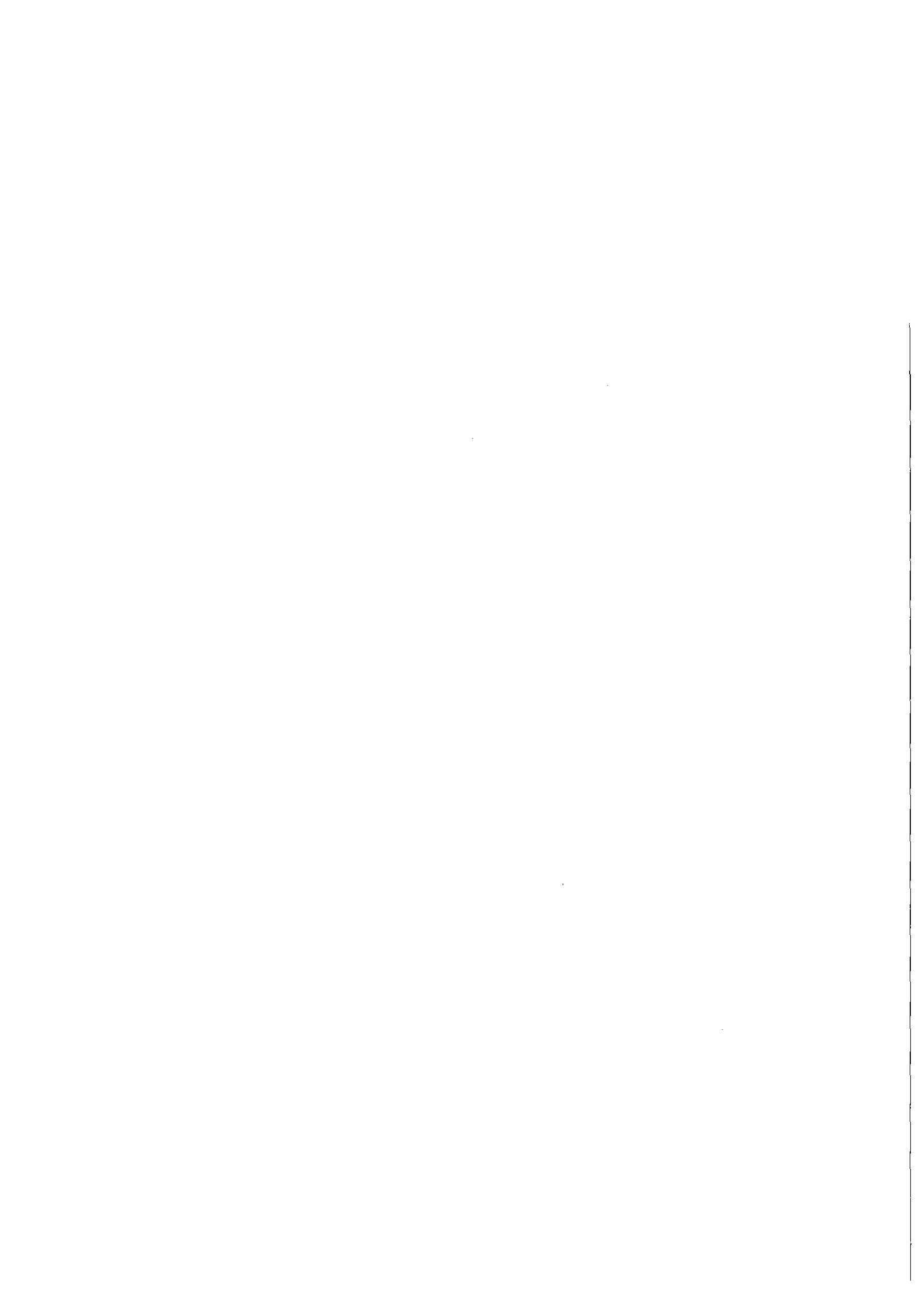


Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung

Jahresbericht 1979

Gesellschaft für
Strahlen- und Umweltforschung mbH · München
Kernforschungszentrum Karlsruhe



Entwicklungsgemeinschaft
Tieflagerung

Jahresbericht 1979

GSF-T105
KfK-3036

Gesellschaft für
Strahlen- und Umweltforschung mbH · München
Kernforschungszentrum Karlsruhe



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1. Betrieb der Versuchsanlage Asse	3
2. Weiterentwicklung der Einlagungsverfahren für schwach- und mittelaktive Abfälle	6
3. Entwicklung und Bau einer Kammer für die Versuchseinlagerung mittelaktiver Abfälle	9
4. Prototyp-Kavernenanlage im Salzbergwerk Asse	12
5. Untersuchungen zur Versuchseinlagerung hochaktiver Abfälle	15
6. Lagerung und Verfestigung von MAW/LAW in untertägigen Hohlräumen	23
7. Beurteilung der Schachtanlage Konrad für die Einlagerung radioaktiver Abfälle	26
8. Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes	37
9. Quantitativer Anforderungskatalog für Abfallprodukte	38
10. Untersuchungen zur störfallbedingten Radionuklidfreisetzung aus einem HAW-Endlager	39
11. Veröffentlichungen	41

Einleitung

Der vorliegende Jahresbericht 1979 der Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung (EGT) informiert über Tätigkeiten und Ergebnisse der durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

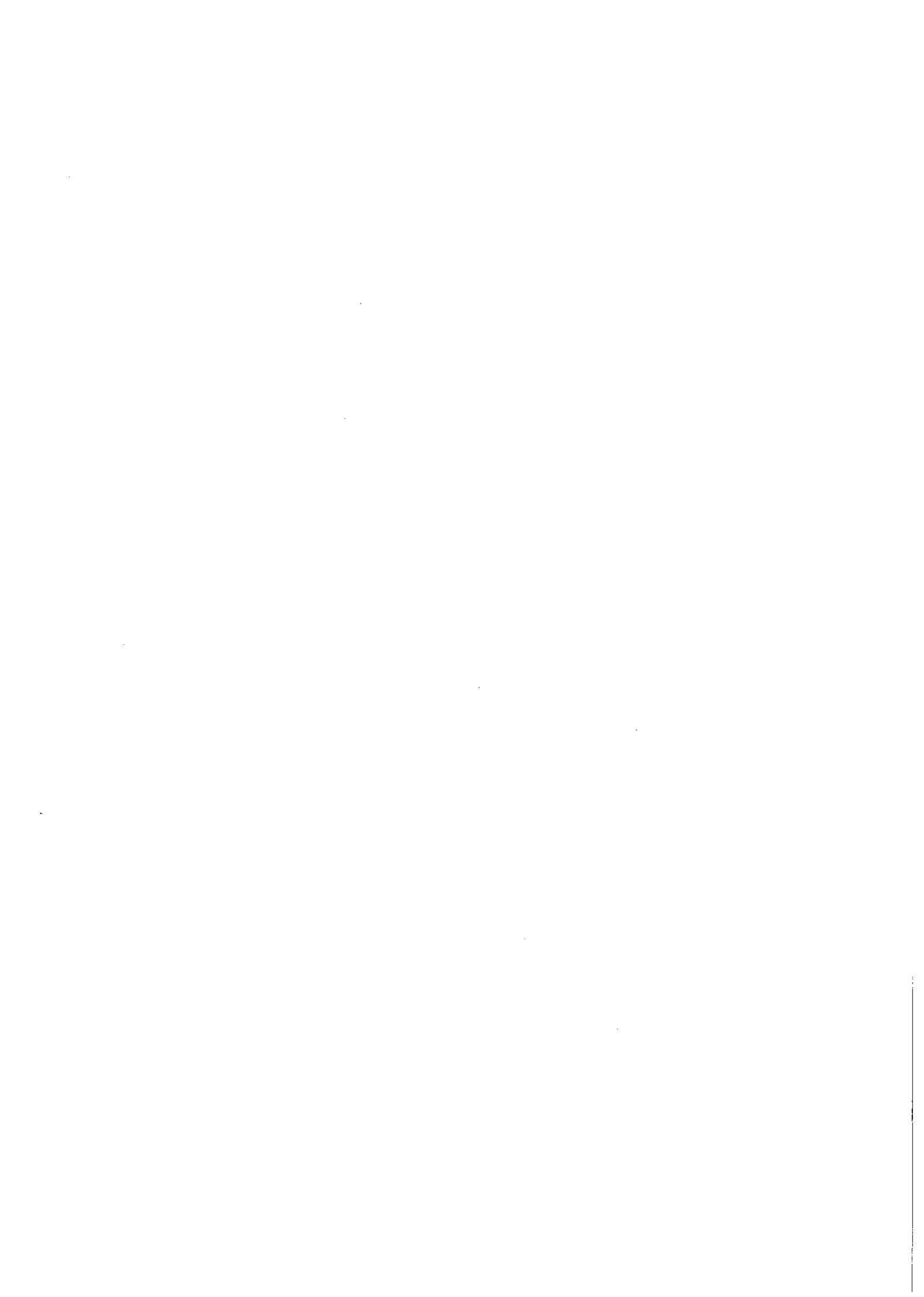
Die Arbeiten der EGT für das Planfeststellungsverfahren zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Schachanlage Asse und für die Zwischenlagerung schwachradioaktiver Abfälle sind in dem vorliegenden Bericht nur angedeutet. Die Ergebnisse dieser Arbeiten fanden in gesonderten Konzepten und Genehmigungsunterlagen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

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

Die FE-Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit auch mit externen Institutionen durchgeführt. Ihnen sei für ihre konstruktive Mitarbeit gedankt.

Folgende Institutionen sind in besonderem Maße an den FE-Arbeiten der EGT 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. Betrieb der Versuchsanlage Asse

Nach dem Auslaufen der Genehmigung zur Einlagerung schwachaktiver Abfälle am 31.12.1978 konnten im Jahre 1979 keine radioaktiven Abfälle in der Schachanlage Asse eingelagert werden. Für das Planfeststellungsverfahren zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse wurden verschiedene Unterlagen fertiggestellt.

Gleichzeitig wurde geprüft, ob die Möglichkeit besteht, bis zum Beginn einer Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse schwachaktive Abfälle in vorhandenen Kammern innerhalb des Grubengebäudes rückholbar zwischenzulagern. Für das hierzu durchzuführende Genehmigungsverfahren wurden die erforderlichen Unterlagen erstellt.

1.1 Bergmännische Planungen und Arbeiten

Für die vorgesehene Erweiterung des Grubengebäudes nach der Teufe ist ein Planungsauftrag erteilt worden. Zur Vervollständigung der Planungsunterlagen müssen bereits durchgeführte Bohrungen ausgewertet und einige weitere durchgeführt werden. Sämtliche Bohrorte sind in den erforderlichen Abmessungen ausgeschossen und hergerichtet worden.

Im Hinblick auf die vorgesehenen Anschlußarbeiten sind auf der 800 m Sohle die bereits vorhandene südl. Richtstrecke von der Wendelstrecke bis zum östl. Querschlag auf den erforderlichen Querschnitt von 5 m Breite und 4 m Höhe erweitert und die im östl. Querschlag noch aus der Zeit der Salzgewinnung befindlichen Seilbahn- und Gleisanlagen demontiert worden, um auch auf dieser Sohle den Einsatz von gummibereiften Fahrzeugen zu ermöglichen. In Strecken und Kammern wurden an Decken und Wänden umfangreiche Sicherungsarbeiten durchgeführt.

Zum weiteren Einrichten des Temperaturversuchsfeldes 4 sind im Älteren Steinsalz (Na₂) des westlichen Grubenfeldes der 750 m Sohle die erforderlichen Bohrungen für die Dilatometer- und Extensometermessungen geteuft worden.

Des weiteren richtete die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, auf der 775 m Sohle den vorbereiteten Meßplatz für thermomechanische Versuche ein, die im August angelaufen sind.

1.2 Geologische und geophysikalische Erkundungsarbeiten am Asse-Salzsattel

Die interne Struktur des Salzsattels wurde im Bereich der Schachanlage Asse im Westfeld durch fünf Kernbohrungen zur Tiefe hin erkundet. Der Ansatzpunkt dieser im Counterflushverfahren niedergebrachten Bohrungen befand sich im Staßfurt-Steinsalz des Sattelnernes auf der 750 m Sohle. Von hier aus wurden je zwei Bohrungen nach unten geneigt gegen die Nord- und die Südflanke und eine Bohrung annähernd vertikal in die Tiefe gestoßen. Die flachere der beiden gegen

die Nordflanke gerichteten Bohrungen wurde bei 358 m Bohrtiefe wegen geringer eingeschlossener Laugen- und Gasmengen im Tonliniensalz des Staßfurt-Halites eingestellt und dicht zementiert. Die steiler geneigte Bohrung gegen die Nordflanke hat mit einer Bohrtiefe von 552 m die flachere unterfahren und weder Lauge noch Gas angetroffen. Die beiden gegen die Südflanke gerichteten Bohrungen haben die Umbiegung der liegenden Schichten der Liniensalzmulde durchörtert, während die Vertikalbohrung das Staßfurt-Hauptsalz bis in eine Tiefe von 1099 m aufgeschlossen hat.

Die geologische Kartierung des Grubengebäudes verlagerte sich von Schwerpunktgebieten auf eine systematische Erfassung aller Sohlen. Die neue Wendelstrecke von der 775 m zur 800 m Sohle und die 750 m Sohle insgesamt wurden geologisch aufgenommen.

Zur geophysikalischen Erkundung der Südflanke wurden das elektromagnetische Reflexionsverfahren und Reflexionsseismik eingesetzt. Die weiterentwickelte Technik des elektromagnetischen Reflexionsverfahrens und zahlreiche Richtungspeilungen erlaubten, im Vergleich zu früheren Messungen, einige Reflexionen über längere Erstreckung zu verfolgen und ihre Raumlage zu bestimmen.

1.3 Seismische Überwachung des Grubengebäudes

Für die seismische Überwachung des Grubengebäudes und zur Erfassung rezenter tektonischer Bewegungen wurden im Grubengebäude seismische Aufnehmer installiert. Die Datenerfassungsanlage befindet sich übertage.

Im westlichen Teil der 750 m Sohle in einer Tiefe von 552 m unter NN wurde eine 3-Komponentenstation mit kurzperiodischen Seismometern aufgestellt. Die geographischen Koordinaten sind 52.132° nördliche Breite und 10.666° östliche Länge. Die Eigenperiode der Seismometer wurde auf 1.0 Hz eingestellt, die Betriebsdämpfung beträgt 60% der kritischen Dämpfung. Da die digital arbeitende Anlage erst zum Jahresende in Betrieb genommen werden konnte, liegen noch keine Ergebnisse vor.

Für die Überwachung des Grubengebäudes, insbesondere von untertägigen Versuchsfeldern, ist eine Anlage noch im Aufbau und wird Anfang 1980 betriebsbereit sein.

1.4 Hydrogeologisches Forschungsprogramm

Zur quantitativen Erfassung von Quellwasseraustritten auf dem Asse-Höherrücken und als meßtechnische Vorkehrung für 1980/81 durchzuführende Pump- und Injektionsversuche wurden 14 sogenannte Meßwehre an Quellen und Vorflutern errichtet. Nach Analyse der aus den gemessenen Schüttungen erstellten Schüttungsganglinien werden die einzelnen Trockenwetter-

abflußkoeffizienten errechnet, um Hinweise auf Größe und hydraulische Beschaffenheit der einzelnen Quell-einzugsgebiete zu erhalten. Für die Erfassung der relativen Schwankungen des Grundwasserdargebots wurde die Ergiebigkeit von 10 weiteren Quellen in 14-tägigem Abstand und die Wasserspiegelhöhe von 32 Bohrbrunnen kontinuierlich gemessen. Parallel dazu wurde die langjährige Messung der meteorologischen Daten über Niederschlag, Verdunstung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung fortgesetzt. Eine Korrelation der daraus ermittelten Grundwasserneubildung mit den registrierten Grundwasserganglinien erlaubt Rückschlüsse über hydraulische Eigenschaften der einzelnen grundwasserführenden Schichten.

Es wurden 64 chemische Vollanalysen einschließlich der Bestimmung von Spurenelementen wie Brom, Jod, Fluor, Borat, Lithium und Strontium aus den Bohrbrunnen und insgesamt 28 hydrogeologische Meßstellen durchgeführt. Die Analyseergebnisse ermöglichen eine hydrochemische Typisierung und eine Zuordnung der Grundwässer als autochthone, d.h. solche, die sich zwischen Versickerung und Wiederaustritt im selben Grundwasserleiter bewegen, und allochthone, d.h. migrierte Wässer. Da beispielsweise abnorm hohe Bromid- (bis 500 mg/l) und Boratgehalte (bis 1400 mg/l) ausschließlich in als Solen einzustufenden Grundwässern im Zechstein auftreten, trägt der Nachweis dieser ansonsten in Spuren nachweisbaren Elemente zur Identifizierung der Herkunft von Wässern bei.

Die in den Vorjahren begonnenen Langzeitmessungen der Grundwassertemperatur, -dichte und elektrischen Leitfähigkeit an den Quellen und Bohrbrunnen wurden fortgesetzt. Damit können die Salinität der Wässer und das Auftreten möglicher neuer Zuflüsse aus tieferen Grundwasserstockwerken kontrolliert werden. Es wurde an 13 ausgewählten Wasserproben, 9 aus Bohrbrunnen und 4 aus Quellen, das Isotopenverhältnis von Schwefel 34 zu Schwefel 32 bestimmt. Die Analyseergebnisse bestätigten die von FRANK (1974)* ermittelten Werte aus denselben Quellen und weisen für das in den Salzspiegelbohrungen vorkommende Grundwasser wie erwartet ein reines Zechsteinalter der darin enthaltenen Sulfate aus. Das Schwefelisotopenverhältnis dient hier lediglich als zusätzliches Hilfsmittel zur Alterseinstufung von Grundwasserleitern, wobei eine Aussage nur zur Unterscheidung von Röt- und Zechsteinalter bei rein autochthonen Grundwässern möglich ist.

Zur Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse des Deckgebirges wurde auf Grundlage der geologischen Karte des Asse-Höhenrückens eine hydrogeologische Karte mit 2 Querprofilen und einem Längenprofil erstellt. Dabei wurden die einzelnen Schichten entsprechend ihrem lithologischen Aufbau mit einer Spezialsignatur versehen und nach ihrer jeweiligen Permeabilität als Kluftwasserleiter, Grundwasserhemmer oder -stauer farblich gekennzeichnet.

Unter Anwendung eines in den USA entwickelten mathematischen Abfluß- und Migrationsmodells wurden hypothetische Störfälle eines Wasserzulaufs in das

Grubengebäude simuliert und theoretische Ausbreitungsberechnungen von radioaktiven Nukliden im Grundwasser angestellt. Die dabei errechneten Radionuklidkonzentrationswerte liegen um mehrere Zehnerpotenzen unter den zulässigen Grenzwerten für Radionuklidkonzentrationen im Wasser.

1.5 Gebirgsmechanische in-situ-Messungen

Bei den Polygonmessungen zur Beurteilung und Überwachung der Standsicherheit wurde 1979 erstmalig für die Längenmessung ein elektrooptisches Verfahren angewendet. Die Meßergebnisse zeigten gegenüber dem Vorjahr Veränderungen mit Beträgen von wenigen Millimetern bis Zentimetern und waren damit in Übereinstimmung mit dem bisherigen Verhaltenstrend.

Die Extensometermessungen zur Überwachung des zeitlichen Verlaufes von Pfeilerstauchungen und -querdehnungen sowie zur Beurteilung eventueller Hangendauflockerungen wurden fortgesetzt und erweitert. Die beobachteten Pfeilerdeformationen scheinen hier nach weiterhin linear zu verlaufen.

Das übertägige Nivellement-Festpunktfeld wurde um eine neue Linie von rd. 2 km Länge bis in den Bereich Wittmar entlang der Grubenanschlußbahn erweitert. Im Rahmen des Senkungsnivellements für die Tagesoberfläche wurden die Neupunkte erstmalig eingemessen.

Die Meßdaten für das gesamte Netz wurden berechnet und ausgewertet. Trendänderungen sind nicht festgestellt worden. Die Senkungstendenz über dem engsten Bereich des Grubengebäudes hält mit ca. 1 mm/a an.

1.6 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 fortgesetzt.

Die Überwachung des Personals mit Dosimetern zeigte in keinem Fall eine Dosisaufnahme. Bei der Untersuchung der o.a. Personen im Ganzkörperzähler wurde kein Hinweis auf Inkorporation von radioaktiven Stoffen im Beruf festgestellt. Die ärztlichen Untersuchungen ergaben wiederum, daß die untertage Beschäftigten weiterhin mit radioaktiven Stoffen umgehen bzw. im Kontrollbereich beschäftigt werden dürfen.

Bei den Messungen der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung und des Aktivitätsgehaltes der Luft unter- und übertage 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 eingela-

*) FRANK, H.: Hydrologische und hydrogeochemische Untersuchungen an der Asse bei Wollenbüttel. GSF-Bericht R 87, München 1974

gerten radioaktiven Abfälle erkennen. Mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) wurde die Gammastrahlendosis 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 zur Umgebungsüberwachung.

1.7 Genehmigungssituation

Zum 1.1.1979 ist die noch vor dem Inkrafttreten der 4. Novelle zum Atomgesetz erteilte Genehmigung für Endlagerversuche mit radioaktiven Abfällen ausgelauten.

Über die im Laufe des Jahres 1978 vorsorglich eingereichten Fortsetzungsanträge wurden zwischen Vertretern des Landes Niedersachsen und des Bundes verschiedene Gespräche geführt. Als Ergebnis einigte man sich zunächst darauf, daß im Salzbergwerk Asse neben der Durchführung von endlagerbezogenen Forschungsarbeiten auch ein bundesweites Zwischenlager für schwachradioaktive Abfälle möglichst schnell eingerichtet werden soll, in dem Abfallfässer auf Paletten in rückholbarer Form gestapelt werden sollen. Nach Zustimmung des Aufsichtsrates der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) zu dieser neuen zusätzlichen Aufgabe wurde am 30. April der entsprechende Antrag nach der Strahlenschutzverordnung mit ergänzenden Unterlagen beim zuständigen Bergamt Goslar eingereicht. Es war vorgesehen, in bereits vorhandenen Kammern ca. 25.000 Abfallbehälter einzulagern. Die bergmännischen Arbeiten und notwendigen Erkundungsbohrungen für die Errichtung weiterer Kammern sollten gleichzeitig vorgenommen werden, damit die Zwischenlagerung zügig fortgeführt werden kann. Es war beabsichtigt, diese so zwischengelagerten schwachradioaktiven Abfälle im Salzbergwerk Asse

später, nach einem positiven Abschluß eines nach der 4. Novelle des Atomgesetzes erforderlichen Planfeststellungsverfahrens, im Salzbergwerk Asse zu belassen. Die nach dem Atomgesetz für ein Endlager zuständige Stelle, die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, hat daraufhin am 30. August den Antrag auf Planfeststellung für ein Endlager radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse beim Niedersächsischen Sozialminister in Hannover gestellt. Die zur Endlagerung kommenden Mengen an radioaktiven Abfällen entsprechen hierbei dem Antragsumfang der zunächst von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung zwischenzulagernden Mengen.

1.8 Information der Öffentlichkeit

Die anhaltend starke Nachfrage nach Befahrungen der Schachanlage Asse durch Besucher war auch im Jahr 1979 ungebrochen. Um Vorurteile auf dem Gebiet der Tieflagerung auszuräumen, war Schwerpunkt der Öffentlichkeitsarbeit auch in diesem Jahr die Durchführung von Gruppenbesichtigungen.

An 6 Tagen der offenen Tür konnte 2.800 Besuchern aus der nächsten Umgebung der Asse Gelegenheit zur persönlichen Information gegeben werden. Rund 6.800 Fachbesucher aus dem In- und Ausland sowie Besucher aus allen Bevölkerungsschichten wurden über die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf der Schachanlage Asse durch Film, Vorträge und Führungen umfassend informiert.

Damit ergab sich für das Jahr 1979 eine weitere Steigerung der Besucherzahl um 30%. Insgesamt wurden über 9.600 Personen gezählt.

Der neue Film „Sicherheit durch Tieflagerung“ fand im In- und Ausland große Anerkennung und wurde bisher in 39 Kopien, davon 18 in englischer Sprache, hergestellt.

2. Weiterentwicklung der Einlagerungsverfahren für schwach- und mittelaktive Abfälle

Das Vorhaben umfaßt insbesondere die Entwicklung geeigneter und sicherer Methoden und Verfahren für die Endlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen. Im Mittelpunkt stehen Untersuchungen über die Verfüllung von Hohlräumen, zum Endverschluß von Kammern und Strecken sowie zur Nuklidretention an Fixierungs- und Versatzmaterialien.

Nach dem Auslaufen der Genehmigungen für die Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse wurde die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, welche bergbautechnischen, ingenieurtechnischen und Sicherheitsanforderungen für eine rückholbare Zwischenlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen erfüllt sein müssen.

2.1 Untersuchungen zur Ermittlung geeigneter Versatzmaterialien

In Labor- und in-situ-Versuchen wurden Kalirückstandshalden, Braunkohlen- und Steinkohlenflugasche sowie Haldenasche hinsichtlich ihrer Eignung für den Versatz leerstehender Kammern, die Restverfüllung von offenstehenden Einlagerungskammern und die Restverfüllung bereits verschlossener Lagerkammern untersucht.

Besonderes Gewicht wurde auf das Verhalten des Materials im Kontakt mit verschiedenen Salzlösungen und auf festigkeitsmechanische Eigenschaften gelegt. Erste Ergebnisse liegen vor und zeigen, daß für verschiedene Anwendungen geeignete und auch kostengünstige Lösungen gefunden werden konnten.

Material aus Kalirückstandshalden

Dieses Material (untersucht wurde der Fabrikrückstand des Kalibergwerkes Friedrichshall in Sehnde der Kali-Chemie AG) besteht überwiegend aus Steinsalz, Kieserit und Sylvin. Es wird seit Jahrzehnten für Versatzzwecke benutzt und fällt als Massen-Abfallprodukt an. Die höchste 90-Tage-Festigkeit beträgt nach ersten Untersuchungen 42 kp/cm^2 , der Feuchtigkeitsgehalt liegt bei 7-14 Gew-%. Die Versuche zum Verhalten der Prüfkörper unter Wasser und unter verschiedenen Salzlösungen brachten die erwarteten Ergebnisse. Das Material aus Kalirückstandshalden soll hauptsächlich aber auch die Funktion des tragenden Versatzes erfüllen.

Flugasche

Für die Restverfüllung von Einlagerungskammern (offene sowie bereits verschlossene) sind Braunkohlenflugasche, Steinkohlenflugasche und Katakacit vorgesehen.

Katakacit ist im Prinzip Steinkohlenflugasche, welche besonders konditioniert ist (CaO-Gehalt, Korngrößenverteilung). Flugasche besteht zum großen Teil aus glasigem SiO_2 in Form kleiner, exakt runder Kugeln in Grö-

ßen kleiner $0,1 \text{ mm } \varnothing$. Die Stäube können verblasen, verpumpt oder auch verpreßt werden. Der Vorteil dieser traßähnlichen Materialien, die bei Wasserzugabe mit dem CaO-Gehalt hydraulisch abbinden, besteht in folgendem:

- Das Material ist schwerlöslich bzw. unlöslich;
- die radioaktiven Fässer werden durch das Abbinden am Ort fixiert und überdeckt;
- das Material kann in bereits verschlossene Kammern eingebracht werden, ohne diese zu öffnen.

Die Untersuchungen ergaben, daß Katakacit Druckfestigkeiten von 111-116 kp/cm erreicht und zum Verschluß von Lagerkammern geeignet erscheint.

2.2 Zwischenlagerung

Für eine mögliche Zwischenlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen wurde ein Konzept erarbeitet. Dieses sieht vor, daß die für die Zwischenlagerung von schwachaktiven Abfällen in Betracht kommenden Kammern eine Höhe von 6 m haben sollen. Die Abfallfässer werden auf Paletten verstaut und max. 4 Paletten übereinander gestapelt. Der für die Zwischenlagerung erforderliche Korrosionsschutz soll zunächst dadurch erreicht werden, daß die 200 I-Abfallfässer in stabile 350 I-Rollreifentfässer gestellt werden. Der Raum zwischen den Fässern wird mit Beton verfüllt. Auf diese Weise wird auch die erforderliche Stabilität des Gebindes gewährleistet. Um künftig auf die aufwendige Doppelverpackung verzichten zu können, wird z. Z. an der Verbesserung der 200 I-Fässer hinsichtlich ihrer Korrosionsbeständigkeit gearbeitet.

In einem Konzeptvergleich wurde untersucht, welches Einlagerungs- und Rückholverfahren für eine Zwischenlagerung von mittelaktiven Abfällen untertage am besten geeignet ist.

Folgende 6 Konzepte waren Gegenstand dieser Untersuchung:

1. Große Lagerkammer mit Koordinatenkran
2. 6 Kleinkammern mit Koordinatenkran
3. Stopfenlager
4. Lagerung in Bohrlöchern
5. Lagerung in Sphärogußbehältern
6. Lagerung in Graugußbehältern

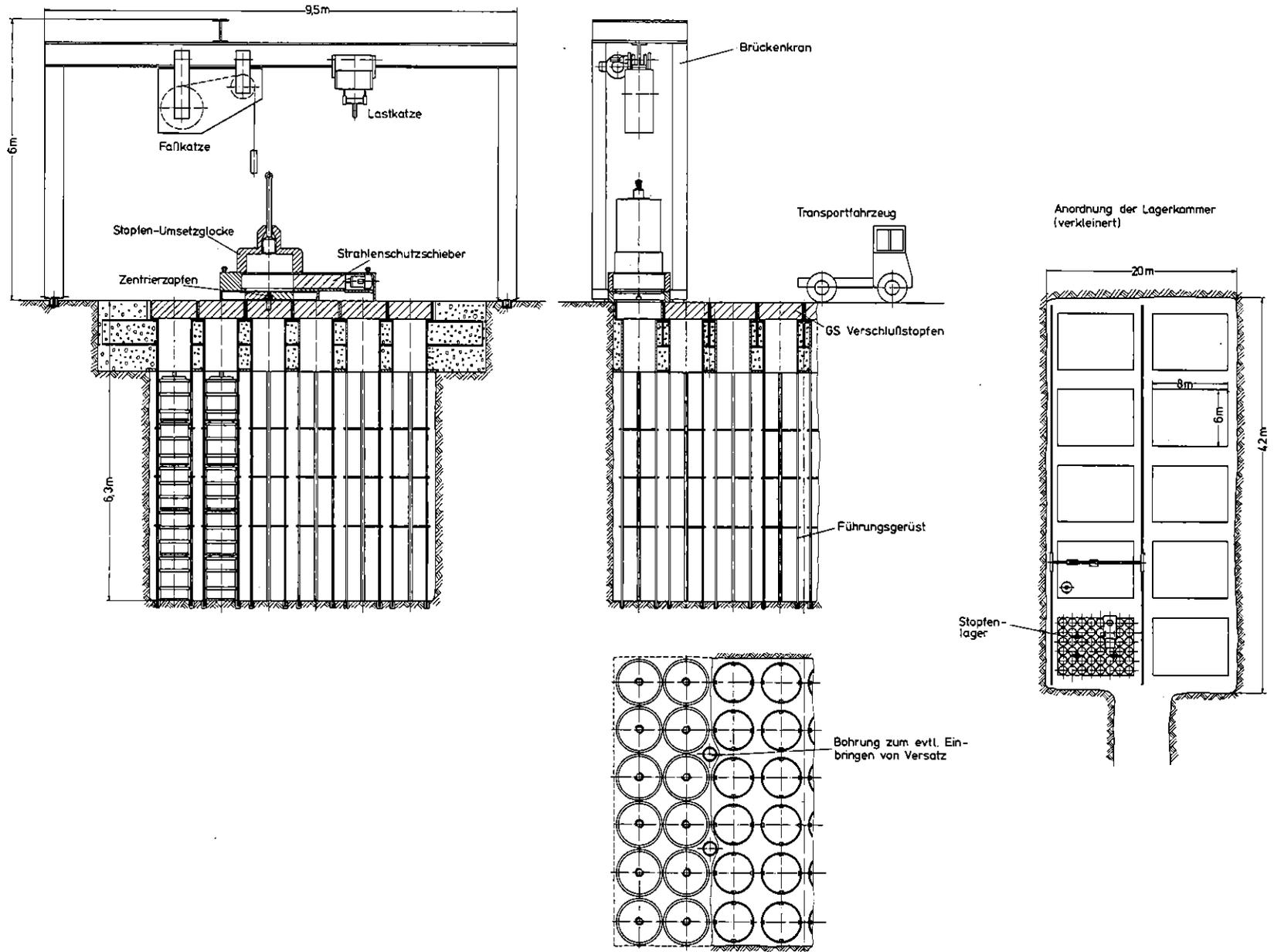
Für die Konzepte wurde eine Einlagerungsphase von 6-7 Jahren angenommen, wobei davon ausgegangen wurde, daß die zwischengelagerten Abfälle entweder nach 20 Jahren rückgeholt oder endgültig endgelagert und mit Versatzmaterial überdeckt werden.

Die verschiedenen Konzepte mit den dafür benötigten Geräten wurden beschrieben, die Kosten, der Hohlraumbedarf, die Erstellungs- und Handhabungszeiten sowie die Dosisbelastung des Bedienungspersonals untersucht.

Mit einer Entscheidungsmatrix wurde das Stopfenlager als günstigste Lösung ausgewählt. Das Stopfenlager (vgl. Abb. a) wird mit einer begehbaren und befahrbaren Stopfendecke verschlossen. Der sich darunter befindliche Lagerraum besitzt 10 kellerartig verschlossene Räume, in denen sich für die Faßlagerung Führungsgerüste befinden. Die Einlagerungs- und Rückholgeräte

können auf der Stopfendecke in verschiedene Positionen gebracht werden. Zum Absetzen der Fässer wird ein spezieller versetzbarer Schieber verwendet. Die Kleinkammern sind gegeneinander abgeschlossen und der über sie abgeschirmte Beschickungsraum ist jederzeit begehbare.

Abb. a: Variante 3 Stopfenlager



3. Entwicklung und Bau einer Kammer für die Einlagerung mittelaktiver Abfälle

Mit einer neuen Kammer für mittelaktive Abfälle sollen die Verfügbarkeit und die Sicherheit des weiterentwickelten Einlagerungsverfahrens demonstriert und erprobt werden. Dabei werden insbesondere Arbeiten zur Bestimmung der gebirgsmechanisch günstigsten Lagergeometrie sowie zur Bereitstellung geeigneter Verfahren und Materialien für die Verfüllung und den Verschluß der Kammer durchgeführt.

3.1 Anlagenbeschreibung

Hohlräume

Das Volumen der Einlagerungskammer soll ca. 3.100 m³ betragen und ist für eine Aufnahmekapazität von 5.200 Fässern ausgelegt. Zur Aufnahme der Einlagerungsgeräte und der Überwachungseinrichtungen dient die Beschickungskammer, die über der Lagerkammer angeordnet ist. Sie hat ein Volumen von ca. 1300 m³. An die Beschickungskammer schließt sich die Filterkammer mit ca. 200 m³ für die Aufnahme der Bewetterungseinrichtung an. Im Nahbereich der Beschickungskammer befindet sich an der Zufahrtsstrecke eine Wendekammer für die Transportfahrzeuge (vgl. Abb. a).

Überwachungs- und Meßeinrichtungen

Zur Temperaturüberwachung sind an der Kammerwand und im Nahbereich zu ihr zweimal je 3 Rohre vorgesehen, in die eine Sonde für die Temperaturmessung in verschiedenen Höhenlagen abgesenkt werden kann.

Die Kammerluft wird auf Radiolysegas- und Staubentwicklung überwacht. Die Überwachung geschieht kontinuierlich an Probeentnahmestellen in der Bewetterungsanlage. Ferner werden Probeentnahmesonden in die Kammer abgelassen. Ebenfalls kann eine Ionisationskammer zur Quellstärkemessung in die Lagerkammer gebracht werden.

Am Steuerpult befindet sich ein Monitor für die in der Kammerdecke eingebaute Fernsehkamera. Ebenfalls am Steuerpult ist das Okular für ein in die Kammer führendes Periskop angeordnet.

Bewetterungsanlage

Die Kammerbewetterung erfolgt durch 2 Radialventilatoren mit einem Durchsatz von je 10.000 m³/h. Die Zuluft gelangt aus der Beschickungskammer über ein vorgeschaltetes Rollbandfilter in die Einlagerungskammer. Die Abluft aus der Einlagerungskammer wird von dem Gebläse angesaugt und über Absolut-Schwabststoffilter wieder in die Beschickungskammer geleitet. Es arbeitet jeweils nur ein Gebläse, das zweite steht zur Reserve.

3.2 Beschreibung des Einlagerungsprozesses

Die Einlagerungsgeräte sind so ausgelegt, daß grundsätzlich zwei Betriebsformen möglich sind:

- Die automatische Einlagerung mit dem Umladebehälter U2.
- Die manuelle Einlagerung ähnlich dem bisherigen Einlagerungsbetrieb.

Der Einlagerungsprozeß läuft im Prinzip wie folgt ab:

Die mit dem Abfallfaß gefüllten Umladebehälter werden mit dem Transportfahrzeug auf einen markierten Fixpunkt in der Beschickungskammer gefahren. Der Brückenkran fährt heraus und steuert sich mit Fotozellen in die Aufnahmeposition. Das Abheben des Umladebehälters geschieht mit der Lastanhängevorrichtung. Der Brückenkran bringt anschließend den Behälter zum Bohrlochschieber. Während der Kranfahrt wird der Behälter in die mit dem Bohrlochschieber übereinstimmende Position gedreht. Ist der Behälter abgesetzt, wird die Lastanhängevorrichtung gelöst und der Brückenkran fährt in Warteposition. Den Höhenausgleich während der verschiedenen Arbeitsvorgänge übernimmt das an ihm angebrachte Teleskop. Das Faß wird unter visueller Kontrolle abgelassen und ausgeklint.

3.3 Gebirgsmechanische Arbeiten

Unter Berücksichtigung der geplanten Kammerform wurden gemeinsam mit dem Institut für Statik der Technischen Universität Braunschweig rechnerische Untersuchungen über das Spannungsverformungsverhalten des Lagerraums sowie der Beschickungskammer in drei Varianten durchgeführt (vgl. Abb. b).

Variante 1 betrachtet eine Lagerkammer mit 18 m Durchmesser von 3.000 m³ Inhalt mit einer darüber liegenden 24 m breiten Beschickungskammer. Die Lagerkammer stellt einen Zylinder mit aufgesetztem Kreiskegel dar.

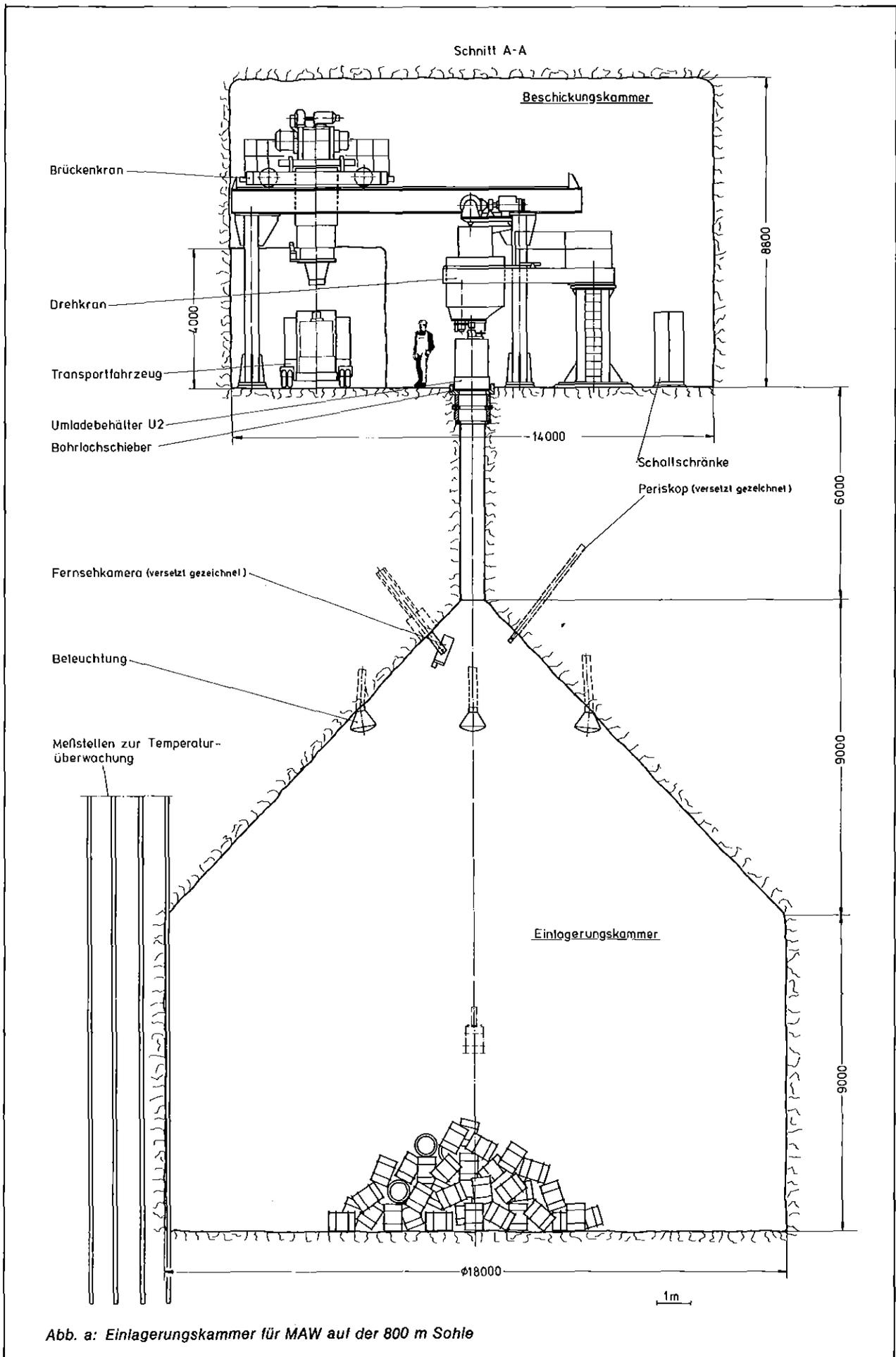
Variante 2 betrachtet ebenfalls eine Lagerkammer mit 18 m Durchmesser und eine 12 m breite Beschickungskammer.

Variante 3 betrachtet einen Lagerraum mit 12 m Durchmesser und 3.000 m³ Inhalt mit einer darüber liegenden 12 m breiten Beschickungskammer.

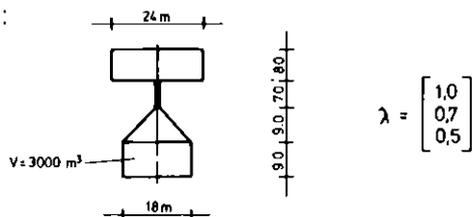
Bei einem ersten elastischen Ansatz wurden Seitendruckziffern von 0,5 und 0,7 und 1,0 zugrunde gelegt.

In einem nachfolgenden Schritt wurden einzelne Bauzustände in sechs Einzelabschnitten berechnet. Die Betrachtungen erfolgten hier für eine Seitendruckziffer von 0,7.

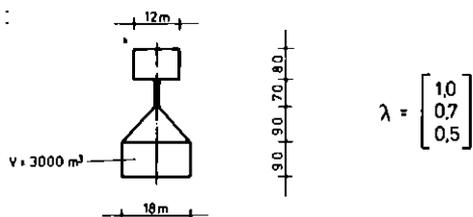
Die Berechnungsergebnisse zeigen, daß der Kraftfluß um die Hohlräume nach Beendigung der Auffahrung am günstigsten ist. Die maximale vertikale Spannung tritt in der Beschickungskammer nach dem ersten Bauab-



1. Variante :



2. Variante :



3. Variante :

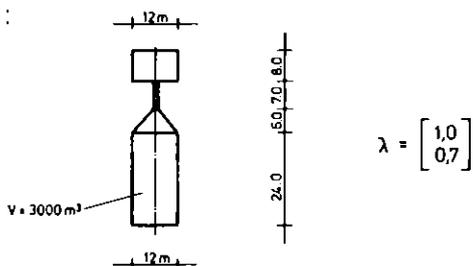


Abb. b): Geometrische Varianten der MAW-Kammer

schnitt, d. h. nach ihrer Auffahrung, auf. Die Spannungen reduzieren sich mit dem Baufortschritt. Die Rechnungen ergaben weiterhin, daß im First- und Sohlenbereich mit Zugspannungen zu rechnen ist. Der ermittelte Wert liegt bei 10 kp/cm^2 . Die Verschiebungs- und Spannungsfelder zeigen, daß es sehr sinnvoll ist, die Sohle der Lagerkammer und die Firste der Beschickungskammer gewölbeartig (abgerundete Ecken) auszubilden, so daß in diesen Bereichen Zugspannungen vermieden werden.

Die maximale vertikale Spannung im Lagerraum tritt nach dem zweiten Bauabschnitt, d. h. nach Auffahrung des untersten Teiles (2,25 m), auf. Auch diese Spannungen reduzieren sich bis zum Ende der Gesamtaufahrung.

Eine Auffahrung der Beschickungskammer vor Auffahrung des Lagerraumes zeigt während der Auffahrung der Einlagerungskammer für diese eine deutliche Abschirmwirkung.

Im dritten Rechenabschnitt wurde das zeitabhängige Verformungsverhalten sowie die Spannungsumlagerung infolge Kriechens berechnet. Aus ersten Näherungslösungen lassen sich folgende Resultate ableiten:

- Die Verformungen des Lagerraumes sind beim ebenen Spannungszustand 15% größer als beim ebenen Verformungszustand (rechnerische Ermittlung).
- Nach dem Vollausbuch der Lagerkammer steigen die Verformungen im First- und im Sohlenbereich der an der Basis der Lagerkammer vorhandenen Auffahrungsstrecke um ca. 50% an.
- Infolge der zu erwartenden Spannungsumlagerungen durch das plastische Gebirgsverhalten ist zu erwarten, daß rechnerisch ermittelte Spannungsspitzen während der Auffahrung abgebaut werden.

3.4 Untersuchungen zum Versatz der Lagerkammer

Versatzstoffe

Die untersuchten Versatzstoffe Ton und Eisenerz verhielten sich weitgehend gleich. In Modellversuchen konnte beobachtet werden, daß während des Einfüllvorganges eine Entmischung der verschiedenen Körnungen des Versatzmittels auftrat. Die Entmischung hatte keinen negativen Einfluß auf die Verfüllung der Zwickel.

Die Versuche haben gezeigt, daß Ton und Eisenerz geeignete Versatzstoffe sind. Besonders beim Ton wurde eine relativ große Staubeentwicklung beobachtet.

Für Versuche mit nassem Versatz wurde Fertigbeton verwendet. Der Beton zeigte sehr gute Fließeigenschaften, es bildete sich kein Restwasser und das Schwindmaß war gering. Nach dem Abbinden wurde der Betonblock ausgeschalt und in drei Teile zersägt. Es konnte eine nahezu vollständige Zwickelfüllung durch den Beton beobachtet werden. Probekörper aus diesem Beton werden für Auslaugversuche in Salzlauge verwandt.

Versatzeinbringung

Es ist vorgesehen, die erste Versatzeinbringungskampagne nach ca. 5-6 Jahren Einlagerungszeit durchzuführen. Die Versatzeinbringung soll nach gegenwärtigen Überlegungen mit Hilfe von Plastikschiäuchen, die nach dem Einbringvorgang in die Lagerkammer abgeworfen werden, erfolgen. Das Versatzmaterial wird übertage vorbereitet und mit Containern, die im Gewicht etwa einem Transportbehälter entsprechen, nach untertage gebracht.

4. Prototyp-Kavernenanlage im Salzbergwerk Asse

In einer Prototyp-Kavernenanlage soll die Einlagerung mittelradioaktiver Abfälle in den Kavernenhohlraum zwischen 959 m und 996 m Teufe erfolgen. Der Einlagerungsprozeß soll weitgehend automatisiert werden. Darüber hinaus soll das Vorhaben über die günstigste Kavernenform und über das Verhalten der Abfälle unter den konkreten Lagerbedingungen Aufschluß geben.

4.1 Bergmännische Arbeiten

Bis Ende 1978 waren die bergmännische Erstellung des Kavernenhohlraumes bis 996 m Teufe, das Fundament in 926 m Teufe und die Schachteinbauten von der Entladeanlage auf 926 m bis zur 750 m-Sohle fertiggestellt.

Der Einbau der Spurlatten von O bis 913 m sowie die Verrohrung des Schachtes 4 im Bereich der 490, der 725 und der 750 m-Sohle wurde ausgeschrieben und vergeben. Bereits im April wurde die Spurlattenmontage und im Mai die Montage der Schachtverrohrung auf den drei genannten Sohlen abgeschlossen.

Der Carnallitbereich des Schachtes 4, etwa von 512 bis 720 m Teufe, wurde versiegelt.

4.2 Montage der Förder- und Beschickungsanlage (mechanischer und elektrischer Teil)

Auf der 750 m-Sohle wurden die Fundamente für die Filteranlage betoniert und die Anlage installiert. Weiterhin wurden für die Datenübertragung aus der Kaverne und der Entladeanlage nach über Tage Meßkabel in die Schächte 2 und 4 eingehängt. Die mechanische und elektrische Montage der Förder- und Beschickungsanlage einschließlich der Lüfter- und Filteranlagen wurde abgeschlossen (Abb. a).



Abb. a): Übertägige Belüftungs- und Filteranlage

Die Übertageanlage (Umladezelle, Sammelabschirmbehälter, Umladebehälter, Schwerlastmanipulator usw.) wurde in Betrieb genommen.

Für eine Meßbox auf 926 m, die Teil des untertägigen Lüftungssystems ist und den Abschluß über den in die Kaverne ragenden Geräterohren bildet, wurden die Fertigungszeichnungen auf den neuesten Stand gebracht und zur Fertigung freigegeben.

Zur Durchführung von Experimenten von der Box aus wurden Einrichtungen, z. B. Schutzbehälter für Fotoapparat, Schwenkvorrichtung für Kamerabehälter, Absetzvorrichtung für Fernsehkamera, entwickelt, konstruiert und in Auftrag gegeben. Die Arbeiten sind soweit fortgeschritten, daß 1980 die Inbetriebnahme und Erprobung der Kavernenanlage in der Kaltphase erfolgen kann.

4.3 Gebirgsmechanische Untersuchungen

Die fernelektrische Beobachtung und Überwachung der Gebirgsverschiebung um die Prototyp-Kaverne Asse mit Hilfe von insgesamt 44 Extensometer-Meßstellen konnte planmäßig im Berichtsjahr fortgesetzt werden.

Abb. b zeigt in einem Vertikal-Schnitt durch die Kaverne das Anordnungs-Schema dieser Extensometer sowie die Lage der verschiedenen Extensometer-Fest-

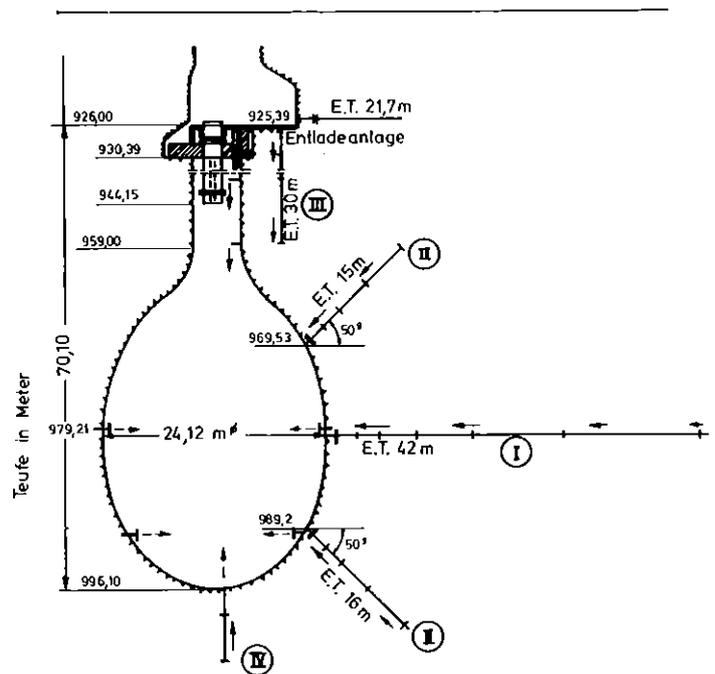


Abb. b): Vertikalschnitt durch die Kaverne mit Extensometern und Schema für Konvergenzmessungen

punkte im umgebenden Gebirge. Es handelt sich um Mehrfach-Stangen-Extensometer, deren Referenzplatten zum Schutz ihrer bis zu 1300 mm langen Meßköpfe mit den Wegaufnehmern (vgl. Abb. c) in jeweils bis zu 1,5 m tiefen Meßnischen in den Kavernenstoß versenkt sind.

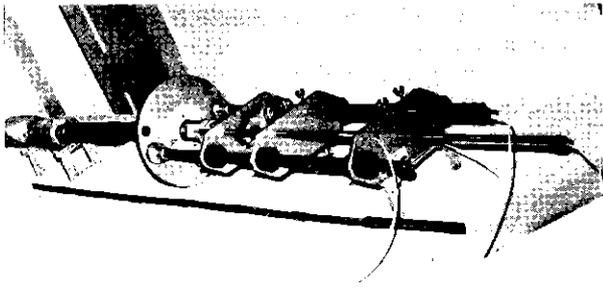


Abb.c): Meßkopf eines 4-Punkt-Extensometers mit Referenzplatte und Wegaufnehmern

Im einzelnen sind in der Kavernen-Mittelebene bei 979,2 m Teufe drei horizontal verlaufende und radial unter Zentriwinkeln von 0 Grad, 50 Grad und 100 Grad zum Schichtstreichen angeordnete 6-Punkt-Extensometer (Nr. I in Abb. b) installiert, deren Festpunkte jeweils in Bohrlochtliefen zwischen 3,4 m und 40,4 m Stoßtiefe verankert sind. Ferner sind jeweils paarweise im Bereich der oberen und unteren Kavernenschulter bei 969,5 und 989,2 m Teufe unter je 50 Grad Steigen und Fallen ansetzenden Bohrungen, welche unter Winkeln von 0 Grad und 100 Grad zum Schachtstreichen angeordnet wurden, insgesamt 4 Stck. 4-Punkte-Extensometer eingebaut, deren Festpunkte in Stoßtliefen zwischen 3,4 m und 15,4 m liegen (Nr. II in Abb. b). Neben einem weiteren Horizontal-Extensometer in der Entladeanlage ist zur Beobachtung der Vertikal-Verschiebungen innerhalb des Kavernendaches ein vertikal angeordnetes 6-Punkt-Extensometer eingebaut (Nr. III in Abb. b), dessen Festpunkte in Abständen zwi-

schen 3,8 m und 29,3 m unterhalb der Sohle der Entladeanlage verankert sind.

Mit Hilfe dieser Extensometer werden die zeitabhängigen Relativ-Verschiebungen des Gebirges zwischen den einzelnen Festpunkten und der Referenzplatte am Extensometerkopf mit Induktivaufnehmern abgetastet und laufend in Abhängigkeit von der Kavernenstandzeit registriert. Sämtliche Extensometer sind während des Abteufens der Kaverne sobald als möglich in der Zeit vom Januar bis März 1977 installiert worden. Sie sind nunmehr für einen Zeitraum von nahezu 3 Jahren trotz rauhester Umgebungs- und Betriebsbedingungen, mit Ausnahme nur eines Defektes an einer Meßstelle, voll funktionsfähig und kontinuierlich in Betrieb.

Für die bisherigen Zwischenergebnisse aus den langfristigen Extensometer-Beobachtungen an der Kaverne zeigt die Abb. d für das in der Mittelebene gelegene Extensometer K 6 beispielhaft die kumulierten horizontal und radial gerichteten Gebirgsverschiebungen zwischen dem Extensometerkopf und den Festpunkten in 3,4 bis 40,4 m Stoßtiefe für einen Beobachtungszeitraum von rund 960 Tagen. Die anfangs sehr hohen Verschiebungsgeschwindigkeiten für sämtliche Referenzstrecken, gekennzeichnet durch die große Steigung der Verschiebungs-Zeit-Kurven bei Beginn der Messungen während der noch laufenden Teufarbeiten, klingen mit zunehmender Standzeit der Kaverne bisher stetig ab. Gleichzeitig verringert sich in den einzelnen Gebirgsabschnitten die kumulierte mittlere Dehnung überproportional mit zunehmender Stoßtiefe. So beträgt zur Zeit bei diesem Extensometer die kumulierte mittlere radiale Gesamtdehnung des Gebirgsabschnittes von 1,5 bis 3,4 m Stoßtiefe 1,14 %, hingegen diejenige im Abschnitt zwischen 25,9 bis 40,4 m Stoßtiefe nur

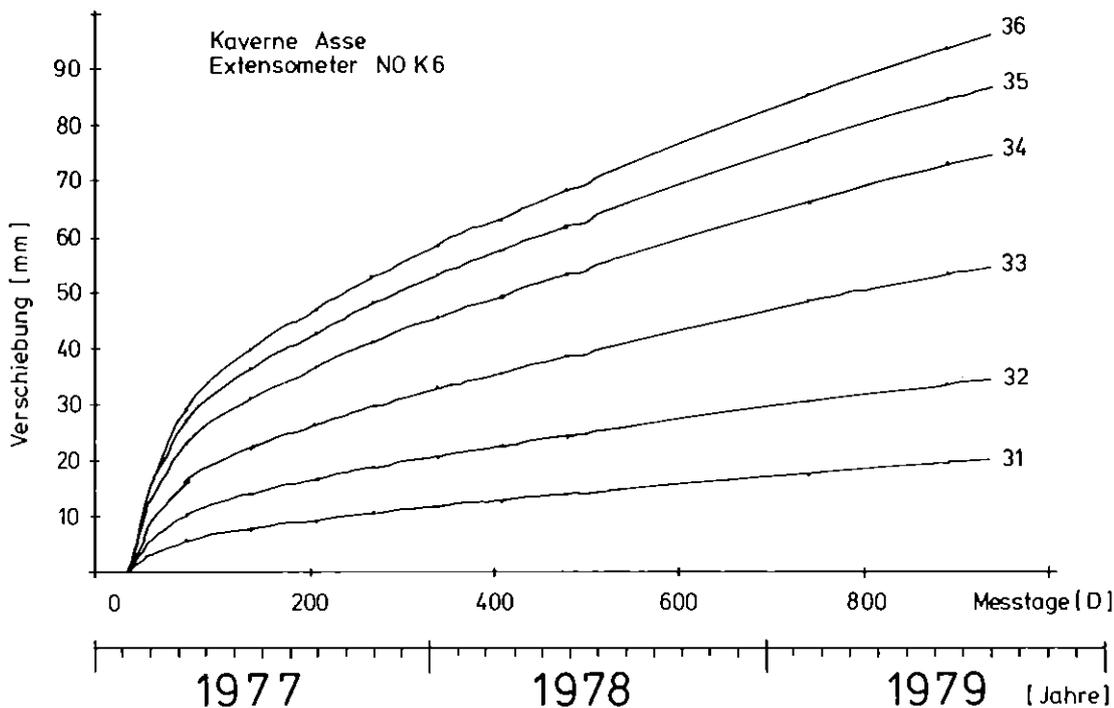


Abb. d): Verschiebungen [mm] zwischen 6 Festpunkten, angeordnet in verschiedenen Bohrlochtliefen, von Extensometer K6 in Abhängigkeit von der Beobachtungszeit

noch 0,7‰. Ergebnisse vergleichbarer Größenordnung sind für sämtliche anderen Extensometer zu beobachten.

Aus der Gesamtheit der Beobachtungen an der Kaverne können folgende vorläufigen zusammenfassenden Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Infolge der doppelt gekrümmten Kavernenform baut sich in unmittelbarer Nähe des Kavernenstoßes ein räumlicher Spannungszustand auf.
 - Rechnerische Untersuchungen des Kurzzeitverhaltens des Steinsalzgebirges zeigen, daß der Primärzustand durch den Ausbruch der Kaverne nur wenige Meter in das Gebirge hinein beeinflußt wird.
 - Durch die Radialverschiebungen werden erhebliche Zwängungskräfte in Umfangrichtung hervorgerufen. Eine Zunahme der Horizontalspannung wird bewirkt.
 - Am Kavernenstoß entzieht sich das Gebirge infolge Kriechverformung der Spannungsaufnahme durch bruchlose Spannungsumlagerung, bis ein reduzierter Spannungszustand erreicht ist. Tief im Gebirge liegende Bereiche müssen Tragfunktionen übernehmen.
 - Die Gebirgsverschiebungen an der Kaverne vollziehen sich im Laufe der Zeit mit abnehmender Rate.
 - Das Deformationsbild ist weitgehend homogen.
 - Das Gebirge ist als standfest zu betrachten.
- Die angewandten in situ-Beobachtungsverfahren haben sich trotz rauhester Betriebsbedingungen seit ihrem Einsatz im Oktober 1976 bewährt.
 - Sowohl durch Ultraschall- als auch durch Dilatometermessungen wurden bau- und standzeitbedingte Veränderungen der Kaverne nachgewiesen. Am auffallendsten wurden die Veränderungen vom Teil zum Vollausbuch beobachtet.
 - Für die Standsicherheitsbeurteilung der Prototyp-Kaverne ist die Beobachtung bedeutsam, daß nach Beendigung der Baumaßnahmen keine Laufzeitvergrößerungen auftraten. Dies spricht für eine Stabilisierung des Steinsalzgebirges.
 - Die Dilatometermessungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe haben eine hohe Steifigkeit des Gebirges nachgewiesen. Der Kavernenrand unterscheidet sich von tieferen Gebirgsbereichen durch niedrige Verformungsmoduli.
 - Mit der Wiederbefahrbarkeit der Kaverne müssen nach zwei Jahren die bisherigen Ergebnisse bestätigt werden, um die bislang getroffenen Aussagen insbesondere zum Zeitverhalten des Gebirges zu überprüfen.

5. Untersuchungen zur Versuchseinlagerung hochaktiver Abfälle

Die mit der Einlagerung hochradioaktiver Abfälle einhergehende Temperaturentwicklung und ihre Auswirkungen auf

- Spannungszustand und Deformation der Hohlräume,
- rheologische Eigenschaften des Steinsalzes und
- Freisetzung von in Steinsalz enthaltenem Wasser

sowie Arbeiten zur Korrosion von Verrohrung der Bohrlöcher und Verpackung der Abfallprodukte bildeten den Schwerpunkt der experimentellen und Rechenarbeiten. Die Entwicklung technischer Einrichtungen und Geräte wurde weitergeführt.

In einigen Ansätzen konnten aus Modellrechnungen gewonnene Parameter durch entsprechende Ergebnisse aus Labor- und in-situ Versuchen überprüft und bestätigt werden.

5.1 Temperaturversuche und Konvergenzmessungen

Simulationsversuche im Älteren und Jüngeren Steinsalz

Die bergmännischen Arbeiten standen hauptsächlich im Zeichen von Bohrarbeiten für die Vorrichtung und Installation des Versuchsfeldes 4 auf der 750-m-Sohle. Unter anderem wurde eine Kernbohrung parallel zum Erhitzebohrloch 2 vorgenommen, um Kernmaterial für chemische und mineralogische Untersuchungen zu gewinnen.

Im Versuch selbst wird die Wärmefreisetzung der HAW-Kokillen durch elektrische Erhitzer simuliert. Parallel zu der resultierenden Temperaturverteilung und Bohrlochkonvergenz werden Freisetzungsverlauf und Menge der in das Bohrloch eintretenden Lauge gemessen.

Die Installation sämtlicher Versuchskomponenten wurde abgeschlossen und der Versuch Anfang 1980 eingeschaltet. Für einen weiteren in-situ Temperaturversuch, der die durch die Wärmefreisetzung induzierte Bohrlochkonvergenz untersucht und insbesondere die sich hieraus ergebende Druckbelastung auf eine Verrohrung, wurden sämtliche Versuchskomponenten fertiggestellt und im Labor sowie im Hochdruckversuchsstand erprobt.

Die Rohrstrecke, bestehend aus drei Rohrschüssen à 1,5 m, wurde mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) und Thermoelementen instrumentiert. Bei den DMS wurden zwei Typen eingesetzt, welche die Temperaturbereiche bis 250°C bzw. bis 650°C erfassen. Der 2,5 m lange Erhitzer mit einer Leistung von 5 kW einschließlich eines Konvektionsstopfens ist ebenfalls einsatzbereit. Die Meßwerterfassungsanlage UPH 3200 wurde auf die erforderliche Meßkanalanzahl ausgebaut und für den Untertage-Einsatz ausgerüstet.

Die gesamte Rohrstrecke wurde außen wärmeisoliert und mit dem Erhitzer in mehreren Zyklen definiert aufgeheizt, um für jeden DMS die Charakteristik der temperaturabhängigen scheinbaren Dehnung zu ermitteln (Abb. a).

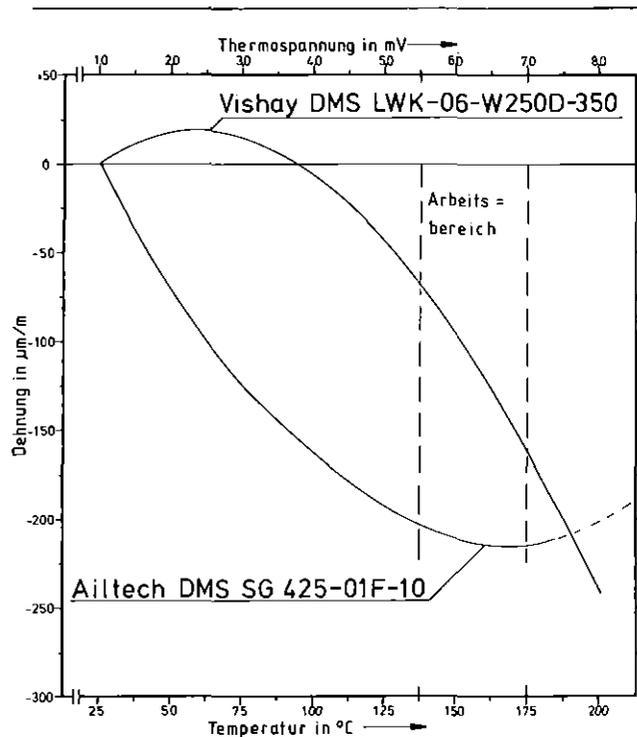


Abb. a: Scheinbare Dehnung in Abhängigkeit von der Temperatur

Für Messungen der Bohrlochkonvergenz an möglichst unterschiedlichen Positionen im Salzgestein steht nunmehr die Standardsonde zur Verfügung. Ihr Grundkörper wurde komplett im Versuchsstand montiert und erprobt. Dabei zeigte es sich, daß die vorliegende Ausführung den gewünschten Anforderungen, wie einfache Handhabung und Zentrierung mit Hilfe der Gelenkrollen, entsprach. Die Sonde war auch nach 21 Tagen thermischer Belastung (500°C) mechanisch voll funktionsfähig.

Konvergenzmessungen in der Versuchsstrecke des Temperaturversuchsfeldes (TVF) 4

Die Extensometermessungen in der Versuchsstrecke des Temperaturversuchsfeldes 4 wurden kontinuierlich fortgesetzt. Soweit möglich erfolgten die Beobachtungen an den installierten Festpunkten in Zeitabständen von jeweils 30 Tagen.

Die Abbildung b zeigt beispielhaft die bei Streckenmeter 38,5 gemessenen Deformationen in einem Konvergenz/Zeit-Diagramm. Zwischen den Stützen der Extensometer ist gleichzeitig die horizontale Raumkonvergenz gemessen worden. Sie beträgt nach 574 Tagen 30 mm. Im ersten Zeitabschnitt nach der Auffahrung der Versuchsstrecke hat die Deformationsgeschwindigkeit, wie zu erwarten, kontinuierlich abgenommen. Sie scheint jetzt mit ~ 0.06 mm/Tag konstant zu sein. Ein ähnliches Verhalten wurde auch bei den an anderen Streckenquerschnitten gemessenen Raumkonvergenzen beobachtet.

Weiterhin kann gezeigt werden, daß die im vierfachen Streckenradius bei etwa 9 m Gesteinstiefe beobachteten Längenänderungen nach nunmehr 574 Beobachtungstagen nur noch etwa 5% der Horizontalkonvergenz in der Strecke betragen, während sie nach 436 Tagen noch 6,5% betragen. Auch hier ist eine Abnahme der Deformationsgeschwindigkeit zu verzeichnen.

Ermittlung von Absolutspannungen im Gebirge

Im Laufe des Jahres 1979 wurden weitere Experimente zur Spannungsermittlung nach der Bohrlochentlastungsmethode durch Überbohren durchgeführt. Die Versuche fanden an zwei Orten auf der 775 m-Sohle der Schachanlage Asse im Älteren Steinsalz statt.

Die Auswertungen wurden unter der Annahme eines ebenen Spannungszustandes durchgeführt. Zur Bestimmung des Entlastungsmoduls wurden aus den Meßbereichen Vollkerne entnommen und im Labor einer mehrfachen zyklischen Be- und Entlastung unterworfen. Insgesamt zeigen die ermittelten Hauptspannungen Werte an, die wesentlich unter dem Teufendruck liegen. Dieser liegt bei etwa $1,780$ kN/cm². Der Teufendruck dient hier lediglich als Anhaltswert, da im allgemeinen im Bereich von Hohlräumen wesentlich höhere Spannungen als der Primärzustand auftreten (maximale Meßtiefe = 320 cm). Im elasto-plastischen Gestein, wie im Falle des anstehenden Gebirges

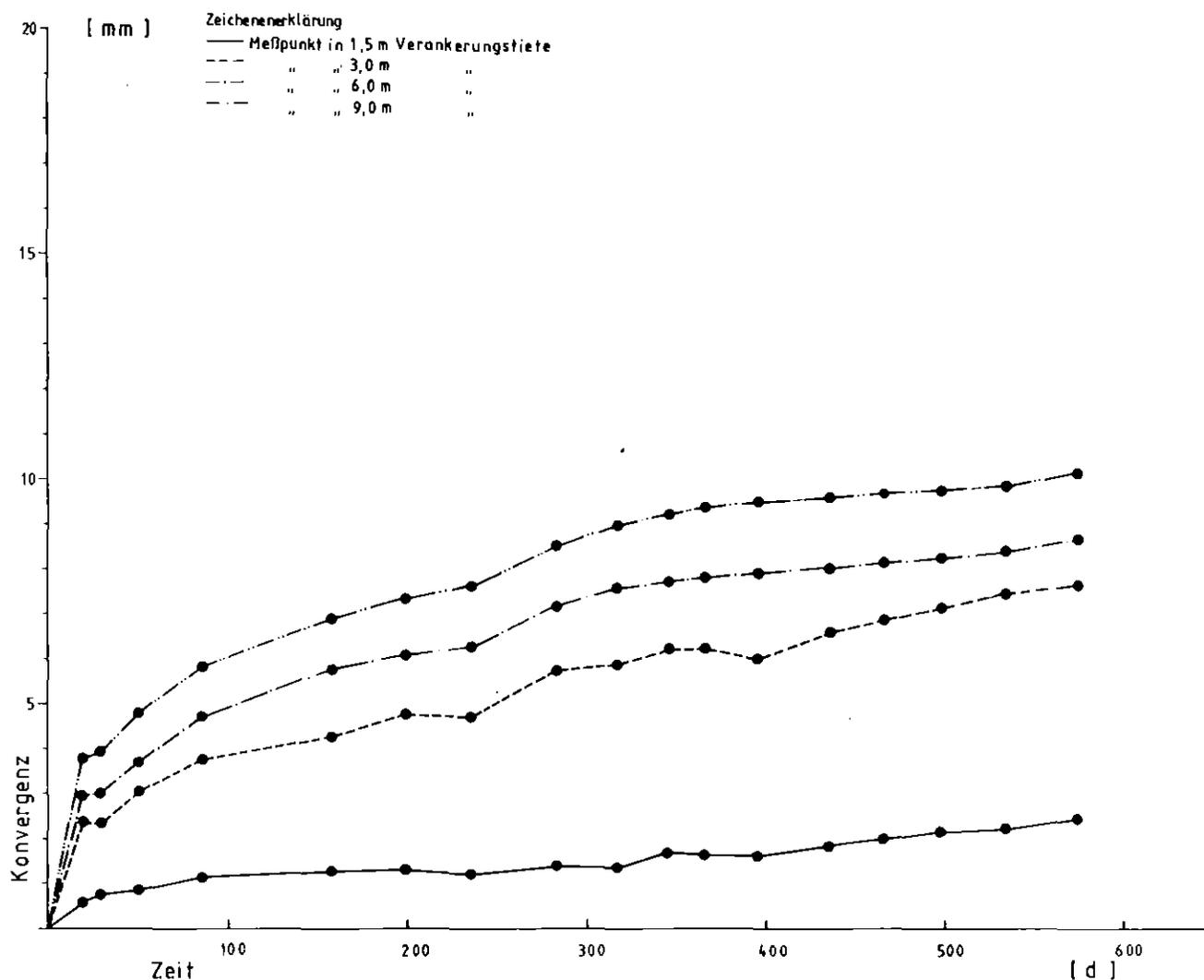


Abb. b): Schachanlage Asse, Temperaturversuchsfeld 4, Konvergenz/Zeit-Diagramm, Bohrloch 14

Meß-bohrung	Tiefe der Meße-bene [cm]	Hauptspannungen		Abweichungen	Verhältnis	E-Modul
		σ_1 N/cm ²	σ_2 N/cm ²	α°	σ/σ	
— S 1	115	565	400	15	0,71	2.13 · 10 ⁶ N/cm ²
	150	770	508	22	0,66	
	220	804	555	7	0,69	
— S 2	75	707	502	12	0,71	
	145	653	420	± 0	0,64	
	172	830	498	30	0,60	
	290	904	610	21	0,67	
— S 3	70	602	360	- 11	0,60	
	120	740	450	5	0,61	
	240	800	504	27	0,63	
— S 4	140	500	275	18	0,55	
	165	728	437	25	0,60	
	190	900	610	10	0,57	
	240	1020	714	23	0,70	
— S 5	70	754	445	± 0	0,59	2.37 · 10 ⁶ N/cm ²
	147	663	400	12	0,60	
	250	820	517	18	0,63	
	320	900	612	40	0,68	
— S 6	100	597	352	22	0,59	
	220	860	561	26	0,65	
	250	1124	770	- 2	0,69	

α° = Abweichung der größten Hauptspannung von der Vertikalen; positive Zählrichtung entgegen dem Uhrzeigersinn (Beobachter schaut in das Bohrloch)

Tab. 1: Spannungsermittlung auf der 775 m-Sohle

(Salzgestein), sind Relaxationen (d. h. Entspannungen) durch Fließen eine charakteristische Erscheinungsform.

In welchem Umfang die Meßmethode den herrschenden Spannungszustand reproduziert ist noch zu klären. Dazu bedarf es der Anwendung anderer Verfahren (geplant: hydrofrac und stiff inclusion), um die Vor- und Nachteile abschätzen zu können.

Die Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung der ermittelten sekundären Hauptspannungen sowie die Abweichung der größten Hauptspannung von der Vertikalen am Versuchsort.

Seismische Überwachung im Nahbereich untertägiger Versuchsfelder

Als eine ergänzende Methode der Gebirgsbeobachtung wurde 1979 ein geophysikalisches Überwachungssystem in der Asse installiert. Mit Hilfe eines Netzes von 8 Geophonen soll es die aus dem konvergierenden Grubengebäude selbst sowie die durch Wärme aus dem Betrieb von Temperaturversuchsfeldern induzierten gebirgsmechanischen Ereignisse erfassen und die sich ändernden Kompressions- und Schermodule messen.

Parallel dazu registriert eine seismische 3-Komponenten-Station von außen kommende Ereignisse (Erdbeben, Sprengungen), welche auslösend auf gebirgsmechanische Vorgänge in der Grube wirken können. Die Registrierung wird im 1. Quartal 1980 beginnen.

5.2 Bestimmung der rheologischen Eigenschaften des Asse-Salzes

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag 1979 in zunehmendem Maße bei Versuchen unter mehrachsiger Beanspruchung. In triaxialen quasi-statischen kraftge-regelten Festigkeitsuntersuchungen an zylindrischen Prüfkörpern wurde bei Raumtemperatur und unterschiedlichen Manteldrücken bis zu 30 MPa die Bruchfestigkeit des Jüngeren und Älteren Steinsalzes sowie des Staßfurt-Carnallitites bestimmt. Anhand dieser Versuchsreihen wurde unter Einbeziehung der Ergebnisse für die einachsigen Druck- und Zugfestigkeits-Kennwerte der Verlauf der Bruchhüllkurve für jede Salzart ermittelt.

Dabei unterschieden sich trotz unterschiedlicher Herkunft aus verschiedenen stratigraphischen Horizonten die untersuchten Steinsalze der Leine- und Staßfurt-Serie nicht in ihrer mehrachsigen Festigkeit und damit in Verlauf und Ausbildung ihrer Bruchhüllkurven.

Wegeregelt Triaxialversuche an gleichartigen Zylindern ergaben bei Manteldrücken zwischen 5 und 20 MPa und konstanten axialen Deformationsraten im Bereich von 10⁻³ bis 10² mm/min eine starke Abhängigkeit der sich unter Verformung einstellenden Deviator-Spannungen von der Verformungsgeschwindigkeit. Ein wiederholtes Zwischenentlasten bzw. Wiederbelasten der Proben während des Versuchsablaufes erwies sich ohne Einfluß.

Die Experimente zum Festigkeitsverhalten von Jüngem Steinsalz an würfelförmigen Proben unter mehrachsiger rhomboedrischer Beanspruchung bei Raum-

temperatur und unter erhöhten Temperaturen bis zu 260°C wurden fortgesetzt. Nach den bisherigen Versuchsergebnissen nimmt die maximale Oktaederschubspannung für den Bruch- bzw. stationären Fließzustand mit steigender Oktaederschubspannung analog den Versuchsergebnissen an Zylindern bis zu einem oberen Grenzwert asymptotisch zu. Sie ist jedoch in starkem Maße von der Art des vorgegebenen Spannungspfad beeinflusst. In den durchgeführten Testreihen konnte nur eine geringfügige Beeinflussung der Resultate durch die vorgegebene Belastungsgeschwindigkeit beobachtet werden. Erhöhte Temperaturen bis zu 260°C lassen die maximale Oktaederschubspannung sehr stark abnehmen, und zwar in erster Näherung etwa linear mit zunehmender Temperatur.

Einachsige Langzeit-Kriechversuche erreichten eine Testzeit von 600 Tagen ohne signifikante Änderung der sekundären Kriechgeschwindigkeit. Erste Kriechversuche unter Manteldrücken zwischen 5 und 20 MPa wurden aufgenommen.

In quasi-statischen einachsigen Experimenten an Jüngerem Steinsalz, in denen die Abhängigkeit der einachsigen Bruchfestigkeit und der axialen Bruchstauchung von dem vorgegebenen Winkel zwischen der Belastungsrichtung und der vorhandenen Schichtung experimentell untersucht wurde, konnte ein anisotropes Verhalten dieses Salzes hinsichtlich Bruchfestigkeit und axialer Bruchstauchung in der Größenordnung von 26% bzw. zu 50% ermittelt werden. Dabei lag in beiden Fällen das Minimum der Werte bei einer Beanspruchung parallel zur Schichtung.

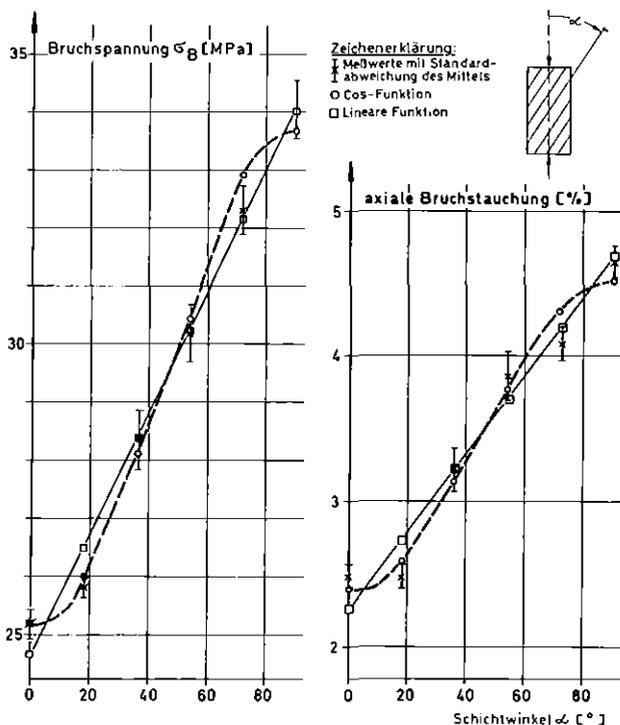


Abb. c): Abhängigkeit der Bruchspannung und der axialen Bruchstauchung von der Beanspruchungsrichtung für Jüngerer Steinsalz

5.3 Untersuchungen zum Korrosionsverhalten von Werkstoffen für Bohrlochauskleidung und Abfallverpackung (Kokille) im Salz

Die Untersuchungen zur Ermittlung der mechanischen Festigkeit und der Härte der untersuchten Fünf Werkstoffe wurden abgeschlossen. Die untersuchten Materialien und die ermittelten Daten für die mechanische Festigkeit sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Werkstoff	Rp 0,2 Dehngrenze in N mm ⁻²	Rm Zugfestigkeit in N mm ⁻²	A ₅ Bruchdehnung in %	Z Bruchelnschnürung in %
1.4439	366	668	47,5	52
	364	668	48	54
1.4558	221	538	49,5	56
	223	540	50,5	56
1.4462	552	750	32	52
	533	748	33	52
1.4539	231	566	44,5	49
	227	568	46	49
1.0566	408	555	27,5	52
	378	556	28,5	50

Tab. 2: Ergebnisse der Zugversuche

Vorversuche zur Ermittlung geeigneter Probenformen für die Auslaugungsversuche in Anlehnung an ASTM Designation G30-72 wurden durchgeführt.

Ein für die Untersuchung der Werkstattsschweißung benötigter Teil der Blechstreifen ist nach dem WIG-Schweißverfahren zu Blechen mit den Abmessungen 20 x 50 cm verschweißt worden. Die für die Deckelschweißung der Kokillen vorgesehenen Bleche sowie die vor dem Glühen geschweißten Abschnitte sind gemäß dem in früheren Berichten beschriebenen Temperaturprogramm einer Glühbehandlung unterzogen worden.

Die Zusammensetzung der Versuchsaapparaturen für die Prüfung auf interkristalline Korrosion (IK) nach DIN 50 914 (Strauß-Test) und zur Ermittlung des Verhaltens der Werkstoffe gegenüber Flächenabtrag, SpRK, Lochfraß und IK unter Zwischen- und Endlagerbedingungen ist in Angriff genommen worden. Zusätzlich wurde eine Reihe von Vorversuchen zur Ermittlung der Salzzusammensetzung bei der Versuchstemperatur und zur Erprobung des Verhaltens der heißen Salzlösung bei Probenahme, unvorhergesehener Abkühlung etc. durchgeführt.

5.4 Freisetzung von Laugeneinschlüssen und Migration

Ziel der Untersuchungen ist es zu erkunden, wieviel Wasser im Laufe der Zeit durch die Temperaturentwicklung hochaktiver Abfälle in eine Lagerbohrung hinein freigesetzt wird.

Dafür ist zunächst der durchschnittliche Gehalt und die Bandbreite des im Steinsalz enthaltenen Wassers zu bestimmen. Es wurden etwa 50 Proben aus dem Salzbergwerk Asse analysiert. Die Proben wurden aus unterschiedlichen Teufen und stratigraphischen Horizonten entnommen. Die Untersuchung zeigte, daß das Wasser an den Kristallgrenzflächen adsorbiert ist oder als Kristallwasser der Minerale Polyhalit und Kieserit vorliegt. Die oft erwähnten laugegefüllten Negativkristalle sind sehr selten und tragen nur wenig zu dem Gesamtwassergehalt bei.

Steinsalzhorizonte des Älteren und Jüngeren Steinsalzes, die für die Endlagerung radioaktiver Abfälle vorgesehen sind, enthalten bis zu 5% der Minerale Anhydrit, Polyhalit oder Kieserit. Deshalb wurde die temperaturbedingte Freisetzung des Wassers dieser Minerale untersucht. Der Carnallit wurde in diese Untersuchung mit einbezogen, obwohl er nicht in Steinsalzhorizonten vorkommt. Jedoch können Formationen des Carnallitits an die des Steinsalzes angrenzen.

Durch eine thermogravimetrische Untersuchung wurden Einsatzpunkt und Verlauf der Wasserfreisetzung in Abhängigkeit von der Aufheizgeschwindigkeit, die zwischen 0,1° und 10°C/min variiert wurde, bestimmt.

In Abbildung d sind die Ergebnisse dieser Untersuchung dargestellt. Mit der angewandten Methode kann nicht auf eine Grenztemperatur der Kristallwasserfreisetzung extrapoliert werden.

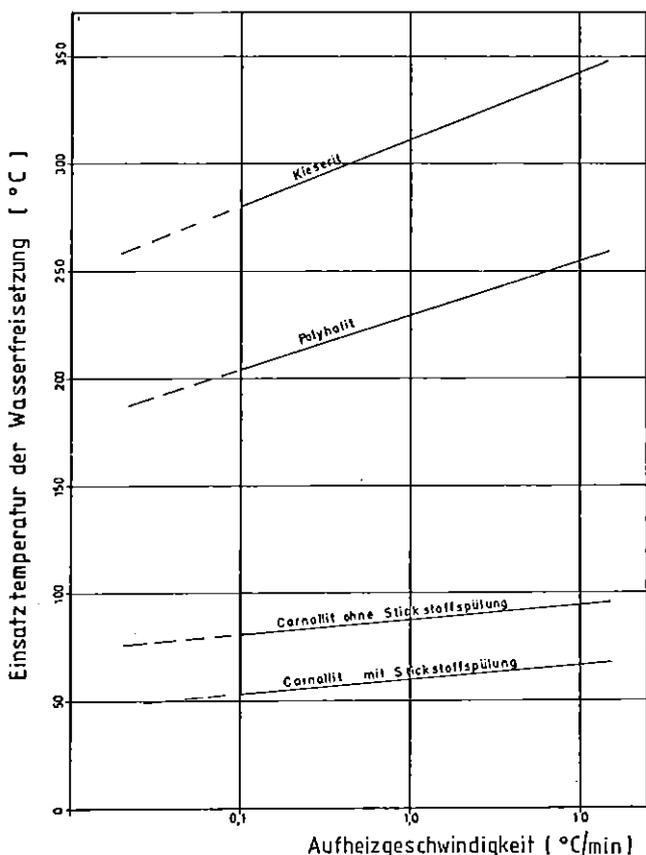


Abb. d): Abhängigkeit der Wasserfreisetzung von der Aufheizgeschwindigkeit

Im Rahmen der Untersuchungen zur Migration in Laugen wurde für die Bestimmung der Temperatur-, Dichte- und Konzentrationsprofile in den Schachtröhren ein mathematisches Modell entwickelt, das folgenden Fall beschreibt:

Zwei Lösungen unterschiedlicher Dichte und Zusammensetzung strömen laminar und parallel gleichsinnig, der Stoffaustausch erfolgt durch molekulare Diffusion.

Die Berechnungen liefern Lösungen, welche längs der Strömungsrichtung die Form einer Trompete aufweisen.

Zur Untermauerung der theoretischen Überlegungen wurden Technikumsversuche am Glasmodell durchgeführt, in denen Konzentrationsunterschiede durch Dichtemessungen und Änderungen des Brechungswinkels gezeigt werden können. Erste Versuche ergaben, daß sich bei der Überschichtung von hochgesättigten Salzlösungen mit spezifisch leichteren Lösungen sehr scharfe Grenzschichten einstellen, wenn die Lösungen parallel und gleichsinnig zueinander strömen (kleiner 0,7 cm/sec). Wird die Strömung unterbrochen, verwischen sich die scharfen Grenzschichten innerhalb von Minuten. Bei erneuter Strömung stellen sich diese jedoch alsbald wieder ein, um nach kurzer Zeit eine keilförmige Zwischenschicht zu bilden, in der wiederum eine neue Grenzschicht zu beobachten ist.

Durch entsprechende Umbauten konnte die Apparatur derart verbessert werden, daß in der Zukunft aus allen vier Schichten unmittelbar Proben entnommen und analysiert werden können.

5.5 Rechenprogramme zur Bestimmung der Temperaturentwicklung

Das 3-dimensionale Programm FAST-BEST wurde für kleinräumige Rechnungen unter Berücksichtigung bewetterter Einlagerungsstrecken fertiggestellt und ausführlich erprobt. Für die Behandlung des Wärmeübergangs an den Streckenwänden wurden drei verschiedene Methoden getestet. Es wurde die Methode ausgewählt, die sich hinsichtlich Rechenzeitbedarf und leichter Handhabbarkeit als geeignetste erwies. Vergleichsrechnungen mit FAST-BEST und dem 2D-Programm ASYTE ergaben eine gute Übereinstimmung.

Die entwickelten Rechenprogramme wurden in der Hauptsache zur Erstellung von Interpolationsformeln angewandt. Mit dem Programm TEFELD wurde eine große Anzahl von 2-dimensionalen kleinräumigen Rechnungen für unterschiedliche Auslegungsparameter von Abfall und Lagerfeld durchgeführt. Für maximale Salztemperaturen zwischen 100°C und 350°C werden dabei die folgenden Parameterbereiche erfaßt:

K	(Spaltproduktkonzentration in den Abfallblöcken)	200-300 g/l
t _{RE}	(Abkühlzeit nach Reaktor-entnahme)	6-50 a
D	(Blockdurchmesser)	0,2-0,3 m
L	(Quellenlänge)	10-500 m
A	(Bohrlochabstand)	3-50 m

Unter Verwendung dieser Ergebnisse für vier verschiedene Abfallkategorien und Berücksichtigung einiger

theoretischer Zusammenhänge wurden analytische Ausdrücke entwickelt, die in guter Näherung (1-8%) den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Parametern und den maximalen Abfall- und Salztemperaturen beschreiben. Einige Ergebnisse, die mit den Interpolationsformeln gewonnen wurden, sind in den Abbildungen e bis h gezeigt. Die Ergebnisse für HLW (MOX) müssen als sehr vorläufig betrachtet werden, da die verfügbaren Daten über das Aktinideninventar mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Dies betrifft insbesondere das Cm 244, das einen entscheidenden Anteil zur Wärmeleistung dieser Abfallart liefert.

Die Berechnung der Temperaturverteilung im Vorversuch zum Temperaturversuch 4 wurde begonnen. Aufgrund der komplexen Geometrie dieses Experiments mußte ein angenähertes 3D-Modell mit dem Programm CUB3DG verwendet werden. Zur Berücksichtigung des horizontalen Wärmeabflusses über eine Randfläche des Modells mußten neue Randbedingungen für eine Koordinatenrichtung in das Programm eingebaut werden. Vorläufige Ergebnisse ergaben etwas höhere Temperaturwerte als die im Experiment gemessenen.

5.6 Entwicklung von Rechenmethoden für Standfestigkeitsberechnungen unter Berücksichtigung erhöhter Temperaturen

Die Entwicklung und Erprobung verschiedener Rechenprogramme für thermomechanische und gebirgsmechanische Analysen wurde gemeinsam mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen weitergeführt. Ein komplexes rheologisches Modell für Steinsalz, das primäres und sekundäres Kriechen enthält und die Temperaturabhängigkeit berücksichtigt, wurde entwickelt und in zwei Rechenprogrammen eingebaut.

Die Arbeiten zur Entwicklung eines rheologischen Stoffgesetzes mit Temperaturabhängigkeit wurden fortgesetzt. Als Ergebnis liegt ein Stoffmodell vor, das das thermoelastische, viscoelastische, elastisch-plastische Verhalten sowie das primäre und sekundäre plastische Kriechen des Steinsalzes berücksichtigt. Obwohl dieses Modell noch als vorläufig zu betrachten

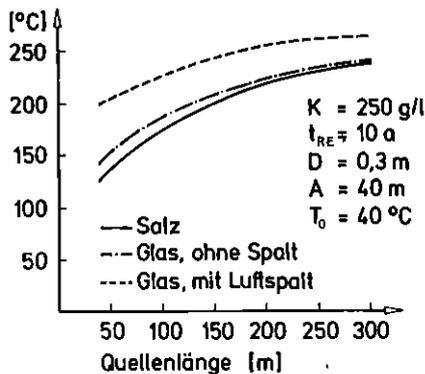


Abb. e): Maximale Salz- und Abfalltemperaturen als Funktion der Quellenlänge (HAW-Lager)

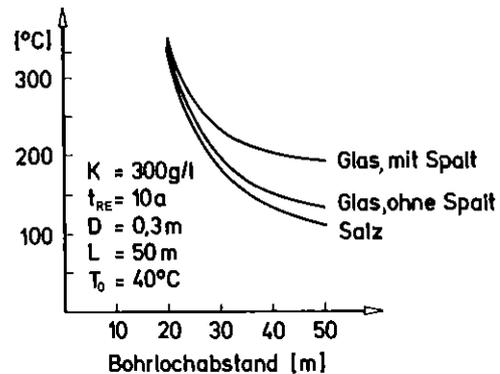


Abb. f): Maximale Salz- und Abfalltemperaturen als Funktion des Bohrlochabstandes (HAW-Lager)

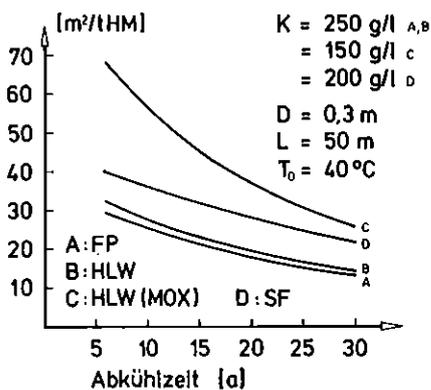


Abb. g): Lagerflächenbedarf für verschiedene Abfallarten bei einer maximalen Salztemperatur von 200°C

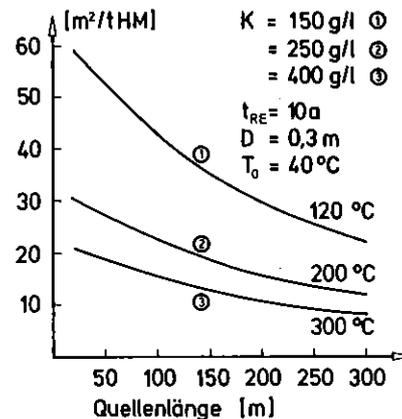
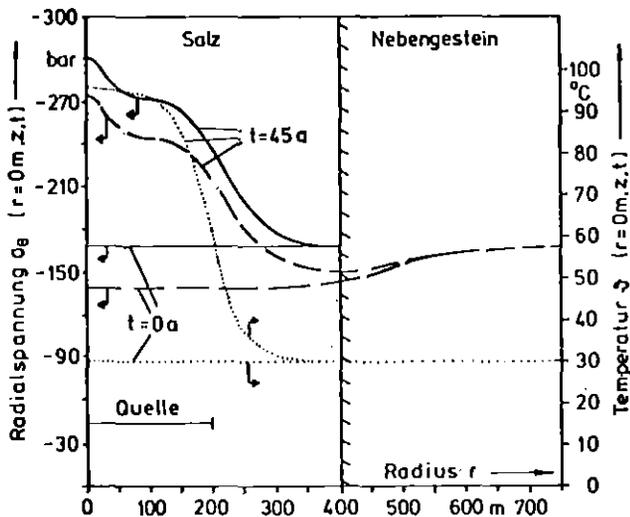


Abb. h): Lagerflächenbedarf bei der HAW-Lagerung für unterschiedliche Maximaltemperaturen im Salz

ist, insbesondere was die quantitative Festlegung der verschiedenen Parameter betrifft, scheint es doch alle wichtigen Eigenschaften des Steinsalzes unter komplexer mechanischer und thermischer Belastung wiederzugeben.

Zur Problematik von Inhomogenitäten in Salzstöcken und ihren Konsequenzen für die HAW-Endlagerung wurden anhand einfacher Modellvorstellungen verschiedene typische Fälle untersucht. Es wurden am Beispiel von Anhydrit-Zwischenschichten 1-dimensionale Berechnungen mit elastisch-plastischem Stoffverhalten des Steinsalzes sowie 2-dimensionale Finite-Elemente-Rechnungen mit linear elastischem Stoffverhalten und Festigkeitsgrenze im Steinsalz und im Anhydrit durchgeführt. Dabei wurden sowohl die Unterschiede in den mechanischen Gesteinsparametern als auch in der thermischen Ausdehnung der Gesteine berücksichtigt. Als Spannungsrandbedingungen und Temperaturverteilungen wurden Werte verwendet, wie sie in typischen HAW-Endlagerkonfigurationen zu erwarten sind.

Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, daß aufgrund der wesentlich höheren Steifigkeit und der geringeren Wärmeausdehnung des Anhydrits beträchtliche Spannungskonzentrationen auftreten können. Die Untersuchungen am 2-dimensionalen Modell zeigten jedoch, daß sich bei Berücksichtigung des Teufendrucks die Verhältnisse stark ändern, und daß es wahrscheinlich überhaupt nicht zu Zugspannungen kommen wird. Genauere Aussagen darüber können jedoch erst in wesentlich ausführlicheren Untersuchungen gewonnen werden, in denen insbesondere das zeitabhängige Kriechen des Salzes berücksichtigt wird.



Legende:

- radiale Verteilung der Radialspannung
- mit axialem Nebengestein
- - - mit radialem Nebengestein
- radiale Temperaturverteilung

Abb. i): Radialspannungsverteilung horizontal durch das Einlagerungsfeld in Abhängigkeit vom Radius für die Zeitpunkte $T=0$ A und $T=45$ A

Es wurden auch die Spannungen und Verformungen, die in einer Salzdomkonfiguration aufgrund der thermischen Belastung durch ein typisches HAW-Endlager auftreten können, analysiert. Das Modell besteht aus zwei Zonen, dem Salzdom mit elastisch-plastischem und Kriechverhalten und den umgebenden oder darüberliegenden Gesteinsformationen, die als linear-elastisch angenommen wurden. Abb. i zeigt die radialen Normalspannungen als Funktion des radialen Abstandes vom Zentrum des (scheibenförmigen) Endlagers 45 Jahre nach Einlagerung der Abfälle, d.h. etwa zur Zeit der maximalen Temperaturen im Endlager.

5.7 Entwicklung von technischen Einrichtungen und Geräten für Transport, Endlagerung und Rückholung der hochaktiven Glasblöcke

An der Entwicklung der für Transport, Einlagerung und Rückholung hochaktiver Glaskokillen benötigten technischen Einrichtungen und Geräte für die geplante Versuchseinlagerung wurde weiter gearbeitet.

Für die einzelnen Schritte des HAW-Einlagerungs- und Rückholsystems wurden folgende Funktionsabläufe dargestellt:

- Betriebsablauf der Einlagerung und Rückholung
- Störfallsituationen, wie Absturz des Kokillengreifers mit Kokille, Notrückholung, verklemmte Schiebersysteme, Überlast am Tragkabel.

Das Bohrlochschiebermodell wurde funktionserprobt und für die Durchstrahlungsversuche ausgerüstet.

Ein Schwerpunkt dieser Arbeiten lag in der *Kokillentwicklung*. Es wurde zunächst eine Auswertung der durchgeführten Fallversuche (9 m freier Fall auf ein Stahlfundament) vorgenommen. Dabei wurde die Dichtigkeit der abgeworfenen Kokillen geprüft, und zwar durch:

- Visuelle Prüfung, insbesondere der Aufschlagstellen
- Ausmessung und Dokumentation der Verformungszonen
- Rißprüfung nach dem Farbeindringverfahren
- Zersägen zweier Kokillen
- Entmantelung von vier Kokillen

Eine Beeinträchtigung der dichten Umschließung des Endlagerproduktes konnte nicht festgestellt werden. Die größte Oberflächenvergrößerung wurde durch den Abwurf auf die Kokillmantelfläche erzielt. Lunkenbildungen am Sektfaschenboden der entmantelten Kokillen sind auf die Veränderung der Füllereigenschaften, bedingt durch den Sektfaschenboden, zurückzuführen.

Der für Transport und Versuchseinlagerung vorgesehene Kokillentyp berücksichtigt die Ergebnisse aus Fall- und Manipulationsversuchen sowie den Entwicklungsstand der verschiedenen Verglasungsverfahren.

Durch erste Gamma-Abschirmrechnungen wurden die Auswirkungen des neuen Kokillentypes (\varnothing 300 mm, 1200 mm hoch) auf die Abschirmwirkung des Transportbehälters untersucht.

Mit 15 cm Bleiabschirmung kann für die Waste-Typen „DWK“ (460 g/l Spaltproduktkonzentration, Zeitbasis 10 a nach Wiederaufarbeitung) und „Moler LEWC“ (Zeitbasis 1985) die erforderliche Gamma-Abschirmung erzielt werden.

Die Durchführung von in-situ-Versuchen zur *Simulation der Einlagerung und Rückholung hochradioaktiver Abfälle* baut auf den erfolgversprechenden Laborversuchen auf.

Die Versuchskomponenten der in-situ-Versuche sind zum Teil identisch mit denen aus den Laborversuchen. In notwendige Änderungen sind die Erfahrungen aus den Laborversuchen eingeflossen. So wurden u. a. Kokillengreifer modifiziert (Leichtbauweise, Aufnahme von Verformungsenergie) sowie die im Laborversuch benutzte Tragkabelwinde technisch überarbeitet und den Erfordernissen des in-situ-Versuches angepaßt.

Ziel der in-situ-Versuche ist es, Datenmaterial und Erfahrungen aus in-situ-Bedingungen im Bergwerk zu

sammeln. Dabei kommt es vor allem darauf an, daß belastbare

- Aussagen über das Anbackverhalten (Korrosion von eingelagerten Kokillen) und
- Aussagen über Funktion, Handhabung und Verschleißerscheinungen an Komponenten, wie Tragkabelwindenanlage, Tragkabel, Kokillengreifer, Störfallgreifer, Kokillen mit Glasfüllung, Bohrlochschieber, Transportbehälter, im Betriebsablauf und in Störfallsituationen getroffen werden können.

Für die *Steuerung des Simulationsversuches* und zur Datenübernahme von der UPH 3200 wurde das Programm „SIMBAS“ entwickelt und getestet. Ergänzend zu diesem Steuerprogramm wurde das Programm „SIMDUP“ eingeführt. Damit können bis zu 20 Meßstellen mit einem vorwählbaren Meßprogramm vom Rechner aus ausgewählt werden.

Zur Darstellung der Meßdaten wurden 4 Programme entwickelt.

6. Lagerung und Verfestigung von MAW/LAW in untertägigen Hohlräumen

Aufbauend auf den Ergebnissen einer ersten Phase wird in der zweiten Phase, welche bis Mitte 1981 läuft, für zwei ausgewählte Referenzsysteme ein Programm mit folgenden Schwerpunkten bearbeitet:

- stoffliche Untersuchungen des Einlagerungsproduktes
- sicherheitstechnische Untersuchungen
- Geowissenschaften, Gebirgsmechanik, Technik des Untertagebaues
- Verfahrenstechnik

6.1 Wechselwirkungen des Produktes mit dem Gebirge

Für die Qualitätsbeurteilung des einzulagernden Produktes wurde das Verhalten der mit Zement vermischten Abfälle im unmittelbaren Kontakt mit dem Salzgebirge getestet. Im Salzbergwerk ASSE wurden zwei Versuchsfelder gemeinsam mit der Amtlichen Materialprüfanstalt für Steine und Erden, Clausthal, betrieben. In etwa 140 je ca. 1 m tiefen Bohrlöchern wurden 4 Zementsorten, die in vorangegangenen Laborversuchen aus etwa 60 verschiedenen Sorten ausgewählt waren, mit inaktiven, simulierten Abfalllösungen versetzt und eingefüllt. Nach verschiedenen Zeiträumen wurden die Zementproben mit dem umgebenden Steinsalz überbohrt (Abb. a).



Abb. a: Randzone eines Hochofenzementproduktes (HOZ) mit Salz. Der Kern wurde nach 56-tägiger Lagerung überbohrt

Die anschließenden Untersuchungen der erbohrten Kerne erstreckten sich auf die Druck- und Scherfestigkeit des Materials. Elektronenrastermikroskopie, Röntgenfluoreszenzspektroskopie, chemische Analysen und Auslagverhalten in verschiedenen Lösungen. Erzielte Druckfestigkeiten liegen bei 72 (N/mm²), die

Scherfestigkeit bei 0,88 (N/mm²), die Salzgehalte an inaktivem Abfall betragen 10 Prozent bei einem Wasser/Zementwert von 0,25 bis 0,4.

Besonderes Interesse galt etwaigen chemischen Umsetzungen an der Grenzfläche Zementprodukt - Salz. Die Ergebnisse lassen erkennen, daß Zementsorten, welche nicht geeignet sind, sich durch sekundäre chemische Reaktionen bemerkbar machen und ausgetrieben werden können. Hochofenzement (HOZ) z. B., ein AL₂O₃-reicher Zement, geht Reaktionen mit Cl-Ionen ein. Diese Reaktion führt zu Calciumaluminatchlorid-Verbindungen. Die Eindringtiefe der Cl-Ionen beträgt 8-10 mm innerhalb der ersten 56 Tage. Zur Verbesserung der Eigenschaften der Zemente wurden deshalb verschiedene Zusatz- und Zuschlagstoffe variiert, so z. B. Zementdichtungsmittel, Sand, Verflüssiger und Natriumsilikathydrate.

6.2 Wärmeentwicklung aus dem Abfallprodukt

Es wurde untersucht, unter welchen Bedingungen die behälterlose Endlagerung radioaktiver MAW/LAW-Abfälle aus dem nuklearen Entsorgungszentrum in 82.500 m³ — bzw. 130.000 m³ — Kavernen (Referenzsystem A bzw. B) in einem Salzstock in 1000 m Tiefe ohne Wärmeprobleme möglich ist.

Es sind Berechnungen zur Temperaturentwicklung infolge der Zerfallswärme der Radionuklide und der Abbindewärme der Zemente in den Kavernen durchgeführt worden. Neben dem Aushärtungsgrad des vorkonditionierten Granulats sind die Berechnungen für Zemente unterschiedlicher Hydratationswärmen (Portlandzement 350 F, Hochofenzement), für verschiedene Sandzuschläge in der Suspension sowie für verschiedene Einlagerungsraten durchgeführt worden. Dabei haben die Temperaturberechnungen gezeigt, daß das Temperaturmaximum in der Kaverne hauptsächlich durch den Beitrag der Hydratationswärme bestimmt wird. Die Temperaturbeiträge infolge der Zerfallswärme der Spaltprodukte und des Plutoniums (ca. 2°C) sind deutlich niedriger als der Beitrag aus der Hydratationswärme (30°C-130°C).

Als Beispiel für die Ergebnisse einer Parameterstudie ist in Abbildung b die im Referenzsystem A auftretende Maximaltemperatur in Abhängigkeit von der Anzahl der Einlagerungskampagnen pro Jahr für verschiedene Zusammensetzungen der Zwickelfüllung (Suspension) aufgetragen. Danach sinkt die Temperatur bei gleichem Sand/Zementverhältnis (S/Z) und steigender Zahl der Einlagerungskampagnen pro Jahr. Man erkennt, daß bei S/Z2 zur Einhaltung der maximal zulässigen Produkttemperatur von 90°C das jährliche Einlagerungsvolumen von ca. 19.000 m³ in mindestens 12 Kampagnen unterteilt werden muß.

Es hat sich gezeigt, daß aus der Sicht der Wärmeentwicklung prinzipiell beide Referenzsysteme zur Einlagerung der hier betrachteten schwach- und mittelaktiven Abfälle unter folgenden Voraussetzungen geeignet sind:

- Das Abfallgranulat (Pellets) muß vor Befüllung der Kaverne vollständig ausgehärtet sein. Hierzu sind die Pellets nach der Herstellung gegebenenfalls einer Nachbehandlung, z. B. mit Wasserdampf, zu unterziehen.
- Die Zwickelfüllung (Zementsuspension) muß mit möglichst hohem Sandgehalt hergestellt werden.
- Die Einlagerung der jährlich anfallenden Abfallproduktmenge muß in möglichst vielen Kampagnen (dünnen Schichten) erfolgen.

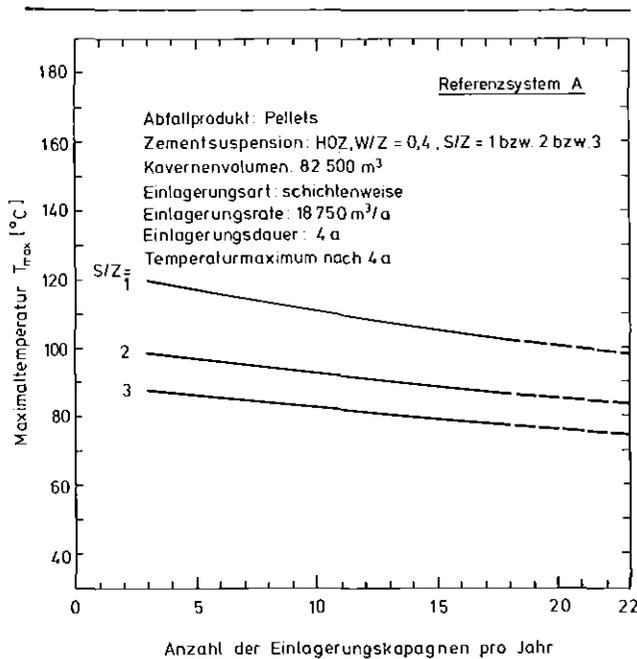


Abb. b: Abhängigkeit der Maximaltemperatur von der Anzahl der Einlagerungskampagnen pro Jahr bei der Lagerung von vollständig ausgehärtetem Abfallprodukt (Pellets) und Zementsuspension im Referenzsystem A

6.3 Untersuchungen zur gebirgsmechanischen Standsicherheit des Einlagerungssystems

Entsprechend der in der ersten Projektphase erarbeiteten Vorgehensweise für eine gebirgsmechanische Standsicherheitsanalyse untertägiger Lager- und Betriebsräume wurde das Konzept auf die Referenzsysteme A und B angewandt. Für die Sicherheitsanalyse stellen sich dabei folgende Gebiete als sich gleichzeitig ergänzende Teile dar, die entsprechend dem Kenntnisstand fortzuschreiben sind:

- die bisherigen Erfahrungen über das gebirgsmechanische Verhalten vergleichbarer untertägiger Hohlräume

- die Ableitung von in-situ-Meßwerten aus gleichartigen untertägigen Bauwerken sowie die Erarbeitung von Voraussetzungen für neu zu erstellende Untertagebauten am gleichen oder an anderen Standorten in vergleichbaren geologischen Formationen des tieferen Untergrundes
- die Abschätzung des Kurzzeit- und Langzeit-Verformungsverhaltens des Gebirges sowohl für den Nahraum von untertägigen Hohlräumen als auch für großräumige Bewegungsabschätzung mittels rechnerischer Verfahren, wie z. B. mittels Finite Element Methoden (FEM)
- die meßtechnische in-situ-Beobachtung und Kontrolle von vorausgeschätztem, berechnetem und tatsächlich eintretendem Gebirgsverhalten.

Als reales System für eine Einlagerungskaverne wurde die Prototypkavernenanlage im Salzbergwerk Asse herangezogen. Die dort gefundenen Ergebnisse decken große Teile der Standsicherheitsanalyse ab.

Den Berechnungen mit Finiten-Element-Methoden wurde eine Anordnung des Tops der Lagerräume in rund 900 m Tiefe zugrunde gelegt. Die geologische Position wurde im Staßfurt-Steinsalz (Na₂) angenommen.

Von den drei untersuchten geometrischen Varianten

- Rotationsellipsoid
 - Kreiszyylinder mit aufgesetztem Kegel
 - Kreiszyylinder mit oberer und unterer Kegelkappe
- mit jeweils 75.000 m Ausbruchvolumen erwies sich infolge des Spannungsverlaufs und der berechneten Deformationen das Rotationsellipsoid als die optimale Form (Abb. c).

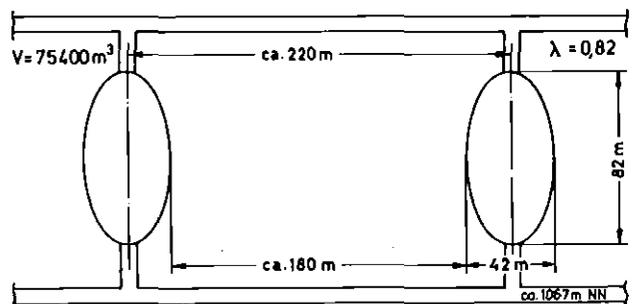


Abb c): Ausbildung der Kaverne als Rotationsellipsoid

Zur Bestimmung der optimalen Kavernenabstände in den Referenzsystemen wurden folgende Abmessungen der Festen (Pfeiler) gewählt:

Erste Festenstärke	180 m
Zweite Festenstärke	118 m
Dritte Festenstärke	78 m

Die Berechnungen zur günstigsten Kavernenform bei elastischem Rechenansatz hatten ergeben, daß in ungefähr 60 m Abstand vom Kavernenrand der primäre Zustand im Gebirge wieder erreicht ist. Das bedeutet, daß theoretisch eine Festenstärke von 120 m plus Sicherheitszuschlag hinreichend ist. Wegen des inelastischen Gebirgsverhaltens des Salinars werden infolge zu erwartender Spannungsumlagerungen größere Gebirgsbereiche beeinflußt als vorstehend genannt.

Es wurden daher die in der ersten Projektphase mit vereinfachten Methoden abgeschätzten Festenstärken von rund 180 m beibehalten. Setzt man die für die Festenstärke von 180 m errechnete Vergleichsspannung gleich 100%, so erhöht sich diese bei einer Verminderung der Festenstärke auf 118 m auf ca. 112%. Bei einer Festenstärke von 78 m erhöht sich die Vergleichsspannung auf 115,5%.

Erhebliche Änderungen treten bei den rechnerisch ermittelten Firstverschiebungen auf. Diese erhöhen sich von 100 auf 180% bei 180 und 78 m Festenstärke.

Die Verringerung der Schwebenstärke hat auf das Tragverhalten des Gebirges einen kleineren Einfluß als die Verminderung der Festenstärke.

Für das Langzeitverhalten der Kaverne wurden zwei Varianten von Stoffparametern den Rechenläufen zu-

grunde gelegt. Abweichend vom elastischen Verhalten wurden diese Berechnungen mit einem hydrostatischen Primärzustand ausgeführt.

Erste Teilergebnisse lassen folgende Aussagen zu:

Die Berücksichtigung von Zwischenstandzeiten zur Simulation eines kontinuierlichen Auffahrungsverfahrens läßt einen günstigen Spannungszustand in der Umgebung der Kaverne erkennen. Infolge Kriechumlagerung werden Spannungsspitzen abgebaut. Ähnlich den Temperaturberechnungen zeigt sich auch aus geomechanischer Sicht, daß eine möglichst kontinuierliche Befüllung anzustreben ist. Lange Zwischenstillstände wirken sich ungünstig auf den Spannungszustand sowohl im Betonkern als auch im angrenzendem Gebirge aus.

7. Beurteilung der Schachtanlage Konrad für die Einlagerung radioaktiver Abfälle

Die Forschungsarbeiten zum Nachweis der Eignung des stillgelegten Eisenerzbergwerkes Konrad für die Endlagerung schwachaktiver Abfälle und kontaminierter wie aktivierter Großkomponenten wurden mit einer Reihe von in-situ-Versuchen, besonders auf geowissenschaftlichem Gebiet, fortgesetzt. Die dabei festgestellten geologischen, hydrogeologischen, gebirgsmechanischen und seismischen Standortverhältnisse können im Hinblick auf eine sichere Einlagerung der Abfallstoffe als positiv bewertet werden. Dies sind in erster Linie

- die große und abgeschlossene Tiefenlage des Erzlagers ohne Kontakt zu oberflächennahen Grundwasserhorizonten,
- das Fehlen großer wasserführender Gesteinsformationen im tieferen Untergrund,
- das Vorhandensein mächtiger Tonsteinformationen im Deckgebirge mit z. T. stark quellenden Tonmineralien,
- das äußerst geringe Wasserpotential des Erzlagers und seiner umgebenden Gesteine,
- die günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften, die die Auffahrung von geeigneten Einlagerungskammern zulassen und dabei das Senkungsverhalten des Gebirges nicht nachteilig beeinflussen und
- die Lage der Grube in einem Gebiet weitgehender seismischer Ruhe.

Bedeutende geologische Nachteile konnten für den Standort dagegen nicht festgestellt werden.

Durch die bergtechnischen Untersuchungen wurde die Möglichkeit der Umstellung der Anlage auf einen Einlagerungsbetrieb im Prinzip nachgewiesen. Für den Transport und die Einlagerung von Faßgebinden wurden betriebs- und anlagentechnische Konzepte erstellt. Zur Feststellung der kerntechnischen Sicherheit wurden auf der Basis der Abfallaktivitäten eine Dosisbelastungskalkulation für verschiedene Gebindeformen und unterschiedliche Betriebsabläufe durchgeführt. Ebenfalls basierend auf dem Nuklidinventar der in Frage kommenden Abfälle wurden die Störfälle „Nuklidfreisetzung auf dem Wasser-/Luftpfad“ betrachtet. Dazu wurden die Ergebnisse aus den Staubmessungen und, für die Abschätzung der radiologischen Langzeitsicherheit des Endlagers, die ermittelten petrophysikalischen Daten herangezogen.

7.1 Geologische Untersuchungen

Feinpetrographische Bearbeitung des Erzlagers und der Nebengesteine

Die petrographische Bearbeitung des Erzlagers wurde mit einer genauen Bohrkernbeschreibung von insgesamt 180 m Bohrstrecke im Erz und in den liegenden und hangenden Nebengesteinshorizonten fortgesetzt.

Zur genaueren Ansprache der vorkommenden Gesteinstypen und für die petrophysikalischen Laboruntersuchungen an ausgewählten Gesteinsproben aus dem Lagerbereich wurde eine mineralogische Dünnschliffanalyse durchgeführt, die bestätigte, daß in den Hangendschichten des Erzlagers reine Tonsteine bzw. auch Biopelmicrite verbreitet sind. In letzteren konnten Hohlformen mit Anhydritfüllungen nachgewiesen werden. Die Erze selbst sind Eisenooolithe mit reichlich Kalkschalenbruchstücken, Intraklasten und hohem Feinsandanteil. Bei den Gesteinen im Übergangsbereich zum Liegenden handelt es sich um Biosparite bis Oo-bio-Intrasparite mit unterschiedlichen Eisenoxidanteilen.

Die Bestimmung der petrophysikalischen Parameter (spezifische Oberfläche, Porosität, Porenradialverteilung) erfolgte nach der BET-Methode und durch das Quecksilber-Injektionsverfahren.

Für den hydrogeologischen Fragenkomplex ist von Bedeutung, daß die niedrigen Permeabilitätswerte im Erz von kleiner 10 μ -Darcy bzw. 70/150 μ -Darcy mit denjenigen wasserstauer Gesteine vergleichbar sind. Die Ausbreitung der natürlichen Tiefenwässer, wie auch der von übertage eingeleiteten Betriebswässer, kann im Lagerbereich folglich nur an hydraulisch wirksamen tektonischen Trennflächen stattfinden.

Die aus den Frac-Versuchen ermittelten in situ-Permeabilitätswerte betragen ziemlich gleichmäßig für alle Meßpunkte 1-10 μ -Darcy. Die höchsten Werte wurden in der Vertikal-Bohrung auf der 2. Sohle gemessen. Sie liegen dort zwischen 14 und 34 μ -Darcy, wobei eine Teufenabhängigkeit nicht erkennbar ist. Auch die Zonen, für die eine geringere Gebirgszugfestigkeit festgestellt wurde, zeigen keine abweichend hohen Permeabilitätswerte, was durchaus mit der Spannungskonzentration im unmittelbaren Streckenmantel im Einklang steht.

In Erweiterung der petrologischen Arbeiten wurden spezielle Tonsteinuntersuchungen an Probenmaterial aus dem Deckgebirge der Schachtanlage Konrad zur Bestimmung der Smektit-Mineralien und ihrer Quell- und Sorptionseigenschaften durchgeführt. Dazu wurde der Bereich der Unterkreide- und Oberjuraformationen mit ca. 100 Proben abgedeckt, so daß die Probendichte im geologischen Profil von Schacht Konrad I für die Albsedimente jeweils 10 m und für Schacht Konrad II 20 m beträgt.

Von endlagerrelevanter Bedeutung sind die in den Albsedimenten dominierenden, quellfähigen, sorptionsaktiven, mit einem Anteil von 60 bis 90% an der Tonfraktion beteiligten Montmorillonite der Smektit-Mineralien. Anhand von an Diffraktometeraufnahmen unbehandelten (glycolisierten) Texturpräparaten konnte der Smektit als ein Montmorillonit mit einem schwankenden (001-) Basisabstand von 12,7 bis 14,3 Å (17-18 Å) identifiziert werden.

Die Quelleigenschaften des Montmorillonits der Albsedimente wurden durch besondere Untersuchungsver-

fahren — Messung der spezifischen Oberfläche, Wasseraufnahmekapazität, Stefoscan-Aufnahmen — an speziellen Fraktionen bestimmt.

Die, in der Rasterelektronenmikroskopaufnahme schuppenförmig, kompakt agglomerierten und diffus erscheinenden, hypidromorph kristallisierten Montmorillonitaggregate weisen eine — nach dem BET-Prinzip ermittelte — äußere Oberfläche von 47,54-76,02 m²/g (Alb, Konrad 1) und 26,84-32,71 m²/g (CaCO₃-frei, gefriergetrocknet, Konrad 2) auf. Die hohe äußere Oberfläche der Tonminerale, insbesondere der Illite und Smekтите und ihre Aufweitbarkeit durch Einlagerung von Wassermolekülen in Zwischenschichtpositionen stehen im Einklang mit den gemessenen Werten der Wasseraufnahmekapazität von 300-470 Enslin für die CaCO₃-freien, gefriergetrocknet aufbereiteten kleiner 2 µm/ kleiner 0,63 µm-Fractionen der Albsedimente in Schacht Konrad 2.

Die Dünnschliffanalysen bestätigen die mittels RDA bestimmte Mineralzusammensetzung und zeigen die Quarz-, Karbonat-, Feldspat-, Erz-, Glimmerminerale, sowie Kalkschalenbruchstücke, eingebettet in einer Tonmatrix. Der Hilssandstein ist im Unter-Alb des geologischen Profils von Schacht Konrad 1 nicht als Sandsteinfazies ausgebildet. Der entsprechende Teufenhorizont zeigt im Dünnschliff einen erhöhten Siebkorngehalt (23%) im Feinsandbereich. Das dazugehörige Röntgendiagramm weist daneben hohe Feldspatanteile aus und dokumentiert somit den faziellen Bereich einer Verzonungszone des Hilssandsteins.

Tektonische Aufnahme

Für die Bearbeitung spezieller gebirgsmechanischer und hydrogeologischer Fragestellungen wurde im Unterwerksbau der Grube eine 185 m lange Untersuchungsstrecke aufgeföhren. Im Rahmen einer ersten geologischen Bearbeitung erfolgte eine petrographisch-tektonische Aufnahme dieser Strecke.

Insgesamt wurden 400 m Aufschlußlänge bearbeitet, wobei etwa 300 Klufmmessungen durchgeführt worden sind. Der überwiegende Teil dieser Messungen bezieht sich auf die Feinklüftung des Erzlagere, wobei nur eine ± N-S verlaufende Großkluft mit cm-dicken Kalkspat-Coelestin-Bestegen und zwei ± E-W-streichende und nach N einfallende Abschiebungen als größere tektonische Elemente identifiziert wurden.

Die Feintektonik im Westfeld verrät, soweit abgeschlossen und eingemessen, keine Abweichungen vom normalen Bauplan vorliegen. Größere Verwerfungen kommen nicht vor. Klüftungsgebundene Wasserzutritte aus dem Gebirge konnten nicht festgestellt werden.

Im Rahmen der weiterführenden gefügekundlichen Bearbeitung wurden die Meßwerte der untertägigen Feinkluftaufnahme mit Hilfe des montangeologischen Rechenprogramms GELI aufgearbeitet und zusammen mit den übrigen tektonischen Meßdaten für eine Strukturanalyse des gesamten Grubenaufschlusses verwertet.

Die Grube wurde in sieben tektonische Teilbereiche gegliedert, die sich gegenseitig durch Größe und Verteilung der einzelnen Klufmaxima unterscheiden.

Zusätzlich zu der bereits festgestellten Tatsache, daß es keine Kluftrichtung mit besonders häufiger Wasser-

führung gibt, konnte jetzt nachgewiesen werden, daß in keinem der sieben verschiedenen tektonischen Teilbereiche bevorzugt Wasser aus dem Gebirge zusetzt und das hydraulische Potential insgesamt äußerst gering ist.

Zur Klärung der Frage nach dem genauen Alter der tektonischen Elemente und ihren Auswirkungen in den Deckschichten der Kreide-Formation wurden in Ermangelung entsprechender Aufschlüsse im Grubenbereich in verschiedenen Tagesaufschlüssen der Umgebung tektonische Messungen durchgeführt.

Erste Ergebnisse lassen eine auffällige Übereinstimmung zwischen den Klufwerten des Jura und der Oberkreide erkennen.

Anzeichen von Störungen, wie sie z. T. großen Verwerfungsbeträgen in der Grube aufgeschlossen sind, konnten in der Oberkreide nicht festgestellt werden. Ansonsten stellt sich der tektonische Bau der Grube als durchaus vergleichbar mit den von der Salzstocktektonik unbeeinflussten Teilbereichen des subherzynen Beckens dar.

7.2 Hydrogeologische Untersuchungen

Chemische Analyse der Grubenwässer

Die 23 Pumpensümpfe im Revier und in den Schächten wurden durch automatische Pegelschreiber und durch regelmäßige manuelle Messungen kontrolliert. Entscheidende Änderungen gegenüber dem vorherigen Beobachtungszeitraum konnten dabei nicht festgestellt werden. Der gemessene Gesamtzulauf hat sich während des letzten Jahres durchschnittlich von ca. 8 l/min. auf unter 6 l/min. verringert.

Die halbjährliche Probenahme mit quantitativer Bestimmung der wichtigsten Kationen und Anionen erbrachte keine weiterführenden Ergebnisse. Die Tatsache, daß der Chemismus der Wässer bis auf geringste Unterschiede, die innerhalb der analytischen Nachweis- bzw. Verfahrensgenauigkeit liegen, während des mehrjährigen Beobachtungszeitraumes unverändert geblieben ist, stützt die wichtige Aussage, daß eine Verdünnung des hochsalinaren Tiefenwassers durch Zumischung gering salinaren Wassers, wie es in oberflächennahen Bereichen angetroffen wird, oder von ausgesprochenem Süßwasser nicht stattfindet.

Zum Nachweis formationsspezifischer Spurenelementgehalte in oberflächennahen Grundwässern und in Tiefenwässern wurde eine große Anzahl von Quellen und Erdölbohrungen im Großraum Braunschweig-Salzgitter-Peine beprobt. Die Wässer stammen aus verschiedenen Horizonten der Kreide, des Jura und des Trias. Ein Vergleich der chemischen Analyseergebnisse zeigt, daß die Korallenoolithwässer der Grube wie auch anderer Vorkommen sich durch hohe J-, Br- und BO₃ Gehalte von den übrigen untersuchten Formationswässern unterscheiden. Letztere enthalten vereinzelt ebenfalls höhere Anteile dieser Ionen, die in ihrer Gesamtmenge jedoch immer deutlich unter den Korallenoolithwerten bleiben.

Die Korallenoolithwässer als solche zeichnen sich in erster Linie durch einen deutlich höheren Bromgehalt

gegenüber den anderen Formationswässern aus. Die Bromgehalte von 700-900 mg/l entsprechen auffällig den in den Grubenwässern Konrad bestimmten Werten.

Isotopenuntersuchungen an Grubenwässern

Eine Aufstellung der bekannten Spurenelementgehalte der Grubenwässer in den Eisenerzbergwerken des Raumes Salzgitter wurde mit dem Versuch einer Zuordnung dieser Wässer zu verschiedenen Wassertypen abgeschlossen. Dabei hat sich gezeigt, daß die Natriumchloridwässer in flacheren Teufen, die im Raum Salzgitter wegen der Nähe der Salzstöcke auf Zechsteinabkunft bezogen werden, bevorzugt Strontium, abgeschwächt auch Brom und Bor mitführen. Insgesamt liegen ihre Spurenelementgehalte jedoch um ein Mehrfaches unter denen der hochmineralisierten Tiefenwässer.

Die petrographisch-stratigraphische Zuordnung der festgestellten natürlichen Schwefelisotopen-Werte zeigt, daß nur das Schwefelisotopenverhältnis im Hangenden des Erzlagers die für Zechsteinsulfate ausgewiesene Größenordnung besitzt. Dies kann seine Ursache in dem Auftreten der Anhydritlagen haben. Nicht auszuschließen ist auch eine Verfälschung durch Fremdwässer. Die Wässer aus dem Haupterzlager entsprechen mit ihren Werten dagegen den aus der Literatur bekannten Malm- und Dogger-Werten, auch was den geringen Streubereich anbelangt. Die Werte in den im Liegenden vorkommenden Wässern sind erheblich niedriger und können durch Lösung sedimentären Pyrits und einem damit verbundenen Freiwerden von leichtem Schwefel beeinflusst worden sein.

Ähnliche Werte sind aus Untersuchungen an bituminösen Tonsteinen bekannt geworden. Daneben lassen sich die niedrigen Werte durch Zumischung von aus oxidierten Sulfiden entstandenem Sulfat erklären.

Tritiummessungen wurden im Übertagebereich in regelmäßigen Intervallen an Niederschlagsammelproben vorgenommen. Die ermittelten Werte für die Zeit vom 14.05.1979 bis 10.09.1979 schwanken zwischen $9,0 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$ und $1,7 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$. In der Treuffelrinne in 474 m Teufe im Schacht 2, in der sich die aus dem Wetterstrom abregnenden Wässer sammeln, wurden $(1,28 \pm 0,969) \cdot 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$ analysiert. Dieser Wert ist durchaus mit den Niederschlags- und Kondensatwerten der Grubenwetter vergleichbar.

Demgegenüber ist der für das Grubenwasser festgestellte Wert von $(8,42 \pm 1,94) \cdot 10^{-9} \mu\text{Ci/ml}$ um den Faktor 10^2 niedriger und ein Beweis dafür, daß eine direkte Zumischung von oberflächennahen Grundwässern nicht stattfindet. Die geringe Restkonzentration ist auf Luftkontakt bei der Probenentnahme zurückzuführen.

7.3 Gebirgsmechanische Untersuchungen

Deformationsmessungen

Die Überwachung des gebirgsmechanischen Verhaltens der Grube wurde mit Firstensenkungsbeobachtungen, Konvergenz- und Extensometermessungen im Untertagebereich und einer Oberflächen-Nivellementsaufnahme fortgesetzt.

In der Untersuchungsstrecke 672 im Unterwerksbau wurde dazu eine zweite Extensometerstation, identisch mit der ersten und 55 m davon entfernt, eingerichtet. Im Gegensatz zur Station 1 erfaßt sie statt $30,2 \text{ m}^2$ einen Streckenquerschnitt von $39,4 \text{ m}^2$. Auch hier zeigt die Verformung einen sehr kontinuierlichen Ablauf. Die größte Verformung tritt ähnlich wie bei Station 1 im Liegenden des Erzlagers auf. Wegen des wirkungsvollen Ankerbaus in der Firste entfallen von der Gesamtkonvergenz nur 10% auf den Firsten- und 90% auf den Sohlenbereich.

Aus allem ergibt sich zusammenfassend für die Abschätzung der noch ablaufenden Konvergenz in Prozentanteilen des Querschnitts vom Tage der ersten Beobachtung an folgende Formel:

$$K \text{ Symbol } Z \quad (-1,58 + 0,93 \ln F) - 3016,17 \times X^{-1,58}$$

K = Konvergenz in Prozent des Streckenquerschnitts
Z = Zusätzlicher Durchbauungsgrad in Prozent
X = Durchbauungsgrad in Prozent am Tage der Null-Messung
F = Streckenquerschnitt in m^2

Messungen und Berechnungen ergaben, daß nach 2 Monaten etwa 35% und nach 1 Jahr etwa 50% der Endkonvergenz erreicht sind.

Die jährlichen Messungen der übertägigen Bodenabsenkung dienen der Erkundung des großräumigen Absenkverhaltens der Deckgebirgsschichten und sind damit eine Kontrolle für die im Rahmen der Forschungsarbeiten erfolgte Senkungsvoraberechnung. Die Absinkgeschwindigkeit hat weiter abgenommen. Sie beträgt jetzt über den ehemaligen Abbauschwerpunkten 1 mm/Jahr . Der Trog hat eine Grundfläche von $12,8 \text{ km}^2$ und ein Volumen von 462.100 m^3 . Bei dem derzeitigen langsamen Ablauf dieser Bodenbewegungen sind die Grenzen der Meßgenauigkeit erreicht.

Spannungsmessungen und Aufweitungsversuche

Zur Erkundung der primären Spannungsverhältnisse im Gebirge wurden in der Untersuchungsstrecke 672 unterhalb der 1200 m-Sohle insitu-Spannungsmessungen und Aufweitungsversuche in einem horizontalen, entsprechend dem Streichen des Erzlagers nach Norden ausgerichteten Bohrloch durchgeführt.

Zur Berechnung der Gebirgsspannungen wurden am Bohrkernmaterial durch einaxiale Druckversuche der Elastizitätsmodul und die Querdehnungszahl ermittelt. An einer Eisenerzprobe aus einer Bohrlochtiefe von 21,8 m wurde ein E-Modul von über 300.000 kp/cm^2 gemessen, was auf eine überdurchschnittliche Festigkeit schließen läßt. Die im Bereich 17-22 m gemessenen Werte liegen im Mittel bei 220.000 kp/cm^2 . Die Werte aus der horizontalen Richtung liegen im Durchschnitt höher als die aus den anderen beiden Richtungen.

Für die Ermittlung der insitu-Gebirgsmodule wurden Versuche mit einer Bohrloch-Aufweitungssonde vom Typ Goodman durchgeführt. In den Bohrloch-tiefen 6,4 m, 14,5 m und 24,4 m wurde in vertikaler und horizontaler Druckrichtung gemessen. Die Maximalbelastung

des Gebirges erreichte bei 6,4 m 111 kp/cm². Die Tabelle der Durchschnittswerte der Gebirgsmodule läßt erkennen, daß sowohl die Deformationsmodule als auch die Elastizitätsmodule im Meßpunkt bei 14,5 m Teufe ihr Maximum haben. Außerdem zeigt sich, daß die Werte in vertikaler Richtung i. a. bedeutend höher liegen als die in horizontaler Richtung.

Die vor Ort im Gebirge durch Bohrlochaufweitungsversuche ermittelten Gebirgsmodule sind mit den experimentell im Labor gewonnenen durchaus vergleichbar.

Zur Beurteilung der Isotropie des Gebirges erfolgte eine Untersuchung der Gesteinsproben mit Ultraschall. Die erzielten Schallgeschwindigkeiten zeigen für die axiale, vertikale und horizontale Richtung eine maximale Abweichung von 2,8% vom jeweiligen arithmetischen Mittelwert. Das Gebirge darf demzufolge in der Umgebung der untersuchten Bohrkerne als isotrop in Bezug auf seine mechanischen Eigenschaften bezeichnet werden.

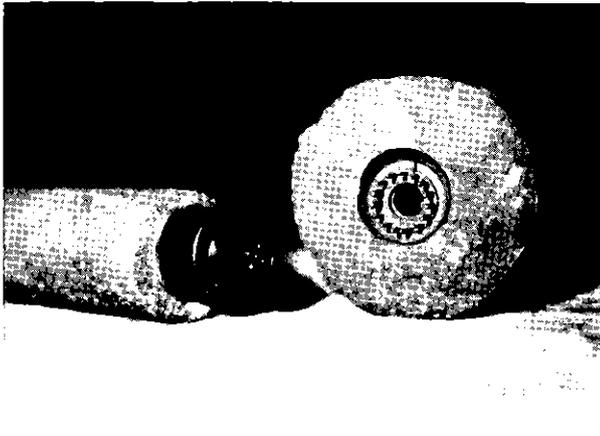


Abb. a: Gebirgsmessungen im Eisenerz.
Links Bi-, rechts Triaxialzelle (System CSIR) auf einem 56 mm, bzw. 100 mm-Kern. Die Bohrkerne mit den Meßzellen wurden zur Wiederholungsmessung am entlasteten Gestein aus einem 20 m tiefen Bohrloch durch Überbohren gewonnen.

Für die in situ-Spannungsmessungen wurden in Abhängigkeit von der Gebirgsbeschaffenheit bi- und triaxiale Meßzellen verwendet. Zur Berechnung der primären Gebirgsspannungen wurden die an den Dehnungsmeßstreifen der Meßzellen ermittelten Deformationen des überbohrten Kerns benutzt. Die zugehörigen Elastizitätsmodule und die Querdehnungszahlen ergaben sich aus den in der Nähe der Meßpunkte angebohrten und im Labor untersuchten Gesteinsproben.

In einem Bereich von 6 m bis 12 m Entfernung vom Stoß wurde die große Hauptspannung in subhorizontaler und die kleine Hauptspannung in subvertikaler (63-72°) Richtung, d. h. in der Bankrechten gemessen. Bei rund 10 m Teufe wurde ein absolutes Spannungsminimum mit einem ± E-W-gerichteten Horizontaldruck von 103 kp/cm² festgestellt. Davor und dahinter sind die Drücke bedeutend größer.

Im tieferen Teil der Bohrung zwischen 17 und 23 m liegen die großen Hauptspannungen mit 63-72° in subvertikaler Richtung. Mit zunehmender Entfernung vom Ausbruch erreichen sie Werte von 200 kp/cm². Die Richtungen der kleinen Hauptspannungen liegen fast deckungsgleich im subhorizontalen Bereich in etwa ost-westlicher Richtung. Sie beginnen mit rund 100 kp/cm² und zeigen stark abnehmende Tendenz bis 45 kp/cm².

Scherfestigkeitsversuche

Zur Ermittlung weiterer Gebirgskennwerte für eine spätere Standsicherheitsberechnung der untertägigen Grubenbaue wurden die Festigkeitseigenschaften tektonischer Trennflächen in einer ersten Probekörperreihe untersucht.

Insgesamt wurden 10 Versuche gemacht, wobei 5 natürliche und 5 künstlich erzeugte Kluftflächen geprüft wurden.

Die Versuchsergebnisse lassen keine besonderen Unterschiede zwischen den natürlichen und künstlichen Trennflächen erkennen. Auch die Rauigkeitsprofile sind identisch, so daß die Ergebnisse für alle Trennflächen untereinander vergleichbar sind.

7.4 Geophysikalische Untersuchungen

Erdbebenchronik

Die Erdbebenchronik für den 200 km-Umkreis des Standortes Konrad wurde ergänzt. Bei den Schadensbeben sind hinzugekommen:

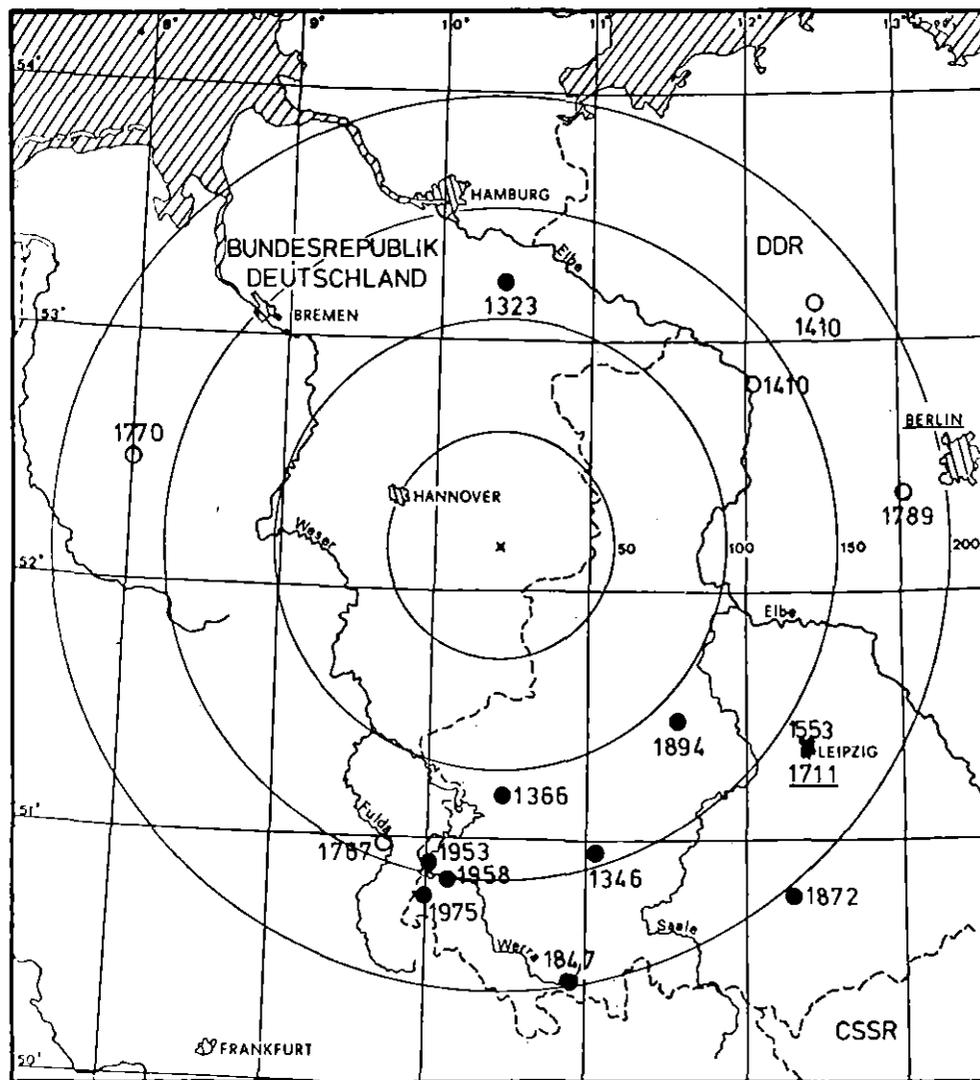
- 1872 Posterstein (Leipziger Bucht),
- 1953 Hernigen,
- 1958 Merkers
(Erdbebengeographisch an der Grenze
Hessische Senke — Thüringer Becken)
- 1975 Sünna

Diese Ereignisse mit einer Epizentralintensität zwischen 7,5° und 8° gehören zu den stärksten bisher bekannten Beben. Bis auf das Beben von Posterstein (1872) mit einer abgeschätzten Herdtiefe von rund 15 km Tiefe, sind die Herdtiefen der drei anderen Ereignisse wesentlich geringer (ca. 100 m). Sie sind als Folgeerscheinung bergmännischen Abbaues in den Kalklagern des Werragebietes zu sehen und als Gebirgsschläge einzuordnen.

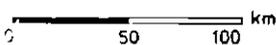
Wegen der geringen Ausdehnung der Schüttergebiete sind alle bekannten und hier dargestellten Beben als Lokalbeben zu bezeichnen. Die Herdtiefen waren stets größer als 5 km (Ausnahme: Gebirgsschläge). In keinem der bisher bekannten Fälle, die Gebirgsschläge stets ausgenommen, hat es sichtbare Veränderungen an der Erdoberfläche gegeben. Solche Beobachtungen liegen oberhalb des 8. Grades der 12-teiligen Medvedev-Sponheuer-Karnik-Skala.

Seismische Untersuchungen

Zur Erfassung einer möglichen Seismizität der Standortumgebung und von seismischen Ereignissen im Grubengebäude werden eine seismische 3-Kompo-



Maßstab 1 : 2 250 000



○ leichte Schäden

● kräftige Schäden

Abb. b):
Verteilung der Schadensbeben für den Zeitraum 1000 - 1979 um den Standort KONRAD

nenten-Station und ein aus 5 Einzelaufnehmern bestehendes Geophonnetz betrieben.

Ereignisse aus dem 200 km-Umkreis hatten eine Gesamtdauer von weniger als 3 Minuten. Die große Häufigkeit dieser Ereignisse an Werktagen zwischen 11⁰⁰ und 13⁰⁰h sowie 15⁰⁰ und 18⁰⁰h zeigt an, daß es sich dabei in erster Linie um größere Sprengungen in benachbarten Steinbrüchen handeln muß. Klar identifizierte Nachbeben, die nur instrumentell festgestellt wurden, wurden ebenfalls in den bekannten Bebenregionen der Hessischen Senke und des Thüringer Beckens beobachtet.

Hochfrequente Ereignisse, die im Grubengebäude nicht auf bergmännische Sprengarbeiten zurückzuführen sind, wurden bisher nicht festgestellt.

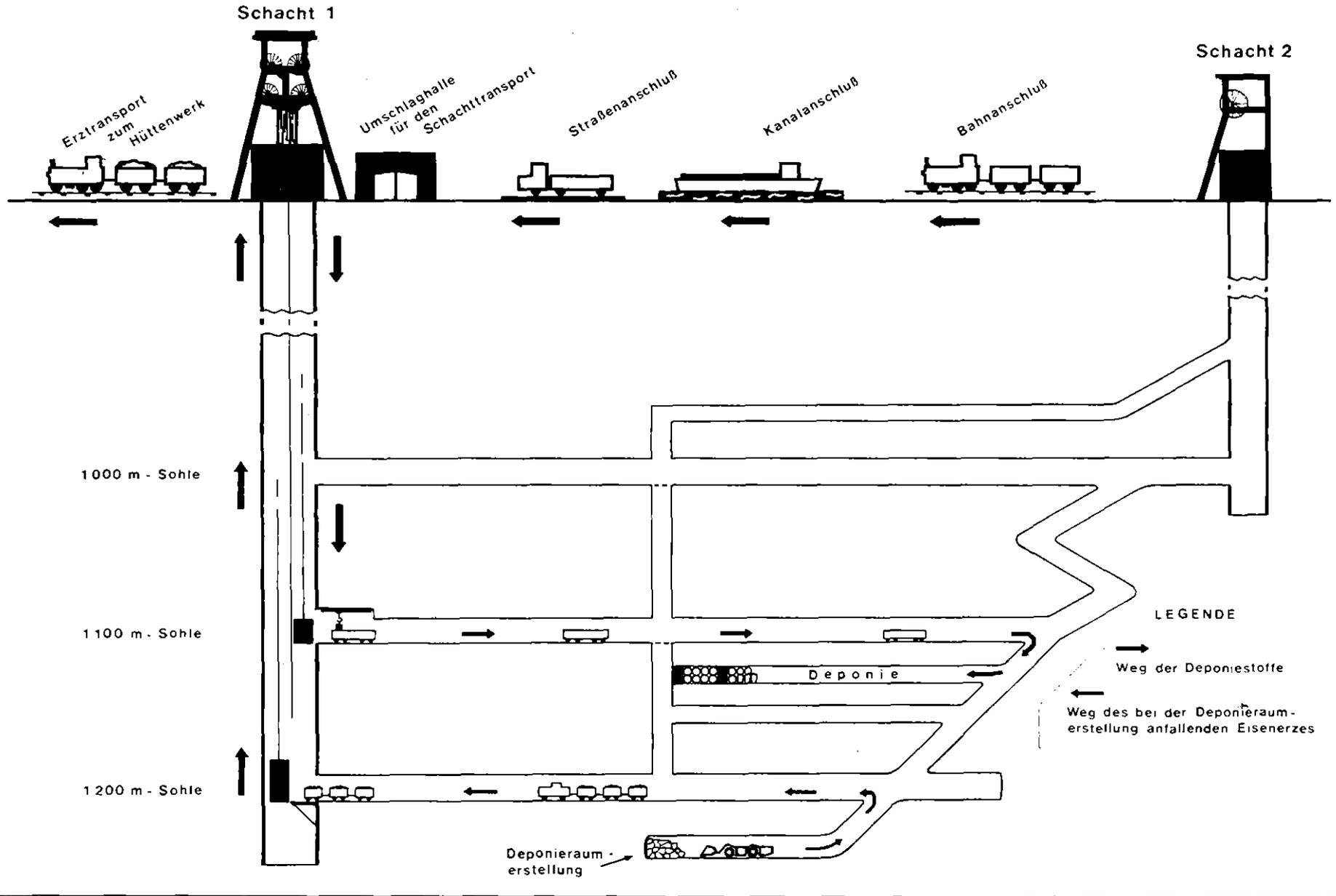
7.5 Bergtechnische Untersuchungen

Weiterentwicklung des Transport- und Einlagerungskonzeptes

Um sowohl in der Schachthalle übertage als auch am Füllort der Einlagerungssohle komplizierte und kosten aufwendige Krananlagen mit Auslegerarm zu vermeiden, wird als Alternative ein Aufschubwagen bzw. ein Aufschubgestell in Erwägung gezogen. Die Komponenten sollen übertage auf diesen fahrbaren Untersatz gestellt werden, der dann auf den Korb geschoben und am Füllort herausgezogen wird. Mit einem einfach zu gestaltenden, jedoch fernbedienbaren Kran wird die Last abgehoben und auf das Transportfahrzeug aufgesetzt. Bei der Gestaltung des Füllortes sollen jedoch beide Varianten, Ausrüstung mit Auslegerkran und Betrieb mit Aufschubwagen, berücksichtigt werden.

Die Arbeitsabläufe wurden unter dem Gesichtspunkt der Strahlenbelastung des Betriebspersonals untersucht.

Abb. c): Schachanlage Konrad, prof. Deponiebetrieb, Schematische Darstellung



Versatzuntersuchungen

Im Rahmen von Versatzstoffprüfungen zur eventuellen Verfüllung von Einlagerungskammern wurden an gebrochenem Eisenerz, Tonstein und einer Mischung aus beiden u. a. Schwindung und Quellung, Verdichtbarkeit, Wasserdurchlässigkeit und Lagerungsbeständigkeit gegen H₂O und NaCl-Lösungen bestimmt. Günstige physikalische Werte ergaben sich aus den Untersuchungen mit Eisenerz/Tonstein-Gemisch der Zusammensetzung 1:1. Die verwendeten Körnungen waren Eisenerz 0-10 mm aus der werkseigenen Aufbereitungsanlage und Tonstein kleiner 11,2 mm im Laborbackenbrecher zerkleinert.

Folgende Daten wurden ermittelt:

Schüttdichte	1,51 Mg/m ³
Optimale Verdichtung bei 11,0 Gew. % Wassergehalt	2,520 g/cm ³
Druckwasserfestigkeit bei optimalem Wassergehalt und bei 3 N/mm ² Belastung	4,1-4,9 N/mm ² (nach 28 bzw. 90 Tagen)
Gesamtporosität aus Roh- und Reindichte bei einer Druckbelastung von 3 N/mm ²	28,9 %
Quellung	0,9 %
Wasserdurchlässigkeitsbeiwert bei optimalem Wassergehalt und 3 N/mm ² Druckbelastung	$7 \cdot 10^{-7}$ m/s = 70 μ -Darcy

Die Werte für Verdichtbarkeit, Gesamtporosität, Quellung und Wasserdurchlässigkeit entsprechen größenordnungsmäßig denjenigen von Hochofenschlacke der Körnungen 0-8 mm und 0-10 mm. Zum Teil sind sie auch mit den an Kali-/Kieserit- und Schlamm-Rückständen gemessenen Werten vergleichbar. Derartige Salzrückstände werden seit Jahrzehnten als Versatz im Salzbergbau verwendet. Für die Verfüllung von Einlagerungskammern eignen sich jedoch vornehmlich form- und auslaugbeständige Materialien, wie es z. B. Flugaschen, Schlacken oder die untersuchten Eisenerz-Tonstein-Mischungen sind.

Das Gemisch mit gleichen Gewichtsanteilen Erz/Ton zeigt eine gute Verdichtbarkeit, eine mittlere Druckfestigkeit und eine sehr niedrige Permeabilität. Es wird bei geeigneter Konditionierung mit Sicherheit als Schütt- oder Pumpversatz, möglicherweise auch als Blasversatz verwendbar sein. Die Rohstoffe fallen in unterschiedlichen Mengen beim Auffahren der Strecken an.

Zur Auswahl eines geeigneten Schüttversatzes wurde in einer Versuchsreihe der geringste Haufwerksporenanteil von Erzmaterial der Körnungen 0-10 mm und 40-80 mm und verschiedenen Mischproben bestimmt. Günstige Ergebnisse lieferte eine Schüttung 50/50 %, die bei einem Porenanteil von 12 Vol.-% im wassergesättigten Zustand eine Raumdichte 2,05 t/m³ erreicht.

Zeitschätzung für die Erstellung der Anlagen im technischen Bereich

Der derzeitige Stand der Untersuchungen der technischen Aus- bzw. Umrüstung der Schachanlage für die Einlagerung von radioaktiven Abfallkomponenten ist

soweit fortgeschritten, daß eine erste Zeitschätzung durchgeführt werden konnte.

Aus den Erfahrungen beim seinerzeitigen Aufbau der Schachanlage Konrad kann für die Um- und Ausrüstungen ein Zeitraum von 3-4 Jahren angesetzt werden. Dabei ist unterstellt, daß bereits vergabereife Projekte vorhanden sind. Bei der zeitlichen Abstimmung ist Parallelablauf von verschiedenen Projekten angenommen, die zwar technisch unabhängig voneinander sind (wie z. B. Neubau Fördermaschinengebäude und Aufbau einer neuen Sieb- und Brechanlage), von der Organisation her aber Berührungspunkte haben (wie Unterbringung von Belegschaft, Waschkaueneinrichtungen, Rüstplatz und Werkstatt).

7.6 Kerntechnische Untersuchungen

Art und Menge der untersuchten radioaktiven Abfälle

Das Ziel der Arbeiten bestand in der Ermittlung der radioaktiven Betriebsabfälle und aller Abfälle aus der Stilllegung von Kernkraftwerken, unabhängig von einer Endlagerung in der Grube Konrad. Für aktivierte Reaktorfestabfälle (Betriebsabfälle) und für die Abfallgruppen 1 und 2 der Stilllegungsabfälle wurden im Rahmen des FE-Vorhabens keine geowissenschaftlichen und bergtechnischen Eignungsuntersuchungen durchgeführt.

In die Untersuchungen der Betriebsabfälle wurden alle schwach radioaktiven Abfälle sowie aktivierte und kontaminierte Großkomponenten einbezogen, die beim Betrieb von Kernkraftwerken, in Großforschungszentren einschließlich der Prototypwiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe und in Landessammelstellen anfallen.

Abfälle aus dem Betrieb von Kernkraftwerken sind metallische, aktivierte oder kontaminierte Teile, die regelmäßig bei Wartungsarbeiten oder aufgrund von Verschleiß ausgewechselt werden müssen. Weiter fallen Abfälle aus der Wasseraufbereitung bzw. bei der Dekontamination von Anlagenteilen an. Dies sind wässrige Konzentrate, Pulver- und Kugelharze, Filtereinsätze und Aktivkohle sowie kontaminiertes Papier, Putzwolle und Kleidung.

Abfälle aus Großforschungszentren und Landessammelstellen fallen in sehr unterschiedlicher Zusammensetzung an. Der größte Teil der Abfallmengen stammt aus den Forschungszentren KFA und KfK, wobei das KfK den Hauptanteil produziert. In den Zentren GKSS, GSF und HMI fallen nur geringe Mengen meist schwachaktiver Abfälle an.

Zur Abschätzung der jährlich zu erwartenden Gebindedaten wurden die folgenden Rohabfallmengen aus dem Betrieb von 12 Kernkraftwerken (6 Siedewasser- und 6 Druckwasserreaktoren je 1200 MWe, ohne Stilllegungsabfälle) nach der Systemstudie „Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik“, Bd. I/IV 1976/77, zugrunde gelegt:

kontaminierte Teile	84 m ³ /a
aktivierte Teile	5 m ³ /a
Wasseraufbereitung und allgemeiner Betrieb	5000 m ³ /a

Die hauptsächlichsten Radionuklide sind bei den konta-

Abfallart	Behälter/Jahr	Verpackungsart	Aktivität/Behälter (Ci)	Aktivitätsverteilung ausgewählter Radionuklide	
Aktivierte Reaktorfestabfälle ¹⁾	80	400 l-Faß	56 H-3, 6750 Co-60		
	375	Gußbehälter	12 H-3, 1440 Co-60		
Kontaminierte Reaktorabfälle	933	400 l-Faß	0,9	Co-58	11 %
				Co-60	20 %
Abfälle aus Wasserreinigung und sonstigen Reaktorabfällen	5.700	400 l-Faß	0,9	Cs-137/Ba-137m	28 %
	1.100	VBA (400 l-Faß)	8	Cs-134	9 %
				Sr-90	7 %
Abfälle aus Kernforschungszentren und Landessammelstellen	9.100 ²⁾	400 l-Faß	1,3	Cs-137/Ba-137m	25 %
	2.250 ³⁾	VBA (400 l-Faß)	8	Cs-134	7 %
				Ce-144/Pr-144	8 % Pu ²⁾ ³⁾
				Ru-106/Rh-106	15 %
Σ Abfall/a	16.100	400 l-Faß			
	3.350	VBA			

Tab. 1: Jährliches Abfallaufkommen aus dem Betrieb von 12 Kernkraftwerken (je 1200 MWe, ohne Stilllegungsabfälle) sowie den Kernforschungszentren und Landessammelstellen 1 Jahr nach Anfall

¹⁾ Nach bisherigen Planungen sollen diese Abfälle im Endlager Gorleben eingelagert werden. Der Vollständigkeit halber wurden sie hier mit aufgeführt.

²⁾ 75 % Fässer der Kategorie A (Pu: 10 max. mCi/l), 25 % der Fässer Kategorie C (Pu: max. 4Ci/l)

³⁾ Pu: max. 4Ci/l, Aktivitätsverteilung Pu: 238 2 %, Pu-239 59 %, Pu-240 24 %, Pu-242 4 %, Am-241 11 % (nach Zerfall von Pu-241)

minierte Teile aus dem Reaktorbetrieb vor allem die Radionuklide Cs-137 und Co-60, bei den aktivierten Teilen Co-60. Bei den Abfällen aus der Wasseraufbereitung sind ebenfalls Cs- und Co-Isotope die Aktivitätsträger.

Zur Abschätzung der zu erwartenden Abfallmengen aus Kernforschungszentren und Landessammelstellen wurden die Erfahrungswerte aus den Abfallaufkommen im Jahr 1978 zugrunde gelegt.

Tabelle 1 zeigt die zu erwartenden Gebindezahlen für die verschiedenen Abfallarten pro Jahr. Die Angabe der Aktivitäten und der Anteile der verschiedenen Nuklide an den Aktivitäten, wie sie in der oben genannten Systemstudie enthalten sind, wurden durch Mitteilungen von KWU und KfK/HDB ergänzt.

Es wurden alle radioaktiven Abfälle aus der Stilllegung von Kernkraftwerken untersucht, unabhängig davon, ob ihre Einlagerung im Erzbergwerk Konrad vorgesehen ist. Art, Menge und zeitlicher Anfall der Abfälle wurden zusammengestellt. Auf der Grundlage von 6 Referenz-Kernkraftwerken wurden Hochrechnungen für alle im Betrieb, im Bau und in der Planung befindlichen Kernkraftwerke durchgeführt. Im zusammenfassenden Zwischenbericht sind jedoch ebenso wie bei den Betriebsabfällen die Daten von nur 12 Kernkraftwerken enthalten. Diese erlauben jederzeit eine Extrapolation auf eine beliebige Anzahl von Kernkraftwerken verschiedener Typen.

Tabelle 2 gibt über die voraussichtliche Betriebsdauer der betrachteten Kernkraftwerke Aufschluß und deutet

Name	Standort	Typ	Lstg. [MW]	Inbetriebnahme [Jahr]	Letzte Abschaltung [Jahr]	Gesamtmasse [Mg]	Radioaktive Abfälle [Mg]
KRB-1	Gundremmingen	SWR	237	1966	1977	1,4 · 10 ⁵	6290
KWL	Lingen	SWR	256	1968	1976	1,5 · 10 ⁵	5910
KWO	Obrigheim	DWR	328	1968	1998	5,8 · 10 ⁴	2510
KKS	Stade	DWR	630	1972	2002	1,1 · 10 ⁵	4600
KKW	Würgassen	SWR	640	1973	2003	2,0 · 10 ⁵	7840
Biblis A	Biblis	DWR	1.146	1974	2004	2,0 · 10 ⁵	8360
KKB	Brunsbüttel	SWR	770	1976	2006	2,2 · 10 ⁵	8260
GKN-1	Neckarwestheim	DWR	762	1976	2006	1,3 · 10 ⁵	5440
Biblis B	Biblis	DWR	1.240	1976	2006	2,1 · 10 ⁵	8780
KKI-1	Ohu	SWR	870	1977	2007	2,8 · 10 ⁵	9020
KKU	Esenshamm	DWR	1.230	1978	2008	2,1 · 10 ⁵	8780
KKP-1	Philippsburg	SWR	864	1979	2009	2,3 · 10 ⁵	9020
Summe						2,2 · 10 ⁵	8,5 · 10 ⁴

Tab. 2: Berechneter Anfall der Stilllegungsabfälle vorstehender Kernkraftwerke

auf den möglichen Zeitpunkt ihrer Stilllegung hin. Darüber hinaus ist der berechnete Anfall an Stilllegungsabfällen ersichtlich.

Neben der Mengenermittlung kommt vor allem dem Aktivitätsinventar der Abfälle Bedeutung zu. Anhand der Referenzkraftwerke Biblis A (DWR) und Brunsbüttel (SWR) wurde die spezifische Aktivität (bezogen auf Co-60 und Mn-54) der einzelnen Stilllegungskomponenten zum Zeitpunkt der Stilllegung ermittelt.

Nachdem die spezifische Aktivität der Komponenten ermittelt wurde, sind im Hinblick auf die Entwicklung von Behältern die Stilllegungsabfälle in Aktivitätsgruppen eingeteilt worden:

- Gruppe 1: $> 3 \cdot 10^{-4}$ Ci/g
(Einbauten des Reaktor-druckbehälters)
- Gruppe 2: $3 \cdot 10^{-4} - 10^{-8}$ Ci/g
(Komponenten und Bauteile, die im weiteren Einflußbereich des Neutronenflusses lagen)
- Gruppe 3: $< 10^{-8}$ Ci/g
(kontaminierte Teile)

Mengenmäßig verteilt sich der radioaktive Stilllegungsabfall wie folgt auf die einzelnen Gruppen:

- Gruppe 1: 820 Mg
- Gruppe 2: 4.029 Mg
- Gruppe 3: 79.950 Mg

Der zeitliche Anfall der radioaktiven Stilllegungsabfälle ist schematisch in der folgenden Aufstellung dargestellt:

Jahre nach Beseitigungsbeginn	Anteil des Abfalls %		
	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
1			29
2	100	50	29
3		50	6,5
4			6,5
5			14,5
6			14,5

Tab. 3: Anfall der radioaktiven Stilllegungsabfälle in verschiedenen Phasen der Beseitigung

Verpackungen für die radioaktiven Abfälle aus Betrieb und Stilllegung

An die Verpackungen der radioaktiven Abfälle sind besondere Anforderungen zu stellen. Sie haben neben der Verpackungsfunktion für den Transport und die Handhabung der radioaktiven Abfälle ggf. eine Abschirm- und Barrierenfunktion zu erfüllen.

Für Reaktorbetriebsabfälle werden 400 l-Rollreifentücher auf Paletten sowie 400 l-VBAs als günstige Abfallbehälter und Gebindearten vorgeschlagen.

Für diverse aktivierte und kontaminierte Schrottteile eignen sich besonders verlorene Container, die ebenso wie die Faßgebände in Stapeltechnik eingelagert werden können (vgl. Tab. 4).

Der Antransport bis zum Förderschacht mit der Bundesbahn ist für alle Abfallgebändearten gewährleistet.

Das Entladen der Waggons, der Transport nach untertage und das Stapeln der Abfallgebände in den Einlagerungsstrecken erfordert keine grundlegend neuen Überlegungen.

Gebinde	Einlagerungstechnik	Abfallart
400 l-Fässer Einzellager. Palettenlagereg.	Stapeltechnik	Reaktor-Betriebsabfälle und Sekundärabfälle aus Stilllegung (Verdampferkonzentrate, Filter, Papier, Kleidung usw.)
VBA (400 l)	Stapeltechnik	Reaktor-Betriebsabfälle (kontaminierte und aktivierte Schrottteile)
Verlorene Container	Stapeltechnik	Stilllegungsabfälle (kontaminierte und aktivierte Schrottteile)
Verlorene Gußbehälter	Stapeltechnik Grabentechnik	Betriebs- und Stilllegungsabfälle (aktivierte Komponenten)

Tab. 4: Gebinde und Einlagerungstechnik entsprechend der Abfallart.

Die Entwicklung von Verpackungen für Stilllegungsabfälle führte entsprechend den Aktivitätsgruppen zu 3 Behältertypen. Für die Aktivitätsgruppen 1 und 2 treten die Abschirm- und Barrierenfunktionen in den Vordergrund. Die Behälter müssen sicherstellen, daß die Dosisleistung von 200 mrem/h an der Oberfläche und 10 mrem/h in 1 m Abstand nicht überschritten wird. Für die Aktivitätsgruppe 3 reicht eine dichte Umschließung der kontaminierten Teile aus.

Abfälle der Aktivitätsgruppe 1 sollen in zylindrischen Stahlgußbehältern verpackt werden. Stahlguß wurde deshalb gewählt, um die guten Eigenschaften in bezug auf Herstellung, Abschirmwirkung, Festigkeit und Korrosionsverhalten auszunutzen.

Abfälle der Aktivitätsgruppe 2 sollen ebenfalls in zylindrischen Stahlgußbehältern verpackt werden. Zur Überdeckung des großen Bereiches der spezifischen Aktivität von $3 \cdot 10^{-4}$ Ci/g bis $1 \cdot 10^{-8}$ Ci/g wird der Behälter aufgeteilt in einen Grundbehälter und in drei mögliche Einsätze. Die Zylinderform begünstigt eine solche Ausführung durch leichte Einsetzbarkeit mit möglichst kleinen Zwischenräumen.

Abfälle der Aktivitätsgruppe 3, die eine sehr geringe spezifische Aktivität besitzen, mengenmäßig aber einen großen Anteil der Stilllegungsabfälle darstellen, können in großvolumigen Rechteckbehältern aus Stahlblech verpackt werden.

Die Tabelle 5 gibt letztlich Auskunft über die erforderliche Anzahl der Behälter und das Nettolagervolumen für die radioaktiven Abfälle aus der Stilllegung von 12 Kernkraftwerken. Damit sind alle zur Zeit im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke erfaßt. Es wurde unterstellt, daß

Gruppe	Gesamt- masse [Mg]	Beschreibung	Behälter- abmaße [mm]	Nutzmasse im Behälter [Mg]	Behälter- gewicht [KN]	Behälterge- samanzahl	Gesamt- volumen [m³]						
1	820	Stahlfall Betonfixierung Stahlgußbehälter	D_a	= 1.480	0,621	185	1.290	3.225					
			H_a	= 1.480									
			d_i	= 660									
			h_i	= 660									
2	4.029	Stahlabfall Betonfixierung Stahlgußbehälter	D_a	= 1.500	6,21	53	247	2.659					
			H_a	= 1.500									
			d_i	= 1.360									
			h_i	= 1.360									
		1. Einsatz	d_i	= 1.180	4,02	107	351						
			h_i	= 1.180									
		2. Einsatz	d_i	= 1.050	2,85	137	339						
			h_i	= 1.050									
		3. Einsatz	d_i	= 920	1,92	160	63						
			h_i	= 920									
						1.000							
3	79.950	Stahlbehälter	l_a	= 2.350	Schrott 7,23 Beton 3,50 brenn- bares 1,53	22	6.695 5.680 7.912 20.287	$6,7 \cdot 10^4$					
			b_a	= 1.190									
			h_a	= 1.190									
									7.912				
									20.287				

Tab. 5: Behälteranzahl und Nettolagervolumen für die radioaktiven Stilllegungsabfälle nach Aktivitätsgruppen

die Beseitigung jeweils 1 Jahr nach der Stilllegung beginnt. Damit ist der ungünstigste Fall beschrieben, denn es ist aus sicherheitstechnischer Sicht wesentlich vorteilhafter, die Beseitigung zu einem späteren Zeitpunkt vorzunehmen. Die damit verbundene Verschiebung des Behälteraufkommens wird in der Tabelle 6 sichtbar.

Gruppe	Behälteraufkommen bei einer Beseitigung nach:			
	1 a	10 a	30 a	50 a
1	1.290	563	206	—
2	1.000	929	629	274
3	20.287	20.395	20.571	20.751

Tab. 6: Behälteraufkommen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Beseitigung nach der Stilllegung

Wird mit der Beseitigung zu einem späteren Zeitpunkt als 1 Jahr nach der Außerbetriebnahme begonnen, verringert sich die Anzahl der anfallenden Behälter in den Gruppen 1 und 2. Die Gesamtmenge wird sich aber nur geringfügig ändern, da dann mehr Abfälle durch die Abklingzeit in Gruppe 3 eingestuft werden können. Die Abfälle der Gruppe 3 werden auch durch Wartezeiten von einigen Jahren bis Jahrzehnten nicht so weit abgeklingen sein, daß sie im Sinne der Strahlenschutzverordnung als aktivitätsfrei behandelt werden können.

Berechnung der Strahlenbelastung für das Betriebspersonal bei der Einlagerung der betrachteten Abfälle

Die Strahlenbelastung des Betriebspersonals berechnet sich nach der tatsächlichen Dosisleistung und nach der Dauer und Intensität des Kontaktes mit den Abfallbehältern.

Bei der Beurteilung der Dosisbelastung des Betriebspersonals aus Betriebsabfällen kann auf die Erfahrungen und Daten des Salzbergwerkes ASSE zurückgegriffen werden.

Im Jahr 1978 wurden in die ASSE 30.579 Fässer und Verlorene Betonbehälter eingelagert. Die Dosisbelastung des Betriebspersonals ist aus folgender Tabelle ersichtlich:

Anzahl der Personen	mrem/Mann.Jahr
45	kleiner 480
10	600
2	800
2	900
1	950

Tab. 7: Dosisbelastung des Betriebspersonals des Salzbergwerkes ASSE für das Jahr 1978

Diese Werte liegen deutlich unterhalb der zulässigen Dosisbelastung für strahlenexponierte Personen.

Bei der Übertragbarkeit der Werte auf die Verhältnisse des Eisenerzbergwerkes Konrad ist zu berücksichtigen, daß höhere Einlagerungsleistungen vorgesehen sind. Durch den Einsatz von Paletten und speziellen Manipulationseinrichtungen wird sichergestellt, daß die Dosisbelastung die Werte der ASSE nicht übersteigt.

Für die Beurteilung der Dosisbelastung des Betriebspersonals aus Stilllegungsabfällen liegen noch keine

Erfahrungen und Daten vor. Deshalb müssen entsprechende Rechnungen durchgeführt werden.

Die Dosisleistung der Abfallgebinde ist ermittelt worden. Die Verweilzeiten der am Einlagerungsprozeß beteiligten Personen in bestimmten Abständen zu den Gebinden wurde abgeschätzt. Diese Werte müssen anhand von Simulationsversuchen bestätigt werden.

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

8.1 Genehmigungsverfahren

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens fand im Jahr 1979 eine Reihe von Gesprächen mit den zuständigen Ministerien, Landesämtern und örtlichen Institutionen statt. Ziel der Erörterungen war es, zu klären, ob das geplante Vorhaben die Voraussetzungen erfüllt, die im Hinblick auf Sicherheit und Technik an eine Anlage dieser Art aus heutiger Sicht zu stellen sind.

Als Ergebnis dieser Gespräche wurde eine Reihe von Verbesserungen in das vorliegende Planungskonzept mit aufgenommen. Ferner wurden weitere Untersuchungen zum Tritiumabwasser durchgeführt, und zwar speziell zur Rest-Aktivität und ihrer Nuklidzusammensetzung. Für die Untersuchungen wurden Tritiumabwässer aus der Wiederaufbereitungsanlage verwendet.

Durch die geplanten technischen Maßnahmen an den Entstehungsorten und in der Abwasser-Dekontaminationsanlage des KfK wird es möglich sein, die spezifische Aktivität der in den HTO-Destillaten enthaltenen sonstigen Radionuklide auf Werte zwischen 10^{-8} bis 5×10^{-7} Ci beta/m³ bzw. 5×10^{-8} Ci alpha/m³ zu reduzieren. Die Untersuchungen werden noch über das Jahr 1979 hinaus fortgesetzt.

8.2 Planung

Im Rahmen eines Vorprojektes wurde das technische Konzept für die Auslegung der Anlagen und Einrichtungen der übertägigen Pumpstation detailliert überarbeitet. Hierbei wurden insbesondere die sicherheitsrelevanten Bereiche der Anlage einer genauen Prüfung unterzogen und diese unter Beibehaltung des im Genehmigungsantrag beschriebenen Konzepts dem neuesten Stand der Technik angepaßt. Neben diesen Arbeiten wurden Untersuchungen zu speziellen Werkstofffragen durchgeführt sowie anfragereife Unterlagen einschließlich Beschreibungen, Leistungsverzeichnissen, Plänen und Erläuterungen zur Bauausführung erstellt.

Nach heutigen Schätzungen beträgt der Investitionsaufwand für die übertägige Pumpstation annähernd 1,6 Mill. DM. Die Bauzeit wird bei dem derzeit angenommenen Bauumfang auf 20-24 Monate geschätzt.

8.3 Hydrogeologische Untersuchungen

In der Umgebung des KfK findet sich Grundwasser mit Trinkwasserqualität im pliozänen und quartären Schichtpaket. Das z. Zt. genutzte Grundwasser wird dem Quartär entnommen, und zwar durch die KfK-Wasserwerke Süd und Tiefgestade sowie durch die Wasserwerke Leopoldshafen und Linkenheim. Die Nutzung des Pliozäns ist von der Fernwasserversorgung Rheintal für die nahe Zukunft geplant.

Von dem nutzbaren Grundwasser des Quartärs und Pliozäns hebt sich das tiefe Formationswasser des Verpreßhorizontes durch bis zu 600-fach erhöhten Salzgehalt ab. Diese Formationen sind für die Grundwassergewinnung nicht geeignet.

Für den Oberen und den Mittleren Grundwasserleiter des Quartärs wurde ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert mit $k_f = 1,46 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt. Die Transmissivität beträgt $T = 0,03$ m²/s. Die Fließrichtung des Grundwassers in beiden Grundwasserleitern ist von Südosten nach Nordwesten. Im Bereich des KfK steigt außerdem das gespannte plionäre Grundwasser in die Quartärschichten auf. In den Vorfluter Rhein gelangt ein gemischtes Grundwasser beider Aquifere.

Auf der Niederterrasse steigt die Abstandsgeschwindigkeit des quartären Grundwassers zur Terrassenkante von ca. 0,3 m/Tag auf ca. 1,3 m/Tag an. In der Rhein-Niederung nimmt sie sehr stark ab, und zwar auf 0,05 m/Tag.

Um die Fließrichtung, die Fließgeschwindigkeit und die Dispersion zu bestimmen, wurde ein Farbmarkierungsversuch mit 200 g Uranin im Oberen Grundwasserleiter durchgeführt. 1979 wurde die Erlaubnis zur Eingabe des Tracers in das Grundwasser erhalten und die für diesen Versuch erforderlichen 17 Pegelbohrungen mit einer Teufe von jeweils 10 m niedergebracht. Im Oktober 1979 wurde der Farbstoff eingespeist. Die Untersuchungen dauern zur Zeit noch an, so daß über Ergebnisse noch nicht berichtet werden kann.

9. Quantitativer Anforderungskatalog für Abfallprodukte

Untersuchungen zur Auslaug- und Korrosionsbeständigkeit salzbeladener, zementierter LAW/MAW-Abfälle unter störfall-spezifischen Bedingungen

Im Rahmen der Untersuchungen zur Auswahl einer Zementmatrix mit guten Langzeiteigenschaften für LAW/MAW-Abfälle wurden Untersuchungen zur Auslaug- und Korrosionsbeständigkeit von salzbeladenen Zementprodukten unter Bedingungen begonnen, die nach einem Wasserzulauf in das Endlager zu erwarten wären (Salzlösung, erhöhter Druck). Die Temperatur der Salzlösung lag geringfügig über der des Steinsalzes (40-55°C).

Zunächst wurde eine Reihe von Vorversuchen in Autoklaven durchgeführt, um festzustellen, ob das Verhalten der Abfallprodukte unter Störfallbedingungen grundsätzlich anders ist als bei Normalbedingungen. Hierfür wurden folgende inaktive mit Cs als Indikator dotierte Proben herangezogen:

- Laborproben aus Portlandzement PZ 35 mit einem Wasser/Zement-Verhältnis (W/Z) von 0,4 und 10 Gew.-% MAW-Simulat
- Proben aus inaktiven 200 l-Gebinden (Kernbohrungen) PZ 35, W/Z von 0,4, Sand/Zement-Verhältnis (S/Z) von 0,5 und 6 Gew.-% MAW-Simulat.

Es wurden sowohl verdichtete als auch unverdichtete Proben untersucht.

Für die Untersuchungen wurden folgende Versuchsbedingungen zugrunde gelegt:

- Auslaugmedien: destilliertes Wasser, gesättigte NaCl-Lösung (bei 25°C) und gesättigte Carnallit-Lösung (bei 25°C).
- Hydraulischer Druck: 110 bar (entsprechend einem hydrostatischen Druck in einer Tiefe von 900 m) und $p = 1$ bar (z.Vergl.)
- Temperatur: 55°C und Raumtemperatur.

Die Ergebnisse der kurzzeitigen Voruntersuchungen (maximal 90 Tage) zeigen, daß unter erhöhtem Druck keine gravierende Änderung des Auslaug- und Korrosionsverhaltens der Produkte im Vergleich zu dem unter Normaldruck zu erwarten ist. Endgültige Aussagen können jedoch erst nach Durchführung von Langzeitversuchen (1-1,5 Jahre) gemacht werden.

10. Untersuchungen zur störfallbedingten Radionuklidfreisetzung aus einem HAW-Endlager

Im Rahmen des Projektes „Sicherheitsstudien Entsorgung“ (PSE) wurden die Arbeiten zur Sicherheitsanalyse des Systems „HAW-Endlager“ fortgesetzt. Diese Arbeiten haben die Entwicklung einer Methodik zum Ziel, die als Hilfe bei der Optimierung des Endlagersystems in allen Stufen der Planung und Erstellung sowie beim Nachweis der Zuverlässigkeit des Abschlusses der Abfälle von der Biosphäre über lange Zeiträume dienen sollen.

Die für rein technische Systeme entwickelte Methodik der Risikoanalyse wurde so modifiziert, daß sie für eine Sicherheitsanalyse des Endlagersystems angewendet werden kann.

Dem für die Sicherheitsanalyse definierten unerwünschten Top-Ereignis „Freisetzung von Radionukliden“

wurden alle erkennbaren Ursachen als auslösende Basisereignisse zugeordnet. Dies geschah mit Hilfe von Fehlerbäumen. Dabei zeigte sich, daß die möglichen Konsequenzen von einer begrenzten Anzahl von Fehlersequenzen abhängen, die auf ganz bestimmten Fehlerereignissen basieren.

Die bisher erarbeiteten Freisetzungsbäume wurden hierzu bis zu einem größtmöglichen Detaillierungsgrad weiterentwickelt. Abbildung a zeigt dies am Beispiel des Freisetzungsbauums für den Störfall „Wassereintrich während der Betriebsphase“. Die Auswertung der Freisetzungsbäume des Endlagers führte zu verschiedenen Szenarien, welche die Freisetzungspfade beinhalten, die aufgrund des gemeinsam auslösenden Ereignisses eine Nuklidfreisetzung bewirken.

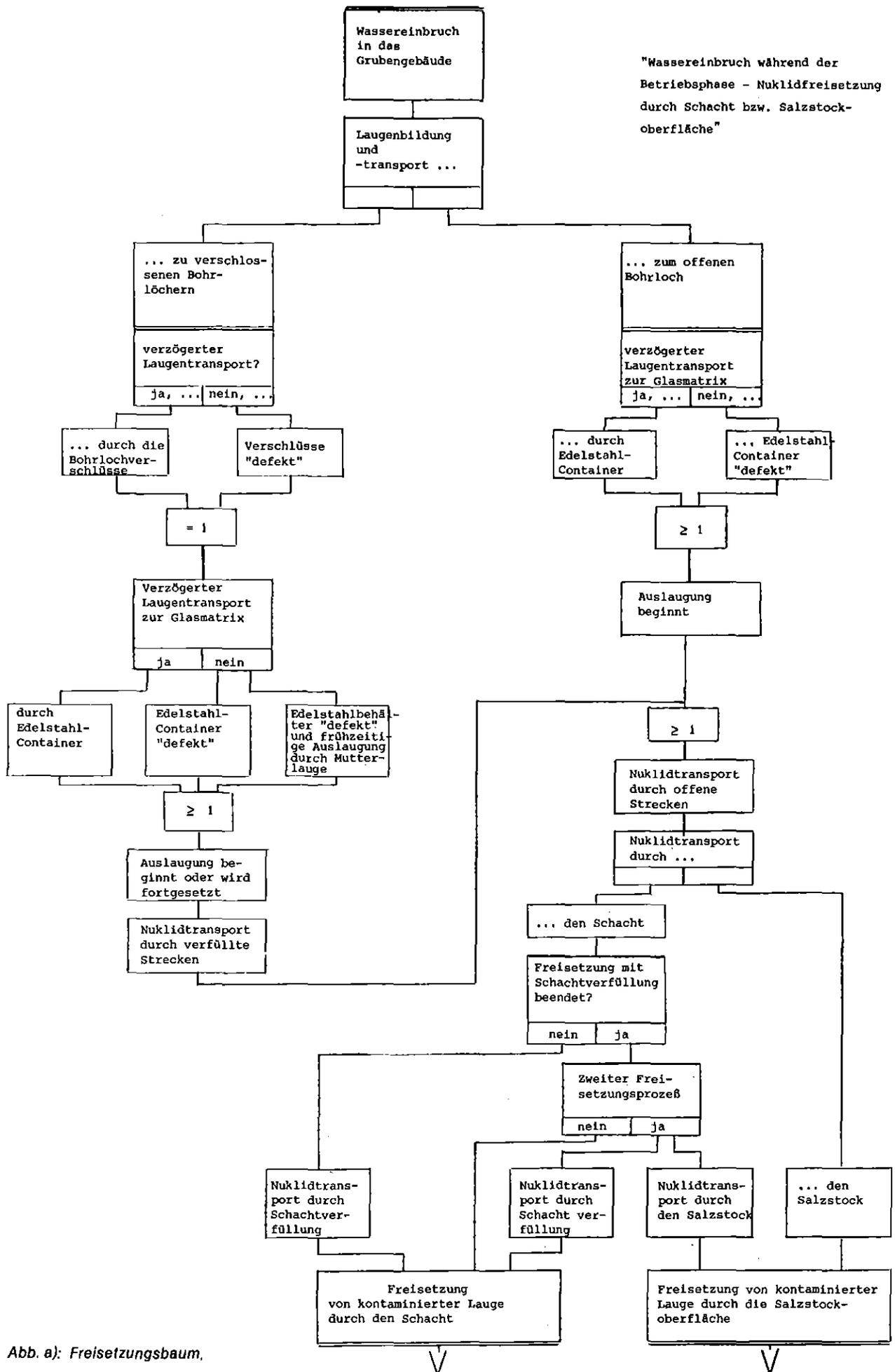


Abb. a): Freisetzungsbaum,

11. Veröffentlichungen

- Batsche, H., Rauert, W., Klarr, K.:
Hydrogeological research at the site of the Asse Salt Mine.
IAEA/NEA-International Symposium on the underground Disposal of Radioactive Wastes,
Helsinki, 2.-6.7.1979. (im Druck)
- Bottler, T.:
Zur Situation der Versuchsanlage Asse als bundesweites Zwischenlager.
7. IRPA Regionalkongreß / 13. FS-Jahrestagung Radioaktive Abfälle, Köln, 18.10.1979. (im Druck)
- Brewitz, W., Kühn, K.:
Geologische Grundlagen der Endlagerung.
Seminar „Chemie der nuklearen Entsorgung“, Gesellschaft Deutscher Chemiker / Verein Österreichischer Chemiker, Kaprun/Österreich, 18.-23.3.1979. (im Druck)
- Brewitz, W., Löschnhorn, U.:
Geoscientific investigations in the abandoned iron ore mine KONRAD for the safe disposal of certain radioactive waste categories.
IAEA/NEA-International Symposium on the Underground Disposal of Radioactive Wastes, Helsinki, 2.-6.7.1979. (im Druck)
- Dürr, K.:
Markscheiderische Arbeiten beim Ausbauen eines Bohrschachtes.
IV. Internationales Symposium für Markscheidewesen, Aachen, 24.-29.9.1979. (im Druck)
- Dürr, K.:
Laufende Forschungsarbeiten zur Versuchseinlagerung.
3. Tagung „Entwicklungsstand der Tieflagerung radioaktiver Abfälle“, Essen, 10.10.1979. (im Druck)
- Dürr, K., Korthaus, E., Donath, P.:
Untersuchungen zur Temperaturentwicklung bei der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle.
Teil II: Experimentelle Überprüfung der Rechenverfahren anhand von Simulationsversuchen.
Atomwirtschaft, Jahrg. XXIV, Nr. 2, Febr. 1979, 91-94.
- Hauser, W., Smailos, E., Köster, R.:
Berechnungen zur Wärmeentwicklung bei der Lagerung und Verfestigung von MAW/LAW in großräumigen Kavernen. (Referenzsysteme A und B des „in situ-Projektes“).
KfK-2857, Sept. 1979.
- Jakubick, A.T.:
Analysis of Pu-release consequences on the environmental geochemistry.
Symposium on Science Underlying Radioactive Waste Management, Boston/Mass., Nov. 28-Dec.1, 1978
in G.J.McCarthy: Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Vol. 1, Plenum Press, New York, 1979, 427-434.
- Jakubick, A.T.:
In situ plutonium-transport in geomedea.
OECD Workshop on the Migration of Long-Lived Radionuclides in the Geosphere, Brussels, Jan. 28.-31., 1979. (im Druck)
- Jockwer, N.:
Investigation on the migration and release of water within rock salt.
NEA/EG-Workshop on Migration of Long-Lived Radionuclides in the Geosphere, Brüssel, 28.-31.1.79 (im Druck)
- Kluger, W., Köster, R., Krause, H.:
Übersicht über Produkteigenschaften von mit Bitumen verfestigten Abfallkonzentraten aus Wiederaufarbeitung, Kernforschungsrichtungen und Kernkraftwerken.
KfK-2796, KfK, Karlsruhe, März 1979.
- Köster, R., Krämer, R., Kröbel, R.:
Disposal and fixation of medium and low level liquid wastes in salt caverns.
In situ Solidification, Ontaniemi/Finland, July 2-6, 1979. IAEA-SM-243/16, 1979. (im Druck)
- Kolditz, H.:
Planung und bergmännische Arbeiten zur Erstellung einer elliptischen Kaverne auf der Schachanlage Asse.
Schacht- und Tunnelbau-Kolloquium Berlin an der Technischen Universität Berlin, Institut für Bergbauwissenschaften im Fachbereich 16, Bergbau und Geowissenschaften, Febr. 1979. GSF-T-89.
- Korthaus, E., Donath, P., Ploumen, P., Strickman, G., Winske, P.:
Investigations on temperature rise and relative disposal area requirements for LWR-waste disposal strategies in salt domes.
Otaniemi/Finland, July 2-6, 1979. IAEA-SM-243/15, 1979. (im Druck)
- Kühn, K., Randl, R.P., Röthemeyer, H.:
The Federal Republic of Germany's program for the disposal of radioactive waste.
IAEA/NEA-International Symposium on the Underground Disposal of Radioactive Waste, Helsinki, 2.-6.7.1979. (im Druck)
- Rudolph, G., Köster, R.:
Immobilization of strontium and cesium in intermediate-level liquid wastes by solidification in cements.
Symposium on Science Underlying Radioactive Waste Management, Boston/Mass., Nov. 28.-Dec.1, 1978.
In G.J.McCarthy: Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Vol. 1. Plenum Press, New York, 1979, 467-470.
- Rudolph, G., Köster, R.:
Stoffliche Untersuchungen zur Verfestigung mittelaktiver Abfallösungen mit Zement: Auslaugbarkeit von Caesium und Strontium.
KfK-2842, PWA 18/79, Aug. 1979.
- Schmidt, M.W., Kolditz, H., Staupendahl, G., Thielemann, K.:
Bau einer Prototyp-Kavernenanlage im ehemaligen Steinsalzbergwerk Asse zur Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben auf dem Gebiet der Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe.
Rock Mechanics Supp. 8, 249-269 (1979). GSF- T 101.
- Smailos, E.:
Temperatur- und Radiolyseeffekte bei der Lagerung von konditionierten MAW-Abfällen und Abfällen aus der oberen MAW-Kategorie.
Vortrag am 10.10.1979, 3. Tagung über Entwicklungsstand der Tieflagerung Radioaktiver Abfälle, Essen. (im Druck)
- Staupendahl, G., Schmidt, M.W., Meister, D., Wallner, M.:
Geotechnische Untersuchungen an der Prototyp-Kaverne in der Schachanlage Asse.
Proc. 4th Congress ISRM, Montreux/Switzerland, Sep. 2-8, 1979, Rotterdam, A.A. Balkema, Vol. III, 645-653 (1979). GSF-T 102.
- Stippler, R., Kleimann, H.:
Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung im Bereich der Schachanlage Asse.
Jahresbericht 1978. T 95.
- Stippler, R., Kleimann, H.:
Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung bei der Lagerung von radioaktiven Abfällen in einem Salzbergwerk.
7. IRPA Regionalkongreß 13. FS-Jahrestagung „Radioaktive Abfälle“, Köln 16.-19.10.1979. (im Druck)
- Witte, H.O., Köster, R.:
Recent developments in low-and intermediate-level waste fixation by cement.
International Symposium on the Ceramics in Nuclear Waste Management, Cincinnati, 30.4.-2.5.1979. (im Druck)