Endlagerung. Für die Abfallgruppe 1 sind zylindrische Stahlbehälter vorgesehen. Für die Gruppe 2, die eine große Aktivitätsspanne zu überdecken hat, eignen sich zylindrische Gußbehälter. Sinnvoll ist es jedoch, diese mit variierbaren Abschirmdicken auszustatten, um für die jeweilige Aktivität des Abfalls eine optimale Auslegung der Behälter zu gewährleisten.

Die Abfallgruppe 3, die eine bedeutend geringere spezifische Aktivität besitzt, mengenmäßig aber einen großen Anteil der Stilllegungsabfälle darstellt, kann in großvolumigen Rechteckbehältern aus Stahlblech oder Beton verpackt werden.

Gruppe	Behälteraufkommen bei einer Beseitigung nach			
	1 a	10 a	30 a	50 a
1	5500	2400	880	-
2	3100	2880	1950	850
3	78660	79080	79760	80460

**Tabelle 2:**  
Behälteraufkommen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Stilllegung

Das Behälteraufkommen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Beseitigung nach der Stilllegung ist in Tab. 2 dargestellt.

Je später mit der Beseitigung begonnen wird, desto mehr verringert sich die Anzahl der Behälter in den Gruppen 1 und 2. Die Gesamtmenge wird sich aber nur geringfügig ändern, da die Abfälle der Gruppe 3 auch durch Wartezeiten bis zu einigen Jahrzehnten nicht so weit abklingen, daß sie im Sinne der Strahlenschutzverordnung als inaktiv behandelt werden können.

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

Im Rahmen einer Sicherheitsanalyse war zu untersuchen, ob im Falle einer störfallbedingten Kontamination des Grundwassers eine unzulässige Radionuklid-Konzentration im Einzugsbereich des Wasserwerkes Leopoldshafen auftreten könnte. Für eine realistische Abschätzung der HTO-Ausbreitung im Grundwasser müssen Grundwasserfließrichtung, Fließgeschwindigkeit und Dispersion bekannt sein. Zur Ermittlung dieser Parameter wurde im Oktober 1979 ein Farbmarkierungsversuch mit insgesamt 200g Uranin im Oberen Grundwasserleiter im Bereich der Erdölbohrung Lh2 begonnen. In gut nachweisbarer Konzentration wurde Uranin in den Beobachtungspegeln 5 m und 12 m westlich des Eingabepiegels nachgewiesen. Aus der Tracerausbreitung folgt, daß die lokale Grundwasserfließrichtung im Oberen Grundwasserleiter parallel zur generellen Fließrichtung verläuft. Der Entnahmetrichter des KfK-Wasserwerks Süd beeinflusst die Grundwasserfließrichtung im Bereich von Lh2 nicht mehr.

Die Durchgangskurven des Farbstoffs lassen sich deutlich in zwei Teilverteilungen untergliedern. Der ersten Teilverteilung entspricht die Tracermenge, die sich während der Farbeingabe mit dem Wasser im Eingabepiegel EP mischte und direkt ins Grundwasser abgegeben wurde. Ein geringerer Teil des Tracers breitete sich nach der Eingabe oberhalb des Grundwasserspiegels aus. Nach den Niederschlägen am 5. November 1979 wurde diese Tracermenge dem Grundwasser zugeführt (2. Teilverteilung).

Im Fall einer Tritiumkontamination im Oberen Grundwasserleiter im Bereich der Erdölbohrung Lh2 würde sich die Wolke in Richtung auf die Terrassenkante bewegen. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit für diese Strecke beträgt 1,30 m/Tag. Die Wolke würde die 1350 m entfernte Terrassenkante in ca. 3 Jahren erreichen. Anhand der bei dem Tracerversuch ermittelten longitudinalen und transversalen Dispersion kann für diese Entfernung eine Verdünnung auf das  $5 \cdot 10^{-4}$ -fache der Ausgangskonzentration errechnet werden, wenn für die vertikale Dispersion der gleiche Wert wie für die laterale Dispersion ( $D_2 = 0,006$  m/Tag) angenommen wird.

In einer seitlichen Entfernung von 14 m vom Zentrum der Kontaminationswolke würde die Konzentration das  $2 \cdot 10^{-7}$ -fache der Ausgangskonzentration betragen. Aufgrund der sehr geringen lateralen Dispersion ist daher die Gefährdung des Wasserwerks Leopoldshafen auszuschließen.

Sicherheitsrelevante Betrachtungen zum Grundwasserschutz sind lediglich für die Schichten oberhalb der Pliozän/Miozän-Grenze (140-200 m unter Gelände) erforderlich. Aus dem plötzlichen Temperatursprung und dem deutlichen Absinken des Widerstandes im Bereich der Pliozän/Miozän-Grenze in Bohrprofilen folgt, daß die Versalzung bereits in den oberen Miozänschichten anfängt, zwischen dem Pliozän und den tieferen Schichten keine hydraulische Verbindung besteht, und daß unterhalb der Pliozänbasis eine aktive Wasserbewegung fehlt.

# 10. Quantitativer Anforderungskatalog für Abfallprodukte

Zur Beurteilung der Konsequenzen von Radionuklid-freisetzen aus radioaktiven Abfallprodukten im Falle eines Laugenzutritts ist das Auslaug- und Korrosionsverhalten der Produkte zu untersuchen. Schwerpunktmäßig werden mittelaktive Zementprodukte untersucht.

## 10.1 Auslaug- und Korrosionsverhalten von Zementprodukten

### Untersuchungen bei normalen Temperaturen und Drucken

#### a) Auslaugversuche

Tabellen 1 und 2 zeigen die Ergebnisse einer neueren Versuchsserie, in der verschiedene Zementproben, die mit Tracermengen von Cs-137 und Sr-85 ange-setzt waren, nach zwei verschiedenen Testmethoden (IAEA-Standard und ISO-Entwurf) in destilliertem Wasser ausgelaugt wurden. Diese Tabellen erlauben folgende Schlußfolgerungen, die zum größten Teil Bestätigungen von bereits bekannten Befunden sind:

1. Traßzement zeigt ein etwas besseres Auslaugverhalten sowohl bei Cäsium als auch bei Strontium als die Portlandzemente, die ihrer seits untereinander keine Unterschiede aufweisen.
2. Naturbentonit („Kärlicher Grünton“) reduziert die Auslaugbarkeit von Cäsium bedeutend.
3. Bariumsilicathydrat bewirkt bei Raumtemperatur keine Verringerung der Auslaugbarkeit von Strontium. Diese tritt erst bei Temperaturen ab 40° C auf.

Zementproben		Zementmischungen		
		Zement WZ=0,38	+10% NB WZ=0,52	+10% NB + 6% BSH WZ=0,88
PZ35F	IAEA	9,3E-13	1,1E-16	1,4E-16
	ISO	4,2E-13	7,1E-17	1,0E-16
PZ45FHS	IAEA	1,0E-12	2,1E-16	3,1E-16
	ISO	6,4E-13	1,8E-16	2,0E-16
TrZ35L	IAEA	3,8E-14	3,5E-17	6,9E-17
	ISO	2,8E-14	3,3E-17	4,2E-17
PZ35L-NW-HS	IAEA	6,0E-13	1,4E-16	1,7E-16
	ISO	3,7E-13	8,5E-17	8,3E-17

NB = Naturbentonit

Tabelle 1:

Auslaugung von Cs aus verschiedenen Zementsorten nach IAEA und ISO-Test (Diffusions-Koeffizienten in  $m_2 \cdot s^{-1}$ )

4. Die beiden Testverfahren liefern im wesentlichen ähnliche Ergebnisse. Beim ISO-Test, bei dem die gesamte Probenoberfläche dem Auslaugmedium ausgesetzt ist, liegen die Werte allgemein etwas tiefer. Das kann ein Zeichen dafür sein, daß beim IAEA-Test stets eine Lücke zwischen Probe und Behälter vorliegt, in die Wasser eindringen kann, so daß eine zu kleine Oberfläche in die Berechnung eingesetzt wird. Daneben mag die schnelle Abreicherung in den ISO-Proben infolge des höheren Oberflächen-Volumen-Verhältnisses eine Rolle spielen.

#### b) Auswertung von Langzeit-Auslaugversuchen

Schlußfolgerungen, die über vergleichende Aussagen hinausgehen, sind bei den seit zwei bis drei Jahren laufenden Auslaugversuchen möglich. Sie ergeben sich aus dem Verlauf der Auslaugkurven und aus Beobachtungen über Veränderungen an den Proben.

#### Verlauf der Cs-Auslaugung in Leitungswasser:

Die in Leitungswasser lagernden Proben zeigen bisher keine sichtbaren Veränderungen. Auf den Proben, die mit Portlandzement hergestellt wurden, bildet sich ein weißer Niederschlag, der aus Calcium- und Magnesium-Carbonat besteht.

Wird der ausgelaugte Anteil des Cäsiums gegen die Wurzel aus der Zeit aufgetragen, so ergibt sich fast in allen Fällen eine S-förmige Kurve. Abbildung 1 zeigt ein typisches Beispiel. Man erkennt, daß die Auslaugung nicht nach einem Diffusionsmechanismus mit konstantem Diffusionskoeffizienten verläuft. Die Bedeutung dieser Kurven ist noch unklar. Man sollte

Zementproben		Zementmischungen		
		Zement WZ=0,38	+10% NB WZ=0,52	+10% NB + 6% BSH WZ=0,88
PZ35F	IAEA	6,0E-15	8,1E-15	4,2E-14
	ISO	3,1E-15	5,9E-15	1,8E-14
PZ45FHS	IAEA	3,1E-14	3,3E-14	2,1E-14
	ISO	1,5E-14	1,6E-14	9,1E-15
TrZ35L	IAEA	3,9E-15	6,6E-15	7,6E-15
	ISO	1,4E-15	4,1E-15	3,9E-15
PZ35L-NW-HS	IAEA	9,2E-15	1,3E-14	1,1E-14
	ISO	4,1E-15	6,8E-15	3,8E-15

BSH = Bariumsilikathydrat

Tabelle 2:

Auslaugung von Sr aus verschiedenen Zementsorten nach IAEA und ISO-Test (Diffusionskoeffizienten in  $m_2 \cdot s^{-1}$ )

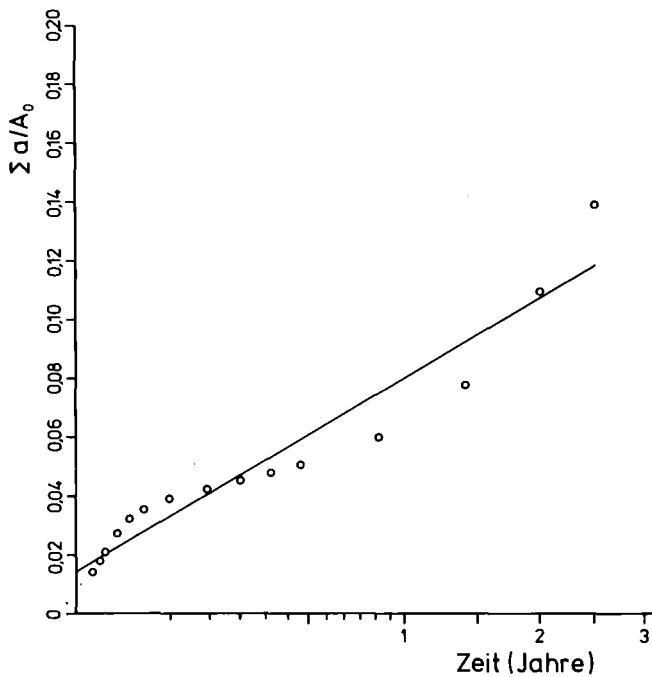


Abb. 1:  
Cs-Auslaugung in Leitungswasser  
(PZ35F ohne Zusätze)  
 $\Sigma a$  = In der Zeit von  $t = 0$  bis  $t$  ausgelaugte Aktivität  
 $A_0$  = Zum Zeitpunkt  $t = 0$  in der Probe vorhandene Aktivität

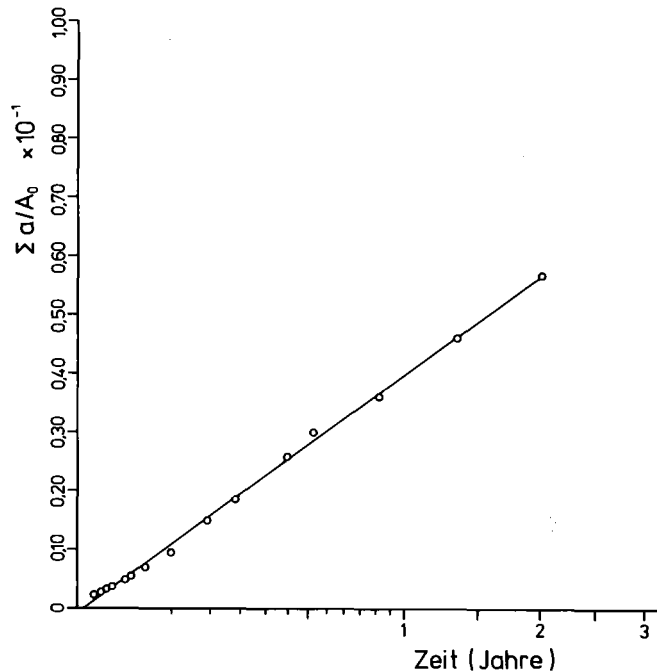


Abb. 2:  
Cs-Auslaugung in Q-Lauge  
(PZ35F ohne Zusätze)

aber im Auge behalten, daß die untersuchten Produkte einen hohen Salzgehalt von 10 Gew.-% haben; das Herauslösen des Salzes im Laufe der Zeit könnte chemische Veränderungen noch unbekannter Art bewirken.

#### Verlauf der Cs-Auslaugung in quinärer Gleichgewichtslauge:

Diese Lauge, die sowohl Magnesium- als auch Sulfationen enthält, ist sehr zementkorrosiv; das gilt auch gegenüber MAW-haltigen Produkten. Alle Proben, die 20% Bentonit oder 10% Bentonit + 6% Bariumsulfhydrat enthielten, waren nach etwa einem Jahr zu einem voluminösen Schlamm zerfallen. Proben mit einem Bentonitgehalt von 5 oder 10% sind durchweg zwar oberflächlich verändert, aber noch intakt. Dasselbe gilt für Proben aus Portlandzement oder Traßzement ohne Zusätze, während Proben aus Hochofenzement — bei Aushärtezeiten von 28 Tagen — vollständig durchkorrodiert sind. Es sollte betont werden, daß wegen der geringen Probenzahl eine Verallgemeinerung dieser Aussagen nur mit Vorsicht vorzunehmen ist.

Die Auslaugkurven in Q-Lauge folgen im allgemeinen dem  $\sqrt{t}$ -Gesetz, d. h. sie bilden bei der gewählten

Darstellung gerade Linien (Abb.2). Das Auftreten von Korrosionserscheinungen zeigt sich meistens in einem scharfen Anstieg der Auslaugkurve an (Abb.3).

#### Verlauf der Cs-Auslaugung in destilliertem Wasser und gesättigter NaCl-Lösung:

Diese Auslaugmittel haben bis jetzt keine korrosive Wirkung gezeigt; in einigen Fällen trat lediglich eine helle Verfärbung der Probenoberfläche auf. Die Auslaugraten sind bei kleinen Zeiten höher als in Leitungswasser oder Q-Lauge. Die Auslaugdaten liegen auf Geraden, wenn sie gegen  $\sqrt{t}$  aufgetragen werden: in einigen Fällen treten Abweichungen nach oben oder unten ohne erkennbare Regelmäßigkeit auf.

#### Verlauf der Sr-Auslaugung:

Die Auslaugung von Strontium konnte nicht über ein Jahr hinaus beobachtet werden, da das verwendete Sr-85 mit einer Halbwertszeit von 64,9 Tagen zerfällt. Innerhalb dieser Zeit verlaufen die Auslaugkurven von Strontium durchweg wie in Abbildung 4 dargestellt, unabhängig von Probenzusammensetzung und Auslaugmittel.

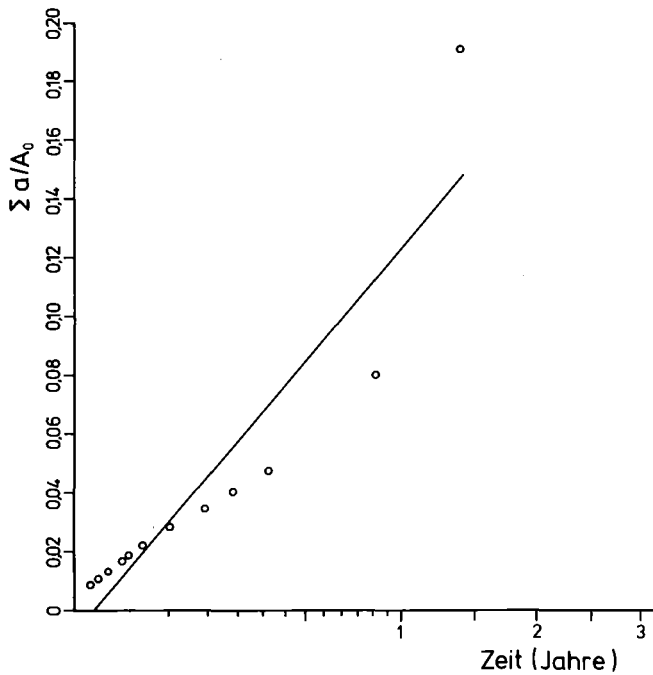


Abb. 3:  
Cs-Auslaugung in Q-Lauge  
(HOZ35L-NW-HS ohne Zusätze)

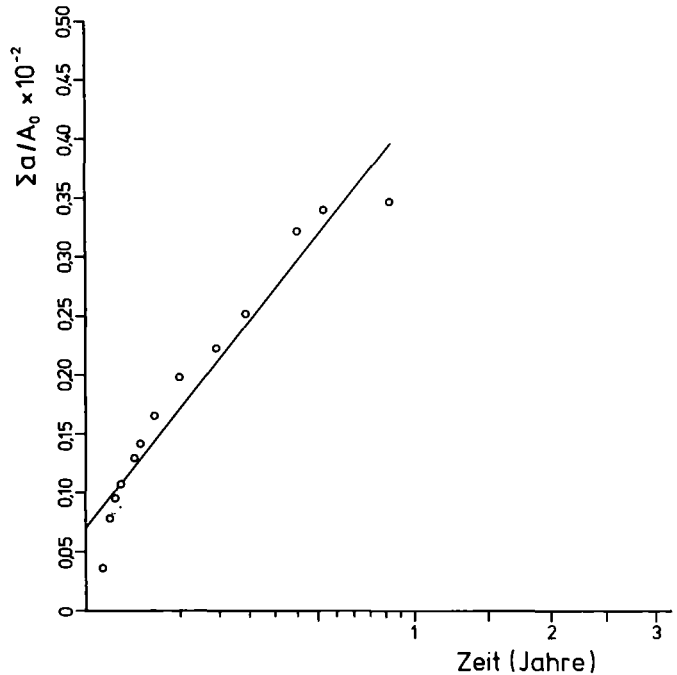


Abb. 4:  
Sr-Auslaugung in Q-Lauge  
(PZ35F ohne Zusätze)

### Untersuchungen bei erhöhten Temperaturen und Drucken

Die Mitte 1979 begonnenen Laboruntersuchungen an zementierten Verdampferkonzentraten unter simulierten Störfallbedingungen (erhöhter Druck, erhöhte Temperatur) wurden mit Arbeiten zur Abhängigkeit der Auslaugung und Korrosion von der Porosität der Produkte fortgesetzt. Untersucht wurden Produkte aus PZ45-HS (unverdichtet, verdichtet, entgast) und HOZ 35L-NW/HS. Die Proben wurden mit MAW-Simulatrlösungen hergestellt, die inaktives  $\text{CaNO}_3$  als Indikator enthielten. Als Auslaugmedium wurde quinäre Salzlauge bei  $T = 40^\circ\text{C}$  und  $p = 1$  und  $100$  bar verwendet.

Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Verlauf der Cs-Freisetzung aus verdichteten Proben, die aus PZ 45 HS bzw. HOZ 35L-NW/HS ( $W/Z = 0,32$ , 8 Gew.-% Salz) hergestellt wurden. Für unverdichtete und verdichtete Proben aus PZ 45 HS, die bei der Herstellung entgast wurden, erhält man vergleichbare Ergebnisse.

Untersuchungen an Bohrkernen aus inaktiven 200I-Produkten (PZ35,  $W/Z = 0,4$ ,  $S/Z = 0,5$ , 6 Gew.-% Salz) zeigen ebenfalls, daß die Cs-Auslaugung für

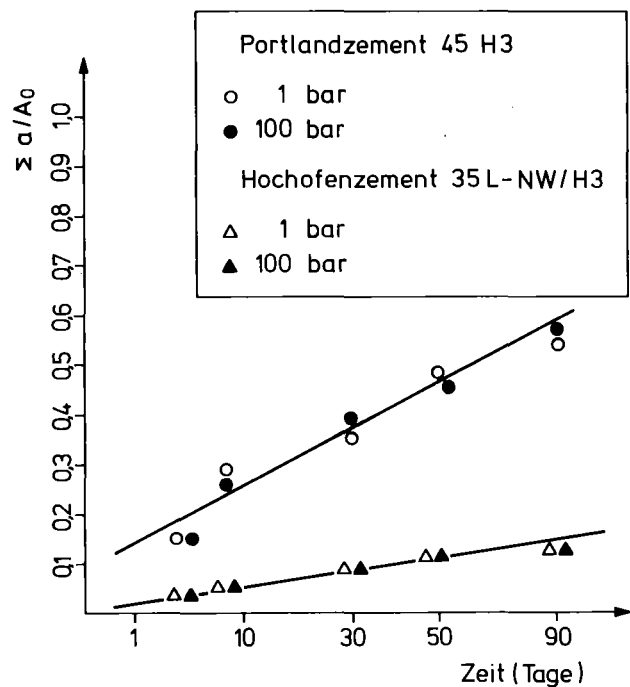


Abb. 5:  
Cs-Freisetzung aus zementierten Verdampferkonzentratprodukten in Q-Lauge bei  $40^\circ\text{C}$  und 1 bzw. 100 bar



kurze Auslaugzeiten unabhängig von den Herstellungsbedingungen ist. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß bei den untersuchten Produktzusammensetzungen durch das Mischen bereits eine weitgehende Verdichtung erzielt wird, die dann durch eine weitere Nachbehandlung der Proben nicht mehr verbessert wird.

Neben der Ermittlung der Cs-Freisetzung aus den Produkten werden Untersuchungen zur Bestimmung des Korrosionsgrades der Proben durch Anwendung einer zerstörungsfreien Meßmethode durchgeführt. Hierbei werden die Proben (Prismen 2 x 2 x 8 cm) mechanisch zu Schwingungen angeregt und ihre Resonanzfrequenz gemessen. Zur Korrelation der Meßwerte mit dem Korrosionsgrad der Proben werden z. Zt. Vergleichsuntersuchungen unter Verwendung zerstörender Meßmethoden (Zugfestigkeit, Druckfestigkeit) durchgeführt. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß durch erhöhten Druck die Korrosion der untersuchten Proben nicht signifikant beschleunigt wird.

## 10.2 Untersuchungen zur Ermittlung von geeigneten Verpackungsmaterialien für HAW-Produkte

Im Rahmen der Untersuchungen zur Ermittlung korrosionsbeständiger Werkstoffe für die Auslegung der HAW-Verpackung als zusätzliche Barriere im Endlager wurden im Berichtszeitraum metallische und keramische Werkstoffe untersucht.

### a) Metallische Werkstoffe

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) wurden die Chrom-Nickel-Stähle 1.4439, 1.4462, 1.4539 und 1.4558 sowie der Feinkornbaustahl 1.0566 im Hinblick auf ihre Eignung als Kokillenmaterial bzw. Zusatzbehälter untersucht. In den ersten Laborversuchen wurden die mechanischen Kennwerte in den unterschiedlichen Werkstoffzuständen (z. B. wärmebehandelt, nicht wärmebehandelt, geschweißt etc.) ermittelt. Es folgten metallographische Untersuchungen und Korrosionsprüfungen. Als Korrosionsmedium wurde eine gesättigte quinäre Lauge (Q-Lauge) verwendet, die beim Siedepunkt einen Bodenkörper mit sämtlichen Komponenten ( $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ ,  $NaCl$ ,  $KCl$ ) aufweist. Die Versuche wurden bei 1 bar und 170°C durchgeführt.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse erlauben folgende Aussagen:

— Austenitischer Stahl mit der Werkstoff-Nr. 1.4539 weist durch Schweißen und/oder Wärmebehandlung nur sehr geringe Änderungen seiner mechanischen Eigenschaften auf, so daß es als Kokillenmaterial zur Aufnahme des HAW-Glases ohne weiteres Verwendung finden kann. Bei dem ferritisch-austenitischen Werkstoff Nr. 1.4462 tritt durch die Wärmebehandlung eine starke Versprödung auf, die einen Einsatz als Kokillenmaterial ausschließt. Ähnliches gilt für den Feinkornbaustahl der Werkstoff Nr. 1.0566, bei dem als Folge der Wärmebehandlung eine starke Verminderung der 0,2-Dehngrenze beobachtet wird.

- Alle hier untersuchten Chrom-Nickel-Stähle zeigen in Kontakt mit quinärer Salzlösung eine Empfindlichkeit gegen Spannungsrißkorrosion, die in ihrem Ausmaß so groß ist, daß diese Werkstoffe damit als Barriere im Endlager ungeeignet sind.
- Der Feinkornbaustahl 1.0566 hat bei den bisherigen Korrosionstests von ca. 60 Tagen eine relativ kleine, ebene Korrosionsabtragung (ca. 0,4 bis 0,5 mm/Jahr) gezeigt. Damit könnte er als Material für Zusatzbehälter verwendet werden und eine Barrierenfunktion im Endlager übernehmen. Endgültige Aussagen können erst nach Abschluß der Langzeitkorrosionstests getroffen werden.

Untersuchungen an den korrosionsbeständigeren Nickelbasislegierungen, wie z. B. Hastelloy C4 und Inconel 625, sind noch im Gange.

### b) Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe

In Zusammenarbeit dem Institut für Silikatforschung (ISC) der Fraunhofer Gesellschaft, Würzburg, werden Untersuchungen an nichtmetallisch-anorganischen Materialien durchgeführt. Ziel ist die Entwicklung eines Behälters aus einem sehr korrosionsbeständigen keramischen Material. Dieser Behälter soll das HAW-Produkt aufnehmen und in eine Kokille eingesetzt werden.

Aufgrund ihrer guten Eigenschaften wurden für die Untersuchungen  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $MgO$ ,  $MgO-Al_2O_3$ -Spinnell sowie Spezialporzellan auf klassischer Basis und Steatit-Basis gewählt. Diese Werkstoffe wurden in einem Vorprogramm bei 130 bar und 200°C geprüft. Als unbrauchbar aus Korrosionsgründen mußten  $MgO$  und Spezialporzellan auf klassischer Basis ausgeschlossen werden.

An den verbleibenden dichten Materialien wurden bei 130 bar und 80°C, 120°C, 160°C und 200°C weitere Korrosionsversuche durchgeführt. Als aussichtsreichstes Material ergab sich bis jetzt  $Al_2O_3$ . Mit deutlich höheren, wenn auch absolut gesehen geringeren Korrosionsraten folgten  $ZrO_2$ , Spinelle und die Steatit-Keramik 12. Die abgetragene Schichtdicke nach 5 Wochen bei 200°C beträgt bei  $Al_2O_3$  0,2 µm und bei Steatit 12 2,5 µm.

Die Korrosionsuntersuchungen an  $Al_2O_3$ , Steatit 12 und  $ZrO_2$  bei  $p = 130$  bar und  $T = 80 - 200^\circ C$  werden fortgesetzt.

## 10.3 Retardationsverhalten von Geomaterialien für Plutonium

An Bodenproben bis zu einer Tiefe von 50 cm aus der Umgebung von Gorleben wurden sorptionskinetische Experimente mit Pu-239 durchgeführt. Bei den untersuchten Böden handelt es sich um eine Braunerde von Brünkendorf (pH  $CaCl_2$ : 3,5 - 4,0), Ranker von Trebel (pH  $CaCl_2$ : 3,5 - 5,0) und Podsol von Gorleben (pH  $CaCl_2$ : 3 - 4,5).

Vor jedem Experiment wurden 10 g Boden mit 25 ml destilliertem Wasser 24 Stunden lang in Polypropylen-Gefäßen equilibriert und anschließend den einzelnen Proben jeweils 1 ml  $2,1 \cdot 10^{-7}$  M Pu-239-Lösung aus einer 5 M  $HNO_3$ -StammLösung zugesetzt. Dabei stellte sich ein pH-Wert von 1 ein. Für die Versuche

bei pH 3,5 - 5 wurden den Proben deshalb 24 Stunden vor Zugabe der Pu-Lösung, unter Berücksichtigung der entsprechend verminderten Wassermenge zur Equilibrierung, 3,2 ml 1 M NaOH beigelegt.

Während des Versuches wurde das Bodenmaterial mit der inaktiven Lösung bei 20° C geschüttelt. Das Schütteln wurde in regelmäßigen Zeitabständen unterbrochen, die flüssige Phase abzentrifugiert und Meßproben genommen. Die Sorption wurde bis zu 390 Stunden verfolgt. Der Pu-Sorption an die Gefäßwände wurde Rechnung getragen.

Nach Erreichen eines scheinbaren Sorptionsgleichgewichts wurde jeweils das Verhältnis

Pu am Bodenmaterial  
Pu in der Lösung

gebildet.

Die ermittelten  $K_D$ -Werte können nur bei pH 1 als Verteilungskoeffizienten aufgefaßt werden; nur unter diesen Bedingungen war ein linearer Adsorptionsterm nachgewiesen. Generell lagen die  $K_D$ (Pu)-Werte bei pH 3,5 - 6,0 höher als bei pH 1.

Der Vergleich der Bodentypen untereinander ergibt folgende Reihenfolge:

$K_D$ (Pu) Podsol >  $K_D$ (Pu) Braunerde >  $K_D$ (Pu)  
Ranker.

Die Sorptionsfähigkeit des Bodenmaterials aus dem  $A_h$ -Horizont (Tiefe 0 bis ca. 10 cm) liegt bei pH 1 um ca. eine Größenordnung höher als die der tieferen Schichten, bei pH 3,5 - 4,0 in der gleichen Größenordnung. Dagegen erhöhen sich die  $K_D$ -Werte (Tiefe ca. 10 cm bis 40 cm) der B-Horizonte bei pH 4 - 5 um bis zu zwei Größenordnungen.

Die Sorptionseigenschaften der Sedimente des Tertiärs wurden an geologischen Proben aus verschiedenen Lagen der Sandgrube in Gödringen (Niedersachsen) untersucht

Oligozän / Miozän  
(illit-kaolinitischer Sandstein)

Oligozän  
(montmorillonit-illitischer Ton / Sandstein)

Hozän  
(glaukonitischer Sandstein)

Die Sedimente waren nur schwach verfestigt und konnten schonend in ihre Bestandteile zerlegt werden. Dadurch wurde eine Vergrößerung der spezifischen Oberfläche 1,30; 1,92; 1,18 hervorgerufen. Die Sorptionsversuche wurden in quinärer Lauge mit  $8,8 \cdot 10^{-12}$  M Pu-237-Lösung nach der oben beschriebenen Prozedur durchgeführt. Nach Zugabe der aktiven 2 M  $HNO_3$  zur quinären Lauge hatte sich ein pH 1 eingestellt.

Alle im Laufe dieser Arbeit im Labor ermittelten  $K_D$ (Pu)-Werte können lediglich als Maßzahlen der Sorption aufgefaßt werden.

# 11. Sicherheitsanalysen für Endlager

## 11.1 Berechnungen und Sensitivitätsbetrachtungen zur Aktivitätsfreisetzung aus einem ersoffenen Endlager für radioaktive Abfälle anhand eines einfachen Störfallmodells

Ziel der Arbeiten ist es, zunächst anhand eines einfachen Störfallmodells sensitive Parameter für die Radionuklidfreisetzung aus einem Endlager in eine grundwasserführende Schicht aufzuzeigen. Dazu wurden eine Reihe von Annahmen getroffen, wie z. B.

- Eintritt eines Störfalles, der zum Vollaufen eines Endlagers für die radioaktiven Abfälle einer 1400 jato Wiederaufarbeitungsanlage während der Betriebsphase führt;
- Einführung von Standzeiten für Produkte und Behälter als variierbare Parameter der Freisetzungsmodelle,
- im Vergleich zur Ausbreitung im Deckgebirge schnelle und homogene Verteilung der ausgelaugten Aktivität im Grubengebäude und im Schacht,
- Freisetzung der kontaminierten Lauge durch Konvergenz des Salzbergwerkes.

Auf der Grundlage dieser und einiger weiterer Modellannahmen sind zunächst die folgenden Ergebnisse erzielt worden:

1. Der Vergleich zwischen mittelaktiven und hochaktiven Abfällen bezüglich der Radionuklidfreisetzung hat ergeben, daß die mittelaktiven Abfälle trotz ihres vergleichsweise geringen Aktivitätsinventars gegenüber den hochaktiven nicht vernachlässigt werden dürfen.
2. Strontium-90- und Cäsium-137-Konzentrationen bleiben bereits in Entfernungen über 500 m vom Austrittsort der Lauge in die grundwasserführende Schicht unter den zu Vergleichszwecken aus der Strahlenschutzverordnung abgeleiteten zulässigen Werten für Trinkwasser. Dies gilt auch für Plutonium bei Verwendung eines Verteilerkoeffizienten über  $10^3 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ . Für die langlebigen Radionuklide mit sehr geringen Verteilungskoeffizienten wie Technetium oder Jod ergibt sich dagegen, daß die Konzentration erst in ca. 1 km von dem vollgelaufenen Bergwerk im Bereich der Vergleichswerte liegen. Als Parameter wurde die Wirksamkeit von Behältern und Versatzmaterial untersucht. Es zeigte sich, daß die dadurch bedingte verzögerte Radionuklidfreisetzung zu deutlich verminderten Nuklidkonzentrationen in der grundwasserführenden Schicht führt.

Durch eine genauere Kenntnis der realen Verhältnisse bei dem angenommenen Störfall Wassereintrich und eine genaue Modellierung des Transportprozesses der Radionuklide aus den Abfällen durch das Grubengebäude bis ins Grundwasser wird es möglich sein, zu belastbaren Aussagen über die wirkliche Nuklidfreisetzung aus einem Endlager beim Störfall zu gelangen.

## 11.2 Systematische Erfassung aller Abfallströme

Zur systematischen Erfassung der Nuklidinventare aller beim Wiederaufarbeitungsprozeß auftretenden Abfallströme wurde ein Rechenprogramm (WASLIS) entwickelt, mit dessen Hilfe die Nuklidkonzentration, Aktivität und Wärmeleistung der verschiedenen Abfallströme als Funktion der Zeit berechnet werden kann. Als Eingaben werden die mit KORIGEN berechneten Nuklidkonzentrationen der Brennelemente zum Zeitpunkt der Reaktorentnahme und die durch den chemischen Prozeß bedingten Verteilungsfaktoren der verschiedenen Elemente (bezüglich der Masse) verwendet. Variiert werden kann die Kühlzeit der Brennelemente und die Zwischenlager-

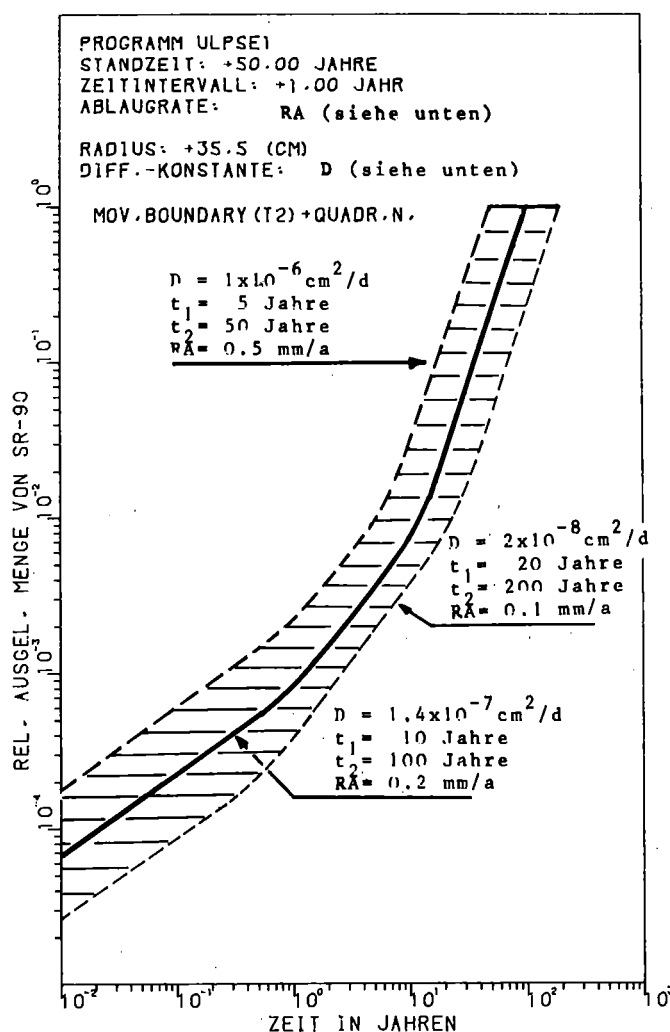


Abb. 1: Berechnung der aus zementierten MAW-Abfällen ausgelaugten Fraktion von Sr-90 als Funktion der Zeit bei Variation der Parameter  $D$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $RA$ .

zeit der Abfallströme. Im WA-Prozeß zugesetzte Chemikalien können analog den chemischen Elementen des Abfalls selbst berücksichtigt werden. Das Ergebnis ist graphisch als Histogramm darstellbar.

Das Programm ist derart angelegt, daß die charakteristischen Daten der Abfallprodukte mit eingegeben werden können. Damit können schnell und transparent endlagerrelevante Daten z.B. im Falle einer Änderung der Abfallmenge oder der Behandlungsverfahren gewonnen werden.

### **11.3 Sicherheitsstudien für ein Endlager für mittelradioaktive Abfälle**

Als Grundlage für Untersuchungen zur störfallbedingten Radionuklidfreisetzung aus MAW-Abfallgebinden wurden aus Laborversuchen zur Auslaugung von Radionukliden aus Zementprodukten gewonnene Ergebnisse mit einfachen mathematischen Modellen (diffusive Auslaugung und diffusive Auslaugung, überlagert mit Ab- bzw. Auflösung des Matrixmaterials) gefittet. Aus den verschiedenen Meßwerten wurde je ein unterer, mittlerer und oberer Wert für

die Diffusionskonstante ermittelt. Mit Hilfe dieser Diffusionskonstante  $D$  und unter Einführung des Begriffes der Produktstandzeit, nach der eine vollständige Radionuklidfreisetzung angenommen wird, wurde ein plausibler Zeitverlauf für die Auslaugung der Radionuklide formuliert: Bis zu einem Zeitpunkt  $t_1$  (Ausgangswerte 5, 10, 20 a) soll eine Auslaugung durch Diffusion bzw. Diffusion und Ablaugung des Produktes stattfinden. Danach wird die Auslaugung durch eine einfache Funktion beschrieben, die eine stetige Fortsetzung bei  $t_1$  aufweist und bei der Standzeit  $t_2$  (Ausgangswerte 50, 100, 200 a) den Wert 1 erreicht.

Unter Verwendung dieser Darstellung wurden die Verläufe der Auslaugung bei unabhängiger Variation der Parameter  $D$ ,  $t_1$  und  $t_2$  ermittelt. Die Abbildung 1 zeigt als Beispiel die so ermittelte Bandbreite der Freisetzungsrates für Sr-90.

Die im Rahmen des „Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung“ (PSE) durchgeführten Modellrechnungen mit Freisetzungsfunktionen der angegebenen Art führten trotz der Annahme kleiner Standzeiten  $t_2$  zu äußerst niedrigen Konzentrationen von z. B. Sr-90 in grundwasserführenden Deckgebirgsschichten.

## 12. Vorträge und Veröffentlichungen

### Vorträge

Auler, I.; Brewitz, W.; Reichenbecher, H.:  
Waste Management Requirements to be taken into Account in the Design of Nuclear Facilities in View of the Decommissioning.

Vortrag im Rahmen eines „NEA Specialist Meeting“ am 17. - 19. 3. 80 in Paris.

Bottler, T.:

Situation der Lagerung radioaktiver Abfälle im tiefen geologischen Untergrund in der Bundesrepublik Deutschland. Wolfsburg, 3.12.1980.

Engelmann, H. J.; Duill, V.; Köster, R.; Petrasch, P.:

Concepts for packaging radioactive waste generated by decommissioning of nuclear power reactors. PATRAM 80—6th Internat. Symp. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, Berlin, November 10 - 14, 1980.

Frissel, M. J.; Jakubick, A. T.

Transport and accumulation of radionuclides in soil. Fachtagung Radioökologie des Deutschen Atomforums, 2. - 3. Oktober 1979.

Gies, H.:

Geologische Aspekte bei der Endlagerung. Vortrag im Rahmen des Seminars über „Entsorgung von Kernkraftwerken“ am 11./12.11.1980 im Haus der Technik, Essen.

Jockwer, N.:

Der Wassergehalt im Steinsalz und dessen thermische Freisetzung.

Vortrag auf der 58. Jahrestagung der „Deutschen Mineralogischen Gesellschaft“ vom 8. - 12. 9. 1980 in Göttingen.

Jockwer, N.:

Laboratory Investigation on the Water Content within the Rock Salt and its Behaviour in a Temperature Field of Disposed High Level Waste.

Vortrag auf dem „International Symposium of the Scientific Basis for Nuclear Waste Management“, 17.-20. 11. 1980, Boston, USA.

Koester, R.

Spezifikationen für die verschiedenen Abfallarten. 4. Tagung radioaktiver Abfall. Risiko und Umweltaspekte. Haus der Technik, Essen, 21. Oktober 1980.

Kühn, K.:

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. KFA-Kernenergieseminar II für Juristen, Jülich, 10. 9. 1980.

Kühn, K.; Klein, F. F.:

Brine Migration Field Test Plans for Asse, West-Germany. 1980 National Waste Terminal Storage Program Information Meeting, Columbus/Ohio, USA, 8. - 11. 1. 1980.

Kühn, K.; Verkerk, B.:

Disposal in Salt Formations. First European Community Conference on „Radioactive Waste Management and Disposal“, Luxemburg, 20.-23. 5. 1980.

Opp, O.; Thielemann, K.; Kleimann, H.:

12 Jahre Erfahrung mit dem Transport radioaktiver Abfälle in einem Salzbergwerk. PATRAM 80, 6th International Symposium Packaging and Transportation of Radioactive Materials, Berlin, November 10 - 14.11.1980.

Rotfuchs, T.; Dürr, K.:

In situ Investigation of Brine Migration, Temperature Distribution and Convergence in Salt in a High Level Waste Simulation Experiment at the Asse Salt Mine.

Vortrag anlässlich „The Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers“, Chicago/Illinois, USA, 16.-21.11.1980.

Rudolph, G.; Vejmelka, P.; Köster, R.:

Leach and corrosion tests under normal and accident conditions on cement products from simulated intermediate level evaporator concentrates.

3rd Intern. Symp. on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Boston, Mass., November 16 - 21, 1980.

Schmidt, M. W.:

Bisherige Erfahrungen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle am Beispiel der in der Schachthanlage Asse gewonnenen Erkenntnisse zur Geomechanik.

Vortrag im Rahmen des Seminars über „Entsorgung von Kernkraftwerken“ am 11. - 12. 11. 1980 im Haus der Technik, Essen.

Schmidt, M. W. et al.:

Gegenüberstellung von Alternativen für Lagerräume bei der Einlagerung radioaktiver Abfälle im Salinar, insbesondere unter Berücksichtigung geomechanischer Aspekte. Kolloquium „Angewandte Geomechanik“, Institut für Bergbau, TU Clausthal, 2. 5. 1980.

Schmidt, M. W.; Staupendahl, G.:

5 Praktische und theoretische Überlegungen zur Auslegung von Lagerräumen im Salinar für schwach- und mittelradioaktive Abfälle (Teil I und Teil II).

Kolloquium „Angewandte Gebirgsmechanik“, Lehrgebiet „Unterirdisches Bauen“, Universität Hannover, 19. 6. 1980.

### Veröffentlichungen

Akbar, A. H.; Köster, R.; Rudolph, G.:

Solidification of radioactive waste solutions by pelletization technology. KfK-2941 (April 1980).

Albrecht, E.:

The Low Disposal of Radioactive Wastes in Salt Formations of the Federal Republic of Germany. Waste Management Symposium University of Arizona; GSF - T 104.

Albrecht, E. et al.:

Tatsachen über Kernenergie (Münch). Energiewirtschaft- und Technik-Verlagsgesellschaft, S. 95 - 112 1980, ISBN 3-7736-0350-9; GSF - T 108.

Auler, I.; Brewitz, W.; Reichenbecher, H.:

Decommissioning Requirements in the Design of Nuclear Facilities. Proceedings of „NEA Specialist Meeting“ in Paris, 239 - 254; GSF - T 109.

Avenhaus, R.; Fenyi, S.; Jakubick, A. T.; Ludewig, J.:

Analyse der Migrationspfade von Plutonium in einem terrestrischen Ökosystem. KfK-3008 (Oktober 1980):

- Batsche, H.; Klarr, K.; Rauert, W.:  
Hydrogeological Research at the Site of the Asse Salt Mine. Underground Disposal of Radioactive Wastes, 1, 345 - 369, IAEA, Wien, 1980; GSF - T 97.
- Batsche, H.; Klarr, K.:  
Beobachtungen und Gedanken zur Gipshutgenese. 5. Int. Symp. on Salt, North. Ohio Geol. Soc. Cleveland (1980); GSF - T 110
- Beale, H.; Engelmann, H. J.; Souquet, G.; Mayence, H.; Hamstra, J.:  
Conceptual design of repository facilities. Simon, R.; Orłowski, S. (Hrsg.). Radioactive Waste Management and Disposal. Proc. of the 1st European Community Conf., Luxemburg, L, May 20 - 23, 1980. London: Harwood Academic Publ. 1980, S. 488 - 512; EUR-687 (1980).
- Bechthold, W.  
Entsteht durch das Endlager eine Gefahr für die Umwelt? in: Wie sicher ist die Entsorgung. Grupe, H. (Hrsg.). Votr. einer Informationsveranstaltung über Fragen der Kernenergie, Karlsruhe, Juni 1980. KfK 1980, S. 35 - 40.
- Brewitz, W.; Gommlich, G.; Rabsilber, K.:  
5 Conceptual Design of Stable Galleries in Deep Ore Formations for the Safe Disposal of LAW and Decommissioning Wastes. Proceedings of the International Symposium, Stockholm / Schweden, 23.-27. 6. 1980. Subsurface Space, Vol. 2, 811 - 817; GSF - T 111.
- Dippel, Th.; Köster, R.:  
Herstellung endlagerfähiger Abfallprodukte. in: Wie sicher ist die Entsorgung. Grupe, H. (Hrsg.). Votr. einer Informationsveranstaltung über Fragen der Kernenergie, Karlsruhe, Juni 1980. KfK 1980. S. 25 - 29.
- Engelmann, H. J.:  
Technologie des Endlagers. in: Wie sicher ist die Entsorgung. Grupe, H. (Hrsg.). Votr. einer Informationsveranstaltung über Fragen der Kernenergie, Karlsruhe, Juni 1980. KfK 1980, S. 30 - 34.
- Gies, H. et al.:  
Thermal Aspects Associated with the Disposal of Waste in Deep Geological Formations. Radioactive Waste Management and Disposal, Proceedings of the First European Community Conference, Luxemburg 1980, 468 - 487. GSF - T 115.
- Hauser, W.; Smailos, E.; Köster, R.:  
Beurteilung großvolumiger Kavernen für die in situ-Verfestigung und Endlagerung von mittel- und schwachaktiven Abfällen im Hinblick auf die Wärmeentwicklung aus dem Abfallprodukt. Jahrestagung Kerntechnik 80, Reaktortagung 1980, Berlin, 25.-27. 3. 1980, Kerntechnische Ges. e. V.; Deutsches Atomforum e. V., Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980, S. 473 - 476.
- Jockwer, N.:  
Die thermische Kristallwasserfreisetzung des Carnallits in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchtigkeit. Kali und Steinsalz, Bd. 8, Heft 2, 55 - 58, 1980. GSF - T 112.
- Kelm, M.; Koester, R.; Wiese, H.; Henn, K.-H.; Kissel, H.; Funk, H. J.; Wertenbach, H.; Mainka, E.; Stieglitz, L.; Ertel, D.:  
LAW- und MAW-Abfallströme aus einem Referenzentsorgungszentrum zur Wiederaufarbeitung von abgebrannten LWR-Brennelementen nach dem Purex-Prozeß mit einem Durchsatz von 1000 Jahrestonnen. KfK-2880 (Februar 1980).
- Kienzler, B.; Köster, K.; Korthaus, E.:  
Berechnungen und Sensitivitätsbetrachtungen zur Aktivitätsfreisetzung aus einem ersoffenen Endlager für radioaktive Abfälle anhand eines einfachen Störfallmodelles. KfK-3013 (Dezember 1980).
- Kluger, W.; Hild, W.; Köster, R.; Meier, G.; Krause, H.:  
Bituminierung radioaktiver Abfallkonzentrate aus Wiederaufarbeitung, Kernforschungseinrichtungen und Kernkraftwerken KfK-2975, (Mai 1980) PWA 15/80.
- Köster, R.; Rudolph, G.:  
Stoffliche Untersuchungen zu zementierten radioaktiven Abfallprodukten. in: Chemie der Nuklearen Entsorgung, Teil 3; F. Baumgaertner (Hrsg.). Thiemig-Taschenbücher, Band 91, 1980.
- Kraemer, R.; Köster, R.; Kroebel, R.:  
Behälterlose Einlagerung von MAW/LAW in Salzkavernen. Jahrestagung Kerntechnik 80, Reaktortagung 1980, 25.-27. 3. 1980. Kerntechnische Ges. e. V., Deutsches Atomforum e. V. Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980, S. 477 - 480.
- Kroebel, R.; Krause, H.:  
Endlagerung radioaktiver Abfälle. Glückauf, 116 (1980) S. 336 - 339.
- Kühn, K.; Verkerk, B.:  
Disposal in Salt Formations. Radioactive Waste Management and Disposal, Proceedings of the First European Community Conference, Luxemburg 1980, 385 - 420. GSF - T 113.
- Kühn, K.; Röthemeyer, H.:  
Standortuntersuchungen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Jahrbuch der Atomwirtschaft 1980, A 53 - A 60. GSF - T 100.
- Stippler, R.; Kleimann, H.:  
Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung im Bereich der Schachtanlage Asse, Jahresbericht 1979. GSF - T 107.
- Salander, C.; Proske, E.; Albrecht, E.:  
The Asse Salt Mine, the World's Only Test Facility for the Disposal of Radioactive Waste. Interdisciplinary Science Review, Vol. 5, Nr. 4, 1980.
- Uerpmann, E.-P.:  
Hydrogeologische Fragen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Dissertation TU Clausthal, 128 Seiten. GSF - T 106.
- EGT-F+E-Programm zur Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Zusammenfassender Zwischenbericht 1.1.1975 - 30. 6. 1980, 135 Seiten. GSF - T 114.