GUTACHTEN ZUM ABSCHLUSSBERICHT DER GESELLSCHAFT FÜR STRAHLEN- UND UMWELTFORSCHUNG mbH ÜBER DIE UNTERSUCHUNG DER EIGNUNG VON SCHACHT KONRAD ALS ENDLAGER FÜR RADIOAKTIVE ABFÄLLE

ERSTELLT IM AUFTRAG DER STADT SALZGITTER

OKTOBER 1983

Gruppe Ökologie
Institut für ökologische Forschung und Bildung Hannover

GUTACHTEN ZUM ABSCHLUSSBERICHT DER GESELLSCHAFT FÜR STRAHLEN- UND UMWELTFORSCHUNG MBH ÜBER DIE UNTERSUCHUNG DER EIGNUNG VON SCHACHT KONRAD ALS ENDLAGER FÜR RADIOAKTIVE ABFÄLLE

ERSTELLT IM AUFTRAG DER STADT SALZGITTER

OKTOBER 1983

AUTOREN: DIPL. GEOL. DR. DETLEF APPEL
DIPL. GEOL. JÜRGEN BERNING
ULRIKE DETTMER
DIPL. PHYS. BERNHARD FISCHER
DR. HELMUT HIRSCH
DIPL. GEOL. JÜRGEN KREUSCH

GRUPPE ÖKOLOGIE HANNOVER
IMMENGARTEN 31, 3000 HANNOVER 1, TEL. 0511/696 31 30

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
Einleitung		1
1.	Zusammenfassung	4
2.	**Beschreibung und Bewertung der geologischen Barriere (Bearbeiter: D. Appel und J. Berning (2.5.2.))**	23
2.1.	Anspruch an die geowissenschaftliche Eignungsuntersuchung	23
2.2.	Geologischer Rahmen	26
2.2.1.	Abgrenzung und Gliederung der geologischen Barriere	26
2.2.2.	Geologische Entwicklung der Konrad-Region und Lagerungsverhältnisse	31
2.2.3.	Tektonisches Inventar des Grubengebäudes	34
2.3.	Bewertung von Umfang und Angemessenheit der geologischen Untersuchungen	41
2.3.1.	Probenmaterial	41
2.3.2.	Untersuchungsmethoden	43
2.3.2.1.	Übersicht	43
2.3.2.2.	Durchlässigkeitsbestimmungen	45
2.3.2.3.	Untersuchungen zur Radionuklidrückhaltung	50
2.4.	Bestandteile der Barriere	53
2.4.1.	Tonsteine des oberen Malm und der Unterkreide	56
2.4.1.1.	Petrographie der Tonsteine	56
2.4.1.2.	Durchlässigkeit der Tonsteine	59
2.4.1.3.	Sorptionsvermögen der Tonsteine	61
2.4.2.	1. Grundwasserstockwerk (Quartär und Plänerkalkstein der Oberkreide)	64
2.4.2.1.	Quartär	66

		Seite
2.4.2.2.	Plänerkalkstein der Oberkreide	71
2.4.2.2.1.	Wasserführung und Durchlässigkeit	72
2.4.2.2.2.	Radionuklidrückhaltung	75
2.4.2.3.	Grundwasserbewegung und -regeneration	76
2.4.3.	2. Grundwasserstockwerk (Hilssandstein)	77
2.4.4.	3. Grundwasserstockwerk (Korallenoolith einschließlich Erzlager, z.T. Kimmeridge)	81
2.4.4.1.	Gesteinsausbildung und -vorkommen	81
2.4.4.2.	Potentielle Wasserführung und Durchlässigkeit	83
2.4.4.3.	Angaben zur tatsächlichen Wasserführung	91
2.4.5.	4. Grundwasserstockwerk (Cornbrash-Sandstein)	96
2.4.5.1.	Gesteinsausbildung und -vorkommen	96
2.4.5.2.	Wasserführung und Durchlässigkeit	99
2.5.	Untersuchungen zur Identifizierung von Wasserzutritten in die Grube	101
2.5.1.	Messung der Grubenwassermengen	101
2.5.2.	Hydrochemische Untersuchungen	110
2.5.2.1.	Hydrochemie der einzelnen Barriere-Schichten	110
2.5.2.2.	Hydrochemie des Tiefengrundwassers im Bereich der Schachtanlage Konrad	113
2.5.2.2.1.	Vergleichende chemische Untersuchungen an Formationswässern aus dem Gifhorner Trog	114
2.5.2.2.1.1.	Chemismus der Korallenoolith- und Hils-Tiefenwässer	114
2.5.2.2.1.2.	Herkunft und Verweildauer der Konrad-Tiefenwässer	119
2.5.2.2.1.3.	Zusammenfassende Betrachtung der Spurenelementuntersuchungen	122

		Seite
2.5.2.2.2.	Thermodynamische Gleichgewichtsbeurteilung der Konrad-Tiefenwässer	124
2.5.2.2.3.	Chemische Untersuchungen an salinaren Sekundärmineralen	129
2.5.2.2.4.	Schwefelisotopenuntersuchungen an Grubenwässern und salinaren Sekundärmineralen	130
2.5.2.2.5.	Tritiumbestimmungen an Grubenwässern	135
2.5.3.	Beschreibung potentieller Wasserwegsamkeiten	138
2.6.	Wertung der GSF-Eignungsuntersuchung	146
2.6.1.	Einleitung	146
2.6.2.	Regionalgeologische und lagerstättenkundliche Aspekte	149
2.6.3.	Untersuchungen am Standort	151
2.6.3.1.	Geologische Untersuchungen	151
2.6.3.1.1.	Petrographische Untersuchungen	152
2.6.3.1.2.	Durchlässigkeitsuntersuchungen	152
2.6.3.1.3.	Sorptionsuntersuchungen	154
2.6.3.2.	Bestimmung der im Grubengebäude anfallenden Wassermengen	155
2.6.3.3.	Hydrochemische Untersuchungen	156
2.6.3.4.	Fazit	159
2.7.	Nachtrag	160
2.8.	Literatur zu Kapitel 2	163
3.	**Bewertung der** geomechanischen Untersuchungen **und Verhältnisse sowie der bergtechnischen Aspekte (Bearbeiter: J. Kreusch)**	167
3.1.	Absenkung und Verformungsverhalten des Deckgebirges	167
3.1.1.	Zur Ausbildung des oberirdischen Absenkungstroges	167
3.1.2.	Die Verformung des Gebirgsverbandes durch die Gebirgsabsenkung	174

		Seite
3.1.3.	Mögliche Auswirkungen der Gebirgsabsenkungen auf die Schächte	177
3.2.	Zur Frage der Konvergenz	179
3.2.1.	Die Bedeutung der Konvergenz und ihre Behandlung durch die GSF	179
3.2.2.	Die Untersuchungen der GSF zum Konvergenzverhalten	180
3.2.2.1.	Zur zeitunabhängigen Konvergenzformel	181
3.2.2.2.	Zur zeitabhängigen Konvergenzformel	184
3.2.3.	Von der GSF nicht betrachtete Einflüsse auf das Konvergenzverhalten des Gebirges	186
3.2.4.	Zusammenfassung zu Kapitel 3.2.	188
3.2.5.	Nachtrag zu den Konvergenzuntersuchungen der GSF	189
3.2.6.	Anhang: Abschätzung der durch Konvergenz möglicherweise ausgetriebenen Volumenströme sowie die Zeitdauer der Konvergenz	191
3.3.	Die Auflockerung des Gebirges und die gebirgsmechanischen Untersuchungen	193
3.3.1.	Die Untersuchungen zur Auflockerung des Gebirges	193
3.3.2.	Der Einfluß der Verfüllung auf die Gebirgsauflockerung	198
3.3.3.	Zu den Ultraschall-Messungen	199
3.3.4.	Fernseh-Bohrlochsondierung in Gebirgspfeilern	201
3.3.5.	Zusammenfassung zu den Kap.3.3.1.-3.3.4.	202
3.3.6.	Untersuchungen zur Ermittlung der Spannungszustände im Gebirge	203
3.3.6.2.	Zu den Laboruntersuchungen an Eisenerzproben zur Ermittlung von Festigkeitseigenschaften und als Scherfestigkeitsverhalten	206
3.3.6.3.	Zum rechnerischen Standsicherheitsnachweis	208

		Seite
3.4.	Die Untersuchungen zur rezenten Tektonik und zur Mikroseismizität des Grubengebäudes	211
3.4.1.	Die Seismometer-Messungen und die Erdbebengefährdung der Grube	211
3.4.2.	Die mikroseismische Überwachung des Grubengebäudes	214
3.4.3.	Die Neigungsmessungen mit Hilfe der Bohrlochgezeitenpendel	214
3.4.4.	Zu den seismischen Laufzeitmessungen	216
3.4.5.	Zusammenfassung zu Kapitel 3.4.	218
3.5.	Zu den bergtechnischen Aspekten des Endlagers	219
3.5.1.	Zur Wahl des Kammermodells A	219
3.5.2.	Zum Versatz der Endlagerhohlräume mit besonderer Berücksichtigung der Abschlußdämme	220
3.5.3.	Abschätzung des nach der Verfüllung verbleibenden Restgrubenhohlraums	223
3.5.4.	Das Schachtverfüllungskonzept der GSF	224
3.5.5.	Die Aufschlußbohrungen im Bereich des Grubengebäudes	230
3.6.	Zusammenfassende Bewertung	235
3.7.	Literatur zu Kapitel 3	237
4.	**Abfalltechnische Gesichtspunkte für das Endlager (Bearbeiter: B. Fischer)**	**241**
4.1.	Einleitung und Grundsätzliches	241
4.2.	Kritik des Abschnittes D1 des GSF-Abschlußberichtes	242
4.2.1.	Beschreibung der Abfälle	242
4.2.2.	Qualitätssicherungsmaßnahmen	247
4.2.3.	Mengenaufkommen	248
4.2.3.1.	Jährliches anlagenspezifischesn Abfallaufkommen	248
4.2.3.2.	Gesamtabfallmenge bis zum Jahr 2000	251

		Seite
4.3.	Erstellung einer Datenbasis für Nuklidinventare und Mengenaufkommen	252
4.3.1.	Nuklidspektren und Abklingverhalten	254
4.3.2.	Mengenaufkommen	286
4.3.3.	Zusätzlich notwendige Arbeiten zur Vervollständigung der Datenbasis	289
4.4.	Exkurs über Radiolysegasbildung	290
4.5.	Zusammenfassende Wertung	292
4.6.	Literatur zu Kapitel 4	294
Anhang 4. A	Inventar einer 40.000 m^3-Endlagerkammer	296
5.	**Betrieblicher Strahlenschutz und Emissionen im Normalbetrieb (Bearbeiter: U. Dettmer)**	301
5.1.	Betrieblicher Strahlenschutz	301
5.1.1.	Betriebsüberwachung und -organisation	301
5.1.2.	Abschätzung der Personendosis an sensitiven Betriebspunkten	303
5.1.2.1.	Zeitbedarf für Einlagerungstätigkeiten	303
5.1.2.2.	Oberflächendosisleistung der Abfallgebinde	305
5.1.2.3.	Dosisabschätzung	305
5.1.2.4.	Bewertung der Dosisabschätzung	309
5.1.3.	Strahlenbelastung an "nichtsensitiven" Betriebspunkten	311
5.2.	Emissionen im Normalbetrieb	312
5.2.1.	Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwetter und Strahlenbelastung von Personen in der Umgebung	312
5.2.1.1.	Aktivitätsabgaben an die Umgebung	313
5.2.1.2.	Strahlenbelastung von Personen in der Umgebung des Endlagers	314
5.2.2.	Aktivitätskonzentrationen in den Grubenwässern und Strahlenbelastung von Personen in der Umgebung	319

		Seite
5.2.2.1.	Aktivitätskonzentration in den Grubenwässern	319
5.2.2.2.	Strahlenbelastung in der Umgebung durch die Ableitung der Grubenwässer	321
5.3.	Zusammenfassende Wertung	324
5.4.	Literatur zu Kapitel 5	325
6.	**Stör- und Unfallbetrachtungen, Sicherheitskonzepte (Bearbeiter: H. Hirsch)**	327
6.1.	Störfälle und Unfälle in der Betriebsphase	327
6.1.1.	Diskussion des Spektrums der betrachteten Ereignisse	328
6.1.2.	Die Behandlung von Bränden im GSF-Abschlußbericht	331
6.1.2.1.	Brandverhalten verschiedener Abfallarten	331
6.1.2.2.	Das Szenario der GSF "Fahrzeugbrand unter Tage"	335
6.1.3.	Das Szenario der GSF zum Förderkorbabsturz	340
6.1.4.	Die Sicherheit der Beschäftigten bei untertägigen Störfällen	343
6.2.	Sicherheitsbetrachtungen für die Nachbetriebsphase	344
6.2.1.	Einleitung	344
6.2.2.	Antriebsmechanismen und Ausbreitungswege	346
6.2.3.	Die sonstigen Voraussetzungen der GSF für die Ausbreitungsrechnungen	349
6.2.3.1.	Wirkung gebindeinterner Barrieren	349
6.2.3.2.	Sorptionsverhalten von Radionukliden	352
6.2.3.2.1.	Grundsätzliches zur Radionuklidsorption	352
6.2.3.2.2.	Zu den Sorptionsmessungen der GSF	356
6.2.3.3.	Die betrachteten Radionuklide und ihre Inventare	358

		Seite
6.2.3.4.	Sonstige Rechenannahmen	359
6.2.4.	Modellrechnungen zur Ausbreitung im Strecken-Schacht-System mit zeitlich unbegrenztem Fließen	360
6.2.4.1.	Das Rechenmodell	360
6.2.4.2.	Zusammenstellung der Rechenannahmen	368
6.2.4.3.	Die Ergebnisse	370
6.2.4.4.	Fazit	377
6.2.5.	Modellrechnungen zur Ausbreitung im Strecken-Schacht-System bei zeitlich begrenztem Antrieb	378
6.2.5.1.	Das Rechenmodell	
6.2.5.2.	Diskussion der Rechenannahmen und -ergebnisse	380
6.2.6.	Modellrechnung zum Auspressen ins Deckgebirge	382
6.3.	Zusammenfassende Wertung	383
6.4.	Literatur zu Kapitel 6	385

EINLEITUNG

I.

Die Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) untersuchte von 1975 bis 1982 im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie die Eignung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung von schwachradioaktiven Abfällen und Stillegungsabfällen.

Im Juni 1982 legte die GSF einen Abschlußbericht vor, der die Beschreibung und Ergebnisse aller im Rahmen der Eignungsprüfung durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und, soweit nach Ansicht der GSF möglich, eine daraus ableitbare Aussage im Hinblick auf die Nutzungsmöglichkeiten und die Sicherheit der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung beinhaltete. Die GSF kommt darin zu folgendem Schluß:

> "Die Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung stellt zum Abschluß der Eignungsuntersuchungen zusammenfassend fest, daß die Eignung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung von schwachradioaktiven Abfällen und Stillegungsabfällen durch die vorliegenden Ergebnisse belegt und die kerntechnische Sicherheit des Betriebes nachgewiesen sind." (S. 21)

Die Bundesregierung hat dieser Eignungsaussage einen hohen politischen Stellenwert verliehen: Ungeachtet des (seit 31. August 1982) vorauss. noch bis 1986 laufenden Planfeststellungsverfahrens beruft sie sich in ihrem Bericht an den Bundestag zur Entsorgung der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Einrichtungen vom 30. August 1983 auf die Ergebnisse der GSF und stellt fest:

> "Die Bundesregierung geht davon aus, daß im Jahre 1988 mit der Einlagerung in der Grube Konrad begonnen werden kann." (S. 10)

In dieser Feststellung drückt sich ein sehr weitgehendes Vertrauen in die Belastbarkeit der Ergebnisse und Schlußfolgerungen der GSF aus.

II.

Die Gruppe Ökologie Hannover wurde am 22. Dezember 1982 von der Stadt Salzgitter beauftragt, ein Gutachten zu erstellen, das die Prüfung und Bewertung des Abschlußberichtes der GSF vom Juni 1982 zum Inhalt hat.

Die Arbeiten an diesem Gutachten, das hiermit vorgelegt wird, begannen im Januar 1983 und wurden im Oktober 1983 abgeschlossen.

Die Erstellung des Gutachtens durch die Gruppe Ökologie wurde durch verschiedene Faktoren behindert und erschwert. Zu nennen sind vor allem:

1. Aufgrund einer Beanstandung des Modus der Auftragsvergabe durch die Bezirksregierung Braunschweig - ausgelöst von einer Eingabe der CDU-Fraktion im Rat der Stadt Salzgitter - mußten die Arbeiten vom 23. Februar 1983 bis zum 27. April 1983 praktisch eingestellt werden.

2. Verschiedene, von der GSF erbetene Informationen zur Klärung von im GSF-Abschlußbericht nicht ausreichend dokumentierten Punkten wurden von der GSF überhaupt nicht (z. B. Angaben zur Wasserbilanz) bzw. mit großer Verspätung (z. B. Angaben zu den Ausbreitungsrechnungen) zur Verfügung gestellt.

3. Ein Gespräch zwischen Vertretern der GSF und der Gruppe Ökologie, das die Gruppe Ökologie Anfang Mai 1983 zwecks Abstimmung in verschiedenen Detailpunkten vorgeschlagen hatte, konnte nicht, wie angestrebt, Ende Mai 1983, sondern erst in der Abschlußphase der Bearbeitung, am 13. September 1983, stattfinden. Grund für diese Verzögerung war, daß die GSF eine entsprechende Vorbereitungszeit zu benötigen meinte.

Dennoch war es der Gruppe Ökologie möglich, den Auftrag der Stadt Salzgitter zu erfüllen. Der Abschlußbericht der GSF wurde umfassend geprüft; eine Bewertung wurde durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden in dem vorliegenden Gutachten dargestellt.

Hannover, im Oktober 1983 Die Autoren

1. ZUSAMMENFASSUNG

Die Gruppe Ökologie Hannover hat entsprechend der Vorgehensweise der GSF in ihrem Abschlußbericht die Ergebnisse ihrer Begutachtung in fünf Hauptteilen dargestellt.

Die wichtigsten Ergebnisse aus den einzelnen Hauptteilen werden in der Folge zusammengefaßt dargestellt.

Beschreibung und Bewertung der geologischen Barriere

Die Schachtanlage Konrad liegt in einer Salzabwanderungszone am Südende des Gifhorner Troges zwischen der Salzstruktur Broistedt-Rolfsbüttel und Teilstrukturen des Oderwald-Sattels, Salzstock Thiede und Drütter Sporn, einer nach Nordwesten gerichteten Ausstülpung des Oderwald-Sattels. Die geologische Barriere für ein mögliches Endlager im Korallenoolith der Grube ist daher das Deckgebirge des strukturbildenden Zechstein-Salinars. Die strukturelle Entwicklung der Salzstöcke Thiede und Broistedt ist noch nicht beendet.

Die am Standort vorhandenen Verwerfungen gehen ebenfalls auf Salzbewegungen zurück. Je nach Alter durchtrennen sie daher die Barriere-Schichtfolge nur zum Teil oder gänzlich. Verwerfungen und Klüfte sind auf das Grubengebäude sehr unregelmäßig verteilt, ein Umstand, der von GSF bei den Untersuchungen am Standort nicht angemessen berücksichtigt worden ist.

Die geologische Barriere weist eine ausgeprägte Gliederung in Grundwasserstockwerke und weniger durchlässige Zwischenschichten auf. Durch Erzexploration bzw. -abbau ist nur etwa die obere Hälfte der Barriere bekannt geworden. Wegen nachgewiesener Wasserführung und ihrer Lage über dem geplanten Endlager bzw. dicht darunter erscheinen folgende Aquifere (einschließlich Endlager-Gestein) besonders wichtig (von oben):

1. Quartär und Plänerkalkstein der Oberkreide (Poren- bzw. Kluftaquifer), 2. Hilssandstein des Unteralb (Porenaquifer), 3. Korallenoolith, einschließlich Erzlager und tiefer Kimmeridge (Kluftaquifer), 4. Cornbrash-Sandstein des Dogger (Porenaquifer).

Als Zwischenschichten fungieren über dem Erzlager mehr oder weniger tonige Gesteine des oberen Malm und der Unterkreide, darunter Heersumer Schichten und Ornatenton des oberen Dogger.

Die Beschreibung der Einzelteile der geologischen Barriere am Standort Konrad im GSF-Abschlußbericht ist unvollständig. Das gilt inbesondere für das obere Grundwasserstockwerk und den Hilssandstein, über die von GSF dennoch sicherheitsmäßige Aussagen gemacht werden, aber auch für weitere Aquifere in der Unterkreide (Flammenmergel , Hauterive-Kalkstein) sowie alle Grundwasserstockwerke unterhalb des Korallenoolith-Erzes.

Angaben über Ausdehnung und Lagebeziehungen von Aquiferen und Zwischenschichten fehlen i. a. überhaupt. Stattdessen wird die abdichtende Wirkung der tonigen Kreideserien mit unangemessenen Vergleichen mit entfernt liegenden Erz- oder Erdöllagerstätten beschworen.

Dabei wäre bereits bei der Beschäftigung mit den Lagerungsverhältnissen am Standort deutlich geworden, daß die von GSF sicherheitsmäßig besonders positiv beurteilten smektitreichen Alb-Gesteine nur im Nordabschnitt der Grube eine Schutzfunktion gegen Wasserzutritt in das Endlager von oben wahrnehmen können: Im Süden werden sie von wassergefülltem Hilssandstein unterlagert, der hydraulisch wirksam mit der Oberfläche verbunden ist.

Gesteine des oberen Malm und damit auch des Korallenoolith treten in der Umgebung der Schachtanlage nicht an die Oberfläche, sondern werden von tonigen Gesteinen der Unterkreide

abgedeckt. (Dies ist die einzige sicherheitsrelevante Angabe im GSF-Abschlußbericht über Lagerung und Verbreitung eines Grundwasserleiters.) Der Kluftaquifer "Korallenoolith" ist daher nicht wassergesättigt. Grundwasserneubildung findet entweder von oben durch die Unterkreide-Tonsteine oder von unten aus dem Cornbrash-Sandstein durch den Ornatenton statt.

Alle anderen genannten Grundwasserstockwerke stehen nachweislich oder wahrscheinlich mit der Oberfläche und/oder höheren Grundwasserstockwerken in Verbindung. Der Grundwasserabstrom erfolgt, wie in Nordwestdeutschland üblich, generell nach Norden.

Im obersten Grundwasserstockwerk findet Grundwasserneubildung im Standortbereich statt. Bei den übrigen Stockwerken liegen die Neubildungsgebiete in den Flankenbereichen der benachbarten Salzstrukturen, die damit zugleich die Wasserscheiden der Grundwasserstockwerke und die seitliche Begrenzung des bei einer Eignungsuntersuchung mindestens zu betrachtenden Gebiets darstellen.

Angaben über den von GSF selbst für den Eignungsnachweis für erforderlich gehaltenen Umfang der gezielten geowissenschaftlichen Untersuchungen oder den Zeitrahmen, für den die Ergebnisse Gültigkeit haben müssen oder haben, oder mögliche Veränderungen der heutigen geologischen Rahmenbedingungen enthält der GSF-Abschlußbericht nicht. Dieser Mangel wiegt umso schwerer, weil Art und Menge der in der Grube Konrad endzulagernden Abfälle bei Untersuchungsbeginn offenbar noch nicht genau feststanden.

Auch Mitteilungen über Ziel und Aussagekraft der angewendeten Methoden sowie Repräsentativität und Zustand der Proben fehlen im GSF-Abschlußbericht weitgehend. Mit Ausnahme der in der Grube aufgeschlossenen Einheiten stammen die Proben aus der Zeit des Schachtabteufens und sind daher wegen Auflockerung oder Verwitterung für die Ermittlung von Eigenschaften, die auch für den Gesteinsverband gültig sind, i. a. ungeeig-

net. Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit der Gesteine und zum Sorptionsvermögen gegenüber Radionukliden sind sogar ausschließlich an Proben aus Schacht Konrad 1 durchgeführt worden. Nach welchen Gesichtspunkten die Proben für bestimmte Untersuchungen ausgewählt wurden, wird i. a. nicht mitgeteilt.

Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse erfolgt nicht nach den Gesteinstypen der Schichtfolge geordnet, sondern nach Methoden. Ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersuchungsmethoden untereinander und mit petrographischen Eigenschaften ist daher i. a. nicht möglich. Die von GSF aus diesen Ergebnissen gezogenen Schlußfolgerungen sind daher oft nicht nachvollziehbar oder überprüfbar.

Außerdem erscheint wegen dieser Art der Darstellung der feinklastische Gesteinskomplex von Oberjura und Unterkreide über dem Endlager einheitlicher, als er in Wirklichkeit ist. Eine besonders wichtige Schutzfunktion in dieser Serie schreibt GSF den smektitreichen Alb-Gesteinen zu, eine Einschätzung, die durch die Untersuchungsergebnisse nicht erhärtet wird.

Die Durchlässigkeit von Gesteinen über dem Erzlager wurde an insgesamt vier Tonsteinproben aus dem Alb (2 Proben), dem Apt (1 Probe) und dem mittleren Korallenoolith (1 Probe) untersucht. Die Bestimmungen lieferten erwartungsgemäß niedrige Werte, sind jedoch schon zahlenmäßig nicht für die gesamte Schichtfolge über dem Erzlager repräsentativ. Nach GSF-Behauptung soll es sich dennoch um die höchsten Durchlässigkeiten in den entsprechenden Einheiten handeln.

Ergänzend wurde die Wasseraufnahmekapazität der Tonsteine untersucht, wobei eine Methode mit vorhergehender Probenzerkleinerung und -trocknung zur Anwendung kam, die keine direkten Rückschlüsse auf Ausmaß und Dauer der Quellung von Tonstein im Gesteinsverband zuläßt. Nach den Ergebnissen weisen die smektitreichen Alb-Tonsteine entgegen GSF-Aussagen nicht

generell gute Wasseraufnahmekapazität auf. Von welchen Faktoren die Meßwerte i. E. beeinflußt werden, hat GSF nicht untersucht.

Bei den Durchlässigkeitsbestimmungen an Eisenerz und Nebengestein wurde nicht die für Kluftaquifere, wie die Korallenoolith-Gesteine, eigentlich wichtige Gebirgspermeabilität, sondern die Permeabilität des ungestörten Gesteins ermittelt. Während Laborbestimmungen bei Kluftaquiferen wie den Korallenoolith-Gesteinen von vornherein ungeeignet sind, wird die Aussagekraft der in-situ-Bestimmungen dadurch geschmälert, daß sie in relativ wenig gestörten Grubenbereichen durchgeführt worden sind. Bei der Auswertung der Messungen und der Bewertung der geologischen Barriere sind die höchsten Durchlässigkeitswerte sogar als störend aussortiert worden, so daß über die Gebirgsdurchlässigkeit von Erz und Nebengestein keine angemessenen Aussagen vorliegen.

Obwohl beim Abteufen der Schächte und beim Erzabbau Wasser ausschließlich aus Klüften zugetreten ist, ist das Kluftvolumen des Korallenoolith-Aquifers nicht bestimmt worden. Selbst die Kluftdichte (Klüftigkeit), ein indirektes Maß für die Durchlässigkeit, ist nur für Großklüfte und nur in Teilbereichen der Grube bestimmt worden.

Zur Ermittlung des Sorptionsvermögens der Gesteine gegenüber Radionukliden sind die spezifische Oberfläche, die Kationenaustauschkapazität und der Verteilungskoeffizient (K_d-Wert) an Proben aus dem Erz, seinem Nebengestein und der hangenden Tonsteinfolge untersucht worden. Der K_d- Wert kennzeichnet die gesuchte Eigenschaft als einziger dieser Parameter direkt. Er wurde jedoch nach einem Verfahren ermittelt, das bei Festgesteinen, insbesondere Kluftaquiferen, wegen mechanischer Aufbereitung der Proben und Verwendung nur der feinen Fraktion lediglich materialspezifische, jedoch keine für das Verhalten im Gesteinsverband gültigen Aussagen zur Radionuklidrückhaltung erlaubt. Die nach GSF-Meinung besonders sorptionsfähigen Alb-Tonsteine unterscheiden sich keineswegs positiv von anderen Tonsteinen.

Der Korallenoolith-Aquifer ist nicht wassergesättigt. Anhaltspunkte dafür, daß sich alles heute in die Grube fließende Grundwasser seit Jahrmillionen in ihm befand, wie GSF behauptet, gibt es nicht.

Die im GSF-Abschlußbericht enthaltenen Daten lassen keine Aussagen über die aus dem Gebirge in die Grube zutretenden Mengen an Tiefen-Grundwasser zu, weil sich alle meßbaren Mengen aus Grundwasser und Brauchwasser zusammensetzen. Der Anteil von Grundwasser, der die Grube über Klüfte verläßt, ist ebenfalls unbekannt. Versuche, die Neubildungsrate zu bestimmen oder abzuschätzen, hat GSF nicht unternommen.

Die GSF-Aussage, wonach die Grube austrockne, ist unzutreffend. Vielmehr hat sich die durch Pumpen oder mit dem Wetterstrom aus der Grube ausgetragene Wassermenge seit Anfang 1980 nicht mehr verändert. Die von GSF für Mengenschwankungen des in den Pumpensümpfen anfallenden Wassers genannten Gründe (Nachlassen der Zuflüsse von Spülversatzwasser, zusätzlicher Wasserverbrauch durch Maschinen) können wegen zeitlicher Diskrepanzen zwischen Ursache und Wirkung nicht (allein) zutreffen.

Vorstellungen darüber, wie sich das Wasser heute oder nach Vollaufen der Grube im Grubengebäude bewegt, oder wie lange das Vollaufen der nach Einlagerungsende verbleibenden Hohlräume dauern wird, hat GSF nicht entwickelt. Entsprechende Rechnungen zeigen, daß wegen des langen Sicherstellungszeitraums selbst geringste Zuflußmengen an tiefem Grundwasser von Bedeutung sind.

Durch verschiedene hydrochemische Untersuchungen und chemische Untersuchungen an Sekundärmineralen versucht GSF nachzuweisen, daß sich die Konrad-Tiefenwässer in Korallenoolith und Hilssandstein seit langer Zeit unverändert im Gebirge befinden und keine Verbindung zu den Salzstöcken Broistedt bzw. Thiede aufweisen. Die zu diesem Zweck durchgeführten Spurenelementuntersuchungen leiden darunter, daß in Wasser

und Wirtsgesteinen nicht dieselben Spurenelemente untersucht worden sind. Darüber hinaus stammt das untersuchte Wasser aus den Pumpensümpfen und ist daher eine Mischung aus Grundwasser und Brauchwasser. Das im Korallenoolith anfallende Wasser weist dennoch eine formationstypische Prägung auf, die allerdings nicht die Aussage rechtfertigt, daß es sich seit Millionen von Jahren im Gestein befindet. Die Untersuchungen beweisen lediglich, daß durch den Transport des Wassers durch das Gebirge eine Homogenisierung der Wässer verschiedener Herkunft stattfindet. Das Hilssandstein-Wasser erweist sich aufgrund übereinstimmender Ergebnisse verschiedener Untersuchungsmethoden als durch Subrosionslösungen beeinflußt. Dieser Befund steht in Einklang mit den Lagerungsverhältnissen in der geologischen Barriere. Bei Tritiumbestimmungen, aufgrund derer GSF Oberflächenverbindung ausschließt, ist die Laufzeit des Grundwassers im Hilssandstein zwischen Oberfläche und Schacht Konrad 2 nicht berücksichtigt worden. Die Tritiumbestimmungen sind daher ohne Aussagekraft.

Nach GSF-Meinung besitzt die geologische Barriere am Standort Konrad weit mehr als die erforderliche Qualität, um den sicheren Langzeitabschluß der schwachradioaktiven Abfälle und der Stillegungsabfälle von der Biosphäre zu gewährleisten. Diese Einschätzung ist anhand der im GSF-Abschlußbericht dargestellten Untersuchungsergebnisse nicht nachvollziehbar.

Bewertung der geomechanischen Untersuchungen und Verhältnisse sowie der bergtechnischen Aspekte

Die von der GSF durchgeführten Untersuchungen zur Ausbildung und Entwicklung des oberirdischen Absenkungstroges sind in Hinblick auf die Prüfung der Endlagereignung der Schachtanlage Konrad nicht direkt sicherheitsrelevant. Ihre Zielsetzung liegt in einer Abschätzung der durch die Absenkung bedingten Schäden an übertägigen Kunstbauten. Dabei sind bei der großen Teufe der Grube Konrad und dem relativ kleinen Grubenhohlraum erfahrungsgemäß keine extrem großen Probleme für übertägige Kunstbauten zu erwarten. Gerade deswegen ist

es unverständlich, weshalb der GSF sowohl eine widerspruchsfreie Darstellung der bereits abgelaufenen Gebirgsabsenkung nicht gelungen ist, als auch die Abschätzung der noch zu erwartenden Gebirgsabsenkung auf zum Teil unsicheren Parametern beruht (v. a. Absenkungsfaktor, Grenzwinkel).

Von direkter Bedeutung für die Endlagersicherheit ist das Verhalten des Gebirgsverbandes während seiner Absenkung. Hierbei soll nach GSF aufgrund des elastoplastischen Verhaltens des Gebirges die Ausbildung von Wasserwegsamkeiten durch die Gebirgsabsenkung nicht möglich sein. Die von der GSF angeführten Beweise für das elastoplastische Gebirgsverhalten können jedoch als solche nicht anerkannt werden, da sie lediglich allgemeingültige Feststellungen sind, die für das Verhalten jeglichen Deckgebirges über einem tiefgelegenen Abbau zutreffen. Dennoch kann umgekehrt ein nicht-elastoplastisches Gebirgsverhalten ebenfalls nicht abgeleitet werden. Die GSF hat nur (unbewiesene) positive Eigenschaften des Gebirgsverbandes aufgezeigt. Darüber hinaus gehende sicherheitsrelevante Probleme sind nicht betrachtet worden (Einfluß des Gebirgsverhaltens auf die Langzeit-Konvergenz, Auswirkung der Gebirgsabsenkung auf die Schächte).

Die von der GSF angestellten Untersuchungen und Überlegungen zur Konvergenz sind dadurch gekennzeichnet, daß nirgendwo ein Zusammenhang zwischen der Konvergenz und ihrer Wirkung als Antriebsmechanismus zur Ausbreitung kontaminierten Wassers aus dem möglicherweise abgesoffenen Endlager hergestellt wird. Gerade die Klärung dieses Zusammenhanges stellt den sicherheitsrelevanten Punkt bei diesen Untersuchungen dar. Die GSF hat die Konvergenz offensichtlich allein unter dem Gesichtspunkt der bergmännischen Beherrschbarkeit der Grubenhohlräume betrachtet; diese ist durch die Erfahrungen bei der betrieblichen Erzgewinnung schon nachgewiesen.

Weiterhin hat die GSF sich bei der Abschätzung des zeitlichen Verlaufs der Konvergenz allein auf Daten gestützt, die aus einem engbegrenzten Bereich des Grubengebäudes stammen (v.a.

Strecke 672). Eine vorbehaltlose Übertragung der dort gewonnenen Ergebnisse auf den übrigen Grubenbereich bzw. auf noch aufzufahrende Einlagerungsfelder ist im Rahmen einer Eignungsuntersuchung nicht statthaft. Darüber hinaus hat die GSF bestimmte Vorgänge, die v. a. nach einem Wasserzutritt in die Grube auf das Konvergenzverhalten einwirken könnten, nicht betrachtet.

Bei den von der GSF durchgeführten Untersuchungen zur Auflockerung des Gebirges um die Grubenhohlräume kommen Verfahren zur Anwendung, die verläßliche Aussagen über den Grad der Gebirgsauflockerung liefern. Dennoch sind diese Untersuchungen der GSF von geringem Wert und nicht belastbar genug, um Eingang in eine Eignungsaussage zu finden. Der Grund dafür ist, daß diese Untersuchungen ebenfalls nur in einem engbegrenzten Grubenbereich (v. a. Strecke 672, Parallelstrecken 532, 542, 552) durchgeführt worden sind und eine Übertragung der dort ermittelten Werte auf den gesamten Bereich des geplanten Endlagers wegen der bekannten Inhomogenität des Gebirges nicht möglich ist. Eine solche Vorgehensweise vernachlässigt z.B. den Einfluß einer stark unterschiedlichen Erzmächtigkeit oder die verschieden starke tektonische Beanspruchung einzelner Grubenbereiche. Immerhin zeigt sich bei den durchgeführten Versuchen, daß nach Auffahren einer Strecke die Gebirgsauflockerung sehr rasch abläuft und z. T. weit in den Streckenmantel hineinreicht. Unverständlich ist, warum die GSF einen Wasserzutritt infolge der Auflockerung vom Liegenden her (z.B. Cornbrash) nicht betrachtet hat.

Die GSF hat noch zwei weitere Untersuchungsmethoden angewandt (Ultraschall-Messung und Fernseh-Bohrlochsondierung), die detailliertere Angaben zur Gebirgsauflockerung ermöglichen sollten. Auch die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind nicht repräsentativ, da die Ultraschall-Messungen nur in einem einzigen Bohrloch vorgenommen worden sind, und die Fernseh-Bohrlochsondierung nur in zwei Bohrlöchern durchgeführt worden ist. Darüber hinaus sind die Möglichkeiten der Fernseh-Bohrlochsondierung nicht ausgeschöpft worden (z. B. Feststellung der Öffnungsweite der Klüfte).

Zur Ermittlung der Spannungszustände im Gebirge und der Gebirgsmoduln hat die GSF in-situ-Versuche durchgeführt, deren

Ergebnisse nicht infrage gestellt werden. Jedoch sind auch hier alle Versuche in nur einem einzigen Bohrloch der Strecke 672 durchgeführt worden, d. h. die gewonnenen Ergebnisse sind ebenfalls nicht repräsentativ für den übrigen Grubenbereich oder die geplanten Einlagerungsfelder. Die Vorgehensweise der GSF ist unverständlich, da allgemein anerkannt ist, daß die Ermittlung von Gebirgsspannungen und Gebirgsmoduln eine große Anzahl von Messungen in großräumiger Verteilung erforddert.

Lediglich die hydraulic-fracturing Versuche zur Ermittlung des Gebirgsspannungsfeldes werden an drei verschiedenen Orten des Grubengebäudes durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind jedoch nicht belastbar und deshalb für die Mitbegründung einer Eignungsaussage ungeeignet. Dies deshalb, weil technische Schwierigkeiten mit dem Verfahren aufgetreten sind und weil zur Auswertung der gewonnenen Daten Annahmen getroffen werden mußten, die nicht zutreffen.

Die von der GSF durchgeführten Laborversuche zur Ermittlung von Festigkeitseigenschaften und Scherfestigkeitsverhalten des Eisenerzes sind alle an Gesteins-Probekörpern durchgeführt worden. Dabei werden insbesondere die durchgeführten Scherversuche dem komplexen Ursachen-Wirkungsgefüge, das letztendlich die Scherkraft bestimmt, nicht gerecht (so ist z. B. die Abhängigkeit der Scherfestigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit nicht berücksichtigt worden; nicht betrachtet worden ist auch der Einfluß von Wasser auf die Scherfestigkeit).

Grundsätzlich ist die von der GSF vorgenommene vorbehaltlose Übertragung der an Gesteinsproben ermittelten (Scher-)Festigkeitseigenschaften auf das Gebirge problematisch, da die Eigenschaften eines Gesteines i. allg. wesentlich günstiger sind als die Eigenschaften des Gebirges, das aus diesem Gestein aufgebaut wird. Diese Problematik ist von der GSF nicht beachtet worden, so daß Zweifel an der aus den Untersuchungen abgeleiteten positiven Standsicherheitsaussage angebracht

sind (dies gilt v. a. auch für den rechnerischen Standsicherheitsnachweis).

Die Untersuchungen zur rezenten Tektonik und zur Mikroseismizität des Grubengebäudes sind in Hinblick auf die Eignungsuntersuchung für das geplante Endlager nur von untergeordneter Bedeutung. Dies rührt v. a. daher, daß zwei der angewandten Meßverfahren entweder relativ unsichere Aussagen (Seismometer-Messungen) oder überhaupt nicht belastbare Aussagen (Bohrloch-Neigungsmesser) geliefert haben. Eine Eignungsuntersuchung bzw. eine Eignungsaussage für ein Endlager darf nur auf belastbaren Daten beruhen; dies ist hier nicht der Fall.

Die im Grubengebäude durchgeführten seismischen Laufzeitmessungen führen zu Ergebnissen, die an sich keines weiteren Kommentares bedürfen. Jedoch ist die von der GSF gegebene Interpretation dieser Ergebnisse unter Zuhilfenahme von Ergebnissen der Ultraschall-Messungen in einem Bohrloch in der von der GSF durchgeführten Art und Weise nicht statthaft. Deshalb ist die daraus abgeleitete positive Eignungsaussage für den Feldesteil zwischen 4. und 5. Sohle so nicht zu begründen.

Bei den Untersuchungen zu den bergtechnischen Aspekten des Endlagerbetriebes sind zwei Sachverhalte für die erforderliche Sicherheit bedeutsam: die Undurchlässigkeit der Abschlußdämme sowie die Standsicherheit und Wasserundurchlässigkeit der Schachtverfüllung.

Nach Angabe der GSF sollen die geplanten Abschlußdämme praktisch wasserundurchlässig sein bzw. ihre Durchlässigkeit der des engeren Streckenmantels entsprechen. Beide Forderungen sind nicht erfüllt. Die Schüttdämme sind aller Voraussicht nach nicht wasserdicht zu gestalten (bedingt durch Erosion von Feinteilchen innerhalb des Korngerüstes). Sie können nur als "schlecht durchlässig" bezeichnet werden. Weiterhin ist die Durchlässigkeit des engeren Streckenmantels größer als

die GSF es annimmt. Das bedeutet, daß selbst im Fall der Herstellung absolut dichter Dämme das Wasser sich durch die Auflockerungszone im Streckenmantel um die Dämme herum bewegen würde.

Die beiden Schächte des Grubengebäudes (neben den von der GSF nicht ausführlich betrachteten drei im Grubengebäude stehenden Tiefbohrungen) stellen die einzige direkte Wegsamkeit durch die Barriere Deckgebirge dar. Ihre langfristig wirksame wasserdichte und standsichere Verfüllung ist deshalb eine wichtige Voraussetzung für die positive Eignungsaussage.

Dieser entscheidende Sachverhalt ist von der GSF nicht geklärt worden. Das von der GSF vorgestellte Verfüllkonzept besitzt einen rein modellhaften Charakter und kann höchstens als Vorschlag für die Schachtverfüllung angesehen werden. Die GSF hat weder die Verfüllmaterialien spezifiziert, noch beruhen ihre Standsicherheitsberechnungen auf Voraussetzungen, deren Erfüllung nachgewiesen ist. Darüber hinaus hat die GSF sich nicht mit dem Problemkreis der Langzeitsicherheit der verfüllten Schächte beschäftigt (z. B. Einfluß korrosiver Gebirgswässer auf die Schachtverfüllung).

Ohne den Nachweis der sicheren Verfüllung der Schächte und der langzeitigen Wirksamkeit der Schachtverfüllung kann keine positive Eignungsaussage ausgesprochen werden - dies nicht zuletzt deshalb, weil die geologische Barriere Deckgebirge durch die beiden Schächte entscheidend beeinträchtigt ist.

Abfalltechnische Gesichtspunkte für das Endlager

Im Abschlußbericht der GSF wird nicht ausreichend dokumentiert, wie sich die Abfälle zusammensetzen, für die gilt, "daß die Eignung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung von schwachradioaktiven Abfällen und Stillegungsabfällen durch die vorliegenden Ergebnisse belegt ... ist" (S. 21). Das vorgelegte Datenmaterial hat keinen durchgängig einheitlichen Bezugspunkt und erlaubt keine Schlußfolgerungen über die Langzeitgefährdung durch das Endlager.

Die Bearbeiter des GSF-Abschlußberichtes waren in ihrer Problemsicht offenbar auf transport- und handhabungstechnische Aspekte beschränkt.

Unter diesen Umständen hat der Begriff "schwachradioaktive Abfälle" kaum einen Aussagewert. Die oben zitierte Eignungsaussage kommt einem Blankoscheck für die Einlagerung gleich.

Die Qualitätssicherungsmaßnahmen können Fehlklassifizierungen der Abfallablieferer nicht mit Sicherheit ausschließen. Auch hier hat sich die GSF offenbar auf Transport und Handhabung beschränkt.

Für das Mengenaufkommen gilt ähnliches wie für die Abfallbeschreibung. Die anlagenspezifischen Abfallmengenangaben sind in sich nicht völlig konsistent. Die Aussagen über die Gesamtmenge lassen sich nicht schlüssig aus den Einzelangaben ableiten. Die Gesamtmenge ist wahrscheinlich zu niedrig abgeschätzt.

Diese Mängel an Tiefgang und Detaillierung im Abschlußbericht der GSF müssen umso mehr überraschen, als durchaus Daten vorhanden sind, die genauere Bestimmungen von Abfallmengen und Radionuklidinventaren ermöglichen. Im Rahmen der Arbeit an dem vorliegenden Gutachten hat die Gruppe Ökologie das geleistet, wozu die GSF in ihren mehrjährigen Untersuchungen offenbar nicht in der Lage war:

Die einzelnen Abfallarten werden beschrieben; das Radionuklidinventar und sein zeitlicher Verlauf werden angegeben. Darüber hinaus wird für drei mögliche Einlagerungsszenarien (nur schwachaktive Abfälle; schwach- und mittelaktive Abfälle ohne Wiederaufarbeitungsabfälle; schwach- und mittelaktive Abfälle mit Wiederaufarbeitungsabfällen) eine genaue Aufschlüsselung der Zahl der einzulagernden Gebinde nach Abfallart vorgenommen und jeweils ein Gesamtinventar für eine Einlagerungskammer angegeben.

Betrieblicher Strahlenschutz und Emissionen im Normalbetrieb:

Die Ermittlung der Strahlenexposition des Einlagerungspersonals berücksichtigt nicht sämtliche relevanten Belastungsquellen. Der Fall der Hantierung von (nichtentdeckten) beschädigten Gebinden wird nicht betrachtet; die mittlere Oberflächendosisleistung der Gebinde ist u.U. zu niedrig angenommen; die Voraussetzung der GSF, daß der Betriebsablauf störungsfrei ist, ist nicht realistisch. Im GSF-Abschlußbericht wird daher die Strahlenbelastung des Personals möglicherweise unterschätzt.

Die Schätzwerte der GSF selbst sind bis zu etwa dreimal höher als die maximale Personendosis bei der Einlagerung von schwach aktivem Abfall im ehemaligen Salzbergwerk Asse.

Die Abgabe von Radionukliden aus dem Endlager und die Größenordnung der resultierenden Strahlenbelastung in der Umgebung bei bestimmungsgemäßem Betrieb werden nicht auf der Basis konservativer Abschätzungen ermittelt. Art und Menge des einzulagernden Inventars, d. h. die Grundlage der Abschätzung, sind im GSF-Abschlußbericht nicht angegeben, und eine Reihe der verwendeten Parameter ist nicht als konservativ anzusehen (z. B. Bestimmung des kritischen Aufpunktes, Aufenthaltsdauer, Atemrate). Die erforderlichen standortspezifischen Berechnungen zur Abschätzung der Strahlenbelastung durch Ableitung von radionuklidhaltigen Grubenwässern fehlen gänzlich.

Vor Genehmigung und Inbetriebnahme des Endlagers ist deshalb ein radioökologisches Gutachten erforderlich.

Stör- und Unfallbetrachtungen; Sicherheitskonzepte

Die GSF versucht mit ihren Sicherheitsbetrachtungen im Abschlußbericht zu zeigen, daß "unzulässige Aktivitätsfreisetzungen aus dem Endlager nicht stattfinden" (19).

Um diesem Anspruch zu genügen, wäre folgende Vorgehensweise erforderlich gewesen: Am Anfang muß eine Erfassung des gesamten Spektrums möglicher Ereignisse stehen, die zu gegenüber dem Normalbetrieb erhöhten Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung führen können. Als zweiter Schritt hat eine Auswahl von "abdeckenden" Stör- und Unfällen zu erfolgen; d. h. es sind jene Ereignisse auszuwählen, die zu den schlimmst-möglichen Auswirkungen führen. Dabei ist im einzelnen der Nachweis zu führen, daß diese Fälle in ihren Wirkungen tatsächlich unter keinen Umständen von anderen übertroffen werden können. Schließlich muß eine genaue Untersuchung der ausgewählten Ereignisse folgen, wobei durchgängig von nachweislich konservativen bzw. pessimistischen Annahmen auszugehen ist. Erst wenn sich dabei zeigt, daß in jedem untersuchten Falle unzulässige Auswirkungen ausgeschlossen werden können, ist eine positive Aussage zur Sicherheit möglich.

Die Sicherheitsdiskussion der GSF bleibt weit hinter diesem Standard zurück und kann nicht zur Begründung einer Eignungsaussage herangezogen werden.

Bei den Ereignissen in der Betriebsphase wurde nicht das gesamte Spektrum erfaßt. So werden z. B. Brände über Tage nicht untersucht, obwohl diese ein wichtiges Risikomoment darstellen. Bei den betrachteten Störfällen wurde mehrfach mit optimistischen Annahmen gearbeitet.

Die Diskussion des Brandverhaltens der radioaktiven Abfälle ist unvollständig. Für das Szenario "Fahrzeugbrand unter Tage" wurde die Abfallart L441 ausgewählt, obgleich schon bei Betrachtung der Kategorie W441 (gleichfalls schwachaktiv!) erheblich größere Freisetzungen auftreten. Auch für die Bildung radionuklidhaltiger Schwebstoffe und deren teilweise Rückhaltung bei der Ausbreitung durch das Strecken-Schacht-System werden von GSF optimistische Werte eingesetzt.

Eine konservative Betrachtung zeigt, daß bei Brand unter Tage Strahlenbelastungen auftreten können, die um viele Größenord-

nungen höher liegen als die von GSF berechneten. Auch bei Inhalation in 300 m Entfernung werden die Grenzwerte nach Strahlenschutzverordnung z. T. weit überschritten. Nach offiziellem Sprachgebrauch handelt es sich daher z. T. um Unfälle, und nicht um Störfälle.

Es ist daher für die Umgebung des Endlagers die Erstellung eines Katastrophenplanes (Evakuierungsmaßnahmen usw.) zu fordern.

Die Untersuchung des Förderkorbabsturzes durch die GSF weist ähnliche Mängel auf. Die durch dieses Ereignis hervorgerufenen Strahlenbelastungen sind allerdings erheblich niedriger.

Die Frage nach der Sicherheit der unter Tage Beschäftigten bei einem Stör- oder Unfall war der GSF in ihrem Abschlußbericht keine Überlegungen wert. Dabei ist gerade dieser Personenkreis besonders gefährdet.

Auch bei den Sicherheitsbetrachtungen zur Nachbetriebsphase hat die GSF keine Vollständigkeit erreicht. Wichtige Punkte wurden nicht betrachtet; z. T. wird mit optimistischen Annahmen gerechnet, die Modelle sind jedenfalls nicht konservativ.

So wird z. B. Wasserzutritt über den Cornbrash-Sandstein ausgeschlossen, und die Existenz eines hydraulischen Potentials als Antriebsmechanismus für die Bewegung kontaminierter Lauge nicht betrachtet. Die GSF bleibt die Begründung für diese Einschränkungen schuldig.
Die GSF war in ihrem Abschlußbericht auch nicht in der Lage zu beweisen, daß ein Wasserzutritt mit folgender Ausbreitung in oberflächennahe Schichten tatsächlich nur als "hypothetisches" Ereignis (21) angesehen werden kann.

Die Aussagen zur Wirkung der gebindeinternen Barrieren sind nicht belastbar. Auch die Messungen zur Radionuklidrückhaltung durch Sorption liefern keine belastbaren Ergebnisse. Der Einfluß verschiedener sorptionsmindernder Faktoren wird in den Modellrechnungen der GSF nicht berücksichtigt.

Bei der Auswahl der bei den Ausbreitungsrechnungen zu betrachtenden Radionuklide wurden wichtige Stoffe (z. B. Jod-129) ignoriert, die z. T. selbst nach den (niedrigen) Inventarannahmen der GSF in nicht vernachlässigbarer Menge vorhanden sind.

Die im GSF-Abschlußbericht am umfangreichsten dokumentierte Modellrechnung (Ausbreitung im Schacht, D5.2.2) enthält einen Umrechnungsfehler, durch den die am oberen Schachtende auftretenden Maximalkonzentrationen stark unterschätzt werden (max. um den Faktor 2000).

In Widerspruch zu den Aussagen der GSF ist auch nicht schlüssig bewiesen, daß diese Rechnungen vom Ansatz her über-konservativ sind und zu Ergebnissen führen, die um einige Größenordnungen zu hoch liegen (ganz abgesehen davon, daß dies z. T. allein durch die Korrektur des genannten Rechenfehlers schon ausgeglichen würde): Die Faktoren, die GSF in ihren Rechnungen nicht berücksichtigt, und die nach ihrer Meinung stark konzentrationsmindernd bzw. ausbreitungshemmend wirken werden, wurden bei den Rechnungen der Gruppe Ökologie z. T. berücksichtigt (Löslichkeitsgrenzen, dichtere Schachtverfüllung), z. T. sind sie unrealistisch (z. B. dichte Dämme, erhöhte Sorption in der Streckenverfüllung).

Die Berechnungen der Gruppe Ökologie erbrachten folgendes Ergebnis:

Bei sämtlichen betrachteten Radionukliden ergeben sich Überschreitungen der maximal zulässigen Konzentration am oberen Schachtende - in jedem Falle auch bei Annahmen, wie sie auch von der GSF getroffen wurden.

Bei Technetium-99, Jod-129 und Neptunium-237 wird der gesetzliche Grenzwert auch noch bei Ausbreitungsgeschwindigkeiten überschritten, die (z. T. erheblich) unter den von GSF betrachteten Geschwindigkeiten liegen.

Bei Neptunium-237 (dem einzigen der drei genannten wichtigen Nuklide, das auch von GSF betrachtet wurde) wird der Grenzwert auch unter der Annahme starker Sorption nach GSF überschritten.

Bei den Modellrechnungen der GSF zum Auspressen der kontaminierten Wässer aus den Lagerkammern (D5.2.3) wird nur eine einzige Kammer isoliert betrachtet. Bei einer Überlagerung der durch mehrere Kammern hervorgerufenen Strömungen - die in der Realität jedenfalls zu erwarten ist - folgt für Strontium-90 auch bei nicht-konservativen Annahmen zur Rückhaltung durch Sorption Grenzwertüberschreitung am oberen Schachtende.

Weiterhin gehen in die Rechnungen der GSF einige optimistische Annahmen ein (z. b. zu langer Ausbreitungsweg, geringes Inventar).

Die ebenfalls in D5.2.3 des GSF-Abschlußberichtes kurz diskutierte Ausbreitung durch Auspressen in das umgebende Gebirge ist schon von ihren Grundannahmen (völlig dichter Verschluß der Kammern) her völlig unrealistisch.

Auch für die Nachbetriebsphase kann die GSF somit nicht belegen, daß unzulässige Radionuklidfreisetzungen auszuschließen sind. Konservative Betrachtungen auf der Basis der auch von GSF benutzten Modelle deuten auf das Gegenteil hin.

DIE GRUPPE ÖKOLOGIE HANNOVER STELLT ZUM ABSCHLUß IHRER BEGUTACHTUNG DER ERGEBNISSE DER EIGNUNGSUNTERSUCHUNG DER GESELLSCHAFT FÜR STRAHLEN- UND UMWELTFORSCHUNG ZUSAMMENFASSEND FEST, DAß DIE EIGNUNG DER SCHACHTANLAGE KONRAD FÜR DIE ENDLAGERUNG VON SCHWACHRADIOAKTIVEN ABFÄLLEN UND STILLEGUNGSABFÄLLEN DURCH DIE UNTERSUCHUNGEN DER GSF NICHT BELEGT UND DIE KERNTECHNISCHE SICHERHEIT DES BETRIEBES NICHT NACHGEWIESEN WERDEN. DIES GILT VERSTÄRKT FÜR ANDERE ARTEN RADIOAKTIVER ABFÄLLE.

Bei den Untersuchungen der GSF wurden unangemessene Methoden verwendet, Daten einseitig interpretiert und wichtige Bereiche nicht untersucht. Nach konservativen Sicherheitsbetrachtungen auf der Grundlage der Modellrechnungen der GSF sind unzulässige Radionuklidfreisetzungen aus dem Endlager nicht auszuschließen.

2. Beschreibung und Bewertung der geologischen Barriere

(GSF-Abschlußbericht: Teil B)

2.1. Anspruch an die geowissenschaftliche Eignungsuntersuchung

Bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle im geologischen Untergrund wird in der Bundesrepublik Deutschland wie international nach dem "Mehrbarrieren-Konzept" oder "Multibarrieren-Konzept" verfahren. Darin sind zu unterscheiden:

Geologische Barrieren:	Endlagerformation, Deckgebirge/Nebengestein;
Technische Barrieren:	Abfallform, Verpackung, Versatz.

Durch einzelne oder die Summe dieser Barrieren muß sichergestellt werden, daß keine unzulässige Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus dem Endlager in die Biosphäre erfolgt. Die Vorgehensweise für die Untersuchung und Eignungsfeststellung eines möglichen Endlagerstandorts ist in den sog. "Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" der Reaktorsicherheitskommission (RSK, 1983) in allgemeiner Form festgelegt.

Die Funktionstüchtigkeit eines an einem Endlager-Standort vorhandenen Barrierensystems muß danach durch eine Sicherheitsanalyse festgestellt werden. Vereinfacht ausgedrückt werden dabei die RN-Konzentrationen berechnet, die unter bestimmten, in Rechenmodellen nachgebildeten Bedingungen ("Szenarien") der Betriebs- und der Nachbetriebsphase des Endlagerbergwerks in die Biosphäre gelangen können. Ergeben sich dabei auch nur unter ungünstigsten Störfallannahmen RN-Konzentrationen oberhalb des gesetzlich festgelegten Grenzwerts (z. Z. 30 mrem/a nach Strahlenschutzverordnung), so gilt das Endlager als ungeeignet.

Wasser ist das wichtigste Transportmittel für Radionuklide. Die Schutzfunktion der Barrieren besteht daher vor allem in ihrem Vermögen, Wasser an der Aufnahme von Radionukliden aus dem Endlager zu hindern oder mindestens den Eintritt von nuklidbeladenem Wasser in die Biosphäre in ausreichendem Maße zu verzögern.

Im Rahmen der Eignungsuntersuchung eines bestimmten Standorts sind vor allem die geologischen Barrieren von Bedeutung, weil sie die standortspezifisichen Verhältnisse am stärksten beeinflussen. Ihre Bedeutung steigt außerdem mit zunehmendem Anteil langlebiger Radionuklide im Abfall, weil die langfristige Funktionstüchtigkeit der technischen Barrieren weder nachgewiesen noch unterstellt werden kann. Damit ist zugleich klar, welche Abfälle in das Endlager gebracht werden sollen und für welchen Zeitraum der Eignungsnachweis zu führen ist (s. 4.3.1.).

Da mit der Sicherheitsanalyse die Funktionstüchtigkeit der Barrieren auch unter ungünstigen Randbedingungen nachgewiesen werden muß, dient die Eignungsuntersuchung der geologischen Barriere(n) vor allem der Identifizierung und genauen Beschreibung ihrer Schwachstellen. Solche Schwachstellen sind natürliche oder künstliche Wasserwegsamkeiten zwischen Endlager und Biosphäre, also Zonen innerhalb der Barriere(n), in denen sich (RN-beladenes) Wasser so schnell und in solchen Mengen bewegen kann, daß Radionuklide in die Biosphäre gelangen können.

Natürliche Wasserwegsamkeiten können Teile der geologischen Barriere(n) oder u. U. eine gesamte Barriere sein, z. B. wasserdurchlässige Gesteine oder Verwerfungen. Künstliche Wasserwegsamkeiten sind z. B. offene oder verfüllte Schächte und Strecken des Endlagerbergwerks oder Bohrungen.

Es darf unterstellt werden, daß der Inhalt des Papiers der Reaktorsicherheitskommission (1983, s. o.) bereits vor dessen Veröffentlichung Bestandteil der RSK-Meinung zur Endlagerung

war. Jedenfalls hat die RSK offenbar bereits anläßlich der Diskussion über den zusammenfassenden Zwischenbericht zum Stand der Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad (EGT 1981) den Mangel an konkreten Aussagen zur RN-Ausbreitung über den Luft- bzw. Wasserpfad festgestellt (Merz 1982, zitiert nach GSF-Abschlußbericht, Band I: S. 3). Der GSF muß daher bereits vor bzw. während der Abfassung ihres Abschlußberichts über die "Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle" bekannt gewesen sein, daß die Untersuchungsergebnisse in eine Sicherheitsanalyse einbezogen werden müssen. Die im o. a. angegebenen RSK-Papier (1983) festgelegten Anforderungen an eine Eignungsprüfung können daher (ohne Anerkenntnis ihrer Vollständigkeit und Angemessenheit) als ein Mindestanspruch an die Eignungsuntersuchung der Schachtanlage Konrad und den Abschlußbericht dazu aufgefaßt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß jede geologische Eignungsaussage über einen Standort erhebliche sicherheitsmäßige und politische Bedeutung hat.

Eine angemessene sicherheitsrelevante Untersuchung von Geologie und Hydrogeologie der geologischen Barriere(n) des Standorts Konrad und der zugehörige Abschlußbericht der GSF müssen daher folgenden Anforderungen genügen:

- Die Beschreibung der geologischen Barriere(n) mit tatsächlichen und potentiellen Wasserwegsamkeiten und Grundwasser-Nichtleitern muß alle Barrierenteile umfassen und ihre Eigenschaften möglichst quantitativ erfassen. Mindestens muß sie deren sicherheitsrelevante Eigenschaften sowie gegenseitige Lagebeziehungen enthalten. Die wichtigsten Eigenschaften sind die Wasserdurchlässigkeit der Gesteine und ihr Rückhaltevermögen gegenüber Radionukliden.

- Die Untersuchungsmethoden müssen zur Feststellung der gesuchten Barriereeigenschaften nachweislich geeignet sein. Bevorzugt sind solche Methoden anzuwenden, mit denen sicherheitsrelevante tatsächliche Eigenschaften unter Standortbedingungen bestimmt werden können.

- Der Verzicht auf die Untersuchung oder Darstellung von Barriereteilen ist zu begründen.

- Das für gezielte Untersuchungen der Gesteinseigenschaften ausgewählte bzw. zur Verfügung stehende Material muß die geologische(n) Barriere(n) insgesamt bzw. wichtige Einzelteile nach Zusammensetzung und Zustand in angemessener Weise repräsentieren.

- Alle sicherheitsrelevanten Angaben müssen für den gesamten Sicherstellungszeitraum und für den gesamten für die Endlagerung vorgesehenen Grubenbereich gelten.

2.2. Geologischer Rahmen

2.2.1. Abgrenzung und Gliederung der geologischen Barriere

Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Salzstock, dessen geologische Barrieren Salz(stock) und Deckgebirge/Nebengestein (s. 2.1.) sich in hydrogeologischer und mechanischer Hinsicht qualitativ unterscheiden, sind Endlagerformation (Korallenoolith-Erz) und Deckgebirge/Nebengestein am Standort Konrad hydrologisch und mechanisch prinzipiell gleichartig einzuschätzen. Im Gegensatz zu den Darstellungen der GSF (Abschlußbericht: insbesondere Kap. B 4) gibt es daher nur eine in sich gegliederte geologische Barriere. Deren Einzelteile unterscheiden sich in ihren sicherheitsrelevanten Eigenschaften i. W. quantitativ.

Das für die Endlagerung vorgesehene Korallenoolith-Erz ist Teil einer mehr als 2200 m mächtigen Folge aus Sedimentgesteinen des Mesozoikum mit einer dünnen Auflage aus eiszeitlichen Serien, deren Ablagerung vor ca. 225 Millionen Jahren (in der Buntsandstein-Zeit) begann und mit Unterbrechungen bis in die geologische Gegenwart andauert. Sie besteht aus im Vergleich zu ihrer flächenhaften Ausdehnung sehr dünnen

Schichten, die sich durch bestimmte i. a. entstehungsbedingte Eigenschaften voneinander unterscheiden. Dazu gehören z. B. die Gesteinszusammensetzung und damit zugleich die sicherheitsmäßig wichtigen Eigenschaften Wasserdurchlässigkeit und Sorptionsvermögen.

Die meso- und känozoischen Serien werden von einer sehr unterschiedlich mächtigen Salzgesteinsfolge aus der Zechstein-Zeit (ca. 235 - 225 Mio. Jahre vor heute) unterlagert, die als wasserundurchlässig anzusehen ist. Die geologische Barriere am Standort Konrad ist also das Deckgebirge des Zechstein-Salinars. Wo das Salz in der Nähe des Standorts zu Salzkissen und Salzstöcken zusammengeflossen ist (Salzstrukturen Broistedt-Rolfsbüttel, Oderwald-Sattel, Flachstöckheim, Salzgitterer Höhenzug; s. Abb. 2.1) und die Erdoberfläche erreicht oder fast erreicht hat, begrenzt es die geologische Barriere auch seitlich. Die Trennfläche zwischen Zechstein-Salz und seinem Deckgebirge begrenzt in groben Zügen zugleich den im Rahmen der Eignungsuntersuchungen zu betrachtenden Raum, weil die genannten Strukturen i. d. R. auch die Grenzen der Grundwassereinzugsgebiete für die Grundwasserleiter (s. u.) bilden. Innerhalb des von den nächstgelegenen Salzstrukturen umgebenen Raums müssen Gesteinsausbildung und Lagerungsverhältnisse so gut bekannt sein, daß begründete "Szenarien" für die RN-Ausbreitung festgelegt und Daten für die Ausbreitungsrechnungen im Rahmen einer Sicherheitsanalyse bereitgestellt werden können, bzw. die Existenz von Wasserwegsamkeiten ausgeschlossen werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, daß über die Muldenzonen zwischen diesen Salzstrukturen durchaus hydraulische Verbindungen zu weiter entfernten Gebieten vorhanden sein können.

Diese geologische Barriere enthält mehrere Stockwerke mit gut wasserdurchlässigen Schichten (Grundwasserstockwerke), die durch weniger durchlässige Gesteine voneinander getrennt werden. In diesem Gesteinsverband stellt das im Bereich Konrad ca. 1000 m unter Gelände gelegene Korallenoolith-Erz lediglich eine petrographische, jedoch keine hydrogeologische

Besonderheit dar: Der Erzkörper ist einer der Grundwasserleiter der geologischen Barriere (s. Tab. 2.1).

Die Gesteinsausbildung innerhalb der bekannten Teile der geologischen Barriere entspricht in groben Zügen derjenigen, wie sie aus dem nördlichen Harzvorland bzw. dem "niedersächsischen Becken" seit längerem bekannt ist. Das gilt wahrscheinlich auch für die älteren Einheiten, tieferer Jura und Trias, wobei allerdings für verschiedene Abschnitte dieser Gesteinsserie wegen fehlenden wirtschaftlichen Interesses oder paläogeographischer Komplikationen nur ungenaue Informationen vorliegen.

Besonders dürftig ist der Kenntnisstand über die Gesteine des Jura, soweit sie nicht im Grubengebäude Konrad zugänglich sind bzw. waren, und einzelne Abschnitte der Trias (insbesondere Keuper und Buntsandstein), die wegen ihrer geringen Verwitterungsresistenz auch aus den benachbarten strukturell bedingten Berglandgebieten nur unzureichend bekannt sind.

Von besonderem Interesse für die Einschätzung der Sicherheit eines möglichen Endlagers für schwachradioaktive Abfälle im Korallenoolith-Erz sind die hydrogeologischen Eigenschaften des Erzes sowie der Schichten oberhalb des Erzlagers und derjenigen daneben und darunter, die sowohl mit dem Erzlager als auch mit der Biosphäre direkt oder über andere Schichten, Verwerfungen oder künstliche Wasserwegsamkeiten hydraulisch verbunden sein können.

Vereinfachend soll unterstellt werden, daß es sich dabei i. W. um die durch Erzexploration bzw. -gewinnung bekannt gewordene Schichtfolge oberhalb des oberen Dogger (Cornbrash-Sandstein) handelt. Der völlige Verzicht der GSF auf die Behandlung tieferer Gesteinskomplexe im Rahmen einer sicherheitsmäßigen Eignungsuntersuchung des Standortes Konrad ist jedoch ohne angemessene Begründung genau so wenig zulässig wie die Beschränkung auf leicht zugängliche Teilbereiche der Barriere (s. 2.3.).

Orthostratigraphische Gliederung		Lithostratigraphische Gliederung	Gesteins-typ	Aquifer-typ	Teufe Konrad 1	Mächtigkeit (m) Konrad 1	Mächtigkeit (m) Konrad 2	Teufe Konrad 2
Q U A R T Ä R			S-T, L	P	2	2	36	36
Ober-Kreide	Santon Coniac	"Emscher-Mergel" +)	M	N-H		(ca. 100)		
	Turon Cenoman	"Pläner-Kalkstein"	K	Kl	158	156	154	190
		"Cenoman-Mergel"	M	N-H	229	71	56	246
Unter - Kreide	Alb	"Flammenmergel"	M, (T)	Kl-H	259(312)	30(83)	34(40)	280(286)
		Tonmergel ("Minimust.")	T	N	527	268(215)	188(183)	469
		"Hilssandstein"	S	P	-	-	1	470
	Neokom: Apt / Barrême / Hauterive	"Neokom-Ton"	T (K)	N (Kl)	800	256	176	646
	Valangin	Valangin-Sandstein +)	S	P	-	- (7, 14) -		-
	Berrias	"Wealden-Sandstein" +)	S	P	-	- (15, 25) -		-
Ober-Jura (Malm)	Tithon	"Münder Mergel" (Obermalm-Kalkstein)	M, T	N	880	(80)	-	-
		--- ? - ? - ? - ? - ? ---						
	Kimmeridge	"Kimmeridge"	M, K, A	N, Kl	1099	220	(106)	752
	Oxford	"Korallenoolith"	K, E, M	Kl, (N)	(1233)	(133)	125	877
		"Heersumer Schichten"	T	N-H			6	883
M.-Jura (Dogger)	Callovium	"Ornatenton" "Cornbrash"	T T, M	N-H			117	1001
		("Cornbrash-Sandstein")	S	P			(0,5)	1001,5

Tab. 2.1 Schematisierte Schichtfolge (Dogger-Quartär) am Standort Konrad und in seiner Umgebung (nach Schichtenverzeichnissen Konrad I und II, KOLBE 1975, BEHREND & KÜHNE 1928, GSF-Abschlußbericht: Kap. B 1.3)

S - Sand(stein), T - Ton(stein), L - Lehm, K - Kalkstein, M - Mergel(stein), E - Erz
P - Porenaquifer, Kl - Kluftaquifer, H - Grundwasserhemmer, N - -"Nichtleiter"

Teufe: m u.G., Mächtigkeit: scheinbare Mächtigkeit, umrahmt: Grundwasserstockwerke

+) nicht direkt am Standort vorkommend, fett umrahmt: Grundwasserstockwerke 1 - 4

Seit dem Abteufen der Schächte Konrad I und Konrad II und Erstellung der zugehörigen Schichtenverzeichnisse (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II, KOLBE 1975) haben sich für den dabei aufgeschlossenen Schichtabschnitt bei der Zuordnung einzelner Gesteinskomplexe und bei ihrer Untergliederung erhebliche Änderungen ergeben.

So sind die Grenze Jura/Kreide in Nordwestdeutschland neu definiert und für beide Einheiten verfeinerte Gliederungsprinzipien entwickelt worden. Einzelne Abschnitte der in den Schichtenverzeichnissen Konrad I und Konrad II dargestellten Gesteinsfolge bedürften daher einer Neubearbeitung, wie sie für den unteren Korallenoolith und die Heersumer Schichten bereits durchgeführt worden ist (DENEKE 1978).

Für die sicherheitsmäßige Standortbeurteilung erscheint zunächst jedoch weniger die exakte stratigraphische Zuordnung der Gesteine als vielmehr deren genaue und vollständige petrographische Beschreibung von Bedeutung, weil sie bis zu einem gewissen Grad auch die hydrogeologischen Eigenschaften eines Gesteins widerspiegelt.

Die stratigraphische Zuordnung von Gesteinskomplexen in den Schichtenverzeichnissen Konrad I und Konrad II (entsprechend KOLBE 1975 und GSF-Abschlußbericht: Kap. Bl.3.1) wurde daher ungeprüft übernommen und der heute üblichen orthostratigraphischen Gliederung lediglich gegenübergestellt (s.Tab.2.1).

Zur Benennung bestimmter Gesteinskomplexe werden daher im folgenden alteingeführte lithostratigraphische Begriffe verwendet, aus denen auch der petrographische und hydrogeologische Charakter des Gesteins grob hervorgeht (s. Tab. 2.1). Dabei wurden verschiedentlich gegenüber den Schichtenverzeichnissen Konrad I und Konrad II (auch KOLBE 1975 und GSF-Abschlußbericht: Kap. Bl.3) zusammenhängende Einheiten ähnlicher Eigenschaften zusammengefaßt, jedoch nach Möglichkeit die im GSF-Abschlußbericht benutzten Begriffe beibehalten.

Nach Wasserführung beim Schachtabteufen (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II) und Petrographie (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II, KOLBE 1975) sind davon folgende Gesteinsserien als wichtige Grundwasserleiter (Aquifere) einzuschätzen:

1. (oberes)Grundwasserstockwerk:
   Quartär-Schichten
   Plänerkalkstein der Oberkreide
2. Grundwasserstockwerk
   Hilssandstein
3. Grundwasserstockwerk
   Korallenoolith (z. T. Kimmeridge)
4. Grundwasserstockwerk
   Cornbrash-Sandstein des oberen Dogger

2.2.2. Geologische Entwicklung der Konrad-Region und Lagerungsverhältnisse

Die Schachtanlage Konrad liegt am Südende der Üfinger Teilmulde. So wird der Ostteil der Bleckenstedter Mulde am Südende des Gifhorner Trogs bezeichnet (KOLBE & SIMON 1969). Die heutigen geologischen Verhältnisse in dieser Region gehen einmal auf starke epirogenetische Bewegungen an der Wende Jura/Kreide zurück, wodurch vorher abgelagerte Serien teilweise abgetragen und die Reste anschließend wieder von Meeressedimenten bedeckt wurden. Andererseits war die Entwicklung der benachbarten Salzstrukturen (Broistedt-Rolfsbüttel, Oderwald-Sattel mit Salzstock Thiede, Salzstock Flachstöckheim) von Bedeutung (s. Abb. 2.1), deren Entwicklung bis heute noch nicht abgeschlossen ist.

Eine für die Schachtanlage wichtige Teilstruktur ist die nach Nordwesten gerichtete "Ausstülpung" des Oderwald-Sattels dicht südlich des Thieder Salzstocks, die sich im geologischen Kartenbild durch eine markante Ausbiegung der Unterkreide- und Oberkreide-Schichtgrenzen (s. Abb. 2.1) und (un-

deutlich) im Kluftinventar der Oberkreide-Gesteine (CARLÉ-1938) bemerkbar macht. Sie soll im folgenden nach dem auf ihr liegenden Ort Drütte als "Drütter Sporn" bezeichnet werden. Ihr entspricht an der Salzstruktur Broistedt-Rolfsbüttel die Einschnürung dicht nördlich des Broistedter Salzstocks bei Engelnstedt (CARLÉ 1938, s. Abb. 2.1). Der genaue Bauplan und damit die Entstehungsgeschichte des Drütter Sporns sind unbekannt. Daher ist unklar, ob sich unter diesem Strukturteil ein durch Salzzusammenfluß entstandenes Salzkissen oder von der Salzwanderung nicht erfaßte Salzrelikte verbergen.

Die Salzabwanderungszone zwischen der Salzstruktur Broistedt-Rolfsbüttel, dem Nordteil des Oderwald-Sattels und dem Drütter Sporn wird im folgenden zur Unterscheidung von der oberjurassischen Bleckenstedter Mulde und der Üfinger Teilmulde (KOLBE & SIMON 1969) als Konrad-Mulde bezeichnet. Ihr Nordende liegt in Höhe des Nordendes der Struktur des Oderwald-Sattels bei Broitzem (s. Abb. 2.1).

Der Drütter Sporn begrenzt zwar die Konrad-Mulde im Süden, nicht jedoch die Randsenkenkette zwischen den Salzstrukturen Broistedt-Rolfsbüttel bzw. Salzgitterer Höhenzug und Salzstruktur Bechtsbüttel bzw. Oderwald-Sattel. Deren Südende liegt vielmehr noch südlich der Barumer Mulde und des Salzstocks Flachstöckheim dort, wo Vienenburger Sattel und Salzgitterer Höhenzug aneinander stoßen. Wegen des großregional nordwärts gerichteten Grundwasserabstroms erstrecken sich bis dorthin auch die Einzugsgebiete der Grundwasserkörper in den mesozoischen Gesteinen des Standorts Konrad.

Im Norden erstreckt sich diese Randsenkenkette bis an den Nordrand des Gifhorner Trogs. Sie wird jedoch durch mehrere Queraufwölbungen untergliedert, von denen die Vechelder Queraufwölbung dem Raum Konrad am nächsten liegt (KOLBE & SIMON 1969). Für fast alle Grundwasserstockwerke am Standort Konrad ist der östliche Gifhorner Trog das Abstromgebiet.

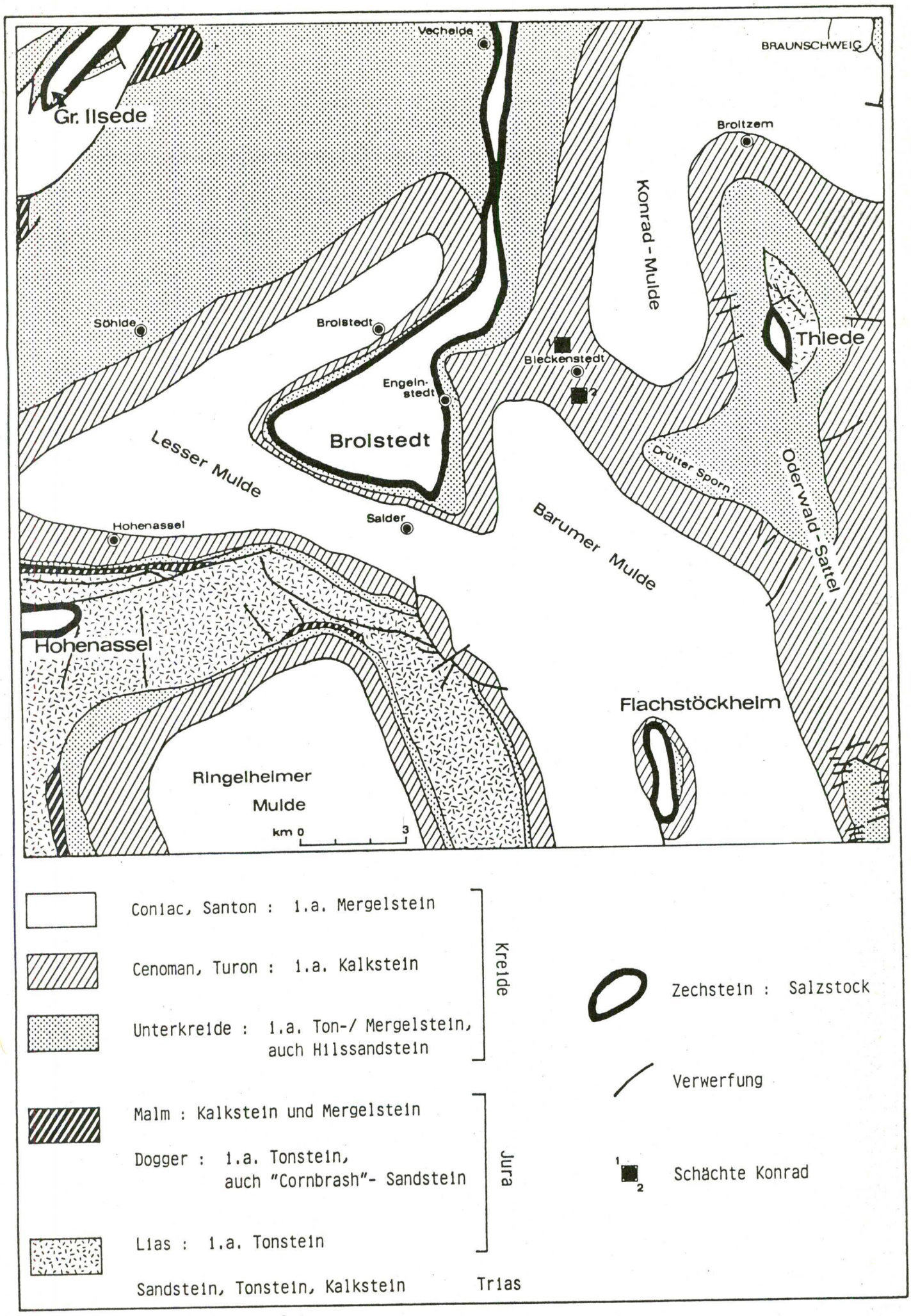


Abb. 2.1

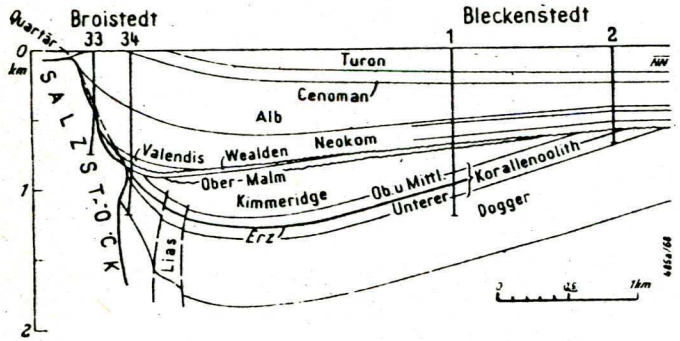
Geologische Karte der Umgebung des Standorts Konrad (Känozoikum abgedeckt; stark vereinfacht aus Geotektonische Karte von Nordwestdeutschland - Bl. 73 und 74)

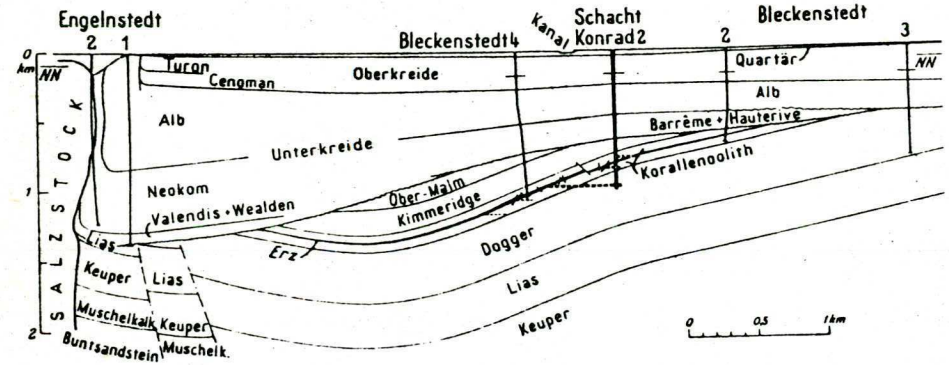
Die geschilderten Ereignisse haben in der Konrad-Region dazu geführt, daß Gesteine des Jura und damit auch das für die Endlagerung vorgesehene Erz nicht an die Oberfläche treten: Die von der weitflächigen Abtragung an der Wende Jura/Kreide verschont gebliebenen Reste werden im Bereich des südlichen Gifhorner Trogs vollständig von Unterkreide-Schichten bedeckt.

Infolge Salzabwanderung aus der Muldenzone zwischen den Salzstöcken Broistedt und Thiede sowie dem Drütter Sporn (s. o.) sind die mesozoischen Serien schüsselförmig verbogen (s. Abb. 2.2). Im zentralen Teil der Konrad-Mulde nimmt der Grad der Schichtverbiegung von unten nach oben ab, besonders stark und sprunghaft dort, wo zwischen Jura- und Kreide-Schichten eine besonders große Schichtlücke vorhanden ist (s. Abb. 2.2 : westlich Konrad II). Wesentliche Ursache ist die Verlagerung der Zone stärkster Salzabwanderung aus dem Zentrum der Konrad-Mulde in Richtung auf die Salzakkumulationsgebiete. Dieser Vorgang ist zugleich für die Versteilung der Schichtlagerung zum Muldentiefsten auf den Broistedter und (nördlich des Konrad-Bereichs) Thieder Salzstock und den Drütter Sporn hin verantwortlich. In diesen Gebieten streicht ein Teil der jurassischen und unterkretazischen Einheiten zutage aus oder wird nur von Quartär-Sedimenten überlagert.

2.2.3. Tektonisches Inventar des Grubengebäudes

Dem geschilderten Bauplan im Großen entspricht das im Bereich Konrad beobachtbare Inventar an Klüften und Verwerfungen, dessen Kenntnis für die Abschätzung oder Bestimmung der Gesteinsdurchlässigkeit und -festigkeit (s. 3.3.) von erheblicher Bedeutung ist (s. 2.3.2.2.). Es äußert sich je nach Nähe zu den Salzstrukturen und in Abhängigkeit vom mechanischen Verhalten der Gesteine in unterschiedlicher Weise und Intensität. Aus diesen Unterschieden darf jedoch nicht der Schluß gezogen werden, daß z. B. das Spaltennetz in den Plänerkalken der Oberkreide nichts mit den tektonisch angelegten Verwer-





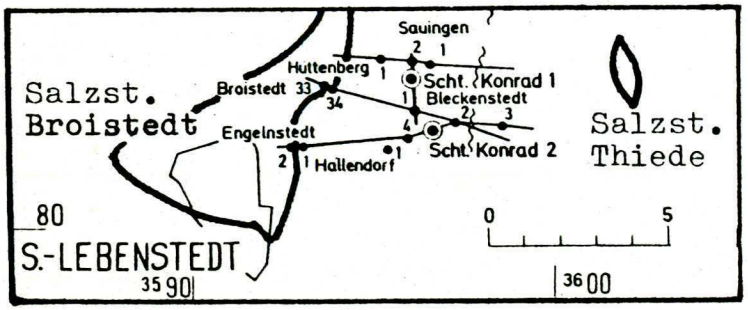


Abb. 2.2

Geologische Querschnitte durch die Konrad-Mulde (Bleckenstedter Mulde; aus KOLBE & SIMON 1969)

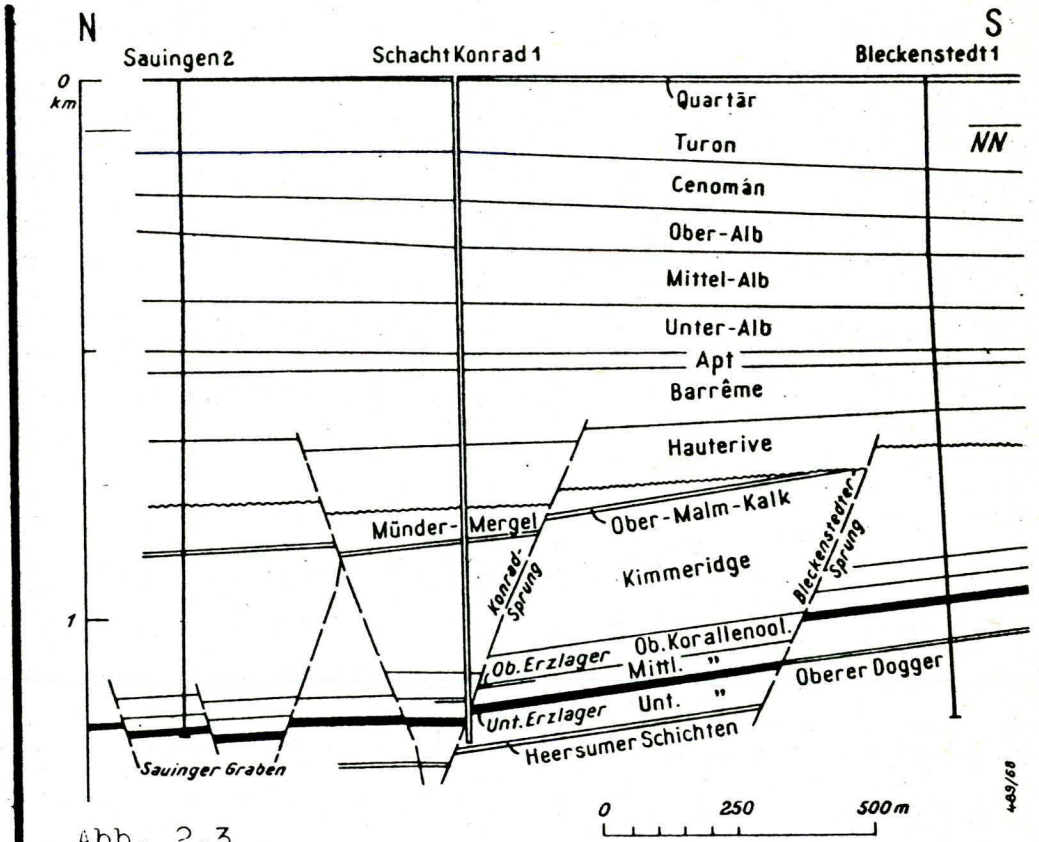


Abb. 2.3

Geologischer Längsschnitt durch die Konrad-Mulde (Bleckenstedter Mulde; aus KOLBE & SIMON 1969)

(Schnittlage s. Abb. 2.2)

fungen (in den Juraschichten) gemeinsam hat (GSF-Abschlußbericht: S. B3-11).

Nach KOLBE & SIMON (1969) und GSF-Abschlußbericht (Kap. Bl.3.5) sind innerhalb des Grubengebäudes Konrad drei Störungssysteme mit zugehörigen Klüften entwickelt. Bei den Verwerfungen handelt es sich ausschließlich um Abschiebungen, die auf die geschilderten Salzbewegungen zurückgeführt werden können. Es ist offenbar jedoch nicht möglich, einzelne Verwerfungen konkreten Bewegungen zuzuordnen. Ob und wieweit in den oberjurassischen Serien auch Lagerungsstörungen infolge der epirogenetischen Entwicklung des Gifhorner Trogs entwickelt sind, ist unbekannt.

Nach der Entstehung der Verwerfungen durch diskontinuierliche Salzwanderung zu schließen, reichen sie mindestens teilweise bis an die Basis des Mesozoikum.

Dem nach KOLBE & SIMON (1969) ältesten System, entstanden im Oberjura bzw. allenfalls an der Wende Jura/Kreide, gehören annähernd Nord-Süd-streichende Abschiebungen an. Die entsprechenden Klüfte weisen in einzelnen Grubenbereichen unterschiedliche bevorzugte Einfallsrichtungen auf (GSF-Abschlußbericht: Fig. B3.1-13). Mindestens ein Teil dieser Klüfte wird von der GSF auf ein fundamentales (frühdiagenetisch angelegtes) Kluftsystem bezogen (GSF-Abschlußbericht: S. Bl-43). Verwerfungen und zugehörige Klüfte sind z. T. mit Kalkspat, Anhydrit bzw. Gips oder Coelestin verheilt. Sie werden durch Abschiebungen der zweiten Generation versetzt und sind nach KOLBE & SIMON (1969) in der Oberkreide wiederbelebt worden.

Die zweite Generation besteht aus annähernd NE-SW bis E-W- aber auch NW-SE-streichenden Abschiebungen mit teilweise erheblichen Versetzungsbeträgen, wie Bleckenstedter Sprung, Konrad-Sprung und Teilstörungen des Sauinger Grabens. Diese Verwerfungen sind nach den Profilkonstruktionen (s. Abb.2.3) in den Apt-Serien bereits nicht mehr nachzuweisen, so daß

sie von der GSF mit KOLBE & SIMON (1969) in die Unterkreide (Barrême) gestellt werden.

Ohne eindeutig erkennbaren altersmäßigen Bezug zu den genannten Systemen ist ein etwa NW-SE- bis WNW-ESE-streichendes Großkluftsystem entwickelt.

Bereits Untersuchungen von GEITNER (1961, in KOLBE & SIMON 1969: Abb. 96) haben gezeigt, daß die Verteilung von Verwerfungen und Klüften auf das Grubengebäude sehr ungleichmäßig ist: Abb. 2.4 zeigt die Streuung der Kluftrichtungen mit ihren von Bereich zu Bereich unterschiedlichen Maxima, deren Lage z. T. erheblich von der Gesamtdarstellung für alle Grubenbereiche (s. Abb. 2.5) abweicht.

Auch die Klüftigkeit des Gebirges ist in den einzelnen Grubenteilen sehr unterschiedlich. Dies geht aus Tab. 2.2 hervor, die auf der gewichteten Erfassung von Großklüften und Kleinverwerfungen im Südwest-Abschnitt des Grubengebäudes zwischen der 4. und 5. Sohle beruht. Angaben über andere Grubenbereiche liegen leider nicht vor. Selbst auf diesem engen Raum ist die Kluftdichte (s. Tab. 2.2) Schwankungen um den Faktor 3 bis 4 unterworfen. Dieser Umstand, der bei der Bestimmung der Gesteinsdurchlässigkeit mit Hilfe von in-situ-Permeabilitätsmessungen (s. 2.3.2.2.) und Festigkeitsbestimmungen (s. 3.3.) unbedingt berücksichtigt werden muß, findet im GSF-Abschlußbericht an entsprechender Stelle (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.5.2) keine Erwähnung.

Über Entwicklung von Verwerfungen und Klüften außerhalb des Grubengebäudes ist aus Mangel an Aufschlüssen nur wenig bekannt. Das gilt auch für die beim Schachtabteufen aufgeschlossenen Gesteine, wobei in den tonigen Gesteinen von Oberjura und Unterkreide ohnehin nur eine undeutliche Dokumentation der tektonischen Beanspruchung zu erwarten ist.

Angesichts dieses Mangels ist es umso unverständlicher, daß die GSF auf eine Bewertung der beim Schachtabteufen angetrof-

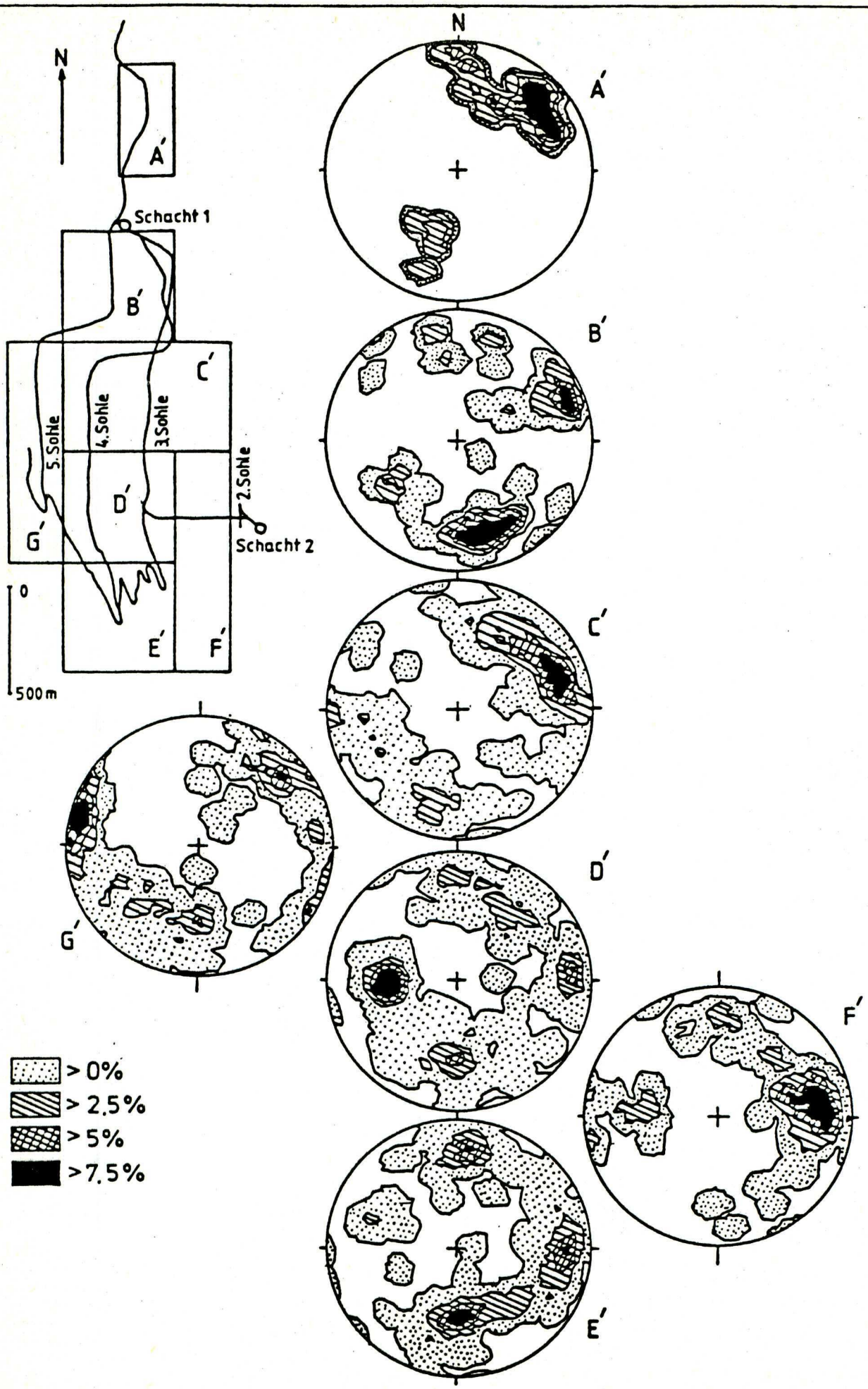
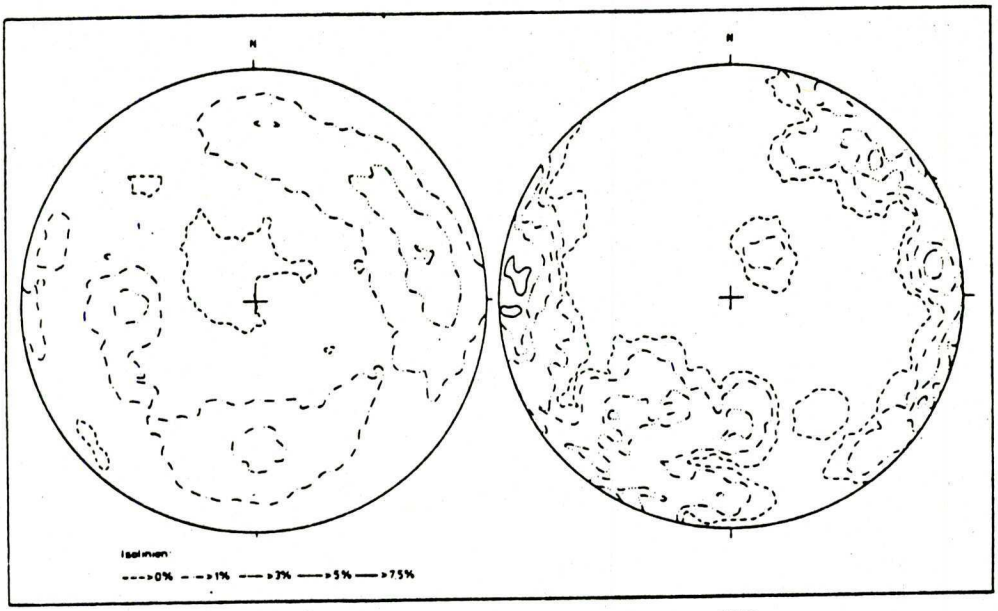


Abb. 2.4 Häufigkeitsverteilung der Flächenpole von Klüften in Teilbereichen der Grube Konrad (GSF-Abschluß-



gesamtes Grubengebäude Strecke 672

Abb. 2.5

Häufigkeitsverteilungen von tektonischen Trennflächen im Korallenoolith der Grube Konrad (Grubengebäude insgesamt bzw. nur Strecke 672; GSF-Abschlußbericht: Fig. B 1.3-11 u. Fig. B 1.3-12)

Homogenbereich	Flächenanteil des Homogenbereichs	Kluftanteil des Homogenbereichs	Zahl der Klüfte pro Planquadrat (= 12,5 x 12,5 m)	Kluftanteil / Flächenanteil (%)
A1	10,5 % 12	9 %	0,2	7
A2	16,4 % 19	23 %	0,4	12
B	10,2 % 12	15 %	0,4	13
C	12,2 % 14	12 %	0,2	9
D	6,2 % 7	6 %	0,2	8
E	2,3 % 3	7 %	0,7	26
F	10,5 % 12	11 %	0,3	9
G	10,0 % 12	11 %	0,3	10
H	7,8 % 9	6 %	0,2	7
	86,1 100 %			

Tab. 2.2

Kluftverteilung in tektonischen Homogenbereichen des Südfeldes zwischen 4. und 5. Sohle (GSF-Abschlußbericht: Tab. B 1.3-3)

fenen tektonischen Elemente (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II) verzichtet hat. Die von der GSF stattdessen durchgeführte Vermessung von 8000 Klüften in Oberkreide-Aufschlüssen in der näheren und weiteren Umgebung der Schachtanlage kann diesen Mangel trotz rechnergestützter Auswertung der Daten (GSF-Abschlußbericht: Kap. 1.3.5.3) nicht beheben, da sie weder auf die Konrad-Verhältnisse übertragbar sind, noch den sicherheitsmäßigen Kenntnisstand erweitern.

Tatsächlich lassen die vorliegenden Beobachtungen (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II) aufgrund der geringen Anzahl von Meßwerten (15 bzw. 20 Messungen) keine gefügestatistischen Aussagen zu (GSF-Abschlußbericht: S. B1-40), doch zeigen sie immerhin, daß der Beanspruchungsplan in den Oberjura- und in den Unterkreide-Gesteinen grundsätzlich gleich ist: Die beim Schachtabteufen eingemessenen Klüfte und Verwerfungen folgen den für die Jura-Serien in der Grube angegebenen Richtungen, wobei allerdings bei Konrad II N-S-orientierte Klüfte überwiegen. Verwerfungen weisen Sprunghöhen von maximal 0,7 m auf (Schichtenverzeichnis Konrad I: S. 5, Mittelturon) und wurden auch in der weitgehend tonigen Unterkreide angetroffen (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II).

Unbekannte, aber deutlich höhere Versetzungsbeträge zeigen Verwerfungen in den Oberkreide-Serien am Drütter Sporn und in der W-Flanke des Thieder Salzstocks (BEHREND & KÜHNE 1928, CARLÉ 1938; s. Abb. 2.1). Hinweise darauf, daß diese Verwerfungen die Jura-Schichten nicht erfassen, gibt es nicht. Im Gegenteil: Da die tektonischen Erscheinungen im Deckgebirge der Zechstein-Salze auf deren Bewegungen zurückgeführt werden können, müssen die Deckgebirgseinheiten mindestens teilweise übereinstimmende Beanspruchungspläne aufweisen. Dabei muß entsprechend den strukturbildenden Vorgängen in der Konrad-Region (s. 2.2.2.) der Beanspruchungsgrad des Deckgebirges im zentralen Teil der Konrad-Mulde von oben nach unten und für einzelne Einheiten des Deckgebirges vom Zentrum der Mulde auf die Salzstrukturen hinzunehmen.

Für die sicherheitsmäßige, insbesondere hydrogeologische Bewertung der Kluft- und Verwerfungssysteme ist allerdings diese Relativangabe im Gegensatz zur Meinung der GSF (Abschlußbericht: S.Bl-40) ohne große Bedeutung, weil geringere Beanspruchung nicht erhebliche Wasserführung ausschließt, was an der Wasserführung der Plänerkalksteine sehr deutlich wird (s. 2.4.2.2. u. 2.4.2.3.).

2.3. Bewertung von Umfang und Angemessenheit der geologischen Untersuchungen

2.3.1. Probenmaterial

Bereits vor Beginn der Eignungsuntersuchung der Schachtanlage Konrad lagen umfangreiche Informationen über die geologischen Verhältnisse in der Umgebung des Standorts vor (s. 2.2.). Sie waren allerdings im Rahmen der Erdölexploration und bei Erkundung und Abbau der Korallenoolith-Erze erarbeitet worden und genügten daher nicht den Ansprüchen an eine Untersuchung zum Nachweis sicherer Endlagerung radioaktiver Abfälle. Immerhin stand (und steht) aber für gezielte Untersuchungen Probenmaterial in ausreichender Menge aus den im Grubenbereich aufgeschlossenen Gesteinsfolgen (Erz und Begleitgesteine des Korallenoolith, oberer Dogger) zur Verfügung oder kann durch das Auffahren neuer Strecken erbracht werden.

Das gilt nicht für den Bereich im Hangenden der Grubenaufschlüsse: Die Möglichkeiten der GSF zur Untersuchung der Gesteine des Malm jünger als oberer Korallenoolith und der Unterkreide waren dadurch eingeschränkt, daß Probenmaterial nur aus den Schächten Konrad I und Konrad II aus der Zeit des Schachtabteufens zur Verfügung stand.

Sicherheitsrelevante Untersuchungen wurden außerdem mit Ausnahme des Mineralbestands fast ausschließlich an Proben aus

Schacht I durchgeführt, wobei es sich zudem um geringe Probenzahlen handelte. So wird die insgesamt ca. 1100 m mächtige Gesteinsfolge über dem Korallenoolith in Schacht I hinsichtlich ihres Sorptionsvermögens von nur 10 Proben repräsentiert, hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit von 4 Proben (s. 2.4.1.).

Nach welchen Gesichtspunkten die Proben ausgewählt worden sind, wird im GSF-Abschlußbericht nicht mitgeteilt. Ebenfalls ist unbekannt, ob in diesen Beschränkungen ein Mangel an Probenmaterial oder eine freiwillige Begrenzung der Untersuchungen zum Ausdruck kommt.

Die Repräsentativität der Proben wird auch dadurch beeinträchtigt, daß die bei einzelnen stratigraphischen Einheiten teilweise erhebliche Mächtigkeitsabnahme zwischen Konrad I und Konrad II und der damit verbundene Fazieswechsel nicht berücksichtigt werden (? konnten): Nicht alle wichtigen Gesteinstypen (z. B. Hilssandstein) sind durch Probenmaterial belegt.

Unter dieser Beschränkung leidet schon die Vollständigkeit der Beschreibung der vorhandenen Gesteinstypen, zumal im GSF-Abschlußbericht (Kap. Bl.3.1) stärker auf die Mächtigkeitsunterschiede als auf die Faziesunterschiede eingegangen wird und die vorhandenen Informationen (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II, KOLBE 1975) ohnehin auswahlhaft präsentiert werden (s. 2.4.).

Die beim Schachtabteufen entnommenen Proben waren bis zu ihrer Untersuchung (ab 1975/76) ca. 20 Jahre lang dem Einfluß von Atmosphärilien ausgesetzt. Wenngleich nach (geologisch) so kurzer Zeit wohl nur bei einigen Mineralen (z. B. Markasit) mit intensiver Verwitterung zu rechnen ist, so hat sich doch zweifellos die "Konsistenz" des Materials verändert: Die ursprünglich mehr oder weniger festen Ton- und Mergelsteinproben sind mindestens teilweise durch Austrocknung und Entlastungsdehnung zerfallen. Dieser veränderte Probenzustand

dürfte mit Ursache dafür sein, daß nur an drei Unterkreide-Proben Durchlässigkeitsmessungen durchgeführt worden sind (s. 2.4.1.2.).

Die GSF geht in ihrem Abschlußbericht auf die geschilderten Mängel in Quantität und Qualität des Probenmaterials nicht ein, obwohl die Aussagekraft ihrer Untersuchungen davon in erheblichem Umfang betroffen ist (s. 2.3.2.).

Ebenfalls unberücksichtigt durch GSF bleibt die Frage, wieweit die ohnehin spärlichen Untersuchungsergebnisse auf die im Zuge der Einlagerung von radioaktivem Abfall zu erschließenden neuen Grubenbereiche zu übertragen sind.

2.3.2. Untersuchungsmethoden

2.3.2.1. Übersicht

Die Tonsteine und Mergelsteine aus dem Hangenden des Koralenoolith-Erzes sind von der GSF nach zahlreichen verschiedenen Methoden untersucht worden (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2). Dabei wird jedoch nicht immer deutlich, in welchem sicherheitsmäßigen Zusammenhang die Untersuchung mit der Eignungsfrage steht.

Bei fast allen Darstellungen der Ergebnisse fehlen genaue Angaben über die Versuchsbedingungen und über die Reproduzierbarkeit der Meßwerte. Es wird auch niemals mitgeteilt, auf wievielen Messungen pro Probe die Ergebnisse beruhen.

Leider sind die Ergebnisse der Einzeluntersuchungen nur getrennt und i. a. ohne Angabe von Probennummern dargestellt. Dem Bericht sind daher nur ausnahmsweise konkrete Angaben (Korngröße, Mineralbestand) zu bestimmten Proben bzw. Gesteinen zu entnehmen. Das gilt auch für die Zusammensetzung der Schichtfolge insgesamt.

Die petrographischen Untersuchungen, wie Bestimmung der Korngrößenverteilung (GSF-Abschlußbericht: Kap. 2.1.2.2), des Karbonatgehalts (Kap. B2.1.2.1) und des (Ton-)Mineralbestands (Kap. B2.1.2.5), sind für die Gesteinsbeschreibung und qualitative Einschätzung auch sicherheitsrelevanter Eigenschaften unerläßlich. Ihre Darstellung erfolgt jedoch nach Methoden geordnet. Sie ist daher sehr unübersichtlich und läßt die Identifizierung bestimmter Gesteine innerhalb der Schichtfolge nicht zu.

Als allenfalls methodisch interessante Ergänzung sind die Untersuchungen des Diagenesegrades (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.1) einzuschätzen, weil ihre Ergebnisse erwartungsgemäß nicht über die Erkenntnisse der Temperaturmessungen beim Schachtabteufen bzw. bereits vorhandene regionale Kenntnisse (z. B. BROCKAMP 1979, KOCH & ARNEMANN 1975) hinausgehen.

Differential-Thermo-Analysen (DTA) und Dilatometermessungen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.3) lassen wegen der dabei gewählten Temperaturbereiche keinerlei Aussagen zur Eignung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung schwach radioaktiver Abfälle zu.

Auf die in Kap. B2.1.5 und B2.3 des GSF-Abschlußberichts beschriebenen geochemischen Untersuchungen der Tonsteine und des Erzes geht die GSF in anderem Zusammenhang nicht wieder ein, obwohl ein Vergleich der Ergebnisse mit denen der hydrochemischen Untersuchungen (s. 2.3.2.) sinnvoll gewesen wäre.

Das gilt insbesondere für das Korallenoolith-Erz. Hier hat sich die GSF auf das Zitieren der bekannten Arbeiten (vor allem GOLESTANEH 1964 u. 1968) beschränkt, die weniger geochemisch als mineralogisch ausgerichtet sind. Bestandteile von möglicher hydrochemischer Bedeutung (z. B. Strontium) wurden nicht untersucht, obwohl sie zu weitreichenden hydrologischen Aussagen benutzt werden (s. 2.5.2.2.1.2.). Ähnliches gilt für die Porositätsbestimmungen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2.1).

Von den übrigen an den Tonsteinen durchgeführten und beschriebenen Untersuchungen betreffen allein die Bestimmung von Durchlässigkeit und Sorptionsvermögen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2.3 und Kap. B2.4) direkt für die Sicherheit wichtige Eigenschaften. Die Aussagekraft der zusätzlich durchgeführten Bestimmungen der Gesteinsporosität (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2.1), der Kationen-Austauschkapazität (Kap. B2.1.2.4), der spezifischen Oberfläche (Kap. B2.1.2.5) und der Wasseraufnahmekapazität (Kap. B2.1.3.1) geht darüber und über die nach den petrographischen Untersuchungen möglichen Aussagen zwar nicht hinaus, die Ergebnisse könnten aber bei angemessener Versuchsdurchführung zum Verständnis z. B. der Sorptionsprozesse beitragen. Sie sind jedoch kein Ersatz für die direkte Bestimmung von Durchlässigkeit und Sorptionsvermögen!

Die Untersuchungen an den Aquifergesteinen der geologischen Barriere waren mit Ausnahme des Korallenoolith-Erzes weit weniger umfangreich. Insbesondere sind die zur Ermittlung von Durchlässigkeit und Sorptionsvermögen durchgeführten Untersuchungen äußerst lückenhaft: Die Durchlässigkeit wurde ausschließlich an Hilssandstein sowie Erz und Nebengestein bestimmt, wobei die Hilssandsteinprobe aus einem Oberflächenaufschluß bei Adersheim stammt, bei dem die Vergleichbarkeit mit den Konrad-Verhältnissen nicht gewährleistet ist. Das Sorptionsvermögen (K_d-Wert, s. 2.3.2.3.) wurde nur an Erzproben und an einer Kalksteinprobe aus dem unteren Korallenoolith ermittelt.

2.3.2.2. Durchlässigkeitsbestimmungen

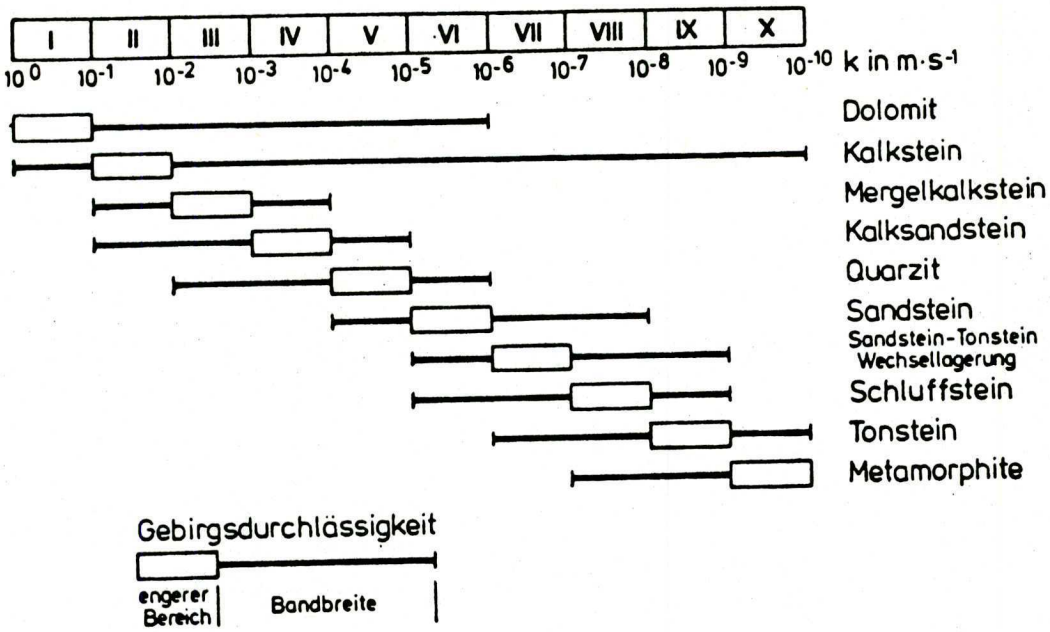
Vereinfacht ausgedrückt wird die Durchlässigkeit oder Permeabilität eines Gesteins gegenüber Wasser durch sein Porenvolumen, sein Kluftvolumen oder beide zusammen bestimmt. Sie ist in gesättigtem Gestein erheblich höher als in ungesättigtem und wird außer durch die Gesteinseigenschaften auch von Dichte und Viskosität des Wassers beeinflußt. Von besonderem

sicherheitsmäßigen Interesse ist die Gesamtdurchlässigkeit (Gebirgsdurchlässigkeit) des Gesteins (s. Tab. 2.3). Die Permeabilität wird in Darcy (D) oder durch den Durchlässigkeitswert (k-Wert), der die Dimension einer Geschwindigkeit hat (m/sek), angegeben. Unter bestimmten Bedingungen entspricht 1 Darcy einem k-Wert von 10^{-5} m/sek.

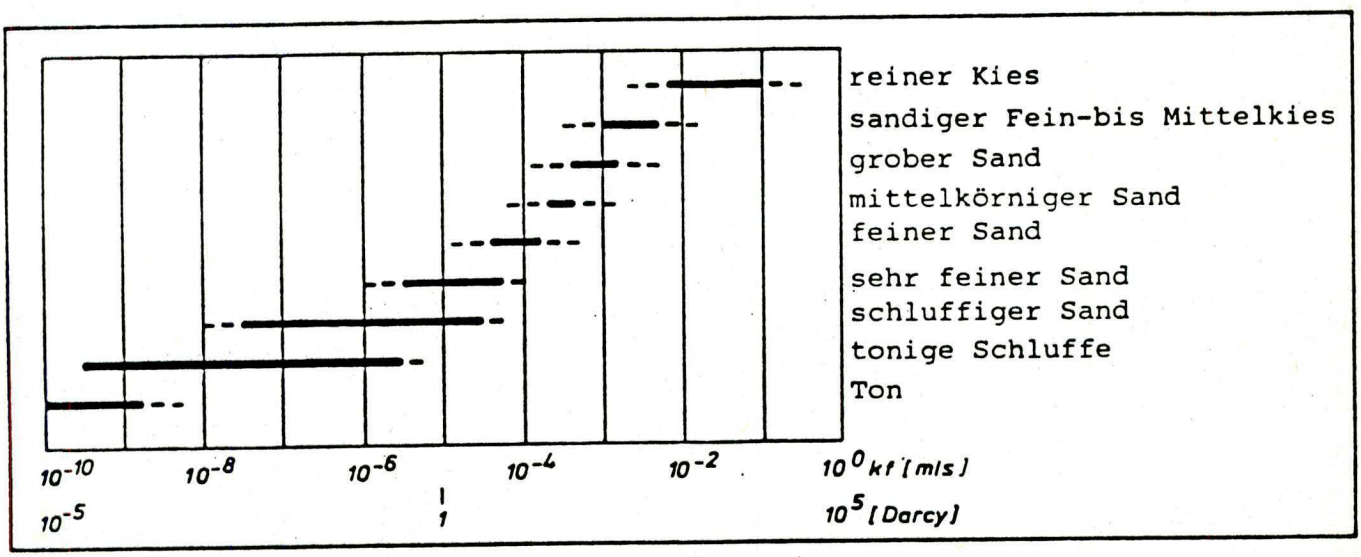
Bei der Auswahl der Methoden zur Bestimmung der Durchlässigkeit muß der Aquifertyp berücksichtigt werden, wobei grundsätzlich Felduntersuchungen Laborbestimmungen vorzuziehen sind: Bei Porenaquiferen - am Standort Konrad sind das Quartär-Schichten und Hilssandstein - wird die Durchlässigkeit i. W. von Volumen und Größe der Poren bestimmt. Gleichmäßige Gesteinsausbildung vorausgesetzt können bereits relativ geringe Probenmengen repräsentativ für das Gestein sein. Sofern das Gestein nicht zusätzlich Klüfte enthält, kann daher die Gebirgsdurchlässigkeit von Porenaquiferen annährend im Laborversuch bestimmt werden.

Dabei liegt ein wichtiges Problem in der Beschaffung repräsentativer Probenmengen und -typen. Dieses Ziel wurde bei den Porenaquiferen (1 Probe) sowie den wenig durchlässigen, tonigen Gesteinen von Oberjura (1 Probe) und Unterkreide (3 Proben) schon wegen zu geringer Probenzahl nicht erreicht (s. 2.3.1.).

Die Durchlässigkeit von Kluftaquiferen, zu denen am Standort Konrad vor allem Kalksteine der Oberkreide und des Malm sowie das Erz gehören, ist vom Kluftraumvolumen (Kluftporosität), dieses wiederum von der Häufigkeit und der Öffnungsweite der Trennfugen im Gestein abhängig. Das Kluftraumvolumen wird daher letztlich durch Art und Ausmaß der mechanischen (tektonischen) Beanspruchung des Gesteins und Lösungsvorgänge durch Grundwasserbewegung bestimmt. Es nimmt i. a. infolge nachlassender Grundwasserbewegung und ansteigenden petrostatischen Drucks mit zunehmender Tiefe ab. Die Größe des für die Permeabilitätsbestimmung erforderlichen repräsentativen Proben-



a) Gebirgsdurchlässigkeiten in der Auflockerungszone der Festgesteine (Erfahrungswerte des Inst. f. Ingenieur- u. Hydrogeologie, RWTH Aachen)



b) Durchlässigkeiten von Lockersedimenten (nach BENTZ & MARTINI 1969; aus GSF-Abschlußbericht: Fig. B 3.5-10)

Tab. 2.3

Durchlässigkeiten von Lockersedimenten und Festgesteinen

körpers erreicht bei Kluftaquiferen die Dimension geologischer Körper. Das Kluftvolumen bzw. die kluftabhängige Durchlässigkeit eines Gesteins läßt sich daher nur durch geeignete in-situ-Versuche (z. B. Pumpversuch, Druck-Impuls-Verfahren), nicht jedoch im Labor bestimmen.

Laborwerte für die Eisenerzpermeabilität (s. 2.4.4.2.) sind daher ohne große sicherheitsmäßige Bedeutung. Vermutlich deswegen hat die GSF in-situ-Bestimmungen der Durchlässigkeit im Bereich des Erzlagers nach dem Druck-Impuls-Verfahren durchgeführt (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.5.2). Diese Methode scheint trotz einiger Bedenken (HEITFELD 1965) zwar generell zur Feststellung der Gebirgsdurchlässigkeit geeignet, doch führte sie hier allenfalls zur Bestimmung der Permeabilität des ungestörten Gebirges bzw. der bergbaubedingten Auflockerungszonen um die Strecken: Die Messungen wurden in einem tektonisch wenig gestörten, also kluftarmen Teil der Grube und mit sehr kleinen Meßzonen durchgeführt und sind zweifellos nicht repräsentativ für das Grubengebäude insgesamt (s. 2.4.4.2.). Immerhin wurden Maximalwerte von 10^{-7} bis 10^{-8} m/sek gemessen.

Da die genauen Versuchsbedingungen nicht mitgeteilt werden, ist unbekannt, wie weit die Ergebnisse durch den wasserungesättigten Zustand des Gesteins, der geringere Durchlässigkeit bedingt, beeinflußt sind (s. o.).

Versuche, das Kluftvolumen der in der Grube zugänglichen Kluftaquifere zu ermitteln, hat GSF nicht unternommen.

Bei den Tonsteinen hat GSF vermutlich wegen des für Permeabilistätsbestimmungen ungeeigneten Zustands des Probenmaterials (s. 2.3.1.) ersatzweise die Wasseraufnahmekapazität als ein mögliches Maß für das Quellvermögen und damit die abdichtenden Fähigkeiten der Tonsteine bestimmt (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2.3).

Die Messungen wurden nach einem aus dem Ingenieurbau bekannten Verfahren durchgeführt, das dort allerdings zu Recht nur bei Ton und nicht Tonstein angewendet wird. Die Probe wird vor der Messung getrocknet und mechanisch aufbereitet. GSF hat die Versuche mit 2,3 molarer NaCl-Lösung (ca. 135 mg/l) durchgeführt.

Bei Ton besteht eine umgekehrt proportionale Beziehung zwischen Durchlässigkeit und Wasseraufnahme (SCHULTZE & MUHS 1967). Das gilt jedoch nur für Süßwasser. Bei Salzwasser sind die Verhältnisse sehr viel komplizierter und weniger gut untersucht. Seit langem ist jedoch bekannt, daß das Quellverhalten smektitreicher Tone außer von der Art des Tonminerals und seiner Belegung mit Kationen sehr stark von Konzentration und Inhalt der Versuchslösung abhängig ist (u. a. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1982). Sehr hohe Ionenkonzentration kann sogar sowohl trotz Wasserübersättigung Schrumpfung bewirken als auch bei geschrumpftem Ton Quellung verhindern (RAAB, FISCHLE & SCHAUERMANN 1982). Doch auch schon bei der schwachen Konzentration von Meerwasser können wasserübersättigte Tone schrumpfen (BURST 1965, JÜNGST 1934). GSF selbst hat die quellungsmindernde Wirkung von NaCl bei der Permeabilitätsbestimmung ausgenutzt (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2.3) und bei der Bestimmung der Wasseraufnahme durch Verwendung einer NaCl-Lösung berücksichtigt.

Die mitgeteilten Ergebnisse der Wasseraufnahmebestimmungen (GSF-Abschlußbericht: Fig. B2.1-13) schwanken in weiten Bereichen und sollen durch Korngrößenverteilung, Petrographie, den Anteil einer quellfähigen Tonkomponente und auch durch die Probenvorbereitung beeinflußt sein. (GSF-Abschlußbericht: S. B2-26). Bemerkenswerterweise liegen die Werte für die smektitreichen Alb-Proben nicht generell über denen der übrigen Unterkreide-Proben. Daß der Einfluß des Smektitgehalts auf die Wasseraufnahmekapazität bei den hier untersuchten Alb-Proben signifikant höher ist als der anderer Faktoren, muß daher bezweifelt werden. Obwohl am Standort Konrad alle genannten Einflußfaktoren auf das Quellverhalten wirksam wer-

den können, wurden die Zusammenhänge zwischen Mineralbestand, Lösungskonzentration und -inhalt nicht untersucht. Dem GSF-Abschlußbericht (Kap. B2.1.3.1) ist nicht einmal der Tonmineralanteil der untersuchten Proben zu entnehmen.

Ohnehin muß bei Tonstein im Gesteinsverband gegenüber Ton mit deutlich abweichendem Quellverhalten hinsichtlich Ausmaß und zeitlichem Verlauf der Volumenänderung gerechnet werden. Das zeigen verheilte Klüfte im Tonstein (s. 2.4.1.2.). Die GSF-Äußerung, daß "insbesondere das Quellverhalten der Smektite bei Wasserkontakt (...) den Schluß zu(läßt), daß Risse in den Tonhorizonten rasch verheilen und die Dichtigkeit des Gebirges beibehalten wird" (GSF-Abschlußbericht: S. B2-26), kennzeichnet daher keineswegs das tatsächliche Barriereverhalten der Tonsteine am Standort Konrad.

2.3.2.3. Untersuchungen zur Radionuklidrückhaltung

Abgesehen von chemischen und physikalischen Eigenschaften des Transportmediums ist die RN-Rückhaltung in Gesteinen i. W. von deren Sorptionsvermögen abhängig, das jedoch seinerseits von zahlreichen Faktoren beeinflußt wird. Zu ihnen gehören auch die von der GSF bestimmten Parameter spezifische Oberfläche und Kationenaustauschkapazität, die ihrerseits wieder u. a. von der Korngröße (bei Porenaquiferen) und dem Mineralbestand abhängig sind.

Darüber hinaus ist die Art des Grundwasserleiters von erheblicher Bedeutung, weil von ihr die für Sorptionsvorgänge zur Verfügung stehende Oberfläche sehr stark beeinflußt wird. Generell sind wegen der größeren benetzbaren Oberfläche bei Porenaquiferen bessere Sorptionsleistungen zu erwarten als bei Kluftaquiferen und bei feinen Porenaquiferen bessere als bei groben (s. u.). Bei der Bewertung der Sorptionsleistung von sehr feinen Porenaquiferen, wie Ton oder Tonstein, ist jedoch zu berücksichtigen, in welchem Ausmaß diese Leistung wegen der oft sehr geringen Durchlässigkeit überhaupt er-

bracht werden kann: Wegen der langsamen Durchdringung des Gesteins durch Radionuklid-beladenes Wasser kann eine Fixierung oder Verteilung der Radionuklide ebenfalls nur langsam erfolgen. Über relativ lange Zeiträume kann daher Tonsteinen nur eine Barrierewirkung, nämlich die der Wasserrückhaltung, zugerechnet werden.

Über Sorption an Grenzflächen zwischen Grundwasserleiter und Tonstein oder an Kluftflächen o. ä. in Tonstein ist nichts bekannt. Überlegungen in diese Richtung hat GSF offenbar nicht angestellt.

Trotz genereller Einwände (s. 6.2.3.2.) wird das Zusammenwirken der genannten Faktoren im Vergleich mit anderen von GSF untersuchten Parametern am besten durch den Verteilungskoeffizienten (K_d-Wert) ausgedrückt. Er ist ein Maß für die Fähigkeit eines Gesteins, unter definierten Bedingungen Radionuklide aus einer Transportlösung aufzunehmen und festzuhalten. Die Aussagekraft des K_d-Werts ist natürlich um so größer, je stärker die Versuchsbedingungen den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen.

Die von der GSF gewählte Versuchsanordnung (batch-Versuch, GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.4) entspricht dieser Voraussetzung nur bedingt. Entscheidender Mangel ist die mechanische Zerkleinerung des Probenmaterials und die ausschließliche Verwendung der Fraktion < 0,250 mm. Der Aufbereitungsprozeß, der bei Tonsteinen von erheblichem Einfluß auf die Korngrößenverteilung im Präparat ist, wird nicht dargestellt. Bei nichtbindigen Lockersedimenten (z. B. Sand) mag dieses Verfahren von relativ geringem Einfluß auf das Ergebnis sein - es wurde für Lockergesteine entwickelt. Bei Festgesteinen, zu denen alle Kluftaquifere gehören, findet dadurch jedoch eine erhebliche Vergrößerung der Sorptionsfläche statt. Insbesondere bei Kluftaquiferen aus an sich wenig durchlässigem Material, liefert der im batch-Versuch ermittelte K_d-Wert nur eine materialspezifische theoretische Angabe ohne Bezug zum tatsächlichen RN-Rückhaltevermögen des Gesteins.

Gemessen an der Realität dürften die von der GSF für die Kluftaquifere am Standort Konrad ermittelten K_d -Werte daher viel zu groß sein. Gleiche Wirkung der Probenaufbereitung an den verschiedenen Gesteinen vorausgesetzt ermöglichen sie immerhin vergleichende Aussagen zum Sorptionsverhalten verschiedener Gesteine.

Den Werten der in Ergänzung zu den Verteilungskoeffizienten ermittelten Gesteinseigenschaften, spezifische Oberfläche und Kationenaustauschkapazität, kommt geringere Bedeutung zu. Sie wurden zur Verbesserung des Verständnisses der die Sorption beeinflussenden Prozesse und Gesteinseigenschaften bestimmt (GSF-Abschlußbericht: S. B2-47). Diesem Anspruch genügen sie nicht; denn auch diese Eigenschaften wurden nach Methoden bestimmt, die zwar den Vergleich verschiedener Gesteine miteinander gestatten, jedoch keine standortspezifischen Daten liefern.

Auch gelingt mit ihrer Hilfe die Interpretation konkreter K_d-Werte nicht (s. 2.4.1.3.): Die von der GSF behauptete proportionale Beziehung zwischen Smektitgehalt und Kationenaustauschkapazität (GSF-Abschlußbericht: S. B2-15) ist genau so wenig erkennbar wie eine verständliche Beziehung zwischen spezifischer Oberfläche bzw. Kationenaustauschkapazität und K_d-Wert. Die GSF-Äußerungen zur Radionuklidsorption lassen allenfalls den Schluß zu, daß GSF (und andere Institutionen ebenso) noch weit vom völligen Verständnis der damit verbundenen Prozesse entfernt ist.

Von den untersuchten Gesteinsparametern ist keiner zur sicherheitsmäßig angemessenen Beschreibung der Radionuklid-Rückhaltung in den Gesteinen des Standorts Konrad geeignet.

2.4. Bestandteile der Barriere

Allein gemessen an den beim Abteufen der Schächte Konrad I und Konrad II aus den einzelnen Gesteinskomplexen zugetretenen Wassermengen scheinen für die sicherheitsmäßige Beurteilung der Anlage für die Endlagerung radioaktiver Abfälle neben dem Korallenoolith-Erz Sande und Kiese des Quartär, Plänerkalksteine der Oberkreide, Hilssandstein, Kalkstein des unteren Korallenoolith und Cornbrash-Sandstein von besonderer Bedeutung zu sein. Geringe Wasserzutritte sind darüber hinaus im Flammenmergel des Oberalb (Konrad I: ca. 3 l/min.), im Unterkimmeridge bzw. im oberen Korallenoolith (Schacht I : ca. 0,5 l/min.) beobachtet worden (Schichtenverzeichnis Konrad I: S.2).

Während bei diesen Einheiten die tatsächliche Wasserführung durch Augenschein oder Mengenmessung beim Schachtabteufen bestätigt ist (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II, GSF-Abschlußbericht: Kap. B3), müssen zusätzlich folgende Gesteinsfolgen in der Konrad-Region, die in Schacht I angetroffen wurden, aufgrund ihrer Ausbildung als potentielle Aquifere eingeschätzt werden: sandige Serien im Mittelalb sowie einzelne Kalkstein- oder kalkreiche Mergelsteinbänke im Hauterive (s. 2.4.1.1.) und im oberen Malm (Münder Mergel, "Gigas-Kalk", Kimmeridge, s. 2.4.4.). Sie enthielten beim Abteufen kein Wasser.

Die Tatsache, daß an zwei Punkten des Standorts, den Schächten I und II, während der kurzen Abteufzeit nur geringe oder keine Wasserführung in tatsächlichen bzw. potentiellen Aquiferen beobachtet worden ist, berechtigt nicht dazu, solche Gesteine in die hydrogeologischen Überlegungen zur Standortsicherheit überhaupt nicht einzubeziehen, wie dies mit allen genannten Gesteinskomplexen außer Korallenoolith-Erz und Hilssandstein geschehen ist. Das gilt insbesondere dann, wenn aufgrund der Kenntnisse über das Gestein sicherheitsrelevante Gesteinsdurchlässigkeiten und/oder Verbindungen zwischen Schächten bzw. Grubengebäude und Grundwasser führenden Gesteinen oder der Oberfläche zu befürchten sind.

So sind für den Flammenmergel und andere potentielle Aquifere der Unterkreide (s. 2.4.1.1.) grundsätzlich ähnliche Lagerungsverhältnisse zu erwarten wie für den Hilssandstein mit seiner Verbindung nach Übertage (s. 2.4.3.). Er ist außerdem im Raum Salzgitter (wie in Tagesaufschlüssen, z. B. Grube Morgenstern, ersichtlich) äußerst klüftig entwickelt und damit als Kluftaquifer einzuschätzen. Seine Qualität als Aquifer ist aus dem faziell allerdings nur bedingt vergleichbaren Gebiet der Sack-Mulde bei Alfeld seit langem bekannt (ZEINO-MAHMALAT 1973).

Lediglich beiläufige Erwähnung erfahren im GSF-Abschlußbericht (s. Bl-24) auch die Sandsteine der tiefsten Unterkreide (Wealden und Valangin). Sie sind zwar im Bereich Konrad I und Konrad II nicht entwickelt, wurden jedoch u. a. in den Bohrungen Hüttenberg 1 und Alvesse 1 (KOLBE 1975, KOLBE & SIMON 1969) nordwestlich der Anlage Konrad wasserführend angetroffen. Wichtig ist, daß sie wahrscheinlich im zentralen Teil der Konrad-Mulde den Korallenoolith mit dem Erzlager und den Cornbrash-Sandstein direkt überlagern und möglicherweise hydraulischen Kontakt mit Gesteinen höherer Grundwasserstockwerke haben (s. Abb. 2.2.).

Über den tiefsten im Grubenbereich Konrad und seiner Umgebung je angetroffenen Aquifer, den Cornbrash-Sandstein (s. 2.4.5.) hinaus werden im GSF-Abschlußbericht noch Dogger ß-Sandstein und die Kalksandsteine des tiefen Lias als weitere am Standort zu erwartende Grundwasserleiter erwähnt (S. Bl-32). Warum gerade diese Gesteine, tiefere aber nicht mehr genannt werden, ist nicht bekannt und nicht verständlich.

Nach der paläogeographischen Entwicklung der Konrad-Region im Mesozoikum sind unter den erwähnten Lias-Gesteinen noch folgende weitere potentielle und tatsächliche Aquifere zu erwarten:

Oberer Keuper		"Rät-Sandstein"
Mittlerer Keuper	(?)	"Schilfsandstein"
Unterer Keuper	(?)	"Lettenkohle-Sandstein"
Oberer Muschelkalk		"Trochitenkalk"
Unterer Muschelkalk		Kalkstein
Mittlerer Buntsandstein		vor allem "Bausandstein" (Solling-Folge)
Unterer Buntsandstein		"Rogensteinzone" (Kalkoolith)

Während die Kalksteine dieser Liste wegen der großen Teufen möglicherweise nur noch geringes Kluftvolumen aufweisen, muß bei den Sandsteinen noch mit erheblicher Wasserführung gerechnet werden.

Einzelne oder alle Aquifere treten in den benachbarten Salzstrukturen (Ausnahme: Salzstock Broistedt) an die Oberfläche und sind über die Muldenzonen mit der Konrad-Region verbunden. Eine potentielle Gefahr bedeuten diese Gesteine deswegen, weil aufgrund der tektonischen Entwicklung der Konrad-Region davon auszugehen ist, daß mindestens die Verwerfungen innerhalb des Grubenbereichs, die große Sprunghöhen aufweisen (Konrad-Sprung usw.), nicht, wie in den Abb. 2.2 dargestellt, nur den vom Bergbau erschlossenen Bereich betroffen haben. Vielmehr dürfte ein Teil von ihnen durch das gesamte Mesozoikum bis an die Basis des Deckgebirges über dem Zechstein-Salinar reichen.

Wenngleich an diesen Störungen bis heute keine Wasserzutritte aus großer Tiefe zu beobachten waren und auch nicht unbedingt zu erwarten sind, so darf im Rahmen einer vollständigen Erfassung aller Gefährdungsmöglichkeiten für ein Endlager ihre Existenz doch nicht vergessen werden.

2.4.1. Tonsteine des oberen Malm und der Unterkreide

2.4.1.1. Petrographie der Tonsteine

Die günstigen Barriereeigenschaften von Tonsteinen beruhen auf ihrer geringen Korngröße. Sie verursacht im Vergleich zu anderen klastischen Sedimenten und Sedimentgesteinen geringe Durchlässigkeit und gute Sorptionseigenschaften. Außerdem ist sie für das unter bestimmten Bedingungen elastoplastische Verhalten von Ton verantwortlich, wodurch bei mechanischer Beanspruchung in geringerem Ausmaß als bei anderen wenig wasserdurchlässigen Gesteinen potentielle Wasserwegsamkeiten (Klüfte, Verwerfungen) wirksam werden. Andererseits wirkt sich diese Eigenschaft ungünstig auf das Konvergenzverhalten aus (s. 3.2.).

Der tonsteinreichen Gesteinsserie des oberen Malm und der Unterkreide kommt also bei der Eignungsuntersuchung höchste Bedeutung zu: Sie trennt nicht nur die verschiedenen Grundwasserstockwerke voneinander (s. u.), sondern sie (oder ein Teil) muß das etwaige Endlager im Korallenoolith-Erz vor Wasserzutritt von oben schützen. Die Tatsache, daß sie (oder ein Teil von ihnen) diese Funktion z. Z. offenbar erfüllen, darf jedoch nicht zum Verzicht auf ihre vollständige Beschreibung und die angemessene Untersuchung ihrer Funktionstüchtigkeit führen - zumal dann nicht, wenn unbekannt ist, in welchem Umfang einzelne Abschnitte dieser Gesteinsserie daran beteiligt sind.

Altersmäßig umfaßt die Schichtfolge bei Schacht I Gesteine des höheren Malm (z. T. Kimmeridge, Münder Mergel), der Unterkreide (Hauterive bis Alb) und der tiefsten Oberkreide. Bei Schacht II fehlen Münder Mergel und ein Teil der Kimmeridge-Serien. Die Folge entwickelt sich unter Zunahme des Tonanteils allmählich aus den Karbonatgesteinen des Korallenoolith und wird von "Cenoman-Mergeln" und "Plänerkalksteinen" des Cenoman und Turon überlagert (s. Tab. 2.1): Sie trennt die Grundwasserstockwerke 1 und 3, allerdings ohne daß eine

eindeutige hydrogeologisch definierte Untergrenze festzulegen ist, und wird im Verbreitungsgebiet des Hilssandsteins durch das Grundwasserstockwerk 2 (s. Tab. 2.1) zweigeteilt. Verschiedentlich sind wasserdurchlässige Gesteine eingeschaltet (Hauterive, Oberalb, s. u.).

Die Mächtigkeit der Gesteinsfolge schwankt in der Konrad-Region in weiten Grenzen (KOLBE 1975: Anl. 6.1 u. 6.2). Ursachen sind das unterschiedliche Ausmaß der Erosion an der Wende Jura/Kreide und die Entwicklung von Randsenken an den benachbarten Salzstrukturen (s. 2.2.):

Die Jura-Anteile sind nur im zentralen Teil der Bleckenstedter Mulde vorhanden. Bereits an Schacht II fehlen die oberen Abschnitte (Münder Mergel, Gigas-Kalk, höchster Kimmeridge) oder sind in der Mächtigkeit reduziert (Kimmeridge; Schichtenverzeichnis Konrad I, s. auch Tab. 2.1). Die Unterkreide-Serien treten an den Flanken der Salzstrukturen und auf dem Drütter Sporn weitflächig an der Oberfläche auf. Aquifere in der Schichtfolge haben dort ihre Neubildungsgebiete. Deswegen hat die Vollständigkeit ihrer Darstellung besondere Bedeutung.

Die verschiedenen in der Oberjura/Unterkreide-Schichtfolge entwickelten Gesteinstypen werden im GSF-Abschlußbericht jedoch nicht genau und nur auswahlhaft beschrieben. Die Ergebnisse der verschiedenen petrographischen Untersuchungen werden einzeln dargestellt (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2) und bieten kaum Möglichkeiten, die Zusammensetzung konkreter Schichteinheiten zu identifizieren. Dadurch erscheint die Gesteinsfolge homogener als sie tatsächlich ist.

Immerhin kann man den feinpetrographischen Untersuchungen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2.6) entnehmen, daß die Schichtfolge nur ausnahmsweise reinen Tonstein enthält. I. d. R. handelt es sich vielmehr um wechselnd mergeligen Tonstein bis Mergelstein, teilweise auch Kalkstein. Besonders hoch ist der Kalkgehalt im oberen Malm, im Unterhauterive

(s. o.) und im Alb. Insbesondere im Alb kommen (Quarz-)Sandbeimengungen und -einschaltungen vor, deren mächtigste und wichtigste der Hilssandstein des Unteralb ist (s. 2.4.3.).

Die Zusammensetzung des Tonmineralanteils wechselt im Profil in charakteristischer Weise: Kaolinit ist im oberen Dogger, Korallenoolith und im Neokom sehr häufig, im Kimmeridge/Münder Mergel und im Alb dagegen ohne Bedeutung. In allen stratigraphischen Einheiten ist Illit oder ein Wechsellagerungsmineral Illit-Montmorillonit vorhanden. Im Kimmeridge/Münder Mergel ist Illit sogar das häufigste Tonmineral. Smektit (Ca-Montmorillonit) kann in Proben aus dem Alb (und Cenoman) dominieren.

Gemessen an den vorliegenden Informationen (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II, KOLBE 1975) ist die GSF -Beschreibung der innerhalb der Tonsteinserie bereits makroskopisch identifizierbaren Gesteinstypen (GSF-Abschlußbericht: Kap. Bl.3) unvollständig. Das wird besonders deutlich an Gesteinen, die innerhalb der tonig-mergeligen Folge in "Sonderfazies" entwickelt sind, wie der "Flammenmergel" des Oberalb (s. Tab. 2.1): Seine Mächtigkeit liegt im Schacht Konrad II je nach Definition und Abgrenzung von den Begleitgesteinen bei 34 oder 40 m, wobei die Mächtigkeitsdifferenz auf einen Übergangstyp zwischen Flammenmergel und "normalem" Mergelstein entfällt. Nach dem Schichtenverzeichnis Konrad II (S. 13) sind 34 m einheitlich als typischer Flammenmergel ausgebildet. Bei Schacht Konrad I beträgt die Mächtigkeit des Flammenmergels 30 bzw. 83 m. Hier besteht die Mächtigkeitsdifferenz aus einer Wechselfolge von Flammenmergel und normalem Mergelstein. In der Darstellung der GSF (Abschlußbericht: Kap. Bl.3.2.4 , insbes. Tab. Bl.3-1) kommen diese Unterschiede in der Zuordnung nicht zum Ausdruck. Vielmehr wird ohne Begründung selbst der "streng" definierte Flammenmergel in Schacht Konrad II entgegen den Angaben in Schichtenverzeichnis Konrad II (S. 13) als Wechselfolge aus Tonstein und tonigem Flammenmergel bezeichnet (GSF-Abschlußbericht: S. Bl-21).

Ähnlich verfährt die GSF mit einer Kalksteinbank von 1,7 m Mächtigkeit, die verheilte Klüfte aufweist und bei mechanischer Beanspruchung in pflastersteinartige Stücke zerbricht, sowie einer 7,8 m mächtigen Wechselfolge aus ähnlichem Kalkstein und Tonmergelstein. Die Existenz dieser Einheiten, die bislang nur aus dem Hauterive von Konrad I bekannt sind (Schichtenverzeichnis Konrad I: S. 62/63), geht aus dem GSF-Abschlußbericht nicht hervor. Über ihre weitere Verbreitung wird nichts mitgeteilt. Flammenmergel und Hauterive-Kalkstein sind als potentielle Aquifere mit Verbindung zur Oberfläche zu betrachten und bedürfen daher einer sicherheitsrelevanten Beschreibung, gegebenenfalls sogar Untersuchung.

2.4.1.2. Durchlässigkeit der Tonsteine

Den smektitreichen Tonsteinen des Alb wird von der GSF pauschal hohes Quellvermögen zugeschrieben: Es soll dafür sorgen, "daß Risse in den Tonhorizonten rasch verheilen und die Dichtigkeit des Gebirges beibehalten wird" (GSF-Abschlußbericht: S. B2-26). Quelleigenschaften und Selbstabdichtungseffekte seien in Erzgruben des Salzgitter-Reviers nachgewiesen (GSF-Abschlußbericht: S. B4-3). Diese Aussagen werden mit dem Hinweis gestützt, daß entsprechende Tonserien im Liegenden der Erzlager Bülten und Peine als plastisch reagierendes Tongestein entwickelt sind (GSF-Abschlußbericht: S. B1-21), in dem aufgefahrene Strecken sehr rasch zuquollen (S. B2-40 und S. B1-14). Außerdem wurden in den Bergwerken Bülten und Peine alte verfüllte Aufschlußbohrungen trocken angetroffen, "obwohl sie Wasserhorizonte durchteuft hatten und die Verfüllung vor 1935 nicht immer bergbehördlich kontrolliert war" (GSF-Abschlußbericht: S. B1-14).

Oberflächlich betrachtet stimmen die geschilderten Erfahrungen mit der seit langem bekannten Beobachtung überein, daß insbesondere montmorillonit- bzw. smektitreiche Tone zur Quellung unter Wasseraufnahme neigen und dabei erhebliche Wassermengen aufnehmen können (z. B. SCHULTZE & MUHS 1967,

s. aber 2.3.2.2.). Sie berechtigen jedoch nicht ohne weiteres zur Übertragung auf die Bültener und Peiner Beispiele und zu deren Übertragung auf den Standort Konrad: So wird im GSF-Abschlußbericht kein Befund mitgeteilt, der die Querschnittsverminderung der Strecken in Bülten und Peine als Folge von Quellung und nicht von Konvergenz auswiese. Außerdem wird in den Schichtenverzeichnissen Konrad I und Konrad II nicht von plastischem Verhalten der entsprechenden Tonsteine während des Abteufens berichtet, oft jedoch, daß das Gestein "bricht" und an der Luft infolge Austrocknung oder Entlastung schnell zerfällt. Es werden sogar mit Kalkspat verheilte Klüfte erwähnt (Schichtenverzeichnis Konrad I: S. 26). Diese Beobachtungen sprechen eher für elastisches Verhalten der Tonsteine (s. 3.1.2.), wie es bei trockenen Tonsteinen im Gebirgsverband zu erwarten ist.

Die beispielhafte Erwähnung der alten Aufschlußbohrungen beweist solange keine Selbstabdichtungsfähigkeit, wie nicht die tatsächliche Unwirksamkeit alter Verfüllungen nachgewiesen ist; denn der Mangel an bergbehördlicher Überwachung bedeutet genauso wenig zwangsläufig schlechte Verfüllung, wie bergbehördliche Überwachung in jedem Fall gute Verfüllung bedeutet.

Allerdings brachten die von der GSF durchgeführten Permeabilitätsbestimmungen für das Alb (2 Proben) mit ca. 2µD (entsprechend einem Durchlässigkeitswert von 2×10^{-11} m/sek) und das Apt (1 Probe) mit 43µD (entsprechend 43×10^{-11} m/sek) tatsächlich sehr niedrige Werte. Sie mußten zur Ausschaltung von Quellvorgängen mit Salzwasser und bei relativ hohen Druckgradienten ermittelt werden (GSF-Abschlußbericht: S. B2-11). Ob die Unterschiede zwischen den Apt- und Alb-Proben allein mit dem unterschiedlichen Smektitgehalt erklärt werden dürfen, ist unklar, weil der zugehörige Mineralbestand nicht mitgeteilt wird.

Die Zusammensetzung der untersuchten Gesteinsproben ist zwar nicht bekannt, doch besteht kein Zweifel, daß die drei Meßwerte weder die Gesteine des Apt und Alb noch die gesamte Gesteinsfolge zwischen dem 1. und dem 3. Grundwasserstockwerk ausreichend repräsentieren. Die Untersuchung der Wasseraufnahmekapazität behebt diesen Mangel nicht (s. 2.3.2.2.).

Ohnehin dürfen noch so geringe Permeabilität und noch so großes Quellvermögen gerade von Teilen der Alb-Schichten nicht überschätzt werden: Sie tragen nämlich im Verbreitungsbereich des Hilssandsteins keinesfalls zur Abdichtung der Grube gegen Wasserzutritt von oben bei, weil sie über diesen Aquifer wegen seiner Verbindung zur Oberfläche "umgangen" werden (s. 2.4.2. und 2.5.3.).

Wieweit sich andere Aquifere in diesem Sinne auswirken können oder bereits auswirken, ist nicht bekannt. Immerhin ist nicht auszuschließen, daß z. B. Hauterive-Kalkstein (s. 2.4.1.1.) an die Oberfläche ausstreicht. Dann würde in seinem Verbreitungsgebiet der Wasserzutritt in den Korallenoolith-Aquifer (s. 2.4.4.) nur durch die unter dem Hauterive-Kalkstein liegenden Schichten verhindert.

Etwaige Einflüsse, die sich aus der bergbaubedingten Absenkung über dem Grubengebäude auf hydraulische Eigenschaften einzelner Kluftaquifere ergeben könnten, sind weder untersucht noch erwähnt worden.

2.4.1.3. Sorptionsvermögen der Tonsteine

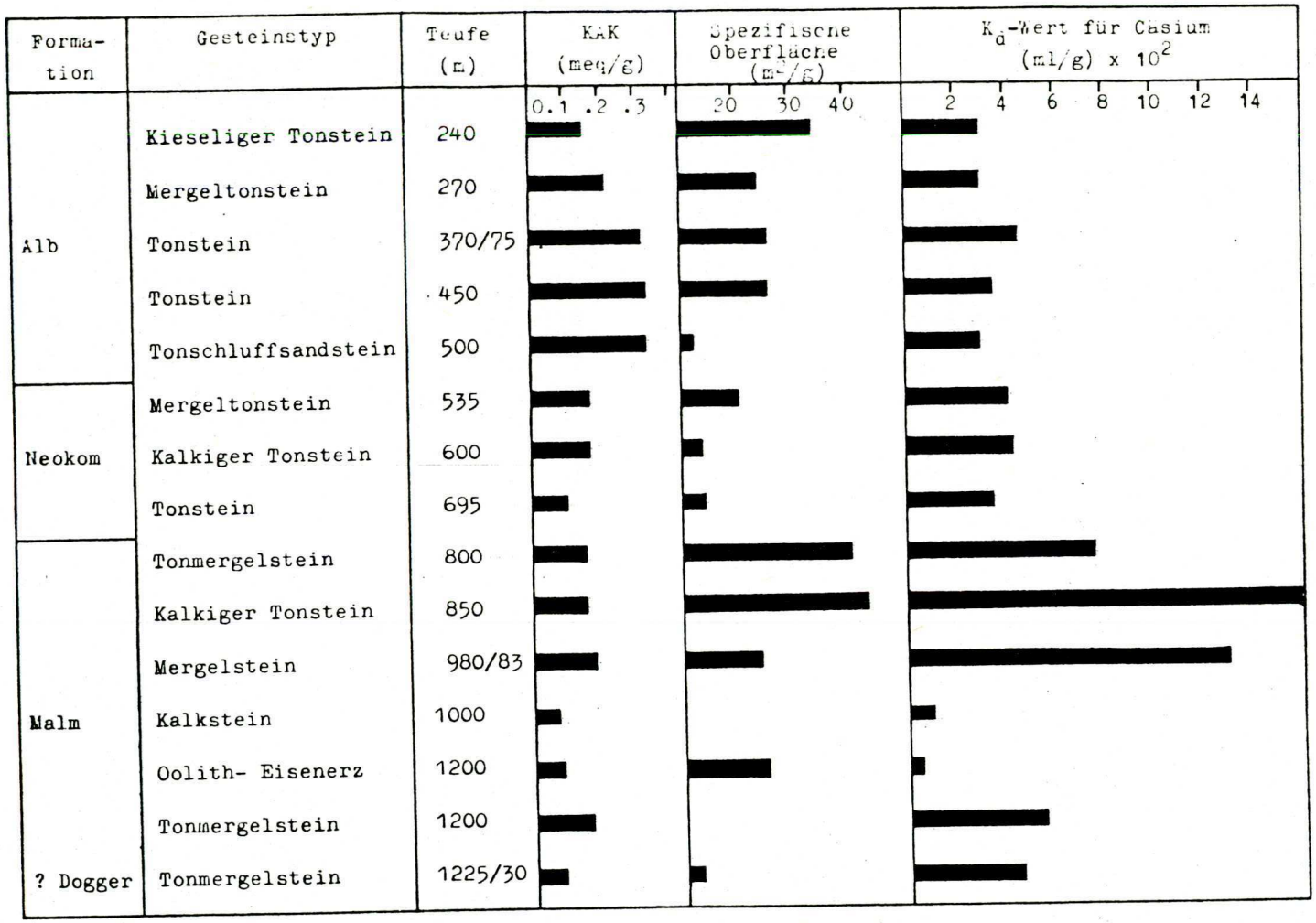
Aus den Darstellungen im GSF-Abschlußbericht (Kap. B2) geht nicht hervor, ob petrographische Untersuchungen und Bestimmungen der für die Soprtionseigenschaften wichtigen Parameter an denselben Proben durchgeführt worden sind. Jedenfalls sind sie nicht vergleichend dargestellt. Daher ist die von der GSF vermutete enge Beziehung zwischen dem Anteil an quellfähigen Tonmineralen (insbesonders im Alb) und dem Sorptions-

vermögen gegenüber Radionukliden nicht konkret nachvollziehbar. Immerhin können aber die Ergebnisse aus den Bestimmungen von Kationenaustauschkapazität, spezifischer Oberfläche und K_d-Wert miteinander verglichen werden (s.Tab . 2.4):

Von allen untersuchten Tonsteinproben weisen die aus dem smektitreichen Alb die höchste Kationenaustauschkapazität auf (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2.4), woraus die GSF auf das im "Vergleich mit den übrigen hier vorkommenden Gesteinstypen (...) höchste RN-Sorptionspotential" schließt (GSF-Abschlußbericht: S. B2-15).

In ihren Werten für die spezifische Oberfläche werden die Alb-Proben jedoch von Proben aus dem oberen Malm deutlich übertroffen. Deren überraschend hohe spezifische Oberfläche wird von der GSF ohne weitere Erklärung auf den hohen Illitanteil zurückgeführt, der niedrigere der Alb-Tonsteine darauf, daß die inneren Oberflächen der Zwischenschichten der Alb-Smektite durch diese Messungen nicht miterfaßt werden (GSF-Abschlußbericht: S. B2-18). Warum der Anteil der Partikeloberflächen an der spezifischen Oberfläche bei den Alb-Tonsteinen geringer als bei den Malm-Tonsteinen sein soll, wird nicht mitgeteilt. Möglicherweise handelt es sich lediglich um einen Korngrößeneffekt.

Vergleicht man die Werte aus den indirekten Bestimmungen der Sorptionseigenschaften mit den K_d-Werten, so bestätigt sich die optimistische Aussage der GSF über das besondere RN-Sorptionspotential der smektitreichen Alb-Tonsteine nicht. Die K_d-Werte für Strontium, Kobalt, Plutonium und Americium unterscheiden sich nämlich keineswegs von denen für die Tonsteine des Neokom und des oberen Malm. Die K_d-Werte für Caesium (s. Tab. 2.4) liegen in der Größenordnung der Neokom-Werte und werden von den Malm-Werten übertroffen. Selbst die relativ sandige Probe (500 m u. G.) weicht vom durchschnittlichen Bild nicht ab. Eine Beziehung zwischen K_d -Wert und Smektitanteil bzw. Kationen-Austauschkapazität wird also nicht deutlich.



Tab. 2.4

Vergleich von Kationenaustauschkapazität (KAK), Spezifischer Oberfläche und Sorptionsvermögen (K_d-Wert) gegenüber Cäsium von Tonsteinen aus Schacht Konrad 1 und der Grube Konrad (zusammengestellt aus GSF-Abschlußbericht: Fig. B 2.1-7, Fig. B 2.1-8 und Tab. B 2.4-2)

In sehr auffälliger Weise fallen jedoch bei zwei Malm-Proben hohe K_d-Werte mit hohen Werten der spezifischen Oberfläche zusammen, bei einer Probe jedoch nicht.

Die genauen Ursachen für dieses Verhalten sind unbekannt. Sie können u. a. vom Mineralbestand des Gesteins abhängig sein oder auf eine chemische Reaktion zwischen Caesium und Einzelbestandteilen des Gesteins zurückgehen. Jedenfalls läßt dieser Vergleich zwischen nach verschiedenen Methoden gewonnenen Meßwerten zur RN-Rückhaltung der Tonsteine folgende Schlüsse zu:

- Die smektitreichen Alb-Tonsteine nehmen hinsichtlich RN-Rückhaltung keine positive Sonderstellung im Rahmen der Tonsteine des Malm und der Unterkreide ein.
- Kationen-Austauschkapazität und spezifische Oberfläche sind keine generell aussagekräftigen Maße für das tatsächliche Sorptionsvermögen von Tonsteinen.

Über die Untersuchung des RN-Rückhaltevermögens hinaus wird an diesem Vergleich deutlich, wie stark Aussagen zur Sicherheit der geologischen Barriere von der angewendeten Untersuchungsmethode abhängig sind und wie wenig standardisierte Meßwerte über das tatsächliche Verhalten von Barriereteilen aussagen (s. 2.1.).

Die konkreten Eigenschaften der Tonsteine in der geologischen Barriere am Standort Konrad sind nach wie vor unbekannt.

2.4.2. 1. Grundwasserstockwerk (Quartär und Plänerkalkstein der Oberkreide)

Das obere Grundwasserstockwerk am Standort Konrad besteht aus Quartär-Serien (Porenaquifer) und Kalksteinen der Oberkreide (Kluftaquifer), die an verschiedenen Stellen hydraulisch miteinander verbunden sind. Ihm kommt im Rahmen einer sicherheitsrelevanten Eignungsuntersuchung erhebliche Bedeu-

tung zu - schließlich ist es das letzte hydrogeologische Bindeglied zwischen Endlager und Biosphäre. Es ist zugleich das Grundwasserstockwerk, innerhalb dessen erhebliche Änderungen wichtiger chemischer und physikalischer Eigenschaften des Grundwassers, die für den RN-Transport von Bedeutung sind (z. B. Redox-Potential), auftreten können. Außerdem wird mindestens seit 1938 (GSF-Abschlußbericht: S A2-27) Grundwasser aus diesem Stockwerk gewonnen. Damit ist auch in der Zukunft des Sicherstellungszeitraums zu rechnen.

Bei der angesichts seiner Bedeutung unangemessen kurzen Darstellung dieses Grundwasserstockwerks (GSF-Abschlußbericht: Kap. A2.5 und Kap. B3.1) stützt sich die GSF i.W. auf Daten, die bei Untersuchungen zur Wasserversorgung angefallen sind. Jedoch werden weder zur Hydrogeologie des Grundwasserstockwerks noch zu RN-Rückhalteeigenschaften seiner Gesteine belastbare Aussagen gemacht: Beispielsweise stützt sich die Darstellung der Grundwasseroberfläche im GSF-Abschlußbericht (Fig. B3.1-3) auf Angaben von 1964, obwohl offenbar auch heute noch ein dichtes Netz von regelmäßig überwachten Brunnenpegeln existiert. Jedenfalls ist das aus der Mitteilung zu schließen, der Grundwasserhöhen-Gleichenplan des Berichts spiegele "ungefähr die heutigen Verhältnisse im engeren Bereich der Hüttenwerke wider" (GSF-Abschlußbericht: S. B3-5). Über das außerhalb der Wassergewinnungszone gelegene Gebiet mit geringerer Beeinflussung durch Wasserentnahme oder über den Zustand vor der Wasserentnahme enthält der Bericht keine Informationen.

Zur RN-Rückhaltung wird unter Hinweis auf (allerdings nicht belegte) "bisherige Erfahrungen" (GSF-Abschlußbericht: S.B4-8) lediglich die Vermutung geäußert, daß Tonlagen in den Oberkreide-Kalksteinen ein gutes Sorptionsvermögen zugerechnet werden kann (s. aber 2.4.2.2.).

Während im engeren Standortbereich die beiden Teile des Grundwasserstockwerks hydraulisch miteinander verbunden sind, schieben sich in den tieferen Muldenzonen zwischen den be-

nachbarten Salzstrukturen (s. Abb. 2.1) die "Emscher-Mergel" des Coniac/Santon dazwischen (s. Tab. 2.1). Deren genaue hydraulische Eigenschaften sind unbekannt. Nach PREUL (1968) sind sie an der Südflanke des Salzstocks von Broistedt merklich wasserdurchlässig. Sonst dürften sie als Grundwasserhemmer oder Grundwasserstauer anzusprechen sein.

Wo die Plänerkalksteine der Oberkreide von den Emscher-Mergeln abgedeckt werden, bilden sie ein eigenes Grundwasserstockwerk mit gespanntem Grundwasser.

Die Sohle des oberen Grundwasserstockwerks bilden die mergeligen Kalksteine bis tonigen Mergelsteine des unteren Cenoman ("Cenoman-Mergel"). Sie trennen es zugleich vom unterlagernden Kluftaquifer Flammenmergel des Oberalb, der beim Abteufen von Schacht Konrad I mit geringer Salzwasserführung angetroffen worden ist (s. 2.4.) und zusammen mit den darunter liegenden mergeligen Tonsteinen des Mittel- und Unteralb vom Grundwasserstockwerk 2 (Hilssandstein des Unteralb, s. Tab. 2.1.).

2.4.2.1. Quartär

Die Quartär-Sedimente bilden weitflächig eine relativ dünne Decke über den unterschiedlich alten mesozoischen Gesteinen, die nur fleckenhaft daraus hervorragen. Es handelt sich überwiegend um Bildungen der Weichsel- und Saale-Eiszeit: "Lößlehm", Geschiebemergel bzw. -lehm sowie Sand und Kies glazifluviatiler und fluviatiler Entstehung (BEHREND & KÜHNE 1928). Entlang der Gewässer sind junge fluviatile Serien verbreitet, sofern beide nicht im Zuge der regen Bautätigkeit seit den dreißiger Jahren beseitigt worden sind.

Abweichend von diesem Bild sind die Mächtigkeiten der Quartärsedimente in drei annähernd N-S verlaufenden Gebieten sehr groß: In den Subrosionssenken der Salzstöcke von Broistedt und Thiede und im Bereich des Auetals in der Konrad-Mulde,

in dem der Schacht Konrad II liegt (BEHREND & KÜHNE 1928 u. 1932, PREUL 1968). diese Bereiche werden durch die Kreideaufragungen an den Salzstockflanken voneinander getrennt.

In der Subrosionszone des Broistedter Salzstocks sind die Lockersedimente über dem Gipshut (einschließlich Tertiär) zwar überwiegend feinklastisch und damit schlecht wasserdurchlässig entwickelt, verhindern jedoch nicht den Aufstieg von Salzwasser aus dem Ablaugungsbereich bis in Oberflächennähe (PREUL 1968). Im obersten Teil dieser Zone sind(Mittel-) Terrassenkiese und -sande der Fuhse mit relativ guter Durchlässigkeit vorhanden.

Am Salzstock von Thiede erreichen die Quartär-Serien mehr als 100 m Mächtigkeit. Sie weisen sehr wechselhafte Zusammensetzung (Kies bis Ton, BEHREND & KÜHNE 1932) auf. Genaue Angaben fehlen. Die Sedimente der Subrosionszone dürften jedoch nach Osten mit dem Terrassensystem der Oker und nach Westen mit dem des Auetals (s. u.) verbunden sein.

Besonders wichtig sind die Quartär-Schichten im Auetal. Sie bilden eine Rinne (s. Abb. 2.6), deren tiefster Bereich nördlich von Schacht II jeweils östlich des ehemaligen Auelaufs (vor Bau des Salzgitter-Zweigkanals und der Hütte; BEHREND & KÜHNE 1928) liegt und südlich von Konrad II dem Auetal bis Watenstedt folgt, aber über Watenstedt hinausreicht und dort offenbar Verbindung mit dem Entwässerungsnetz der Fuhse hat. Bei Schacht II trifft ein von Südosten kommender Ast auf diese Rinne, der möglicherweise eine Verbindung zur Thieder Subrosionszone herstellt.

Die Rinnenfüllung weist sehr wechselhafte Zusammensetzung auf: Aus dem Vergleich der Abb. 2.6 und 2.7 geht hervor, daß in den zentralen Teilen ca. 50% der Mächtigkeit auf Kies entfallen. Zu den Rändern und nach oben hin nimmt der feinkörnige Anteil offenbar zu (s. Abb. 2.8). Insgesamt dürften ca. 50% der Rinnenfüllung sehr grobes Material mit Durchlässigkeitswerten von 10^{-3} m/sek und mehr sein (s. Tab. 2.3).

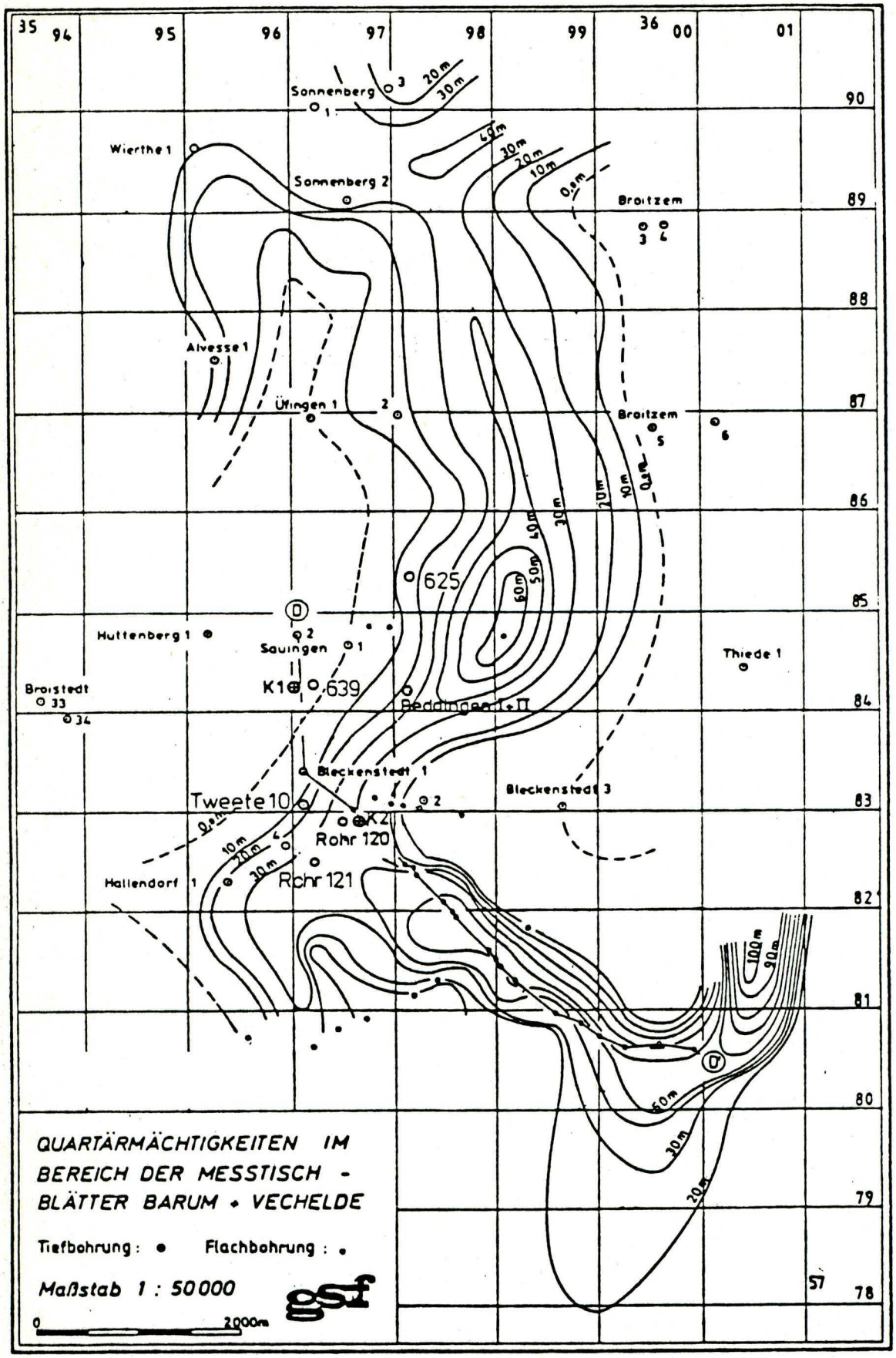


Abb. 2.6

Mächtigkeit der Quartär-Schichten im Bereich der Schachtanlage Konrad (GSF-Abschlußbericht: Fig. B 3.1-2)

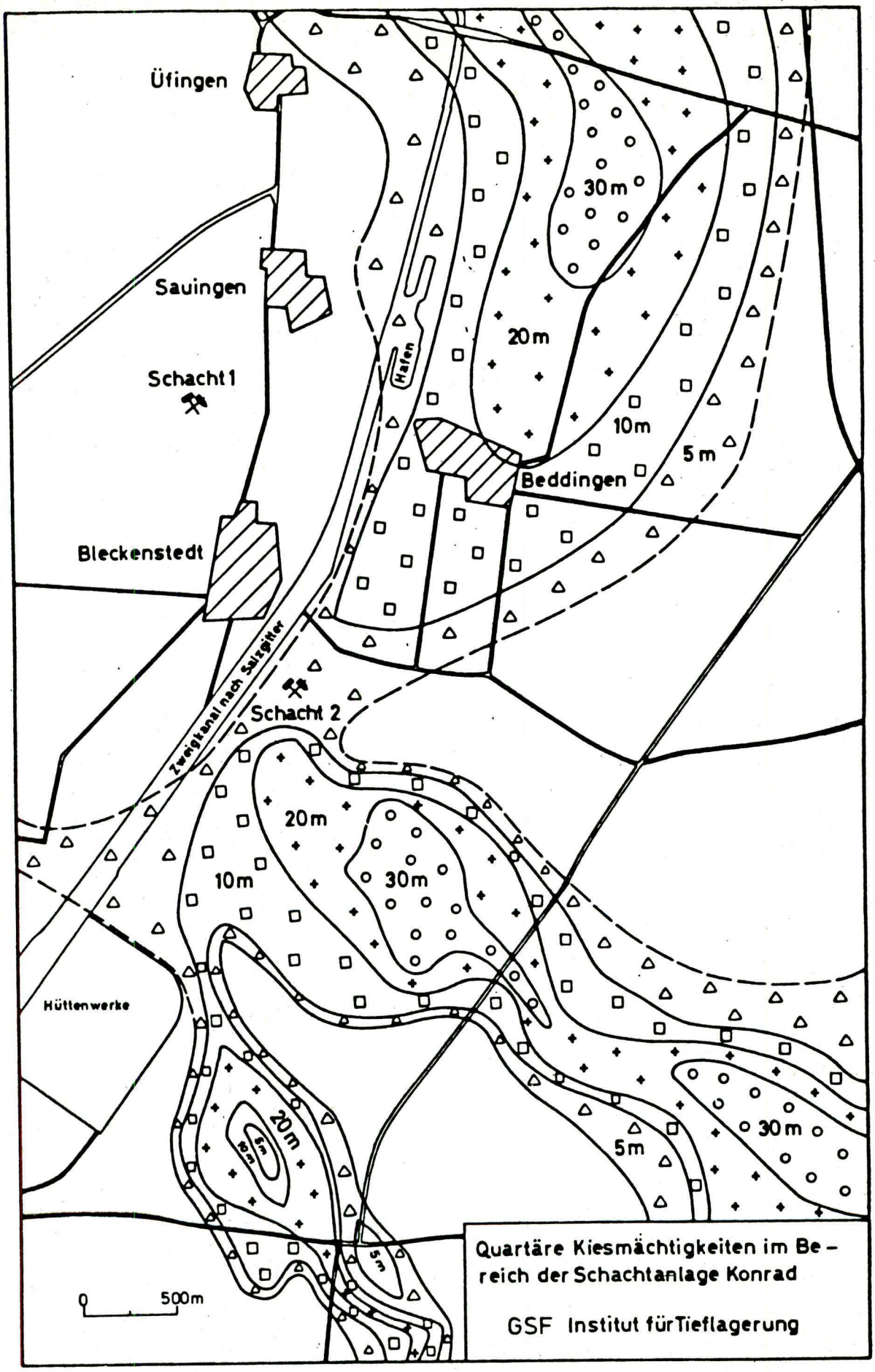


Abb. 2.7

Gesamtmächtigkeit aller Kiesserien in den Quartär-Schichten im Bereich der Schachtanlage Konrad (EGT - Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung 1981: Fig. 5)

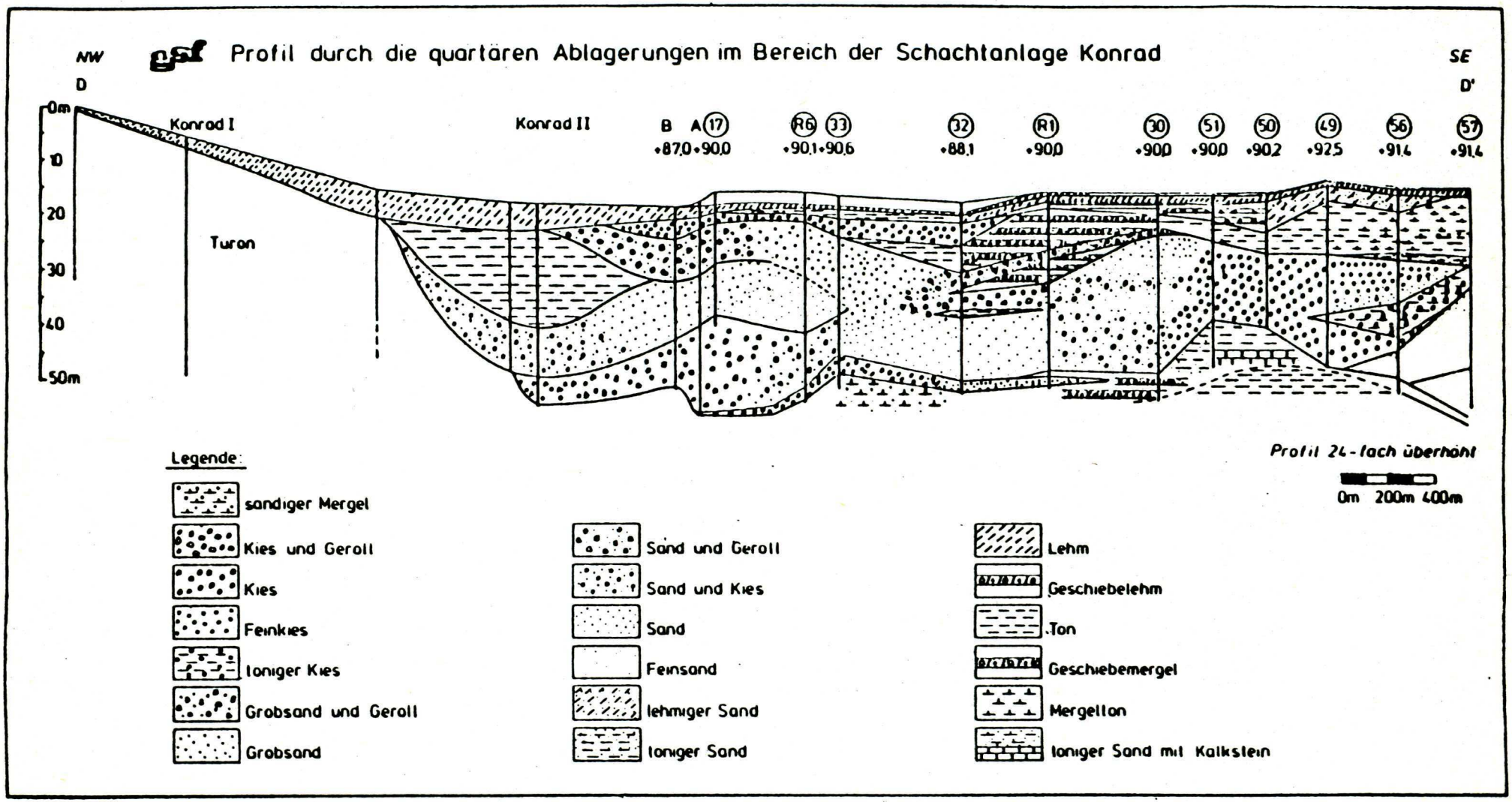


Abb. 2.8

Schematischer Schnitt durch die Quartär-Schichten im Bereich der Schachtanlage Konrad und südöstlich davon (GSF-Abschlußbericht: Fig. B 3.1-1)

Lage des Schnittes siehe Abb. 2.6

Über die in den Quartär-Schichten fließenden Grundwassermengen enthält der GSF-Abschlußbericht (Kap. B3.1) verschiedene Angaben. Sie beruhen i. W. auf Untersuchungen zur Grundwassernutzung und Erfahrungen bei der Nutzung durch die Hütten-Wasserwerke. Danach soll die "gesamte Durchflußmenge" durch die Quartär-Serien im Konrad-Gebiet (unter Berufung auf ein Gutachten von F. PREUL) 1025 m^3/h betragen. Nach Schätzungen von H. KOLBE aus dem Jahre 1962 kann die Nachschubmenge des oberflächennahen Grundwassers aus den quartären Einzugsgebieten und den angrenzenden Plänerkalken sogar 1200-1500 m^3/h betragen. Die Förderung durch die Hüttenwerke liegt "heute" (vermutlich 1981) bei 434 m^3/h.

Die Sorptionseigenschaften der Quartär-Serien und damit ihre Fähigkeit zur RN-Rückhaltung sind nicht untersucht worden. Der GSF-Abschlußbericht geht auf diese Eigenschaft nicht einmal ein. Es ist anzunehmen, daß sie in den groben Anteilen relativ schlecht, in den feinkörnigen Anteilen besser sind.

2.4.2.2. Plänerkalkstein der Oberkreide

Der Oberkreide-Anteil des oberen Grundwasserstockwerks umfaßt die marinen Kalksteine bis kalkigen Mergelsteine des Turon und des oberen Cenoman ("Turon-Pläner" und "Cenoman-Pläner" sowie "Rhotomagense-Kalk", Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II, s. Tab. 2.1). Die Gesamtmächtigkeit dieser Folge schwankt in der Konrad-Mulde zwischen ca. 150 m und mehr als 300 m (KOLBE 1975). In die Oberkreide-Kalksteine der Region Konrad und benachbarter Gebiete sind in unterschiedlichem Maße tonige Lagen eingeschaltet.

Sie stehen weitflächig in den äußeren Flankenbereichen der benachbarten Salzstrukturen an der Oberfläche an oder werden allenfalls von i. a. wasserdurchlässigen Quartär-Schichten überlagert. In den Salzabwanderungszonen (Konrad-Mulde, Barumer Mulde, Lesser Mulde usw.) werden sie von den Emscher Mergeln überlagert (s. Abb. 2.1).

2.4.2.2.1. Wasserführung und Durchlässigkeit

Über das Kluftraumvolumen oder die Gebirgsdurchlässigkeit finden sich im GSF-Abschlußbericht keine Angaben. Bekannt ist, daß beim Abteufen der Schächte Konrad I und Konrad II erhebliche Wassermengen aus den Plänerkalksteinen zugeflossen sind. Der Aquifer war in Schacht Konrad I bis in ca. 195 m Tiefe, in Schacht Konrad II vollständig wassergesättigt (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II). Die zufließenden Wassermengen waren bei Schacht I so groß, daß dieser Schichtabschnitt beim Abteufen von Schacht II, jeweils dem Vortrieb vorauseilend, mit Zement verpreßt worden ist. Dennoch traten auch in Schacht II verschiedentlich Zuflüsse von maximal 80 l/min (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 3) auf.

Im GSF-Abschlußbericht sind diese Wassermengen nur unvollständig wiedergegeben. Als Hauptzuflüsse beim Abteufen von Konrad I werden bezeichnet (GSF-Abschlußbericht: S. B3-11):

500 l/min. bei	35 m Teufe (Oberturon)
180 l/min. bei	92 m Teufe (Mittelturon)
500 l/min. bei	120 - 150 m Teufe (Unterturon)

Alle angegebenen Wassermengen seien erfahrungsgemäß maximale Anfangsmengen, die nach dem ersten Anschlag schnell zurückgingen (GSF-Abschlußbericht: S. B3-11).

Die tatsächlich zugelaufenen Wassermengen sind in Tab. 2.5 dargestellt. Sie liegen deutlich höher. Im Schichtenverzeichnis Konrad I ist außerdem kein Hinweis darauf enthalten, daß der Zulauf durch Ausbluten der Klüfte schnell zurückging. Der Rückgang wurde vielmehr durch Verpressen der Wasser liefernden Klüfte erreicht. In Teufe 120,5 m (s. Tab. 2.5) erhöhte sich die Wassermenge sogar wieder.

Teufe (m)	zugeflossene Wassermenge (l/min.)		Teufe (m)	zugeflossene Wassermenge (l/min.)
11,5	38		54,5	103
14,0	50		67,0	62
17,5	72		84	30
20,0	200		97,5	175
22,0	250		100,0	190
24,0	160		112,5	180
30,0	384		120,5(15.7.58)	174
32,0	379		120,5(23.7.58)	502
33,0	460		136,0	720
34,0	570		142,0	517
36,0	944	Summe:	147,0	618
42,0	156		159,0	130
47,0	175	7163 l/min.	181,0	98

Ab Teufe 136,0 m Salzwasser mit maximal 13 g Cl/l !

Soweit die Abdichtung der Klüfte nicht vollständig gelang, enthalten die angegebenen Mengen auch "Nachfall"-Wasser.

Tab. 2.5 Aus Klüften in den Plänerkalksteinen der Oberkreide während des Abteufens von Schacht Konrad I zugeflossene Wassermengen.

(Schichtenverzeichnis Konrad I: S. 2)

Erfahrungsgemäß schwankt die Gebirgsdurchlässigkeit von Kalksteinen in weiten Grenzen (s. Tab. 2.3). Sie ist von der Klüftigkeit des Gesteins und der Aufweitung der Fugen durch Lösungsprozesses abhängig. Diese sind besonders intensiv in Zonen mit hoher Grundwasser-Fließgeschwindigkeit und hohem CO_2-Gehalt des Grundwassers, also oberhalb und im Bereich des Grundwasserspiegels, wo im Salzgitter-Gebiet auch in den Oberkreide-Kalksteinen Karsterscheinungen zu beobachten sind (KOLBE 1964). Das Kluftvolumen nimmt daher i. d. R. mit zunehmender Teufe ab.

Aus der Literatur bekannte Werte für Kluftraumvolumina sind nur mit Bedenken auf die Konrad-Verhältnisse übertragbar. Am ehesten mag dies bei Gesteinen möglich sein, die sowohl petrographisch als auch im Grad der tektonischen Beanspruchung Ähnlichkeiten aufweisen: ZEINO-MAHMALAT (1973) gibt für die faziell ähnlichen Oberkreide-Kalksteine der Sack-Mulde bei Alfeld ca. 1% Kluftraumvolumen für Tagesaufschlüsse, also oberhalb des Grundwasserspiegels, an. Es verringert sich mit der Teufe. Als Durchschnittswert für den gesamten Aquifer in der Sackmulde nimmt er ca. 0,65 Vol.-% an. Die Verhältnisse am Standort Konrad dürften ähnlich sein.

Betrachtet man die Plänerkalksteine mangels anderer Berechnungsmöglichkeiten als Porenaquifer, so gilt für die Gebirgsdurchlässigkeit das Filtergesetz von Darcy, und es läßt sich aus der beim Abteufen von Schacht Konrad I zugeflossenen Wassermenge die Gebirgsdurchlässigkeit berechnen nach

$$k_{(f)} = \frac{Q \times \Delta l}{F \times \Delta h}$$

mit $k_{(f)}$ = Durchlässigkeitsbeiwert (m/sek);

Q = Wassermenge, die pro Zeiteinheit durch den bekannten Querschnitt eines Aquifers (F) fließt; hier: die Summe aller Zuflüsse aus den Plänerkalksteinen in Schacht I. Q = 7163 l/min. bzw. 0,119 m^3/sek;

F = durchflossener Querschnitt des Aquifers; hier errechnet aus dem halben Umfang des Schachtausbruchs (13,2 m, GSF-Abschlußbericht: S. A1-16) und der Höhe des wasserführenden Aquifers (171m, Schichtenverzeichnis Konrad I). F = 2257 m^2;

$\frac{\Delta h}{\Delta l} = I$ = Grundwasser-Gefälle; hier wegen des Grundwasserabstroms nach Norden berechnet aus den Grundwasserhöhen in Konrad I und Konrad II beim Abteufen (entspannt; Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II) sowie der Entfernung zwischen beiden Schächten (I_1) bzw. aus entsprechenden Daten von Konrad I und aus dem Auetal östlich Konrad I (nach BEHREND & KÜHNE 1928: I_2).
$I_1 = 0,0022$; $I_2 = 0,0046$

Je nach Verwendung von I_1 oder I_2 errechnet sich der Durch-

lässigkeitswert zu 2,4 x 10^{-2} m/sek oder 1,9 x 10^{-2} m/sek. Beide Werte liegen im Bereich der "engeren Bandbreite" für die Gebirgsdurchlässigkeit von Kalkstein nach Tab. 2.3 und lassen erhebliche tatsächliche Fließgeschwindigkeiten erwarten. Das gilt auch dann, wenn man wegen der nicht erfaßbaren Wassermengen aus nicht vollständig abgedichteten Klüften oberhalb der Meßteufe mit erheblich kleineren Werten für Q rechnet: Für Q = 0,05 m^3/sek und I_2 bleibt der Durchlässigkeitswert immer noch 4,8 x 10^{-3} m/sek. Gemessen an den für aufgelockerten Kalkstein üblichen Werten (s. Tab. 2.3) ist dieses Ergebnis nicht einmal unwahrscheinlich und zeigt, wie wichtig eine umfassende Untersuchung des Wasserpotentials der Plänerkalksteine ist.

2.4.2.2.2. Radionuklidrückhaltung

Untersuchungen zur RN-Rückhaltung in den Oberkreide-Kalksteinen hat die GSF nicht durchgeführt. Dennoch wird den Tonlagen in den Plänerkalksteinen "aufgrund aller bisherigen Erfahrungen (...) ein gutes Sorptionsvermögen zugerechnet" (GSF-Abschlußbericht: S. B4-8). Diese "Erfahrungen" werden zwar nicht belegt, beruhen aber offenbar auf der (unzulässigen) Übertragung der Ergebnisse von Untersuchungen an Unterkreide-Tonsteinen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2, s. 2.4.1.1) auf Tonlagen in den Oberkreide-Gesteinen.

Entgegen den Behauptungen im GSF-Abschlußbericht (S. B4-8 u. S. B3-10, 11) gibt es in den Plänerkalksteinen am Standort Konrad (und in den Tagesaufschlüssen der näheren und weiteren Umgebung) keine Anzeichen für nennenswerte Wasserwegsamkeit von "Schichtfugen". Aus den Schichtenverzeichnissen Konrad I und Konrad II ist Wasserführung ausschließlich von Klüften bekannt. Auf ihnen findet auch der "horizontale" Wassertransport statt. Daher ist die vom Grundwasser benetzte "Tonfläche" im Vergleich zur gesamten Oberfläche der Klüfte sehr klein, die mögliche Sorptionsleistung mithin ebenfalls gering. Ohnehin ist in Kluftaquiferen mit relativ geringer Sorption zu rechnen (s. 2.3.2.2.).

2.4.2.3. Grundwasserbewegung und -regeneration

Die Grundwasserneubildung im oberen Grundwasserstockwerk am Standort Konrad erfolgt direkt durch die Versickerung von Niederschlagswasser, entsprechend der größeren Verbreitung an der Oberfläche vorwiegend in den Quartär-Sedimenten. Außerdem erfolgt Zustrom aus den Oberkreide-Ausstrichen an den Salzstrukturen in der Umgebung des Standorts. Da der Grundwasserabstrom entsprechend den Flußläufen und dem generellen Grundwassergefälle in Norddeutschland i. W. nach Norden gerichtet sein dürfte, kommen als Einzugsgebiete vor allem die Flanken der Salzstrukturen Broistedt, Oderwald-Sattel (insbesondere Drütter Sporn), Flachstöckheim und Salzgitterer Höhenzug infrage.

Wo Quartärschichten und Oberkreide-Kalksteine durch die "Emscher-Mergel" getrennt sind, erfolgt der Zustrom von Grundwasser in den Quartär-Serien hauptsächlich aus der Aue-Rinne und ihrem südöstlichen Ast. Das Einzugsgebiet entspricht etwa dem der Aue. Möglicherweise gehört die Subrosionszone Thiede dazu (s. 2.4.2.1.). Nach GSF-Meinung (Abschlußbericht: S. B3-2) ist der nördlich gerichtete Grundwasserabstrom in der Aue-Rinne "wegen des starken faziellen Wechsels der quartären Sedimente im Norden (von Konrad II) nur bedingt möglich". Diese Einschätzung läßt sich aus den Unterlagen im GSF-Abschlußbericht (Fig. B3.1-1), im zusammenfassenden Zwischenbericht (EGT 1981: Fig. 5; s. Abb. 2.6 -2.8) und bei BEHREND & KÜHNE (1928) nicht ableiten. Vielmehr ist auch oberflächennah mit Abstrom nach Norden zu rechnen, wobei offenbar Zuflüsse aus dem Bereich der Salzstöcke Salzwasser liefern. Die Mineralisation des oberflächennahen Grundwassers in der Aue-Rinne und das Auftreten von Salzwasser in den Plänerkalksteinen bei Schacht Konrad I (GSF-Abschlußbericht: Fig. B3.1-5 , Schichtenverzeichnis Konrad I) deuten auf Zustrom aus dem Bereich des Broistedter Salzstocks hin. Allerdings ist ein Zufluß aus entfernteren Gebieten (Salzstock Flachstöckheim) für das Salzwasser in den Kreide-Kalksteinen nicht auszuschließen. Das Grundwasser in der dortigen Oberkreide ist jedenfalls versalzen (KOLBE 1964).

2.4.3. 2. Grundwasserstockwerk (Hilssandstein)

Der Hilssandstein ist ein mariner Sandsteinkomplex im Grenzbereich Apt/Alb (GEORGI 1976), der am Südrand des niedersächsischen Beckens, insbesondere im Bereich der "Hildesheimer Halbinsel", weit verbreitet ist und erhebliche Mächtigkeit erreichen kann. Im Raum Salzgitter-Goslar-Hildesheim wird er lokal durch tonige Einschaltungen zweigeteilt (GEORGI 1976). Der beim Abteufen von Schacht Konrad II in 464 m bis 470,5 m Teufe angetroffene Sandstein dürfte dem unteren Teil zuzurechnen sein.

Nach Schichtenverzeichnis Konrad II (S. 23-25) besteht der Hilssandstein hier (von oben nach unten) aus ca. 4,3 m "Schluffsandstein", 1 m "Feinsand" und 0,75 m "Feinsandstein". Diese Ausbildung entspricht der des wasserführenden Hilssandsteins im ehemaligen Schacht Georg in der Ringelheimer Mulde (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 25):

Der hangende Schluffsandstein weist toniges Bindemittel auf und enthält neben Quarz auch Glaukonit, Glimmer und Pyrit/Markasit. Der Feinsandstein im Liegendabschnitt ist ebenfalls glaukonitisch entwickelt, führt Tonflasern und am Top eine Lage aus Markasit. Er ist unregelmäßig verkieselt und mit Markasit imprägniert. Tonflasern und Markasitlage sind offenbar für die starke Wasserführung im darüber liegenden Feinsand verantwortlich.

Dieser Feinsand besteht überwiegend aus Quarz und Glaukonit und weist offenbar keine oder kaum tonige Einschaltungen auf (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 24).

Beim Abteufen liefen maximal 500 l/min Salzwasser zu.

Der obere Teil des Hilssandsteinkomplexes (s. o.) ist im Schacht Konrad II als ca. 13 m mächtige Wechselfolge aus Feinsandstein bis Mergeltonstein entwickelt, aus der beim Abteufen kein Wasser zugetreten ist (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 18-20).

Im Schacht I sind beide Hilssandsteinzonen deutlich tonreicher entwickelt. Sie waren beim Abteufen trocken.

Nach GSF-Abschlußbericht (Kap. B2.2) geht der Hilssandstein (unterer Abschnitt) dicht nördlich von Schacht II in Tonstein (bzw. sandigen Tonstein) über. Die Angaben über den Hilssandstein in den im Grubenbereich niedergebrachten Bohrungen Bleckenstedt 1 und 4 sowie Sauingen 2 sind sehr unbefriedigend. Offenbar wurde in Bleckenstedt 4 geringmächtiger Sandstein oder eine Sandstein-/Tonstein-Wechselfolge angetroffen (GSF-Abschlußbericht: Fig. B2.2-5).

Nach PREUL (1968) ist die gesamte Unterkreide, damit auch das Unteralb, am Salzstock Broistedt überwiegend tonig entwickelt. Die Verhältnisse am Thieder Salzstock sind unklar (BEHREND & KÜHNE 1932). In der auf halber Strecke zwischen Schacht Konrad und dem Salzstock liegenden Bohrung Bleckenstedt 3 wurde jedenfalls noch Hilssandstein angetroffen (GSF-Abschlußbericht: S. A1-23). Die Mächtigkeit beträgt hier 3 m.

Nach Süden nimmt die Sandsteinmächtigkeit rasch zu. Das nächste Oberflächenvorkommen liegt auf dem Drütter Sporn: Bei Drütte, in gut drei Kilometer Entfernung von Schacht Konrad II, wurde 12 m mächtiger Hilssandstein unter Quartär-Serien erbohrt. Östlich Adersheim und östlich Fümmelse steht Hilssandstein an der Oberfläche an (BEHREND & KÜHNE 1928 u. 1932). Mit entsprechenden oder größeren Mächtigkeiten muß an den Salzstrukturen Flachstöckheim und Salzgitterer Höhenzug im Süden gerechnet werden (GEORGI 1976, KOLBE 1964, SCHOTT et al. 1967). Das Grundwassereinzugsgebiet für den Hilssandstein am Standort Konrad ist also sehr groß.

Nach der petrographischen Beschreibung ist der Hilssandstein als Porenaquifer einzuschätzen, wenngleich in verkieselten Bereichen mit dem Auftreten von Klüften und entsprechenden Wegsamkeiten gerechnet werden muß. Beim Abteufen von Schacht Konrad II traten allein aus der Feinsandlage (s. o.) maximal 500 l/min. Salzwasser mit 94 g Cl^-/l aus (Schichtenverzeich-

nis Konradrad II: S. 3). Abdichtungsmaßnahmen mit Zementinjektionen waren erst nach langem Bemühen erfolgreich. Trotz dieser Maßnahmen und möglicher "Abdichtung durch tonige Bestandteile sowie (...) Salz- und Eisenverkrustungen" treten heute noch ca. 10 l/min. zu (GSF-Abschlußbericht: S. B3-13). Durchlässigkeit und potentielle Fließgeschwindigkeit des Grundwassers sind also relativ hoch.

Aus Probenmangel konnte die Durchlässigkeit von Hilssandstein-Proben aus der Schachtanlage Konrad nicht direkt bestimmt werden. Ersatzweise wurde eine Permeabilitätsbestimmung an einer Probe des Adersheimer Vorkommens durchgeführt, die einen Wert von 1,5 Darcy (entsprechend ca. $1{,}5 \times 10^{-5}$ m/sek) erbrache (GSF-Abschlußbericht: S. B2-12). Er liegt im Bereich der für Sandstein typischen Werte (s. Tab. 2.3) und paßt zu Daten, die ZEINO-MAHMALAT (1973: $0{,}15 \times 10^{-6}$ bis $1{,}5 \times 10^{-6}$ m/sek) an Hilssandstein der Sackmulde bei Al feld ermittelt hat. Da der Wasserzutritt beim Abteufen von Schacht Konrad II nur aus einem dünnnen, sehr locker ausgebildeten Abschnitt des Hilssandsteins erfolgte, der wahrscheinlich bei der Probenahme bei Adersheim nicht erfaßt worden ist, kann der tatsächliche Durchlässigkeitswert noch um eine bis zwei Größenordnungen über den hier angegebenen liegen.

Die tatsächlichen Fließgeschwindigkeiten im Hilssandstein können im Raum Konrad trotz des erheblichen Neubildungspotentials jedoch relativ gering sein: Sofern die Beobachtungen zur Faziesveränderung des Hilssandsteins (s. o.) für die gesamte Konrad-Mulde gelten, ist der Grundwasserabstrom nach Norden möglicherweise behindert oder verhindert. Dafür spricht auch der hohe Salzgehalt im Hilssandstein-Wasser, der außerdem auf hydraulische Verbindung zu einem Subrosionsgebiet hinweist (s. 2.5.2.2.1.). Genaue Informationen über die Grundwasserbewegung liegen jedoch nicht vor.

Wegen der Aggressivität des Hilssandstein-Wassers aufgrund hoher CO_2-Gehalte (GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.2-1) und der damit verbundenen langfristig möglichen Beeinträchtigung der

Abdichtung von Schacht II (s. 2.5.2.1.) ist der Nachweis etwaiger Verbindungen zwischen Konrad 2 und den Regenerationsgebieten des Hilssandstein-Wassers von erheblicher Bedeutung. Die GSF (Abschlußbericht: Kap. B3.4.1) führt gegen die Existenz solcher Verbindungen hydrochemische Argumente und Tritiumbestimmungen an, die einer Überprüfung allerdings nicht standhalten (s. auch 2.5.3.2.5.).

Vielmehr deuten alle aus den vorhandenen geologischen Kartenunterlagen (BEHREND & KÜHNE 1928, Geotektonische Karte von Nordwestdeutschland; s. Abb. 2.1) entnehmbaren Informationen darauf hin, daß eine direkte hydraulische Verbindung mit den oberflächennahen bzw. Oberflächenvorkommen von Hilssandstein südlich des Grubenbereichs (Drütter Sporn, Salzstrukturen Flachstöckheim und Salzgitterer Höhenzug) vorhanden ist.

Darüber hinaus läßt sich rechnerisch nachweisen, daß die GSF-Untersuchungen zu dieser Frage (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4 , insbesondere Kap. B3.4.4) kein Beitrag zu ihrer Beantwortung sind:

Aus der Filtergeschwindigkeit und der Entfernung zum nächstgelegenen Oberflächenvorkommen von Hilssandstein auf dem Drütter Sporn läßt sich nämlich die Fließzeit von der Oberfläche bis in den Schacht überschlägig berechnen. Ohne Berücksichtigung von Wasserdichte und -viskosität ist die Filtergeschwindigkeit nach Darcy

$$v = k \times \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

wobei Δh = Höhenunterschied der Grundwasserspiegel bei Drütte und in Konrad II: Ca. 470 m;

Δl = Entfernung Drütte - Konrad II: ca. 3,5 km;

k = Durchlässigkeitswert: $1,5 \times 10^{-5}$ m/sek (s.o.).

Die Fließzeit beträgt danach ca. 60 Jahre, wogegen der Schacht erst seit ca. 20 Jahren besteht. Oberflächeneinflüsse sind nach dieser Rechnung also (selbst bei höheren k-Wer-

ten) erst in einigen Jahrzehnten nachzuweisen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Abdichtungsmaßnahmen am Hilssandstein bis heute erfolgreich gewesen sind und daher eigentlich statt mit dem Durchlässigkeitswert für den Hilssandstein mit dem (unbekannten) für die Schachtabdichtung gerechnet werden müßte. Dabei wird unterstellt, daß die natürliche Grundwasser-Fließgeschwindigkeit gering ist (s. o.).

Über die Eigenschaften des Hilssandsteins zur Radionuklid-Rückhaltung liegen keine Informationen vor.

2.4.4. 3. Grundwasserstockwerk (Korallenoolith einschließlich Erzlager, z. T. Kimmeridge)

2.4.4.1. Gesteinsausbildung und -vorkommen

Das dritte Grundwasserstockwerk am Standort Konrad liegt in Gesteinen des Malm, zu denen auch das als Endlagergestein vorgesehene Korallenoolith-Erz gehört. Diesem Stockwerk kommt daher höchste sicherheitsmäßige Bedeutung mit entsprechenden Anforderungen an die Eignungsuntersuchung zu.

Aus Mangel an stratigraphisch aussagekräftigen Fossilien beruht die für den Standort Konrad vorliegende Gliederung für die Schichten dieses Grundwasserstockwerks (KOLBE 1975, Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II) wie im übrigen Nordwestdeutschland i. W. auf petrofaziellen Kriterien.

Das Stockwerk umfaßt Gesteine des Kimmeridge und des Korallenoolith. Sie werden im Grubenbereich von weniger durchlässigen Gesteinen des höheren Malm (Münder Mergel) bzw. der Unterkreide (Hauterive) überlagert. Vom nächsttieferen Grundwasserstockwerk wird es durch tonig-mergelige Geteine des tiefsten Malm (Heersumer Schichten) und des oberen Dogger getrennt (s. Tab. 2.1).

Der Korallenoolith wird am Standort Konrad i. W. nach der Erzführung gegliedert: Oberer und unterer Korallenoolith sind erzarm bzw. erzfrei. Im mittleren Korallenoolith sind dagegen zwei Erzlager entwickelt, die durch ein kalkig-mergeliges Zwischenmittel getrennt werden. Nur das untere Lager ist abgebaut worden. Es weist innerhalb des Grubengebäudes erhebliche Mächtigkeitsschwankungen auf.

Kalkreiche Gesteinstypen sind überwiegend als Kalkoolith in oft dickbankigen Gesteinsfolgen entwickelt. Ähnliche Erscheinungsform zeigen auch die "Eisenoolithe" des mittleren Korallenoolith.

Hoher Tongehalt ist bevorzugt an Mergellagen gebunden. Die Tonminerale sind Kaolinit, Illit und mit 5 bis 15 Gew.-% quellfähiger Illit-Montmorillonit. Die quellfähige Komponente kann u. U. das Konvergenzverhalten nach Vollaufen des Endlagers beeinflussen (s. 3.2.2.).

Nach den Schichtenverzeichnissen Konrad I und Konrad II sowie KOLBE (1975) wechselt die Gesteinsausbildung zwischen den Schächten Konrad I und Konrad II ganz erheblich. Davon sind auch sicherheitsrelevate Eigenschaften, wie Gesteinsdurchlässigkeit und Sorptionsvermögen, betroffen. Die unterschiedlichen Mächtigkeiten der Teileinheiten von Kimmeridge und Korallenoolith, sowie die Anteile der tonreichen bzw. kalkreichen Gesteinstypen gehen aus Tab. 2.6 hervor.

Gesteine des Kimmeridge und des Korallenoolith treten in der Umgebung der Schachtanlage Konrad nicht an der Oberfläche auf. In Richtung auf die Salzstrukturen Broistedt und Thiede sowie nach Süden in Richtung auf den Drütter Sporn bzw. die Barumer Mulde werden sie von den überwiegend tonigen Serien der Unterkreide diskordant überlagert (s. Abb. 2.2). Nach Norden tauchen sie - ebenfalls unter Kreidebedeckung - in den zentralen Teil der Konrad-Mulde ab.

Die nächsten Oberflächenvorkommen liegen in den Lichtenbergen (Hohenassel) sowie an den jenseits der Salzstruktur Broistedt -Rolfsbüttel gelegenen Strukturen Mölme und Gr. Ilsede (s. Abb. 2.1). Eine wirksame hydraulische Verbindung zu diesen Vorkommen existiert offensichtlich nicht.

Grundwasserneubildung kann in diesem Grundwasserstockwerk also wahrscheinlich nur über Durchsickerung der hangenden Tonsteinserien oder durch Zutritt aus dem Cornbrash-Sandstein (s. 2.5.3.) stattfinden. Wegen der im oberen Teil (Kimmeridge) höheren schichtparallelen Durchlässigkeit (s. u.) ist damit zu rechnen, daß Wasser, das diese Zone erreicht, in den zentralen Teil der Konrad-Mulde abwandert. Am ehesten ist daher Regeneration des Korallenoolith-Wassers östlich der Grube zu erwarten, wo die Unterkreide-Tonsteine die klüftigen Gesteine des Korallenoolith direkt überlagern.
Von dort aus folgt es dem Gefälle, soweit Kluftverbindungen eine Bewegung erlauben (s. 2.4.4.3.).

Die heute in den Aquifer gelangende Wassermenge ist zweifellos gering. Für die GSF-Annahme, daß alles Wasser in den Gesteinen des Korallenoolith "Millionen von Jahren alt ist" (GSF-Abschlußbericht: S. B4-9) oder "daß die Herkunft des Wassers höchstwahrscheinlich von geologischen Ereignissen vor rund 120 bis 150 Millionen Jahren abzuleiten ist" (GSF-Abschlußbericht, S. B3-33), gibt es jedoch keine belastbaren geologischen (s. auch 2.5.1.) und hydrochemischen (s. 2.5.2.) Anhaltspunkte. Sie zeigt lediglich, daß sich GSF mit der Frage der Wasserherkunft nicht in angemessener Weise befaßt hat.

2.4.4.2. Potentielle Wasserführung und Durchlässigkeit

Die Gebirgsdurchlässigkeit von Kimmeridge- und Korallenoolith-Serien wird vor allem von ihrem Anteil an Kalksteinen bestimmt, die als Kluftaquifere entwickelt sind. Ähnlich rigid wie die Kalksteine verhalten sich "Eisenoolith-Bänke" des mittleren Korallenoolith. Beide weisen ausgeprägte, teilweise

mit Sekundärmineralen verheilte Klüftung auf, während kalkige Mergelsteine bis mergelige Tonsteine oft unregelmäßig stückig absondern und Klüfte in diesen Gesteinen nicht immer erkennbar sind (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II).

Wenngleich konkrete Angaben über die Gebirgsdurchlässigkeit der Kimmeridge-Serien nicht vorliegen, dürfte sie wegen des hohen Mergelsteinanteils (s. Tab. 2.6) deutlich unter der des kalksteinreichen Korallenoolith liegen und schichtparallel deutlich größer sein als senkrecht dazu.

Über die Durchlässigkeit des Korallenoolith-Erzes und seiner Begleitgesteine sowie die Hilfsgrößen zu ihrer Abschätzung enthält der GSF-Abschlußbericht zahlreiche Angaben: Zum einen liegen aus Teilbereichen der Grube Bestimmungen der relativen und absoluten Kluftdichte (GSF-Abschlußbericht: Kap. B1.3.6 bzw. Kap. B6.1.6) und Permeabilitätswerte aus in-situ- und Labormessungen (GSF-Abschlußbericht Kap. B3.5 bzw. Kap. B2.1.2.3) vor, zum anderen existieren Aufzeichnungen über die beim Schachtabteufen (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II) sowie beim Erzabbau im Grubengebäude zugetretenen Wassermengen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.1 und Kap. B3.3 , s. 2.4.4.3.).

Einen ersten Anhaltspunkt zur relativen Durchlässigkeit der Gesteine liefert jedoch deren Kalkgehalt: In Tab. 2.6 sind für Kimmeridge und Korallenoolith die Anteile der Kalksteine und Mergelkalksteine an der Mächtigkeit der durchteuften Schichtfolge (nach Schichtenverzeichnissen Konrad I und Konrad II) dargestellt. Auffällig sind die erheblichen Unterschiede zwischen den Schächten I und II, die sich sowohl auf die Mächtigkeit der einzelnen Einheiten des Korallenoolith als auch auf den jeweiligen Karbonatanteil erstrecken.

Der hohe Kalkstein- bzw. "Eisenoolith"-Anteil (und alle anderen für diese Frage wichtigen Beobachtungen) weisen den Korallenoolith eindeutig als Kluftaquifer aus.

	Schacht Konrad 1					Schacht Konrad 2				
	K		M		S	K		M		S
	m	%	m	%	m	m	%	m	%	m
KIMMERIDGE	66	27	181	73	247	42	40	64	60	106
O. Korallenoolith	17	42	24	58	41	20	79	5	21	25
O. Lager						5	100	-	-	5
M. K. Zwischenmittel	32	70	14	30	45	7	37	12	63	19
U. Lager						13	72	5	28	19
U. Korallenoolith	4	14	23	86	27	36	63	21	37	57
KORALLENOOLITH	53	46	61	54	113	81	65	44	35	126

Tab. 2.6

Anteile kalkreicher (K) und kalkarmer (M) Gesteine an der Mächtigkeit (S) des Kimmeridge und von Teileinheiten des Korallenoolith in den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (errechnet nach Angaben in den Schichtenverzeichnissen Konrad 1 und Konrad 2)

Schacht 2: nur Unter- und Mittel-Kimmeridge vorhanden

M - Mergeltonstein bis Kalkmergelstein (einschließlich Anhydrit)
K - Kalkstein bis Mergelkalkstein (einschließlich oolithisches Erz)

Seine Gebirgsdurchlässigkeit ist daher nur mit Hilfe von in-situ-Versuchen zu bestimmen (s. 2.3.2.2.).

Auswertung von Kluftmessungen

Für die potentielle Wasserführung und die Durchlässigkeit ist das Kluftvolumen von Bedeutung. Versuche zu seiner Bestimmung hat GSF trotz der günstigen Aufschlußverhältnisse nicht vorgenommen. Ersatzweise wurde nach zwei Verfahren die "Kluftdichte" als für das Kluftvolumen (und die Gesteinsfestigkeit, s. 3.3.) mitentscheidender Faktor untersucht:

Einer gewichteten Auswertung sind auf der 4. und 5. Sohle vermessene Großklüfte unterzogen worden (GSF-Abschlußbericht: Kap. Bl.3.6.). Dabei wurden sie je nach dem Grad ihrer durchtrennenden Wirkung einfach, zweifach oder dreifach gewertet (GSF-Abschlußbericht: S. Bl-41).
Der untersuchte Grubenteil läßt sich danach in 11 Homogenbereiche unterschiedlicher Kluftdichte untergliedern, wobei allerdings unklar bleibt, nach welchen genauen Kriterien diese Abgrenzung vorgenommen wurde und warum Klüfte stark streuender Richtung nicht ausgewertet worden sind (GSF-Abschlußbericht: S. Bl-41).

In Tab. 2.2 sind die jeweiligen Flächenanteile der Homogenbereiche A bis K an der insgesamt ausgewerteten Fläche, ihr Anteil an der Gesamtmenge der ausgewerteten Klüfte sowie ergänzend zu der GSF-Tabelle (Abschlußbericht: Tab. Bl.3-3) der Quotient Kluftanteil/Flächenanteil (eines Homogenbereichs) dargestellt. Während die tektogenetische Auswertung dieser Spezialaufnahme durch die GSF gegenüber normalen Kluftmessungen (GSF-Abschlußbericht: Kap. Bl.3.5) keine zusäztlichen Erkenntnisse liefert, ermöglicht sie wichtige Aussagen über die Klüftigkeit und indirekt über die Durchlässigkeit des Erzes:

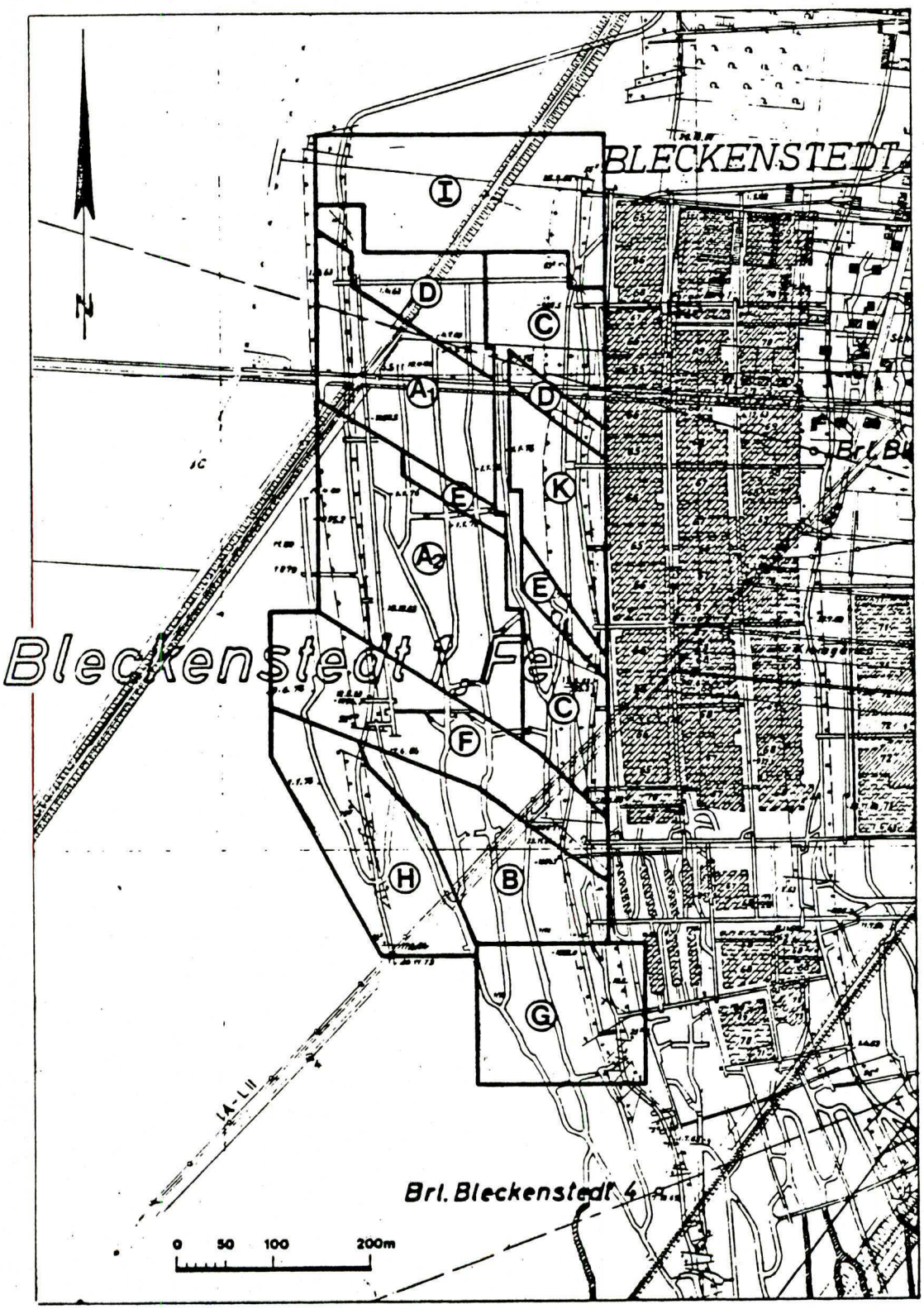


Abb. 2.9

Tektonische Homogenbereiche zwischen der 4. und 5. Sohle südlich des Bleckenstedter Sprungs, bestimmt durch gewichtete Auswertung von Großklüften und Verwerfungen (GSF-Abschlußbericht: Fig. B 1.3-15)

In Zusammenhang mit Abb. 2.9 wird deutlich, daß die Klüftigkeit innerhalb der untersuchten Fläche stark schwankt und sich von Homogenbereich zu Homogenbereich "sprunghaft" ändert. So grenzen die beiden Homogenbereiche mit der höchsten und niedrigsten Kluftdichte direkt aneinander. Nach den übrigen Kluftmessungen zu urteilen (GSF-Abschlußbericht: Kap. Bl.3.5.2 ; s. 2.2.3. u. Abb.2.4), ist diese Erscheinung typisch für das gesamte Grubengebäude. Zwar ist die hier erfaßte "relative Klüftigkeit" kein direktes Maß für die Gesteinsdurchlässigkeit, doch zeigt das Ergebnis sehr deutlich, daß verallgemeinernde Äußerungen über die Gesteinspermeabilität und andere sicherheitsrelevante Eigenschaften (s. 3.3.) des Korallenoolith-Erzes nicht ohne weiteres möglich sind, weil der Ort der Untersuchung bzw. der Probennahme von erheblichem Einfluß auf das Ergebnis ist.

Beim zweiten Verfahren wurden Fernsehsondierungen in zwei jeweils 40 m tiefen Horizontalbohrlöchern durchgeführt (GSF-Abschlußbericht: Kap. B6.1.6). Die Lage der Bohrungen innerhalb des Grubengebäudes und ihre genaue Orientierung wird nicht mitgeteilt. Die Klüftigkeit ist in beiden Bohrungen mit 0,4 bzw. 0,5 Klüften pro Meter (Kl/m) für einmeßbare Klüfte annähernd gleich groß.

Das gilt auch für den Durchtrennungsgrad, der für 70 - 80 % der Klüfte zwischen 0,5 und 1 liegt. Trotz seiner Bedeutung für die Gesteinsmechanik und -hydraulik sind dies die einzigen Angaben über den Durchtrennungsgrad, die im GSF-Abschlußbericht enthalten sind.

Bei Berücksichtigung aller sichtbaren, also auch der nicht einmeßbaren Klüfte beträgt die Klüftigkeit durchschnittlich ca. 0,9 Kl/m. Sie ändert sich in den Bohrungen mit der Teufe: Bis ca. 16 m Bohrtiefe ist sie annähernd konstant, zwischen 16 und 18 m liegt sie etwas über dem Mittelwert (s. o.) und anschließend nimmt sie ab. Daraus wird abgeleitet, daß sich die Auflockerungszonen um die Strecken bis zu einem Abstand von ca. 18 m, entsprechend etwa dem Dreifachen des größten

Streckendurchmessers, vom Stoß erstrecken. Allerdings konnte die Klüftigkeit über diese Entfernung hinaus nur noch über 2 bzw. 5 m gemessen bzw. beobachtet werden. Die GSF-Vermutung, "daß ein Teil dieser Klüfte und Risse erst infolge der Hohlraumauffahrung entstanden oder zumindest sichtbar geworden ist" (GSF-Abschlußbericht: S. B6-20), deckt sich jedoch nicht mit den in-situ-Messungen der Permeabilität. Dabei war nämlich - an anderer Stelle - die Auflockerungszone teilweise nur bis ca. 10 m Entfernung von der Streckensohle (GSF-Abschlußbericht: Fig. B3.5-5) erkennbar, während in anderen Fällen eine Zone abbaubedingter Auflockerung mit den Permeabilitätsmessungen überhaupt nicht nachweisbar war (GSF-Abschlußbericht: S. B3-68).

Beide Untersuchungen zur Klüftigkeit des Korallenoolith-Erzes sind wegen ihrer Auswahlhaftigkeit ohne große Aussagekraft. Bei den Fernsehsondierungen kommt beeinträchtigend hinzu, daß nicht einmal die ungefähre Lage der Bohrungen mitgeteilt worden ist, so daß selbst die spärlichen Informationen nicht miteinander verglichen werden können.

Angesichts der günstigen Aufschlußverhältnisse im Grubengebäude ist völlig unverständlich, warum nicht versucht worden ist, mit einfachen Mitteln Klüftigkeit, Durchtrennungsgrad und Kluftraumvolumen repräsentativ bzw. überhaupt zu bestimmen.

Unter demselben Mangel unzureichender Berücksichtigung (nicht einmal Erwähnung) der tektonischen Inhomogenität leidet auch die Analyse der Verteilung von Klüften mit ("alten") Kluftbestegen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.5.1) bzw. ("junger") Bildung von Salzmineralen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.5.1):

Die Häufigkeitsverteilung von 130 im gesamten Grubengebäude eingemessenen Klüften mit Bestegen (s. Abb. 2.11.) weist deutliche Beziehungen zur Verteilung aller gemessenen Klüfte (s. Abb. 2.5) auf. Sekundäre Salzabscheidung aus vagabundie-

rendem Brauchwasser scheint dagegen auf den ersten Blick bevorzugt an NNE-SSW-streichende und nur untergeordnet an E-W-streichende Klüfte gebunden zu sein (GSF-Abschlußbericht: S. B3-67, s. Abb. 2.12). Der Vergleich mit den räumlich aufgeschlüsselten Kluftverteilungen (s. Abb. 2.4) offenbart jedoch auch hier zumindest eine mögliche direkte Abhängigkeit der Häufigkeit einer Kluftrichtung vom Aufnahmeort und läßt daher keine sicherheitsrelevanten Aussagen zu.

Auf "das Fehlen einer großräumigen Kluftporosität" und die Existenz nur "begrenzter Wasserwege" im Erzlager (GSF-Abschlußbericht: S. B3-67) darf aus den geschilderten Untersuchungen trotz Verarbeitung der Meßwerte mit dem montangeologischen Auswertungsprogramm GELI durch die GSF keinesfalls geschlossen werden.

Durchlässigkeitsbestimmungen

An "repräsentativen" Proben wurden im Laborversuch (GSF-Abschlußbericht: Kap. B2.1.2.3) Permeabilitäten für das Erz von 10 bis 150 µD, im oberen Korallenoolith von weniger als 30 µD und im unteren Korallenoolith von 10 µD bis 560 µD gemessen (GSF-Abschlußbericht: S. B2-11). Wieviele Messungen diesen Werten zugrunde liegen und woraus sich ihr repräsentativer Charakter ergibt, teilt GSF ebenso wenig mit wie die Gründe für die Schwankungen der Werte um immerhin mehr als eine Größenordnung.

Für die Abschätzung der Gebirgspermeabilität sind diese Werte ohnehin ohne Bedeutung (s. 2.3.2.2.).

Die in-situ-Messungen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.5.2) wurden an nicht näher bezeichneten Punkten der 2. und 5. Sohle sowie in der Wetterteststrecke 672 durchgeführt. Über die "relative Klüftigkeit" im Bereich der 2. Sohle liegen keine Angaben vor. Auf der 5. Sohle schwankt die "Kluftdichte" zwischen den dort ausgeschiedenen Homogenbereichen (s. Abb. 2.9

und Tab. 2.2 , Homogenbereiche A, F, H) ganz erheblich. In der Strecke 672 ist die Klüftigkeit entsprechend Abb. 2.9 und Tab. 2.2 (Homogenbereiche F und H) gering. Schon aus diesem Grund sind auch diese Meßwert nicht repräsentativ für das gesamte Grubengebäude.

Die gemessenen Werte schwanken in weiten Bereichen (10^{-1} bis 10^{4} µD). Dabei ist eine deutliche schichtungsabhängige Anisotropie der Durchlässigkeit zu beobachten: Die Meßwerte aus vertikalen Bohrungen (entsprechend der Durchlässigkeit parallel zur Schichtung) lagen im Mittel höher (10^{1} bis 10^{2} µD) als die aus horizontalen Bohrungen 1 bis 10^{1} µD, mit denen eher die Durchlässigkeit senkrecht zur Schichtung erfaßt wird.

Die höchsten Werte (10^{3} bis 10^{4} µD) wurden in horizontalen Bohrungen ermittelt. Es kann unterstellt werden, daß damit annähernd senkrecht zur Schichtung verlaufende Klüfte erfaßt worden sind.

Die in-situ-Permeabilitätsmessungen sind offenbar mit der bei einem Kluftaquifer nicht verständlichen Zielsetzung erfolgt, die Permeabilität des ungestörten Gebirges statt des Gebirges insgesamt zu bestimmen (s. 2.3.2.2.). Anders ist nicht zu verstehen, daß für die statistische Auswertung der Meßergebnisse diejenigen Werte aussortiert wurden, "die das statistische Bild verfälschen. Dies sind alle Werte aus der Bohrung MP 2-H, die mit ihren hohen Beträgen für ein gestörtes Gebirge sprechen" (GSF-Abschlußbericht:S. B3-69).

Leider wird nicht mitgeteilt, wie hoch genau diese Werte sind, doch muß es sich nach Fig. B3.5-7 und Fig. 3.5-9 (GSF-Abschlußbericht) um zwei Werte in der Größenordnung 10^{3} bis 10^{4} µD handeln. Das entspricht etwa dem 10- bis 100-fachen des Mittelwerts aller Messungen (97µD) und etwa dem 50- bis 500-fachen des Mittelwerts ohne die hohen Meßwerte (22 µD).

Die Standardabweichung für die "bereinigten" Meßwerte aller Bohrungen bzw. für nur die horizontalen oder vertikalen Bohrungen ist mindestens genau so groß wie der jeweilige arithmetische Mittelwert. Die GSF (Abschlußbericht: S. B3-72) folgert daraus, "daß man diesbezüglich kaum noch von statistischen Fehlern in den Meßergebnissen für die Meßintervalle ausgehen kann."

Tatsächlich muß aus diesen Verhältnissen der Schluß gezogen werden, daß die Meßwerte, wie im GSF-Abschlußbericht (Fig. B3.5-6) erkennbar, aus zwei Gruppen bestehen und/oder daß die Meßwerte nur einen kleinen Teil der tatsächlich möglichen Werte ausmachen. Es fehlen die Daten über klüftige Gebirgsteile.

Keinesfalls geben die Meßwerte die Gebirgspermeabilität des Korallenoolith-Erzes angemessen wieder.

2.4.4.3. Angaben zur tatsächlichen Wasserführung

Wasserzuflüsse beim Schachtabteufen

Beim Abteufen von Schacht Konrad I traten nur in 1114 m Teufe, im Grenzbereich Kimmeridg/Korallenoolith, 2 l Salzwasser pro Minute mit 130 mg/l Chlorid und aus einem von 1100 m bis 1203 m Teufe niedergebrachten Bohrloch 0,5 l/min zu (Schichtenverzeichnis Konrad I:S. 2). Erheblich stärker waren die Zuflüsse beim Abteufen von Schacht Konrad II. Sie waren hier auf Klüfte im unteren Korallenoolith beschränkt und mußten durch Zementinjektionen abgedichtet werden.

Die Angaben über die zugetretenen Wassermengen sind sehr widersprüchlich: Nach GSF-Abschlußbericht (S. B3-16) flossen aus einer Kluft in 864 bis 874 m Teufe "anfangs lediglich 30 bis 90 l/min" zu. Für dieselbe Kluft werden im Schichtenverzeichnis Konrad II (S. 53/54) 28,5 l/min angegeben. Das Wasser hatte einen Chloridgehalt von 115 g/l (Schichtenver-

zeichnis Konrad II: S. 3). Ein Teil des Wassers aus dem unteren Korallenoolith fiel beim weiteren Abteufen in den Heersumer Schichten an. Dabei wurde innerhalb von drei Tagen eine Zunahme von 30 auf 59 l/min beobachtet (Schichtenverzeichnis Konrad 2: S. 54).

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß stärkere Wasserzutritte bei Abteufen der Schächte auf Schacht Konrad II und dort besonders auf den unteren Korallenoolith, also die Aquiferbasis, beschränkt waren. Offenbar waren dort die Klüfte sogar vollständig mit Wasser gefüllt (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 54). Aufgrund der relativ kalksteinreichen Ausbildung (s. o.) ist hier in einem größeren Bereich die vertikale Durchlässigkeit offenbar so hoch, daß das Wasser erst auf den weniger durchlässigen Heersumer Schichten (bzw. Ornaten-Ton) gestaut wird.

Das gilt auch heute noch: Besucher der Grube Konrad können sich davon auf der 3. Sohle, im Querschlag nach Schacht 2 überzeugen, wo die Stöße trotz Bewetterung im Grenzbereich Korallenoolith/Ornaten-Ton feucht sind.

Ob die geringe Wasserführung bei Schacht I allein auf die mergelreiche Fazies (s. Tab. 2.6) zurückgeht, ist unbekannt.

Wasserführende Klüfte

Zur Identifizierung von Klüften mit möglicherweise besonders großem "Wasserführungspotential" hat GSF nach "kluftstatistischen" Gesichtspunkten Meßdaten von 57 Klüften bearbeitet, aus denen beim Abteufen der Schächte oder bei Auffahren von Strecken in Erz oder Nebengestein Wasser ausgetreten ist bzw. noch heute austritt (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.5.1). Sie stammen aus den Plänerkalksteinen oder Oberkreide und Gesteinen des Korallenoolith , wobei für die im Grubengebäude gemessenen Klüfte wiederum der genaue Meßpunkt nicht angegeben wird.

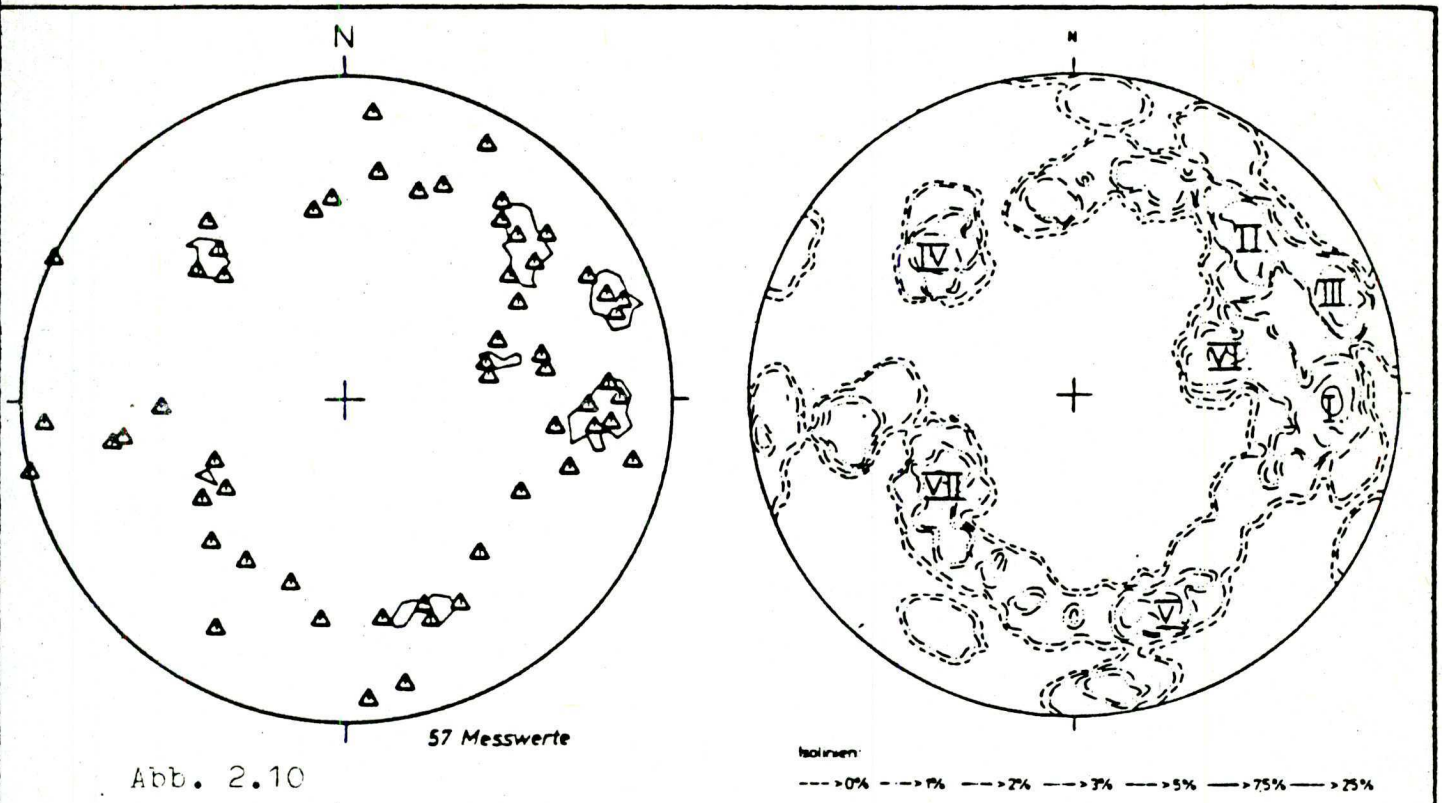


Abb. 2.10

Tektonische Trennflächen im Grubengebäude Konrad mit Wasserführung (GSF-Abschlußbericht: Fig. B 3.5-1 u. Fig. B 3.5-2)

links: Lage der Flächenpole im Schmidtschen Netz

rechts: Häufigkeitsverteilung der Flächenpole

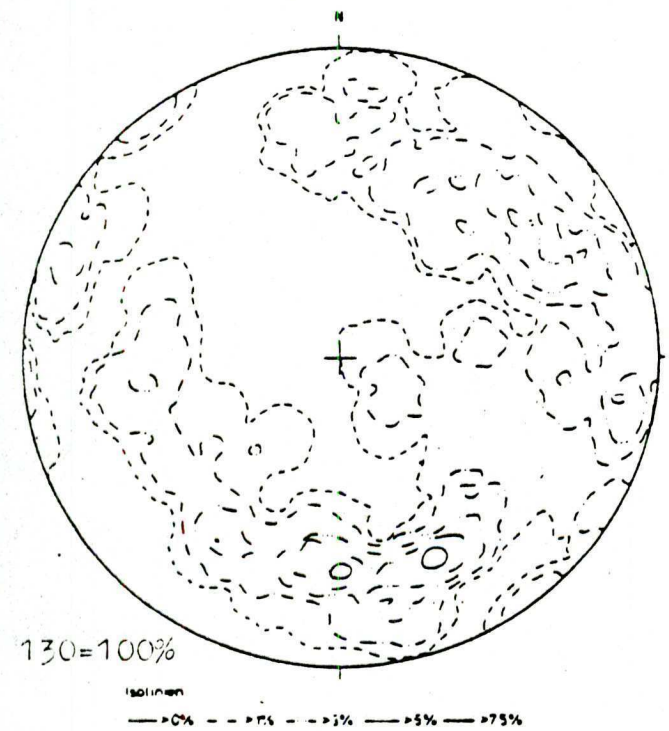


Abb. 2.11

Häufigkeitsverteilung der Flächenpole von Klüften mit Bestegen im Korallenoolith (GSF-Abschlußbericht: Fig. B 3.5-3)

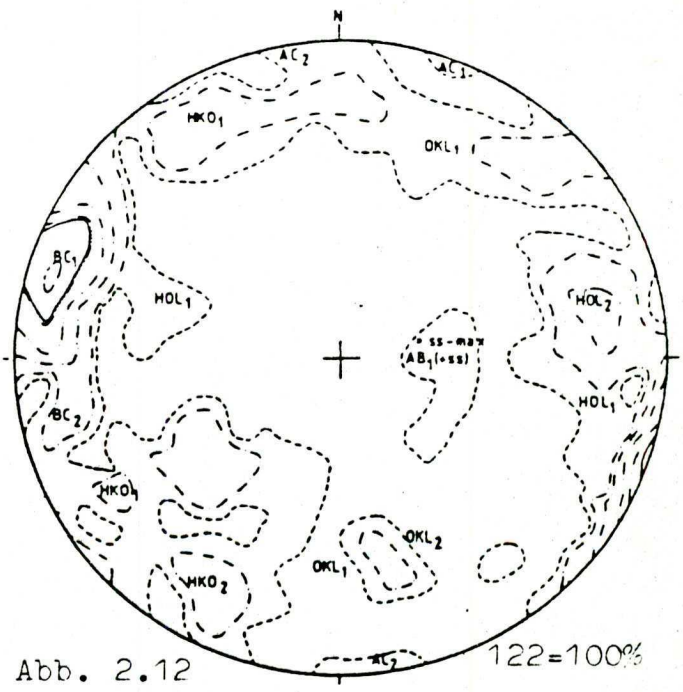


Abb. 2.12

Häufigkeitsverteilung der Flächenpole von Klüften mit **sekundären** Salzmineralbildungen im Erzlager zwischen der 4. u. 5. Sohle und auf der 5. Sohle (GSF-Abschlußbericht: Fig. B 3.5-4)

Nach Meinung der GSF (Abschlußbericht: S. B64-65) ist Wasserführung bevorzugt an Klüfte im Erz mit NW-SE- bis N-S-Streichen gebunden (Maxima I, II, III, VI in Abb. 2.10). Dieser Sachverhalt soll nicht von der im Erz vergleichsweise großen Zahl beobachteter Klüfte abhängig sein, weil Wasseraustritte außerhalb des mittleren Korallenoolith an Klüfte mit anderer Raumlage gebunden sind (Maxima IV, V und VII in Abb. 2.10). Tatsächlich weicht die Lage der Maxima wasserführender Klüfte (s. Abb. 2.10) deutlich von den Maxima in der Darstellung aller im Grubengebäude gemessenen Klüfte ab (s. Abb. 2.11). Das gilt jedoch nicht für die in einzelnen Teilbereichen der Grube ermittelten Maxima. Vielmehr hat jedes Maximum wasserführender Klüfte mit Ausnahme des auf Messungen an Plänerkalksteinen der Oberkreide beschränkten Maximums IV eine Entsprechung in den Maxima "normaler" Klüfte der einzelnen Teilbereiche des Grubengebäudes (s. Abb. 2.4). Ähnlich wie bei den gewichteten Klüften (s. o.) ist daher auch bei der Verteilung der wasserführenden Klüfte mit erhebichen Inhomogenitäten innerhalb des Grubengebäudes zu rechnen.

Unverständlicherweise fehlen im GSF-Abschlußbericht genaue Angaben darüber, wo und wann die Wasserzutritte während des Erzabbaus auftraten. Daher kann nicht beurteilt werden, ob sich die Häufigkeit etwa mit dem zunehmenden Grad abbaubedingter Auflockerung des Gebirges oder mit Verlagerung des Abbauortes verändert hat.

Im Gegensatz zu den Zuflüssen im unteren Korallenoolith von Schacht II, die beim Abteufen im Laufe der Zeit zunahmen (s.o.) und verpreßt werden mußten, bluteten die im Erz ohne irgendwelche Maßnahmen schnell aus.

Bewegung des Wassers im Aquifer

Aus diesen Beobachtungen ergeben sich folgende Rückschlüsse auf die Bewegung des Wassers in Korallenoolith und Grubengebäude: Da der Aquifer nicht vollständig mit Wasser gefüllt

ist, folgt die Wasserbewegung dort, wo wegsame Klüfte vorhanden sind, allein der Schwerkraft. Es bewegt sich also möglichst senkrecht nach unten und folgt bei Erreichen von Mergellagen oder der Aquiferbasis dem Gefälle der stauenden Schicht. Solche Mergellagen treten sowohl innerhalb des abgebauten unteren Lagers als auch im unteren Korallenoolith auf (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II), so daß neben dem Bereich der Aquiferbais lokal auch im Erzlager Wasserführung zu erwarten ist. Allerdings reicht hier das Einzugsgebiet einer Kluft nur jeweils bis zum nächsten Durchlaß in der stauenden Mergellage. Vielleicht erklärt sich so der allerdings zweifelhafte Sachverhalt, daß wasserführende Klüfte während des Erzabbaus vor allem im Erzlager selbst und seltener im Nebengestein angefahren worden sein sollen(s.o.).

Alle bisherigen Erfahrungen mit Wasserzuflüssen belegen, daß größere Wassermengen ausschließlich auf Klüften transportiert werden (können). Der tatsächliche Weg ist von Öffnungsweite und Lage der Klüfte sowie der vertikalen (überwiegend auch kluftabhängigen) Durchlässigkeit und damit der richtungsverändernden Wirkung der Mergellagen abhängig. Wegen der geringen in der Grube bisher angefallenen und anfallenden Wassermengen sind solche Wegsamkeiten nur schwer zu identifizieren und in ihrer Durchlässigkeit abzuschätzen, zumal wegen der Wasseruntersättigung relativ geringe Fließgeschwindigkeiten zu erwarten sind (s. 2.3.2.2.).

Das gilt auch für den von der GSF durchgeführten Färbeversuch: Wenn auf der 2. Sohle und in nicht näher bezeichneten Pumpensümpfen am Bleckenstedet Sprung eingegebener Markierungsfarbstoff (Uranin) an keiner anderen Stelle der Grube wieder aufgetaucht ist, darf daraus keinesfalls geschlossen werden, daß "ein effektiver Wassertransport durch die Gebirgspfeiler zwischen den Sohlen und verschiedenen Teilsohlen der Grube hindurch (...) nicht oder, wenn überhaupt, nur in wesentlich längeren Zeiträumen statt(findet)" (GSF-Abschlußbericht: S. B3-60). Voraussetzung für das Auffinden des Farbstoffs ist nämlich, daß in Gefällsrichtung unterhalb

der Eingabestelle genügend Beobachtungspunkte an der Koral-lenoolith-Basis vorhanden sind. Darüber hinaus ist die Farb-stoffeingabe in einen Kluftaquifer nur dort sinnvoll,. wo Klüfte mit ausreichend durchtrennender Wirkung und ausrei-chender Zahl für den Wassertransport vorhanden sind. Ob die gewählten Eingabepunkte diesen Anforderungen genügen, ist nicht bekannt. Eine Abschätzung der Zeit, die der Farbstoff bei etwaigem Transport für die Zurücklegung bestimmter Strek-ken benötigte, hat GSF offenbar nicht durchgeführt.

Für eine Sicherheitsbeurteilung ausreichende Kenntnisse da-rüber, woher das Wasser stammt und auf welchen Wegen sich das Grubenwasser innerhalb des Grubengebäudes bewegt, liegen bislang nicht vor (s. 2.4.4.2. u. 2.5.1.). Es ist nicht ein-mal zu erkennen, daß sich GSF um entsprechende Angaben be-müht hat.

2.4.5. 4. Grundwasserstockwerk (Cornbrash-Sandstein)

2.4.5.1. Gesteinsausbildung und -vorkommen

Nach GSF-Meinung (Abschlußbericht: S. B1-32) ist der sog. Cornbrash-Sandstein des Dogger ε am Standort Konrad geringmäch-tig und "atypisch" ausgebildet. Die vorliegenden Befunde stützen diese Aussage nicht. Sie liefern allenfalls Anhalts-punkte dafür, daß sich der Cornbrash-Sandstein in Schacht Konrad II faziell von altersmäßig vergleichbaren Gesteinen im Raum Braunschweig (KUMM 1952: S. 455 ff.) unterscheidet.

Der entsprechende Sandstein wurde mit Vorbohrungen beim Ab-teufen von Schacht Konrad II in 3,5 m Tiefe unter der Schacht-sohle (997,5 m unter Gelände) erreicht, jedoch mit 0,5 m höchstwahrscheinlich nicht durchörtert (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 60). Darüber befand sich "klüftiges (?) Gebirge mit Salzwasserzutritt". Bereits in den überlagernden Schich-ten waren Sandeinschaltungen angetroffen worden (Schichten-verzeichnis Konrad II: S. 59).

Die Zusammensetzung des Sandsteins ist nicht genau bekannt, da nicht das unversehrte Gestein, sondern nur durch das austretende Wasser hochgewirbelte Partikel untersucht werden konnten. Danach dürfte es sich um mindestens teilweise kalkig gebundenen, fein- bis mittelkörnigen (Quarz-)Sandstein mit eingeschalteten Mergelsteinlagen handeln (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 60).

Noch über dem Sandstein wurde beim Abteufen ein Aspidoceras-Bruchstück gefunden (KOLBE 1975: S. 183). Danach und nach den petrographischen Eigenschaften (s. o.) entspricht der im Schacht II erbohrte Sandstein am ehesten dem "Aspidoides-Sandstein" des oberen Bathonium, der von HERRMANN (1964: S.67) aus einem Autobahneinschnitt nördlich Heersum beschrieben worden ist:

Dort sind zwei Sandsteinbänke mit einem 3 m mächtigen Tonmergelstein-Zwischenmittel entwickelt. Der untere Sandstein mit 2,5 m Mächtigkeit ist stark tonig und schwach dolomitisch ausgebildet, der obere (0,45 m mächtig) dagegen weniger tonig. Der Aspidoides-Sandstein von Heersum zeigt Ölspuren, obwohl er an der Oberfläche bzw. unter geringmächtigem Quartär ansteht (HERRMANN 1964: S. 67, S. 2.6.).

Über die Verbreitung des Cornbrash-Sandsteins und seine Lagebeziehungen zu anderen Aquifern in der Umgebung der Schachtanlage ist nur wenig bekannt. Die GSF setzt sich mit diesem Themenkomplex überhaupt nicht auseinander.

Entsprechend der Position der Schachtanlage am Südende der Konrad-Mulde taucht der Cornbrash-Sandstein nach Norden in Richtung auf das Muldentiefste ab. In südliche Richtung sind die Dogger-Serien in zunehmendem Maße von der oberjurassisch-unterkretazischen Abtragung betroffen worden (s. 2.2.2.), so daß mit dem Auskeilen auch des Cornbrash-Sandsteins unter transgredierende Unterkreide zu rechnen ist. Wo das Verbreitungsgebiet im Süden endet, ist jedoch aus Mangel an Bohrungen im Bereich der Barumer Mulde (s. Abb. 2.1.) unbekannt.

Nach Querprofilen durch die Konrad-Mulde zu urteilen (s. Abb. 2.2), wird der Cornbrash-Sandstein im Bereich der Bohrung Bleckenstedt 3 von der transgredierenden Unterkreide überlagert.

Am Westrand der Konrad-Mulde stößt er entweder an die Gesteine des Salzstocks oder wird von den Sandsteinen der tiefsten Unterkreide ("Wealden" und Valangin, s. Abb. 2.2) diskordant überlagert, die in mehreren Bohrungen in der Konrad-Mulde wasserführend angetroffen wurden (KOLBE 1975). Diese Sandsteine stellen möglicherweise eine Verbindung zu höher gelegenen Grundwasserstockwerken her.

Westlich der Salzstruktur Broistedt-Rolfsbüttel kommt oberer Dogger weitflächig vor, wird jedoch außer an den Strukturen Mölme und Gr. Ilsede (s. Abb. 2.1) von jüngeren Serien überlagert (Geotektonische Karte von Nordwestdeutschland). Nach geologischer Karte und geologischen Schnitten von HERRMANN (1964: Anl. 1 und 2) steht oberer Dogger nördlich von Lichtenberge im Bereich der Struktur Hohenassel (s. Abb. 2.1) und östlich davon bis mindestens Osterlinde an der Oberfläche bzw. oberflächennah an. Weiter im Osten wird dann zunehmend älterer Jura von Unterkreide überlagert.

Ob der Cornbrash-Sandstein im Bereich Lichtenberge-Hohenassel durch die Muldenzone von Salder (s. Abb. 2.1) zwischen dem Broistedter Salzstock und dem Salzgitterer Höhenzug mit der Konrad-Mulde und damit auch dem Grubenbereich Konrad hydraulisch verbunden ist, ist nicht bekannt; doch ist wegen des annähernd ost-west-gerichteten Verlaufs des Ausbisses von oberem Dogger unter Unterkreide im fraglichen Gebiet durchaus damit zu rechnen. Immerhin ist noch im Bereich der Salzstruktur Flachstöckheim mittlerer Dogger verhanden (Geotektonische Karte von Nordwestdeutschland).

Weitere Übertage-Vorkommen von oberem Dogger finden sich südöstlich Braunschweig (KUMM 1952, S. 455 ff.: eisenoolithischer Kalkmergel mit geringem Sandgehalt) und an den östlich

des Oderwald-Sattels gelegenen Salzstrukturen. Deren genaues Alter ist allerdings fraglich (Geotektonische Karte von Nordwestdeutschland, Bl. 74). Dieser Faziestyp entspricht annähernd der Beschreibung, die HERRMANN 1964 (S. 67) für den Württembergica-Sandstein im Heersumer Gebiet gegeben hat und der innerhalb des Cornbrash-Komplexes tiefer einzustufen ist.

Petrographie und Verbreitung weisen den Cornbrash-Sandstein als einen im Rahmen der Endlagerung in der Grube Konrad wichtigen Aquifer aus. Einschätzung (s. o.) und Darstellung durch GSF werden seiner Bedeutung nicht gerecht.

2.4.5.2. Wasserführung und Durchlässigkeit

Beim Abteufen von Schacht Konrad II traten aus zunächst 2, dann 7 Vorbohrlöchern, die den Cornbrash-Sandstein erreicht hatten, zusammen ca. 30 l Wasser pro Minute aus (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 60). Im GSF-Abschlußbericht (S. A1-24) werden nur 3 l/min angegeben. Der Zufluß nahm auf eine unbekannte Menge ab, um beim Einsetzen der Zementierrohre für die Abdichtungsarbeiten wieder zuzunehmen. Der Zufluß wurde mit einem Betondeckel (in 997,5 - 999,0 m Tiefe) und Mauerwerk von 4 m Höhe gestoppt (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 61). Wegen des Wasserzutritts wurden die Abteufarbeiten eingestellt.

Das zutretende Wasser war hoch mineralisiert (ca. 212 g/l) und enthielt außerdem Luft mit geringen Zusätzen von Methan und Ammoniak (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 3). Welche Bedeutung das Methan als Hinweis auf stärkere Kohlenwasserstoffanreicherung oberhalb (?) von Schacht Konrad II besitzt, ist unklar. Von GSF wird sein Auftreten nicht erwähnt (s. 2.6.).

Ganz offensichtlich ist der Cornbrash-Sandstein am Standort Konrad völlig mit unter (unbekanntem, s. o.) Druck stehendem

Wasser gefüllt, obwohl er hier wegen seiner Lage auf dem Drütter Sporn eine relativ hohe Position aufweist. Damit ist zwar kein Beweis, aber immerhin ein Hinweis darauf gegeben, daß hydraulische Verbindungen zu höheren Grundwasserstockwerken bzw. Regenerationsgebieten existieren.

Nach dem Mittelsandanteil zu schließen (s. 2.4.5.1.), dürfte die Durchlässigkeit des Cornbrash-Sandsteins etwa in der Größenordnung der Durchlässigkeit des Hilssandsteins(10^{-5} bis 10^{-6} m/sek) liegen (s. 2.4.3.); doch muß nach den Befunden aus den Tagesaufschlüssen (HERRMANN 1964) und beim Schachtabteufen (s. 2.4.5.1.) lagenweise mit Verfestigung durch karbonatische Bindemittel gerechnet werden. Dadurch können sich erhebliche Änderungen in Porenanteil und Kluftanteil am Gesamtporenvolumen und damit auch in der Durchlässigkeit ergeben.

Die relativ hohe Wassermenge, die anfangs aus den Vorbohrlöchern getreten ist, deutet auf eher höhere Durchlässigkeit hin:

Unterstellt man für den recht hoch erscheinenden Anfangszufluß von 30 l/min (s. 2.4.5.1.) Gebirgsdruck als Teilursache, so läßt sich die Mindestdurchlässigkeit des Sandsteins nach Darcy berechnen:

$$k = \frac{Q}{F \times h_g}$$

Darin sind:

Q = Aus den Bohrlöchern ausgetretene Wassermenge: 30 l/min, entsprechend 5×10^{-4} m³/sek,

F = Querschnittsfläche der Vorbohrlöcher, bei 2 Zoll Durchmesser und 7 Bohrlöchern (s. o.): $1{,}4 \times 10^{-2}$ m²,

h_g = "gesteinsäquivalente" Wassersäule, in 1000 m Tiefe bei Dichte 2,1 der überlagernden Gesteine: 2100m

Für k ergeben sich $1,7 \times 10^{-5}$ m/sek. Bei einem Bohrlochdurchmesser von einem Zoll wird k $2,4 \times 10^{-4}$ m/sek.

Wenngleich diese Rechnung keinen Anspruch auf Angemessenheit verdient, so gibt sie doch die Bandbreite möglicher Durchlässigkeiten des Cornbrash-Sandsteins wieder und unterstreicht seine Bedeutung als potentieller Wasserbringer (s. 2.5.3.)

2.5. Untersuchungen zur Identifizierung von Wasserzutritten in die Grube

2.5.1. Messung der Grubenwassermengen

Ein Ansatz, zu konkreten Aussagen über die sich insgesamt im Grubengebäude bewegenden Wassermengen und deren Herkunft zu kommen, ist die Registrierung der an verschiedenen Stellen des Grubengebäudes anfallenden Teilmengen und deren Bilanzierung. Solche Messungen stoßen jedoch auf erhebliche Schwierigkeiten:

- Die im Grubengebäude anfallende Wassermenge ist relativ gering. Daraus entstehen Meß- und Auswertungsprobleme.

- Das aus dem Gebirge in die Grube austretende Wasser (Grubenwasser) ist eine Mischung aus echtem tiefen Grundwasser ("Formationswasser") und zu Arbeitszwecken in die Gruben eingebrachtem Wasser ("Brauchwasser"), deren jeweilige Anteile nicht zu unterscheiden sind.

- Ein großer Teil (ca. 2/3) des die Grube verlassenden Wassers wird als Wetterfeuchte mit dem Wetterstrom ausgetragen und läßt sich nur schwierig erfassen.

- Das Grubengebäude ist wahrscheinlich kein geschlossenes System. Daher ist außer mit Wasserzutritten auch mit Wassermengen zu rechnen, die die Grube auf natürlichem Wege verlassen.

Ohne besondere Bedeutung für die Fragestellung ist die sog. Gebirgsfeuchte, gegen die Schwerkraft durch Adhäsions- und Kapillarkräfte im Gestein gebundenes Wasser, dessen Menge nur durch Veränderung des Wasserdampf-Partialdrucks verändert werden kann.

Von den in der Grube anfallenden Wassermengen sind nur die in den Pumpensümpfen der 3., 4. und 5. Sohle angefallenen Teilmengen sowie die aus der Grube über den Wetterweg ausgetragenen und die insgesamt die Grube verlassenden Teilmengen in mehrjährigen Meßreihen als monatliche Mittelwerte dokumentiert (GSF-Abschlußbericht: Fig. B3.3-2 und Fig. B3.3-3; s. Abb. 2.13 u. 2.14).

In Abb. 2.13 wurde zusätzlich die aus der Grube gepumpte Wassermenge, bestimmt als Differenz zwischem dem Gesamtaustrag an Wasser und dem durch den Wetterstrom ausgetragenen Anteil, dargestellt. Darin sind auch die in Schacht Konrad II aus dem abgekühlten Wetterstrom kondensierende Wassermenge und Hilssandstein-Wasser enthalten.

Aufzeichnungen aus der Zeit vor 1978 existieren entweder nicht, oder sind im GSF-Abschlußbericht nicht enthalten.

Innerhalb des dokumentierten Zeitraums (1978 bis Herbst 1981) lassen sich deutlich zwei Phasen der Entwicklung im Wasseraustrag aus der Grube erkennen (s. Abb. 2.13): Bis Ende 1979 /Anfang 1980 nehmen die absoluten Mengen des die Grube durch Pumpen oder über den Wetterstrom verlassenden Wassers und die pro Wettermenge ausgetragene relative Menge deutlich ab. Danach bleiben alle Werte, von unbedeutenden Schwankungen abgesehen, mehr oder weniger konstant.

Die Pumpwassermenge steigt seit Anfang 1980 womöglich sogar leicht an und beträgt seitdem durchschnittlich ca. 12 l/min. Sie ist ganz offensichtlich nicht mit dem Feuchteaustrag durch die Grubenwetter korreliert. Doch auch die mit dem Wetterstrom ausgetragenen Wassermenge ("Wetterfeuchte") ist seit dieser Zeit keiner generellen Abnahme mehr unterworfen, sondern hat sich bei ca. 30 l/min eingependelt.

Dabei treten allerdings erhebliche witterungsbedingte Schwankungen auf (s. Abb. 2.13): Generell ist die Wasseraufnahme durch die Wetter im Winter höher als im Sommer (GSF-Abschlußbericht: Kap. C3.7.4.3). Mengen und Mengenänderungen der tatsächlich ausgetragenen Wetterfeuchte bleiben i. a. deutlich hinter der potentiell austragbaren "maximalen Wetterfeuchte" zurück. Dieser witterungsabhängige Wert wurde für Abb. 2.13 wie folgt berechnet:

$$WF_{max} = (F_{21} - F_e) \times WM$$

Dabei sind:

F_{21} = Maximale Luftfeuchte bei 21°C. Das ist die über das Jahr konstante Temperatur der ausziehenden Wetter im Wetterkanal von Schacht II (GSF-Abschlußbericht: Kap. C3.7.4.2). Die maximale Luftfeuchte bei 21°C beträgt 18,34 g/m³ (WEAST & ASTLE 1982).

F_e = Absolute Luftfeuchte der einziehenden Wetter, errechnet aus den monatlichen Mittelwerten für Lufttemperatur und relative Luftfeuchte am Standort (GSF-Abschlußbericht: Fig. A2.6-1 u. A2.6-2) und maximaler Luftfeuchte (WEAST & ASTLE 1982).

WM = Monatliche Mittelwerte der Wettermenge nach GSF-Abschlußbericht (Fig. B3.3-3).

Der Vergleich der Kurven für "maximale" und tatsächliche Wetterfeuchte zeigt, daß der Wetterstrom im Beobachtungszeitraum immer Wasser in der Grube aufgenommen hat - ein Befund, der sich mit Ergebnissen der GSF aus zwei Meßkampagnen zur Wasseraufnahme der Wetter deckt (GSF-Abschlußbericht: Kap. C3.7.4.3). Lediglich im Juni 1978 stimmen beide Werte fast überein.

Aus den Kurvenverläufen wird aber auch deutlich, daß die bis Ende 1979/Anfang 1980 erkennbare Abnahme der ausgetragenen Wassermengen keine klimatischen Ursachen hat.

Sie kann am ehesten mit betrieblichen Maßnahmen, z. B. Nachlassen des Erzabbaus und Beendigung der Spülversatzeinbringung und damit verbundener Verringerung der in der Grube in Umlauf gebrachten Wassermenge erklärt werden.

Ältere Aufzeichnungen, die Aufschluß über die Ursachen geben könnten, fehlen jedoch - zumindest im GSF-Abschlußbericht.

Jedenfalls ist die Entwicklung seit Anfang 1980 zum Stillstand gekommen. Die GSF-Aussage, "daß die Grube ausgetrocknet wird" (GSF-Abschlußbericht: S. B3-23) trifft für diesen Zeitraum nicht zu.

Ein deutlich abweichendes Bild bieten die Zuläufe auf den Reviersümpfen, die sich in Menge und Mengenänderung auch voneinander unterscheiden (s. Abb. 2.14):

Nach GSF-Abschlußbericht (S. B3-19, 20) geht die höhere Zuflußmenge auf der 4. Sohle auf Wasserzutritt aus den schräg darüber gelegenen ehemaligen Spülversatzfeldern zurück. Die abnehmende Tendenz wird entsprechend mit dem abnehmenden Zufluß von Spülversatzwasser begründet.

Auffälligerweise korrespondiert die Abnahme in den Pumpensümpfen nicht mit der Entwicklung der Pumpwassermenge (s. Abb. 2.13), wofür allerdings die geringe Wassermenge auf der 4. Sohle verantwortlich sein kann.

Für die Abnahme der Zuflüsse auf der 4. Sohle (s. o.) ist die GSF-Erklärung unbefriedigend, weil sie den "starken" Anstieg der Zuflüsse auf dieser Sohle Anfang 1979 nicht berücksichtigt. Die waren vor dieser Zeit so niedrig wie Mitte 1981, also nach der "Abnahme". Immerhin wurde aber bereits seit 1971 kein Spülversatz mehr in die Abbaue oberhalb de 4. Sohle eingebracht.

Für eine genaue Bilanzierung dieser Spülversatzwässer sind ohnehin genaue Angaben über die eingebrachten und die schon früher, in der ersten Entwässerungsphase durch die vorgesehenen Entwässerungssysteme ausgetretenen Wassermengen erforderlich. Außerdem werden Angaben darüber benötigt, ob das heute aus den alten Abbauen kommende Wasser durch die Gebirgspfeiler oder die alten Entwässerungssysteme in die Sohle gelangt.

Auch der Versuch der GSF, den Anstieg der Zuflüsse auf der 5. Sohle im zweiten Halbjahr 1981 mit verstärktem Betriebswasserverbrauch durch den Einsatz einer Vollschnittmaschine auf einer Teilsohle oberhalb der 5. Sohle zu erklären (GSF-Abschlußbericht: S. B3-20), ist nicht ausreichend, weil damit der gleichzeitig erfolgte Anstieg der Zuflüsse auf der 4. Sohle (s. Abb. 2.14) nicht erklärt werden kann.

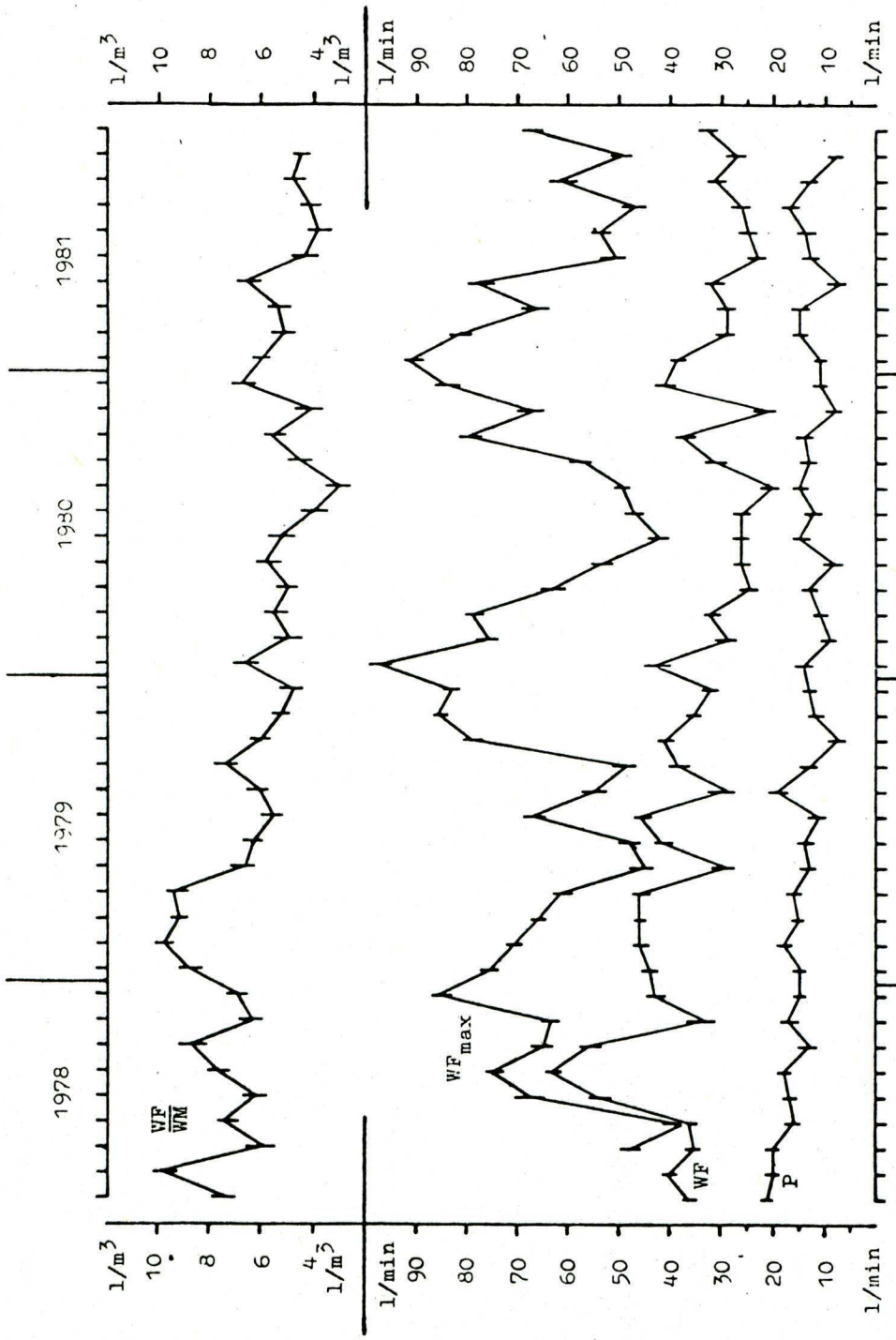


Abb. 2.13 Entwicklung des Wasseraustrags aus dem Grubengebäude zwischen 1978 und 1981, dargestellt an den monatlichen Mittelwerten der Pumpwassermenge (P), der "Wetterfeuchte" (s. Text), der "maximalen Wetterfeuchte" (WF_{max}, s. Text) und der pro Wettermenge ausgetragenen "Wetterfeuchte" (WF/WM); zusammengestellt bzw. berechnet nach GSF-Abschlußbericht (Fig. P 3.3-3, Fig. A 2.6-1 u. Fig. A 2.6-2)

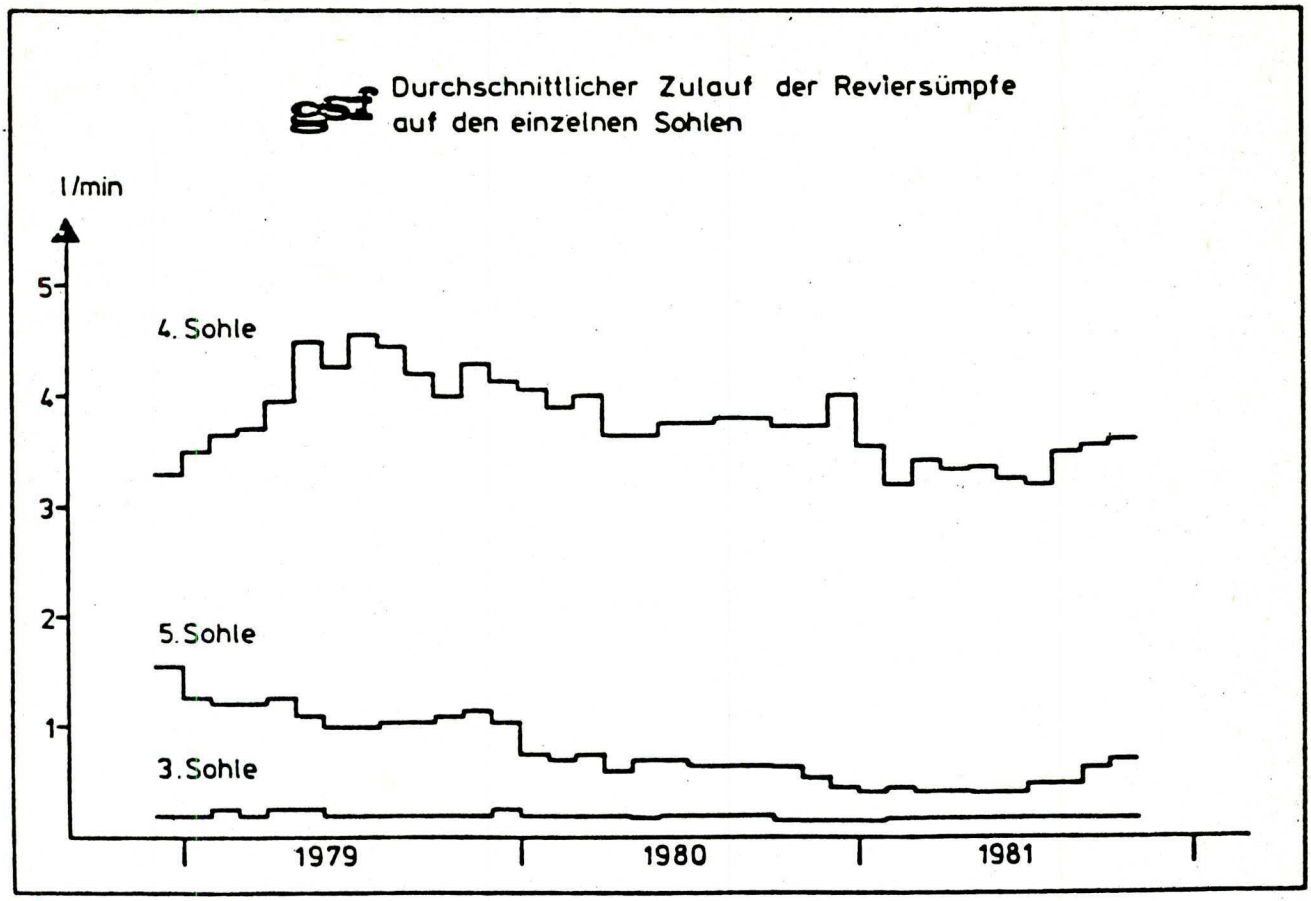


Abb. 2.14

Aus den Pumpensümpfen der 3., 4. und 5. Sohle gehobene Grubenwassermengen (monatliche Mittelwerte; GSF-Abschlußbericht: Fig. B 3.3-2)

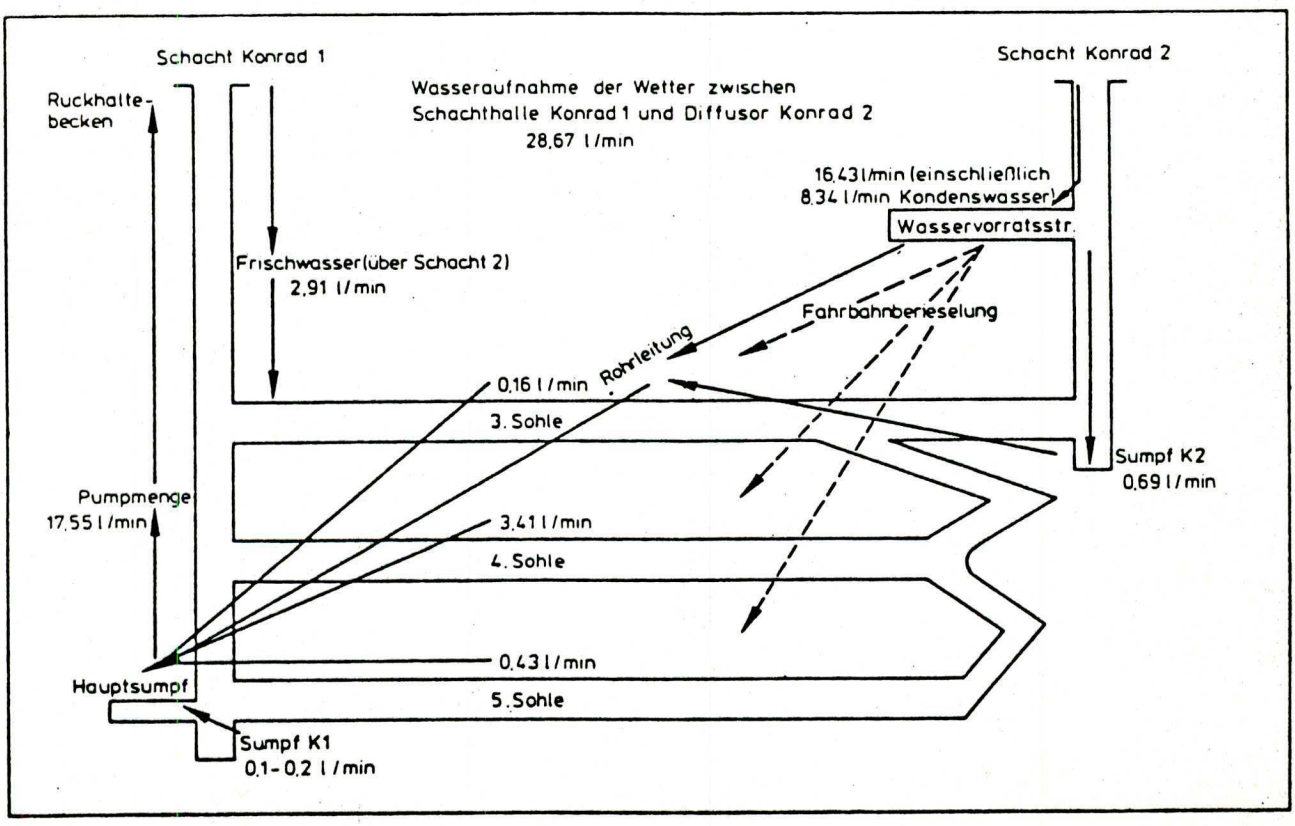


Abb. 2.15

Im Grubengebäude Konrad gemessene Wassermengen und ihre Nutzung, Meßmonat: März 1981 (GSF-Abschlußbericht: Fig. B 3.3-1).

Aus den vorgelegten Kurven geht nicht hervor, wie groß die direkt aus dem Gebirge als tiefes Grundwasser zufließende Wassermenge ist, weil alle meßbaren Mengen Wasser verschiedener Herkunft beinhalten und der Grundwasseranteil nicht identifiziert ist. Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Teilwassermengen gehen aus der für März 1981 gültigen Abb. 2.15 hervor: Ohne Berücksichtigung von eingeleitetem Frischwasser (2,91 l/min) fielen im Grubengebäude insgesamt folgende Wassermengen an:

Sümpfe von Strecken und Schächten:	4,84 l/min
Wasservorratsstrecke (16,43 l/min) mit	
Kondenswasser:	8,34 l/min
Hilssandstein-Wasser:	8,09 l/min
	21,27 l/min
Pumpwasser:	17,55 l/min.

Die innerhalb der Grube an verschiedenen Orten gemessene Gesamtwassermenge weist gegenüber der Pumpwassermenge also einen Überschuß von 3,72 l/min auf. Wenn darin nicht eine zufällige Konstallation für Mai 1981 zum Ausdruck kommt und sonst ein Gleichgewicht zwischen anfallenden Wassermengen und Pumpleistung besteht, muß es sich dabei um in der Grube "zirkulierendes" Wasser handeln, das z. B. durch Fahrbahnberieselung in Umlauf gebracht wird. Auch in dieser Wassermenge ist ein Teil Grundwasser enthalten. Daher muß für eine genaue Bilanz auch diese Teilmenge bekannt sein.

Aus den Ergebnissen der bisher durchgeführten Untersuchungen geht nicht hervor, wieviel von dem die Grube über Pumpen oder Wetterstrom verlassenden Wasser "Formationswasser" ist, das auch nach Beendigung der Endlagerung anfallen wird. Zur Erfassung der durch den Wetterstrom aufgenommenen Wassermengen sind Messungen in Vorbereitung (GSF-Abschlußbericht: Kap. C3.7), mit denen möglicherweise der Grundwasseranteil im Kondenswasser und in der ausgetragenen Wetterfeuchte beurteilt werden kann. Es ist jedoch nicht damit zu rechnen, daß

die Lösung dieses Problems einfacher sein wird als die Identifizierung des Grundwasser- bzw. Brauchwasseranteils und die Bestimmung der die Grube auf natürlichem Wege verlassenden Wassermenge. Diese Fragen sind bislang nicht beantwortet. Unbeantwortet ist auch die Frage, wie in der durch den Wetterstrom transportierten Wassermenge die für die Langzeitsicherheit wahrscheinlich weniger wichtige "Gebirgsfeuchte" von dem aus Klüften ausgetretenen Wasser unterschieden werden kann. Nur diese zweite Teilmenge ist wirklich wichtig, weil sie dazu führen wird, daß die Grube nach Einstellung von Bewetterung und Pumpen vollaufen wird.

Vorstellungen darüber, innerhalb welchen Zeitraums nach Beendigung der Einlagerung die Grube wassergefüllt sein wird, hat GSF nicht entwickelt. Sie lassen sich unter folgenden Randbedingungen gewinnen:

- Entsprechend den GSF-Annahmen (GSF-Abschlußbericht: S. B3-73) ist das Korallenoolith-Erz praktisch wasserundurchlässig.

- Die in der Grube anfallende Wassermenge wird entgegen GSF-Meinung (GSF-Abschlußbericht: S. B3-23) nach Einstellung der Bewertung um einen unbekannten Betrag ansteigen, weil der Wetterstrom auch aus Klüften austretendes Wasser aufnimmt. Sie liegt je nach Berücksichtigung des Hilssandsteinwassers und Anteil von Formationswasser im Kondenswasser bei mindestens ca. 5 l/min und wahrscheinlich höchstens 15 l/min.

- Das zu füllende Hohlraumvolumen beträgt bei einem Gesamtvolumen des Endlagers von 1 Mio. m^3 unter Berücksichtigung von Abfall- und Versatzvolumen sowie Konvergenz ca. 500 000 m^3.

Je nach unterstellter zufließender Wassermenge (5, 10, 15 l/min) werden die Resthohlräume des Endlagers nach 190, 95 oder 63 Jahren gefüllt sein, wobei die tief liegenden Felder

sehr viel früher vollgelaufen sein werden. Mit der beim Schachtabteufen aus dem Cornbrash-Sandstein ausgetretenen Wassermenge von 30 l/min ergeben sich 32 Jahre.

Diese Zahlen zeigen im Vergleich mit dem erforderlichen Sicherstellungszeitraum (Größenordnung 10^5 Jahre, s. 4.3.1.), welche erhebliche Bedeutung selbst so geringe Zuflußmengen haben, wie sie heute in der Grube Konrad anfallen.

2.5.2. Hydrochemische Untersuchungen

Ziel der GSF war es, durch die hydrochemischen Untersuchungen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4.) nachzuweisen, daß das Korallenoolith-Wasser keine Zumischung von Wasser aus anderen Formationen oder von der Oberfläche her erfährt.

2.5.2.1. Hydrochemie der einzelnen Barriere-Schichten

In der hydrogelogischen Beschreibung der im Bereich der Grube Konrad angetroffenen Schichtenfolge fehlen einige Schichten, ohne daß dieser Umstand erläutert oder begründet worden ist. Daher kann kein geschlossenes Bild über die hydrogeologische Situation der Grube Konrad entstehen (s. auch 2.4.). Entsprechendes gilt auch für die hydrochemischen Daten:

In den Schichtenbeschreibungen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.1 bis B3.3.3) sind hydrochemische Analysen enthalten, doch fehlen dabei grundsätzlich hydrochemische Angaben über die Schichten zwischen den Grundwasserstockwerken und auch die über die Grundwasserstockwerke sind lückenhaft. Die verfügbaren Daten sind in Tab. 2.7 zusammengestellt.

Aus der Zeit des Schachtabteufens (1960 - 1962) stammen die Wasseranalysen aus Unterem Korallenoolith bzw. Heersumer Schichten und Cornbrash-Sandstein. Es sind also relativ unveränderte Formationswässer. Die Analyse des Hilssandstein-

	QUARTÄR		TURON (Pläner-kalk)	HILSSAND-STEIN (1981)	U. KORALLEN-OOLITH (Traufrinne) (1960-1962)	U. KORALLEN-OOLITH/ HEERSUMER SCHICHTEN (1960-1962)	CORNBRASH-SANDSTEIN (1962)	U. KORALLEN-OOLITH/ CORNBRASH-SANDSTEIN (1962)	Grubenwasser (Pumpensumpf) (1981)
Na (mg/l)	80-110	-	-	54 400	NaCl: 196 107	-	-	-	77 722
K (mg/l)	5	-	-	138	-	-	-	-	212
Li (mg/l)	-	-	-	0,4	-	-	-	-	1
Ca (mg/l)	70-120	116	CaO 40,2	2 830	9 651	CaO: 13 429	10 225	CaO: 13 400 bis 14 300	8 939
Mg (mg/l)	8- 11	20,3	MgO 6,1	1 350	2 099.	MgO: 3 232	2 268	MgO: 3 200 bis 3 800	2 761
Sr (mg/l)	-	-	-	364	-	-	-	-	376
Cl (mg/l)	30-120	111	82	92 800	118 925	115 020	117 150	115 000	135 556
SO_4 (mg/l)	60-110	169	67,1	504	383	416	210	210-420	832
CO_2 (mg/l)	-	-	-	99 860 (1979)	-	-	-	-	-
Br (mg/l)	<1	-	-	186	-	-	-	-	822
J (mg/l)	-	-	-	8	-	-	-	-	28
BO_3 (mg/l)	-	-	-	58	-	-	-	-	84
pH	9	7,1	8,4	6,4(1979)	6	5,5	5,75	5,75	6,2
GH	20,4	20,8	-	-	1 837	1 792	1 910,7	1 800-1 900	-
KH	10,1	8,5	-	-	-	2,2		2,2-3,2	-
Bleibende Härte	-	12,3	-	-	-	1 790	-	-	-
Abdampf-rückstand	ca. 20	600	-	173 000	216 630	212 929	212 886	-	-
Teufe (m)	ca. 20	-	ca. 170	Konrad 2: 470	Konrad 2: 870		Konrad 3: 1001		
Seite im GSF-Bericht bzw. andere Quellen	B3-10 A2-27	KOLBE 1961	KOLBE 1964	B3-14	B3-16 KOLBE & SIMON 1969	B3-17	B3-18	KOLBE 1964	B3-25

Tab. 2.7 Hydrochemische Daten von Grundwassern am Standort Konrad

Wassers bezieht sich auf 1981; es hat sich jedoch nach GSF-Abschlußbericht (Tab. B3.4-1) seit 1961/64 bis auf den Sulfatgehalt, der von 250 - 300 mg/l im Anfang auf 500 - 700 mg/l angestiegen ist, nicht wesentlich verändert.

Die Wässer des 1. Grundwasser-Stockwerks (Quartär, Pläner-kalkstein oder Oberkreide) sind Süßwässer mit Salzgehalten um 200 mg/l, Sulfatgehalten um 60 - 100 mg/l, Calcium-Gehalten bis zu 100 mg/l und Magnesiumgehalten um 10 mg/l. Der pH-Wert bewegt sich im alkalischen Bereich bei 7 - 9 pH; die Gesamthärte beträgt ca. 20° dH, die Karbonathärte ca. 10° gH (s. Tab.2.7). Etwa an der Basis des Cenoman in 170 - 190 m Tiefe steigt der Salzgehalt an. Dieser Salzgehalt in weniger als 200 m Tiefe läßt Kontakt zu einem Salzstock vermuten (s. 2.4.2.2.).

Im Hilssandstein (s. Tab. 2.7) steigt der Gehalt an gelösten Inhaltsstoffen stark an, der Salzgehalt (NaCl) liegt bei ca. 150.000 mg/l, der Ca-Mg-Gehalt bei 5000 - 6000 mg/l, der Sulfatgehalt bei 500 - 700 mg/l, der Gehalt an freiem CO_2 bei ca. 90.000 mg/l. Der ph-Wert liegt unter 7. Das Hilssandstein-Wasser ist also ein aggressives Wasser. Es steht zu befürchten, daß es den Schachtausbau aus Beton angreift:

Nach DIN 4030 sind solche Wässer schädlich für Beton, die freie Säuren (Schwefelsäure H_2SO_4, Schwefelwasserstoff H_2S, Kohlensäure H_2CO_3, Huminsäuren und Salzsäure HCl), Sulfate, Magnesiumsalze (Magnesiumsulfat $MgSO_4$ und und Magnesiumchlorid $MgCl_2$) und bestimmte Ammoniumsalze führen - Stoffe, die z. T. im Hilssandstein-Wasser enthalten sind.

Die chemischen Analysen an Wasser des Unteren Korallenoolith (s. Tab. 2.7) zeigen noch höhere Konzentrationen als beim Hilswasser. Es sind z. T. Mischproben von Wasser aus dem Unteren Korallenoolith und den Heersumer Schichten. Das Wasser im Cornbrash-Sandstein weist ähnlichen Chemismus auf. Der NaCl-Gehalt steigt bis auf ca. 200.000 mg/l, der Ca-Mg-Gehalt

auf ca. 15.000 mg/l an. Der Sulfatgehalt liegt mit 200 - 400 mg/l niedriger als im Hilssandstein-Wasser. Dasselbe gilt für den pH-Wert, der bei 5 - 6 liegt. Das Korallenoolith-Wasser ist also stärker sauer. Die Karbonathärte ist sehr niedrig (2 - 3° dH); entsprechend hoch ist die bleibende Härte mit 1800 - 1900° dH.

Die Formationswässer des Korallenoolith, der Heersumer Schichten und des Cornbrash-Sandsteins scheinen demnach noch aggressiver zu sein als das Hilswasser.

Das Grubenwasser, das sich in den Pumpensümpfen sammelt, besteht aus (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.3.1):

- Betriebswasser, das von über Tage zugeleitet wird,
- Restwasser des Spülversatzes aus den alten verfüllten Abbauten,
- überschüssigem Wasser aus der Wasservorratsstrecke in Schacht II,
- Kondenswasser aus der Grubenbewetterung,
- Formationsfeuchte aus dem Korallenoolith.

1981 wies das Grubenwasser folgende Inhaltsstoffe auf (s. Tab.2.7):
ca. 200.000 mg/l NaCl, 11.000 - 12.000 mg/l Ca-Mg, 830 mg/l SO_4; der pH-Wert lag bei 6. Es fällt der hohe Sulfatgehalt auf, der in den ursprünglichen Formationswässern niedriger war.

2.5.2.2. Hydrochemie des Tiefengrundwassers im Bereich der Schachtanlage Konrad

Durch Untersuchung von Wässern aus der weiteren Umgebung von Schacht Konrad sollten der formationsspezifische Charakter des Konrad-Tiefenwassers und sein unverfälschter Chemismus bewiesen werden (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4).

2.5.2.2.1. Vergleichende chemische Untersuchungen an Formationswässern aus dem Gifhorner Trog

Ausgehend von einem Vergleich der Wässer behauptet GSF einerseits, daß sich die Malm-Wässer der Grube Konrad durch erhöhte Brom-, Jod- und Borat-Gehalte deutlich von stratigraphisch benachbarten Aquifern unterscheiden. Anderseits postuliert sie für alle Formationen des Gifhorner Trogs eine allgemeine NaCl-Zunahme mit steigender Teufe (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4.1). Damit soll der Schluß nahegelegt werden, daß alle Tiefenwässer eine hohe, durch Anreicherungsprozesse zustande gekommene Chloridkonzentration aufweisen. Diese doppelte Begründung ist ein Widerspruch in sich. Außerdem zeigen die geringen Chlorid-Konzentrationen des "Tiefenwasser" in der Ringelheimer Mulde (KOLBE 1964), daß eine so allgemeine Aussage gerade im Salzgitter-Erzbezirk nicht haltbar ist.

2.5.2.2.1.1. Chemismus der Korallenoolith- und Hils-Tiefenwässer

Im GSF-Abschlußbericht (Tab. B3.4-2, s. Tab. 2.8) werden verschiedene Formationswässer aufgeführt, die offenbar aus den unterschiedlichsten hydrogeologischen Positionen stammen:

Es werden neben Tiefenwasserproben auch solche von Oberflächen- bzw. Süßwasser aus verschiedenen Einheiten der Unterkreide, des Lias und des Keuper der Schachtanlage Haverlahwiese, des Muschelkalk und des Buntsandstein aufgelistet.

Da nicht erklärt wird, woher die Wasserproben stammen, und die Wässer untereinander größtenteils nicht vergleichbar sind, sind nur unter größtem Vorbehalt Schlußfolgerungen möglich. Mit der Gegenüberstellung von versalzenen Tiefenwässern und Süßwässern mit ihrem selbstverständlich "unterschiedlichen chemischen Charakter" (GSF-Abschlußbericht: S. B3-32) will GSF unzulässigerweise offenbar auf fehlende Verbindung der Konrad-Tiefenwässer mit der Oberfläche hinweisen.

	Konrad I Korallen-oolith 1200 m	Erdölfeld Korallen-oolith	Konrad II Hilssand-stein	Quelle Hilssand-stein
Sr^{++}	340	600	500	90
Li^{++}	4	0,7	0,5	0,23
K^{+}	300	200	100	4
Ca^{++}	13.000	7.500	1.400	500
Mg^{++}	3.000	2.000	600	36
Na^{+}	70.000	50.000	50.000	50
Cl^{-}	150.000	120.000	100.000	100
SO_4^{--}	700	90	300	800
Br^{-}	800	400	180	0,14
J^{-}	35	20	9	0,85
BO_3^{---}	70	60	40	1

Tab. 2.8 Zusammensetzung der Inhaltsstoffe in Korallenoolith- und Hilssandstein-Wässern verschiedener Herkunft (nach GSF-Abschlußbericht: Fig. B3.4-1)

In Tab. 2.8 werden 2 Korallenoolith-Wässer und 2 Hilssandstein-Wässer miteinander verglichen. Das Konrad-Korallenoolith-Wasser hat die höchsten Konzentrationen, wobei nach GSF Teufe und Ionenkonzentration in direkter Beziehung stehen sollen. Sie führt als Beispiel für die teufenabhängige Konzentrationszunahme den Schacht Georg in der Ringelheimer Mulde an. Nach KOLBE (1964: S. 144) ist das Tiefenwasser der Grube Georg (1 100 m) jedoch ein Süßwasser mit nur bis zu 110 mg/l Chlorid.

Diese Argumentation der GSF ist danach nicht haltbar.

Das Korallenoolith-Wasser ist nach den chemischen Analysen in Tab. B3.4-3 des GSF-Abschlußberichts den Tiefenwässern des Jura und der Kreide aus dem Nordteil der DDR und dem Thü-

ringer Becken ähnlich. Für diese Wässer werden folgende Maximalwerte an Spurenelementgehalten angegeben (MÜLLER 1969):

Br	350 mg/l
J	25 mg/l
Sr	500 mg/l
Li	8 mg/l

Nach Fig. 3.4-1 des GSF-Abschlußberichts sind im Korallenoolith-Wasser enthalten:

Br	800 mg/l
J	35 mg/l
Sr	340 mg/l
Li	4 mg/l

Es fällt der hohe Br-Wert im Konrad-Wasser auf.

Nach MÜLLER (1969: S. 116) kann die Ionen-Konzentrationszunahme mit der Tiefe mehrere Ursachen haben:

1. Durch Evaporation entstehen konzentrierte Lösungen, die diagenetisch nicht mehr verändert werden.
2. Formationswässer laugen Evaporite ab.
3. Bei der Diagenese ausgequetschte Porenwässer werden durch Ionenfiltration höher konzentriert.

Erhöhte Gehalte von Spurenelementen wie Br, J, B und geringe SO_4-Gehalte können durch salinare Restlösungen bedingt sein. Ebenso tritt Bromid vornehmlich in hochkonzentrierten chloridischen Tiefenwässern auf. Wie vorher gezeigt, liegt beim Konrad-Wasser ein erhöhter Br-Gehalt vor, wie auch im ursprünglichen Formationswasser ein niedriger Sulfatgehalt (2.5.2.1.).

Zur Unterscheidung von Wasser verschiedener Herkunft benutzen MÜLLER & PAPENDIECK (1975: S. 174) das Br/Cl-Verhältnis: Ist es $<0{,}0034$ so liegen diagenetisch veränderte Wässer, Ab-

laugungslösungen oder Infiltrationslösungen vor. Wenn das Br/Cl-Verhältnis >0,0034 ist, handelt es sich um salinare Reliktlösungen.

Laut GSF soll das Br/Cl-Verhältnis der Konrad-Grubenwässer bei 0,002 liegen. Unter Berufung auf MÜLLER & PAPENDIECK (1975) wird daraus der Schluß gezogen, daß eine Verbindung "des Korallenoolithwassers mit dem ca. 1,5 km entfernten Salzstock von Broistedt mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden" kann (GSF-Abschlußbericht: S. B3-33).

Nach MÜLLER & PAPENDIECK (1975) spräche aber gerade dieser Wert dafür, daß das Korallenoolith-Wasser eine Subrosionlauge sein könnte. Dann müßte eine Verbindung zwischen Endlagergestein und einem Salzstock vorhanden sein.

Allerdings ist der von GSF angegebene Wert für das Br/Cl-Verhältnis falsch (s. Tab. 2.9). Auch deckt sich die GSF-Behauptung, Zechsteinlaugen wiesen höhere Br/Cl-Verhältnisse auf (GSF-Abschlußbericht: S. B3-33), nicht mit dem von GSF selbst angegebenen Wert (GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.4-2, s. Tab. 2.9).

Mißt man die Werte in Tab. 2.9 am "Grenzwert" von MÜLLER & PAPENDIECK (1975), so zeigt sich, daß das Hilssandstein-Wasser ein Ablaugungswasser ist. Es steht also mit dem Salzstock von Broistedt oder Thiede oder sogar dem von Flachstöckheim in Verbindung. Die Korallenoolith-Wässer des Konrad-Gebietes stammen aus der Evaporation, während die Dogger- und Lias-Wässer wiederum Ablaugungswässer sind. Im Keuper liegen wieder Evaporationswässer vor und im Zechstein Ablaugungswasser.

Formation	Quelle (GSF-Abschlußbericht)	Br/Cl	Wassergenese
Hilssandstein (Konrad)	Tab. B3.4-2	0,0020	
Hilssandstein 1964		0,0004	
1980	Tab. B3.2-1	0,0020	
1981		0,0020	
Hilssandstein (Konrad)	Fig. B3.4-1	0,0018	
Hilssandstein		0,0021	
Hilssandstein	Tab. B3.4-3	0,0021	Ablaugung
Hilssandstein		0,0020	
Neokom	Tab. B3.4-2	0,0017	
Neokom		0,0014	
Malm (z. T. Korallenoolith)	Tab. B3.4-2	0,0010	
		0,0046	
Konrad Grubenwasser		0,0061	
Korallenoolith (Konrad)		0,0053	
Korallenoolith (Erdöl)	Fig. B3.4-1	0,0033	
Korallenoolith (Konrad) 1119 m (9 Proben)		0,0066	Evaporation
1002 m		0,0061	
1002 m		0,0060	
1002 m		0,0059	
1100 m		0,0076	
1100 m		0,0071	
1100 m	Tab. B3.4-2	0,0069	
1096 m		0,0057	
Dogger		0,0009	
Lias		0,0014	Ablaugung
		0,0022	
Keuper		0,1065	Evaporation
		0,0080	
Zechstein		0,0004	Ablaugung

Tab. 2.9 Br/Cl-Verhältnisse in Tiefenwässern als Hinweis auf die Wasserherkunft

2.5.2.2.1.2. Herkunft und Verweildauer der Konrad Tiefenwässer

In Kapitel B3.4.1.2 des GSF-Abschlußberichts werden die Spurenelemente Br, J, Sr, Li und B betrachtet.

Die GSF gibt einen Sr-Gehalt von 326 - 566 mg/l an (GSF-Abschlußbericht: S. B3-33). Woher die Werte stammen, wird nicht mitgeteilt. Nach Fig. B3.4-1 (GSF-Abschlußbericht) hat das Korallenoolith-Wasser einen Gehalt von 340 mg Sr/l und das Hilssandstein-Wasser nach Tab. B3.4-3 (GSF-Abschlußbericht) einen max. Gehalt von 550 mg Sr/l.

Der Sr-Gehalt soll laut GSF an sulfatreiches Wasser gebunden sein. Nach MÜLLER & PAPENDIECK (1975: S. 172/3) geht der Sr-Gehalt in Tiefenwässern jedoch in einer fast linearen Abhängigkeit dem Ca-Gehalt parallel.

Formation	SO_4 (mg/l)	Ca (mg/l)	Sr (mg/l)
Hilssandstein (Konrad)	347	4 470	550
Malm (z.T. Korallenoolith)	140-1000	≤23 000	-
Korallenoolith	800	14 000	450
Dogger	300	≤11 000	≤580
Lias	270-523	≤9 340	-
Zechstein	281	1 310	30

Tab. 2.10 Vergleich von SO_4-, Ca- und Sr-Gehalten in Tiefenwässern unterschiedlicher Herkunft (nach GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.4-2 u. Tab. B3.4-3)

Aus Tab. 2.10 ist keine eindeutige Teufenabhängigkeit der Sr-Konzentration festzustellen, sondern eher eine Beziehung zum Ca-Gehalt. Der Sr-Gehalt liegt bis Dogger um 500 mg/l

(Ca ca. 11.000 mg/l) und im Zechstein bei 30 mg/l (Ca ca. 1.000 mg/l).

Beim SO_4-Gehalt ist keine Beziehung zum Sr-Gehalt feststellbar. Vielmehr bewegt er sich in allen Formationen - außer dem Korallenoolith - um die 300 mg/l. In den Tiefenwässern des Ruhrgebietes treten sehr viel stärkere Schwankungen von (0- <<1000 mg SO_4/l) auf (PUCHELT 1964).

Laut GSF (Abschlußbericht: S. B3-34) soll der Sr-Gehalt bei der Schachtanlage Georg eindeutig mit der Tiefe zunehmen, allerdings ist weder eine Tabelle mit Analysen aufgeführt noch ein Literaturhinweis. Nach KOLBE (1964: S. 144) ist das Hilssandstein-Wasser in der Schachtanlage Georg ein Süßwasser mit 381 mg/l NaCl, 7,1 mg/l Ca und 54 mg/l SO_4. Bei so geringen Konzentrationen wäre es verwunderlich, wenn der Sr-Gehalt den Konrad-Werten entspräche. Es stünde auch im Gegensatz zu den allgemeinen Erfahrungen (MÜLLER 1969: S. 116), die besagen, daß die Spurenelementkonzentration mit steigendem Ca-Mg-Gehalt zunimmt.

Der Br-Gehalt schwankt nach GSF-Abschlußbericht (Tab. B3.4-3) zwischen 191 mg/l im Hils und 1.100 mg/l im Korallenoolith. Wie beim Sr soll der Br-Gehalt laut GSF-Abschluß (S. B3-34) an SO_4 gekoppelt sein, was aus den angegebenen Werten nicht zu belegen ist (Tab. 2.11). Auch hier werden die Verhältnisse in Schacht Georg als Beweis angeführt; obwohl auch für Brom der Vergleich der Konrad-Werte mit Gehalten in Süßwasser keinen Sinn ergibt.

Formation	Ca (mg/l)	Br (mg/l)	SO_4 (mg/l)
Hilssandstein (Konrad)	4.470	191	347
Neokom	bis 6.600	98	138
Malm	bis 23.000	bis 900	bis 1.000
Korallenoolith	bis 18.180	bis 1.100	bis 1.080
Dogger	bis 11.000	bis 250	300
Lias	bis 9.340	bis 268	bis 523
Keuper	bis 18.700	1.140	362
Zechstein	1.310	69	281

Tab. 2.11 Vergleich von Ca-, Br- und SO_4-Gehalten in Tiefenwässern unterschiedlicher Herkunft (nach GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.4-2 u. Tab. B3.4-3)

Nach MÜLLER & PAPENDIECK (1975: S. 173) ist Br eine weitverbreitete Spurenkomponente in hochkonzentrierten chloridischen Tiefenwässern. Nach Tab. 2.11 besteht keine eindeutige Beziehung zwischen SO_4- bzw. Br-Gehalt und Teufe. Vielmehr scheinen hohe Br-Konzentrationen mit dem Ca-Gehalt und damit mit der Mineralisation insgesamt parallel zu gehen.

BO_3- Li- und J-Werte verhalten sich ähnlich wie das Br (s. Tab. 2.12). Auch ihre Konzentration scheint nicht von der Teufe beeinflußt zu sein, sondern von Ca-Gehalt bzw. Gesamtmineralisation, die ihrerseits nicht generell tiefenabhängig ist.

Formation	Ca (mg/l)	BO_3 (mg/l)	Li (mg/l)	J (mg/l)
Hilssandstein (Konrad)	4.470	39,7	0,49	8,44
Neokom	bis 6.600	152	3,85	6,6
Malm	bis 23.000	-	-	4,0
Korallenoolith	bis 18.180	-	bis 5,0	-
Dogger	bis 11.000	bis 165	1,0	bis 20,0
Lias	bis 9.340	bis 333	3,8	11,0
Keuper	bis 18.700	bis 587	bis 116	18,0
Zechstein	1.310	62	1,0	0,31

Tab. 2.12 Vergleich von Ca-, BO_3-, Li- und J-Gehalten in Tiefenwässern unterschiedlicher Herkunft (nach GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.4-2 und Tab. B3.4-3)

2.5.2.2.1.3. Zusammenfassende Betrachtung der Spurenelementuntersuchungen

Da die Proben für die Spurenelementanalysen an Konrad-Wasser den Pumpensümpfen entnommen werden mußten, kann man deren Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die Formationswässer übertragen. Nach GSF-Meinung ist jedoch "das Konrad-Grubenwasser, von dem keine Beeinflussung durch Betriebswasser abgenommen werden kann, (...) als schwach sulfatisches Na-Cl-Mg-Chloridwasser anzusprechen" (GSF-Abschlußbericht: S. B3-33) - eine nicht ganz zutreffende Charakterisierung. Die genauen Probenahmestellen für dieses Wasser werden genauso wenig mitgeteilt, wie seine Erkennungsmerkmale.

Überwiegend dürfte es sich beim Konrad-Wasser jedoch um Mischwasser aus Formationswasser und Brauchwasser handeln. Das Brauchwasser stammt überwiegend aus der Wasservorratsstrecke, in der Kondenswasser aus Schacht II und Hilssandstein-Wasser gesammelt werden.

Die Veränderungen, die das Formationswasser durch Vermischung mit Brauchwasser und durch die Zirkulation im Grubengebäude erfährt, werden besonders deutlich an der Entwicklung des Sulfatgehaltes: In den relativ ursprünglichen Formationswässern lag der Sulfatgehalt nach Analysen aus den Jahren 1960 bis 1965 im Korallenoolith bei ca. 200 - 400 mg/l. Bis 1981 ist er in den Grubenwässern auf ca. 800 - 1.000 mg/l angestiegen.

Bezeichnenderweise ist diese Entwicklung im Hilssandstein-Wasser nicht zu erkennen. Hier haben sich die Sulfatgehalte seit dem Schachtabteufen (250 - 400 mg/l) bis heute (ca. 350 - 400 mg/l) nur unwesentlich oder überhaupt nicht verändert.

Eine Erklärung für die Erhöhung der Sulfatgehalte in den Grubenwässern ist die Oxidation von Sulfid, das zuvor in der "geschlossenen" Formation durch bakterielle Tätigkeit durch Sulfatreduktion entstanden war: Seit dem Abteufen der Schächte kommen die Formationswässer im Grubenbereich mit Luftsauerstoff in Kontakt und werden wieder zu Sulfat oxidiert, das sich zu den o. a. Werten anreichert. Die höchsten Sulfatgehalte müssen sich daher in den Pumpensümpfen finden, die einerseits Mischwasser führen und andererseits ständig mit den Grubenwettern in Kontakt stehen.

Die Konzentrationen an Br, B bzw. BO_3, Li, J und Sr zeigen keine eindeutige Teufenabhängigkeit. Die Spurenelementkonzentrationen scheinen vielmehr dem Gehalt an Erdkalken bzw. der Gesamtmineralisation parallel zu laufen.

Durch Untersuchungen der Br/Cl-Verhältnisse zeigte sich, daß die hohen Konzentrationen im Korallenoolith möglicherweise durch Evaporation und im Hilssandstein durch Kontakt mit einem Salzstock entstanden sind (s. auch 2.4.3.).

Beim Korallenoolith-Wasser muß einschränkend betont werden, daß die genannten Elemente von GSF im Korallenoolith-Gestein

nicht bestimmt worden sind. Es ist daher unklar, ob diese Elemente nicht lediglich die Gesteinszusammensetzung widerspiegeln. Das gilt sicherlich für Strontium, das in Form von Coelestin als Kluftbesteg vorkommt.

Betrachtungen darüber, welche Ionenaustauschvorgänge zwischen Gestein und Wasser bei der Wasserbewegung durch den Korallenoolith-Aquifer oder vorher durch die Unterkreide-Tonsteine oder den Ornatenton ablaufen können, hat GSF nicht angestellt (s. auch 2.4.4.).

2.5.2.2.2. Thermodynamische Gleichgewichtsbeurteilung der Konrad-Tiefenwässer

Um einen evtl. vorhandenen Unterschied zwischen dem Mineralbestand des Gesteins (Korallenoolith und Hilssandstein) und den im entsprechenden Wasser gelösten Inhaltsstoffen festzustellen, wurden zwischen 1978 und 1981 11 Wasserproben aus dem Hilssandstein und dem Korallenoolith der 4. und 5. Sohle analysiert (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4.1.3 , insbes. Tab. B3.4-3). Anhand dieser Wasseranalysen wurden mit Hilfe des WATEQF-Computerprogramms thermodynamische Gleichgewichtsberechnungen durchgeführt.

Durch Rasterelektronenmikroskop (REM) und EDAX-(Energy dispersive analysis of X-rays) Analysen an ungestörten Gesteinsproben aus dem Korallenoolith wurden die Ergebnise der Gleichgewichtsberechnungen aus den Wasserproben überprüft. Anhand des sedimentpetrographischen Befundes wurde der Sättigungsgrad der Wasserproben beurteilt. Etwaige Ungleichgewichte zwischen Sättigungsgrad des Wassers und Mineralbestand des Gesteins können Hinweise auf Lösungs- und Ausfällungserscheinungen der Wässer gebe. Methodisch unzulässig ist, daß die untersuchten Gesteinsproben nicht etwa aus den "Wänden" wasserführender Klüfte, sondern aus Streckenanstößen entnommen worden sind (s. u.).

Beim Vergleich der Hils- und Korallenoolith-Wässer hinsichtlich ihres Mineral-Sättigungsgrades kann man überschlägig sagen, daß beide Wässer an Quarz, Feldspat, Illit, Kaolinit, Muskovit und Montmorillonit übersättig sind. Besonders ragt beim Korallenoolith-Wasser die starke Übersättigung an den Fe-Oxiden Goethit, Hämatit und Magnetit heraus (Erzhorizont). Wohl irrtümlich widersprüchlich sind die Angaben zum Sättigungsgrad von Siderit, der einmal als untersättigt (GSF-Abschlußbericht: S. B3-38 oben), das andere Mal als übersättigt bezeichnet wird (GSF-Abschlußbericht: S. B3-39 unten). Wahrscheinlicher ist die Übersättigung.

Mit Gips befindet sich das Korallenoolith-Wasser im Sättigungsgleichgewicht, angesichts gipsverheilter Klüfte und von Flasergips im Mitteleren Korallenoolith von Konrad I (KOLBE 1975: S. 187) nicht verwunderlich.

Untersättigt sind beide Wässer an Calcit und Steinsalz. Im Hilssandstein-Wasser treten zu diesen beiden Untersättigungsmineralen noch Gips, Dolomit und Fe-Oxide. Überraschenderweise kommen alle diese Minerale im Sediment des Hilssandsteins nach der mineral-optischen Anlayse (GSF-Abschlußbericht: S. B3-38) gar nicht vor. Die Existenz dieser Minerale im Hilssandstein-Wasser läßt den Kontakt zur Subrosionszone eines Salzstocks nicht ausgeschlossen erscheinen.

Das potentielle Lösungsvermögen des Hilssandstein-Wassers gegenüber Calcit, Steinsalz, Gips, Dolomit und Fe-Oxiden soll gering sein, wobei allerdings keine quantitativen Angaben gemacht werden. Außerdem soll das Hilssandstein-Wasser an amorpher Kieselsäure schwach untersättigt sein, bei einem mittleren Gehalt von 17 mg/l eine fragliche Aussage (GSF-Abschlußbericht: S B3-39). Auch für Steinsalz scheint die GSF-Aussage wenig begründet, weil die Gesamtlösungsinhalte in den Wässern verglichen mit der Löslichkeit von Steinsalz in Wasser (reines Wasser: 360 g/l) gering ist. Das gilt auch für das stärker mineralisierte Korallenoolith-Wasser.

Für Calcit ist die Aussage wegen des hohen CO_2- Gehalts in den Wässern (s. 2.5.2.2.1.) ebenfalls unglaubhaft. Die Calcit-Untersättigung soll nach GSF-Abschlußbericht (S. B3-39) im Laufe der Zeit abgenommen haben und der Calcitgehalt einem Gleichgewichtszustand zustreben. Auf welchen CO_2-Partialdurck sich die GSF-Aussage bezieht, ist unbekannt. Die dem GSF-Abschlußbericht (Fig. B3.4-4, Fig. B3.4-7 u. Fig. B3.4-10 sowie Tab. B3.4-3) zu entnehmenden Werte für Calcit- bzw. Ca-Gehalte stützen diese These jedenfalls nur undeutlich:

1978	4.190 mg/l Ca
1979	4.800 mg/l Ca
1980	4.470 mg/l Ca.

Das Korallenoolith-Wasser ist an Calcit untersättigt. Um sein potentielles Lösungsvermögen gegenüber Calcit zu überprüfen, wurden die Calcit-Zwickelfüllungen in Erzproben aus der 5. Sohle unter dem REM betrachtet. Es wurden keinerlei Lösungserscheinungen festgestellt.

Wegen der NaCl-Untersättigung wurde auch das Lösungsvermögen der Korallenoolith-Wässer an Steinsalzkristallen untersucht. Auf den REM-Aufnahmen ließen sich an den NaCl-Kristallen keine Lösungserscheinungen erkennen (GSF-Abschlußbericht: Fig. B3.4-13, Fig. B3.4-14, S. B3-41):

Die Kristalle zeigen "das äußerste Erscheinungsbild durch Eindampfung aus übersättigten Lösungen gefällter und idiomorph aufgewachsener NaCl-Kristallite" (GSF-Abschlußbericht: S. B3-41 unten). Sie stammen aus dem Bereich der Grubenwandung, wo sie unter der Verdunstungswirkung der Grubenwetter auskristallisieren und keinen Kontakt zu lösenden Wässern haben (Kap. 2.5.2.2.3).

Es werden also 2 Erscheinungen miteinander verglichen , die weder genetisch, noch räumlich oder zeitlich in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Die durchgeführten Untersuchungen lassen daher keine Aussagen über das Lösungsverhalten der Korallen-

oolith-Wässer gegenüber NaCl bzw. Calcit zu.

Ein Vergleich der Korallenoolith-Wässer aus 1002 m und 1100 m Tiefe über die Jahre 1978 - 1981 soll laut GSF-Abschlußbericht (S. B3-42) zeigen, daß die Calcit- und Dolomituntersättigung mit der Zeit abnimmt, d. h. dem Sättigungsgleichgewicht zustrebt. Abnehmende Ca- und Mg-Gehalte (GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.4-3) widersprechen dieser Behauptung:

		Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
1002 m:	1978	12.320	3.110
	1979	12.000	2.520
	1981	10.800	2.740
1100 m:	1978	18.180	3.690
	1979	17.400	3.570
	1981	16.400	3.610

Der Ca-Gehalt nimmt eindeutig ab. Bemerkenswerterweise schwankt der Mg-Gehalt auf beiden Seiten in gleicher Weise, woraus auf gleiche Ursachen zu schließen ist. Eine Zunahme ist auch hier nicht zu erkennen.

Auch bei den Sättigungsgleichgewichts-Berechnungen im Korallenoolith-Wasser liegt eine Fehlerquelle bereits in der Probennahme: Die Wasserproben wurden in den Pumpensümpfen genommen. Das Wasser besteht hier aus Betriebswasser, Spülversatzwasser und Kondenswasser der Grubenwetter. Es ist also Mischwasser, das gegenüber dem unveränderten Formationswasser hinsichtlich Druck, pH- und Eh-Wert und Temperatur verändert ist. Da das Lösungsverhalten der meisten Minerale stark temperaturabhängig ist, muß die Temperatur in den Sättigungsgleichgewichts-Berechnungen berücksichtigt werden. Die GSF jedoch scheint der Temperatur recht wenig Aufmerksamkeit gewidmet zu haben:

Nach Tab. B3.4-3 (GSF-Abschlußbericht) liegen die Temperaturen der Wasserproben aus den Korallenoolith-Pumpensümpfen bei ca. 30° C; nur eine Probe in 1 119 m Tiefe hat mit 45° C einen realistischen Wert.

Beim Anschlagen hatte das zufließende Wasser in 1 110 m Tiefe eine Temperatur von 44,7° C (KOLBE & SIMON 1969: S. 263). Die Gebirgstemperatur beträgt nach GSF-Abschlußbericht (S. C3-78) 49° C.

Ein Temperaturkorrekturfaktor, der die Übertragung der Analysen aus den Sümpfen auf die Formation wahrscheinlicher gemacht hätte, ist anscheinend nicht in die Sättigungsberechnungen einbezogen worden.

Die Tatsache, daß in den Sümpfen Mischwasser vorliegt, kann auch das Vorkommen von untersättigten und übersättigten Lösungen erklären. Untersättigte Lösungen entstehen meist durch Verdünnung des Wassers, übersättigte Lösungen in der Regel durch Abkühlung oder Verdunstung des Wassers. Alle Vorgänge haben das Wasser in den Sümpfen betroffen.
Abgesehen von den bereits erwähnten methodischen Mängeln wird die Aussagekraft der thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen nach GSF-Aussagen (GSF-Abschlußbericht: S. B3-35) durch "fehlende hydrochemische Daten, Ionenstärken >3 molar und Einflüsse des Mikromilieus" beeinträchtigt. Auf die pH- und Eh-Wert-Empfindlichkeit der Gleichgewichtsberechnungen nach dem Programm WATEQF geht GSF nicht ein (immerhin schwanken beide Parameter nach Fig B3.3-5 des GSF-Abschlußberichts ganz erheblich), wie überhaupt Angaben zu den Rahmenbedingungen der Untersuchungen fehlen.

In der vorliegenden Form lassen die Untersuchungen keine Rückschlüsse auf das Lösungsverhalten der Grubenwässer zu.

2.5.2.2.3. Chemische Untersuchungen an salinaren Sekundärmineralen

Nach Darstellung im GSF-Abschlußbericht (Kap. B3.4.2) hatte der Abbau des Eisenerzes großen Einfluß auf die Neubildung der salinaren Sekundärmineralien. Seit 1965 wurde salinarer Spülversatz (z. T. Hilssandstein-Wasser) in die alten Abbaukammern südlich des Bleckenstedter Sprungs zwischen der 3. und 4. Sohle eingebracht. Die Sekundärmineralen treten im gesamten Grubengebäude auf, verstärkt jedoch im Eisenerzlager und in den tieferen Niveaus. Nach Einstellung des Spülversatzverfahrens ging auch die Salzneubildung zurück.

Es gibt 4 Arten der Salzausfällung: Salzstalagmiten, Salzstalagtiten, Salzkrusten und Haarsalze. Es wurden 47 Salzproben und 6 Stalagtiten-Tropfwasserproben genommen und chemisch analysiert (GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.4-4).

Die Hauptbestandteile der Salzproben sind Natrium und Chlorid. Spurenelemente sind zu ca. 1% beteiligt. Zwischen den verschiedenen Arten der Salzbildungen konnte kein Unterschied festgestellt werden; es sind im ganzen Grubengebäude relativ einheitliche Salze.

Sofern dieses Ergebnis zutrifft, beweist es, daß während des Wassertransports durch das Gebirge eine weitgehende Homogenisierung von Wasser verschiedener Herkunft stattfindet.

GSF kommt zu der Schlußfolgerung (GSF-Abschlußbericht: S. B3-53/52), daß Subrosionslaugen an der sekundären Salzmineralbildung nicht beteiligt sind, weil diese niedrigere Sr-, Br- und J-Gehalte aufweisen als die Salzausfällungen.

Da sich die Salze im Gegensatz zu den Primärbildungen im Zechstein-Salinar nicht unter Wasserbedeckung, sondern durch Verdunstung von Betriebswasser, eventuell auch Gebirgsfeuchte, an der Luft gebildet haben, ist dieser Vergleich unzulässig.

Auch aufgrund geringer Mg-Gehalte schließt GSF (Abschlußbericht: S. B3-52) Salzstockkontakt aus:

Nach MICHEL (1963: S. 60) deuten Magnesiumgehalte von über 20 mval-% in salinaren Lösungen auf die Nähe von Salzlagerstätten hin, da dort Magnesiumsalze als erste gelöst werden. Diese Aussge kann nur für den Fall gelten, daß auch tatsächich Magnesiumsalze zur Lösung gelangen und sich die Zusammensetzung der Lösung während des Transports nicht verändert. Bei der hydrogeologischen Situation am Standort Konrad ist jedoch mit einer solchen Veränderung zu rechnen. Im übrigen stützt sich die Aussage MICHELs (1963) auf nur einen Wert. Es darf bezweifelt werden, daß er dem möglichen tatsächlichen "Grenzwert" entspricht.

Darüber hinaus sind die Tropfwässer von Salzstalagtiten nicht auf ihre Mg-Gehalte hin untersucht worden (GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.4-4). In den Wässern der Pumpensümpfe finden sich Mg-Gehalte von maximal 5 - 6 mval-% (GSF-Abschlußbericht: Tab. B3.4-2 u. Tab. B3.4-3). Da in den Pumpensümpfen nur Mischwasser vorliegt, kann auch aus diesem Grund trotz geringer Mg-Gehalte eine Verbindung zu benachbarten Salzstökken nicht ausgeschlossen werden.

2.5.2.2.4. Schwefelisotopenuntersuchungen an Grubenwässern und salinaren Sekundärmineralien (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4.3)

Das Mengenverhältnis der stabilen Schwefelisotope ^{34}S und ^{32}S kann Hinweise auf die Herkunft von in Wässern gelösten Sulfiden oder Sulfaten geben:

a) Bei Gesteinen mit Evaporiteinschaltungen ist das Schwefelisotopenverhältnis der Formationswässer stark durch den Sulfatgehalt in den Evaporiten beeinflußt.
   Wenn Formationswasser Kontakt zu einem Salzstock hat, entspricht sein Schwefelisotopenverhältnis dem der Salzstocksulfate.

b) In Schicht-Wässern ohne salinare Einlagerungen können dagegen wesentliche Abweichungen von diesem Verhältnis auftreten: die wichtigste Ursache ist die bakterielle Sulfatreduktion; sie bewirkt eine Anreicherung des schweren Schwefel-Isotops ^{34}S im verbleibenden Sulfat. Umgekehrt führt die Oxidation von Sulfiden zu Sulfat zu einer Anreicherung des leichten Schwefelisotops ^{32}S und damit zu einer relativen Verminderung des schweren ^{34}S im Sulfat. Aufgrund dieser 2 Prozesse sind in Formationswasser ohne salinaren Einfluß erhebliche Schwankungen des $^{32}S/^{24}S$ - Verhältnisses zu erwarten (MÜLLER, NIELSEN & RICKE 1966: S. 212).

Bezugsstandard der Schwefelisotopenmessungen ist das $^{32}S/^{34}S$-Verhältnis im Canon-Diabolo-Meteoriten von 22,22. Das entspricht per Definition einem $\delta^{34}S$-Wert von ± 0‰, der als irdischer Mittelwert angesehen wird (PUCHELT & NIELSEN 1967). Der $\delta^{34}S$-Gehalt im Sulfat der Weltmeere liegt bei 20‰ über dem Bezugsstandard, in tonigen Sedimentgesteinen beträgt er - 15‰.

Die Sulfate in den Evaporiten aller geologischen Zeiten haben einen $\delta^{34}S$-Gehalt von 8‰ bis 30‰ ; d. h. davon abweichende Werte in Grubenwässern können nur durch sekundäre Prozesse entstanden sind (PUCHELT & NIELSEN, 1967: S. 308).

Bei Wässern mit $\delta^{34}S$-Werten unter 8‰ sollen diese Werte durch Oxidation von isotopisch leichtem Sulfid oder von Schwefelwasserstoff entstanden sein. Solche Wässer enthalten meist wenig Sulfat. Wenn keine Verdünnung durch Oberflächenwasser stattgefunden hat, ist das ursprünglich vorhandene Sulfat vermutlich durch baterielle Reduktion unter den im unverritzten Sediment herrschenden anaeroben Bedingungen entfernt worden. Die Sulfatoxidation setzte ein, sobald beim Abbau die Grubenschächte gut durchgelüftet wurden.

Wässer mit $\delta^{34}S$- Werten zwischen 8‰ und 30‰ können prinzipiell aus unverändertem Meerwasser stammen oder mit Evaporiten in Verbindung stehen. Aber nur Werte zwischen 8‰ und 12,5‰ lassen sich eindeutig auf unveränderte Zechstein -Sulfate zurückführen. Für die übrigen Werte dieser Gruppe müßte von einem marinen Sulfat mit höherem $\delta^{34}S$- Werten ausgegangen werden. Zusätzlich können diese Sulfate durch bakterielle Reduktion zur schweren Seite hin verschoben worden sein.

Wässer mit $\delta^{34}S$-Werten über 30‰ müssen als Restsulfate einer bakteriellen Sulfatreduktion betrachtet werden, da sie nicht aus einem Salinarzyklus entstammen können.

Die GSF hat 20 Sekundärsalzproben auf den $\delta^{34}S$- Gehalt hin untersucht. Die $\delta^{34}S$-Werte schwanken zwischen - 1,42‰ und 20,6‰. Die $\delta^{34}S$-Gehalte der Grubenwässer bewegen sich ebenfalls in diesem Bereich, von - 3,3‰ bis 21,9‰ ,nur die Hilswasserproben zeigen recht einheitliche, sehr hohe Werte von 40,4 bis 42,3‰.

Die GSF kommt aufgrund der großen Schwankungsbreie aller Meßwerte zu dem Schluß, daß es sich bei den Grubenwässern nicht um Subrosionslaugen handelt. PUCHELT & NIELSEN (1967: S. 310), die sich eingehender mit dem Problem befaßt haben (118 Proben in Grubenwässern des Ruhrreviers), ziehen allerdings nur den Schluß, daß sich das Sulfat nicht nur durch die Ablaugung von Salzlagern entwickelt haben kann. Nach MÜLLER NIELSEN & RICKE (1966: S. 219) kann gesagt werden, daß es sich bei den Konrad-Grubenwässern nicht um einen einheitlichen unterirdischen Wasserkörper handelt, sondern um mehrere Wassertypen, die sich hinsichtlich Genese, Herkunft und Chemismus voneinander unterscheiden können. Die Beschreibung trifft auch auf das Mischwasser in den Pumpensümpfen zu (2.5.2.1.).

Abweichend von den $\delta^{34}S$ -Werten der Grubenwässer sind die stratigraphisch höher gelegenen Hilswasser-Proben; sie haben

in einem längeren Untersuchungszeitraum $\delta^{34}S$- Werte von 40,4 bis 42,3‰ gezeigt (GSF-Abschlußbericht: S. B3-56). Die Konstanz dieser Werte deutet auf ein Ablaugungswasser hin, obwohl der $\delta^{34}S$-Wert von maximal 30‰ für Evaporite erheblich überschritten wird. Zur exakteren Überprüfung der $\delta^{34}S$-Werte hätte man noch Salzproben aus den benachbarten Salzstöcken untersuchen sollen.

Diese Werte weisen auf den Einfluß bakterieller Sulfastreduktion hin. Die ursprünglichen ^{34}S-Anteile sind nicht bekannt, Aussagen über Verbindungen zu Salzstöcken mit Hilfe der Schwefelisotopenbestimmung daher nicht möglich.

2.5.2.2.5. Tritiumbestimmungen an Grubenwässern

Um die Zumischung von Niederschlagswässern aus den letzten 3 Jahrzehnten in die Grubenwässer zu überprüfen, wurde deren Tritiumgehalt gemessen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4.4). Wenn er dem Tritiumgehalt der mitteleuropäischen Niederschlags- und Oberflächengewässern entspricht, hat eine Beeinflussung von der Oberfläche her stattgefunden.

Zur besseren Übersicht sind die Werte der GSF in Tab. 2.13 aufgelistet.

Proben-Herkunft	Tritiumgehalt (μ Ci/ml)	Zeitpunkt der Probennahme
GOF-Niederschlag	$9,0 \times 10^{-7}$ - $1,7 \times 10^{-7}$	14.05.-10.09.79
einziehender Wetterstrom (Konrad I)	$(8,16 \pm 0,748) \times 10^{-7}$	08.06.79
Wetter; 1200 m Sohle	$(3,14 \pm 0,706) \times 10^{-7}$	
Gesamtausziehende Wetter (Konrad II)	$(5,48 \pm 1,121) \times 10^{-7}$	
Kondenswasser aus Wetterstrom (Konrad II, Treufelrinne)	$(1,28 \pm 0,969) \times 10^{-7}$	
Hilssandstein-Wasser (nahe Treufelrinne)	$(2,4 \pm 1,8) \times 10^{-9}$	
Grubenwasser (2., 4. und 5. Sohle)	$(2,25 \pm 2,57) \times 10^{-8}$ — $(3,27 \pm 0,3) \times 10^{-8}$	1975 und 1980
Grubenwasser (Untersuchungsbohrung am Lokschuppen 5. Sohle)	$(8,42 \pm 1,94) \times 10^{-9}$	
Trinkwasser (Asse-Höhenzug)	$6,6 \times 10^{-8}$	1978

Tab. 2.13 Tritiumgehalte in Niederschlag, Wetterstrom und Konrad-Wässern sowie in Wasser aus der Asse (nach GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4.4)

Die von GSF vorgenommene Angabe des Tritiumgehaltes in μCi/ml ist unüblich. Normalerweise (ROETHER 1970: S. 184, RICHTER & LILLICH 1975: S. 219/220) wird die Einheit Tritium Unit (TU) verwendet: Eine Tritium-Einheit entspricht $3,24 \times 10^{-9}$ μCi/ml.

Der Tritiumgehalt in Grundwasser wird durch den darin enthaltenen Anteil von Niederschlagswasser aus der Zeit der Atombombenverscuhe (nach 1953) bestimmt. Grundwasser mit weniger als 2 TU Tritium gilt als frei von Niederschlägen aus dieser Zeit. Alle höheren Werte deuten mindestens auf Zumischung von Niederschlagswasser aus dieser Zeit hin.

Für die folgende Aufstellung von Tritiumgehalten in Niederschlägen sind die Angaben zur Vergleichsmöglichkeit mit Tab. 2.13 auch in µCi/ml angegeben:

Tritiumgehalte in Regenwasser, nach		TU	µCi/ml
GSF (Abschlußbericht: Kap. B3.4.4)			$(9,0 - 1,7) \times 10^{-7}$
ROETHER (1970):			
	vor 1953	6	$1,92 \times 10^{-8}$
	1963/64	2 200	$7,04 \times 10^{-6}$
	1969/70	160	$5,12 \times 10^{-7}$

In der Grube Konrad machen sich bei allen Meßwerten außer Hilssandstein-Wasser die Zumischung von Oberflächenwasser (Brauchwasser) und die mit dem Wetterstrom eingebrachte Feuchtigkeit durch Tritiumgehalte >2 TU ($6,48 \times 10^{-9}$ µCi/l) bemerkbar. Das gilt entgegen GSF-Meinung auch für die Wasserprobe aus einer Bohrung am Lokschuppen der 5. Sohle (s. Tab. 2.13). Umgekehrt zeigt Tab. 2.13 sehr deutlich, daß sich der Tritiumgehalt der Wetterfeuchte beim Durchströmen des Grubengebäudes verringert: Offenbar wird Wasser aus dem Gebirge oder Pumpensümpfen aufgenommen (s. auch 2.5.1.).

Der einzige Wert, der eine solche Aussage nicht zuläßt, betrifft das Hilssandstein-Wasser (s. Tab. 2.13). Daraus zieht GSF den Schluß, "daß (...) das Hilswasser im Schacht II keinen direkten Kontakt zum oberflächennahen Grundwasser hat bzw. keine mit dieser Methode nachweisbare Zumischung stattfindet" (GSF-Abschlußbericht: S. B3-59).

Es hätte GSF klar sein müssen, daß nur die zweite Annahme zutreffend sein kann. Wann sich nämlich die Tritiumgehalte aus den Niederschlägen im Grundwasser bemerkbar machen, hängt von der Fließzeit im Grundwasserleiter ab:

Für den Hilssandstein wird eine Durchlässigkeit von (k-Wert) $1,5 \times 10^{-5}$ m/sek angegeben. Er steht bei Drütte in ca. 3,5 km Entfernung von Schacht Konrad II an der Oberfläche an (BEHREND & KÜHNE 1928 u. 1932, s. 2.4.3.). Aus diesen Zahlen ergibt sich eine Fließzeit von 56 Jahren. Die hohen Tritiumgehalte (s. o.) dürften sich also erst in den nächsten Jahrzehnten im Hilssandstein von Schacht Konrad II bemerkbar machen. Mit der Tritiumbestimmung hätte sich also lediglich eine zusätzliche kurze wasserwegsame Verbindung zwischen Hilssandstein in Schacht II und Oberfläche nachweisen lassen.

2.5.3. Beschreibung potentieller Wasserwegsamkeiten

Wasserwegsamkeiten zwischen Endlager und Biosphäre können zwei unterschiedliche Funktionen erfüllen: Durch Wasserzulauf aus höheren Grundwasserstockwerken können sie zum Absaufen der in der Grube (noch) vorhandenen Hohlräume führen. Dieser Prozeß bedarf keiner Wassersättigung des wegsamen Bereichs. Das Wasser folgt allein der Schwerkraft.

Nach Füllung der Grube kommen Wegsamkeiten für den Transport von Radionukliden aus dem Endlager in die Biosphäre infrage. Dieser Transport findet in wassergesättigtem Medium statt. Sofern er durch fließendes Wasser bewerkstelligt wird, ist er i. W. von Volumenverminderung (durch Konvergenz oder Quellung, s. auch 3.5.6.) im Grubengebäude oder durch das Vorhandensein eines hydraulischen Potentials bestimmt.

Die Benutzung ein und derselben Wegsamkeit für Wassertransport in die Grube hinein und anschließend aus der Grube in die Biosphäre setzt vollständige Füllung aller kommunizierenden Hohlräume und eine Änderung der den Transport verursachenden Kräfte voraus.

Bei Zuflüssen in die Grube und bei RN-Transport aus der Grube in die Biosphäre können natürliche und/oder künstliche Wasserwegsamkeiten benutzt werden. Bei der sicherheitsmäßigen Einschätzung von potentiellen oder tatsächlichen Wegsamkeiten muß berücksichtigt werden, daß die natürlichen Wasserwegsamkeiten nicht mehr verändert werden können. Dasselbe gilt für einen Teil der künstlichen Wegsamkeiten, wie die im Bereich des Grubengebäudes niedergebrachten und verfüllten Tiefbohrungen Bleckenstedt 1 und 4 sowie Sauingen 2. Bei den nach Beendigung der Einlagerung zu verfüllenden Schächten kann eine möglichst hohe Abdichtungsleistung noch erreicht werden. Allerdings werden am Standort Konrad erhebliche Anforderungen an die Verfüllung gestellt, weil sie ihre Dichtigkeit auch unter den hohen Konvergenzdrücken behalten muß.

Bei den bisher nach dem von der GSF vorgeschlagenen Verfahren verfüllten Schächten standen Standsicherheitsfragen im Vordergrund (s. auch 3.5.4.). Mangels Bedarf ist eine Überprüfung der Dichtigkeit der Verfüllung nicht erfolgt. Sie darf daher bei der Verfüllung der Konrad-Schächte nicht ohne weiteres unterstellt werden.

Für das Absaufen der Grube kommen nach den bisherigen Beobachtungen vor allem die Schächte Konrad I und Konrad II sowie der Cornbrash-Sandstein infrage. Langfristig sind auch die im Grubenbereich niedergebrachten Tiefbohrungen Bleckenstedt 2 und 4 und Sauingen 2 (s. 3.5.5.) von Bedeutung, weil mindestens von einem Teil des Verfüllmaterials nur begrenzte Haltbarkeit erwartet werden darf.

Das Auftreten wasserwegsamer Klüfte in der Oberjura/Unterkreidegesteinsserie soll hier nicht betrachtet werden, wenngleich GSF den Beweis für das elastoplastische Verhalten dieses Barriereteils schuldig geblieben ist (s. 2.4.1.1. u. 3.1.2).

Da die Schächte auf voller Länge, also auch im Grundwasser führenden Bereich, ausgebaut sind, ist Wasserzutritt aus den verschiedenen Grundwasserstockwerken vom Versagen des abdich-

tenden Schachtausbaus abhängig. Beide Schächte stehen in ihrem oberen Abschnitt im obersten Grundwasserstockwerk in Oberkreide- und Quartärschichten, das über ein erhebliches Wasserpotential verfügt (s. 2.4.2.). Zutritte aus diesem Stockerk in die Schächte wurden bislang nur von den oberen 5 m von Schacht Konrad I während der Schneeschmelze (ohne Angaben der baulichen Ursache) berichtet (GSF-Abschlußbericht: S. B3-12).

Beim Abteufen konnten die erheblichen Zuflüsse aus diesem Stockwerk weitgehend durch Verpressen mit Zement gestoppt werden (s. 2.4.2.2.1.). Wie hoch die heute durch den Schachtausbau dringenden Wassermengen sind, ist unbekannt.

Über die heutige Wasserführung in den übrigen potentiellen Aquiferen im Bereich von Schacht I (Flammenmergel, Hauterivekalkstein; s. 2.4.) liegen keine Informationen vor.

Von wahrscheinlich erheblich größerer Bedeutung ist Schacht Konrad II, wo in ca. 470 m Teufe wasserführender Hilssandstein von ca. 1 m Mächtigkeit angetroffen wurde (s. 2.4.3.). Selbst durch umfangreiche Abdichtungsmaßnahmen ist es bis heute nicht gelungen, den Wasserzutritt in die Schachtröhre völlig zu verhindern.

Der Hilssandstein steht nach den vorliegenden Befunden mit der Oberfläche in Verbindung. Gegenteilige Behauptungen der GSF (Abschlußbericht: Kap. B3.4.4) entbehren jeder Grundlage (s. 2.4.3.). Bei einem Versagen der Schachtabdichtung können erhebliche Wassermengen in den Schacht und damit in die Grube strömen, sofern Sanierungsmaßnahmen nicht durchgeführt werden (können). Die Neubildungsrate des Hilssandstein-Wassers dürfte erheblich über der in Schacht Konrad II maximal ausgeflossenen und auch für die Zukunft als Maximalzufluß einzuschätzenden Wassermenge liegen. Die zufließende Wassermenge ist daher allein von der Durchlässigkeit des Hilssandsteins und der Schachtwandung abhängig.

Ein Versagen der Abdichtung kann durch das Hilssandstein-Wasser selbst verursacht werden: Es ist wegen seines hohen Gehalts an CO_2 (und Cl^-) wahrscheinlich äußerst aggressiv gegenüber dem beim Schachtausbau und wahrscheinlich auch bei m Abdichten verwendetetn Material (s. 2.5.2.2.1.1.). Die Unversehrtheit des Ausbaus und der abdichtenden Zementinjektionen im Hilssandsteinbereich von Konrad II dürfen daher nicht ohne weiteres aus dem nachlassen der Zuflüsse auf heute ca. 8 - 10 l/min (s. 2.5.1.) geschlossen werden. Bemerkenswerterweise liegen bislang nur Spekulationen darüber vor, warum der Zufluß abgenommen hat: Für die von KOLBE (1975) vermutete "Erschöpfung" des Zuflusses gibt es keine Anhaltspunkte. Über die außerdem zur Erklärung angeführten "Selbstabdichtungseffekte" (GSF-Abschlußbericht: S. B3-13) liegen weder qualitative noch quantitative belastbare Aussagen vor.

Da Schacht Konrad II im abbaubedingten Senkungsgebiet steht, ist mit Bewegungen und so mit der Entstehung von Wegsamkeiten zwischen Außenwand der Schachtröhre bzw. den damit fest verbundenen Zementinjektionen und dem umgebenden Gestein zu rechnen. Hilssandsteinwasser kann daher über den eigentlichen Kontaktbereich zwischen Hilssandstein und Schachtwandung hinaus mit der Schachtwandung in Kontakt treten. Bereits beim Abteufen des Schachts mußte trotz der geringen Mächtigkeit des Hilssandsteins der Teufenbereich von 447 bis 484 m (37m) abgedichtet werden. Erst die Einbringung eines armierten Betonringes brachte die Reduzierung auf etwa die heutige Zuflußmenge (GSF-Abschlußbericht: S. A1-23, 24).

Wasser, das sich nach Schachtverfüllung zwischen Schachtaußenwand und Gestein aus dem Endlager nach oben bewegt, wird nach dem Chemismus der heute in der Grube anfallenden Wässer und den Beobachtungen beim Schachtabteufen erhebliche Lösungsinhalte aufweisen (s. 2.5.2.1.). Selbst im Bereich der Smektit-reichen Alb-Tonsteine und -Mergelsteine ist daher nicht darauf zu hoffen, daß "Spalte" zwischen Ausbau und Gestein bzw. im umgebenden Gestein durch Quellung geschlossen werden (s. 2.3.2.2. u. 2.4.1.2.).

Aquifere in der Gesteinsfolge oberhalb die Korallenoolith-Erzes, wie Hilssandstein oder Hauterive-Kalkstein, aus denen Wasser in die Grube gelangen kann, stehen natürlich umgekehrt auch für einen Radionuklidtransport in die Biosphäre zur Verfügung: Im Schacht oder an der Außenwand aufsteigende (oder durch Konvergenz ausgepreßtes) Wasser kann grundsätzlich in solche Aquifere gelangen und weiter bewegt werden. Der Eintrittsbereich von Radionukliden in die Biosphäre liegt dann womöglich weit außerhalb des Konrad-Gebietes. Wegen der Langlebigkeit eines Teils der Radionuklide darf ein solcher Fall nicht unberücksichtigt bleiben (s. 6.2.4.3.).

Nicht an die Schächte gebunden ist ein möglicher Wasserzutritt in die Grube aus dem Cornbrash-Sandstein (s. 2.4.5.): Nach den Erfahrungen beim Abteufen ist der Cornbrash-Sandstein vollständig mit gespanntem Wasser gefüllt. Im Vergleich mit dem weitgehend trockenen Korallenoolith-Aquifer ist das ein Hinweis auf die Existenz von hydraulischen Verbindungen zu Grundwasser-Neubildungsgebieten.

Im ungestörten Schichtverband beträgt der Abstand zwischen Cornbrash-Sandstein und unterem Korallenoolith ca. 120 m (wahre Mächtigkeit, nach Schichtenverzeichnis Konrad I errechnet). Besonders nahe kommt der Cornbrash-Sandstein dem Grubengebäude in Schacht II, wo er ca. 3,5 m unterhalb der Schachtsohle liegt. Zur Sicherung wurde hier ein Betondeckel von 1,5 m Dicke eingebracht (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 61).

Im Bereich der oberen Störungen verringert sich der Abstand jedoch erheblich: Am Bleckenstedter Sprung liegen Cornbrash-Sandstein und Korallenoolith-Basis fast nebeneinander: Die in Abb. 2.16. entlang der Störungsfläche gemessene Entfernung beträgt nur ca. 50 m und ist sicherlich nicht die geringste Entfernung. Wichtig ist, daß alle Verwerfungen, die Korallenoolith und oberen Dogger betroffen haben, als potentielle Wegsamkeiten infrage kommen, über die Wasser aus dem Cornbrash-Sandstein in das Grubengebäude aufsteigen kann. Solche

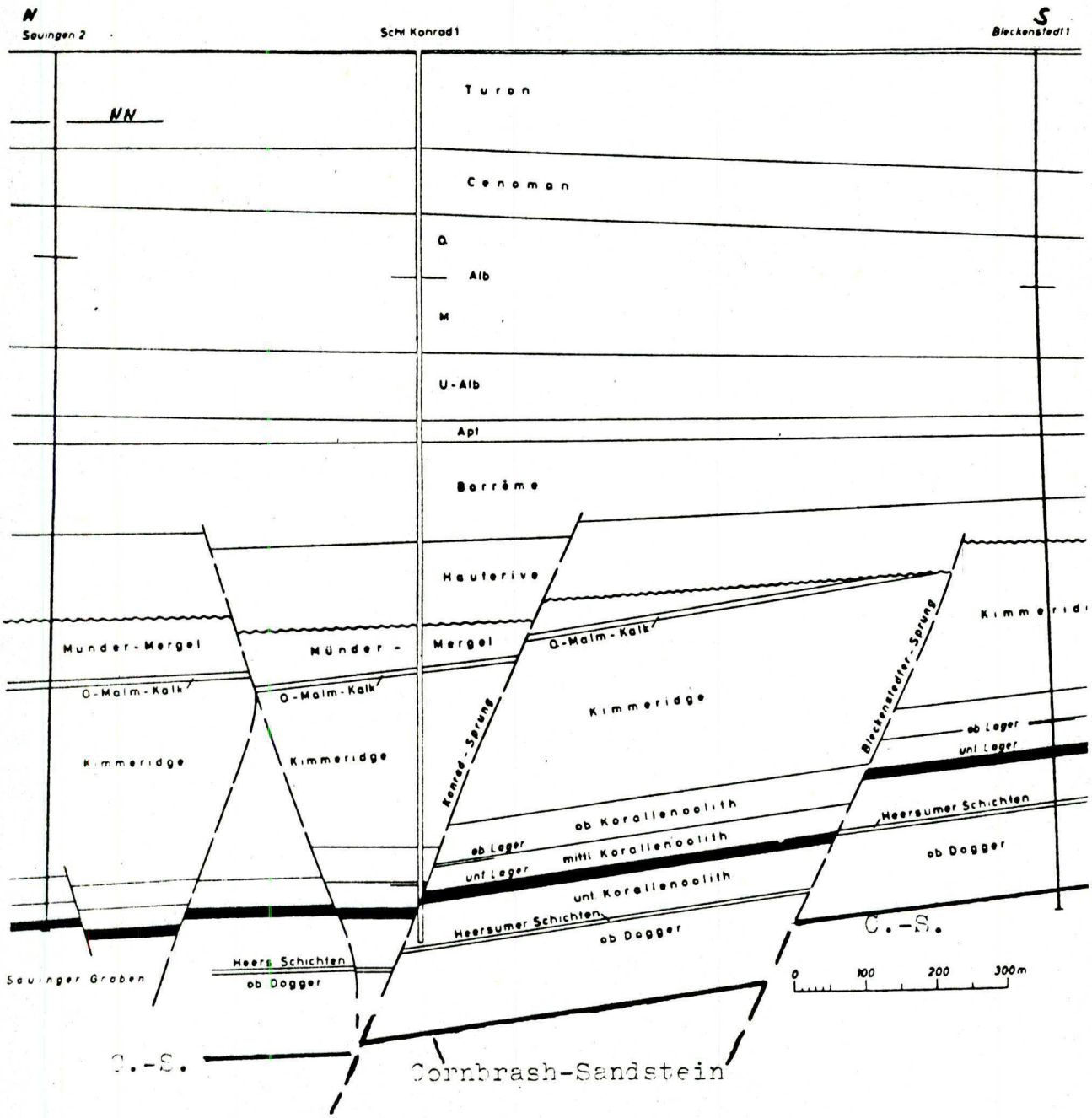


Abb. 2.16

Längsschnitt durch die Konrad-Mulde (Bleckenstedter Mulde) zur Veranschaulichung der Lagebeziehungen zwischen Korallenoolith im Grubengebäude Konrad und Cornbrash-Sandstein (aus KOLBE 1960, im unteren Teil ergänzt)

Der Abstand Heersumer Schichten - Cornbrash-Sandstein wurde aus dem Schichtenverzeichnis Konrad 2 übernommen. Ob in Bohrung Bleckenstedt 1 tatsächlich Cornbrash-Sandstein angetroffen worden ist, ist unbekannt.

Lage des Schnittes: s. Abb. 2.2

Wegsamkeiten können auch dann von Bedeutung sein, wenn sie östlich außerhalb und damit oberhalb des Grubengebäudes liegen.

Mit ihrer Existenz ist nach der geologischen Entwicklung der Konrad-Region (s. 2.2.1.) und wegen des Auftretens von Klüften in den Dogger-Gesteinen oberhalb des Cornbrash-Sandsteins (Schichtenverzeichnis Konrad II: S. 55 ff.) durchaus zu rechnen. Solange die Herkunft des in der Grube anfallenden Wassers nicht geklärt ist, kann auch für die "Gegenwart" ein solcher Wasserzutritt nicht völlig ausgeschlossen werden.

Hydraulische Verbindungen mit bedeutender Kapazität bestehen zwischen Cornbrash-Sandstein und Korallenoolith gegenwärtig nicht. Ob überhaupt Wasser aus dem Cornbrash-Sandstein in das Grubengebäude zusetzt, ist unbekannt: Der Basisbereich des Korallenoolith, wo solches Wasser am ehesten zu bemerken wäre, ist nur selten aufgeschlossen (s. 2.4.4.).

Möglicherweise gehen aber die Ähnlichkeiten im Chemismus der in beiden Aquiferen angetroffenen Wässer (s. Tab. 2.7) auf geringe Zuflüsse aus dem Cornbrash-Sandstein und deren Modifizierung im unteren Korallenoolith zurück. Allerdings liegen keine detaillierten Informationen über den Chemismus des Cornbrash-Wassers und des Kluftwassers im unteren Korallenoolith aus der Zeit des Abteufens oder von heute vor.

Änderungen des bisherigen hydraulischen Zustands können sowohl durch bergbauliche Tätigkeit durch die Bildung einer konvergenzbedingten Auflockerungszone (s. 3.3.) als auch durch natürliche Prozesse im Zuge der Weiterentwicklung der Salzstrukturen Thiede und Broistedt, eventuell Drütter Sporn, u. a. erfolgen. Im Senkungstrog über dem Grubengebäude ist außerdem mit Veränderungen der Grenzfläche Schachtausbau/Gestein und von rigiden Einschaltungen in der Oberjur/Unterkreide-Serie zu rechnen.

Die Fließgeschwindigkeit von Wasser, das sich von einem hohen Grundwasserstockwerk in das Endlager bzw. seine restlichen Hohlräume und von dort über einen (verfüllten) Schacht oder eine Bohrung in die Biosphäre bewegt, wird von der niedrigsten Durchlässigkeit aller durchströmten Teilsysteme bestimmt. Die sich durch das System bewegende Wassermenge wird außerdem vom kleinsten darin enthaltenen durchströmten Querschnitt begrenzt. Sofern die Verfüllung der Schächte mindestens die Durchlässigkeit des Cornbrash-Sandsteins aufweist, wird die Geschwindigkeit auch im Schacht durch die Durchlässigkeit des Sandsteins bestimmt. Die Verfüllung trägt erst dann zur Verminderung der Geschwindigkeit bei, wenn ihre Durchlässigkeit unter der des Sandsteins liegt.

Über die Durchlässigkeit des Verfüllmaterials der Schächte oder des verfüllten Grubengebäudes liegen bislang keine, über die des Cornbrash-Sandsteins nur unzureichende (s. 2.4.5.) Informationen vor. Mit Hilfe von plausiblen Annahmen läßt sich jedoch eine Vorstellung von der Größenordnung der möglichen (Filter)-Geschwindigkeit des Wassers gewinnen:

Als Neubildungsgebiet wird der Raum Hohenassel - Lichtenberge angenommen (s. 2.4.4.4., Abb. 2.1). Dort liegt der Grundwasserspiegel in mindestens 100 m Höhe ü. NN (Topographische Karte 1 : 100 000, C 3926 Braunschweig), an Schacht Konrad II in ca. 85 m ü. NN (Schichtenverzeichnis Konrad II, GSF-Abschlußbericht: Fig. B3.1-3). Die Entfernung zwischen Neubildungsgebiet und Schacht beträgt ca. 15 km.

Setzt man für die Durchlässigkeit die für den Cornbrash-Sandstein errechneten Werte ($1{,}7 \times 10^{-5}$ bzw. $2{,}4 \times 10^{-4}$ m/sek, s. 2.4.5.) und Werte aus dem unteren Bereich der für (Kalk-) Sandstein typischen Durchlässigkeitsbandbreite (10^{-6} bzw. 10^{-8} m/sek, s. Tab. 2.3) an, so errechnet sich die Geschwindigkeit ohne Berücksichtigung von Wasserdichte und Viskosität nach Darcy (s. 2.4.3.) zu 0,54 bzw. 7,6 m/Jahr und 3 bzw. 0,03 cm/Jahr. Das entspricht Laufzeiten von 1850, 130, 33.333 bzw. 333.333 Jahren für eine 1000 m lange Strecke.

Für einen angenommenen Wasserzutritt aus Cornbrash-Sandstein über verschiedene Grundwasserstockwerke an einer Salzstockflanke (Broistedt, Flachstöckheim) verändern sich diese Geschwindigkeiten und Laufzeiten bei kürzerer Strecke aber geringerem Grundwassergefälle nur unwesentlich.

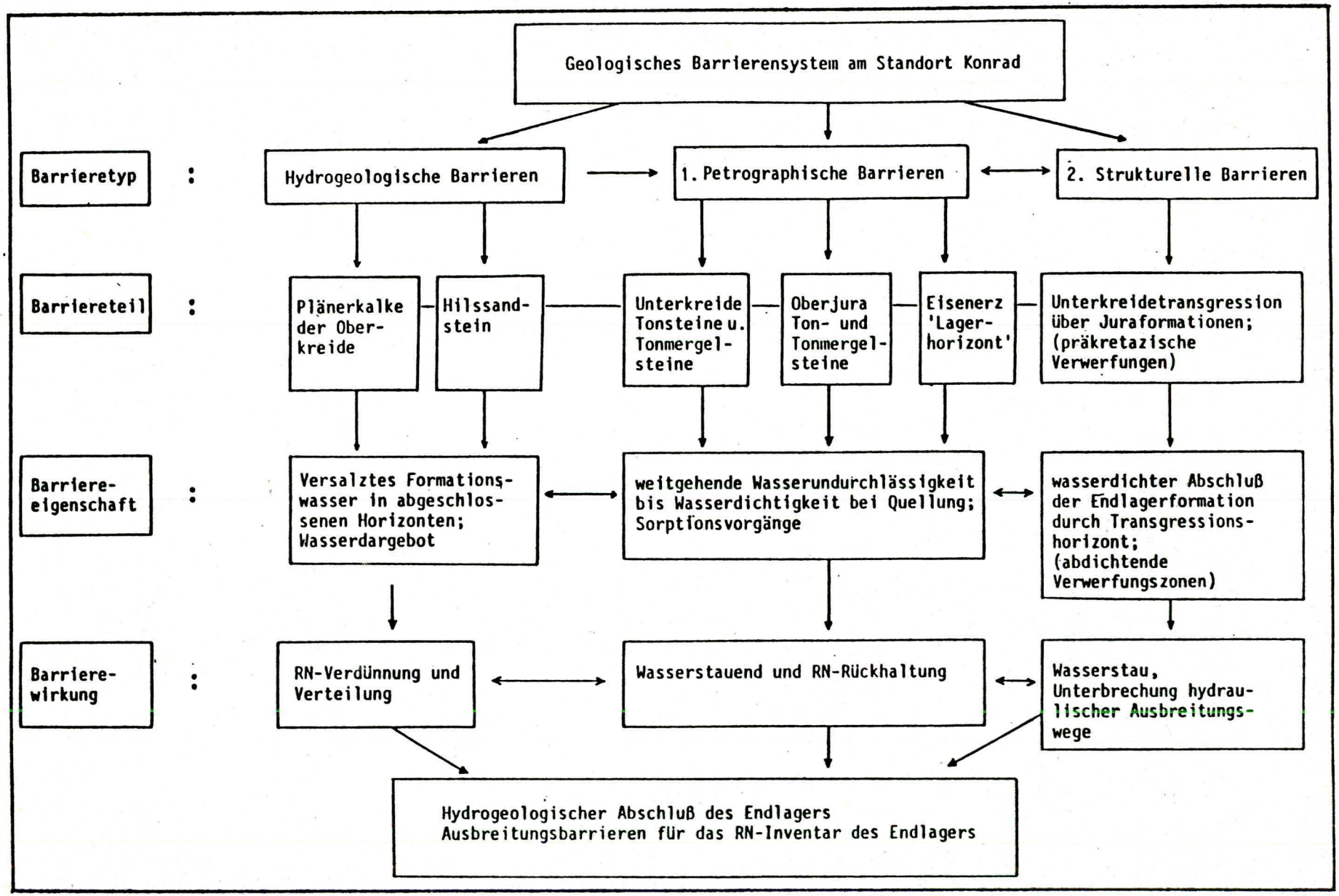
Die Durchflußmengen pro Quadratmeter durchströmten Querschnitts ändern sich mit den verschiedenen Durchlässigkeitswerten wie die Geschwindigkeiten.

2.6. Wertung der GSF-Eignungsuntersuchung

2.6.1. Einleitung

Bei der Bewertung der geometrischen Barriere(n) am Standort Konrad (GSF-Abschlußbericht: Kap. B4) unterscheidet GSF drei verschiedene Barrieretypen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B4, insbesondere Fig. B4-1, s. Tab. 2.14): hydrogeologische Barrieren, petrographische Barrieren und strukturelle Barrieren.

Die "hydrogeologischen Barrieren" sind Plänerkalkstein der Oberkreide und Hilssandstein, wobei GSF die Grundwasser führenden Quartär-Schichten des obersten Grundwasserstockwerks merkwürdigerweise nicht berücksichtigt hat. Die Wirkung der Barrieren soll in Radionuklidverdünnung und -verteilung bestehen und durch "versalztes Formationswasser in abgeschlossenen Horizonten" und das "Wasserdargebot" verursacht werden (s. Tab. 2.14). Diese Einschätzung überrascht; denn Untersuchungen über den Radionuklidtransport in diesen Aquiferen oder nur die Grundwasserbewegung hat GSF nicht durchgeführt. Die einzigen konkreten Anmerkungen dazu (Radionuklidrückhaltung in Plänerkalkstein durch Sorption an Tonlagen) beruhen auf unzureichendem Verständnis der Wasserbewegung in diesem Kluftaquifer (s. 2.4.2.2.1.).
Angaben zum Sorptionsvermögen des Hilssandsteins enthält der Bericht nicht.



Tab. 2.14

Barrierensystem am Standort Konrad nach GSF-Darstellungen (GSF-Abschlußbericht, Tab. B 4.1)

Ob Plänerkalkstein und/oder Hilssandstein für Radionuklidtransport in die Biosphäre günstige oder ungünstige Eigenschaften aufweisen, kann nur durch Untersuchungen, nicht durch Mutmaßungen geklärt werden.

Die "strukturellen Barrieren" bestehen aus der "Unterkreidetransgression über Juraformationen" und präkretazische(n) Verwerfungen" (s. Tab. 2.14). Der erste Teil wird im GSF-Abschlußbericht (s. B4-6) ausdrücklich als zusätzliche Barriere angeführt. Bei diesen die Sicherheit am Standort scheinbar erhöhenden Barrieren hat GSF jedoch übersehen, daß die überwiegend tonigen Gesteine der Unterkreide ohne diskordante Überlagerung der Endlagerformation Korallenoolith-Erz keine abdichtende Wirkung hätten, weil Wasser in geringer Entfernung vom Endlager in den Korallenoolith-Aquifer eindringen könnte. Die strukturelle Situation am Standort Konrad ist also notwendige Voraussetzung für die Funktionstüchtigkeit der geologischen Barriere und kein zusätzliches Sicherheitsargument.

Damit reduzieren sich die Barrieren des Barrierensystems auf eine (s. 2.2.1.), deren Aufbau und Zusammensetzung ihre Wirkung bestimmen.

Zum Nachweis geologisch-sicherheitsmäßiger Eignung des Standorts Konrad für die Endlagerung schwachradioaktiver Abfälle stützt sich die GSF auf regionalgeologische und lagerstättenkundliche Argumente sowie die Ergebnisse der von ihr durchgeführten geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen. Leider enthält der GSF-Abschlußbericht keine Angaben darüber, an welchem Maßstab die einzelnen Befunde jeweils gemessen wurden, und für welchen Zeitraum die Aussagen Gültigkeit behalten werden. Mit Vorgängen, die den gegenwärtigen Zustand verändern könnten (Weiterentwicklung der Salzstrukturen Broistedt-Rolfsbüttel und Thiede sowie möglicherweise des Drütter Sporns oder Weiterentwicklung des Absenkungstrogs über der Grube und Gebirgsauflockerung durch Hohlraumauffahrung) hat sich GSF nicht auseinandergesetzt.

2.6.2. Regionalgeologische und lagerstättenkundliche Aspekte

Die vergleichsweise geringe in der Grube Konrad anfallende Wassermenge zeigt, daß die Kreide-Tonsteine, die das Korallenoolith-Erz diskordant überlagern, eine starke Grundwasserneubildung im Korallenoolith-Kimmeridge-Aquifer z. Z. verhinden. Damit nicht genug führt GSF (Abschlußbericht: S. B4-10) die Übereinstimmung der geologischen Verhältnisse am Standort Konrad mit Erdöllagerstätten im Nordteil des Gifhorner Troges als Beweis für die Undurchlässigkeit der Tonsteine an. Nun ist aber nach GSF-Meinung am Standort Konrad keine Erdöllagerstätte vorhanden. Damit das Vergleichsargument trotzdem gegenüber möglichen Einwänden Bestand haben kann, werden zwei Zusatzannahmen getroffen:

"Als Ursache (für das Fehlen einer Lagerstätte) können Geringmächtigkeit oder Fehlen der ölführenden Muttergesteine, z. B. Posidonienschiefer, vermutet werden" (GSF-Abschlußbe - richt: S. B4-11), oder "dafür ist auch der Ausfall von potentiellen Speichergesteinen in dem weitgehend trockenen Deckgebirge eine entscheidende Ursache" (GSF-Abschlußbericht: S. B1-11).

Beide Annahmen sind unzutreffend:

Angesichts der Existenz eines Ölfeldes an der nahen Westflanke des Salzstocks Broistedt sollte die Mächtigkeit von Posidonienschiefer durchaus zur Produktion von Kohlenwasserstoffspuren am Standort Konrad ausreichen. Tatsächlich enthält der wassergefüllte Cornbrash-Sandstein, nach seiner in Schacht Konrad II beobachteten Ausbildung eher ein gutes Speichergestein (s. 2.4.5.), Spuren von Methan, deren Herkunft und lagerstättenkundliche sowie sicherheitsmäßige Bedeutung allerdings unklar sind.

Auch bei einem weiteren Vergleich verläßt sich GSF auf unhaltbare Vermutungen: Unter Berufung auf HEDEMANN (1957 ;

gemeint ist vermutlich HECHT, HEDEMANN & KABELAC 1957 oder HEDEMANN 1956) werden von den Ölfeldern im Nordteil des Gifhorner Troges Ölfallen erwähnt, die an präalbische Verwerfungen gebunden und "grundsätzlich mit dem Bleckenstedter Sprung oder ähnlichen Verwerfungen am Standort Konrad vergleichbar sind. Diese Störungen haben nun keinesfalls zu einer Beeinträchtigung der Transgressionsfalle geführt, sondern bilden aufgrund ihrer mylonitisierten Randbereiche selbst Fangstrukturen für das Erdöl. Für das Endlager bedeuten solche abdichtenden Verwerfungen ein zusätzliches Glied in dem geologischen Mehrbarrierensystem" (GSF-Abschlußbericht: S. B4-10).

In dieser Aussage sind zwei Fehler enthalten:

Zum einen kann logischerweise eine präalbische Verwerfung, sofern ihr Alter eindeutig feststeht, die abdichtende Wirkung von Alb-Tonstein überhaupt nicht beeinträchtigen. Zum anderen ist bei den anderen Lagerstätten überwiegend Dogger-β -Sandstein der Ölspeicher. Er ist in sehr viel mächtigere tonige Gesteinsserien eingebettet. Die abdichtende Wirkung der Verwerfungen wird daher weniger durch Mylonitbildung verursacht als vielmehr dadurch, daß das Speichergestein an den Verwerfungen an Tonstein der Nachbarscholle stößt. Dieser Sachverhalt ist den Abbildungen in den o. a. Arbeiten (HEDEMANN 1956, HECHT, HEDEMANN & KABELAC 1957) zu entnehmen. Innerhalb des Korallenoolith am Standort Konrad sind solche Bedingungen wegen des hohen Kalksteinanteils (s. 2.4.4.2.) nicht zu erwarten. Hier muß darüber hinaus mit einer oberkretazischen Wiederbelebung der "präalbischen" Verwerfungen gerechnet werden (s. 2.2.2. u. 2.2.3.). Vom in Schacht Konrad I angetroffenen Konrad-Sprung ist im Korallenoolith-Niveau von Mylonit nichts bekannt (Schichtenverzeichnis Konrad I).

2.6.3. Untersuchungen am Standort

2.6.3.1. Geologische Untersuchungen

Die von der GSF am Standort Konrad selbst durchgeführten geologischen Untersuchungen lassen sich grob in drei Gruppen gliedern: Untersuchungen zur Petrographie, Durchlässigkeit und Fähigkeit zur RN-Rückhaltung der Gesteine. Eine sicherheitsrelevante Darstellung der hydrogeologischen Situation am Standort Konrad mit Angaben zur Stockwerksgliederung und Verbreitung der Grundwasserleiter, zu deren hydraulischen Eigenschaften und möglichen Verbindungen mit Grundwasser-Neubildungsgebieten ergibt sich daraus nicht (s. 2.4.).

Im GSF-Abschlußbericht fehlen auch konkrete Angaben über den für erforderliche gehaltenen Umfang der Untersuchungen, Ziel und Aussagekraft der angewendeten Methoden sowie Repräsentativität und Zustand der untersuchten Proben (s. 2.3.). Mit Ausnahme der in der Grube aufgeschlossenen Einheiten stammen alle Proben aus der Zeit des Schachtabteufens. Sie sind daher wegen Auflockerung durch Entlastung bzw. Austrocknung für bestimmte Untersuchungsmethoden (z. B. Permeabilitätsbestimmung) nicht mehr benutzbar. Untersuchungen zur Durchlässigkeit der Gesteine und zur Radionuklidrückhaltung wurden ausschließlich an Proben aus Schacht Konrad I durchgeführt.

Die Darstelllung der Ergebnisse erfolgt nicht nach Gesteinstypen oder Schichtfolge der geologischen Barriere, sondern nach Methoden geordnet. Ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersuchungsmethoden untereinander und mit petrographischen Eigenschaften ist daher i. a. nicht möglich. Die von GSF aufgrund dieser Ergebnisse getroffenen sicherheitsrelevanten Aussagen sind aus demselben Grund nicht immer nachvollziebar oder überprüfbar.

2.6.3.1.1. Petrographische Untersuchungen

Im Vergleich mit den vor Beginn der Untersuchungen bereits vorhandenen Informationen (Schichtenverzeichnisse Konrad I und Konrad II, KOLBE 1975) ist die beschreibende Gliederung der geologischen Barriere am Standort Konrad (GSF-Abschlußbericht: Kap. B1.3.1 , B2.1.2 , B3.1 u. B3.2) unvollständig, weil nicht alle tatsächlichen und potentiellen Aquifere beschrieben werden (s. 2.3. und 2.4.). Das gilt insbesondere für das obere Grundwasserstockwerk und Hilssandstein, über die dennoch sicherheitsmäßige Aussagen gemacht werden (s. 2.6.1.), aber auch für Flammenmergel (Ober-Alb), Kalksteine im Hauterive und mögliche weitere klüftige und sandreiche Gesteine in der Unter-Kreide (s. 2.4.) sowie alle Grundwasserstockwerke unter dem Korallenoolith-Erz.

Feinpetrographische Untersuchungen sind vor allem an den Kreide-Tonsteinen und insbesondere zur Bestimmung von Tonmineralanteil und -zusammensetzung durchgeführt worden. Dabei wurde in den Gesteinen des Alb ein zwar stark schwankender doch allgemein hoher Anteil von Smektit (Ca-Montmorillonit) festgestellt, der GSF zu weitreichenden sicherheitsmäßigen Aussagen über Sorptionseigenschaften und Quellfähigkeit dieser Gesteine veranlaßt hat (s. 2.3.2. u. 2.4.).

2.6.3.1.2. Durchlässigkeitsuntersuchungen

Durchlässigkeitsuntersuchungen wurden vor allem an Erz bzw. seinem in der Grube aufgeschlossenen Nebengestein, außerdem an insgesamt vier Tonsteinproben aus dem Alb (2 Proben), dem Apt (1 Probe) und dem Mittleren Korallenoolith (1 Probe) durchgeführt. Die Tonsteinproben lieferten niedrige Werte, können jedoch schon zahlenmäßig nicht für die gesamte Gesteinsfolge über dem Erzlager repräsentativ sein (s. 2.3., 2.4.1.2. u. 2.4.4.2.).

Dennoch gibt GSF die Durchlässigkeiten der einzelnen von ihr unterschiedenen Einheiten Alb, Neokom, Ober-Jura (Tonstein) und Korallenoolith-Erz mit Nebengestein als geringer als die jeweils entsprechenden Meßwerte an (GSF-Abschlußbericht: Kap. B4).

Als Beweis für die besonders geringe Durchlässigkeit der Alb-Tonsteine werden von GSF Parallelen zu den Erzgruben von Peine und Bülten gezogen, wo Quelleigenschaft und Selbstabdichtungseffekte nachgewiesen sein sollen; allerdings tritt GSF den Beweis, wie bei den Eröllagerstätten (s. 2.6.1.) mit unzulässigen Vergleichen und Schlußfolgerungen an (s.2.4.1.2.).

Als Maß für die Quellfähigkeit und damit Undurchlässigkeit der Tonsteine ist deren Wasseraufnahme bestimmt worden, wobei eine Methode aus dem Ingenieurbau mit vorhergehender Probenzerkleinerung und -trocknung zur Anwendung kam. Sie läßt daher keine direkten Rückschlüsse auf Ausmaß und Dauer des Quellvorgangs im Gesteinsverband zu. Methodische Angemessenheit unterstellt, zeigen die Ergebnisse zudem, daß die smektitreichen Alb-Gesteine keineswegs generell gute Wasseraufnahmekapazität aufweisen. Von welchen weiteren Faktoren die Meßwerte beeinflußt werden, hat GSF nicht konkret untersucht (s. 2.3.2.2. u. 2.4.1.2.).

Die Durchlässigkeitsbestimmungen an Eisenerz und Nebengestein leiden darunter, daß nicht die eigentlich wichtige Gebirgspermeabilität, sondern die Permeabilität des ungestörten Gesteines ermittelt worden ist: Die in-situ-Messungen wurden in relativ ungestörten Grubenbereichen durchgeführt (s. 2.4.4.2.). Bei der Auswertung und im Rahmen der zusammenfassenden Wertung der Untersuchungsergebnisse (GSF-Abschlußbericht: Kap. B4) sind die Höchstwerte sogar aussortiert worden. Die Laborbestimmungen sind für Kluftaquifere ohnehin nicht geeignet.

Über die Gebirgsdurchlässigkeit von Erz und Nebengestein liegen aus diesen Gründen keine angemessenen Aussagen vor.

Das Kluftvolumen des Korallenoolith hat GSF nicht zu bestimmen versucht, obwohl bei Schachtabteufen und Erzabbau Wasser ausschließlich aus Klüften zugetreten ist und oft offene Klüfte trocken angetroffen worden sind. Die Kluftdichte, ein indirektes Maß für die Durchlässigkeit, wurde nur für Großklüfte und Verwerfungen bestimmt, wobei immerhin die unterschiedliche Klüftigkeit innerhalb des Grubenbereichs zum Ausdruck kam (s. 2.2.3. u. 2.4.4.2.).

2.6.3.1.3. Sorptionsuntersuchungen

Untersuchungen zum Sorptionsvermögen der Gesteine beschränken sich auf das Erz und die tonigen Oberjura/Unterkreide-Serien (s. 2.4.1.3. u. Tab. 2.4). An jeweils denselben Proben wurden die spezifische Oberfläche und Kationenaustauschkapazität sowie der Verteilungskoeffizient (K_d-Wert) bestimmt. Entgegen GSF-Meinung, wonach die Alb-Gesteine wegen hoher Kationenaustauschkapazität besonders gute Sorptionseigenschaften haben sollen (GSF-Abschlußbericht: S. B4-3), unterscheiden sie sich nicht positiv von den übrigen untersuchten Tonsteinen.

Darüber hinaus wurde mit dem batch-Versuch ein Verfahren zur K_d-Wert-Bestimmung gewählt, mit dem bei Festgesteinen lediglich materialspezifische, jedoch keine für das Verhalten im Gesteinsverband gültigen Aussagen zur Radionuklidrückhaltung erarbeitet werden können: Durch mechanische Aufbereitung und Verwendung nur der feinen Fraktion findet gegenüber der in Kluftaquiferen für die Sorptionsvorgänge zur Verfügung stehenden Oberfläche eine erhebliche Flächenvergrößerung statt (s. 2.3.2.3.). Welche Bedeutung die geringe Durchlässigkeit von Tonstein auf die Sorptionsleistung des Gesteins hat, wurde nicht untersucht. Der für Gestein im natürlichen Verband anzusetzende Wert ist unbekannt.

2.6.3.2. Bestimmung der im Grubengebäude anfallenden Wassermengen

Der Korallenoolith-Aquifer ist offenkundig nicht wassergesättigt, die Durchlässigkeit daher geringer als in wassergesättigtem Zustand. Die Wasserbewegung folgt direkt der Schwerkraft und ist außer auf stauenden Zonen i. W. auf die Aquiferbasis hin gerichtet. Aussagen im GSF-Abschlußbericht (S. B4-8,9) über

- schnelles Ausbluten von Kluftwasser,
- das Auftreten von offenen trockenen Klüften,
- fehlende Wasserzuflüsse aus abgeworfenen Grubenteilen,
- geringen Wasseranfall in den Pumpensümpfen,
- geringe Feuchtigkeit des Korallenoolith-Erzes

beschreiben daher einen unter diesen Umständen normalen Sachverhalt. Sie lassen jedoch keine Aussagen über die potentielle Wasserführung und die heute tatsächlich transportierten Wassermengen zu. Keinesfalls erlauben sie die Aussage, das Korallenoolith-Erz enthielte nur "fossiles Standwasser, das Millionen von Jahren alt ist" (GSF-Abschlußbericht: S. B4-9, s. aber 2.4.4. u. 2.5.2.).

Zweifellos gehen die geringen Zuflüsse auf die Abdeckung der Korallenoolith-Serien durch feinklastische Gesteine der Unterkreide zurück. Versuche, die heute gegenüber der Pumpenleistung geringe Neubildung über Durchsickerung der Kreide-Tonsteine oder durch den Orantenton hindurch aus dem Cornbrash-Sandstein abzuschätzen, hat GSF nicht durchgeführt.

Der wasserungesättigte Zustand des Grundwasserleiters beeinträchtigt auch die Erfassung der sich in der Grube bewegenden Wassermengen (s. 2.5.1.). Die im GSF-Abschlußbericht (Kap. B3.3.1 u. B3.3.2) enthaltenen Daten über die Entwicklung der anfallenden Wassermengen lassen keine Aussagen über

die direkt aus unbeeinflußtem Gebirge zutretenden Wassermengen zu, weil sich alle meßbaren Mengen aus Grundwasser und Brauchwasser zusammensetzen. Der Anteil von Gebirgswasser, der die Grube auf dem Wetterweg oder auf Klüften verläßt, ist ebenfalls unbekannt.

Die GSF-Aussage, wonach die Grube austrockne (erkennbar angeblich an geringer werdendem Wasseraustrag seit 1978), ist unzutreffend. Vielmehr hat sich die ausgetragene Wassermenge seit 1980 praktisch nicht mehr verändert. Das gilt auch bei Berücksichtigung der eingeleiteten Wettermengen (s. 2.5.1.). Die für Schwankungen der auf den Sohlensümpfen zutretenden Wassermengen genannten Gründe (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.3.1: Nachlassen der Zuflüsse von Spülversatzwasser, zusätzlicher Wasserverbrauch durch Maschinen) können wegen zeitlicher Diskrepanzen zwischen Ursache und Wirkung nicht (allein) zutreffen (s. 2.5.1.).

Vorstellungen darüber, wie die Wasserbewegung im Grubengebäude heute abläuft oder nach Vollaufen ablaufen wird oder wie lange das Vollaufen der Resthohlräume nach Ende der Einlagerung dauern wird, hat GSF nicht entwickelt (s. 2.5.1. u. 2.5.3.).

2.6.3.3. Hydrochemische Untersuchungen

Durch hdydrochemische Untersuchungen (s. 2.5.2.) versucht GSF nachzuweisen, daß sich die Konrad-Tiefenwässer (vor allem im Hilssandstein und im Korallenoolith) seit langer Zeit unverändert im Gebirge befinden und insbesondere keine Verbindung mit den Salzstöcken Broistedt und Thiede besteht (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4).

Diese These wird durch die Suprenelementuntersuchungen nicht bestätigt, die darunter leiden, daß die entsprechenden Spurenelemente in den Wirtsgesteinen nicht untersucht worden sind (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4.1 u. B3.4.2).

Durch Untersuchung des Br/Cl-Verhältnisses wurde vielmehr festgestellt, daß das Hilssandstein-Wasser eine Subrosionslauge sein kann, während das Korallenoolith-Wasser möglicherweise durch Evaporation entstanden ist.

Eine wesentliche Fehlerquelle bei der Spurenelementuntersuchung liegt in der Probennahme: Die Proben stammen aus Pumpensümpfen, wo nur verändertes Wasser entnommen werden kann. Das wird durch den Anstieg des Sulfatgehalts im Grubenwasser gegenüber den niedrigen Werten in beim Schachtabteufen aus dem Korallenoolith zugeflossenem Wasser deutlich.

Das Hilssandstein- und das Korallenoolith-Wasser wurden außerdem hinsichtlich ihrer Mineralsättigung untersucht und die Ergebnisse mit dem Mineralbestand der Gesteine verglichen (GSF-Abschlußbericht: Kap. B3.4.1.3 , s. 2.5.2.2.3.):

Im Hilssandstein-Wasser sind die Minerale Calcit, Steinsalz, Gips, Dolomit und Fe-Oxide in gelöster Form vorhanden, obwohl sie im Sediment nicht vorkommen. Der Kontakt des Hilssandstein-Wassers mit einem Salzstock ist daher auch aus diesem Grund nicht auszuschließen.

Obwohl das Korallenoolith-Wasser gegenüber Calcit und Steinsalz untersättigt ist, konnte GSF an Gesteinsproben keine Korrosion an diesen Mineralen feststellen. Allerdings wurden auch keine Proben untersucht, die mit Kluftwasser in Kontakt gekommen sein könnten, so daß dieser Befund nicht verwundert.

Auch bei dieser Untersuchung liegt eine wesentliche Fehlerquelle bereits in der Probennahme aus den Pumpensümpfen. Zum einen handelt es sich um Mischwasser, zum anderen unterliegt es beim Austritt aus dem Gebirge Veränderungen von pH- und Eh-Wert sowie Temperatur und womöglich Druck.

Da das Lösungsvermögen des Wassers gegenüber vielen Mineralen stark temperaturabhängig ist, hätte wenigstens ein Korrekturfaktor berücksichtigt werden müssen.

Zur Klärung der Wasserherkunft hat GSF an Steinsalzneubildungen in der Grube chemische Untersuchungen durchgeführt. (GSF-Abschlußbericht: Kap. 3.4.2 , s. 2.5.2.2.3.). Dabei ist es nicht gelungen, eine Beziehung zwischen chemischer Zusammensetzung und Ort der Salzausscheidung oder Wasserherkunft herzustellen, weil während der Wasserbewegung durch das Gebirge offenbar eine Vermischung verschiedener Wassertypen stattfindet.

Zu demselben Zweck hat GSF das Sulfat an Sekundärsalzproben und Grubenwasser auf sein Schwefelisotopenverhältnis $^{32}S/^{34}S$ untersucht (GSF-Abschlußbericht: Kap. 3.4.3 , s. 2.5.2.2.4.). Die Ergebnisse lassen keine ausreichenden Schlußfolgerungen über die Herkunft des Wassers zu.

Um die mögliche Zumischung von Regen- bzw. Oberflächenwasser in das Wasser tieferer Stockwerke festzustellen, wurde der Tritiumgehalt der in der Grube anfallenden Wässer bestimmt (GSF-Abschlußbericht: B3.4.4). Danach soll keine Verbindung zwischen Oberfläche und tiefen Grundwasserstockwerken bestehen. Allerdings hat GSF dabei die langen Fließzeiten im Hilssandstein zwischen Oberfläche und Schacht Konrad II von ca. 60 Jahren nicht berücksichtigt, die eine Beurteilung der Beeinflussung des in Schacht Konrad II austretenden Hilssandstein-Wassers von der Oberfläche her überhaupt nicht zulassen: Eine Erhöhung der Tritiumkonzentration ist frühestens in 40 Jahren zu erwarten (s. 2.5.2.2.5.).

Die hydrochemischen Untersuchungen der GSF lassen also wegen unangemessener Probennahme bei Wasser und Salzen sowie (bei Hilssandstein) wegen Vernachlässigung der Fließzeiten entgegen GSF-Meinung keinerlei Aussagen über das Verhalten des Wassers im Gestein bzw. über die Zumischung von der Oberfläche zu. Allenfalls ist beim Hilssandstein-Wasser aus der Übereinstimmung von Ergebnissen aus verschiedenen Untersuchungen mit Beeinflussung durch Subrosionslaugen zu rechnen.

2.6.3.4. Fazit

Alle geowisschenschaftlichen Untersuchungsergebnisse zusammenfassend kommt die GSF zu dem Schluß, "daß das beschriebene Barrierensystem weit mehr als die erforderliche Qualität besitzt, um den sicheren Langzeitabschluß der schwachradioaktiven Abfälle und der Stillegungsabfälle zu gewährleisten" (GSF-Abschlußbericht: S. B4-11).

Die Bewertung der von der GSF seit 1975/76 erarbeiteten und im GSF-Abschlußbericht vorgelegten Ergebnisse der geologischen und hydrogeologischen Untersuchung des Standorts Konrad vermittelt einen anderen Eindruck:

Wegen Unvollständigkeit der Barrierenbeschreibung sowie Unangemessenheit zahlreicher Untersuchungsmethoden und Interpretation ihrer Ergebnisse sind nur punktuell Kenntnisse erarbeitet worden, die über allgemeine, bereits vor Untersuchungsbeginn bekannte Erfahrungen hinausgehen.

Quantitative Daten für eine Sicherheitsbeurteilung, die den erforderlichen Ansprüchen nach Umfang, Detaillierungsgrad und Prognosemöglichkeit genügen, enthält der GSF-Abschlußbericht in seinem geowissenschaftlichen Teil nicht.

2.7. Nachtrag

Im Frühjahr 1983 erschien als GSF-Bericht T 165 der Jahresbericht 1982 "Aktuelle Ergebnisse der laufenden F+E-Arbeiten in der Schachtanlage Konrad zur Endlagerung radioaktiver Abfälle" des Instituts für Tieflagerung der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung. In Fortführung der im GSF-Abschlußbericht beschriebenen Standortuntersuchungen finden sich darin Angaben über Untersuchungen der Barriereeigenschaften der Konrad-Gesteine. Sie betreffen u. a. Bestimmung von Diffusionskoeffizienten, hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen, kleintektonische Gefügeaufnahme in Teilbereichen der Schachtanlage und in-situ-Bestimmungen der Gebirgspermeabilität.

Formal unterscheiden sich die Darstellungen vom GSF-Abschlußbericht dadurch, daß erstmals nicht nur die mit der Untersuchung beauftragte Institutionen genannt, sondern vor allem die Versuchsbedingungen beschrieben und, bei in-situ-Messungen, die Meßorte mitgeteilt werden.

Bestimmung von Diffusionskoeffizienten (GSF-T 165: Kap. 2.1; s. auch 2.3.2.3. u. 2.4.1.3.):

Zur Bestimmung der Radionuklidrückhaltung in den Tonsteinen der Oberjura/Unterkreide-Schichtfolge über dem Erzlager hat GSF die Diffusionskoeffizienten von Tritium sowie Strontium-, Jod- und Caesium-Ionen in Tonsteinen bestimmt. Dabei wurde durch eine neue Art der Probenaufbereitung eine größere Realitätsnähe gegenüber der Kd-Wert-Bestimmung erreicht. Die Ergebnisse zeigen, daß Tritium und J^- in den Tonsteinen praktisch nicht zurückgehalten werden. Für Sr^{++} schwanken die Diffusionskoeffizienten zwischen verschiedenen Einheiten der Tonsteinfolge um eine Größenordnung, wobei in Neokom-Tonstein nur geringe oder keine Rückhaltung stattfindet. Die Diffusionskoeffizienten für Cs^{++} liegen um 2 bis 3 Größenordnungen unter den Tritium- und Jodid-Werten.

Die Gesichtspunkte, nach denen die Proben ausgewählt worden sind, werden nicht mitgeteilt. Da ihre Herkunft und Zusammensetzung nicht bekannt sind, ist ein Vergleich der Diffusionskoeffizienten mit den Verteilungskoeffizienten des GSF-Abschlußberichts nicht möglich.

Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen (GSF-T 165: Kap. 3; s. auch 2.4.2. u. 2.5.2.):

Erstmals werden angemessene Informationen über das oberste Grundwasserstockwerk mitgeteilt, insbesondere über Veränderungen des Grundwasserspiegels, zur Mineralisation (Leitfähigkeit) und Temperatur des Grundwassers.
Konkrete Untersuchungen zur Radionuklidausbreitung im obersten Grundwasserstockwerk fehlen noch.

Durch die Berechnung von Ca/Mg- und Br/Cl-Verhältnissen (mval) werden nun die chemischen Eigenschaften der Konrad-Tiefenwässer und der Vergleichswässer im Gifhorner Trog besser charakterisiert als im GSF-Abschlußbericht. Sicherhreitsrelevante neue Erkenntnisse werden dadurch bisher jedoch nicht erkennbar.

Vergleichende geochemische Untersuchungen über Beziehungen zwischen Gestein und Wasser wurden nicht durchgeführt. Von ihrer alten Aussage einer allein teufenabhängigen Mineralisation der Tiefenwässer (s. 2.5.2.2.1.) ist GSF richtigerweise abgerückt.

Kleintektonische Gefügeaufnahme (GSF-T 165: Kap. 4.6 ; s. auch 2.2.3. u. 2.4.4.1.):

Durch die gewichtete Auswertung von Kleinklüften wird der Befund aus der entsprechenden Auswertung von Großklüften bestätigt, daß der Grad tektonischer Beanspruchung innerhalb des Grubengebäudes sehr unterschiedlich ist. Als Bereiche generell stärkerer Beanspruchung werden höhere (östliche) Sohlenniveaus und der Südteil des Grubengebäudes identifiziert.

Bestimmungen von Druchtrennungsgrad und Klüftigkeit werden angekündigt.

In-situ-Bestimmungen der Gebirgspermeabilität (GSF-T 165: Kap. 4.7 ; s. auch 2.3.2.2. u. 2.4.4.2.):

Die vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf eine Bohrung auf der 5. Sohle, in einem relativ wenig gestörten Grubenbereich. Eine der beiden geplanten Meßbohrungen war kurz nach ihrem Abteufen nicht mehr verwendbar. Gründe werden nicht angegeben. Die gemessenen Permeabilitätswerte liegen in der Größenordnung der bereits im GSF-Abschlußbericht (Kap. B3.5.2 , s. 2.4.4.2.) mitgeteilten Werte.

Die Einwände gegen die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das gesamte Grubengebäude sowie ihre Aussagekraft über die Gebirgspermeabilität bleiben bestehen. Das gilt umso mehr, als nunmehr bekannt ist, daß das Meßintervall der Bohrlochsonde bei einer Packerlänge von jeweils einem Meter nur 0,75m beträgt. Das entspricht etwa dem Abstand der vorhandenen Klüfte, der auch noch größer sein kann.

Weil die Permeabilitätsmessungen im Bohrloch nicht kontinuierlich über die gesamte Bohrlochlänge erfolgten, sondern in Abständen von mehreren Metern, ist die klüftigungsbedingte Durchlässigkeit so nur zufällig zu bestimmen.

2.8. Literaturverzeichnis

BEHREND, F. & KÜHNE, F. (1928): Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern: Bl. Barum (3828).

BEHREND, F. & KÜHNE, F. (1932): Erl. geol. Kt. Preußen usw., 1 : 25 000, Bl. 3828 Barum: 1-53; Berlin.

BERTSCH, W., PUSCHMANN, H. & SCHWILLE, F. (1970): Migration radioaktiver Nuklide in porösen Medien. - Z. dt. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem.: 193-207.

BROCKAMP, O. (1979): Diagenetische Veränderungen von Montmorilloniten in Alb-Sedimenten Norddeutschlands. - Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., 27: 121-137; Krefeld.

BURST, J. F. (1965): Subaquously formed schrinkade craks in clay. - J. Sedim. Petrol., 35: 348-397.

CARLÉ, W. (1938): Bau und Entstehung des Oderwaldsattels. - Z. dt. geol. Ges., 90: 425-443.

DENEKE, E. (1978): Ein Profil von den Ornaten-Schichten (Callovium-Dogger) bis zum unteren Korallenoolith (Oxfordium-Malm) im Grubenfeld "Konrad", Salzgitter-Bleckenstedt (Ostniedersachsen). - Mitt. geol. Inst. Techn. Univ. Hannover, 15: 85-119.

DIN 4030, Fachnormenausschuß Bauwesen im deutschen Normenausschuß (1954): Beton in betonschädlichen Wässern und Böden.

EGT-Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung (1981): F+E-Programm zur Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Einlagerung radioaktiver Abfälle. - Zusammenfassender Zwischenbericht (GSF T 114): 1-135 ; München.

GEORGI, K.-H. (1976): Mikrofaunistische Untersuchungen der Hilssandstein-Region (Apt/Alb) im Raum Salzgitter-Goslar. - Mitt. geol. Inst. Techn. Univ. Hannover, 13: 5-112.

Geotektonische Karte von Nordwestdeutschland, 1 : 100 000, Bl. 73 u. 74, bearbeitet von DAHLGRÜN, Fr., SEITZ, O., ALDINGER, H., CLOSS, H.; Hannover 1949.

GOLESTANEH, F. (1964): Mineralparagenesen im Korallenoolith-Erz der Bleckenstedter Spezialmulde des Gifhorner Troges. - Dipl.-Arb. Clausthal: 1-112; Clausthal-Zellerfeld. - (Unveröffentlicht)

GOLESTANEH, F. (1968): Erzparagenesen im südlichen Teil des Gifhorner Troges (Erzgebiet Schacht Konrad bei Salzgitter-Bleckenstedt) unter Berücksichtigung der Erztypen und der regionalen Verbreitung. - Diss. Techn. Univ. Clausthal: 1-182; Clausthal-Zellerfeld.

GSF-Abschlußbericht - GESELLSCHAFT FÜR STRAHLEN- UND UMWELTFORSCHUNG MBH (1982): Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. - Abschlußbericht (GSF T 136), 2 Bände, München.

HECHT, F., HEDEMANN, H.-A. & KABELAC, F. (1975): Zur Tektonik und Stratigraphie der Erdölfelder am Nordwest-Rand des Gifhorner Troges. - Geol. Jb., 74: 559-600.

HEDEMANN, H.-A. (1956): Prä-albische Tektonik am Nordwest-Rand des Gifhorner Troges. -Geotekt. Symposium zu Ehren von H. STILLE: 213-227; Stuttgart (Enke).

HEITFELD, K.-H. (1965): Hydro- und baugeologische Untersuchungen über die Durchlässigkeit des Untergrundes an Talsperren des Sauerlandes. - Geol. Mitt., 5: 1-210.

HERRMANN, F. (1964): Stratigraphie und Tektonik zwischen Hildesheimer Wald und Salzgitterer Höhenzug. - Diss. T. H. Braunschweig; 1-137; Braunschweig.

JÜNGST, H. (1934): Zur geologischen Bedeutung der Synärese. - Ein Beitrag zur Entwässerung der Kolloide im werdenden Gestein. - Geol. Rdsch., 25: 312-325.

KOCH, J. & ARNEMANN, H. (1975): Die Inkohlung in Gesteinen des Rhät und Lias im südlichen Nordwestdeutschland. - Geol. Jb., A 29: 45-55.

KOLBE, H. (1960): Der Erzbergbau in Salzgitter. - (Unveröff. Manuskript).

KOLBE, H. (1961 a): Geologische Grundlagen des Wasserwerks Börßum. - Z. dt. geol. Ges., 113: 22-26.

KOLBE, H. (1961 b): Geologische Voraussetzungen der Wasserwerke Altwallmoden und Baddeckenstedt. - Z. dt.geol. Ges., 113: 27-30.

KOLBE, H. (1964): Hydrogeologische Aufgaben im Salzgitter Eisenerzbezirk. - Z. dt. geolg. Ges., 116: 142-159.

KOLBE, H. (1975): Schichtenfolge im Oberjura-Eisenerz-Aufschlußgebiet der Schachtanlage Konrad der Salzgitter Erzbergbau AG. - Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, 44: 161-193.

KOLBE, H. & SIMON, P. (1969): Das Eisenerz im Mittleren und Oberen Korallenoolith des Gifhorner Troges. - Beih. Geol. Jb., 79: 256-338.

KUMM, A. (1952): Der Dogger (Mittlerer oder Brauner Jura). - In: Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, 2. Bd. - Niedersächsisches Amt für Landesplanung und Statistik, Veröffentlichungen, A 2, 2. Abtlg.: 1-509; Bremen-Horn (Dorn).

MATTHES, G. (1973): Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 2, Die Beschaffenheit des Grundwassers. - Berlin, Stuttgart (Bornträger).

MICHEL, G. (1963): Untersuchungen über die Tiefenlage der Grenze Süßwasser-Salzwasser im nördlichen Rheinland und anschließenden Teilen Westfalens. - Forsch. Ber. Land Nordrhein-Westfalen, 1239: 1-131.

MICHEL, G. (1964): Hydrochemie des tiefen Grundwassers im Ruhrgebiet. - Z. dt. geol. Ges., 116: 162-166.

MÜLLER, E. P. (1969): Zur Geochemie der Tiefenwässer und der organischen Substanz im Nordteil der DDR. -Z. angew. Geol., 15, 3: 113-124.

MÜLLER, E. P. & PAPENDIECK, G. (1975): Zur Verteilung, Genese und Dynamik von Tiefenwässern unter besonderer Berücksichtigung des Zechsteins. - Z. geol. Wiss., 3: 167-196.

MÜLLER, G., NIELSEN, H. & RICKE, W. (1966): Schwefel-Isotopenverhältnisse in Formationswässern und Evaporiten Nord- und Süddeutschlands. - In: Chemical Geology: 211-220; Amsterdam (Elsevier).

PUCHELT, H. (1964): Zur Geochemie des Grubenwassers im Ruhrgebiet. - Z. dt. geol. Ges., 116: 167-203.

PUCHELT, H. & NIELSEN, H. (1967): Untersuchungen über die Verteilung der Schwefelisotope in Grubenwässern des Ruhrgebietes. - Glückauf-Forschungshefte, 28, 6: 303-310.

PREUL, F. (1968): Die Subrosion am Salzstock von Salzgitter-Lebenstedt. - Geol. Jb., 85: 809-816.

RICHTER, W. & LILLICH, W. (1975): Abriß der Hydrogeologie. - 274 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

ROETHER, W. (1970): Tritium und Kohlenstoff-14 im Wasserkreislauf. - Z. dt. geol. Ges., Sonderheft Hydrogeol. Hydrogeochem.: 183-192.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1982): Lehrbuch der Bodenkunde. - 11. Aufl.: 442 S., Stuttgart (Enke).

SCHICHTENVERZEICHNIS KONRAD 1 (bearbeitet von SEITZ, SCHMID, GRAUL, THIERMANN, BARTENSTEIN, BETTENSTEDT, HILTERMANN, KOLBE, KUNKEL, WEINHOLZ, aufgestellt von H. KOLBE). - Erzbergbau Salzgitter AG. - (Unveröffentlicht).

Schichtenverzeichnis Konrad II (bearbeitet von SEITZ, SCHMID, GRAUL, THIERMANN, BARTENSTEIN, BETTENSTEDT, HILTERMANN, KOLBER, KUNKEL, WEINHOLZ, aufgestellt von H. KOLBE). - Erzbergbau Salzgitter AG. - (Unveröffentlicht).

SCHOTT, W. (Hrsg.) (1969): Paläogeographischer Atlas der Unterkreide von Nordwestdeutschland. - 315 S.; Hannover.

SCHULTZE, E. & MUHS, H. (1967): Bauuntersuchungen für Ingenieurbauten. - 2. Aufl.: 1-722; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

WEAST, R. C. & ASTLE, M. J. (Hrsg.) (1982): CRC Handbook of Chemistry and Physics. - 62. Edit; Boca Raton, Fl. (CRC Press).

ZEINO-MAHMALAT, H. (1973): Hydrogeologie der Sackmulde bei Alfeld/Leine. - Geol. Jb., C 6: 1-63).

3. Bewertung der geomechanischen Untersuchungen und Verhältnisse sowie der bergtechnischen Aspekte

(GSF-Abschlußbericht Teil B und C)

3.1. Absenkung und Verformungsverhalten des Deckgebirges

3.1.1. Zur Ausbildung des oberirdischen Absenkungstroges

In den Kapiteln B5.2 und B5.3 ihres Abschlußberichtes stellt die GSF die Ergebnisse der geodätischen Messungen der übertägigen Gebirgssenkung sowie eine Vorausschätzung der noch ablaufenden Gebirgssenkungen als Folge bisheriger bergmännischer Tätigkeiten dar.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Hinblick auf die Endlagereignung der Grube Konrad nur von untergeordneter Bedeutung. Sie sind vor allem von Interesse für die Abschätzung möglicher übertägiger Schäden an Kunstbauten durch die Ausbildung eines Absenkungstroges über dem Grubengebäude. Von direkter Bedeutung für die Endlagersicherheit ist hingegen die Frage, wie der Gebirgsverband sich bei der Ausbildung des Absenktroges verhält, d. h. ob durch die Gebirgsbewegungen möglicherweise Wasserzutrittsmöglichkeiten in die Grube neu entstehen könnten.

Die GSF geht bei ihren Untersuchungen in zwei Schritten vor:

1. Darstellung der übertägigen Gebirgssenkung ab 1964 (Beginn der Erzgewinnung)
2. Interpretation der bisher abgelaufenen Gebirgsbewegungen und Vorausabschätzungen zukünftiger Gebirgsbewegungen

Im weiteren Verlauf soll zuerst geklärt werden, inwieweit die Schlußfolgerungen und Interpretationen der GSF mit den dokumentierten Messungen in Einklang stehen. Dabei ergeben sich aus dem Abschlußbericht der GSF einige Unklarheiten und Widersprüchlichkeiten, die im folgenden dargestellt werden.

Die GSF stellt fest, daß sich die Geschwindigkeit der Gebirgssenkung nach Beendigung der betrieblichen Erzförderung (Sept. 1976) bis zum Jahre 1979 stark verringert hat. Diese Feststellung stimmt in ihrer allgemeinen Form, jedoch soll sich nach GSF die Senkungsgeschwindigkeit an den über den Abbauschwerpunkten gelegenen Meßstellen 35 und 106 (s. Fig. 5.2 -1, S. B5-13) auf ca. 0,08 mm/Monat verringert haben (S. B5-14). Wertet man die Kurve der Oberflächensenkung aus (Fig. 5.2-3, S. B5-17), so ergibt sich für den betrachteten Zeitraum Anfang 1977 bis Ende 1979 für den Meßpunkt 35 eine Absenkung um 14 mm. Eine Absenkung von 14 mm im Zeitraum von drei Jahren führt zu einer jährlichen Absenkung von 4,6 mm bzw. einer monatlichen Absenkung von ca. 0,38 mm. Dieser Wert bedeutet eine fast fünfmal schnellere Absenkung, als die GSF es mit 0,08 mm/Monat für den betrachteten Zeitraum angibt.

Führt man diese Berechnung für den Meßpunkt 106 durch, so ergibt sich auch hier für den Zeitraum Januar 1977 bis Dezember 1979 eine Absenkungsgeschwindigkeit von ca. 0,44 mm/Monat, d. h. hier liegt der Betrag der monatlichen Absenkung gut fünfmal über den Angaben der GSF. Es ist nicht ersichtlich, wie die GSF auf den Absenkungsbetrag von 0,08 mm/Monat kommt, v. a. auch deshalb nicht, weil sie sich bei diesen Angaben selbst auf die Meßergebnisse der Meßpunkte 35 und 106 bezieht, die in Fig. 5.2-3 dargestellt sind.

Aus den Ausführungen der GSF wird nicht eindeutig klar, welcher Zeitraum den Berechnungen zugrunde liegt. Wir haben deshalb einen Zeitraum betrachtet, der nach der Einstellung der betrieblichen Erzgewinnung beginnt (Januar 1977) und sich bis Dezember 1979 erstreckt.

Interessant ist, daß der von der GSF ermittelte Wert von 0,08 mm/Monat selbst dann zu niedrig liegt, wenn man nur den Zeitraum Januar 1979 bis Juli 1979 in die Berechnung einbezieht. Es ergeben sich dann für die Meßpunkte 35 und

106 Werte von 0,1 bis 0,16 mm/Monat (die Schwankungsbreite ist bedingt durch die Schwierigkeit, die entsprechenden Absenkungswerte aus Fig. 5.2-3 zu entnehmen). Ersichtlich ist, daß auch diese Werte über den 0,08 mm/Monat der GSF liegen.

Eine weitere Unklarheit beruht in der Aussage der GSF, daß sich nach Einstellung des ehemaligen Erzabbaus (September 1976) der Senkungsprozeß auf ca. 0,5 mm/Jahr verlangsamt habe (S. B5-21). Berechnet man aber die jährliche Absenkung anhand der Meßpunkte 35 und 106 (s. Fig. 5.2-3, S. B5-17), so ergibt sich für den Zeitraum Mitte 1977 bis Mitte 1981 eine durchschnittliche Absenkrate von ca. 3,5 mm/Jahr (für Punkt 35) und ca. 3 mm/Jahr (für Punkt 106). Die von der GSF angegebene durchschnittliche Absenkrate für den Zeitraum nach Einstellung des betrieblichen Erzabbaus ist dementsprechend um den Faktor 6 bis 7 zu gering.

Darüber hinaus widersprechen sich GSF-Angaben über die jährliche Absenkungsrate nach Einstellung der bergmännischen Erzgewinnungsarbeiten. So wird auf Seite B5-21 eine Absenkrate von 0,5 mm/Jahr angegeben, auf Seite B5-14 hingegen von 0,08 mm/Monat, was ca. 0,96 mm/Jahr entspricht. Aus dem Abschlußbericht der GSF wird nicht klar erkennbar, wie diese widersprüchlichen Angaben über die Absenkungsgeschwindigkeit nach Einstellung der bergmännischen Erzförderung zu erklären sind.

Ein weiterer Punkt, der im Abschlußbericht der GSF nicht geklärt worden ist, liegt in der Fig. 5.2-4 (S. B5-17) begründet. Hier ist an der Kurve, die die zeitliche Veränderung des Gesamttrogvolumens angibt, festzustellen, daß das Trogvolumen sich von 1978 auf 1979 offensichtlich verringert hat (von ca. 500.000 m^3 auf ca. 460.000 m^3), und dies, obwohl zu diesem Zeitpunkt immer noch Absenkungen an der Oberfläche gemessen werden. Eine Erklärung dieses Phänomens ist im Abschlußbericht der GSF nicht gegeben; u. U. handelt es sich auch nur um einen falsch in die Grafik eingetragenen Zahlen-

wert. Möglicherweise kann dies auch durch eine Änderung des Grundwasserstandes im obersten Grundwasserstockwerk bewirkt werden.

In diesem Zusammenhang ist noch auf eine weitere Unklarheit im GSF-Abschlußbericht aufmerksam zu machen. Das Volumen des Senkungstroges beträgt 1981 ca. $0,5 \times 10^6$ m³, das Volumen der alten Grubenhohlräume ca. $1,6 \times 10^6$ m³. In Tabelle 5.2-1 (S. B5-15) gibt die GSF an, daß die bisherige Hohlraumverminderung durch Konvergenz in den alten Gewinnungsfeldern ca. 70% betragen soll. 70% von $1,6 \times 10^6$ m³ entsprechen ca. $1,1 \times 10^6$ m³, die dann durch die Konvergenz schon verschlossen sein müßten. Diese $1,1 \times 10^6$ m³ stehen aber in krassem Widerspruch zu dem Volumen des Senkungstroges. Es müßten demnach ca. $0,6 \times 10^6$ m³ Hohlraum irgendwo im Deckgebirge "verlorengegangen" sein. Erklärbar ist der Sachverhalt vielleicht dadurch, daß die alte Grubenhohlräume entgegen den Angaben der GSF noch nicht zu 70% durch die Konvergenz verschlossen worden sind.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß es der GSF in ihrem Abschlußbericht nicht gelungen ist, eine im Detail eindeutige und widerspruchsfreie Darstellung der Entwicklung der Gebirgssenkung zu geben; dies ist vor allem deshalb verwunderlich, weil die in der Vergangenheit abgelaufenen Gebirgssenkungen anhand der Meßpunkte 35 und 106 lückenlos in Fig. 5.2-3 des GSF-Abschlußberichts dokumentiert sind.

Von größerem Interesse in Hinblick auf mögliche Schäden an Kunstbauten sind die Vorausabschätzungen der noch zu erwartenden Gebirgssenkungen. Dabei geht die GSF davon aus, daß unter den heutigen Verhältnissen der Großteil der Gebirgsbewegung ein klares Abklingverhalten aufzeigen soll (Begründung: Einstellung eines Gleichgewichtsverhältnisses von Trogvolumen zu Hohlraumvolumen der Grube bei ca. 1 : 2,5). Diese Aussage der GSF gilt jedoch nur, wenn sich die bergbauliche Situation der Grube nicht mehr ändert. Diese Voraussetzung ist nicht gegeben.

So müssen in alten Grubenbereichen für den Fall der Einlagerung radioaktiver Abfälle die im ausgewiesenen Einlagerungs-Feldesteil 2 (s. Fig. 3.4-1, S. C3-23) vorhandenen Grubenhohlräume nicht unbeträchtlich nachgebaut werden (Auffahren neuer Strecken mit 40 m^2 Querschnitt in einer Länge von ca. 1.300 m, Erweiterung des heutigen Querschnitts auf 40 m^2 bei Strecken von insgesamt 1.900 bis 2.400 m Länge (s. S. C3-36)).

Das Neuauffahren und Erweitern allein dieser Strecken führt zu einem zusätzlichen Hohlraumvolumen von ca. 82.000 m^3 (davon 52.000 m^3 bei Auffahrung einer 1.300 m langen Strecke mit 40 m^2 Querschnitt sowie ca. 30.000 m^3 durch Erweiterung von ca. 2.400 m Strecke auf 40 m^2 Querschnittsfläche). Nach Angabe der GSF werden für diese Arbeiten zwei bis drei Jahre benötigt (S. C3-36), was bedeutet, daß pro Jahr ca. 41.000 m^3 (bei zwei Jahren) bzw. ca. 27.000 m^3 (bei drei Jahren) aufgefahren werden müssen. Dies wiederum entspricht einer Hohlraumerstellung von 3500 m^3 im Monat bzw. 2300 m^3 im Monat, was rund dem Doppelten des in den Jahren 1980 und 1981 pro Monat erstellten Hohlraums entspricht.

Bei Betrachtung aller Einlagerungsfelder (geplanter Gesamthohlraum ca. 1×10^6 m^3) ergibt sich nach GSF (S. C3-27) eine Auffahrleistung von maximal 50.000 m^3 pro Jahr.

Auf Seite B5-15 weist die GSF darauf hin, daß durch die Hohlraumerstellung der Jahre 1980 und 1981 die durchschnittliche Absenkungsgeschwindigkeit sich wieder auf 0,42 mm/Monat erhöht habe. Es muß deshalb erwartet werden, daß durch das Auffahren neuer Strecken bzw. die Erweiterung alter Strecken im Feldesteil 2 eine Beschleunigung der Gebirgssenkung hervorgerufen wird, die mindestens in der Größenordnung der Bewegung der Jahre 1980 und 1981 liegt.

Weiterhin kann sich die stabilisierende Wirkung einer Verfüllung der Hohlräume mit Deponiematerial oder Versatz erst

nach Ablauf einiger Jahre entfalten, da allein das Auffahren der Hohlräume eines Endlagerfeldes zwei bis drei Jahre dauert und auch die Verfüllung der Hohlräume in Abhängigkeit von der Einlagerungsgeschwindigkeit stattfindet.

Bei dem von der GSF angenommenen Füllfaktor von 0,5 würde die Einlagerung von jährlich 25.000 m^3 Abfall eine stabilisierende Wirkung auf 50.000 m^3 Hohlraum haben. Bei der Größe des Feldes 2 von 200.000 m^3 würde eine vollständige stabilisierende Verfüllung dementsprechend ca. vier Jahre dauern. Somit ergibt sich insgesamt ein Zeitraum von mindestens vier Jahren, während derer die stabilisierende Wirkung einer dichten Verfüllung aller Hohlräume im Sinne einer konservativen Betrachtungsweise nicht berücksichtigt werden sollte. Hinzu kommt, daß der größte Teil der Absenkungen in den ersten Jahren nach Erstellung der Hohlräume abläuft, was bedeutet, daß die Verfüllung der Hohlräume immer der Absenkung "hinterherläuft".

Ein problematischer Wert, der in die Berechnung der zukünftigen Absenkung eingeht, ist der sogenannte Absenkungsfaktor. Nach KRATZSCH (1967) ist dieser Faktor bei geneigter Lagerung immer noch weitgehend unbekannt, jedoch kleiner als bei flacher Lagerung. Inwieweit der von der GSF für die Berechnung der künftigen Absenkung benutzte Absenkfaktor von 0,15 tatsächlich zu realistischen Ergebnissen führt, sei dahingestellt.

Die generelle Unsicherheit bei der Ermittlung von Absenkfaktoren wird auch im Abschlußbericht der GSF deutlich. So beschreibt die GSF auf Seite B5-20 den Faktor von 0,45 für Bruchbau als "weniger sicher"; nur zwei Sätze weiter erscheint es auf einmal dennoch "plausibel", diesen Faktor von 0,45 für die eigenen Berechnungen (Absenkung für alte Grubenfelder) zu benutzen.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor in der von der GSF vorgenommenen Vorausberechnung der zu erwartenen Senkungen liegt in

der Festsetzung des sogenannten Grenzwinkels, der in den Berechnungen nach EHRHARDT & SAUER (1961) einen sehr wichtigen Parameter darstellt.

Hier benutzt die GSF in ihren Berechnungen zuerst einen Grenzwinkel von 37,8°, weil langjährige Beobachtungen im Bergwerk zu diesem Wert geführt haben. Überraschenderweise zeigt sich dann jedoch, daß ein Grenzwinkel von 31,5° den berechneten und gemessenen Werten besser entsprechen soll (S. B5-19). Eine Diskussion und Klärung dieses Sachverhaltes ist im Abschlußbericht der GSF nicht durchgeführt worden, so daß Zweifel an der Gültigkeit des benutzten Grenzwinkels - und damit an den Ergebnissen der gesamten Rechnung - bestehen bleiben müssen.

Die zusammenfassende Beurteilung der Vorausabschätzung der GSF zur Gebirgsabsenkung führt zu der Feststellung, daß Unsicherheiten bei dem Datenmaterial bestehen, das in die Rechnungen Eingang findet. Dies kann dazu führen, daß die Vorausabschätzungen der GSF nicht unbedingt die zukünftige Realität widerspiegeln.

Grundsätzlich sind bei der großen Teufe der Grube und dem relativ kleinen Grubenhohlraum erfahrungsgemäß keine extrem großen Probleme durch die Ausbildung des Absenktroges zu erwarten. Es bleibt insofern unverständlich, wie die GSF diese allgemeine Erfahrung im Detail für Konrad nachweisen will und sich dabei dann unklar ausdrückt und mit unsicherem Datenmaterial rechnet. In diesem Sinne ist die Frage, ob durch die zukünftigen Absenkungen Schäden an Kunstbauten auftreten können, nicht eindeutig zu beantworten. Das zeigt sich auch an der abschließenden Aussage der GSF am Ende des Kapitels 5.2. (S. B5-21): So sollen Schäden "größeren Ausmaßes" nur "mit einer hohen Sicherheit" nicht zu erwarten sein. Über die Bedeutung der Begriffe "größere" und "hohen" wird der Leser im Unklaren gelassen.

Zwei Punkte seien dazu noch angemerkt:

a) Die GSF geht davon aus, daß die Bodenbewegung durch Absenkung nicht wesentlich über ein Gebiet von ca. 2 km um die äußere Begrenzung der Grubenhohlräume hinausgeht. Betrachtet man die Lage der geplanten Endlagerfelder (v. a. Feld 6 und 7 im Norden bei Schacht I sowie die Felder 5 und 1), so vergrößert sich der Einflußbereich des zu erwartenden Senkungstroges nicht unbeträchtlich. Nicht zuletzt besteht die Gefahr, daß sich unter dem Einfluß der neu aufgefahrenen Felder die Senkungen über den alten Grubenhohlräumen wieder verstärken (LAUTSCH 1974) (das gilt v. a. für die alten abgeworfenen LHD-Felder im Süden des Grubengebäudes).

b) Weiterhin ist nach Aussage der GSF 1979 die andeutungsweise Ausbildung von Teilsenkungströgen beobachtet worden (S. B5-14). In den weiteren Betrachtungen der GSF tauchen diese Teilsenkungströge dann nicht mehr auf, so daß weitere Überlegungen über Art und Entwicklung dieser Teilsenkungströge nicht möglich sind. In Hinblick auf die Möglichkeit der Bildung kritischer Schieflagen der Erdoberfläche in einem ansonsten relativ gleichförmigen Gesamttrog sind auf jeden Fall Aussagen über die weitere Entwicklung dieser angedeuteten Teilsenkungströge nötig.

3.1.2. Die Verformung des Gebirgsverbandes durch die Gebirgsabsenkung

Die im vorausgegangenen Kapitel ausgeführten Überlegungen beziehen sich allein auf die Ausbildung des Senkungstroges und der damit verbundenen möglichen Gefährdung übertägiger Kunstbauten. Sie sind somit für die Sicherheit des Endlagers nicht unmittelbar von Bedeutung. Für die Endlagersicherheit von unmittelbarer Bedeutung hingegen ist das Verhalten des Gebirgsverbandes während seines mit der Trogbildung einhergehenden Absinkens, weil sich dadurch u. U. Wasserwegsamkeit (z. B. durch Bildung von Klüften und Auflockerungszonen) aus

dem Deckgebirge in die Grube ausbilden können.

Die GSF geht im Abschlußbericht von einer elastoplastischen Verformung des Gebirgsverbandes aus, wodurch das Risiko eines Wasserzulaufes aus dem Deckgebirge über Auflockerungszonen nicht bestehen soll (S. B8-5). Als Belege für das elastoplastische Verhalten des Gebirgsverbandes gelten nach der GSF die großflächige und gleichförmige Ausbildung des Senkungstroges (S. B5-19), die Verlangsamung der Absenkung nach Einstellung des betrieblichen Erzabbaus (S. B8-4) sowie der gleichmäßige Massenfluß, der in seiner Geschwindigkeit nicht unmittelbar von der Hohlraumerstellung beeinflußt werden soll (S. B5-19).

Diese von der GSF angeführten "Beweise" können jedoch nicht in jedem Fall als solche bezeichnet werden; darüber hinaus hat die GSF weitere sicherheitsrelevante Folgewirkungen der Gebirgsabsenkung nicht betrachtet. Im folgenden sollen die einzelnen Beweise der GSF kritisch untersucht sowie aufgezeigt werden, welche sicherheitsrelevanten Betrachtungen die GSF nicht durchgeführt hat.

Die von der GSF als Beleg für eine elastoplastische Verformung des Gebirgsverbandes angesprochene großflächige und gleichförmige Ausbildung des Senkungstroges besitzt nicht die ihr zugesprochene Beweiskraft, da sowohl die Fläche als auch die gleichförmige Ausbildung des bei der Grube Konrad vorliegenden Senkungstroges ein absolut übliches Erscheinungsbild für einen Abbau in dieser Teufe darstellen. Selbst bei tiefliegenden Grubenbauten im Ruhrgebiet stellt sich ein ähnlicher Senkungstrog ein, obwohl dort die petrographische Ausbildung des Deckgebirges z. T. stärker von der Ausbildung des Deckgebirges von Konrad abweicht und wesentlich größere Hohlräume geschaffen werden. Nach PFLÄGING und LAUTSCH (1978) sind unabhängig von der petrographischen Ausbildung des Deckgebirges Abtreppungen, Verwerfungen und Zerrspalten an der Tagesoberfläche nicht zu erwarten, da diese Vorgänge nur als extreme Anomalien bei der Trogbildung zu verstehen sind.

In dem Zusammenhang interessant ist die im Abschlußbericht der GSF erwähnte andeutungsweise Ausbildung von Teilsenkungströgen. Da die Lage dieser Teilsenkungströge innerhalb des Gesamttroges im Abschlußbericht nicht dargestellt worden ist, können von uns keine stichhaltigen Begründungen für die Ausbildung dieser Teilsenkungströge gesehen werden; auf jeden Fall hätte die GSF die weitere Entwicklung der angedeuteten Teilsenkungströge darstellen und die Gründe ihrer Ausbildung diskutieren müssen.

Ein weiteres Argument der GSF besagt, daß die nach Einstellung des betrieblichen Erzabbaus sich verringernde Ausbreitung des Senkungstroges sowie die Verlangsamung der Senkungsgeschwindigkeit die elastoplastische Verformung des Deckgebirges bestätigen sollen. Auch dieser von der GSF angeführte Beleg ist nicht stichhaltig. Vielmehr handelt es sich dabei um Vorgänge, die immer nach Einstellung des Abbaus in Gruben ablaufen und somit allgemeiner Natur sind. Sowohl die Verlangsamung der Ausbreitung des Senkungstroges als auch die Verlangsamung der Absinkgeschwindigkeit treten nach Einstellung des Abbaus bei Gruben großer Teufe praktisch in Unabhängigkeit vom Deckgebirge auf. Diese Vorgänge allgemeiner Natur haben in Hinblick auf das, was die GSF mit ihnen beweisen will, somit keinen Wert. Sie können nicht als Beleg spezieller Gebirgseigenschaften herangezogen werden.

Gleiches gilt für die Aussage der GSF, daß der gleichmäßige Massenfluß, der in seiner Geschwindigkeit nicht unmittelbar von der Hohlraumerstellung beeinflußt wird, auf eine elastoplastische Verformung des Gebirgsverbandes hinweisen soll. Auch diese Tatsache stellt keinen Beleg für die elastoplastische Verformung des Gebirgsverbandes dar, da nach heutigem Kenntnisstand bei tiefen Abbauen die Aus- und Weiterbildung des Absenkungstroges immer mit einer zeitlichen Verzögerung gegenüber der Hohlraumbildung erfolgt (z. B. LAUTSCH 1974: 169; KRATZSCH 1974: 301 ff.).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die von der GSF angeführten Belege für ein elastoplastisches Gebirgsverhalten lediglich allgemeingültigen Feststellungen sind, die praktisch für das Verhalten jeglichen Deckgebirges über einem tieferen Abbau zutreffen. Das elastoplastische Verhalten des Deckgebirges kann daraus weder abgeleitet noch bewiesen werden[1]. Das aber bedeutet, daß die durch die Absenkung des Gebirges bedingten Vorgänge wie Bildung von Auflockerungszonen etc. nicht von vornherein ausgeschlossen werden dürfen.

Aus den vorliegenden Daten kann andererseits ein nicht-elastoplastisches Gebirgsverhalten ebenfalls nicht abgeleitet werden. Allein die petrographische Ausbildung des Deckgebirges läßt möglicherweise ein elastoplastisches Gebirgsverhalten erwarten.

Da das Deckgebirge sich nach GSF elastoplastisch verhält, hätte sie die negativen Auswirkungen eines solchen Gebirgsverhaltens auf den Ablauf der Konvergenz betrachten müssen. Dies deshalb, weil ein solches Deckgebirgsverhalten eine Ausbildung langfristig tragender Gewölbe um die Grubenhohlräume nicht ermöglicht und die Konvergenz somit erst nach Verschluß aller Hohlräume aufhört. Dieser Aspekt ist von Bedeutung bei der Bewertung der Konvergenz als Antriebsmechanismus (s. Kap. 3.2.).

3.1.3. Mögliche Auswirkungen der Gebirgsabsenkungen auf die Schächte

Abgesehen von den oben aufgezeigten und von der GSF im Abschlußbericht nicht schlüssig beantworteten Fragen bleibt noch ein für die Sicherheit des Endlagers unmittelbar be-

[1] Interessant ist, daß im Jahresbericht 1978 (EGT-1978: 72) die GSF noch von einem elastischen Gebirgsverhalten bei Konrad spricht. Es bleibt unklar, wie der Meinungswandel zustande gekommen ist.

deutsames Problem zu behandeln, das von der GSF ebenfalls nicht betrachtet worden ist. Es handelt sich dabei um mögliche Folgen, die sich durch die Einwirkung der Gebirgssenkung auf den Schacht ergeben könnten (s. hierzu auch Kap. 3.5.4.).

Der Einfluß der Abbauwirkung (d. h. der Gebirgssenkung) auf den Schacht ist bei KRATZSCH (1969, 1974) detailliert behandelt worden und besteht v. a. aus Relativbewegungen des Gebirges sowohl vertikal als auch horizontal zur Schachtröhre, wodurch der Verband Gebirge - Schacht(wand) reißen oder die Schachtwand selbst in Mitleidenschaft gezogen werden kann. Eine solche Einwirkung der Gebirgsbewegung auf den Kontaktbereich Gebirge - Schachtwandung könnte zu einer Verminderung oder gar zu einem gänzlichen Verlust der wasserabdichtenden Funktion von Ausbau bzw. Abdichtungsmaßnahmen führen, wodurch ein Wasserzufluß in die Grube ermöglicht werden kann. Dies gilt für beide Schächte, da bei deren Abteufen mehrere grundwasserführende Horizonte angetroffen worden sind, die abgedichtet werden mußten (s. Kap. 2.4.).

Es ist darüber hinaus grundsätzlich fraglich, ob die Funktion der beim Schachtabteufen durchgeführten Abdichtungsmaßnahmen über längere Zeit voll erhalten bleibt. Auch hierzu sind von der GSF keinerlei weitergehende Überlegungen angestellt worden. So hätte die GSF z. B. entsprechend der DIN 4030 (1969) die im Bereich der Grube (und v. a. der Schächte) vorhandenen Wässer auf ihr Angriffsvermögen gegenüber Beton prüfen müssen (s. dazu auch 2.5.2.1.).

Hinzu kommt, daß Schacht Konrad II nach Fig. 5.2-2 (S. B5-16) in der unmittelbaren Nähe des heutigen Senkungszentrums steht und deshalb dort relativ große Absenkungsbeträge des Gebirges vorliegen. Weiterhin wird sich nach dem Auffahren des Endlagerfeldes 1 (s. Fig. 3.4-1, S. C3-23) die Gebirgsbewegung im Bereich des Schachtes Konrad II wieder verstärken (dies gilt auch für Schacht Konrad I, wenn dort die Felder 6 und 7 aufgefahren werden). Beanspruchungen der Schächte

sind somit auf jeden Fall zu erwarten; sie hätten von der GSF quantifiziert werden müssen, um zu sicheren Aussagen zu gelangen.

3.2. Zur Frage der Konvergenz

3.2.1. Die Bedeutung der Konvergenz und ihre Behandlung durch die GSF

Bei der Sicherheitsbetrachtung von Endlagern nimmt die Frage der Konvergenz (d. h. das langsame Schließen der unterirdischen Hohlräume durch den Gebirgsdruck) eine ganz wichtige Stellung ein (z. B. im Fall des geplanten Endlagers Gorleben (PSE 1981)). Der Grund dafür liegt in der Tatsache, daß die Konvergenz als Antriebsmechanismus zum Austreiben von mit Radionukliden beladenem Wasser über Wasserwegsamkeiten aus dem Endlager in die Biosphäre angesehen werden muß. Es kann übrigens auch noch andere Antriebsmechanismen geben, z. B. infolge eines äußeren Druckgefälles (s. Kap. 2.5.3.).

Geht man davon aus, daß ein Absaufen des geplanten Endlagers nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann (siehe dazu Kap. 2.5.3.), dann muß die Konvergenz unter diesem Aspekt betrachtet und genauestens untersucht werden. Zur genauen Beurteilung des Antriebsmechanismus Konvergenz ist es nötig, möglichst genau Bescheid zu wissen über den Verlauf der Konvergenz. Vor allem die Konvergenzraten sind wichtig, da mit ihrer Hilfe die möglichen Volumenströme sowie die Zeitdauer bis zum Verschließen der Hohlräume abgeschätzt werden können. Darüber hinaus sind Angaben über die konvergenzmindernde Auswirkung von Versatz sowie Untersuchungen der möglichen Wasserwegsamkeiten zwischen Grube und Biosphäre nötig.

Bei der Betrachtung der von der GSF zur Konvergenz angestellten Untersuchungen und Überlegungen fällt auf, daß dort nirgendwo ein Zusammenhang zwischen der Konvergenz und ihrer Wirkung als Antriebsmechanismus hergestellt worden ist.

Lediglich bei der Modellrechnung zur Radionuklidausbreitung aus einer Kammer (GSF-Bericht Kap. D5.2.3) wird die Konvergenz als Antriebsmechnismus herangezogen, dies jedoch mit Konvergenzraten, die aus den eigentlichen Untersuchungen zur Konvergenz nicht ableitbar sind. Es ist anzuzweifeln, ob die GSF im Rahmen ihres Abschlußberichtes die für die Sicherheitsbetrachtung des geplanten Endlagers so bedeutsame Konvergenz in Hinblick auf ihre Antriebsfunktion mit genügender Sorgfalt bearbeitet hat. Es ergibt sich vielmehr der Eindruck, als habe die GSF die Konvergenz allein unter dem Gesichtspunkt der Standsicherheit und der bergmännischen Beherrschbarkeit des Grubengebäudes betrachtet.

3.2.2. Die Untersuchungen der GSF zum Konvergenzverhalten

Die Untersuchungen, die von der GSF zur Frage des Konvergenzverhaltens der Grube durchgeführt worden sind, richten sich hauptsächlich auf zwei Ziele:

1. Nachweis der Standsicherheit (d. h. der bergmännischen Beherrschbarkeit) des Grubengebäudes
2. Abschätzung der insgesamt ablaufenden Konvergenz (sowohl in den alten Grubenteilen als auch in den neu aufzufahrenden Einlagerungsfeldern)

Im folgenden sollen diese Untersuchungen der GSF und die daraus abgeleiteten Aussagen zur Standsicherheit und zum Konvergenzverhalten des Grubengebäudes näher betrachtet sowie auf ihre Relevanz für die Sicherheit des geplanten Endlagers bewertet werden. Im Vordergrund stehen dabei die Untersuchungen zum Konvergenzverhalten.

Das Untersuchungsziel 1 soll hier nicht näher betrachtet werden, da die Standsicherheit für den Zeitraum der Betriebsphase im rein bergmännischen Sinn gegeben ist; dies wird nicht zuletzt durch die Erfahrungen während der betrieblichen Erzförderung gezeigt (GLIENKE 1976).

Zum Erreichen des Untersuchungszieles 2 bieten sich verschiedene Möglichkeiten. Zum einen werden die seit dem Beginn des Erzabbaus 1965 durchgeführten Konvergenzmessungen von der GSF ausgewertet, woraus sich eine empirisch abgeleitete Formel für die zu erwartende Endkonvergenz ergibt (s. S. B5-6). Zum zweiten werden in einer Untersuchungsstrecke Konvergenzmessungen durchgeführt, die zur Entwicklung einer Formel für das zeitabhängige Konvergenzverhalten führt (s. S. B6-6).

3.2.2.1. Zur zeitunabhängigen Konvergenzformel

Zuerst sollen die Messungen und Überlegungen der GSF betrachtet werden, die zu der Formel geführt haben, mit der das voraussichtliche Konvergenzvolumen in Abhängigkeit vom Durchbauungsgrad berechnet werden kann. Diese Formel gibt an, wie groß die maximal zu erwartende Gebirgskonvergenz einer Strekke in Abhängigkeit vom Durchbauungsgrad und Streckenquerschnitt sein wird. Nach dieser Formel führen die Berechnungen der GSF zu Endkonvergenzen von 47% im konventionellen Abbau, zu 80% im LHD-Feld und zu ca. 30% in zukünftigen Einlagerungsfeldern.

Aus den Ausführungen der GSF in Kap. 5.1.3 (S. B5-4 ff.) ist leider nicht genau zu entnehmen, welche Datengrundlage zur Entwicklung dieser Formel geführt hat. Es muß vermutet werden, daß die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Durchbauungsgrad, Steckenquerschnitt und Konvergenzverhalten auf nur 16 Meßwerten basiert (s. S. B5-5), was eine sehr schmale Basis für die Entwicklung einer Formel ist, mit deren Hilfe diese Zusammenhänge dargestellt werden sollen. Darüber hinaus ist aus dem Abschlußbericht der GSF nicht zu ersehen, aus welchen Zeiträumen die für die Entwicklung der Formel nötigen Daten gewonnen wurden. So steht auf Seite B5-5 des Abschlußberichtes der GSF ein Hinweis auf bis zu "vier Beobachtungszeiträume", es wird aber nicht gesagt, wann genau und wie lange das Konvergenzverhalten jeweils beobachtet worden ist. Es muß somit offen bleiben, ob nicht möglicherweise ein

systematischer Fehler dadurch in die Formel gebracht wird, daß nicht genügend belastbare Daten für die Entwicklung der Formel zur Verfügung standen (z. B.: Wie lange nach Auffahren der Strecken sind die auf S. B5-5 angesprochenen Konvergenzmeßprofile eingerichtet worden? Sollten diese Meßprofile erst einige Tage nach Auffahren der Strecken eingerichtet worden sein, dann konnten zumindest die relativ hohen Anfangskonvergenzen nicht berücksichtigt werden).

Neben diesen Unklarheiten, die v. a. auf der Art der Darstellung der Vorhergehensweise sowie der Gewinnung der Daten beruhen und die dazu führen, die Gültigkeit der entwickelten Formel anzuzweifeln, hat die Formel selbst noch einen grundsätzlichen Nachteil. Dieser Nachteil beruht auf ihrer Zeitunabhängigkeit. Er erhält seine Bedeutung dadurch, daß die Konvergenz als ein möglicher Antriebsmechanismus zum Austreiben kontaminierter Lauge aus dem abgesoffenen Endlager angesehen werden muß. Dabei ist dann der Volumenstrom der ausgetriebenen Lauge direkt vom zeitlichen Ablauf der Konvergenz abhängig. Neben der Abschätzung des Gesamtkonvergenzvolumens ist die Kenntnis darüber, in welchen Zeiträumen und in welchen Raten die Konvergenz abläuft, von entscheidender Bedeutung.[1]

[1] Ein grundsätzliches Problem bei der Abschätzung der Gesamtkonvergenz besteht darin, daß es fraglich ist, ob die Konvergenz in großen Teufen überhaupt bei noch offenen Hohlräumen zum Stillstand kommt oder ob nicht im Verlaufe langer Zeiträume (einiger Jahrhunderte) alle vorhandenen Hohlräume sich vollständig schließen. Die Ursache dieser Unkenntnis liegt in der Zielsetzung der bisherigen Erforschung der Gebirgsbewegungen, die immer nur auf rein betriebliche Belange zugeschnitten waren, d.h. möglichst kostengünstiges Offenhalten der Hohlräume bis zum Aufgeben der Lagerstätte. Tatsache ist, daß selbst oberflächennahe alte Grubenhohlräume nach einigen 100 Jahren fast vollständig verschlossen vorgefunden worden sind (MÜLLER 1963: 71).

Unabhängig von der von der GSF entwickelten zeitunabhängigen Formel zur Berechnung der Endkonvergenz wird aus dem Abschlußbericht der GSF nicht eindeutig klar, welche Konvergenzbeträge in welchen Zeiträumen und in Abhängigkeit der Lage in verschiedenen ehemaligen Gewinnungsfeldern vorliegen. So schreibt die GSF auf Seite B5-4, daß das Konvergenzvolumen einer ehemaligen Gewinnungsstrecke im alten LHD-Revier ca. 60% des ursprünglichen Streckungsquerschnittes beträgt.

Auf Seite B-12 ist dann von Konvergenz zwischen 15 und 54% in verschiedenen Teilen der alten Abbaufelder die Rede. Schließlich wird in Tab. 5.2-1 (S. B5-15) angegeben, daß die im Laufe der Zeit in Gewinnungsfeldern eingetretene Konvergenz ca. 70% betragen soll (siehe hierzu auch Kap. 3.1.1.. Weiterhin fehlt oft eine eindeutige Zuordnung der gemessenen Konvergenzen zu den verschiedenen Abbaufeldern sowie genaue Angaben darüber, wann die entsprechenden Konvergenzen gemessen worden sind.

3.2.2.2. Zur zeitabhängigen Konvergenzformel

Die Zeitabhängigkeit der Konvergenz wurde von der GSF lediglich in der Untersuchungsstrecke 672 näher betrachtet. Dabei wurde mit Hilfe von im Meßquerschnitt 672/2 gewonnenen Konvergenzwerten eine Formel entwickelt, die den Ablauf der Konvergenz in Abhängigkeit von der Zeit beschreibt. (S. B6-6). Diese Formel kann jedoch nicht für Konvergenzberechnungen in anderen Teilen der Grube und auch nicht in den vorgesehenen Einlagerungsfeldern benutzt werden, da in der Untersuchungsstrecke 672, die außerhalb ehemaliger Abbaufelder vorgetrieben wurde, andere gebirgsmechanische Bedingungen (z.B. Durchbauungsgrad, Mächtigkeit des Erzlagers, tektonische Beanspruchung) herrschen als in den geplanten Einlagerungsfeldern. Deutlich wird diese Nichtübertragbarkeit der Verhältnisse der Strecke 672 auf andere Grubenbereiche im direkten Vergleich gemessener Konvergenzbeträge, die in der Strecke 672 um zwei Größenordnungen unter den Konvergenzbeträgen in alten Abbaufeldern liegen (vgl. Tab. 5.1-1, S. B5-7). Selbst ein Vergleich der von der GSF mit Hilfe der zeitunabhängigen Formel abgeschätzten Endkonvergenzen zeigt, daß in der Strecke 672 die Gesamtkonvergenz um eine Größenordnung niedriger liegt als in den geplanten Einlagerungsfeldern (Strecke 672: 3,7%; konventioneller Abbau 47%; LHD-Feld 80%; geplante Einlagerungsfelder 30%).

Weiterhin bleibt festzustellen, daß zwischen Streckendurchgang und Nullmessung im Meßquerschnitt 672/2 mehr als sechs Wochen liegen und die Meßwerte aus dieser Zeit fehlen. Diese fehlenden Meßwerte aus der ersten Zeit nach dem Auffahren der Strecke sind aber besonders wichtig, weil gerade in der Zeit direkt nach dem Auffahren die größten Verformungen ablaufen.

Insgesamt gesehen sind belastbare Aussagen über die Entwicklung der Konvergenz in Abhängigkeit von der Zeit für die geplanten Einlagerungsfelder mit der von der GSF in der Strecke 672 entwickelten Formel nicht zu erwarten. Vielmehr müßte

die Entwicklung einer zeitabhängigen Konvergenzformel in einem Grubenfeld geschehen, das in seinen gebirgsmechanischen Bedingungen und Voraussetzungen einem zukünftigen Einlagerungsfeld entspricht. Dies hat die GSF ansatzweise versucht im Bereich zwischen der 4. und 5. Sohle, der in seiner Vorrichtung bis auf die Streckengröße mit einem Einlagerungsfeld vergleichbar ist (s. S. B6-8 des GSF-Abschlußberichtes).

Eingeleitet wurden diese Untersuchungen durch das Erweitern der Teilsohle 542 von 22 m² (Konradprofil) auf 40 m² Rundbogenprofil im Zeitraum März 1980 bis Februar 1981. Da die Nullmessung der Gebirgsbewegung erst Ende Mai 1981 erfolgte, liegen nach Aussage der GSF im Abschlußbericht nur "erste Ergebnisse" vor (S. B8-1), die auf einen logarithmischen Ablauf der Konvergenz hinweisen[1]. Darüber hinaus ist es grundsätzlich fraglich, ob Messungen in diesem alten Feldesteil, in dem große Teile der Konvergenz bereits abgelaufen sind und nur durch das Streckenerweitern kurzzeitig eine verstärkte Konvergenz hervorgerufen wird, auf die geplanten Einlagerungsfelder übertragbar sind (siehe dazu Kap. 3.2.5.).

1 Der logarithmische Ablauf der Konvergenz in der Zeit entspricht den bisherigen Kenntnissen über den Ablauf der Konvergenz im primären Kriechbereich, soweit keine außergewöhnlichen Gebirgsverhältnisse (z. B. bei Überschreiten eines kritischen Spannungszustandes) herrschen (MÜLLER K. 1972: 20). Dabei ist die asymptotische Abnahme der Verformungsgeschwindigkeit gegen Null abhängig von einem genügend kleinen wirkenden Spannungszustand. Die Frage, ob der in Konrad wirkende Spannungszustand genügend klein ist, wird im Abschlußbericht der GSF nicht beantwortet.

3.2.3. Von der GSF nicht betrachtete Einflüsse auf das Konvergenzverhalten des Gebirges

Darüber hinaus hat die GSF es versäumt, Überlegungen anzustellen über Vorkommnisse, die in Hinblick auf die Konvergenz völlig neue Fragen/Probleme aufwerfen können. Es sollen hier nur drei Punkte kurz besprochen werden:

1. Die vorgesehenen Endlagerfelder 1, 4 und 5 sind in Bereichen geplant, in denen die Erzmächtigkeiten nach Fig. 1.3-7 (S. B1-28) zum Teil auf unter 10 m zurückgehen. Da nach GLIENKE (1974) allein das Erzlager (in dem die Einlagerungsfelder aufgefahren werden sollen) als einigermaßen standfest zu bezeichnen ist, der restliche Gebirgsverband jedoch nur eine geringe Standfestigkeit aufweist, ist zu fragen, wie sich diese Tatsache auf das Konvergenzverhalten, die Standsicherheit, die Bildung von Auflockerungszonen etc. der dort geplanten Einlagerungsfelder auswirken kann. Die GSF deutet lediglich in Kap. 3.4.1 (S. C3-22) die Möglichkeit einer individuellen Anpassung des Kammermodells A an die jeweiligen Verhältnisse an; die grundlegende und für die Sicherheit entscheidende Fragestellung wird hingegen nicht behandelt.

2. Ein weiterer Punkt, der nicht von der GSF betrachtet worden ist, erwächst aus der Annahme, daß die Grube möglicherweise in Zukunft mit Wasser vollgelaufen sein wird. Diese Annahme ist solange gültig, wie ein Ersaufen der Grube nicht absolut sicher ausgeschlossen werden kann (s. dazu Kap. 2.5.3.). In diesem Falle besteht nach LÜTGENDORF (1974: 184) die Gefahr, daß durch den Wasserzutritt in Verbindung mit der Auflockerung des Gebirges eine wesentliche Erhöhung der Konvergenz möglich sein könnte. Diese Erhöhung der Konvergenz kann verursacht werden durch Verminderung der Festigkeit infolge geringerer Reibung in Klüften und Rissen, durch verminderte

Wirksamkeit des Ausbaus usw. (s. JACOBI 1976: 355). Von besonderem Interesse ist hierbei auch die Möglichkeit, daß eine Volumenvergrößerung von Tonen durch Wasseraufnahme zu einer erhöhten Konvergenz führen kann. Nach dem GSF-Abschlußbericht sind allein im Bereich der erzführenden mittleren Korallenooliths 5-15% mixed-layer Tonminerale vorhanden (S. B2-39). Im Rahmen der Eignungsprüfung der Grube Konrad hätten diese Punkte von der GSF näher betrachtet werden müssen.

3. Ein dritter Punkt soll noch angerissen werden: Es bleibt zu überlegen, inwieweit die durch die im Firstbereich gesetzten Anker gehemmte Konvergenz wieder verstärkt einsetzt, wenn die stabilisierende Wirkung der Ankerung nachläßt. Ein solches Nachlassen der Ankerwirkung könnte z. B. durch den Angriff aggressiver Wässer auf die Anker verursacht werden, was u. U. zum Ausfall der Mehrzahl der Anker im Verlaufe eines längeren (? mehrere Jahrzehnte) Zeitraumes und damit zu einer dann wiederum im Firstbereich u. U. verstärkt einsetzenden Konvergenz führen könnte. Eine Betrachtung dieses Problembereiches ist von der GSF ebenfalls nicht vorgenommen worden; man hat lediglich den Ankerausbau unter dem Aspekt der bergmännischen Beherrschbarkeit des Gebirges (der Grubenhohlräume) betrachtet.

Die drei hier kurz dargestellten Mechanismen können sich beschleunigend auf die Konvergenzbewegung auswirken. Auf die Konvergenzbewegung verlangsamend einwirken wird hingegen der vorgesehene Versatz der Grubenhohlräume. Dies wird insbesondere dann der Fall sein, wenn das verfüllte Endlager abgesoffen sein sollte und sich beim Austreiben des Wassers infolge des Durchfließens des porösen Verfüllmaterials ein Fließwiderstand aufbaut.

3.2.4. Zusammenfassung zu Kapitel 3.2.

Die Konvergenz stellt einen möglichen Antriebsmechanismus zum Austreiben von mit Radionukliden kontaminierter Lauge aus dem Grubengebäude über Wasserwegsamkeiten in die Biosphäre hinein dar. Deshalb muß das Konvergenzverhalten der unterirdischen Hohlräume (sowohl des alten Grubengebäudes als auch der neu aufzufahrenden Einlagerungsfelder) möglichst genau bekannt sein. Diese Kenntnis muß sich sowohl auf die zu erwartende Endkonvergenz als auch auf den zeitlichen Verlauf der Konvergenz erstrecken.

Die Untersuchungen der GSF zur Konvergenz sind der Bedeutung, die diese für die Sicherheitsbetrachtung des geplanten Endlagers hat, nicht gerecht geworden, und liefern in Hinblick auf die erforderlichen Kenntnisse unbefriedigende/unklare Ergebnisse, die an den sicherheitsrelevanten Punkten weitgehend vorbeigehen. Die Untersuchungen der GSF zum Konvergenzverhalten zielen vielmehr in Richtung des Nachweises der Standsicherheit des Grubengebäudes im eng bergmännischen Sinn. Diese Standsicherheit bzw. die Beherrschbarkeit des Gebirges ist jedoch allein schon durch die Erfahrungen der betrieblichen Erzgewinnung belegt.

Ein besonderer Punkt unserer Kritik an den Untersuchungen der GSF zur Konvergenz liegt in der dort vorgenommenen vorbehaltlosen Übertragung der gewonnenen Ergebnisse auf die geplanten Einlagerungsfelder. Eine solche Vergehensweise ist vielleicht für ein Gewinnungsbergwerk möglich, nicht jedoch für ein Endlagerbergwerk, an das wesentlich strengere Anforderungen gestellt werden müssen.

Weiterhin hat die GSF bestimmte Faktoren, die vor allem nach einem Wasserzutritt in die Grube auf das Konvergenzverhalten einwirken können, erst gar nicht betrachtet.

3.2.5. Nachtrag zu den Konvergenzuntersuchungen der GSF

Im Jahresbericht 1982 (GSF-T 165 1983) stellt die GSF aktualisierte Ergebnisse ihrer Konvergenzmessungen vor. Dabei werden zum ersten Mal überhaupt Konvergenzraten angegeben, aus denen sich die prozentualen Streckenquerschnittsverluste durch die Konvergenz berechnen lassen. Es handelt sich also auch hierbei um keine echten Volumenkonvergenzraten, jedoch dürften die Streckenquerschnittsverluste diesen aufgrund der Geometrie der Einlagerungskammern nahe kommen.

Die Übertragbarkeit der von der GSF ermittelten sehr niedrigen Konvergenzraten (0,65 bis 11,45% pro 100 Jahre) auf die geplanten Einlagerungsfelder ist jedoch anzuzweifeln. So liegen mit Ausnahme der Meßstation 302/1 (mit einer Konvergenzrate von 11,45% pro 100 Jahre), die zwischen alten Abbaufeldern liegt, alle übrigen Konvergenzmeßstellen in einem engbegrenzten Bereich im südlichen Grubenfeld (Strecke 672 sowie die Parallelstrecken 532, 522 und 542 im Bereich des geplanten Einlagerungsfeldes 2).

Man muß davon ausgehen, daß in den anderen Einlagerungsfeldern Bedingungen herrschen, die zu anderen Konvergenzraten führen werden (z. B. geringere Mächtigkeit des Erzlagers, tektonisch stärker beanspruchte Gebiete, Bereiche mit allgemein veränderten gebirgsmechanischen Eigenschaften).

Die Abb. 3.1. zeigt deutlich die Beschränkung und Konzentration der Messungen auf den südlichen Grubenteil, insbesondere auf die Strecke 672.

Weiterhin beruhen die von der GSF im Bericht GSF-T 165 (1983) angegebenen Konvergenzraten auf der Voraussetzung, daß keine neuen, auf die Strecken einwirkenden Deformationsbewegungen ausgelöst werden. Bekanntlich sind in der Grube Konrad jedoch gebirgsmechanische Auswirkungen bis in 200 m Entfernung vom auslösenden Ort feststellbar, was bedeutet, daß einzelne der neu aufzufahrenden Einlagerungsfelder sich mit ihren Wir-

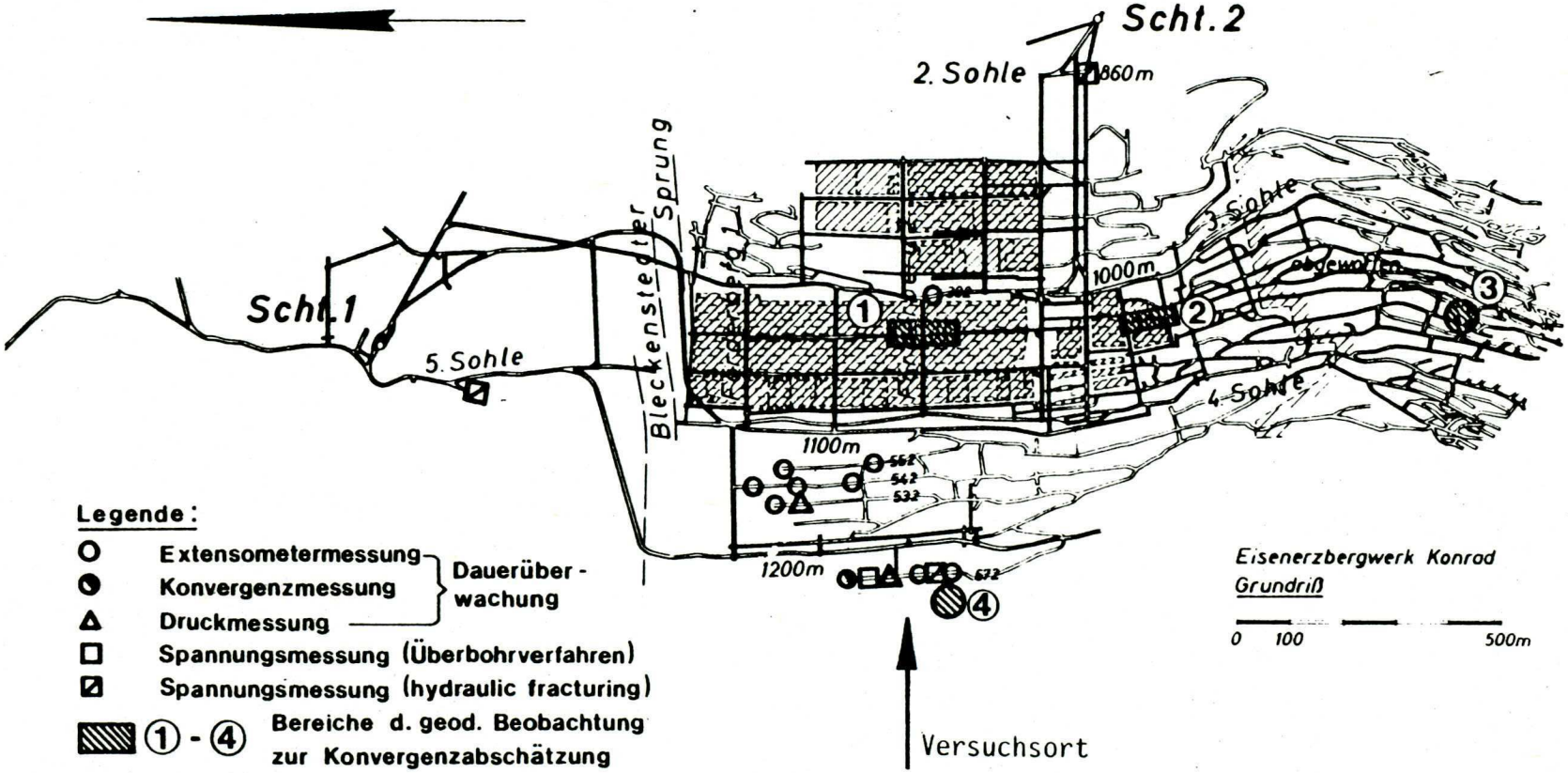


Abb. 3.1 : Grundriß des Grubengebäudes mit Übersicht über alle geomechanischen Versuchs- und Meßstationen

(Ouelle: Abschlußbericht der GSF)

kungsbereichen zum Teil überlagern werden. Sollte dies Auswirkungen auf die Konvergenz haben, dann mit Sicherheit konvergenzverstärkende.

Insgesamt gewinnt man den Eindruck, daß die GSF auch bei ihren aktualisierten Ergebnissen die Konvergenz als möglichen Antriebsmechanismus nicht betrachtet hat, sondern ihre Untersuchungen weiterhin lediglich auf die möglichst standsichere Auffahrung der Grubenhohlräume hin ausgerichtet hat.

3.2.6. Anhang: Abschätzung der durch Konvergenz möglicherweise ausgetriebenen Volumenströme sowie der Zeitdauer der Konvergenz

Wie bereits in Kap. 3.2.1. beschrieben, ist es möglich, mit Hilfe der Angabe einer (Volumen-)Konvergenzrate sowohl die ungefähre Zeitdauer der Konvergenz bis zum weitgehenden Verschluß aller Hohlräume als auch die pro Zeiteinheit maximal ausgepreßte Wassermenge zu berechnen.

Da die GSF diesen für die Sicherheitsbetrachtung eines Endlagers wichtigen Sachverhalt in ihrem Abschlußbericht nicht geklärt hat, soll hier eine überschlägige Berechnung angestellt werden.

Ausgangspunkt der Betrachtung sind der ca. $0{,}5 \times 10^6\ m^3$ Resthohlraum, von dem angenommen wird, daß er infolge des Ersaufens der Grube mit Wasser gefüllt ist (s. Kap. 3.5.3.). Weiterhin wird angenommen, daß das Ersaufen der Grube frühestens am Ende der Betriebsphase eintritt, d. h. zu einem Zeitpunkt, in dem die Konvergenz nur noch langsam abläuft. Die stabilisierende Wirkung des eingebrachten Versatzes wird nicht betrachtet.

Die Berechnungen werden mit drei verschiedenen Konvergenzraten durchgeführt:

a) eine Rate von 0,2‰/Jahr. Diese Rate entspricht etwa der von der GSF auf hundert Jahre abgeschätzten Konvergenzrate für die Strecke 672 (s. GSF-T 165 1983).

b) eine Rate von 1‰/Jahr. Dies entspricht etwa der von der GSF auf hundert Jahre abgeschätzten Konvergenzrate der Richtstrecke 302 zwischen alten Abbaufeldern (s. GSF-T 165 1983).

c) eine Rate von 5‰/Jahr. Diese Rate wird gewählt, um bestimte Ungewißheiten in Hinblick auf die Konvergenzrate (s. Kap. 3.2.3.) möglichst ebenfalls abzudecken.

Für die Berechnun gilt:

$$V_t = V_o \times e^{-\frac{p \times t}{1000}}$$

$V_o = 0{,}5 \times 10^6$ m³
p Konvergenzrate in Promille
t Zeit in Jahren

Ergebnisse:

Fall a):	in	100 Jahren sind ca.	10.000 m³	ausgepreßt
	in	1000 Jahren sind ca.	90.000 m³	ausgepreßt
	in	5000 Jahren sind ca.	315.000 m³	ausgepreßt
	in	10000 Jahren sind ca.	430.000 m³	ausgepreßt
Fall b):	in	100 Jahren sind ca.	48.000 m³	ausgepreßt
	in	1000 Jahren sind ca.	320.000 m³	ausgepreßt
	in	5000 Jahren sind ca.	497.000 m³	ausgepreßt
Fall c):	in	100 Jahren sind ca.	200.000 m³	ausgepreßt
	in	1000 Jahren sind ca.	498.000 m³	ausgepreßt

Die Rechnungen zeigen, daß je nach Konvergenzrate und bei Annahme der vollständigen Schließung aller Hohlräume die Zeitdauer der Wirksamkeit der Konvergenz als Antriebsmecha-

nismus mindestens tausend Jahre lang ist und im gegebenen Fall mehrere Jahrtausende andauern kann.

Weiterhin zeigt sich, daß die maximal ausgepreßte Wassermenge pro Jahr (hier über die ersten 100 Jahre gemittelt) für den

Fall a) bei 100 m^3/Jahr ($\hat{=}$ 0,27 m^3/d)
Fall b) bei 480 m^3/Jahr ($\hat{=}$ 1,3 m^3/d)
Fall c) bei 2000 m^3/Jahr ($\hat{=}$ 5,5 m^3/d)

liegt. Die auspreßbaren Wassermengen verringern sich im Laufe der Zeit entsprechend der Abnahme des noch zur Verfügung stehenden und mit Wasser gefüllten Hohlraumvolumens.

Es soll noch einmal ausdrücklich betont werden, daß die hier durchgeführten Rechnungen nicht Anspruch darauf erheben, einer möglichen zukünftigen Realität in jedem Fall gerecht zu werden. Sie sollen jedoch aufzeigen, in welchem zeitlichen und volumenmäßigen Rahmen sich das durch Konvergenz verursache Auspreßen von Wasser aus einem abgesoffenen Bergwerk bewegen kann. Im Rahmen der Eignungsuntersuchung für ein geplantes Endlager sind solche Abschätzungen unverzichtbar (vgl. PSE 1981).

3.3. Die Auflockerung des Gebirges und die gebirgsmechanischen Untersuchungen

3.3.1. Die Untersuchungen zur Auflockerung des Gebirges

In diesem Kapitel soll vorrangig die Frage des Grades der Gebirgsauflockerung im Bereich der unterirdischen Hohlräume untersucht werden. Diese Frage ist von großem Interesse bei den Sicherheitsbetrachtungen, da durch die Gebirgsauflockerungen Wasserwegsamkeiten geschaffen werden können, über die Grundwasser in das geplante Endlager eindringen bzw. das Wasser in einem bereits ersoffenen Endlager sich ausbreiten kann.

Mit den Untersuchungen der Auflockerungszonen und Spannungsumlagerungen im Gebirge (diese Vorgänge stehen auch in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der Konvergenz) wollte die GSF sowohl die bergmännische Beherrschung der Abbaudrücke nachweisen, als auch eine Antwort auf die Frage finden, ob durch die Ausbildung von Auflockerungszonen um die Hohlräume die Möglichkeit eines Wasserzutritts gegeben ist. Der Teil dieser Untersuchungen, der von Bedeutung ist für die Abschätzung des Konvergenzverhaltens, ist bereits im Kap. 3.2. von uns betrachtet worden; ebenfalls soll die Frage der bergmännischen Beherrschbarkeit des Gebirges aus schon in Kap. 3.2.2. genannten Gründen nicht weiter betrachtet werden.

Zum Erreichen ihres Untersuchungszieles hat die GSF sowohl Verformungsmessungen im Streckenmantel durchgeführt (Kap. B6.1.1 GSF Abschlußbericht) als auch Verformungsmessungen während und nach der Erweiterung von Teilstrecken (Kap. B 6.1.2 GSF-Abschlußbericht). Hinzu treten noch weitere spezielle Untersuchungen, auf die später eingegangen werden soll.

Die Ergebnisse der Verformungsmessungen im Streckenmantel der Versuchsstrecke 672 zeigen (Fig. 6.1-2, S. B6-4), daß die Auflockerungszone im Hangenden der Strecke bis ca. 30 m, und im Liegenden der Strecke bis ca. 25 m in das Gebirge hineinreicht. Die Auflockerung verläuft sehr schnell, so daß die 20 m Marke bereits nach 14 Tagen von den Auflockerungen überschritten wurde. Die Auflockerungszone im Ost- bzw. Weststoß der Strecke reicht bis ca. 10 m in das Gebirge hinein. Diese von der GSF ermittelten Werte zeigen, daß die Auflockerungszone sowohl im Hangenden als auch im Liegenden über das Erzlager hinaus in das weniger standfest Nebengebirge hineinreicht.

Bei der Ermittlung und der Auswertung der gewonnenen Informationen über die Auflockerungszonen bestehen zwei Problemkreise, die von der GSF nicht angesprochen bzw. beachtet worden sind:

1. Ein grundsätzliches Problem, das auch schon im Kapitel Konvergenz aufgetaucht ist: Die Übertragbarkeit der von der GSF gewonnenen Werte über das Auflockerungsverhalten des Gebirges auf die geplanten Endlagerfelder ist nicht zulässig. Ein Grund dafür liegt in der Tatsache, daß die GSF ihre Informatonen aus nur zwei bzw. drei Orten (an denen Meßstationen eingerichtet worden sind) des alten Grubengebäudes erhalten hat (s. Abb. 3.1.). Die dort ermittelten Kennwerte dürfen nicht als repräsentativ für noch aufzufahrende Einlagerungsfelder angenommen werden. Dies vor allem deshalb nicht, weil dort völlig andere gebirgsmechanische Eigenschaften auftreten können (erinnert sei nur an die wesentlich geringere Mächtigkeit des Erzkörpers in den geplanten Feldern 1, 4, 5).

2. Ein meßtechnisches Problem: Die von der GSF benutzten Extensometer bieten nur die Möglichkeit der Messung von Teilkörperverschiebungen in Richtung der Bohrlochachse. Für eine detaillierte Betrachtung der Druckumlagerungszonen hätte man außerdem Versetzungen quer zur Bohrlochachse durchführen sollen (z. B. mit Hilfe heute gebräuchlicher Querversetzungsketten). Außerdem sollten Extensometer möglichst frühzeitig eingebaut werden, damit auch der Anteil der Verformungen erfaßt wird, der unmittelbar nach Auffahren des Hohlraumes eintritt. Dies war bei den Versuchen der GSF in der Untersuchungsstrecke 672 nicht der Fall. Dort sind die Extensometer erst fünf (!) Wochen nach dem Auffahren der Strecke eingesetzt worden. Weiterhin stehen die Extensometer 3, 4, 8 und 9 mit ihren Füßen eindeutig noch in der Auflokkerungszone. Dies kann dazu führen (da ein Festpunkt fehlt), daß die gemessenen Bewegungsbeträge unter den tatsächlichen Beträgen liegen.

Die im Abschlußbericht der GSF in Kap. B6.1.2 beschriebenen Bewegungen der Spannungsumlagerungen in den Strekken 532, 542 und 552 ergeben eine Vorstellung über die

Gebirgsbewegungen in den Gebirgspfeilern, die sich zwischen den Strecken befinden. Der Wert der dort von der GSF gewonnenen Erkenntnisse ist jedoch begrenzt, da diese Strecken schon seit vier Jahren aufgefahren waren und somit ein großer Teil der Spannungsumlagerungen und der damit verbundenen Auflockerung bereits abgelaufen war. Außerdem besitzt nur die mittlere der drei parallelen Untersuchungsstrecken die für die Einlagerstrecken vorgesehenen 40 m² Querschnittsfläche. Immerhin wird erkennbar, daß die Druckumlagerungen die gesamte Pfeilerbreite zwischen den Strecken erfassen (s. Fig. 6.1-7, S. B6-9). Es kann erwartet werden, daß beim Auffahren paralleler Einlagerungsstrecken mit jeweils 40 m² Querschnittsfläche (entspricht Kammermodell A) die Durckumlagerungsbereiche der einzelnen Strecken sich überlagern und dann zu größeren Auflockerungszonen führen werden, als sie im Bereich der Versuchsstrecke 672 festgestellt worden sind.

Die im Bericht GSF-T 165 (1983) von der GSF angegebenen Meßergebnisse bestätigen, daß die mit den Erweiterungsarbeiten und dem Vortrieb der Parallelstrecken 552 und 532 einhergehenden Spannungsumlagerungen des Gebirges im gesamten Pfeilerbeich zu Gebirgsbewegungen führen.

Der Aussagewert der Untersuchungen zu Spannungsumlagerungen und Auflockerung ist begrenzt (und v. a. auch nicht übertragbar auf andere Gebirgsbereiche); dennoch wird deutlich, daß die Druckumlagerungen große Gebirgsbereiche umfassen.

Die Voraussetzungen zur Feststellung von Auflockerungszonen, wie sie angenähert in einem Endlagerfeld ausgebildet sein könnten (unter der Voraussetzung, daß im Einlagerungsfeld die gebirgsmechanischen Verhältnisse gleich sind), sind von der GSF geschaffen worden durch die vorgesehene Erweiterung der Strecken 552 und 532, wobei dann das Pfeilerverhalten beim Streckendurchgang der Erweiterungsstrecke direkt und ohne zeitliche Verzögerung mit Hilfe von Extensometern von der schon bestehenden Strecke 542 aus gemessen werden soll.

Leider werden im Abschlußbericht der GSF keine weiteren Angaben zu diesen Versuchen bzw. ihren Ergebnissen gemacht.

Im Bericht GSF-T 165 (1983) wird über den Fortgang dieser Untersuchungen berichtet. Es können jedoch auch in diesem Bericht noch keine belastbaren Angaben über die der Streckenauffahrung vorauseilenden Gebirgsbewegungen gemacht werden. Die Gründe dafür liegen in meßtechnischen Problemen, die v. a. in der temperaturabhängigen Längenänderung der 65 m langen Extensometer liegen (0,1 mm Längenänderung pro 0,1° C Temperaturunterschied).

Zusammengefaßt ergibt sich folgendes Bild:

Die Gebirgsauflockerung erstreckt sich weit in die Firste und den Sohlenbereich einer Strecke bis über das Endlager hinaus ins Nebengestein.

Weiterhin muß in Endlagerfeldern (bei Kammermodell A zumindest) damit gerechnet werden, daß sich die Auflockerungszonen in den Gebirgspfeilern u. U. überschneiden. Dies deutet sich bei den Versuchen der GSF in den Strecken 532, 642 und 552 an.

Die Schlußfolgerung der GSF aus ihren Untersuchungen der Auflockerung lautet: "Abgesehen von einer sehr begrenzten Gebirgsauflockerung im engeren Streckmantel kann wegen des elastoplastischen Verhaltens der Gesteine[1] das Entstehen größerer bruchtektonischer Risse als Folge der Streckenauffahrungen ausgeschlossen werden. Danach besteht kein Risiko eines Wasserzulaufs aus dem Deckgebirge über lokal begrenzte Auflockerungszonen ..." (S. B8-5).

1 Der Begriff "Gesteine" an dieser Stelle wirft ein beispielhaftes Licht auf die oft unscharfe Behandlung von Problemen durch die GSF Die Gesteine des Erzlagers zeigen nach GSF elastisches Verhalten; wenn schon von elastoplastisch die Rede ist, dann müßte der Begriff "Gebirge" in diesem Zusammenhang benutzt werden!

Diese Aussage der GSF ist aufgrund der durchgeführten Untersuchungen und deren Ergebnisse nicht in der Form zu begründen. So ist das elastoplastische Verhalten des Gebirges von der GSF nicht eindeutig nachgewiesen worden (vgl. Kap. 3.1.2.). Die Begrenzung der Auflockerungszone auf den engeren Strekkenmantel ist für die geplanten Einlagerungsfelder ebenfalls nicht schlüssig nachgewiesen worden.

Unverständlich erscheint auch, warum die GSF bei ihren Betrachtungen der Folgen größerer Auflockerungszonen immer nur den Wasserzutritt vom Hangenden her betrachtet und dabei die Möglichkeiten eines Wasserzutritts aus dem Liegenden her über Auflockerungszonen erst gar nicht in Erwägung zieht (hier ist insbesondere auf den wasserführenden Cornbrash hinzuweisen, vgl. Kap. 2.4.5.).

3.3.2. Der Einfluß der Verfüllung auf die Gebirgsauflockerung

Nach Aussage der GSF soll die Verfüllung der Strecken mit Abfallgebinden und eine nachfolgende Resthohlraumverfüllung die Gebirgsauflockerung stark bremsen. Wie jedoch in Kap. 3.1.1. gezeigt worden ist, dauert es vom Auffahren einer Strecke bis zu ihrer endgültigen Verfüllung ungefähr vier Jahre. Während dieser Zeit, in der der Hohlraum aufgefahren wird und anschließend offen steht bzw. langsam verfüllt wird, wird sich eine ausgeprägte Auflockerungszone um die Strecke ausgebildet haben. Die GSF hat selbst gezeigt, daß sich bereits innerhalb von 14 Tagen nach Auffahren einer Strecke die Auflockerungszone über 20 m weit ins Gebirge hinein erstreckt (s. Kap. 6.1.1 GSF-Abschlußbericht).

Das Einbringen der Verfüllung ca. vier Jahre nach Erstellen des jeweiligen Hohlraumes kann die Gebirgsauflockerung nicht mehr verhindern; es wird höchstens die gebirgsmechanische Stabilität in der Nachbetriebsphase dadurch erhöht (vgl. Kap. 3.5.2.).

3.3.3. Zu den Ultraschall-Messungen

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen zur Gebirgsauflockerung im Streckenmantel bzw. in Gebirgspfeilern zwischen Strecken sind von der GSF noch begleitende Untersuchungen durchgeführt worden, mit deren Hilfe weitere Angaben über die Klüftigkeit/Auflockerung des Gebirges gewonnen werden sollten.

So wurden von der GSF in einem im Einfallen des Eisenerzlagers ansteigenden Borhloch mit Hilfe einer Ultraschallsonde Laufzeitmessungen durchgeführt. Dabei ändert sich in Abhängigkeit von der Dichte des Gesteins (bzw. auch seiner Klüftigkeit) die Schallgeschwindigkeit, wobei hohe Geschwindigkeiten auf ein dichtes, unzerklüftetes Gebirge hinweisen und niedrige Geschwindigkeiten auf weiches, lockeres Material bzw. Klüfte/Kluftzonen hinweisen.

Die Ultraschall-Messung der GSF in einem Gebirgspfeiler hat einen grundlegenden Nachteil, der die Aussagekraft dieses Versuches entscheidend beeinträchtigt. Er besteht darin, daß die Laufzeitmessungen in nur einem einzigen Bohrloch vorgenommen worden sind und somit auf keinen Fall repräsentativ sein können für den Gesamtbereich des vorhandenen Grubengebäudes, geschweige denn für die noch aufzufahrenden Einlagerungsfelder.

Eine nähere Betrachtung der Ergebnisse dieser Messungen zeigt, daß die mit Hilfe der Verformungsmessungen aufgezeigten Auflockerungen um den Streckenmantel auch mit dieser Methode festgestellt worden sind. Insbesondere im Bereich 0 bis 15 m liegen die Geschwindigkeiten an 6 Meßpunkten unter 3 km/s, was eindeutig auf eine Zerrüttung des Gebirges bzw. die Ausbildung von Klüften in diesem Bereich zurückzuführen ist. Die Tatsache, daß in diesem Bereich des Bohrloches (d. h. 0 bis 15 m) auch an sechs Punkten hohe Geschwindigkeiten (4,5 bis 5,2 km/s) gemessen worden sind, widerspricht nicht

der Annahme von Auflockerungszonen/Klüften, denn entscheidend ist allein, daß innerhalb des Bohrlochs eindeutige Hinweise auf Zerrüttungszonen/Klüfte gegeben sind. In Hinblick auf die Sicherheit des geplanten Endlagers ist in diesem Fall allein der Nachweis von Zerrüttungszonen/Klüften von Bedeutung (nach dem Prinzip: Eine Kette ist nicht stärker als ihr schwächstes Glied).

Im Bohrlochbereich von 15 bis 25 m tritt eine homogene Geschwindigkeitsverteilung (ca. 3 - 4 km/s) auf, die nach Auffassung der GSF anzeigen soll, daß die wirkenden Spannungsverformungen den Streckenmantel nur bis zu einer Pfeilertiefe von ca. 15 m erfaßt. Diese Interpretation der Meßergebnisse scheint uns so nicht annehmbar. Vielmehr deutet dieses Meßergebnis für den Bohrlochbereich größer 15 m darauf hin, daß das Gebirge dort wohl eine Auflockerung erfahren hat, die jedoch in Form so schmaler Klüfte[1] vorliegt, daß das Meßverfahren keine deutlich abgegrenzten niedrigen Geschwindigkeiten mehr anzeigen kann, d. h. das Auflösevermögen des Meßverfahrens wird unterschritten. Würde die Erklärung des Meßergebnisses nach GSF zutreffen, dann müßten die gemessenen Geschwindigkeiten in diesem Bereich höher sein (bzw. bleibt dann zu fragen, warum im Bereich 0 bis 15 m teilweise wesentlich höhere Geschwindigkeiten beobachtet worden sind).

Fazit: Die von der GSF durchgeführten Ultraschall-Messungen weisen - im Gegensatz zu der Interpretation der GSF - darauf hin, daß sich die Auflockerungszone weiter als 15 m in den Gebirgspfeiler hinein erstreckt. Ebenfalls unverständlich erscheint uns, warum die GSF keine weiteren Messungen durchgeführt hat in Bohrl öchern, die in Richtung der stärksten Auflockerung liegen, d. h. ins Liegende bzw. ins Hangende hinein. Das von der GSF benutzte Bohrloch liegt in einem Bereich, der nachgewiesenermaßen relativ geringe Auflockerungen aufweist.

1 Auch kleinste Klüfte (cm - mm Spaltenöffnung) können u. U. beachtliche Wassermengen leiten

3.3.4. Fernseh-Bohrlochsondierung in Gebirgspfeilern

Ziel dieser Untersuchung der GSF sollte das Feststellen und Einmessen von tektonischen Trennflächen im noch vom Umlagerungsdruck weitgehend unbeeinflußten Gebirge sein. Dazu wurden zwei Beobachtungsbohrlöcher hergestellt, in denen eine Fernseh-Sondierung durchgeführt worden ist.

Im GSF-Abschlußbericht ist leider die genaue Lage der mit 5/83 und 5/82 bezeichneten Bohrlöcher innerhalb des Grubengebäudes nirgendwo angegeben, so daß eine Überprüfung der Versuchsvoraussetzung nicht möglich ist. Unabhängig davon gilt jedoch auch hier, daß diese Untersuchung nicht zu Ergebnissen führen kann, die repräsentativ für das gesamte Grubengebäude bzw. die geplanten Einlagerungsfelder sind. Jedoch zeigen auch diese Untersuchungen, daß bis ca. 23 m (bei 5/82) und ca. 20 m (bei 5/83) Klüfte zu erkennen waren (Bemerkung: tiefer als 23 bzw. 20 m konnten die Untersuchungen nicht durchgeführt werden). Leider hat die GSF bei diesem Versuch versäumt, Angaben über den Auflockerungsgrad (d. h. die Öffnungsweite der Klüfte) zu machen. Gerade diese Angaben sind aber von Interesse bei der Beurteilung des Vermögens der Klüfte, Wasser zu leiten; Mitteilungen über die Beschaffenheit der Kluftwanderungen wurden ebenfalls nicht festgestellt (daraus lassen sich annäherungsweise Reibungswerte ermitteln, die für die Teilbeweglichkeit der Kluftkörper von Bedeutung sind). Von der GSF ebenfalls nur vermutet werden konnte der Durchtrennungsgrad des Gebirges, der wichtige Angaben über die räumliche Vernetzung der Klüfte/Kluftscharen liefert und damit dann Aussagen über die Wasserleitfähigkeit der Klüfte ermöglicht.

3.3.5. Zusammenfassung zu den Kap. 3.3.1. - 3.3.4.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen der GSF zur Ermittlung der Gebirgsauflockerung beispielhaft die Schwachstellen des Teiles des Abschlußberichtes auf, der sich mit der Gebirgsmechanik i. w. S. befaßt. Es werden von der GSF Untersuchungen durchgeführt, die von der Methode her grundsätzlich Aussagen über wichtige Parameter liefern können. Durch die Art und Weise, wie diese Untersuchungen jedoch von der GSF durchgeführt worden sind, verlieren sie wesentlich an Aussagekraft bzw. führen an der Zielvorstellung "Eignungsuntersuchungen für ein Endlager" vorbei.

So ist wohl die Anzahl der Untersuchungspunkte im allgemeinen zu niedrig (1 Punkt bei Ultraschall, 2 Punkte bei Fernseh-Sondierung), als auch die Lage der Untersuchungspunkte oft nicht sinnvoll gewählt (z. B. Ultraschall im Bereich bekannt niedriger Auflockerung). Allgemeingültige Aussagen, die die zu erwartenden Verhältnisse in den geplanten Einlagerungsfeldern zumindest mit großer Wahrscheinlichkeit beschreiben, sind somit nicht möglich. Dazu wären wesentlich mehr Untersuchungspunkte an mehreren verschiedenen Stellen des Grubengebäudes sowie an neu aufgefahrenen Strecken (die dann sofort nach dem bzw. während des Auffahrens beobachtet werden müßten) nötig. Darüber hinaus scheinen die Möglichkeiten der Auswertungen von Messungen nicht ausgeschöpft worden zu sein (z. B. Fernseh-Sondierung).

An dieser Stelle soll noch ein grundsätzliches Problem angesprochen werden, das in Hinblick auf die Sicherheit des Endlagers von großer Bedeutung ist: Nach dem heutigen Wissensstand ist es sehr schwierig, mögliche Wasserbewegungen in Auflockerungszonen zu quantifizieren. Dies gilt insbesondere für den Fall, daß das Grubengebäude ersoffen ist und dann infolge der Konvergenz das Auspressen kontaminierter Lauge über diese Auflockerungszone in Bereiche niedrigen Druckes hin erfolgt. In den Untersuchungen der GSF ist von diesem Problem nirgendwo die Rede. Auch dies erscheint als Zeichen

mangelnden Problembewußtseins in Hinblick auf die für die Sicherheit des Endlagers wichtigen Fragestellungen.

3.3.6. Untersuchungen zur Ermittlung der Spannungszustände im Gebirge

In diesem Abschnitt sollen die Versuche besprochen werden, die im GSF-Abschlußbericht unter den Kapiteln B6.2., B6.3. und B6.4. behandelt werden.

3.3.6.1. Die in-situ Versuche zur Ermittlung der Spannungszustände in vorbelasteten und unvorbelasteten Gebirgen

Ziel dieser Untersuchungen der GSF war die Ermittlung der im Gebirge herrschenden Spannungsverhältnisse. Die dabei gewonnen Kennwerte/Daten bilden eine Grundlage für den Nachweis der Standsicherheit des Grubengebäudes bzw. des zukünftigen Endlagers. Zu diesem Zweck wurden von der GSF folgende Versuche angewandt:

a) Spannungsmessungen mit Bi- und Triaxialzellen
b) Ermittlung von Gebirgsmoduln mit Hilfe der Bohrloch-Aufweitungssonde
c) Hydraulic-fracturing Versuche zur Ermittlung der herrschenden Gebirgsspannungsfelder

zu a) und b):
Hierbei handelt es sich um gebräuchliche gebirgsmechanische Untersuchungsmethoden, deren Ergebnisse nicht infrage gestellt werden sollen. Die Kritik richtet sich hierbei jedoch wiederum auf einen Aspekt, der bei der Betrachtung anderer gebirgsmechanischer Untersuchungen der GSF ebenfalls schon Anlaß zur Kritik war: Sämtliche Versuche sind in einem einzigen, ca. 24 m langen Horizontalbohrloch in der Ortsbrust der Untersuchungsstrecke 672 durchgeführt worden. Darüber hinaus

ist nur noch an einem anderen Ort der Strecke 672 von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe die Versuchserprobung einer Schlitzentlastungs- und Druckkissenbelastungsapparatur durchgeführt worden.

Untersuchungen von Gebirgsspannungen und Gebirgsmoduln an nur einem Meßort reichen nach JACOBI (1976: 91) nicht zur Ermittlung der großräumigen Druck-/Spannungsverteilung innerhalb des gesamten Grubengebäudes aus. Die Ermittlung großräumiger Druckverteilungen/Spannungszustände im Gebirge erfordert vielmehr "eine große Anzahl von Messungen" (JACOBI 1976).

Diese grundlegende Bedingung ist von den Untersuchungen der GSF nicht erfüllt worden. Deshalb kann von einer Gültigkeit der von der GSF ermittelten Spannungszustände/Druckzustände des Gebirges für den gesamten Grubenbereich (geschweige denn für die geplanten und noch aufzufahrenden Grubenfelder) nicht die Rede sein.

Ein Hinweis auf die nur begrenzte Gültigkeit der von der GSF durchgeführten in-situ Messungen ergibt sich aus der Tatsache, daß die entsprechenden in-situ Messungen auf der Teilstrecke 532 abgebrochen werden mußten, da sie keine Ergebnisse brachten. Grund dafür war, daß die Kerne beim Überbohren zerfielen und somit für die Messungen nicht auswertbar waren (S. B6-23). Dieses Zerfallen der Bohrkerne ist möglicherweise Folge einer stärkeren Druckbeanspruchung des Gebirges im Bereich der Strecke 532. Wenn das so ist, dann folgt daraus, daß die Messungen (und die aus den Messungen resultierenden Aussagen) in der Versuchsstrecke 672 z. B. keine Gültigkeit für den Bereich der Strecke 532 haben, die ja Teil des vorgesehenen Einlagerungsfeldes 2 ist.

zu c):
Mit Hilfe dieser Versuche wollte die GSF Angaben über das herrschende Gebirgsspannungsfeld gewinnen. Dazu wurden an drei verschiedenen Orten des Grubengebäudes je zwei 30 m

lange Bohrungen niedergebracht (je eine Bohrung vertikal in die Sohle bzw. horizontal im Streichen des Erzlagers). In diesen Bohrlöchen wurden dann in Intervallen von 1 m durch injizierten Flüssigkeitsdruck Risse im Gebirge erzeugt. Aufgrund der dabei gemessenen Druckgrößen sollen sich Hinweise auf die Spannungen im Gebirge ergeben.

Auf die einzelnen Ergebnisse dieser Versuche und auf die von GSF angebotene Interpretation der Ergebnisse soll hier jetzt nicht näher eingegangen werden, da diese hydraulich-fracturing Versuche in Hinblick auf die letztendlich entscheidenen sicherheitsrelevanten Fragestellungen (hier v. a. langfristige Standfestigkeit des Gebirges) keine belastbaren Aussagen erwarten lassen.

Dies hat zwei Gründe:

- die verwendete Meßapparatur war für die Messungen nicht besonders gut geeignet (Aussage der GSF, S. B6-38). Die Anwendung dieses Verfahrens innerhalb eines Grubenfeldes hat Schwierigkeiten bereitet, da Versuche dieser Art dort zum ersten Mal durchgeführt worden sind.

- für die Auswertung der gewonnenen Druckdaten mußten Annahmen getroffen werden, die (auch nach Aussage der GSF) nicht völlig zutreffen. So ist z. B. die Annahme der Parallelität der Bohrlochachse und einer Hauptspannung in diesem Fall nur als Spekulation zu werten; ebenso kann die Anisotropie bezüglich der mechanischen Festigkeit der Gesteine nicht von vornherein ausgeschlossen werden.

Im Rahmen der Eignungsuntersuchung eines geplanten Endlagers sollten noch nicht ausgereifte Meßverfahren, die keine belastbaren Daten erwarten lassen, wegen der mit Blick auf die erforderliche Sicherheit zu fordernden hohen Qualität der Untersuchungen nicht zur Anwendung kommen. Vom Standpunkt der Erprobung einer neuen Meßtechnik in der Gebirgsmechanik her sind die hydraulic-fracturing Untersuchungen sicherlich

interessant, im Rahmen der Eignungsuntersuchung haben die daraus gewonnenen Ergebnisse keinen Platz.

3.3.6.2. Zu den Laboruntersuchungen an Eisenerzproben zur Ermittlung von Festigkeitseigenschaften und als Scherfestigkeitsverhalten

Anhand dieser im Labor an Gesteinsprobenen des Eisenerzes durchgeführten Untersuchungen hat die GSF verschiedene Gesteinseigenschaften bestimmt (E-Modul, Querdehnungszahl, Druckfestigkeit, Scherfestigkeit), die z. T. für die Berechnung der in-situ gewonnenen Parameter benötigt wurden, aber auch Eingang in die numerische Standsicherheitsanalyse finden.

Auch hier zeigt sich, daß die bearbeiteten Proben nicht in jedem Fall zu repräsentativen Werten für den gesamten Grubenbereich und die noch aufzufahrenden Einlagerungsfelder führen. So stammen alle 12 Proben, an denen E-Modul und Querdehnungszahl bestimmt worden sind, aus der Ortsbrust der Versuchsstrecke 762. Für die Bestimmung von Spannungs- und Verformungsverhalten sowie der Druckfestigkeit wurden ebenfalls nur sieben Proben aus der Pendelbohrung 5/78 (5. Sohle) untersucht. Die Gesteinsproben des für die Standsicherheitsberechnungen sehr wichtigen Parameters Scherfestigkeit stammen aus nicht näher bestimmten Bohrungen von der 4. und 5. Sohle.

Weiterhin sollen jetzt nur die von der GSF an Probekörpern durchgeführten Scherfestigkeitsversuche näher betrachtet werden. Diese Untersuchungen der GSF führen zur Ermittlung der Scherfestigkeit des Gesteines. Entscheidend für die Standfestigkeit des Grubengebäudes ist aber die Scherfestigkeit des Gebirges und nicht die des Gesteins. Die Scherfestigkeit des Gebirges liegt praktisch immer unter der des Gesteins, und ist von vielen Einflüssen abhängig, die bei der Scherfestigkeit von Gesteinen keine oder nur untergeordnete Bedeutung haben (z. B. Häufigkeit, Orientierung und Art der Klüfte,

Kluftbelege, Wasser ...). Es besteht somit die große Gefahr, daß die von der GSF ermittelten Gesteinsscherfestigkeiten den realen Verhältnissen des Gebirgsverbandes nicht gerecht werden.

Darüber hinaus werden die von der GSF durchgeführten Scherversuche dem komplexen Ursache-Wirkungs-Gefüge, das letztendlich die Scherkraft bestimmt, in keiner Weise gerecht. So ist z. B. die Abhängigkeit der Scherfestigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit nicht beachtet worden, da die GSF alle Scherversuche mit einer konstanten Vortriebsgeschwindigkeit von 6 mm/min. gefahren hat. Ebenfalls nicht betrachtet worden ist die mögliche Verminderung der Scherfestigkeit durch den Einfluß von Wasser. Dieser Aspekt ist von besonderer Bedeutung bei der Annahme eines ersoffenen Grubengebäudes. In diesem Fall kommt es durch die Auftriebswirkung des Wassers zu einer Verminderung des "Gewichts" der Fels/Kluftkörper, d. h. letztendlich Erniedrigung der Reibung. Dadurch können sich Größe und Richtung der Spannungszustände ändern und auch die Reibungskomponenten auf den Klüften erniedrigt werden, was Festigkeitsverminderungen zur Folge hat. Reibung und Kohäsion auf Kluftflächen sind darüber hinaus von Zwischenmitteln (wirken z. T. als Schmiermittel) und Glätte der Kluftflächen abhängig. Auch diese Einflüsse sind nicht in dem erforderlichen Maße von der GSF untersucht worden (z. B. im Rahmen der Fernseh-Bohrlochsondierung). Zwar hat die GSF Rauhigkeitsprofile der zu untersuchenden Trennflächen bei den Scherversuchen aufgenommen und behauptet daraufhin, daß zwischen gespaltenen und natürlichen Trennflächen kein erheblicher Unterschied zu erkennen sei (S. B6-46). Leider wird diese Aussage im GSF-Abschlußbericht nicht belegt.

Die festigkeitsmechanischen Laborversuche sind von der GSF weitergeführt und im Bericht GSF-T 165 (1983) vorgestellt worden. Auch bei diesen Versuchen stammen die Proben nur aus einem engbegrenzten Grubenbereich (für ein- und dreiaxiale Druckversuche sowie für indirekte Zuversuche aus der Firste der Strecke 552; für die Scherversuche je drei Proben aus

Kämpfer bzw. Sohle der Strecke 670 sowie des Betriebspunktes 552). Unter diesen Voraussetzungen können die gewonnenen Gesteinsparameter auf keinen Fall als repräsentativ für das gesamte Grubengebäude bzw. die geplanten Einlagerungsfelder gelten. Bereits GLIENKE (1974) weist auf den sehr inhomogenen Aufbau des Erzlagers (am Bsp. der einaxialen Würfeldruckfestigkeit) in der Grube Konrad hin. Die aus der Inhomogenität des Gebirges resultierenden Änderungen der Gebirgsparameter können durch die sehr dürftige Probennahme/Probenauswahl der GSF nicht berücksichtigt werden.

Insgesamt werden durch die Scherversuche der GSF nicht die belastbaren Daten zur Verfügung gestellt, wie sie im Rahmen einer Sicherheitsbetrachtung erforderlich sind. Abgesehen davon, daß die GSF nur die für die Standsicherheit des Gebirges nicht sehr aussagekräftige Gesteinsscherfestigkeit untersucht hat, sind wesentliche Gesichtspunkte nicht betrachtet worden. Insbesondere die Annahme eines abgesoffenen Grubengebäudes und die daraus erwachsenden Folgen für die Standsicherheit des Grubengebäudes werden von der GSF mit keinem Satz erwähnt.

3.3.6.3. Zum rechnerischen Standsicherheitsnachweis

Im Zusammenhang mit der Betrachtung der Standsicherheit des für die Endlagerung vorgesehenen Grubengebäudes werden in Kapitel B6.4.5 des GSF-Abschlußberichtes Annahmen und Voraussetzungen für eine (damals) in Durchführung befindliche Modellrechnung angegeben. Diese Annahmen und Voraussetzungen sind von der GSF so vage formuliert worden, daß eine detaillierte Bewertung nicht möglich ist. Es sollen dennoch einige Fragen hier aufgeworden werden, die sich aus der Lektüre der entsprechenden Seiten B6-53 bis B6-55 ergeben.

So unterscheidet die GSF im Rahmen des rechnerischen Standsicherheitsnachweises zwischen kurzfristiger Standsicherheit und langzeitiger Standsicherheit. Bei der Berechnung der

langzeitigen Standsicherheit sollen nach GSF auch bisher nicht aufgetretene Lastfälle untersucht werden. Es ist aus dem GSF-Abschlußbericht jedoch nirgendwo ersichtlich, welche Lastfälle gemeint sind. Ebenfalls ist die Rede von "relevanten Belastungsfällen" (S. B6-53), die aber auch nicht weiter von der GSF präzisiert werden. Auch von "möglichen Kollapsmechanismen" ist auf S. B6-55 die Rede, ohne daß die GSF ein Wort darauf verwendet, diese näher zu erläutern. Es ist nicht ersichtlich, wie die GSF solche "Belastungsfälle", "Kollapsmechanismen" etc. definiert hat, und wie diese in die Standsicherheitsberechnungen/-Abschätzungen Eingang gefunden haben.

Ein grundsätzliches Problem dieses rechnerischen Langzeitstandsicherheitsnachweises mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode soll noch angesprochen werden: Diese Berechnungen, so exakt sie auch sein mögen, können nie genauer sein als es die eingegebenen Parameter erlauben. Es ist gezeigt worden, daß die GSF wichtige Parameter im Labor bestimmt (v. a. Scherfestigkeit), und daß diese im Labor ermittelten Gesteinsparameter etwas völlig anderes sind als die Gebirgsparameter, die letztendlich das Verhalten des Gebirges bestimmen.

Ein weiterer wesentlicher Kritikpunkt liegt darin begründet, daß die in die Rechnungen eingehenden Substanzparameter nicht repräsentativ sind, und alle Aussagen auf der Annahme gleicher Festigkeitsparameter im Gesamteinflußbereich des Strecken-Pfeiler-Systems beruhen. (Zum Teil fehlen sogar Daten, die dann einfach durch Annahmen ersetzt worden sind - siehe GSF-T 165 (1983: 67)). Aus diesem Grunde sollten die von der GSF durchgeführten Berechnungen sehr vorsichtig in ihrem Wert beurteilt werden; dies v. a. deshalb, weil der Grad der Annäherung der errechneten Werte an die Realität nicht in jedem Fall abzuschätzen ist.

3.3.6.4. Zusammenfassung des Kapitels 3.3.6.

Die von der GSF durchgeführten in-situ Versuche zur Ermittlung gebirgsmechanischer Kennwerte sind in ihrem Wert sehr begrenzt dadurch, daß sie als nicht repräsentativ für das gesamte vorhandene Grubengebäude sowie auch die geplanten Einlagerungsfelder gelten müssen. Insbesondere die hydraulic-fracturing Versuche führen aufgrund ihrer Schwierigkeiten mit der Meßapparatur und nicht sicher begründbarer Annahmen zu nicht belastbaren Daten.

Auch die an Gesteinsproben durchgeführten Laborversuche zur Ermittlung von Gesteinsparametern führen nicht zu repräsentativen Ergebnissen. Die bekannte Inhomogenität des Gebirges wird vernachlässigt, so daß eine vorbehaltlose Übertragung der ermittelten Parameter allein aus diesem Grunde nicht zulässig ist (dies gilt auch für die Benutzung der Parameter beim rechnerischen Standsicherheitsnachweis). Eine vorbehaltlose Übertragung der ermittelten Gesteinsparameter auf das Verhalten des Gebirges ist nicht zulässig.[1]

Darüber hinaus hat die GSF auch in diesen Untersuchungen die möglichen Folgen eines Ersaufens der Grube auf die Standsicherheit nicht betrachtet, eine Vorgehensweise, die im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen für Endlager nicht üblich ist.

Aus den genannten Gründen ist es unverständlich, wie die GSF zu der Aussage kommt, daß alle bisher durchgeführten experimentellen und theoretischen Untersuchungen zur (langfristigen) Standsicherheit der Grube ein positives Ergebnis erkennen lassen, das unter gewissen Annahmen und Festlegungen auf die Standsicherheit eines zukünftigen Endlagers Konrad übertragbar sein werde.

1 so schreibt MÜLLER (1963: 29) man "muß sich eigentlich darüber wundern, welche Mühe immer von neuem auf die Bestimmung solcher Festigkeitswerte an Gesteinen verwendet wird, die ja doch nur auf Werkstücke, niemals auf Arbeiten im Gebirge anwendbar sind"

Allein das Erwähnen "gewisser Annahmen und Festlegungen" sowie "möglicher Kollapsmechanismen" werden der im Rahmen einer Eignungsuntersuchung erforderlichen Sorgfalt und "Tiefe" der Untersuchungen nicht gerecht.

3.4. Die Untersuchungen zur rezenten Tektonik und zur Mikroseismizität des Grubengebäudes

In Kapitel B7 des Abschlußberichtes beschreit die GSF verschiedene Meßmethoden, mit deren Hilfe rezent ablaufende tektonische Vorgänge gemessen und eine seismischen Überwachung des Grubengebäudes vorgenommen werden kann.

Es sind dies:

- die Seismometerstation Konrad, mit der seismischen Vorgänge in der Grube bzw. in der Umgebung der Grube aufgenommen werden können;
- ein Geophonnetz im Grubengebäude, mit dessen Hilfe direkt im Grubengebäude stattfindende seismische Vorgänge aufgenommen werden können;
- Bohrlochgezeitenpendel, die zur Aufnahme aperiodischer und langperiodischer Bewegungen (1 min. -mehrere Jahre) geeignet sind;
- seismische Laufzeitmessungen im Grubengebäude zur Ermittlung der Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Wellen innerhalb des Grubengebäudes.

3.4.1. Die Seismometer-Messungen und die Erdbebengefährdung der Grube

Die aus drei Seismometern bestehende Seismomterstation Konrad hat (parallel zu der Seismischen Station Asse) von Januar 1980 bis Dezember 1981 über 1.200 seismische Ereignisse registriert. Nach Abzug der registrierten Nah- und Fernbeben ver-

blieben 795 Ereignisse, für die keine Ortung durchgeführt werden konnte. Die grundsätzliche Frage dabei ist, ob es sich bei diesen 795 Ereignissen um künstliche Ereignisse (z. B. Sprengungen) handelt, oder um natürliche seismische Vorgänge in der Nähe des bzw. im Grubengebäude.

Zur Klärung dieser Frage hat die GSF die Meßergebnisse statistisch ausgewertet. Dabei zeigt sich, daß es sich bei den erfaßten Ereignissen überwiegend um künstlich ausgelöste Ereignisse handelt. Dennoch bleibt - auch nach Aussage der GSF - ein Rest an natürlichen Ereignissen, der nicht näher zu identifizieren ist.

Diese Schwierigkeit der Unterscheidung natürlicher von künstlichen seismischen Ereignissen bildet das Hauptproblem bei der Interpretation der gewonnenen Daten. Nach GOMMLICH, HENTE & FLACH (1983) läßt sich für die Station Konrad nur mit 60% Wahrscheinlichkeit sagen, daß es zwischen Januar 1980 und Mai 1982 bis auf ein kleines Ereignis keine weiteren seismischen Aktivitäten im Bereich der Grube Konrad gegeben hat. Es bleibt mithin eine relativ hohe Unsicherheit bei der Interpretation der gewonnenen Meßwerte, und es läßt sich nicht ausschließen, daß natürliche seismische Ereignisse im Nahbereich der Grube stattgefunden haben.

Die im Bericht GSF-T 165 (1983) vorgestellten weiteren Untersuchungen beziehen sich vor allem auf die genauere Erfassung der künstlichen Bodenunruhe und den Vergleich der Bewegungsgrößen seismischer Ereignisse unter und über Tage. Ziel dieser Untersuchung ist eine Befreiung der seismischen Signale von der Bodenunruhe, so daß die Interpretation der gewonnenen Daten zu einer größeren Aussagesicherheit führt. Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen, so daß sich die Bewertung der seismischen Untersuchungen des GSF-Abschlußberichtes nicht verändert.

In Zusammenhang mit der Erfassung seismischer Vorgänge im Bereich der Grube werden von der GSF Überlegungen zur Erdbe-

bensicherheit des Grubengebäudes angestellt. Dabei spiegeln die Überlegungen der GSF den auch heute noch geringen Kenntnisstand über die Auswirkungen von Erdbeben auf Bergwerke wider. Nach diesen Kenntnissen sind ganz allgemein Bergwerke (v. a. tiefliegende) weniger gefährdet als oberirdische Bauten. Aus diesen Überlegungen/Kenntnissen heraus folgt für die GSF, daß von einem eventuell stattfindenden Erdbeben für die Sicherheit der Grube Konrad keine Gefahr ausgehe.

Die maximalen Beschleunigungen an der Erdoberfläche brauchen - wie die GSF es auch annimmt - nicht auf den tieferliegenden Grubenbereich übertragen werden. Allerdings müssen sie mit dem oberen Bereich der Schächte in Zusammenhang gebracht werden.

Unserer Meinung nach hätte die GSF zwei Punkte bei ihren Überlegungen zumindest etwas näher betrachten sollen:

- die Möglichkeit von (Gesteins-)verschiebungen (z. B. entlang der Bleckenstedter Störung bzw. des Konrad-Sprunges) bei einem Erdbeben;

- den Einfluß von Erdbeben auf den obersten Schachtbereich. Dies gilt vor allem für den Schacht Konrad II, der mit seinen obersten ca. 30 m durch stark wasserführende quartärzeitliche Sedimente steht. Dort könnte die Zerstörung der Schachtröhre infolge eines Erdbebens zumindestens während der Betriebsphase einen erheblichen Wassereinbruch mit Ersaufen der Grube zur Folge haben.[1]

[1] Es sei hier daran erinnert, daß auch heute noch keine Vorhersagen über Zeit, Ort und Intensität künftiger Erdbeben möglich sind. So wäre z. B. die westliche Schwäbische Alb vor 100 Jahren als erdbebenfrei betrachtet worden; in den letzten Jahrzehnten hingegen treten dort die stärksten Erdbeben der Bundesrepublik auf (SCHNEIDER 1975: 192).

3.4.2. Die mikroseismische Überwachung des Grubengebäudes

Das Stationsnetz für die mikroseismische Überwachung der Grube Konrad besteht aus fünf Stationen, die mit vertikal empfindlichen Geophonen ausgerüstet sind sowie aus drei Stationen, die mit horizontal empfindlichen Geophonen bestück sind. Mit Hilfe dieser Stationen können plötzlich auftretende Entspannungsvorgänge im Gebirge registriert werden.

Die Qualität der Messungen ist v. a. von der Geometrie des Geophonnetzes abhängig. Nach HENTE, GOMMLICH & FLACH (1982) ist eine optimale Ortung ablaufender mikroseismischer Vorgänge nur bei einer räumlich ausgedehnten Verteilung der Geophone gewährleistet. Diese Forderung ist bei dem Geophonnetz in Konrad nach Aussage dieser Autoren nicht erfüllt, was zu beträchtlichen Fehlern bei der Ortung insbesondere der Vertikalkoordinate führt.

Nach Aussage der GSF (S. B7-9) sind in der Grube noch keine Ereignisse registriert worden, die nicht aus bergbaulicher Tätigkeit her stammen. Auch aus dem Deckgebirge sollen noch keine seismischen Ereignisse festgestellt worden sein. Es bleibt fraglich, in welchem Verhältnis diese Aussagen zu der nicht zufriedenstellenden geometrischen Anordnung der Geophone im Grubengebäude stehen. Diese meßtechnisch bedingte Problematik und ihr möglicher Einfluß auf die Meßergebnisse ist von der GSF nicht diskutiert worden.

3.4.3. Die Neigungsmessungen mit Hilfe der Bohrlochgezeitenpendel

Mit Hilfe von drei in der Grube installierten Bohrlochgezeitenpendeln (= Neigungsmesser) will die GSF v. a. Auskünfte darüber erhalten, ob die im Grubengebäude aufgeschlossenen großen geologischen Störungen ihre Bewegungsphase bereits abgeschlossen haben, d. h. zur Ruhe gekommen sind.

Der Aussagewert dieser Untersuchungen ist stark davon abhängig, daß alle drei installierten Neigungsmesser über einen längeren Zeitraum parallel funktionieren. Da jedoch bis zum Erscheinen des GSF-Abschlußberichtes aufgrund gerätetechnischer und anderer Schwierigkeiten eine simultane Registrierung der drei Neigungsmesser nicht möglich gewesen ist, ist der Wert dieser Untersuchungen als gering einzuschätzen. Lediglich für den Neigungsmesser der Station 1 (auf der 5. Sohle) stehen Meßdaten über einen Zeitraum von ca. sechs Monaten zur Verfügung. Eine Interpretation der aus diesem sehr kurzen Zeitraum stammenden Meßdaten ist nicht möglich und mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. So sollen nach FLACH et al. (1975: 90) zur Auswertung solcher Messungen selbst drei Jahre Registrierdauer ein noch kurzer Zeitraum sein.

Das einzig gesicherte Ergebnis der Messungen an Station 1 ist, daß während des Meßzeitraumes der Driftvektor in Richtung SSE zeigt, d. h. in Richtung Bleckenstedter Störung (der Driftvektor steht nahezu senkrecht zum Streichen der Störung) Dies ist gleichzeitig die Richtung auf die alten Abbaue zwischen der 3. und der 4. Sohle hin.

Die Fortsetzung der Arbeiten mit Hilfe der Neigungsmesser (GSF-T 165 1983) ergibt, daß dieses Ergebnis als Folge einer unerwartet hohen Temperaturdrift des Gerätes anzusehen ist. Die neuen Messungen zeigen, daß der Driftvektor jetzt in SSW-Richtung in den Bereich der Vorrichtungsstrecken zwischen 4. und 5. Sohle zeigt.

Darüber hinausgehende Aussagen bzw. Interpretationen müssen aufgrund des Standes der Messungen als Spekulation bezeichnet werden. Deshalb können die bisher durchgeführten Messungen dieser Art für die von der GSF im Abschlußbericht getätigte Eignungsaussage keinen Beitrag liefern. Eine Eignungsaussage muß auf belastbaren Daten beruhen, auf deren Grundlage eindeutige Aussagen möglich sind. Dies ist bei den Messungen mit Hilfe der Bohrlochgezeitenpendel bisher nicht gegeben.

Interessant ist die in GSF-T 165 (1983) beschriebene sprunghafte Versetzung in der Registrierung des Neigungsmessers der Station 1 am 15.10.82. Eine eindeutige Interpretation dieser plötzlichen Neigung des Gerätes in ESE-Richtung ist der GSF nicht möglich. Es könnte sein, daß dieses Ereignis Folge einer tektonisch bedingten sprunghaften Bewegung ist, die mit dem von der GSF vielfach genannten elastoplastischen Gebirgsverhalten u.U.nur schwer in Einklang zu bringen ist.

Zum Schluß sei noch bemerkt, daß im Abschlußbericht der GSF in Kap. B7.2.1 (Meßprinzip und Installation der Gezeitenpendel) im Text zitierte Autoren im Literaturverzeichnis nicht angegeben worden sind - eine in wissenschaftlichen Arbeiten im allgemeinen unübliche Vorgehensweise.

3.4.4. Zu den seismischen Laufzeitmessungen

Mit den von der GSF im Grubengebäude durchgeführten seismischen Laufzeitmessungen lassen sich die Ausbreitungsgeschwindigkeiten elastischer Wellen im Gebirge ermitteln. Die Kenntnis dieser Geschwindigkeiten ist eine Voraussetzung daüfr, daß seismische Ereignisse im Bereich des Grubengebäude räumlich geortet werden können.

Die von der GSF durchgeführten Messungen zeigen, daß innerhalb des vorhandenen Grubengebäudes die Geschwindigkeiten zwischen 3500 m/s und 4300 m/s liegen. Da die Geschwindigkeiten wesentlich vom Durchbauungsgrad des Gebirges abhängen, ist es nicht verwunderlich, daß die höchsten Geschwindigkeiten im nördlichen Teil des Grubengebäudes (Bereich Schacht I), der nur einen sehr niedrigen Durchbauungsgrad aufweist, gemessen wurden. Die niedrigsten Geschwindigkeiten wurden im alten LHD-Feld (mit hohen Durchbauungsgrad und ohne Versatz) gemessen. Im Bereich des geplanten Einlagerungsfeldes 2 zwischen der vierten und der fünften Sohle (Durchbauungsgrad ca. 13%) wurden 3900 m/s ermittelt.

Soweit die Aussagen der GSF sich allein auf die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen beschränken, sind sie trivial und ist ihnen nichts hinzuzufügen. Allerdings handelt es sich bei der von der GSF genannten Übreinstimmung der Geschwindigkeitsmessungen im Einlagerungsfeld 2 mit den Geschwindigkeitsmessungen im Bohrloch der Strecke 542/3 nur um eine rein rechnerische Übereinstimmung, die die verschiedenartige Problematik, die beiden Messungen zugrunde liegt, verkennt bzw. verschleiert.

Wenn man - wie die GSF es getan hat - den Durchschitt der Intervallgeschwindigkeiten für den Bereich 3 bis 17 m des Bohrloches in Strecke 542/3 bildet, dann kommt als Ergebnis tatsächlich eine Schallgeschwindigkeit von ca. 3900 m/s heraus, die mit den 3900 m/s für das Einlagerungsfeld 2 übereinstimmt. Der entscheidende und sicherheitsrelevante Punkt fällt dabei jedoch unter den Tisch. Es handelt sich um die Tatsache, daß in dem Bohrloch auf Strecke 542/3 im Bereich von 3 bis 17 m mehrere Male sehr viel kleinere Geschwindigkeiten gemessen werden, die eindeutig auf Klüfte bzw. Auflokkerungszonen hinweisen. Allein diese Auflockerungszonen/Klüfte sind aber für die Sicherheitsbetrachtung von Bedeutung, da sie die Standsicherheit beeinflussen und potentielle Wasserwegsamkeiten darstellen (vgl. auch Kap. 3.3.3.).

Aus diesem Grunde ist auch folgende Aussage der GSF wertlos: "Ein Vergleich der Laufzeitmessungen läßt erkennen, daß im Feldesteil zwischen der 4. und 5. Sohle größere Auflockerungszonen wie in den ehemaligen Abbaufeldern nicht existieren (S. B7-22). Bezieht man diese Aussage allein auf die Messungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Wellen im Grubengebäude, dann ist ihr zuzustimmen, da völlig eindeutig ist, daß ehemalige Abbaufelder mit hohem Durchbauungsgrad und entsprechend größeren Auflockerungszonen geringere Geschwindigkeiten bei den Messungen ergeben.

Bezieht man diese Aussage jedoch auf den "Kleinbereich", d.h. die Auflockerungszonen im jeweiligen Streckenmantel,

dann führt sie nach sicherheitsrelevanten Gesichtspunkten in die Irre, da - wie oben bereits gesagt - allein die Betrachtung und quantitative Bewertung der Auflockerungszonen um die Strecken die erforderlichen detaillierten und belastbaren Aussagen liefern. So würde sich zum Beispiel eine einzige große "Diskontinuität" in Form einer großen Kluft in den Laufzeitmessungen innerhalb des Grubengebäudes nicht bemerkbar machen, hätte aber dennoch eine große Bedeutung für die Sicherheitsbetrachtungen (z. B. in ihrer Funktion als mögliche Wasserwegsamkeit).

Ein Vergleich nicht miteinander vergleichbarer Messungen mit daraus abgeleiteter Eignungsaussage, wie die GSF das hier prinzipiell getan hat, führt zu einer Fehlbewertung sicherheitsrelevanter/-empfindlicher Punkte.

3.4.5. Zusammenfassung zu Kapitel 3.4.

Es ergibt sich für die Untersuchungen zur rezenten Tektonik und zur Mikroseismik des Grubengebäudes folgendes Bild: zwei der angewandten Meßverfahren ergeben relativ unsichere Aussagen (Seismometer-Messungen) bzw. bis jetzt überhaupt nicht belastbare Aussagen (Bohrloch-Gezeitenpendel); darüber hinaus sind bestimmte sicherheitsrelevante Probleme bei der Betrachtung der Erdbebensicherheit des Grubengebäudes von der GSF nicht ausreichend betrachtet worden.

Die von der GSF durchgeführten Laufzeitmessungen führen zu Ergebnissen, die an sich keines weiteren Kommentares bedürfen. Jedoch ist die Interpretation dieser Ergebnisse unter Zuhilfenahme von Ergebnissen der seismischen Messungen in Bohrlöchern und die daraus abgeleitete Eignungsaussage in der von der GSF durchgeführten Art und Weise nicht statthaft.

Insgesamt sind die durchgeführten Untersuchungen aufgrund der Probleme/Unsicherheiten der Interpretation der Meßergebnisse nur bedingt geeignet, einen Beitrag zur Formulierung einer Sicherheitsaussage zu leisten.

3.5. Zu den bergtechnischen Aspekten des Endlagerbetriebes

3.5.1. Zur Wahl des Kammermodells A

Nach Angabe der GSF (S. C3-15) soll die Entwicklung der Kammermodelle auf der Grundlage bergmännischer Erfahrung und über konservative gebirgsmechanische Sicherheitsanforderungen erfolgt sein. Dabei bleibt jedoch unklar, was die GSF konkret unter konservativen Sicherheitsanforderungen versteht. Von den vier vorgestellten Kammermodellen hat die GSF das Kammermodell A ausgewählt, weil es gegenüber den anderen Modellen günstigere Eigenschaften aufweisen soll.

Nach Angaben der GSF (S. C3-22) soll das Kammermodell A jeweils den individuellen Verhältnissen angepaßt werden (durch Änderung von Anordnung und Querschnitt der Endlagerstrecken) und dadurch auch in Feldesteilen mit geringerer Erzmächtigkeit anwendbar sein; konkrete Aussagen darüber werden von der GSF nicht gemacht. Lediglich auf Seite C3-19 werden Änderungen in Anlehnung an die Kammermodelle B, C und D erwähnt. Inwieweit diese von der GSF zwar angesprochenen aber nicht näher konkretisierten Änderungen des Kammermodells A Einfluß auf den Einlagerungsbetrieb selbst haben (z. B. bei verändertem Querschnitt der Strecke ist eine andere Stapelung nötig - stimmen dann die ausgearbeiteten Einlagerungspläne noch?), ist von der GSF auch nicht betrachtet worden.

Ein Punkt soll hier noch erwähnt werden: Nach Angaben der GSF (S. C 3-19) ist es nötig, zwischen den Einlagerungsstrecken Wetteraufhauen und Wetterbohrlöcher anzulegen (mit d = 0,7 m; d. h. F = 0,38 m²), damit eine ausreichende Bewetterung dieser Strecken gewährleistet ist. Diese Großbohrlöcher sollen in Abständen von ca. 20 m stehen. Dadurch ergeben sich z. B. bei zwei 400 m langen Einlagerungsstrecken ca. 20 solcher Großbohrlöcher mit etwa 7,7 m² Gesamtfläche. Im Abschlußbericht der GSF ist nicht zu entnehmen, was nach Befüllung der Kammern mit diesen die Gebirgspfeiler durchörternden

Hohlräumen geschehen soll (immerhin stellen diese Großbohrlöcher gute Wasserwegsamkeiten zwischen den einzelnen Einlagerungsstrecken dar).

Im Bericht GSF-T 165 (1983: 165) schließlich wird doch ein Versatz dieser Großbohrlöcher vorgeschlagen. Ob dieser Versatz jedoch die Funktion der Großbohrlöcher als bevorzugte Wasserleiter zwischen den Einlagerungsstrecken verhindern kann, muß fraglich bleiben (Versatzprobleme allein dadurch, daß diese Bohrlöcher sehr lang sind - bis 40, 50 m; zur Durchlässigkeit des Versatzes siehe auch Kap. 3.5.2.).

3.5.2. Zum Versatz der Endlagerhohlräume mit besonderer Berücksichtigung der Abschlußdämme

Die Verfüllung größerer Resthohlräume mit Versatzmaterial hat nach Angaben der GSF folgende Aufgaben:

- Minimierung des offenen Resthohlraumvolumens zwecks Reduzierung der Möglichkeit des Eindringens von Sickerwasser (gilt v. a. für Schächte) (S. C3-40)
- Erhöhung der gebirgsmechanischen Stabilität im Verlauf längerer Zeiträume in der Nachbetriebsphase (S. C3-41)
- Eine radionuklid-rückhaltende Aufgabe wird dem Versatz nicht zugesprochen (S. C3-42), da die Streckenzugänge/Kammerzugänge mit absolut dichten Dämmen verschlossen werden sollen.

Im folgenden sollen vor allem die Dämme betrachtet werden, da diesen eine entscheidende Funktion zugeschrieben wird. Der Verfüllung der Resthohlräume in mit Abfall beladenen Einlagerungskammern (Verfüllung der verbleibenden Hohlräume in der Firste, in den Stößen und in den Zwickeln zwischen den einzelnen Abfallgebinden) spielt gegenüber den Dämmen nur eine untergeordnete Rolle; so wird bereits erwogen, keine Zwickelverfüllung durchzuführen (GSF-T 165 1983), da Aufwand zu Wirkung in keinem vernünftigen Verhältnis zueinander stehen sollen.

Die geplanten Abschlußdämme sollen 5 bis 10 m breit werden und in ihrer Dichtigkeit und Qualität dem engeren Streckenmantel entsprechen. Dabei soll die Durchlässigkeit der Dämme während der Betriebsphase kein entscheidendes Kriterium sein, da erst in der Nachbetriebsphase durch die Konvergenz eine Weiterverdichtung erfolgt, durch die der Damm Teil des Mehrfachbarrierensystems werden soll (S. C3-45 GSF-Abschlußbericht).

Die GSF hat verschiedene Materialien auf ihre bodenphysikalischen Kennwerte hin untersucht (Ziel: Optimierung auf eine möglichst geringe Durchlässigkeit hin) und festgestellt, daß ein Material der Körnung 0-32 mm (Eisenerz) ein Optimum darstellen soll. Dieses Optimum ergibt sich im Zusammenhang mit der vorgesehenen Blasversatztechnik, wobei das günstige Verhältnis von Aufwand zu Durchlässigkeit entscheidend für die Auswahl dieses Versatzstoffes war.

Die Untersuchungen über das Versatz- bzw. Dammbaumaterial sind weitergeführt worden (GSF-T 165 1983), wobei die Körnung 0-30 mm (aus Eisenerz) speziell auf ihre Verwendbarkeit als Dammbaustoff geprüft worden ist. Wie die durchgeführten Untersuchungen zeigen, ergibt sich für diese Körnung ein Durchlässigkeitsbeiwert von 1×10^{-6} m/s bei 95% Proctordichte. Dieser Durchlässigkeitsbeiwert bedeutet aber, daß die Dämme nicht wasserundurchlässig sind. Abgesehen davon ist zweifelhaft, ob in der Praxis des zukünftigen Einlagerungs/Versatzbetriebes diese Proctordichte eingehalten wird. Die Durchlässigkeit der Dämme entspricht etwa der eines schluffigen Sandes und ist nach der Bewertung von CASAGRANDE (1937) als "schlecht durchlässig" zu bezeichnen (d. h. die Dämme sind wasserdurchlässig!).

Wie im Bericht GSF-T 165 (1983: 159) bereits angesprochen wird, ist aber auch der ermittelte Durchlässigkeitswert noch mit Vorsicht zu betrachten und als nicht endgültig anzusehen, da während der Versuchsdurchführung Störungseinflüsse nicht zu vermeiden waren (z. B. Sackungen, Verlagerungen von Feinteilen mit nachfolgend höherer Durchlässigkeit).

Dieser Effekt, der in einer Erosion der Feinteilchen besteht, ist für die Beurteilung der Barrierewirkung der Dämme von großer Bedeutung. Das Ausspülen von Feinteilen bei einem beginnenden (und zuerst sehr schwachen) Wasserdurchfluß kann im Laufe der Zeit zu einem vollständigen Zusammenbruch des Grobkorngerüstes mit anschließender schneller Durchströmung des Dammes führen. Solange dieser Effekt nicht zweifelsfrei auszuschließen ist, können die Dämme nicht als wirksame Barriere betrachtet werden.

Die von der GSF angenommene Weiterverdichtung der Schüttdämme infolge der Konvergenz ist nicht quantifiziert worden. So ist bei 95% Proctordichte schon eine sehr dichte Lagerung der Einzelkörner gegeben, und es ist möglich, daß nur noch eine geringe zusätzliche Verdichtung des Hohlraumes infolge der Konvergenz eintritt (Abstützung der einzelnen Körner bis zum Ausgleich des Konvergenzdruckes). Aber selbst wenn die absolute Dichtheit der Abschlußdämme gewährleistet wäre, ist nicht auszuschließen, daß über die Auflockerungszone im Streckenmantel das kontaminierte Wasser um die Dämme herum laufen könnte. Vergleicht man die von der GSF gegebenen Durchlässigkeitsbeiwerte, so zeigt sich, daß die Forderung der GSF, die Schüttdämme sollten in ihrer Durchlässigkeit dem engeren Streckenmantel entsprechen, nicht erfüllt wird. So gibt die GSF für den engeren Streckenmantel einen Durchlässigkeitsbewert von 0,4-1,4 x 10^{-9} m/s an (S. B2-12). Die Schüttdämme hingegen sollen jedoch 1 x 10^{-6} m/s haben (GSF-T 165 1983). Wie in Kap. 2.4.4.2. gezeigt worden ist, ist der Durchlässigkeitsbeiwert der GSF für den engeren Streckenmantel nicht real; es ist davon auszugehen, daß die Durchlässigkeit des Streckenmantels größer ist als von der GSF angenommen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die von der GSF bisher betrachteten Schüttdämme (bzw. -materialien) nicht undurchlässig sein werden[1]. Der Radionuklidtransport wird durch die-

[1] Die Vernachlässigung der Dammwirkung bei den Ausbreitungsrechnungen der GSF wird als konservative Vorgehensweise beschrieben. Es ist dies aber keine konservative Vorgehensweise, wenn die Dämme nicht dicht sind!

se Dämme höchstens verzögert. Eine Quantifizierung der durch die Konvergenz möglichen Weiterverdichtung der Dämme ist von der GSF nicht versucht worden. Ebenso hat die GSF die Möglichkeit des "Umfließens" der Dämme durch die Auflockerungszone im engeren Streckenmantel erst gar nicht betrachtet.

3.5.3. Abschätzung des nach der Verfüllung verbleibenden Restgrubenhohlraumes

Diese Abschätzung ist von Bedeutung für den Fall, daß sich die verbleibenden Resthohlräume bei einem Ersaufen der Grube mit Wasser füllen. Dieses Wasser kann durch den Antriebsmechanismus Konvergenz aus der Grube ausgepreßt werden, wenn Wegsamkeiten zwischen Grube und Biosphäre bestehen (z. B. über nicht absolut dicht verfüllte Schächte - siehe dazu Kap. 3.5.4.). Unter Zuhilfenahme einer Konvergenzrate kann dann sowohl der maximale Volumenstrom als auch die ungefähre Zeitdauer des Wasserflusses ermittelt werden (siehe dazu Kap. 3.2.6 und 3.5.5.).

a) Gesamthohlraum des alten Grubengebäudes: ca. $1{,}6 \times 10^6$ m³
Davon sollen zur Zeit des Ersaufens der Grube ca. 70% bereits durch Konvergenz verschlossen sein.
Als Resthohlraum bleibt: ca. $0{,}4 \times 10^6$ m³

b) Gesamthohlraum der geplanten Einlagerungsfelder:
ca. 1×10^6 m³
Davon sind nach Einlagerung der Abfälle und Resthohlraumverfüllung noch ca. 10% offen.
Als Resthohlraum bleiben: ca. $0{,}1 \times 10^6$ m³

Verbleibender Gesamtresthohlraum aus a) + b):
ca. $0{,}5 \times 10^6$ m³.

Diese ca. $0{,}5 \times 10^6$ m³ Gesamtresthohlraum können bei einem Absaufen der Grube mit Wasser gefüllt werden.

3.5.4. Das Schachtverfüllungskonzept der GSF

Die Schächte Konrad I und Konrad II sind in Hinblik auf die Sicherheit des geplanten Endlagers von besonderer Bedeutung. Diese erwächst aus der Tatsache, daß sie die einzigen direkten Wegsamkeiten vom Grubengebäude durch die Barriere Deckgebirge hindurch in die Biosphäre bzw. das obere Grundwasserstockwerk darstellen[1].

Die Schächte stellen somit potentielle Schwachstellen dar sowohl für das Eindringen von Wasser in das Grubengebäude (siehe dazu Kap. 2.4. : Wasser ist in verschiedenen Bereichen des Deckgebirges in großen Mengen vorhanden), als auch für die Ausbreitung kontaminierten Wassers aus dem abgesoffenen Endlager in die Biosphäre. Aus diesen Gründen ist die wirksame Verfüllung der Schächte nach Abschluß der Betriebsphase des Endlagers für die langzeitige Sicherheit des Endlagers von großer Bedeutung.

Im Abschlußbericht der GSF werden diesem zentralen Problem ganze sieben Seiten gewidmet (zum Vergleich: allein 4 1/2 Seiten für nicht sicherheitsrelevante Genesegrad-/Geoth. Gradient-Untersuchungen). Die GSF schlägt ein Verfüllkonzept vor, das aus vier auf bestimmte Art und Weise miteinander zu kombinierenden Elementen besteht (Fig. 3.5-9, S. C3-72):

a) kohäsive Füllsäulenabschnitte
b) wasserundurchlässige Stopfen
c) standfeste Füllsäulenabschnitte
d) Lockermassenfüllsäulenabschnitte

Das Kernstück des Verfüllkonzeptes der GSF stellen die kohäsiven Füllsäulenabschnitte dar, die neben ihrer Eigenlast auch noch zusätzliche eingeleitete Lasten tragen sollen. Wichtig sind außerdem die wasserundurchlässigen Stopfen von je 10 m Dicke (4 Stück in Konrad II, 3 Stück in Konrad I), die Verbindungen zwischen den einzelnen Grundwasserhorizonten

1 mögliche Ausnahme: die drei im Grubengelände stehenden Tiefbohrungen; dazu siehe Kap. 3.5.5.

verhindern sollen und jeweils von kohäsiven bzw. standfesten Füllsäulenabschnitten getragen werden sollen.

Genauere Aussagen über die Stoffe (und deren Eigenschaften), aus denen die unter a) bis b) genannten Füllsäulenabschnitte hergestellt werden, hat die GSF nicht gemacht. Die einzigen Angaben darüber betreffen die kohäsiven und standfesten Füllsäulenabschnitte sowie die Tonstopfen, jedoch sind diese Angaben nur sehr allgemeiner Natur. So sollen die kohäsiven und standfesten Füllsäulenabschnitte aus einem hydraulisch erhärtenden Füllgut mit einer Mindestdruckfestigkeit von 2 MN/m^2 bestehen, das sein Volumen beim Erhärten nicht verringert und sich beim freien Fall im Schacht nicht entmischt. Für die wasserundurchlässigen Stopfen wird ein Material vorgeschlagen, das seine wasserundurchlässigen Eigenschaften auf die Dauer nicht verlieren soll (z. B. Ton) und auch nach Austrocknung sein Quellvermögen beibehält. Weiterhin wird von der GSF darauf hingewiesen, daß gegebenenfalls der Schachtausbau herausgenommen werden soll und das wasserundurchlässige Material in unmittelbarem Kontakt zu dem Gebirge eingebaut werden soll. Auftretende Auflockerungen im Gebirge sollen mit nicht näher beschriebenen Injektionen geschlossen werden.

Über diese Materialbeschreibungen und Vorschläge doch sehr allgemeiner Art gehen die Aussagen der GSF nicht hinaus. Über die Art und die Eigenschaften der Lockerfüllmassensäule schweigt die GSF sich gänzlich aus.

Einwirkungen auf das Füllgut sind nach HOLLMANN et al. (1976) z. B. gegeben durch

- Änderung der Kornform und Korngröße beim Verstürzen des Füllgutes

- physikalisch-chemische Veränderungen bei Wasserzutritt (z. B. Auslaugung, Ausfällungen, Oxidationsvorgänge)

- möglicher Kornzerfall bei Wasserzutritt (gilt v. a. für die Lockerungsmassenfüllsäulenabschnitte)

- Kornumlagerungen und Erosion von Feinteilen bei Wasserdurchtritt

Eine detaillierte Betrachtung des Verhaltens des Füllgutes kann nur auf der Grundlage genügender Kenntnisse seiner Eigenschaften stattfinden. Eine solche Betrachtung und problembezogene Auseinandersetzung der einzelnen Füllmaterialien und ihres Verhaltens hat die GSF nicht durchgeführt.

Vor diesem Hintergrund müssen nicht zuletzt auch die von der GSF durchgeführten Standsicherheitsberechnungen der kohäsiven Füllsäulenabschnitte gesehen werden. Dabei benutzt sie ein von HARTMANN et al. (1978) vorgestelltes Rechenverfahren zur Standsicherheitsberechnung kohäsiver Füllsäulenabschnitte in gemauerten Schachtabschnitten. Nach Angaben der GSF zeigen die Berechnungen, daß genügend große rechnerische Sicherheiten erreicht werden können. Leider ist der rechnerische Standsicherheitsnachweis der GSF im Detail nicht nachvollziehbar, da die von der GSF angenommenen Schachtimperfektionen[1] nicht angegeben werden.

Weiterhin beruhen die von der GSF ermittelten rechnerischen Sicherheiten auf weiteren Voraussetzungen, deren Erfüllung bei den Schächten Konrad I und II nicht geklärt ist. Es sind dies:

a) genügender Anschluß des Betonformsteinausbaues der Schachtröhre an das Gebirge
b) Vorhandensein der in der Rechnung angesetzten statistisch verteilten Imperfektionen der Schachtwandungen in den Bereichen der kohäsiven Füllsäulenabschnitte

1 Unter Imperfektionen werden bestimmte geometrische Abmessungen des Schachtes verstanden (z. B. lichter Schachtradius, Halbachse des ellipsenförmigen Schachtquerschnittes, die Periode T, von der die Anzahl der Gewölbebrücken abhängt).

Die Erfüllung von Voraussetzung a) ist - auch nach Aussage der GSF - nicht geklärt und soll durch Überprüfungen nachgewiesen werden. Gegebenenfalls soll der erforderliche Anschluß z. B. durch Zementinjektionen hergestellt werden. Es kann somit keine belastbare Aussage über die Standsicherheit der kohäsiven Füllsäulenabschnitte getätigt werden. Bevor nicht das Vorhandensein die Erfüllung von Voraussetzung a) gesicherte Erkenntnis ist, muß jede Aussage über die Standsicherheit der Schachtverfüllung in Hinblick auf die erforderliche Sicherheit als nicht genügend angesehen werden.

Die Erfüllung der Voraussetzung b) ist ebenfalls nicht nachgewiesen. Sie soll nach Aussage der GSF durch das Einmessen der Imperfektionen erbracht werden.

Es muß in dem Zusammenhang noch ein weiteres Problem angesprochen werden, das Bedeutung erlangen kann bei der Berechnung der Sicherheit gegen Abscheren bei Ansatz der Haftscherfestigkeit zwischen kohäsivem Füllgut und Schachtwandung (die soge. Grenzbelastung). Hier hat die GSF ihre Berechnungen ebenfalls nach HARTMANN et al. (1978) durchgeführt, ist jedoch nicht auf einen Vorbehalt eingegangen, der von den genannten Autoren selbst gemacht wird. Dieser Vorbehalt besteht darin, daß es unter Umständen zu Schwindungserscheinungen bei den kohäsiven Füllsäulenabschnitten kommen kann, wodurch die Haftscherfestigkeit zwischen kohäsivem Füllgut und Schachtwandung wesentlich herabgesetzt werden kann.

Grundsätzlich ist nach HARTMANN et al. (1978) bei diesem Verfahren über Umfang und Tiefe der Schachtauskleidung Gleichartigkeit vorausgesetzt, wobei insbesondere die Forderung nach überall gleichem Lastverformungsverhalten des Übergangs Schachtauskleidung - Gebirge sowie des Gebirges selbst erhoben wird. Inwieweit diese idealisierende Voraussetzung in Konrad erfüllt ist, muß zur Zeit offen bleiben und kann erst durch genaue Untersuchungen geklärt werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, daß in den Gebirgsbereichen, in denen kohäsive Füllsäulenabschnitte eingebracht werden sollen, allein

durch die unterschiedlichen anstehenden Gesteinsarten (Tone-Kalke) mit verschiedenen gebirgsmechanischen Verhalten sich ein unterschiedliches Verformungsverhalten des Gebirges ergibt.

Zur Langzeitsicherheit der verfüllten Schächte

Das von der GSF vorgestellte Verfüllkonzept der Schächte Konrad I und II beruht v. a. auf der Voraussetzung, "daß bergbauliche Einwirkungen auf die Schächte zum Zeitpunkt der Verfüllung nicht vorhanden und danach auch nicht zu erwarten sind" (S. C3-67).

Bereits diese Voraussetzung/Bedingung führt zu einer im Sinne der erforderlichen Sicherheit unzulässigen Vereinfachung der Betrachtung und widerspricht anderen Aussagen im Abschlußbericht der GSF. So geht die GSF davon aus, daß die Gesamtsenkungsdauer des oberflächlichen Senkungstroges (und damit letztendlich auch der Bewegung des Deckgebirges) ca. ein bis zwei Jahrzehnte dauern wird (s. S. B5-21). Durch das Auffahren von zusätzlichen ca. 1×10^6 m³ Hohlraum (=die neuen Einlagerungsfelder) wird die Gebirgsbewegung auf jeden Fall über die ca. 20 Jahre Betriebsdauer des geplanten Endlagers hinaus ablaufen, so daß zum Zeitpunkt der Verfüllung der Schächte und auch noch für eine gewisse Zeit danach Einwirkungen auf die Schächte (d. h. hier vor allem auf den Grenzbereich Schachtausbau/Gebirge) vorhanden sein werden.

Schließt man solche Einwirkungen von vornherein aus den Betrachtungen aus - so wie die GSF es getan hat - dann werden natürlich auch die damit zusammenhängenden Probleme ausgeschlossen. Das zeigt sich dann z. B. daran, daß die GSF mögliche Ausbauschäden an den Schächten (d. h. auch mögliche Schäden, die erst in der weiteren Nachbetriebsphase auftreten können) nicht betrachtet hat. Hierbei ist nach FRITZ (1971) v. a. an die längerfristige Einwirkung von Gebirgswasser

(Korrosionsschäden) sowie Kraft- oder Bewegungsbeanspruchungen (durch Abbauwirkung) zu denken (vgl. Kap. 3.1.3.).

Mit Blick auf die erforderliche Langzeitsicherheit der Schächte/Schachtverfüllung hätte die GSF sich eingehend mit der dargestellten Problematik beschäftigen müssen. Diese Problematik (z. T. detailliert behandelt bei FLAKE et al. 1975) führt nach ECKART (1973) dazu, daß ein Schachtausbau ohne Unterhaltung und Verwahrung nur begrenzt haltbar ist, wobei im Laufe der Zeit die Bausubstanz (v. a. Schachtausbau) durch Korrosion mehr oder weniger völlig zerstört wird. Nach ECKART (1973) erfordert die Behandlung dieses Problems Berücksichtigung der

- gebirgsmechanischen Gegebenheiten im Bereich des Schachtes
- Betrachtung der hydrologischen Einflüsse (mit Einfluß auf das Füllmaterial, auf die Standfestigkeit des Gebirges, Einwirkung aggressiver Wässer auf die Füllsäule und auf wasserabdichtende Maßnahmen[1]
- technischer Zustand der Schachtröhre

Zusammenfassung

Das von der GSF vorgestellte Verfüllkonzept für die Schächte hat einen rein modellhaften Charakter und kann nur als Vorschlag für ein mögliches Schachtverfüllkonzept angesehen werden. Die Standsicherheitsberechnungen für die kohäsiven Füllsäulenabschnitte beruhen auf Voraussetzungen, deren Erfüllung

[1] Die Korrosion führt zu einer Auslaugung des Zementsteines, zu Auswaschungen der Zementfugen zwischen den Steinen sowie zur Freilegung der Hinterfüllung und des Gebirges.
Dies ist z. B. von großem Interesse für die Ausmauerung/Abdichtung des Schachtes Konrad II im Bereich des Hilssandsteines (hier stehen große Wassermengen zur Verfügung). Die GSF stellt zwar die Abdichtung dar (Fig. 2.3-4, S. C2-53), äußert sich aber nicht zu der langfristigen Wirksamkeit dieser Abdichtung (zur Aggressivität d. Wässer s. 2.5.2.1.).

bisher nicht nachgewiesen ist. Beide Schächte sind potentielle Wasserwegsamkeiten zwischem dem geplanten Endlager und der Biosphäre und berüfen daher einer äußerst sorgfältigen Untersuchung in Hinblick auf die langfristige Standsicherheit und Wasserdichtheit der endgültigen Verfüllung mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse und möglichen Vorgänge im Grenzbereich Versatz - Schachtwandung - Gebirge. Diese Aufgaben sind durch die Untersuchungen und Berechnungen der GSF im Abschlußbericht nicht gelöst worden.

3.5.5. Die Aufschlußbohrungen im Bereich des Grubengebäudes

Im Zusammenhang mit dem Verfüllkonzept der Schächte soll hier noch ein weiterer Punkt angesprochen werden, auf den eine ähnliche Problematik zutrifft. Es handelt sich hierbei um die drei Tiefbohrungen, die im Bereich des Grubengebäudes Konrad stehen und die als potentielle Wasserwegsamkeiten/Verbindungen Grubengebäude - Biosphäre betrachtet werden müssen.

Im Abschlußbericht der GSF wird lediglich darauf hingewiesen, daß die drei Bohrungen Bleckenstedt 1 und 4 sowie Sauingen 2 im Bereich des derzeit erschlossenen Grubengebäudes stehen. Sie sollen jedoch keine Gefährdung des geplanten Endlagers darstellen, da sie ordnungsgemäß nach der Tiefbohrverordnung verfüllt worden sein sollen (s. Fig. 2.3-5, S. C2-59).

Allein die in Fig. 2.3-5 des GSF-Abschlußberichtes gegebenen Informationen werfen einige Fragen auf. So ist bei Bohrung Bleckenstedt 4 von einer durchgehenden Verfüllung des gesamten Bohrloches nicht zu erkennen; hier ist nur das Bohrlochtiefste durch eine Zementbrücke verfüllt sowie an der Öffnung zur Erdoberfläche hin eine Betonplatte angebracht. Im Bohrloch selbst sind dann nur noch drei Holzstopfen und Düker vorhanden. Weiterhin ist in dieser Bohrung die Angabe von ca. 500 m mächtigen aptzeitlichen Sedimenten anzuzweifeln, da diese Mächtigkeit allen anderen Mächtigkeitsangaben über das Apt im Bereich des Grubengebäudes widerspricht.

Nach Fig. 2.3-5 (S. C2-59) sind die Bohrungen Bleckenstedt 1 und Sauingen 2 in ihrer ganzen Länge verfüllt, wobei jedoch Bleckenstedt 1 in der oberen Hälte nur mit relativ gut durchlässigem Bohrklein/Kernabschlag verfüllt ist. Bleckenstedt 1 weist im Bohrlochtiefsten keine Zementbrücke auf, was gerade dadurch von Bedeutung sein kann, daß diese Bohrung mit ihrem Tiefsten im Dogger steht, wobei der Dogger epsilon (Cornbrash) bekanntermaßen stark wasserführend ist (die genaue stratigraphische Zuordnung der Endteufe ist anhand der Fig. 2.3-5 (S. C2-59 GSF Abschlußbericht) nicht möglich - von den Mächtigkeitsverhältnissen her betrachtet, könnte die Bohrung sich nahe des Cornbrash befinden).

Interessant ist weiterhin die Tatsache, daß die Bohrung Blekkenstedt 4 nach der Fazieskarte Fig. 2.2 -5 (S. B2-37) im Abschlußbericht der GSF im Bereich der sandigen Fazies der Albbasis stehen müßte (Hilssandstei) und dadurch dort auch größere Wassermengen anfallen könnten. Die von der GSF angeführte Behauptung, daß sich in den Bohrprotokollen kein Hinweis auf wasserführenden Hilssandstein findet, muß nicht zwangsläufig bedeuten, daß es ihn dort nicht gibt. (Immerhin ist die Bohrung im Bereich des Hilssandsteines mit Holzstopfen und Düker verfüllt.)

Insgesamt gewinnt man den Eindruck, daß die GSF es sich bei der Behandlung dieser potentiellen Wasserwege zwischen Endlager und Biosphäre durch die Barriere Deckgebirge zu leicht gemacht hat. Es ist nicht zu erkennen, woher die GSF ihr vorbehaltloses Vertrauen auf die langfristige Funktion der Bohrlochverfüllungen nimmt (z. B.: woher nimmt die GSF die Gewißheit, daß die Bohrlochstopfen aus Holz im Laufe der Zeit nicht verrotten?).
Im Rahmen der Eignungsuntersuchung für ein geplantes Endlager ist eine solche Vorgehensweise sehr fragwürdig. Nicht umsonst wird in den Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk (RSK 1983) gefordert, daß Bohrungen in einem möglichen Endlagerbereich auf ein Minimum beschränkt werden sollen und um solche Bohrungen beim Auffah-

ren des Endlagerbergwerkes Sicherheitsfesten einzuhalten sind. Es bleibt zu fragen, ob in Konrad diese Bedingung eingehalten wird.

3.5.6. Anhang: Abschätzung der durch Konvergenzdruck möglicherweise entlang des Bereiches Schachtwandung/Gebirge mobilisierbaren Wassermengen

Mit den hier durchgeführten Abschätzungen soll gezeigt werden, welche Wassermengen möglicherweise über die Schwächezone Schachtwandung/Gebirge (s. Kap. 3.1.3. und 3.5.4.) aus dem Bereich der Grube in das oberse Grundwasserstockwerk gelangen können.

Ausgangspunkt der Betrachtung ist ein abgesoffenes Endlager, bei dem die Konvergenz noch nicht zum Abschluß gekommen ist. Das Auspressen des kontaminierten Wassers geschieht über die Schwächezone Schachtwandung/Gebirge, wobei aus Gründen der Vereinfachung angenommen werden muß, daß sich das Wasser im Bereich der Schwächezone durch viele parallel zueinander verlaufende enge Röhren bewegt.

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit v ergibt sich dann für laminares Fließen nach HAGEN-POISEUILLES mit

$$v = \frac{\Delta p}{s \times \Delta L} \times \frac{d^2}{32 \times Z} \quad m/s$$

wobei: Z = kinematische Viskosität (angenommen: 1×10^{-6} m^2/s)

S = Dichte des Wassers (angenommen: 1000 kg/m^3)

ΔL = Weglänge (= Röhrenlänge; angenommen: 1000 m)

Δp = zur Verfügung stehender Druck ($137 \times 10^5 N/m^2$)[1]

d = Durchmesser der Röhren; angenommen:

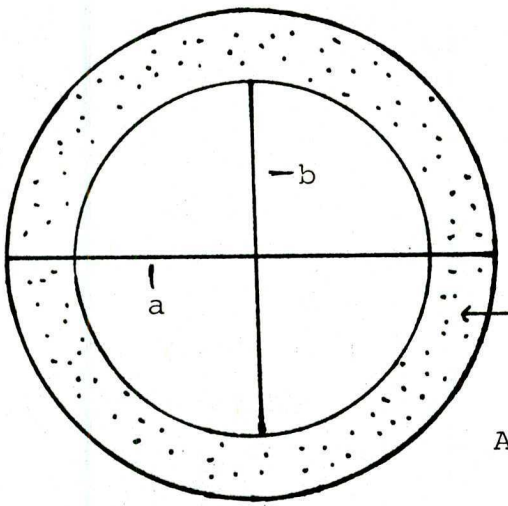
[1] Dieser Druck steht als Antrieb zur Verfügung, nachdem sich die 1000 m lange Wassersäule bereits aufgebaut hat. Der Anfangsdruck liegt erheblich höher (ca. 235×10^5 N/m^2). Der wirkende Gebirgsdruck ist nur angenähert berechnet; die exakte Berechnung bei geneigter Lagerung wird nach KRATZSCH (1974: 16) durchgeführt. Die Unterschiede sind im gegebenen Fall gering.

Fall 1: d = 0,5 mm (ca. Mittelsand)
Fall 2: d = 0,05 mm (ca. Grobschluff)
Fall 3: d = 0,005 mm (ca. Feinschluff)
Fall 4: d = 0,002 mm (unterhalb der Feinschluffgrenze)

Es ergeben sich folgende mittleren Strömungsgeschwindigkeiten:

Fall 1: v = 8640 m/d
Fall 2: v = 86 m/d
Fall 3: v = 0,86 m/d
Fall 4: v = 0,15 m/d

Die Ermittlung der mobilisierten Wasermengen erfolgt auf der Annahme, daß die Auflockerungszone um den Schacht eine Breite von 1 m hat.[1] Der um den Schacht beschriebene Kreisring hat dann eine Fläche von ca. 30 m² (s. Abb. 3.2.).



$$F = \frac{\pi}{4}(a^2 - b^2) \qquad \begin{matrix} a = 10\ m \\ b = 8\ m \end{matrix}$$

Abb. 3.2.

Weiterhin wird davon ausgegangen, daß von der Gesamtfläche von 30 m² ca. ein Drittel als "wirksame Auflockerungszone" für den Transport zur Verfügung steht (d. h. ca. 10 m²). Dabei soll von der "wirksamen Auflockerungszone"

a) 30% aus Röhren bestehen (entspricht ca. 3 m²)
b) 10% aus Röhren bestehen (entspricht ca. 1 m²)

1 HOLLMANN et al. (1976: 79) nehmen für ihre Berechnungen ebenfalls eine Auflockerungszone von 1 m Breite um die Schachtaußenwand an.

Ergebnisse:

Fall 1:	a)	26.000 m^3/d transportiertes Wasser
	b)	8.640 m^3/d transportiertes Wasser
Fall 2:	a)	260 m^3/d transportiertes Wasser
	b)	86 m^3/d transportiertes Wasser
Fall 3:	a)	2,6 m^3/d transportiertes Wasser
	b)	0,9 m^3/d transportiertes Wasser
Fall 4:	a)	0,5 m^3/d transportiertes Wasser
	b)	0,2 m^3/d transportiertes Wasser

Aus der durchgeführten Abschätzung wird deutlich, daß über eine nur kleindimensionierte Schwächezone im Bereich Schachtwandung/Gebirge beträchtliche Wassermengen bewegt werden können. Eine Begrenzung erfährt die Menge des ausgepreßten Wassers allein dadurch, daß nicht mehr Wasser entlang der Schwächezone hochgedrückt werden kann, als durch die Konvergenz im Grubengebäude verdrängt wird. Immerhin zeigt ein Vergleich der hier für die Fälle 3 und 4 ermittelten Volumina mit denen in Kap. 3.2.6. ermittelten eine größenordnungsmäßige Übereinstimmung.

Der Fall 1 braucht nicht weiter betrachtet zu werden, da die ermittelten Mengen durch die Konvergenz nicht ausgepreßt werden können; darüber hinaus wird in diesem Fall die kritische Raleigh-Zahl überschritten.

Diese Abschätzung erhebt keinen Anspruch darauf, eine mögliche zukünftige Realität genau zu beschreiben; sie soll jedoch zeigen, daß unter den gegebenen Annahmen ein Transport beträchtlicher Mengen kontaminierten Wassers aus dem abgesoffenen Endlager entlang einer Schwächezone Schachtwandung/Gebirge möglich ist. Das Vorhandensein eines solchen Transportweges darf solange nicht ausgeschlossen werden, wie die Existenz einer solchen Schwächezone nicht eindeutig widerlegt ist.

3.6. Zusammenfassende Bewertung

Die aus den von der GSF zur Beurteilung der geomechanischen Eigenschaften des Gebirges durchgeführten Untersuchungen abgeleitete positive Teilaussage in Hinblick auf die grundsätzliche Eignung der Grube Konrad für die Endlagerung readioaktiver Abfälle ist aus verschiedenen Gründen in der dargebotenen Form nicht nachvollziehbar:

- Die Ergebnisse sehr vieler Untersuchungen insbesondere zur Ermittlung gebirgsmechanischer Parameter sind nicht repräsentativ sowohl für den gesamten bestehenden Grubenbereich als auch für die geplanten und noch aufzufahrenden Einlagerungsfelder. Eine begründete Eignungsaussage für die bestehende Grube und die geplanten Einlagerungsfelder ist somit nicht möglich. Es bleibt unverständlich, weshalb nicht die vorhandenen Möglichkeiten der weiträumigen Untersuchung des gesamten zur Zeit bestehenden Grubengebäudes genutzt worden sind, um somit zumindest die Bandbreite der Inhomogenität des Gebirges zu erfassen. Darüber hinaus ergibt sich der Eindruck eines fehlenden Problembewußtseins hinsichtlich des grundlegenden Unterschiedes von Gebirgs- und Gesteinseigenschaften. Die im Abschlußbericht der GSF weitgehend undifferenzierte Übertragung von Gesteinseigenschaften auf das Gebirge führt im allgemeinen zu an der Realität vorbeigehenden Aussagen.

- Fragestellungen, denen große Bedeutung für die Beurteilung eines Endlagers zukommt, sind in nicht ausreichender Weise behandelt worden. Hierbei ist insbesondere an Fragen der Langzeitsicherheit der Schächte und die Behandlung des Problemkreises Konvergenz gedacht.

- Manche der von der GSF benutzten Untersuchungsmethoden sind zur Mitbeurteilung der Endlagersicherheit nicht geeignet, da die aus ihnen gewonnenen Meßergebnisse zumindest bisher nicht in der erforderlichen Weise belastbar

bzw. eindeutig in ihrer Aussage sind. Dies gilt z. B. für die hydraulic-fracturing Versuche und die Versuche zur rezenten Tektonik.

Insgesamt werden die für die Sicherheitsbeurteilung eines Endlagers für radioaktive Abfälle erforderlichen hohen Ansprüche nicht erfüllt.

3.7. Literaturverzeichnis

CASAGRANDE, A. (1937): Seepage through dams. - Journ. of New England Water Works Assoc., Vol. 51 (2), S. 131 - 172, Boston (Mass.).

DIN 4030 (1969): Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. - Deutscher Ausschuß für Stahlbeton im Deutschen Normenausschuß.

ECKART, D. (1973): Ergebnisse von Untersuchungen über Schäden an stillgelegten Begwerksanlagen. - Freiberger Forschungshefte, A526, 104 S., 52 Bilder, 3 Tab.; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.

EGT (1978): Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung, Jahresbericht 1978, 97 S., GSF München u. KFK Karlsruhe.

EHRHARDT, W & SAUER, A. (1961): Die Vorausberechnung von Senkung, Schieflage und Krümmung über dem Abbau in flacher Lagerung. - Bergbauwissenschaften, 8 (18), S. 415-428, Goslar.

FLACH, D. et al. (1975): Ergebnisse von Langzeitregistrierungen mit Askania-Bohrlochneigungsmessern - Vergleichende Analyse hinsichtlich der Gezeitenparameter und langperiodischer Anteile sowie instrumentelle Untersuchungen. - Dt. Geodät. Kom. bei der Bayer. Ak. d. Wiss., Reihe B: Angewandte Geodäsie, Heft 211, S. 72-95; Verlag d. Bayer. Ak. d. Wiss., München.

FLACKE, R. et al. (1975): Das Problem aufgegebener Tagesschächte. - Mitt. d. Westfäl. Berggewerkschaftskasse, 31, 238 S., 22 Abb., Bochum.

FRITZ, W. (1971) Ausbauschäden an Schächten im standfesten Gebirge. - Glückauf-Forschungshefte, 32 (2), S. 53-64, Essen.

GLIENKE, G. (1974): Umstellung des Abbauverfahrens auf der Schachtanlage Konrad der Salzgitter Erzbau AG auf eine Technologie mit gleislosen diselgroßmaschinen.- Erzmetall, 27 (11), S. 517-526, Stuttgart.

GLIENKE, G. (1976): Ankerausbau in Strecken unter Abbauwirkung auf der Eisenerzgrube Konrad. - Glückauf, 112 (4), S. 164-168, Essen.

GOMMLICH, G., HENTE, B. & FLACH, D. (1983): Messungen zur Erdbebensicherheit von Endlagerbergwerken. - Kali u. Steinsalz 8 (10), S. 348-351, Essen.

GSF-T 165 (1983): Aktuelle Ergebnisse der laufenden F+E-Arbeiten in der Schachtanlage Konrad zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, 192 S., GSF München.

HARTMANN, G. et al. (1978): Sicherheit an verfüllten Schächten II - Rechnerische Erfassung des Einflusses der Größe von Kohäsion, Adhäsion und Länge kohäsiver Füllsäulenabschnitte in Verbindung mit den Festigkeitseigenschaften und den Auflagerrandbedingungen der Schachtauskleidung. Mitt. d. Westfäl. Bergewerkschaftskasse, 34, 129 S., Bochum.

HENTE, B., GOMMLICH, G. & FLACH, D. (1982): Mikroseismische Überwachung von Bergwerken zur Tieflagerung radioaktiver Abfälle. - Glückauf-Forschungshefte, 43 (2), S. 58-62, Essen.

HOLLMANN, F. et al. (1976): Sicherheit an verfüllten Schächten I - Untersuchung der Änderung von Korngrößen und Kornform verschiedener Füllgüter beim Verstürzen in tiefe Schächte, besonders in Hinblick auf die Standsicherheit der Füllsäule. - Mitt. d. Westfäl. Berggewerkschaftskasse, 33, 134 S., 57 Abb., Bochum.

JACOBI, O. (1976): Praxis der Gebirgsbeherrschung. - 496 S., Verlag Glückauf Essen.

KRATZSCH, H. (1969): Zur Vorausberechnung der Abbaueinwirkung auf Schächte. - Bergb. Wiss., 16 (4), S. 127-137, Goslar.

KRATZSCH, H. (1974): Bergschadenskunde. - 582 S., 262 Abb., 33 Taf., 20 Bilder, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

LAUTSCH, H. (1974): Die erweiterte Trogtheorie zur Deutung bergbaulich bedingter Bodenbewegungen. - Glückauf-Forschungshefte, 35 (5), S. 167-173, Essen.

LÜTGENDORF, O. (1974): Konvergenz der Grubenräume im elastischen Gebirge bei Gebirgsdruckschwankungen. - Glückauf-Forschungshefte, 35 (5), S. 179-188, Essen.

MÜLLER, K. (1972): Zeitabhängige Spannungsumlagerungen beim Felshohlraumbau, 90 S., Diss. TU Braunschweig.

MÜLLER, L. (1963): Der Felsbau, 1. Bd., 642 S., 307 Abb., 22 Taf., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

PFLÄGING, K. & LAUTSCH, H. (1978): Auswirkungen des Durchbauungsgrades auf die Bildung von Senkungströgen und auf die Spannungszustände von Pfeilern. - Glückauf-Forschungshefte, 39 (6), S. 247-251, Essen.

PSE (1981): Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung - Zusammenfassender Zwischenbericht, Okt. 1981, Berlin.

RSK (1983): Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission auf ihrer 178. Sitzung am 15. Sept. 1982: Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. - Bundesanzeiger, 35 (2), 5.1.83, Bonn.

SCHNEIDER, G. (1975): Erdbeben, Entstehung - Ausbreitung - Wirkung. - 406 S., 100 Abb., 35 Tab., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

4. Abfalltechnische Gesichtspunkte für das Endlager

4.1. Einleitung und Grundsätzliches

Der folgende Teil der Untersuchung bezieht sich im wesentlichen auf den Abschnitt D1 (Abfalltechnische Gesichtspunkte für das Endlager) des GSF-Abschlußberichtes. An einzelnen Punkten müssen jedoch auch noch andere Teile des Berichts betrachtet werden, da auch an anderen Stellen abfalltechnische Gesichtspunkte eingeführt werden (v. a. im Abschnitt Sicherheitsbetrachtungen). Zusätzlich wird in einem Exkurs die Radiolysegasbildung behandelt.

Die GSF stellt in der Einleitung zu Abschnitt D1 fest, daß "für die Erstellung von Transportkonzepten, die Abschätzung der Kapazität des Endlagers und für Sicherheitsbetrachtungen ... eine Beschreibung der Abfälle nach Art und Menge notwendig" ist. Im folgenden wird in einem ersten Teil untersucht, ob der GSF-Abschlußbericht diesen Anspruch einlösen kann. Die Schwerpunkte liegen dabei auf der Beschreibung der Abfälle und ihrer Radionuklidgehalte (D1.1.1 bis D1.1.3) den Qualitätssicherungsmaßnahmen (D1.1.6) sowie dem Mengenaufkommen (D1.2.1 bis D1.2.3).

Der GSF-Abschlußbericht beschränkt sich auf die Untersuchung und Betrachtung schwachaktiver Abfälle aus Kernkraftwerken, Landessammelstellen, Forschungszentren und der kerntechnischen Industrie, dazu auf die Abfälle aus dem Abriß kerntechnischer Anlagen (v. a. KKW's) (s. D1-1). Obwohl in der Einleitung schwachaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung genannt werden (D1-1), wird später nur der Abfall aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (und zwar bei Forschungszentren, da die mittel- und schwachaktiven Abfälle der WAK im Kernforschungszentrum Karlsruhe verfestigt werden) erwähnt; Abfälle aus der geplanten großtechnischen WAA (WA-350) werden nicht betrachtet. Dennoch sollen derartige Abfälle nach Presseberichten (HAZ 1982) und nach Aussage der PTB (LANDTAG 1982 b) zur Einlagerung vorgesehen sein. Konkrete Einlagerungsbedingungen sollen jedoch erst im Laufe des Ge-

nehmigungsverfahrens formuliert werden (LANDTAG 1982 a, LANDTAG 1982 b).

Unter anderem aus diesem Grund erschien es notwendig, in einem zweiten Teil den Versuch zu unternehmen, eine möglichst vollständige Datenbasis zur Beschreibung der Abfälle und ihres Mengenaufkommens zu erstellen. Auf diese Datenbasis wird auch in anderen Teilen dieses Gutachtens für Kontroll- und Gegenrechnungen zurückgegriffen.

4.2. Kritik des Abschnittes D1 des GSF-Abschlußberichtes (Abfalltechnische Gesichtspunkte für das Endlager)

In den folgenden Kapiteln wird so vorgegangen, daß zunächst der Inhalt des GSF-Abschlußberichtes kurz referiert wird, dann die Kritikpunkte diskutiert werden und zum Abschluß auf noch offene Fragen hingewiesen wird.

4.2.1. Beschreibung der Abfälle

Dieses Kapitel bezieht sich auf die Abschnitte D1.1.1 bis D1.1.3 des GSF-Abschlußberichtes.

In D1.1.1 werden die schwachaktiven Abfälle aus Kernkraftwerksbetrieb, Forschungszentren, Landessammelstellen und der kerntechnischen Industrie beschrieben, jeweils mit Herkunft und zum Teil Radionuklidgehalt. Bei Abfällen aus dem Kraftwerksbetrieb werden Bandbreiten für den Aktivitätsanteil der Nuklide Mn-54, Co-60, Cs-134, Cs-137 und Sr-90 (in %) angegeben (Tab. 1.1-1), da die Angaben "je nach Herkunft und Kraftwerkstyp relativ stark schwanken". Durchschnittswerte werden nicht genannt.

Abfälle aus den Forschungszentren werden am Beispiel des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK) charakterisiert. Dabei werden zum einen Bandbreiten angegeben (Tab. 1.1-2), dazu

die Mittelwerte der im Jahre 1978 in der Schachtanlage Asse eingelagerten Abfälle aus dem KfK. Das Abfallaufkommen der Kernforschungsanlage Jülich (KFA) wird als sehr ähnlich beschrieben.

Für die Landessammelstellen sowie die kerntechnische Industrie wird nur die Herkunft der Abfälle beschrieben, der GSF-Abschlußbericht liefert keine Zahlenangaben.

Zusammenfassend ist zu kritisieren, daß die Angaben der GSF in keiner Weise geeignet sind, das klare Bild über die einzulagernden Radionuklide und ihre Mengen zu schaffen, das für Strahlenschutz- und Sicherheitsbetrachtungen notwendig ist. Die übliche Klassifikation in hoch-, mittel- und schwachaktive Abfälle (vgl. z. B. HAUG 1975) berücksichtigt bei festen Abfällen nur die Dosisleistung an der Oberfläche, die durch die eingeschlossenen Radionuklide verursacht wird. Die Dosisleistung wird wesentlich durch die Abschirmung der Behälter bestimmt und ist damit in Grenzen steuerbar. Dieses Klassifikationskonzept ist vor allem auf Transport und Handhabung zugeschnitten. Für Aussagen über die Langzeitsicherheit ist es unbrauchbar, da es wichtige Parameter wie beispielsweise Nuklidspektrum, chemische Bindungsverhältnisse, Halbwertszeiten (und damit Lebensdauern) und Radiotoxizität nicht enthält.

Es ist daher notwendig, einen neuen Klassifikationsansatz zu entwickeln, der diese und weitere Parameter enthält. Obwohl solche Ansätze vor Abschluß des GSF-Abschlußberichtes vorlagen (ILLI 1981) und an anderer Stelle auch Eingang gefunden haben (S. D1-1) wird bei der Abfallbeschreibung kein Bezug auf sie genommen.

Weiterhin fällt auf, daß da, wo Zahlenangaben über die Radionuklidverteilung genannt werden, diese Angaben offenbar nur mit Blick auf die Dosisbelastung bei der Einlagerung gemacht werden. Es werden nur Nuklide genannt, die kurze Halbwertszeiten (<1 ... 30 a) haben, nicht jedoch die Nuklide, die

die Langzeitgefährlichkeit des Endlagers bestimmen (z. B. J-129, Tc-99, ...) Ausnahme ist die Angabe für Pu in Tab. 1.1-1 (zu diesem Komplex vgl. auch Kapitel 6.2.3.3.).

Da für das Nuklidspektrum nur Prozentzahlen angegeben werden, ist es ohne die Einführung zusätzlicher (im Bericht nicht genannter) Randbedingungen und Annahmen (z. B. max. Aktivität pro Abfallgebinde) nicht möglich, Absolutangaben über die Menge eines Radionuklids in einem Abfallgebinde oder im Endlager nach Abschluß der Einlagerung zu machen. Ausnahme sind Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken, bei denen das durch Kombination der Tabellen Tab. 1.1-1 und Tab. 1.2-1 (s. D1-22) möglich ist. Interessanterweise wird dort, wo solche Angaben benötigt werden, von den GSF-Autoren keinerlei Bezug auf Abschnitt D1 genommen.

Die Unbrauchbarkeit des Datenmaterials ist umso unverständlicher, als den GSF-Bearbeitern offenbar eine Untersuchung der PTB (ILLI 1981) vorgelegen hat - sie wird jedenfalls in der Einleitung zitiert (D1-3) - die detaillierte Angaben über Nuklidinhalte von Abfallgebinden aus Wiederaufarbeitung, Kraftwerksbetrieb, Landessammelstellen und Forschungsanlagen enthält. Es ist unverständlich, warum diese Angaben nicht für die Beschreibung der Abfälle benutzt wurden, zumal sie an anderer Stelle des GSF-Abschlußberichtes, bei den Störfallanalysen (D5-9 ff.), durchaus verwendet werden.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt für die Langzeitsicherheit des Endlagers, der durchgängig fehlt, ist das Vorkommen bestimmter nichtradioaktiver Substanzen im Abfall. Hier sind vor allem mögliche Komplexbildner (z. B. Oxalate, Tartrate, EDTA ...) von besonderer Wichtigkeit, da sie die Wanderungszeit von Radionukliden aus dem Endlager in die Biosphäre erheblich verkürzen können (genaueres dazu in Kapitel 6.2.3.2).

In Abschnitt D1.1.2 des GSF-Abschlußberichtes werden Abfälle aus der Stillegung von Kernkraftwerken beschrieben. Zunächst wird die Herkunft der Abfälle, getrennt nach Primär- und Se-

kundärabfällen, angegeben. Als wichtigste Nuklide werden Mn-54, Fe-55, Ni-59, Co-60 und Ni-63 genannt. Ein Diagramm zeigt das Abklingverhalten der gesamten Stillegungsabfälle eines 1300 MWe-SWR (Abb. 1.1-1). Eine Unterteilung dieser Abfälle in drei Aktivitätsgruppen wird übernommen ($> 3 \times 10^{-4}$, 10^{-8} ... 3×10^{-4}, $< 10^{-8}$ Ci/g) und die zweite und die dritte Kategorie als äquivalent zu schwachaktiven Abfällen betrachtet.

Auch hier ist das angegebene Datenmaterial wieder unvollständig. Da das Diagramm nur das Gesamtinventar aus dem Abriß eines 1300 MWe-SWR zeigt, ist es nicht möglich, direkte Rückschlüsse auf die Inventare einzelner Abfallgebinde zu ziehen. Auch auf Umwegen ist das nur mittels zweifelhafter Zusatzannahmen (z. B. Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Reaktorleistung und Abfallmenge) möglich, da die im GSF-Abschlußbericht genannten Mengenangaben (Tab. 1.1-3) sich auf einen 770 MWe-SWR beziehen.

Immerhin kann im Gegensatz zu vorher ein Gesamtinventar angegeben werden, wenn man annimmt, daß das gesamte Abrißinventar in Schacht Konrad eingelagert werden soll.

Auch in diesem Abschnitt ist offenbar das Blickfeld der GSF-Bearbeiter auf die Einlagerungsphase begrenzt gewesen, da das Diagramm des Abklingverhaltens bei 40 a endet und daher keine Angaben über die Langzeitgefährlichkeit der Abfälle macht.

Kapitel D1.1.3. diskutiert als mögliche Einlagerungsbedingungen die für die Einlagerung im Salzbergwerk Asse (ASSE 1975) aufgestellten und ihre Auswirkungen auf die Maximalinventare einiger Nuklide (H-3, Rn-220, Rn-222, α-Strahler). Angemerkt werden muß an dieser Stelle, daß die angegebenen Grenzwerte (200 mrem/h an der Oberfläche eines Gebindes, 10 mrem/h in 1 m Abstand) für den Regelfall gelten und bei bis zu 10 % der Abfallgebinde (aber nicht bei Verlorenen Betonabschirmungen (VBA)) bis zum fünffachen überschritten werden dürfen.

Leider werden Angaben nur für ein Nuklidgemisch und die oben genannten Nuklide gemacht, so daß auch hier die Datenbasis nicht als ausreichend betrachtet werden kann. Zusätzlich ist der Stellenwert der Betrachtungen der GSF unklar. Da die Festlegung von Grenzwerten für die Aktivitätsinventare ausdrücklich dem Genehmigungsverfahren vorbehalten wird (S. D1-10) und nicht einmal Empfehlungen ausgesprochen werden, erscheint dieser Abschnitt eher als Beispielrechnung.

Der in Abschnitt D.1.1.4 vorgestellte Klassifizierungsansatz ist weitgehend identisch mit einem von der PTB vorgestellten Ansatz (ILLI 1981) und wird für diese Studie übernommen. Er kennzeichnet die Herkunft der Abfälle mittels Buchstaben. Die Art des Abfalls wird mittels Zahlen bezeichnet (Aktivität, Verfestigungsmittel). Eine vierte Codestelle wird zum Durchnummerieren sonst gleichartiger Abfälle benutzt. Folgende Schlüssel gelten:

Herkunft:

W	Wiederaufarbeitung
K	Kernkraftwerk
F	Forschungseinrichtungen
L	Landessammelstellen
I	Industrie
S	Stillegung

Aktivität:

1	hochaktiv
2	mittelaktiv, wärmeproduzierend
3	mittelaktiv, kalt
4	schwachaktiv

Verfestigungsmittel:

1 Glas
2 Zement
3 organisches Verfestigungsmittel (z. B. PVC)
4 verpreßt

Beispiel:
W441 verpreßter, schwachaktiver Abfall aus der Wiederaufarbeitung

4.2.2. Qualitätssicherungsmaßnahmen

Abschnitt D1.1.6. des GSF-Abschlußberichtes befaßt sich mit den Qualitätssicherungsmaßnahmen. Ziel dieser Maßnahmen ist "die Kontrolle auf Einhaltung der Annahmebedingungen des Endlagers" (S. D1-19).

Die Durchführung der Maßnahmen liegt im wesentlichen beim Ablieferer. Er soll Rohabfall, konditionierten Abfall, Fixierungsmittel, Behälter und die fertigen Abfallgebinde so überwachen, daß die Produkte den Einlagerungsbedingungen entsprechen. So soll er beispielsweise das Aktivitätsinventar des konditionierten Abfalls und die Stabilität und Dichtigkeit der Behälter überprüfen.

Im Einlagerungsbetrieb werden nur Dosisleistung an der Behälteroberfläche und in 1 m Abstand gemessen und ein Wischtest auf äußere Kontamination unternommen. Es wird davon ausgegangen, daß die Einhaltung der übrigen Bestimmungen durch die Kontrolle des Ablieferers sichergestellt ist.

Selbst diese wenigen Kontrollmessungen werden nur in Stichproben vorgenommen (S. D2-1, D3-4).

Fehlklassifizierungen der Ablieferer (ob bewußt oder unbewußt) können so nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Das so etwas durchaus vorkommen kann, ist durch die Affäre um das Seveso-Gift bewiesen.

Auch hier werden wiederum nur die für Transport und Handhabung der Abfallgebinde maßgeblichen Gesichtspunkte berücksichtigt; die Langzeitsicherheit des Endlagers liegt nicht im Gesichtskreis der Bearbeiter des GSF-Abschlußberichtes.

Wie wenig durchdacht die Vorstellungen der GSF sind, zeigt sich auch an den Maßnahmen, die für Gebinde vorgesehen werden, die eine zu hohe Dosisleistung (200 mrem/h) aufweisen; sie sollen zurückgeschickt werden, obwohl sie dann erwiesenermaßen die Transportvorschriften verletzen (Gespräch 13.09.1983).

4.2.3. Mengenaufkommen

Dieses Kapitel bezieht sich auf Abschnitt D1.2 des GSF-Abschlußberichtes. Zunächst wird das anlagenspezifische Volumen an schwach- und z. T. mittelaktiven Abfällen betrachtet. In einem zweiten Schritt wird die gesamte bis zum Jahr 2000 anfallende Abfallmenge diskutiert.

4.2.3.1. Jährliches anlagenspezifisches Abfallaufkommen

Auskunft über die Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken gibt im wesentlichen Tabelle 1.2-1 des GSF-Abschlußberichtes. Einen Vergleich der dort genannten Zahlen mit von der PTB errechneten (ILLI 1981) zeigt Tabelle 4.1.

Dabei wurden die GSF-Zahlen auf einen Mix von 63% Druckwasserreaktoren (DWR) und 37% Siedewasserreaktoren (SWR) umgerechnet. Dies war notwendig, da bei der PTB ebenfalls ein Mix, jedoch unbekannter Zusammensetzung, verwendet wurde. Der

Tabelle 4.1. Vergleich Betriebsabfälle (KKW)

Abfallart	GSF Geb/a	Ci/Geb	Ci/a	PTB Geb/a	Ci/Geb	Ci/a	
Verdampferkonzentrate							
DWR	290	0,01-0,2	2,9-58,1	121	0,12	158,5	K421
				59	2,46		K423
SWR	57-114	0,1 -1,0	5,7-113,9	151	0,08	29,6	K422
				17	1,03		K424
Filterschlämme							
DWR	49	0,005	0,24				
SWR	569-712	0,1 -1,0	56,9-711,5				
Kugelharze							
DWR	20- 29	2 -10	38,7-290,7	6	124,3	745,9	L351
Filterkerzen							
DWR				8	2,5	20,9	K321
Pulverharze							
SWR				11	70,3	794,1	K322
Dekowässer							
DWR	49	1	49				
gepr. Feststoffe							
DWR	54- 83	0,01	0,54-0,82	162	0,019	3,1	K441
SWR	24- 71	0,001-0,01	0,03-0,7	113	0,013	1,5	K442
feste Abfälle							
DWR	60	0,0002-	0,013-0,13				
SWR	14- 43	0,002	0,003-0,085				
Summe	1186-1500	105,0-1515,8		648		1757,6	
	332-420m³			345m³			

gewählte Mix entspricht etwa dem heutigen Verhältnis von SWR und DWR; der SWR-Anteil ist höher als der von der PTB gewählte. Er stellt eine konservative Abschätzung dar, da sich der Anteil der SWR in Zukunft verringern wird. SWR erzeugen eine größere spezifische Abfallmenge (allerdings mit geringerer spezifischer Aktivität, da der Abbrand i. A. niedriger ist).

Die Gebindezahlen sind nicht vergleichbar, da die GSF die Verpackung nur in 200 l-Fässen annimmt, während PTB mit 200 l- und 400 l-Gebinden rechnet. Die Gesamtvolumina sind jedoch vergleichbar. Bei der Gesamtaktivität liegt die GSF niedriger. Später (" D1-24) wird dann mit einem mittleren Abfallvolumen von 392,5 m^3/GWe.a gerechnet, das gut innerhalb der genannten Bandbreite und etwas oberhalb der PTB-Zahlen (345 m^3/GWe.a) liegt.

Eine genauere Prüfung war nicht möglich, da die Angaben der GSF zwar mit einem Zitat belegt werden, dieses Zitat in der Literaturliste jedoch nicht erscheint.

Für die Abfälle aus Industrie, Landessammelstellen und Forschungseinrichtungen werden nur Anteile genannt (Tabelle 1.2-2). Die Absolutmengen lassen sich daher nur aus der Gesamtmenge zurückrechnen und können diese nicht belegen. Zudem beruhen sie auf der gegenwärtigen Verteilung und liefern daher einen zu geringen Anteil der Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken für die Zukunft. Die Gesamtmenge an Abfällen aus Industrie, Landessammelstellen und Forschungseinrichtungen wird mit gegenwärtig 7000 m^3/a angegeben und soll konstant bleiben (S. D1-24). Hier hätte man ein langsames Ansteigen durchaus als realistisch in Rechnung stellen können.

Angemerkt sei, daß die genannte Tabelle (Tab. 1.2-2) in sich inkonsistent ist, da 200 l-Fässer mit ihrem Nettovolumen (200 l statt 280 l), Verlorene Betonabschirmungen (VBA) jedoch mit ihren Bruttovolumen angerechnet werden. Da das Gesamtvolumen als Bezugsgröße gewählt wurde, ist die Tabelle unbrauchbar.

Die bis zum Jahre 2000 anfallende Menge an Stillegungsabfällen wird mit 3000 m^3 angegeben. Dies kommt dadurch zustande, daß große Kernkraftwerke erst später zum Abriß anstehen. Sie ist gegenüber den sonstigen Abfallmengen vernachlässigbar.

4.2.3.2. Gesamtabfallmenge bis zum Jahr 2000

Für die Gesamtabfallmenge nennt der GSF-Abschlußbericht eine Schätzung der Bundesregierung (BUNDESTAG 1981), die von einem kontinuierlichen Anstieg der Abfallmenge von 8000 m^3/a im Jahre 1981 bis auf 11.600 bis 24.000 m^3/a im Jahr 2000 ausgeht. Dies ergibt eine Gesamtmenge von

180.000 ... 324.000 m^3 im Jahr 2000

von denen Ende 1980 bereits 18 400 m^3 vorlagen. Inklusive der Stillegungsabfälle ergeben sich:

183.000 ... 327.000 m^3 (Mittelwert 255 000 m^3)

Diese Zahlen sind nicht konsistent mit den vorher genannten anlagenspezifischen Zahlen. Für das Jahr 1981 beispielsweise ergeben sich aus den auf Seite D1-24 genannten Zahlen

7.000 m^3	aus Industrie, Landessammelstellen, Forschung
3.500 m^3	aus Kernkraftwerken (392,5 m^3/GWe.a · 8,97 GWe)
10.500 m^3	

Dies sind etwa 30% mehr als die Bundesregierung (BUNDESTAG 1982) angibt. Mittlerweile wurde diese Schätzung nach oben korrigiert (BUNDESTAG 1983) und kommt nun auf:

327.000 ... 332.700 m^3 bis zum Jahr 2000

Allerdings sind bei den neueren Zahlen offenbar mittelaktive Abfälle mitberücksichtigt worden. Eigene Schätzung, gestützt auf Zahlen der PTB (ILLI 1981), der DWK (DWK 1980, DWK 1981) und des GSF-Abschlußberichtes ergibt:

319.360 ... 475.560 m^3 (Mittelwert: 400.000 m^3)

Hierbei sind mittel- und schwachaktive Abfälle berücksichtigt. Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, nochmals 35.469,5 bis 63.135 m^3, kommen noch hinzu. Näheres über die Herkunft dieser Zahlen findet sich in Kapitel 4.3.2.

Die höheren zu erwartenden Mengen haben natürlich auch Auswirkungen auf das in Abschnitt D1.2.3 des GSF-Abschlußberichtes betrachtete Entsorgungspotential der Schachtanlage Konrad. So werden Einlagerungsleistungen um 20.000 m^3/a (und höher) notwendig, um den "Abfallberg" bis zum Jahre 2000 nennenswert zu reduzieren.

Abbildung 4.1. zeigt dies am Beispiel einer Kurve aus dem GSF-Abschlußbericht (Fig. 1.2.2-2). Sie entspricht etwa einer vorsichtigen Schätzung etwas unterhalb des Durchschnitts. Schon hier sind Einlagerungsleistungen von mehr als 18.000 m^3/a erforderlich, um bei einem Einlagerungsbeginn 1988 den oberirdisch verbleibenden Rest unterhalb 100.000 m^3 zu halten. Um ihn bei der Maximalschätzung von ca. 475.000 m^3 auf nahezu null zu bringen, benötigte man eine Einlagerungsleistung von ca. 36.5000 m^3/a. Das Problem verschärft sich noch bei späterem Einlagerungsbeginn. Es erscheint wenig wahrscheinlich, daß diese Leistung erreichbar ist, da dazu ein Hohlraum von 73.000 m^3/a aufgefahren werden müßte.

4.3. Erstellung einer Datenbasis für Nuklidinventare und Mengenaufkommen

Da es der im GSF-Abschlußbericht zusammengestellten Datenbasis an Konsistenz und Vollständigkeit mangelt, eine solche für die Störfall- und Sicherheitsbetrachtungen jedoch notwendig ist, wurde der Versuch unternommen, aus der Literatur eine möglichst vollständige Datenbasis zusammenzustellen. Sie mag gleichzeitig als Beispiel dienen, wie das abfalltechnische Kapitel des GSF-Abschlußberichtes hätte aussehen können.

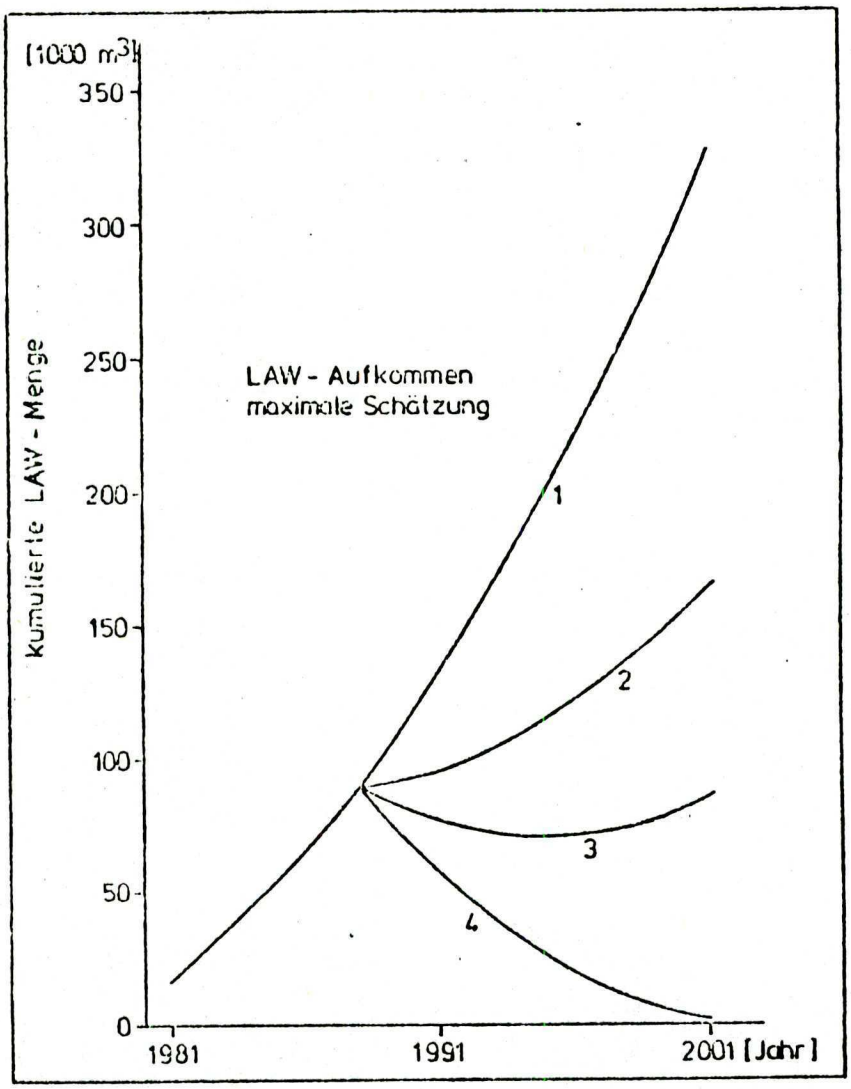


Abb. 4.1. Volumen des kumulierten LAW (maximale Schätzung) ohne Endlagerung (1) sowie beispielhafte Einlagerungsleistungen von 12.500 m^3/a (2), 18.200 m^3/a (3) und 25.000 m^3/a (4). Angenommener Einlagerungsbeginn: 1988.

4.3.1. Nuklidspektren und Abklingverhalten.

In der veröffentlichten Literatur über radioaktive Abfälle dominieren die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; als Beispiel seien Arbeiten der Kernforschungsanlage Karlsruhe (KfK) (KELM 1980, HAUG 1981 a, HAUG 1981 b) genannt. Die mit Abstand vollständigste Liste von Inventaren wurde von der PTB (ILLI 1981) vorgelegt; sie enthält 13 Abfallkategorien aus der Wiederaufarbeitung, 9 aus dem Kernkraftwerksbetrieb, 2 aus Landessammelstellen und 4 aus Forschungseinrichtungen mit Nuklidinventaren und Mengenschätzungen. Daher wurde sie zum Ausgangspunkt gewählt. Diese Aufstellung wurde seither weiterentwickelt und um die Abfälle aus Industrie und Stilllegung kerntechnischer Anlagen erweitert (LANDTAG 1982 b), die Arbeiten sind jedoch offenbar noch nicht abgeschlossen.

Im folgenden werden die Kategorien mit dem dort verwendeten Codesystem bezeichnet, wie es bereits in Kapitel 4.2.1. beschrieben wurde. Tabelle 4.2. (aus ILLI 1981) listet alle Kategorien mit einer Kurzbeschreibung auf. Die angegebenen Inventare wurden zum Ausgangspunkt einer Zerfallsrechnung gemacht, um Aufschlüsse darüber zu erlangen, welche Nuklide für die Langzeitgefährlichkeit ausschlaggebend sein können.

Für die Aktinidenanteile wurde wegen der Länge der Zerfallsketten der ORIGEN 2-Code eingesetzt (CROFF et al., 1980). Die Zahlen beziehen sich jeweils auf ein Abfallgebinde. Da die Grenze zwischen schwach- und mittelaktiven Abfällen fließend ist, werden alle Kategorien bis auf den hochaktiven Abfall berücksichtigt.

Das bei den Rechnungen entstandene Tabellenmaterial ist zu umfangreich, um diesem Bericht direkt angefügt zu werden; es umfaßt ca. 70 Seiten. Im folgenden wird es nur auszugsweise dokumentiert. Es wird in einem getrennten Datenband zusammengefaßt.

Tab. 4.2. Klassifizierung und Codierung von radioaktiven Modellabfällen aus der Wiederaufarbeitung von LWR-Kernbrennstoffen, aus Kernkraftwerken, aus Forschung und Medizin:

Wiederaufarbeitungsabfälle

Codierung	Herkunft	Abfallart	Fixierungsmittel	Beschreibung des Abfalles und Gebindes
W 111	Wiederaufarbeitung (WA)	HAW[1]	Glas	Abfall aus HA-Kolonne, Stahlkokille in EAB[2]
	(W)	(1)	(1)	(1)
W221	WA	wärmeproduzierender MAW[3]	Beton	Hülsen und Strukturteile, 400 l Faß in EAB
	(W)	(2)	(2)	(1)
W 222	WA	wärmeproduzierender MAW	Beton	Klärschlamm-Filterkerzen, 400 l Faß in EAB
	(W)	(2)	(2)	(2)
W 223	WA	wärmeproduzierender MAW	Beton	Core-Bauteile und Schrott, 400 l Faß in EAB
	(2)	(2)	(2)	(3)
W 224	WA	wärmeproduzierender MAW	nicht bekannt	Sekundärabfälle aus der Verglasung, 400 l Faß in EAB
	(W)	(2)	(2)	(4)
W 225	WA	wärmeproduzierender MAW	Beton	Glas- u. Metallschrott aus der Verglasung, 400 l Faß in EAB
	(W)	(2)	(2)	(5)
W 321	WA	kalter MAW	Zement	flüssige Abfälle, 400 l Faß in EAB oder VBA[4]
	(W)	(3)	(2)	(1)

---

1 HAW = hochradioaktiver Abfall

2 EAB = Einzelabschirmbehälter

3 MAW = mittelradioaktiver Abfall

4 VBA = verlorene Betonabschirmung

Codierung	Herkunft	Abfallart	Fixierungsmittel	Beschreibung des Abfalles und Gebindes
W 322	WA	MAW	Beton	Harze, Silikagel u. Filterkerzen, 400 l Faß in EAB oder VBA
	(W)	(3)	(2)	(2)
W 323	WA	MAW	Beton	Kesselluft- u. Jodfilter, 400 l Faß in EAB oder VBA
	(W)	(3)	(2)	(3)
W 331	WA	MAW	organische Matrix[5]	Tributylphosphat, 400 l Faß in EAB oder VBA
	(W)	(3)	(3)	(1)
W 421	WA	LAW[6]	Beton	nicht Pu-haltiger Abfall, 400 l Faß
	(W)	(4)	(2)	(1)
W 422	WA	LAW	Beton	Pu-haltiger Abfall, 400 l Faß
	(W)	(4)	(2)	(2)
W 441	WA	LAW	ohne[5]	brennbare Abfälle (Kunst- u. Zellstoffe) in 10 l Büchsen, die in einem 400 l Faß mit Zementstein fixiert werden
	(W)	(4)	(4)	(1)
Kernkraftwerksabfälle				
K 321	Kernkraftwerk (KKW) DWR[7]	MAW	Beton	Filterkerzen, 200 l Faß in VBA
	(K)	(3)	(2)	(1)
K 322	KKW/SWR[8]	MAW	Beton	Pulverharze, 200 l Faß in VBA
	(K)	(3)	(2)	(2)
K 331	KKW	MAW	organische Matrix	Kugelharze, 200 l Faß in VBA
	(K)	(3)	(3)	(1)

[5] Konditionierung wird geändert

[6] LAW = schwachradioaktiv

[7] DWR = Druckwasserreaktor

[8] SWR = Siedewasserreaktor

Codierung	Herkunft	Abfallart	Fixierungs-mittel	Beschreibung des Abfalles und Gebindes
K 421	KKW/DWR	LAW	Zement	Verdampfer-u. Filter-konzentrate, 400 l Faß
	(K)	(4)	(2)	(1)
K 422	KKW/SWR	LAW	Zement	Verdampfer- u.Filter-konzentrate, 400 l Faß
	(K)	(4)	(2)	(3)
K 423	KKW/DWR	LAW	Zement	Verdampfer- u. Filter-konzentrate, 200 l Faß in VBA
	(K)	(4)	(2)	(3)
K 424	KKW/SWR	LAW	Zement	Verdampfer- u. Filter-konzentrate, 200 l Faß in VBA
	(K)	(4)	(2)	(4)
K 441	KKW/DWR	LAW	ohne	gepreßte Feststoffe
	(K)	(4)	(4)	(1)
K 442	KKW/SWR	LAW	ohne	gepreßte Feststoffe
	(K)	(4)	(4)	(2)

Radioaktive Abfälle aus Forschung und Medizin

L 421	Landes-sammel-stellen (L)	LAW	Beton	z. T. brennbare, sperrige, fixierbare, kompaktierbare Abfälle, 200 l Rollreifenfaß
	(L)	(4)	(2)	(1)
L 441	L	LAW	unfixiert, evtl.Deckel aus Zement-stein	paketierbare u. kompaktierbare Abfälle, 200 l Rollreifenfaß
	(L)	(4)	(4)	(1)
F 321	Kernfor-schungs-zentrum Karlsruhe (KfK)	MAW	Beton	Rückstände aus der Verbrennung fester u. flüssiger Abfälle, Verdampferkonzentrate, Harze, Filter, sperrige u. kompaktierbare, fixierbare Abfälle, 200 l Rollreifenfaß in VBA
	(F)	(3)	(2)	(1)

Codierung	Herkunft	Abfallart	Fixierungsmittel	Beschreibung des Abfalles und Gebindes
F 421	Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK), Kernforschungsanlage Jülich (KFA)	LAW	Beton	Asche aus der Verbrennung von flüssigen u. festen, brennbaren Abfälle, Verdampferkonzentrate, sperrige z.T. kompaktierbare u. fixierbare Abfälle, 200 l Rollreifenfaß
	(F)	(4)	(2)	(1)
F 422	Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK)	LAW	Zement	Verdampferkonzentrat aus konzentrierbaren Abfällen, 200 l Rollreifenfaß
	(F)	(4)	(2)	(2)
F 441	Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK), Kernforschungsanlage Jülich (KFA)	LAW	unfixiert, evtl.Deckel aus Zementstein	kompaktierbare, paketierbare feste Abfälle, z.T. brennbar, 200 l Rollreifenfaß
	(F)	(4)	(4)	(1)

Die Zerfallsdaten wurden zur Herstellung der Abbildungen 4.2. bis 4.21 benutzt. Die Tabellen 4.3. bis 4.23 listen die zugehörigen Inventare auszugsweise auf (in Curie). Da die Aktivitätskoordinate unterschiedliche Bereiche umfaßt, wurde der einfacheren Vergleichbarkeit halber die 10° Ci-Linie am rechten Rand mit einem Strich bezeichnet.

Bei den Abfällen aus der Wiederaufarbeitung fällt auf, daß mit wenigen Ausnahmen die Aktiniden nach 100 bis 1000 Jahren die Aktivitätskurve bestimmen. Ausnahmen sind W222 (Tc-99), W225 (Tc-99 nach 10^4 a), W321 (Zr-93) und W323 (J-129). Die genannten Nuklide haben neben ihrer Langlebigkeit hohe Wanderungsgeschwindigkeiten im geologischen Untergrund und bestimmen daher nicht unwesentlich die Langzeitgefahren, die von dem Endlager ausgehen. Bei den Abfällen aus Kernkraftwerken ist es durchgängig J-129, das nach 1000 Jahren die Aktivität bestimmt. Die Abfälle aus Forschungszentren und Landessammelstellen enthalten bis auf C-14 keine langlebigen Nuklide und sind nach 1000 Jahren im wesentlichen abgeklungen (Abfälle aus Krankenhäusern können allerdings auch Tc-99 enthalten).

Für die in das Endlager eingebrachte Aktivitätsmenge sind die Kategorien W221, W222, W225, W321, W322, W422, W441, K322, K423 und F321 bestimmend.

Tabelle 4.3

W221	3a	10a	100 a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
TC 99	5.135E-02	5.135E-02	5.134E-02	5.119E-02	4.971E-02	3.709E-02	1.983E-03
FP	2.421E+04	6.427E+03	5.216E+02	5.811E-01	4.971E-02	3.709E-02	1.983E-03
PU238	1.108E+01	1.049E+01	5.033E+00	4.113E-03	0.0	0.0	0.0
PU239	1.108E+00	1.108E+00	1.105E+00	1.077E+00	8.310E-01	6.219E-02	3.429E-13
PU240	1.595E+00	1.600E+00	1.604E+00	1.458E+00	5.615E-01	4.027E-05	0.0
PU241	3.244E+02	2.316E+02	2.634E+00	4.027E-19	0.0	0.0	0.0
PU242	5.407E-03	5.407E-03	5.406E-03	5.397E-03	5.311E-03	4.520E-03	9.014E-04
AM241	1.892E+00	4.945E+00	1.104E+01	2.630E+00	1.41EE-06	0.0	0.0
AM242M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	1.190E+00	2.287E-05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	9.462E+00	7.238E+00	2.059E-01	2.257E-16	0.0	0.0	0.0
TOTAL ACT	3.508E+02	2.570E+02	2.164E+01	5.185E+00	1.413E+00	1.103E-01	3.771E-02

Tabelle 4.4

W222	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
TC 99	4.595E+00	4.595E+00	4.593E+00	4.580E+00	4.448E+00	3.318E+00	1.774E-01
FP	5.950E+04	2.574E+02	4.597E+00	4.580E+00	4.448E+00	3.318E+00	1.774E-01
PU238	3.515E+00	3.327E+00	1.596E+00	1.304E-03	0.0	0.0	0.0
PU239	3.515E-01	3.514E-01	3.504E-01	3.415E-01	2.635E-01	1.972E-02	1.087E-13
PU240	5.407E-01	5.424E-01	5.437E-01	4.944E-01	1.904E-01	1.365E-05	0.0
PU241	1.103E+02	7.913E+01	8.996E-01	1.375E-19	0.0	0.0	0.0
PU242	1.595E-03	1.595E-03	1.595E-03	1.592E-03	1.567E-03	1.333E-03	2.659E-04
AM241	6.485E-01	1.692E+00	3.776E+00	8.989E-01	4.646E-07	0.0	0.0
AM242M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	4.055E-01	7.795E-06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	3.244E+00	2.482E+00	7.061E-02	7.737E-17	0.0	0.0	0.0
ACT	1.195E+02	8.753E+01	7.238E+00	1.740E+00	4.595E-01	3.311E-02	9.038E-03
TOTAL	5.962E+04	3.450E+02	1.184E+01	6.230E+00	4.908E+00	3.351E+00	1.864E-01

Tabelle 4.5

W223	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
CO 60	7.027E+03	2.798E+03	1.363E-03	0.0	0.0	0.0	0.0
NI 63	1.595E+03	1.513E+03	7.507E+02	8.419E-01	0.0	0.0	0.0
FP	1.068E+04	4.655E+03	7.509E+02	8.419E-01	0.0	0.0	0.0
PU236	8.381E-02	7.930E-02	3.804E-02	3.108E-05	0.0	0.0	0.0
PU239	8.651E-03	8.649E-03	8.626E-03	8.405E-03	6.486E-03	4.854E-04	2.676E-15
PU240	1.298E-02	1.297E-02	1.284E-02	1.167E-02	4.494E-03	3.223E-07	0.0
PU241	1.703E+00	1.216E+00	1.383E-02	2.115E-21	0.0	0.0	0.0
PU242	4.326E-05	4.325E-05	4.325E-05	4.318E-05	4.249E-05	3.616E-05	7.211E-06
AM241	0.0	1.614E-02	4.952E-02	1.181E-02	6.367E-09	0.0	0.0
AM242M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT	1.609E+00	1.333E+00	1.229E-01	3.201E-02	1.110E-02	7.610E-04	1.374E-04
Total	1.068E+04	4.656E+03	7.510E+02	8.739E-01	1.110E-02	7.610E-04	1.374E-04

FP ... Spaltprodukte

Act... Aktiniden

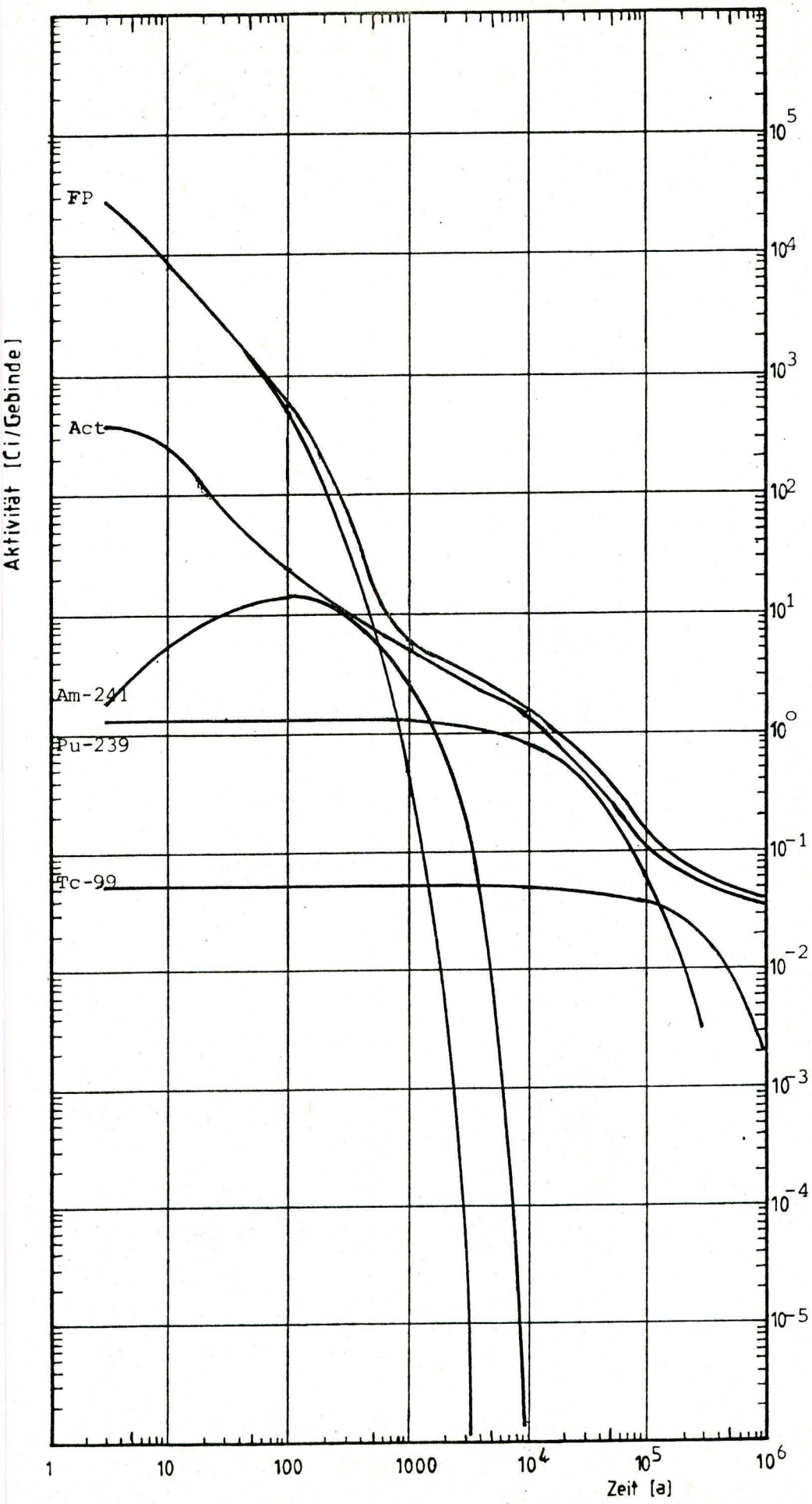

Aktivität [Ci/Gebinde]
FP
Act
Am-241
Pu-239
Tc-99
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5

Abb. 4.2 W221

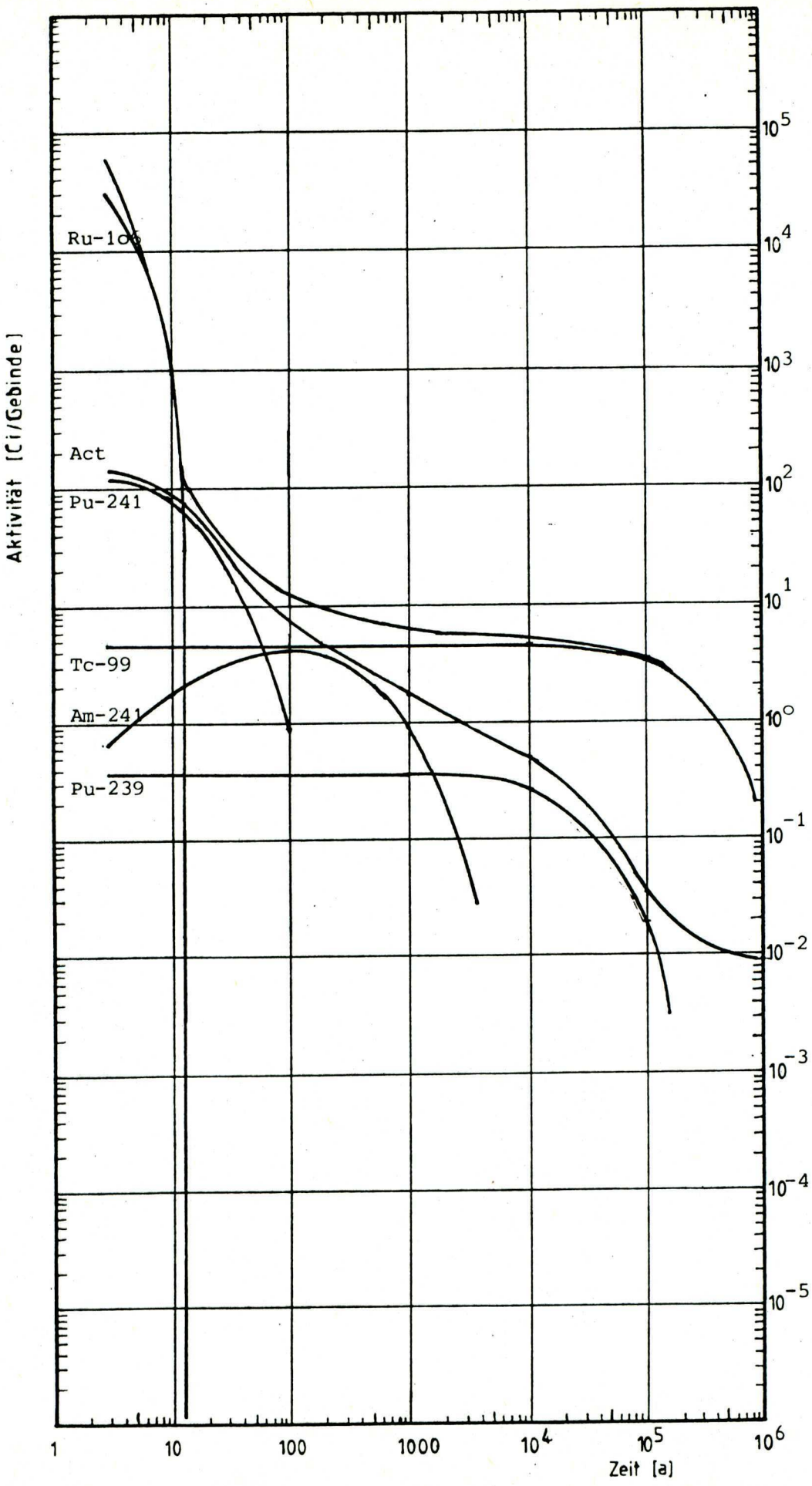

Aktivität [Ci/Gebinde]
Ru-106
Act
Pu-241
Tc-99
Am-241
Pu-239
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]

Abb. 4.3 W222

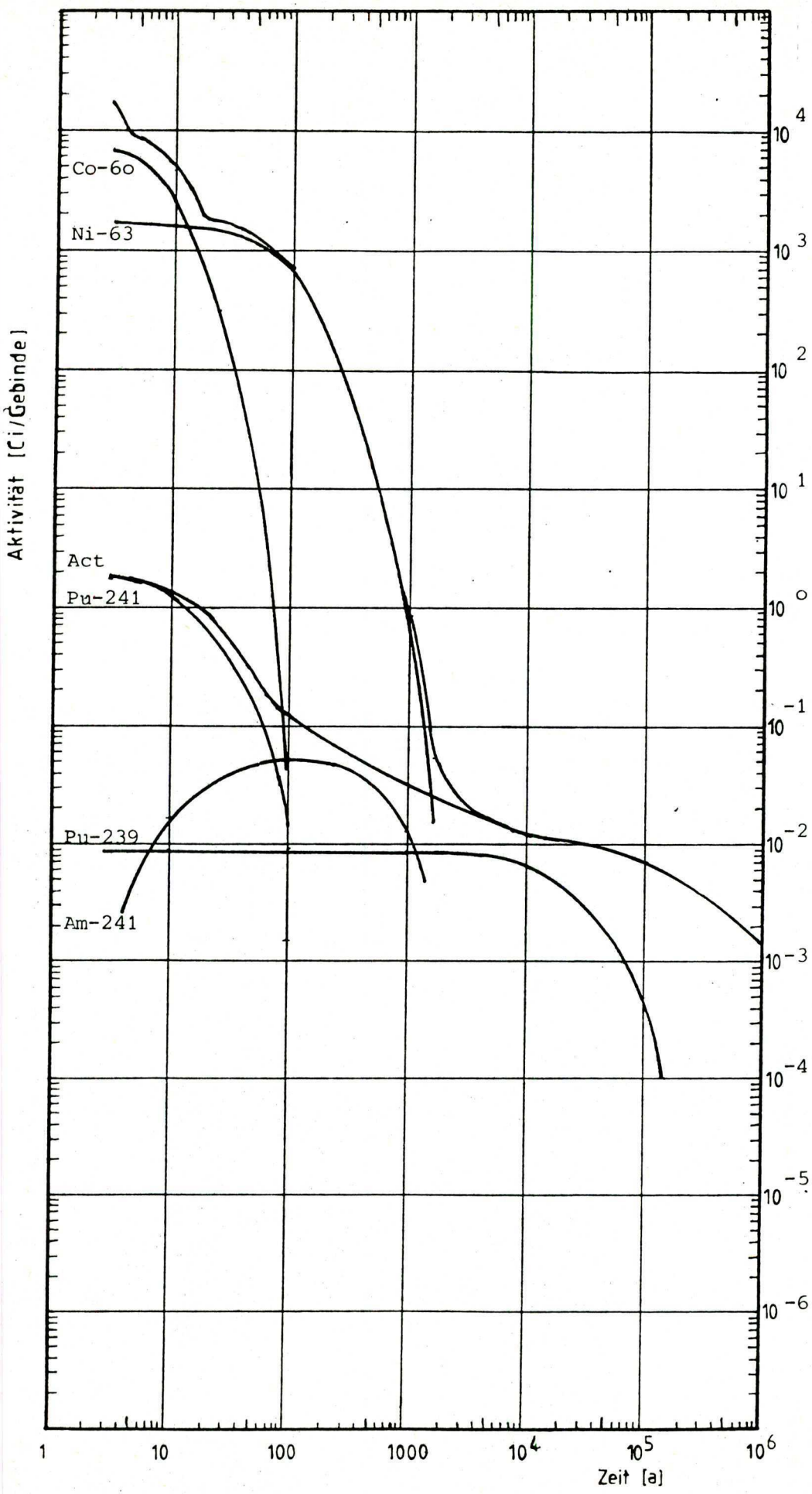

Aktivität [Ci/Gebinde]
Co-60
Ni-63
Act
Pu-241
Pu-239
Am-241
10^{4}
10^{3}
10^{2}
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
1
10
100
1000
10^{4}
10^{5}
10^{6}
Zeit [a]

Abb. 4.4 W223

Tabelle 4.6

W225	5a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
CS137	8.108E+03	7.059E+03	5.068E+02	7.374E-09	0.0	0.0	0.0
TC 99	1.189E+00	1.189E+00	1.189E+00	1.185E+00	1.151E+00	8.588E-01	4.493E-02
FP	3.553E+04	1.376E+04	1.144E+03	1.403E+00	1.324E+00	1.025E+00	1.583E-01
NP237	2.974E-02	2.981E-02	3.113E-02	3.729E-02	3.916E-02	3.810E-02	2.847E-02
NP238	0.0	3.303E-03	2.142E-03	3.536E-05	5.311E-23	0.0	0.0
NP239	0.0	1.810E+00	1.794E+00	1.649E+00	7.081E-01	1.510E-04	0.0
PU238	1.190E+00	1.186E+00	7.788E-01	6.492E-03	2.086E-20	0.0	0.0
PU239	1.000E-01	1.003E-01	1.052E-01	1.466E-01	3.627E-01	5.052E-02	2.789E-13
PU240	2.190E-01	3.154E-01	7.545E-01	6.968E-01	2.683E-01	1.924E-05	0.0
PU241	2.703E+01	2.126E+01	2.569E-01	3.494E-02	1.677E-02	1.086E-05	0.0
PU242	5.137E-04	5.148E-04	5.317E-04	5.714E-04	6.248E-04	5.515E-04	1.100E-04
AM241	4.596E+01	4.578E+01	3.994E+01	9.461E+00	1.678E-02	1.147E-05	0.0
AM242M	6.759E-01	6.606E-01	4.284E-01	7.071E-03	1.062E-20	0.0	0.0
AM242	0.0	6.574E-01	4.262E-01	7.036E-03	1.057E-20	0.0	0.0
AM243	1.811E+00	1.810E+00	1.794E+00	1.649E+00	7.081E-01	1.510E-04	0.0
CM242	8.110E-01	5.447E-01	3.525E-01	5.819E-03	6.767E-21	0.0	0.0
CM243	2.974E-01	2.833E-01	2.613E-02	8.146E-12	0.0	0.0	0.0
CM244	2.001E+02	1.652E+02	4.354E+00	4.771E-15	0.0	0.0	0.0
CM245	3.785E-02	3.783E-02	3.754E-02	3.488E-02	1.674E-02	1.086E-05	0.0
CM246	8.110E-03	8.108E-03	7.992E-03	7.005E-03	1.874E-03	3.517E-09	0.0
ACT	2.782E+02	2.397E+02	5.112E+01	1.378E+01	2.186E+00	2.561E-01	3.302E-01
TOTAL	3.581E+04	1.400E+04	1.195E+03	1.581E+01	3.510E+00	1.281E+00	4.885E-01

Tabelle 4.7

W321	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
ZR 93	7.568E-02	7.568E-02	7.568E-02	7.564E-02	7.534E-02	7.232E-02	4.811E-02
RU106	2.973E+01	2.414E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CS137	1.000E+01	8.236E+00	6,250E-01	9.095E-12	0.0	0.0	0.0
FP	1.487E+02	1.636E+01	1.291E+00	7.564E-02	7.534E-02	7.232E-02	4.811E-02
NP237	6.218E-06	1.118E-05	7.383E-05	3.733E-04	4.646E-04	4.512E-04	3.371E-04
NP238	0.0	1.440E-04	9.425E-05	1.556E-06	2.337E-24	0.0	0.0
NP239	0.0	8.916E-02	8.838E-02	8.122E-02	3.486E-02	7.439E-06	0.0
PU238	2.001E-02	2.012E-02	1.951E-02	2.736E-04	9.177E-22	0.0	0.0
PU239	8.651E-03	8.667E-03	8.882E-03	1.082E-02	2.065E-02	2.696E-03	1.488E-14
PU240	1.295E-02	1.297E-02	1.264E-02	1.167E-02	4.494E-03	3.223E-07	0.0
PU241	2.595E+00	1.853E+00	2.106E-02	3.221E-21	0.0	0.0	0.0
PU242	4.326E-05	4.332E-05	4.396E-05	4.517E-05	4.446E-05	3.784E-05	7.547E-06
AM241	2.190E+00	2.190E+00	1.941E+00	4.585E-01	2.473E-07	0.0	0.0
AM242M	2.974E-02	2.880E-02	1.885E-02	3.110E-04	4.673E-22	0.0	0.0
AM242	0.0	2.866E-02	1.875E-02	3.096E-04	4.650E-22	0.0	0.0
AM243	8.921E-02	8.916E-02	8.838E-02	8.122E-02	3.486E-02	7.439E-06	0.0
ACT	4.946E+00	4.344E+00	2.233E+00	6.454E-01	9.598E-02	5.256E-03	3.942E-03
TOTAL	1.536E+02	2.070E+01	3.524E+00	7.210E-01	1.713E-01	7.758E-02	5.205E-02

Tabelle 4.8

W322	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
SR 90	2.703E+00	2.299E+00	2.681E-01	2.497E-10	0.0	0.0	0.0
CS137	3.784E+00	3.116E+00	2.365E-01	3.441E-12	0.0	0.0	0.0
TOTAL	3.243E+01	6.942E+00	5.046E-01	2.531E-10	0.0	0.0	0.0

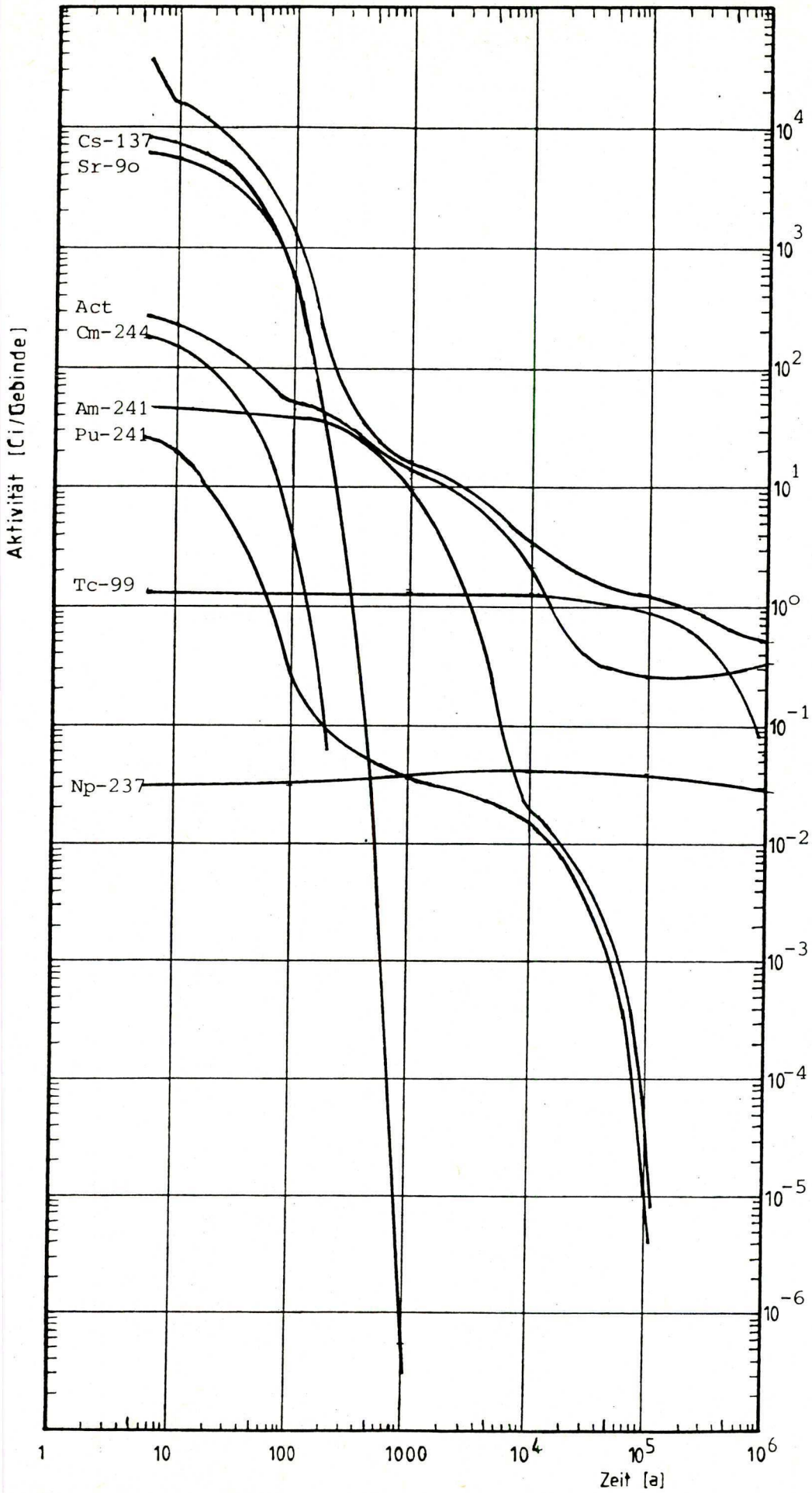

Cs-137
Sr-9o
Act
Cm-244
Am-241
Pu-241
Tc-99
Np-237
Aktivität [Ci/Gebinde]
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]

Abb. 4.5 W225

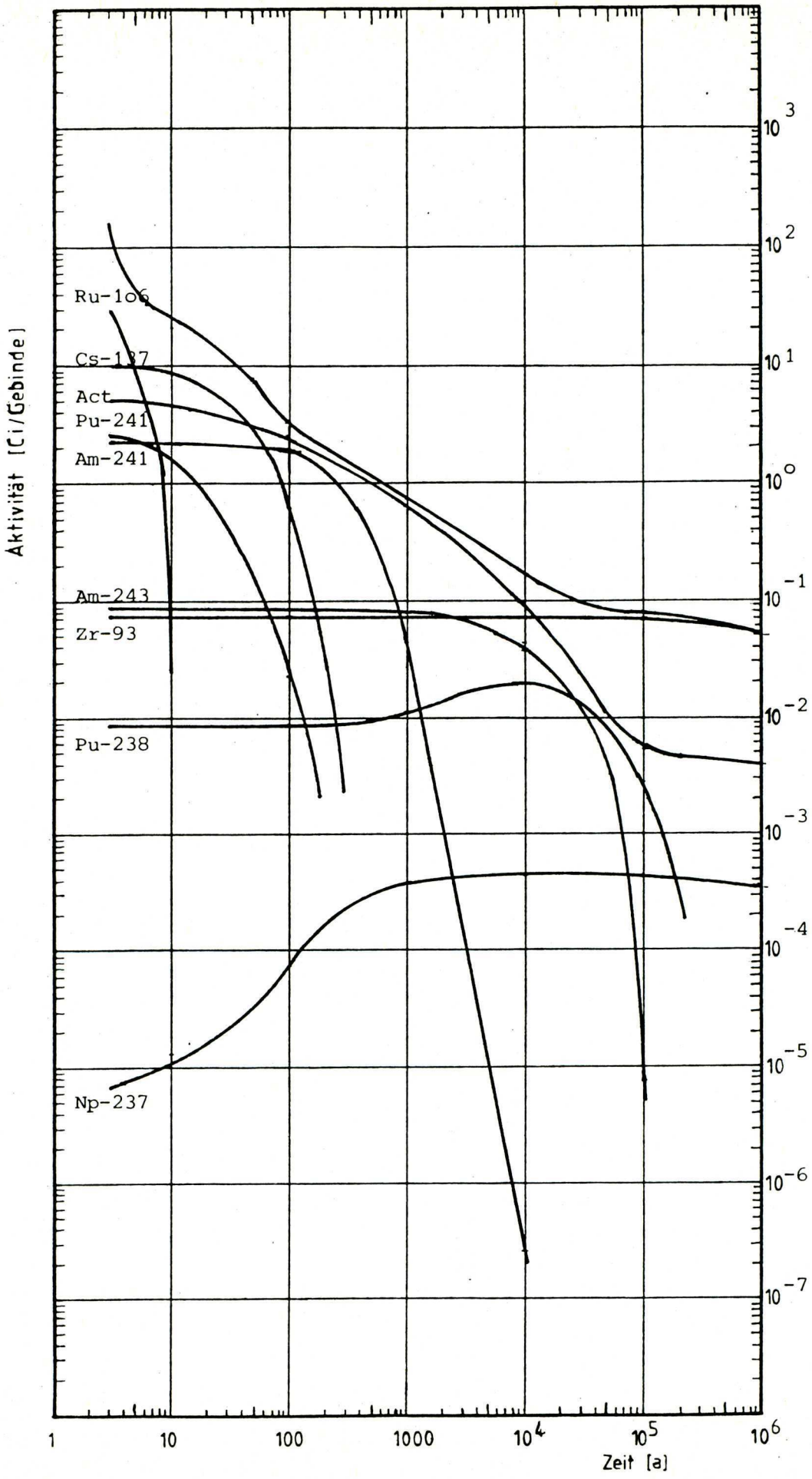

Aktivität [Ci/Gebinde]
Ru-106
Cs-137
Act
Pu-241
Am-241
Am-243
Zr-93
Pu-238
Np-237
10 3
10 2
10 1
10 0
10 -1
10 -2
10 -3
10 -4
10 -5
10 -6
10 -7
1
10
100
1000
10 4
10 5
10 6
Zeit [a]

Abb. 4.6 W321

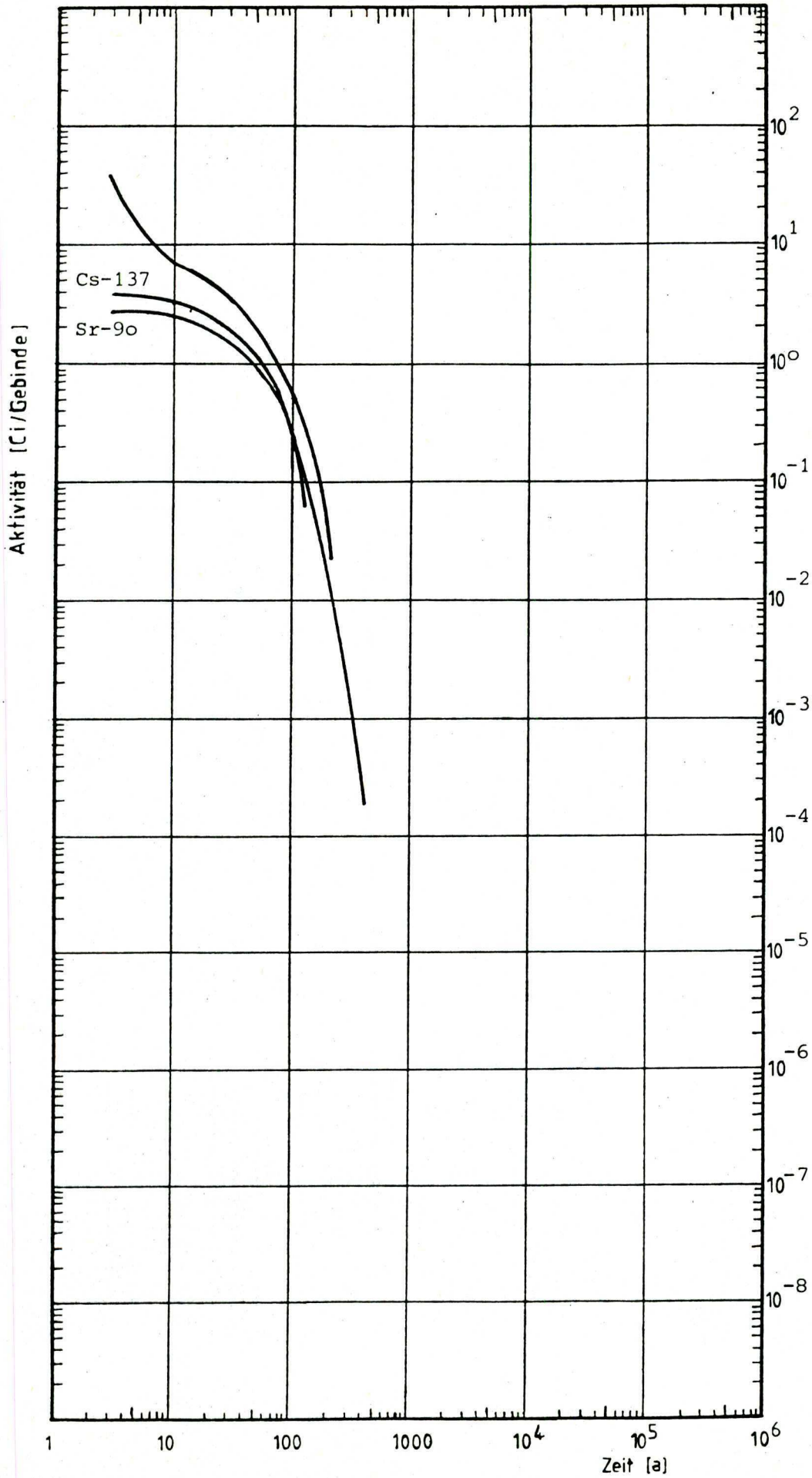

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-137
Sr-90
10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]

Abb. 4.7 W322

Tabelle 4.9

W323	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
RU106	5.946E+00	4.828E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J 129	5.676E-01	5.676E-01	5.676E-01	5.676E-01	5.673E-01	5.651E-01	5.430E-01
CS137	2.973E+00	2.449E+00	1.858E-01	2.704E-12	0.0	0.0	0.0
FP	3.514E+01	5.145E+00	9.625E-01	5.676E-01	5.673E-01	5.651E-01	5.430E-01
PU238	1.406E-01	1.330E-01	6.380E-02	5.214E-05	0.0	0.0	0.0
PU239	1.29RE-02	1.297E-02	1.294E-02	1.261E-02	9.729E-03	7.281E-04	4.014E-15
PU240	2.001E-02	2.006E-02	2.006E-02	1.824E-02	7.025E-03	5.039E-07	0.0
PU241	4.055E+00	2.895E+00	3.292E-02	5.033E-21	0.0	0.0	0.0
PU242	6.466E-05	6.468E-05	6.467E-05	6.477E-05	6.373E-05	5.424E-05	1.082E-05
CM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	1.000E-01	7.652E-02	2.177E-03	2.386E-18	0.0	0.0	0.0
ACT	4.329E+00	3.176E+00	2.499E-01	5.917E-02	1.696E-02	1.224E-03	2.957E-04
TOTAL	3.947E+01	8.321E+00	1.212E+00	6.238E-01	5.842E-01	5.663E-01	5.433E-01

Tabelle 4.10

W331	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
RU106	6.757E-01	5.486E-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP	1.432E+00	9.156E-03	3.119E-04	0.0	0.0	0.0	0.0
NP237	0.0	8.604E-10	6.066E-08	4.034E-07	5.080E-07	4.934E-07	3.686E-07
NP238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NP239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU238	2.514E-03	2.379E-03	1.141E-03	9.325E-07	0.0	0.0	0.0
PU239	2.406E-04	2.406E-04	2.399E-04	2.336E-04	1.804E-04	1.350E-05	7.443E-17
PU240	3.515E-04	3.512E-04	3.477E-04	3.161E-04	1.217E-04	8.730E-09	0.0
PU241	7.570E-02	5.404E-02	6.146E-04	9.398E-23	0.0	0.0	0.0
PU242	1.108E-06	1.108E-06	1.108E-06	1.106E-06	1.089E-06	9.266E-07	1.848E-07
AM241	0.0	7.171E-04	2.201E-03	5.247E-04	2.830E-10	0.0	0.0
AM242M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT	7.880E-02	5.773E-02	4.546E-03	1.078E-03	3.059E-04	2.243E-05	5.458E-06
TOTAL	1.511E+00	6.689E-02	4.858E-03	1.078E-03	3.059E-04	2.243E-05	5.458E-06

Tabelle 4.11

W421	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
SR 90	3.514E-02	2.989E-02	3.486E-03	3.246E-12	0.0	0.0	0.0
CS134	1.405E-01	1.336E-02	3.536E-16	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	3.829E-01	4.764E-02	3.486E-03	3.246E-12	0.0	0.0	0.0

Tabelle 4.12

W422	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
NP237	0.0	4.917E-06	3.466E-04	2.305E-03	2.903E-03	2.819E-03	2.106E-03
NP238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NP239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU238	1.514E+01	1.432E+01	6.871E+00	5.615E-03	0.0	0.0	0.0
PU239	1.406E+00	1.406E+00	1.402E+00	1.366E+00	1.054E+00	7.886E-02	4.348E-13
PU240	2.190E+00	2.188E+00	2.167E+00	1.970E+00	7.584E-01	5.440E-05	0.0
PU241	4.326E+02	3.088E+02	3.513E+00	5.372E-19	0.0	0.0	0.0
PU242	7.029E-03	7.029E-03	7.026E-03	7.016E-03	6.904E-03	5.676E-03	1.172E-03
AM241	0.0	4.098E+00	1.258E+01	2.995E+00	1.617E-06	0.0	0.0
AM242M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	4.513E+02	3.308E+02	2.654E+01	6.357E+00	1.835E+00	1.322E-01	3.162E-02

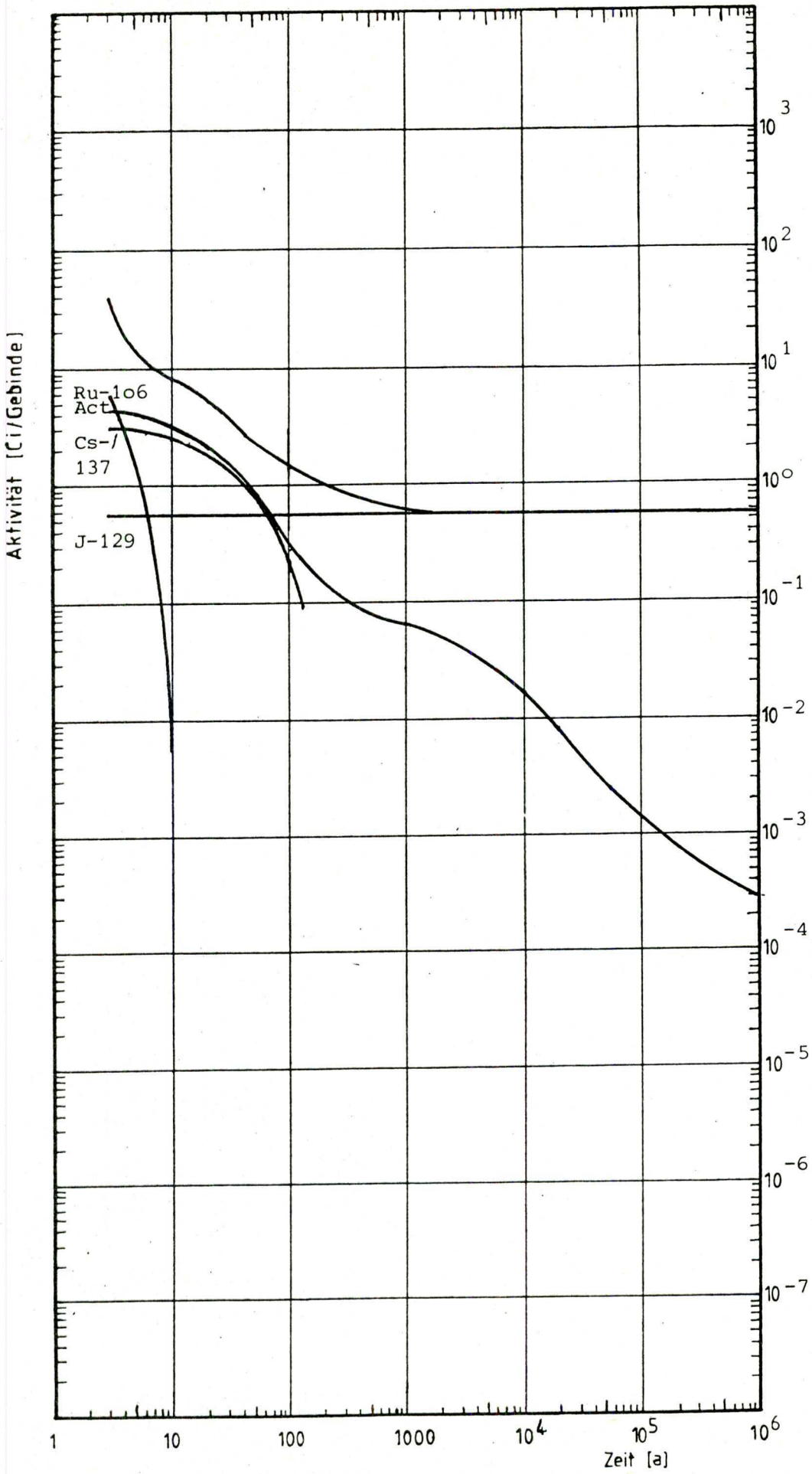

Aktivität [Ci/Gebinde]
Ru-106
Act.
Cs-/
137
J-129
10^{3}
10^{2}
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
1
10
100
1000
10^{4}
10^{5}
10^{6}
Zeit [a]

Abb. 4.8 W323

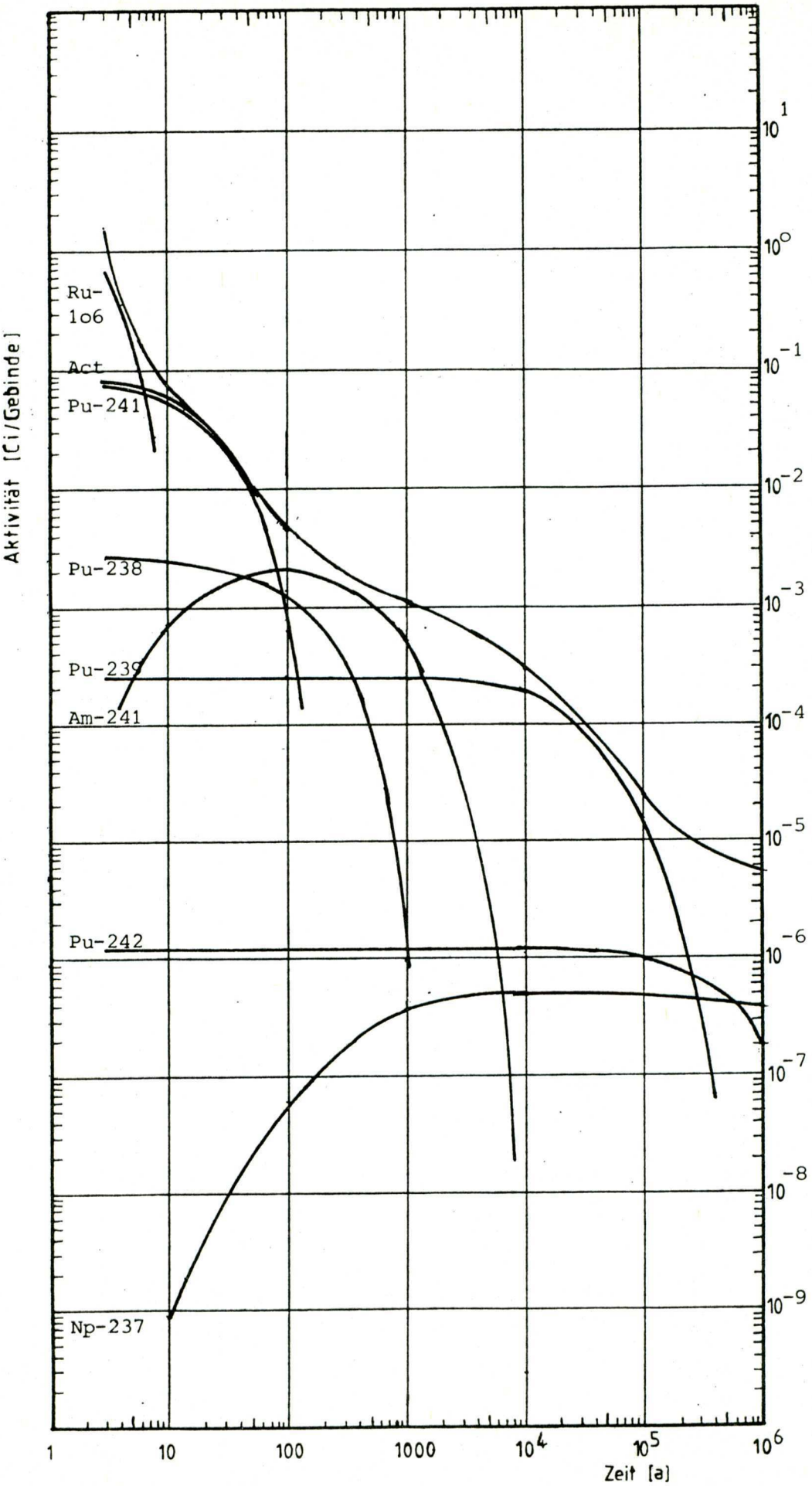

Aktivität [Ci/Gebinde]
Ru-106
Act
Pu-241
Pu-238
Pu-239
Am-241
Pu-242
Np-237
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]
10^1
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
10^-8
10^-9

Abb. 4.9 W331

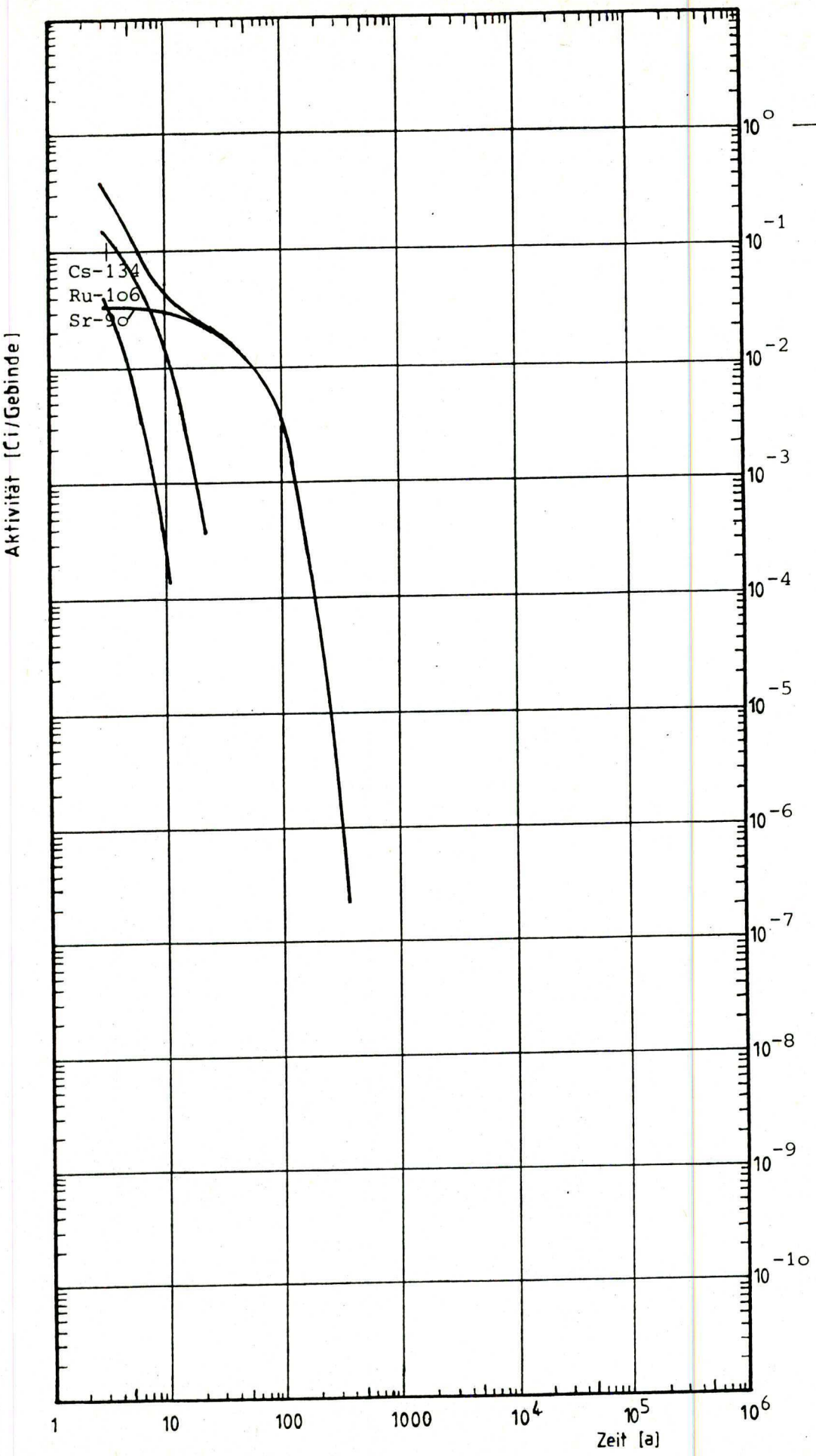

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-134
Ru-106
Sr-90
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
10^-8
10^-9
10^-10
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]

Abb. 4.1o W421

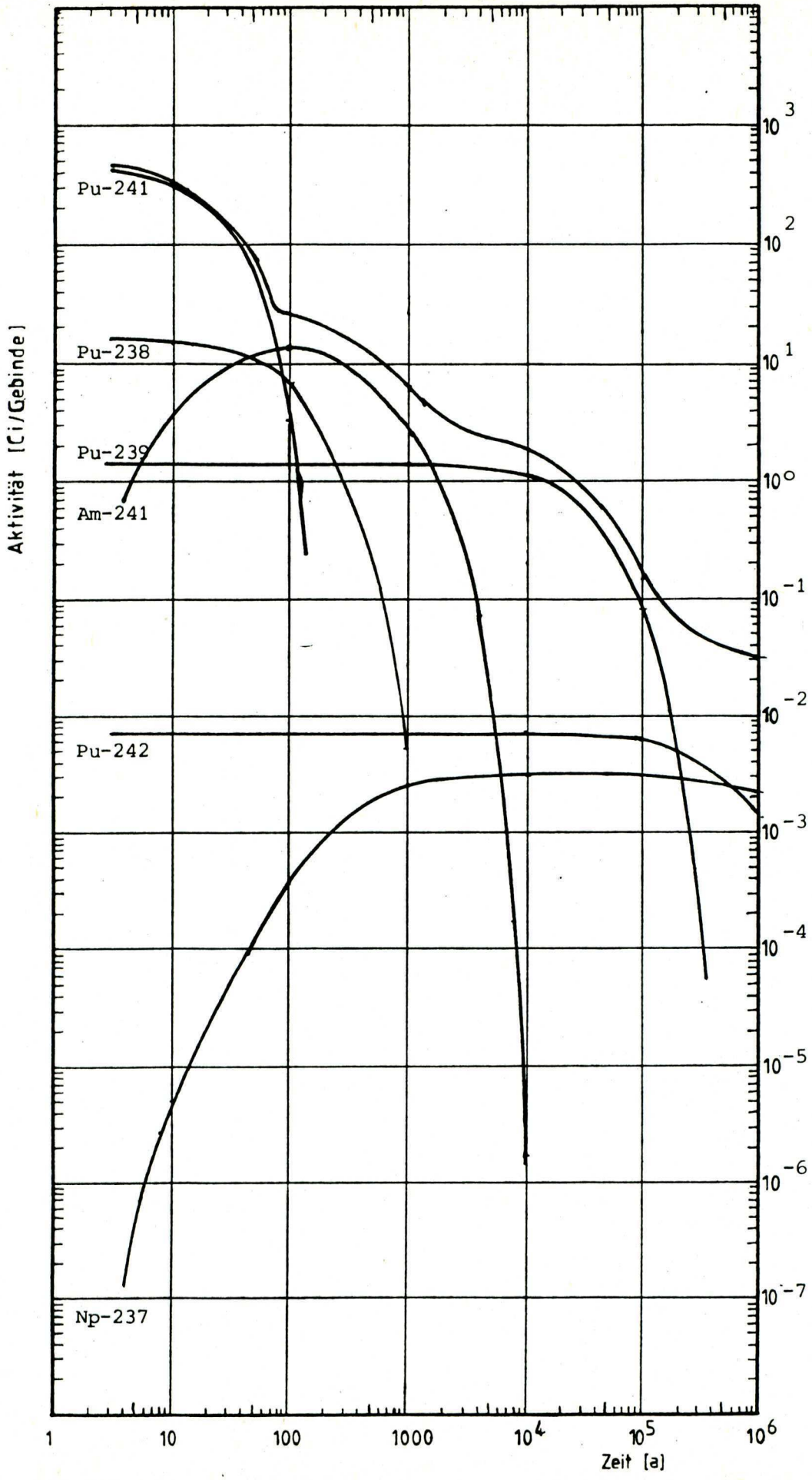

Aktivität [Ci/Gebinde]
Pu-241
Pu-238
Pu-239
Am-241
Pu-242
Np-237
10^3
10^2
10^1
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]

Abb. 4.11 W422

Tabelle 4.13

W441	3a	10a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
NP237	0.0	3.073E-06	2.166E-04	1.441E-03	1.814E-03	1.762E-03	1.316E-03
NP238	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NP239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU238	9.192E+00	8.697E+00	4.172E+00	3.409E-03	0.0	0.0	0.0
PU239	8.921E-01	8.920E-01	8.896E-01	6.668E-01	6.689E-01	5.006E-02	2.760E-13
PU240	1.406E+00	1.405E+00	1.391E+00	1.264E+00	4.869E-01	3.492E-05	0.0
PU241	2.703E+02	1.930E+02	2.195E+00	3.356E-19	0.0	0.0	0.0
PU242	4.326E-03	4.325E-03	4.325E-03	4.318E-03	4.249E-03	3.616E-03	7.211E-04
AM241	0.0	2.561E+00	7.661E+00	1.674E+00	1.011E-06	0.0	0.0
AM242M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	2.818E+02	2.066E+02	1.652E+01	4.020E+00	1.170E+00	8.364E-02	2.209E-02

Tabelle 4.14 (ohne Abbildung)

K321	15a	22a	115a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
CO 60	2.514E+00	1.001E+00	4.874E-06	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabelle 4.15

K322	2a	9a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
J 129	1.811E-05	1.811E-05	1.811E-05	1.811E-05	1.810E-05	1.803E-05	1.733E-05
CS137	1.892E+01	1.558E+01	1.182E+00	1.721E-11	0.0	0.0	0.0
FP	6.925E+01	2.655E+01	1.450E+00	1.811E-05	1.810E-05	1.803E-05	1.733E-05
PU238	4.326E-06	4.106E-06	1.969E-06	1.609E-09	0.0	0.0	0.0
PU239	1.406E-06	1.406E-06	1.402E-06	1.366E-06	1.054E-06	7.886E-08	4.348E-19
PU240	2.109E-06	2.108E-06	2.088E-06	1.699E-06	7.310E-07	5.243E-11	0.0
ACT	1.206E-05	8.965E-06	6.169E-06	3.436E-06	1.786E-06	8.963E-08	3.945E-09
TOTAL	6.925E+01	2.655E+01	1.450E+00	2.155E-05	1.989E-05	1.812E-05	1.733E-05

Tabelle 4.16

K331	5a	12a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
J 129	1.000E-03	1.000E-03	1.000E-03	1.000E-03	9.996E-04	9.956E-04	9.568E-04
CS137	5.405E+01	4.452E+01	3.378E+00	4.916E-11	0.0	0.0	0.0
TOTAL	1.259E+02	5.083E+01	3.567E+00	1.021E-03	1.009E-03	9.961E-04	9.569E-04

Tabelle 4.17

K421	2a	9a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
CS137	4.054E-02	3.339E-02	2.534E-03	3.687E-14	0.0	0.0	0.0
PU238	2.595E-07	2.464E-07	1.182E-07	9.658E-11	0.0	0.0	0.0
PU239	3.244E-08	3.244E-08	3.235E-08	3.152E-08	2.432E-08	1.820E-09	1.003E-20
PU240	4.866E-08	4.866E-08	4.838E-08	4.444E-08	1.711E-08	1.227E-12	0.0
PU241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	1.703E-07	3.274E-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	2.703E-07	2.068E-07	5.884E-09	6.448E-24	0.0	0.0	0.0
ACT	7.905E-07	5.435E-07	2.132E-07	7.801E-08	4.160E-08	2.347E-09	1.259E-10
TOTAL	1.212E-01	4.960E-02	2.611E-03	1.186E-07	8.212E-08	4.276E-08	3.892E-08

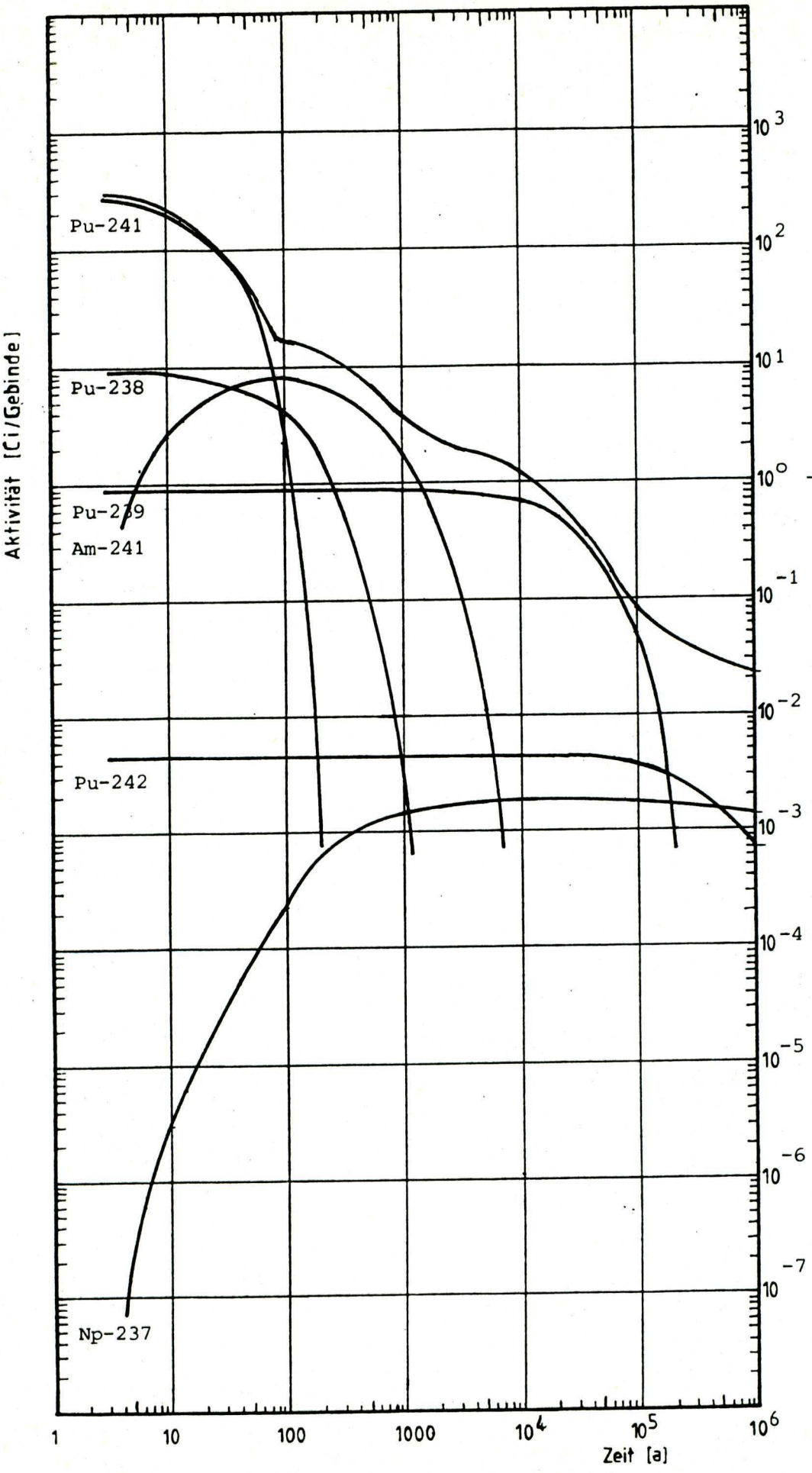

Aktivität [Ci/Gebinde]
Pu-241
Pu-238
Pu-239
Am-241
Pu-242
Np-237
10 3
10 2
10 1
10 0
10 -1
10 -2
10 -3
10 -4
10 -5
10 -6
10 -7
1
10
100
1000
10 4
10 5
10 6
Zeit [a]

Abb. 4.12 W441

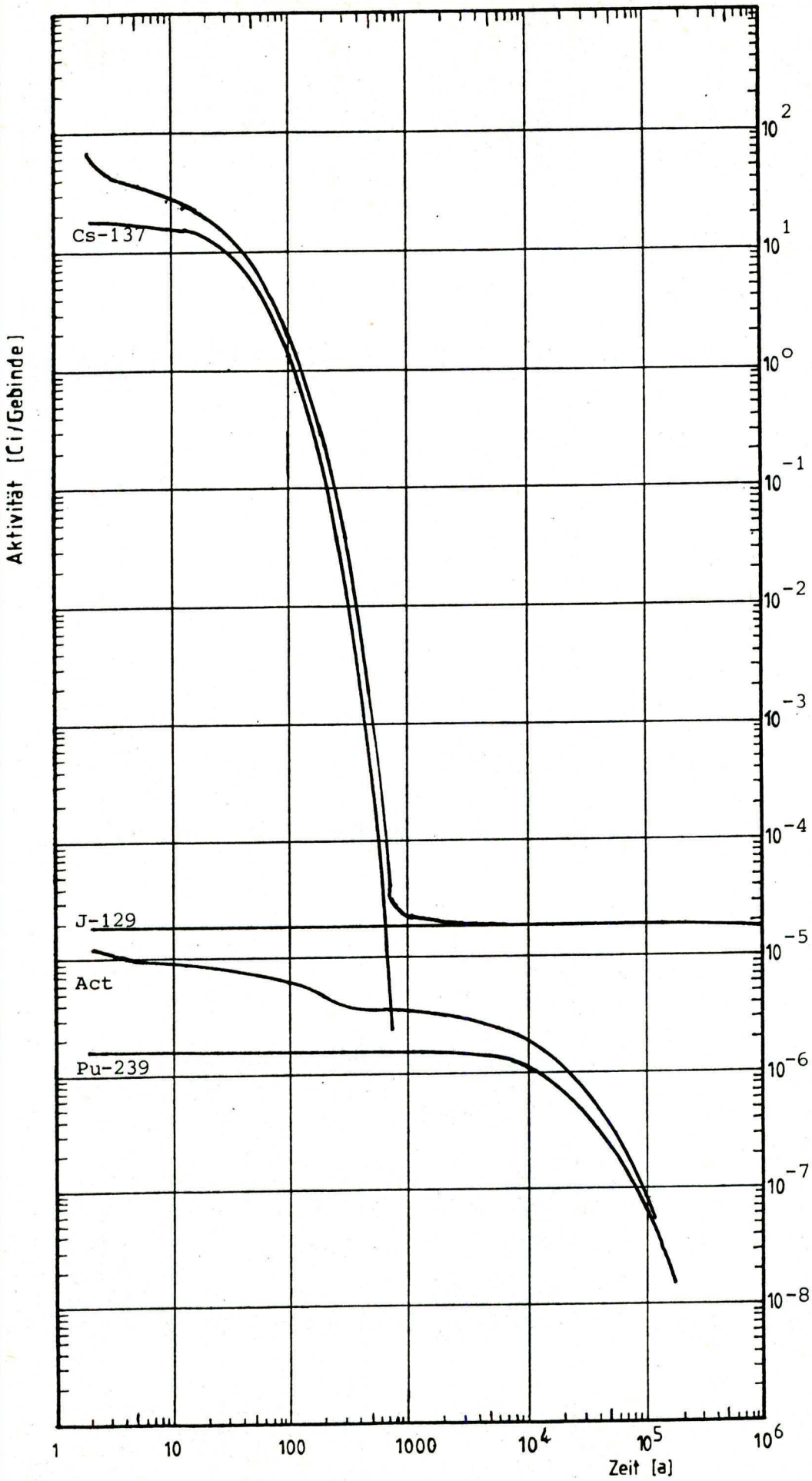

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-137
J-129
Act
Pu-239
10^{2}
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
1
10
100
1000
10^{4}
10^{5}
10^{6}
Zeit [a]

Abb. 4.13 K322

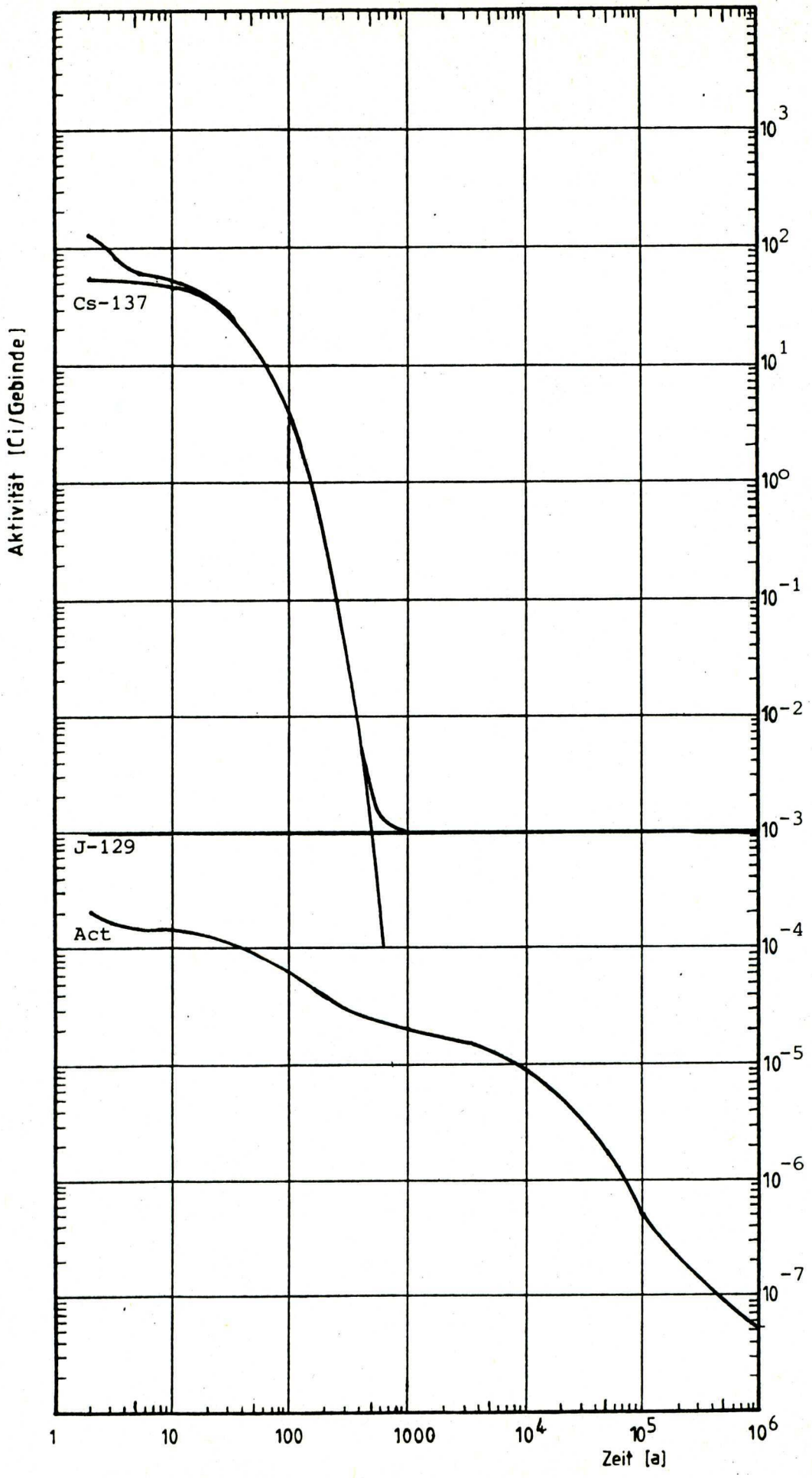

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-137
J-129
Act
10^3
10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]

Abb. 4.14 K331

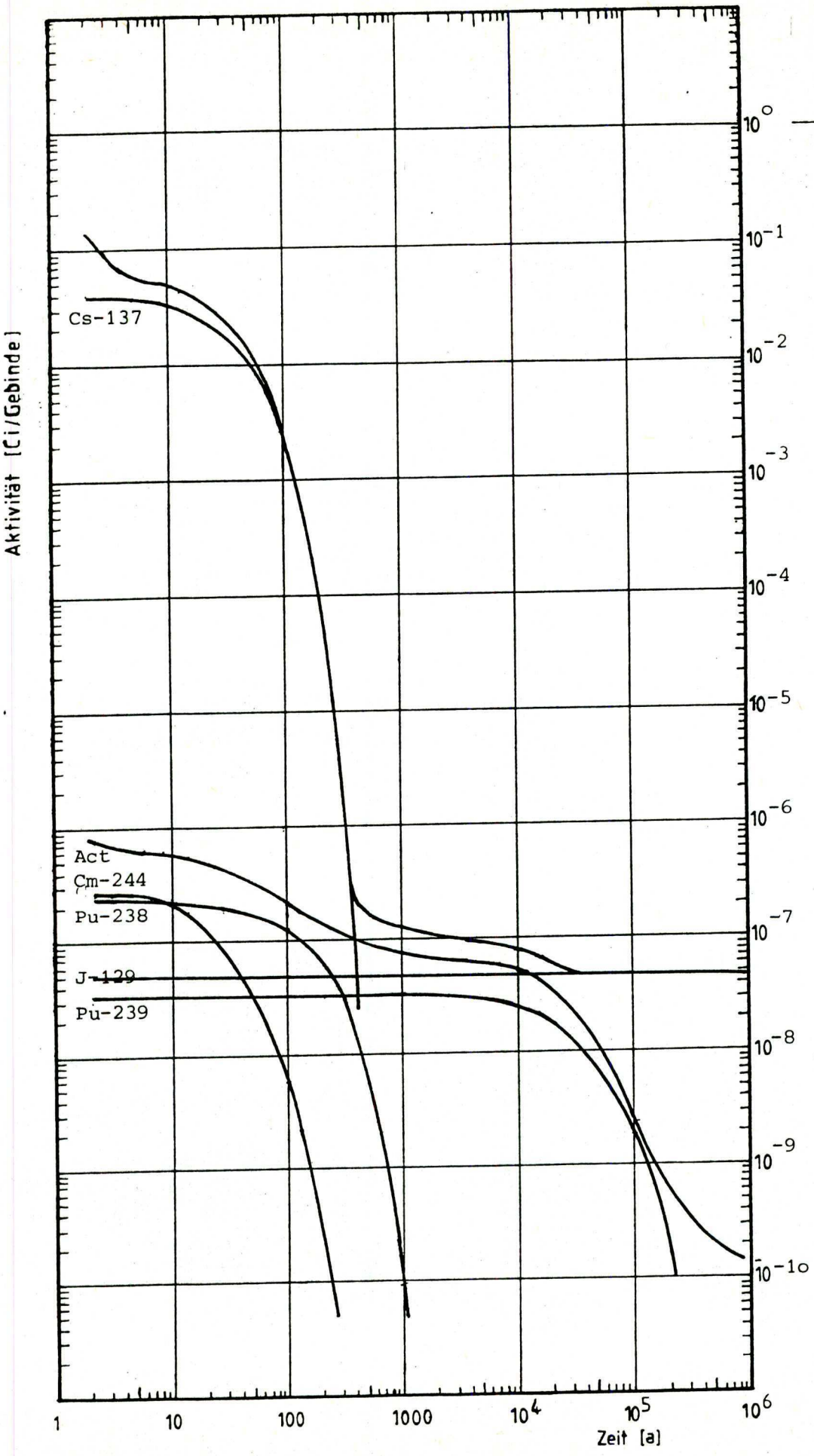

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-137
Act
Cm-244
Pu-238
J-129
Pu-239
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
10^-8
10^-9
10^-10
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]

Abb. 4.15 K421

Tabelle 4.18

K 422	2a	9a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
J 129	7.297E-09	7.297E-09	7.297E-09	7.297E-09	7.294E-09	7.265E-09	6.982E-09
H 3	2.595E-02	1.752E-02	9.473E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
CO 60	2.973E-02	1.184E-02	5.765E-08	0.0	0.0	0.0	0.0
FP	7.568E-02	3.624E-02	6.233E-04	7.297E-09	7.294E-09	7.265E-09	6.982E-09
PU238	4.326E-08	4.107E-08	1.970E-08	1.610E-11	0.0	0.0	0.0
PU239	1.406E-08	1.406E-08	1.402E-08	1.366E-08	1.054E-08	7.688E-10	4.348E-21
PU240	2.190E-08	2.189E-08	2.169E-08	1.972E-08	7.593E-09	5.446E-13	0.0
PU241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	2.974E-28	5.716E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	8.851E-09	6.618E-09	1.883E-10	2.063E-25	0.0	0.0	0.0
ACT	1.202E-07	8.620E-08	5.782E-08	3.393E-08	1.816E-08	8.927E-10	2.990E-11
TOTAL	7.568E-02	3.624E-02	6.234E-04	4.123E-08	2.545E-08	8.158E-09	7.012E-09

Tabelle 4.19

K423	2a	9a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
J 129	9.189E-07	9.198E-07	9.189E-07	9.189E-07	9.186E-07	9.149E-07	8.792E-07
CS137	9.189E-01	7.568E-01	5.743E-02	8.358E-10	0.0	0.0	0.0
FP	2.459E+00	9.716E-01	5.838E-02	9.197E-07	9.186E-07	9.149E-07	8.792E-07
PU238	5.948E-06	5.646E-06	2.708E-06	2.213E-09	0.0	0.0	0.0
PU239	7.299E-07	7.298E-07	7.276E-07	7.092E-07	5.473E-07	4.096E-08	2.258E-19
PU240	1.108E-06	1.112E-06	1.113E-06	1.012E-06	3.899E-07	2.796E-11	0.0
PU241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	3.785E-06	7.275E-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	6.218E-06	4.757E-06	1.353E-07	1.483E-22	0.0	0.0	0.0
ACT	1.801E-05	1.246E-05	4.873E-06	1.770E-06	9.410E-07	5.419E-08	2.914E-09
TOTAL	2.459E+00	9.716E-01	5.838E-02	2.690E-06	1.860E-06	9.691E-07	8.821E-07

Tabelle 4.2o

K424	2 a	9a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
CO 60	5.946E-01	2.368E-01	1.153E-06	0.0	0.0	0.0	0.0
J 129	1.297E-07	1.297E-07	1.297E-07	1.297E-07	1.297E-07	1.292E-07	1.241E-07
CS137	1.514E-01	1.247E-01	9.459E-03	1.377E-13	0.0	0.0	0.0
FP	1.027E+00	3.971E-01	1.106E-02	1.297E-07	1.297E-07	1.292E-07	1.241E-07
PU238	6.110E-07	7.699E-07	3.693E-07	3.018E-10	0.0	0.0	0.0
PU239	2.703E-07	2.703E-07	2.696E-07	2.627E-07	2.027E-07	1.517E-08	6.362E-20
PU240	4.326E-07	4.323E-07	4.283E-07	3.894E-07	1.499E-07	1.075E-11	0.0
PU241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	5.137E-07	9.874E-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	1.298E-07	9.927E-08	2.824E-09	3.095E-24	0.0	0.0	0.0
ACT	2.214E-06	1.626E-06	1.119E-06	6.641E-07	3.532E-07	1.713E-08	5.826E-10
TOTAL	1.027E+00	3.971E-01	1.106E-02	7.938E-07	4.829E-07	1.563E-07	1.247E-07

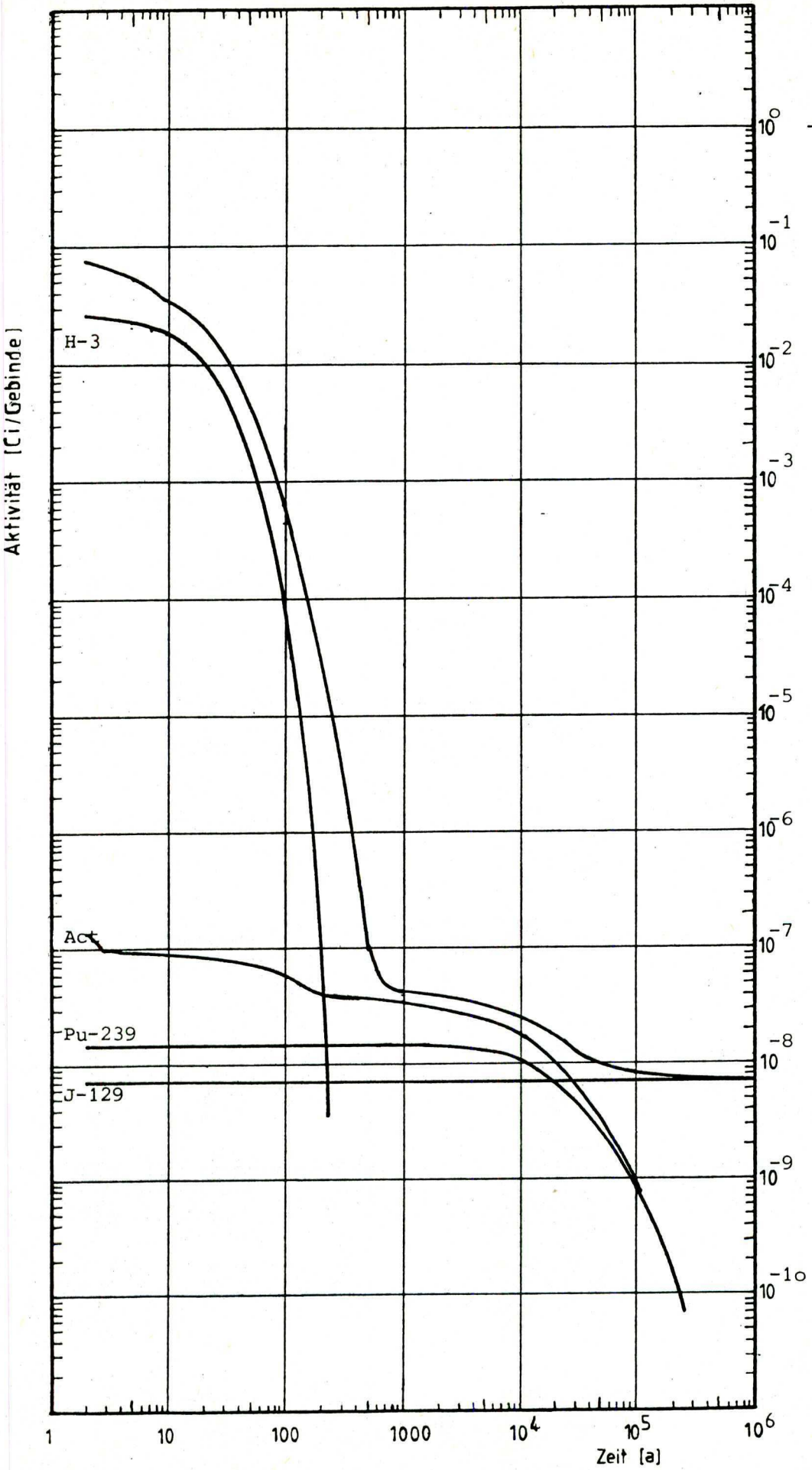

Aktivität [Ci/Gebinde]
H-3
Act
Pu-239
J-129
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
10^{-9}
10^{-10}

Abb. 4.16 K422

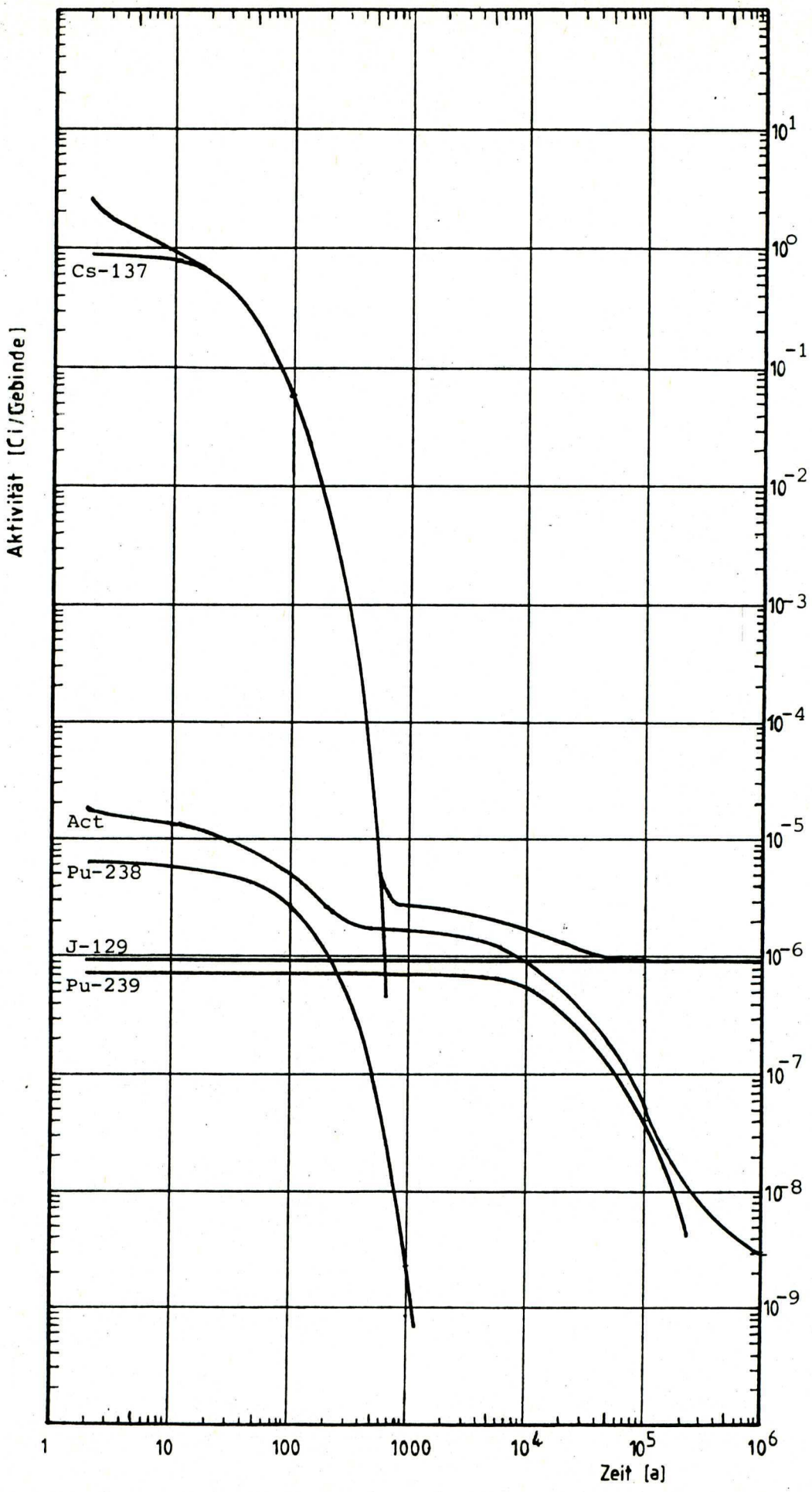

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-137
Act
Pu-238
J-129
Pu-239
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
10^{-9}
1
10
100
1000
10^{4}
10^{5}
10^{6}
Zeit [a]

Abb. 4.17 K423

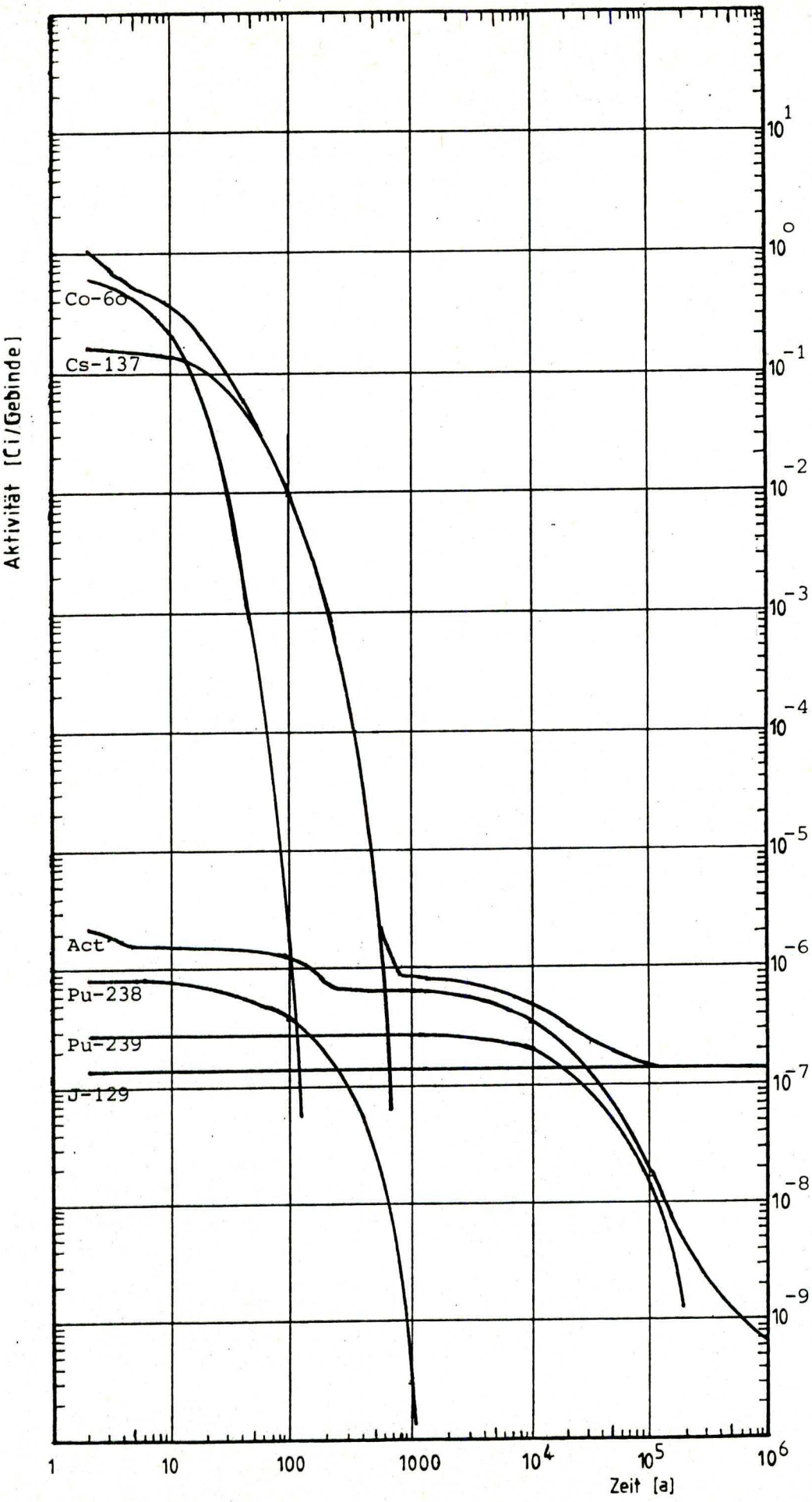

Aktivität [Ci/Gebinde]
Co-60
Cs-137
Act
Pu-238
Pu-239
J-129
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
10^{-9}

Abb. 4.18 K424

Tabelle 4.21

K441	2a	9a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
J 129	5.946E-09	5.946E-09	5.946E-09	5.946E-09	5.944E-09	5.920E-09	5.689E-09
CS137	5.946E-03	4.897E-03	3.716E-04	5.408E-15	0.0	0.0	0.0
FP	1.919E-02	7.193E-03	3.775E-04	5.946E-09	5.944E-09	5.920E-09	5.689E-09
PU238	3.785E-06	3.593E-06	1.724E-06	1.409E-11	0.0	0.0	0.0
PU239	4.596E-09	4.595E-09	4.583E-09	4.465E-09	3.446E-09	2.579E-10	1.422E-21
PU240	7.299E-09	7.320E-09	7.331E-09	6.666E-09	2.567E-09	1.841E-13	0.0
PU241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242	2.514E-06	4.833E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	4.055E-08	3.102E-06	6.826E-10	9.671E-25	0.0	0.0	0.0
ACT	1.167E-07	8.015E-08	3.115E-08	1.142E-08	6.037E-09	3.420E-10	1.843E-11
TOTAL	1.919E-02	7.193E-03	3.775E-04	1.737E-08	1.198E-08	6.262E-09	5.707E-09

Tabelle 4.22

K442

	2a	9a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
J 129	2.514E-09	2.514E-09	2.514E-09	2.514E-09	2.513E-09	2.502E-09	2.405E-09
CS137	2.514E-03	2.070E-03	1.571E-04	2.286E-15	0.0	0.0	0.0
FP	1.324E-02	5.063E-03	1.821E-04	2.514E-09	2.513E-09	2.502E-09	2.405E-09
PU238	1.406E-06	1.334E-06	6.401E-09	5.231E-12	0.0	0.0	0.0
PU239	4.596E-09	4.595E-09	4.583E-09	4.465E-09	3.446E-09	2.579E-10	1.422E-21
PU240	7.299E-09	7.295E-09	7.228E-09	6.570E-09	2.530E-09	1.815E-13	0.0
CM242	6.921E-09	1.715E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	2.190E-09	1.675E-09	4.766E-11	5.222E-26	0.0	0.0	0.0
ACT	3.793E-08	2.777E-08	1.900E-08	1.122E-08	5.986E-09	2.917E-10	9.814E-12
TOTAL	1.324E-02	5.063E-03	1.821E-04	1.373E-08	8.499E-09	2.794E-09	2.514E-09

Tabelle 4.23

F321	2a	9a	100a	1000a	10^4a	10^5a	10^6a
CS137	3.243E-01	2.671E-01	2.027E-02	2.950E-13	0.0	0.0	0.0
TOTAL	2.973E+00	2.823E-01	2.027E-02	2.950E-13	0.0	0.0	0.0

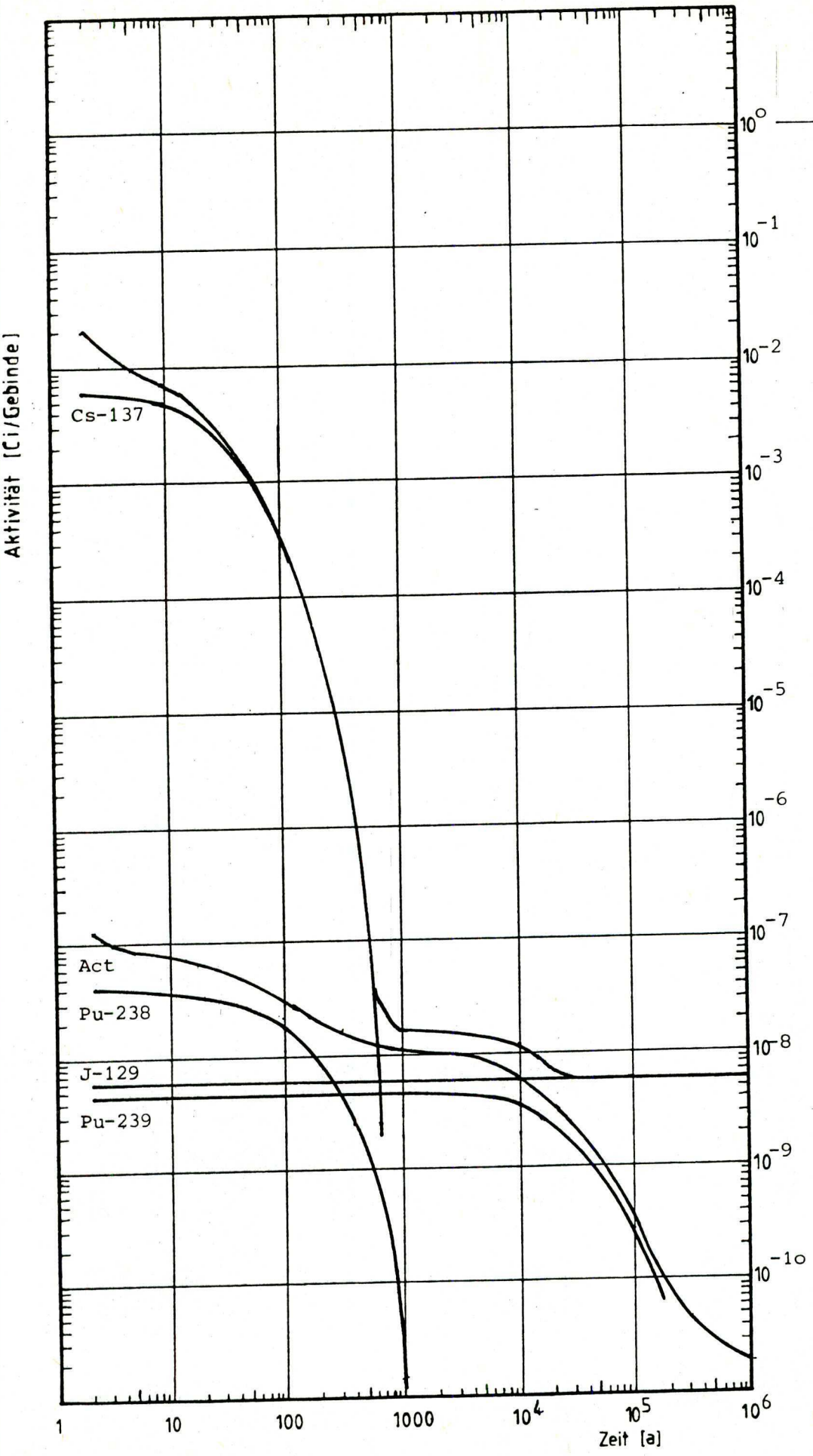

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-137
Act
Pu-238
J-129
Pu-239
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
10^{-9}
10^{-10}
1
10
100
1000
10^{4}
10^{5}
10^{6}
Zeit [a]

Abb. 4.19 K441

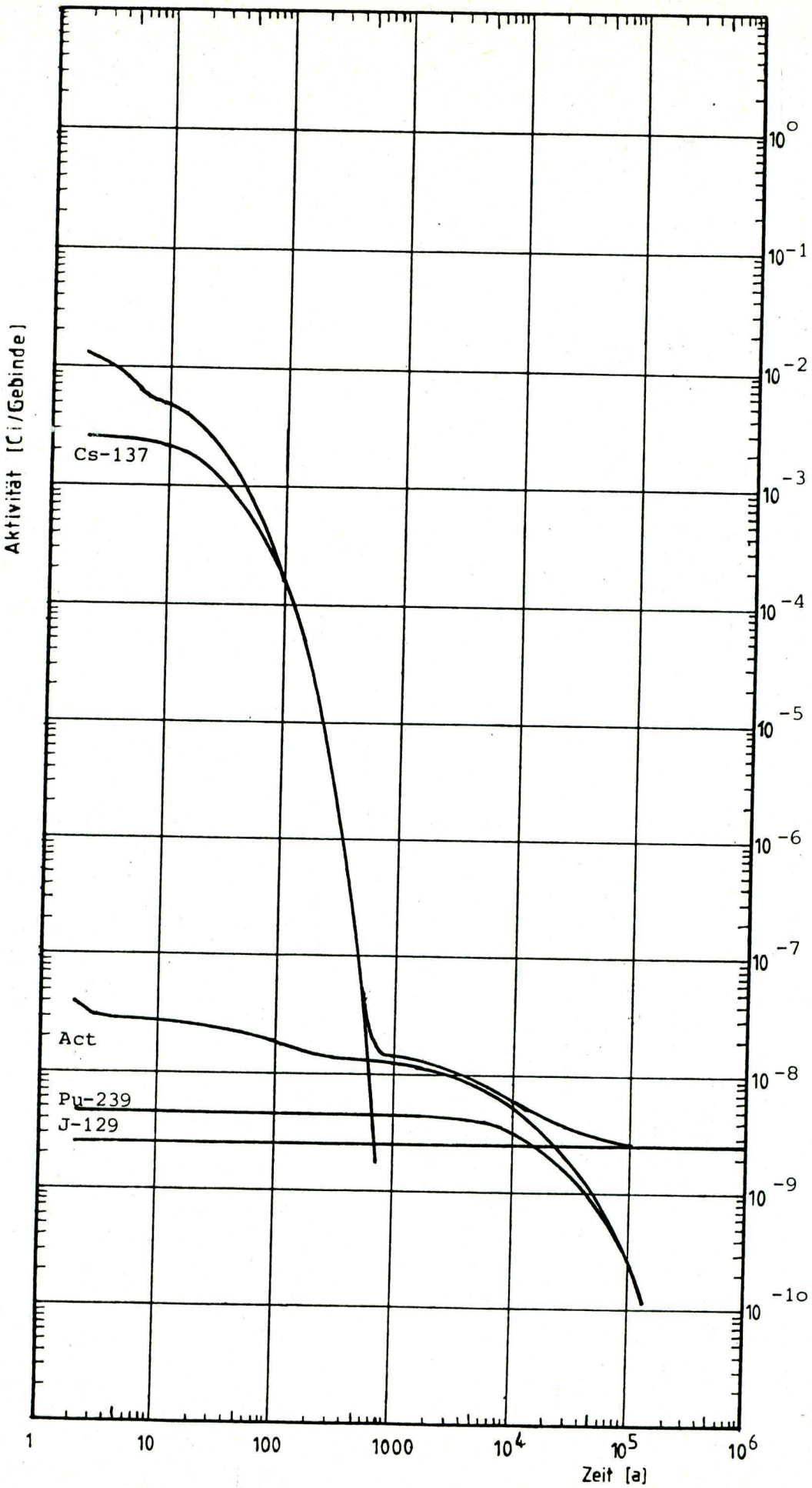

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-137
Act
Pu-239
J-129
Zeit [a]
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
10^-8
10^-9
10^-10

Abb. 4.2o K442

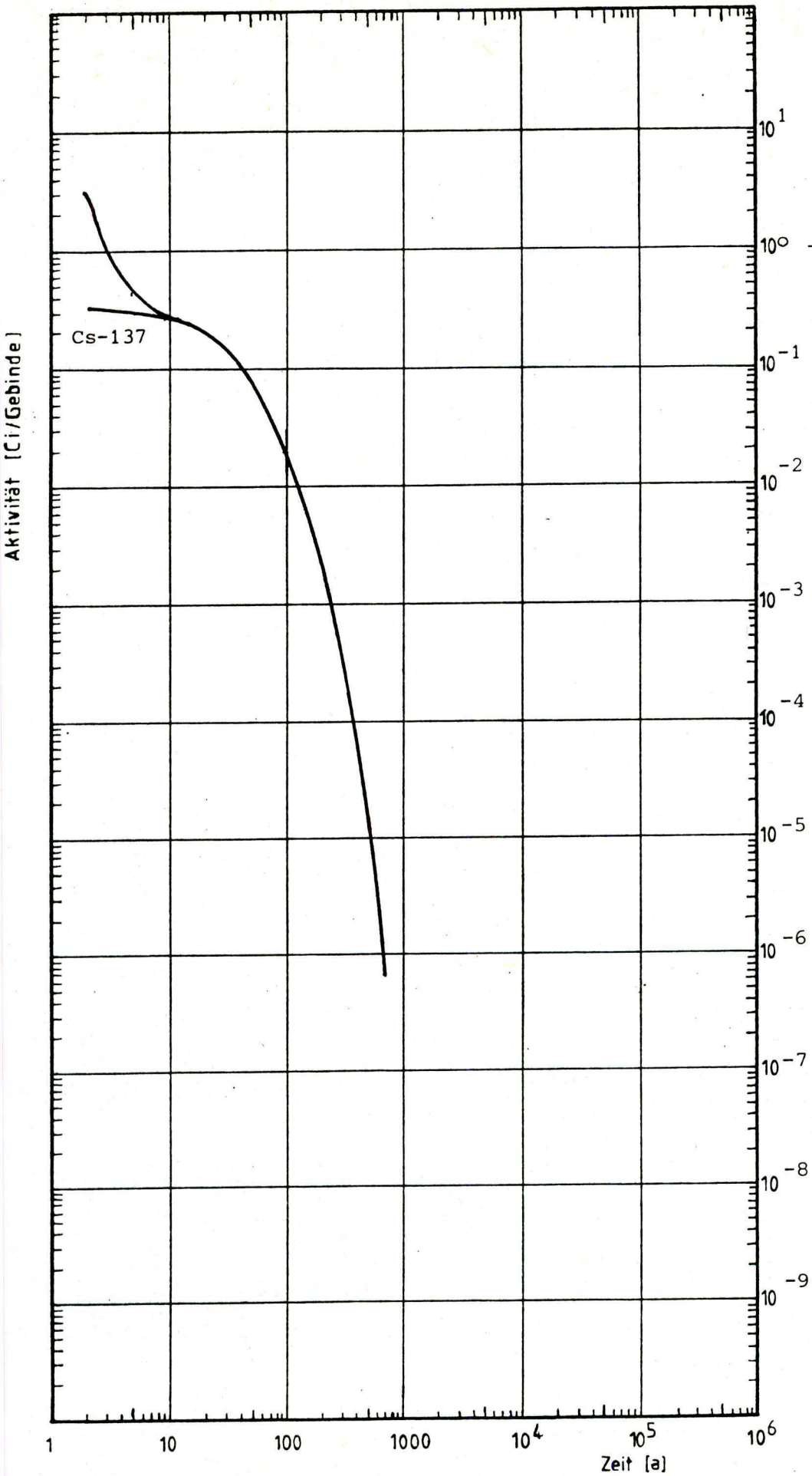

Aktivität [Ci/Gebinde]
Cs-137
10^1
10^0
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
10^-7
10^-8
10^-9
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
Zeit [a]

Abb. 4.21 F321

Die Angabe von Sicherstellungszeiträumen vermittelt eine Vorstellung, für welche Zeiträume bei der Erstellung von Eignungsuntersuchungen in die "geologische Zukunft" gedacht werden muß (vgl. 2.1.).

Belastbare Aussagen über die notwendigen Sicherstellungszeiträume lassen sich aus den Aktivitätskurven nicht gewinnen. Hierzu müßten weitere Paramenter wie beispielsweise Radiotoxizität, Auslaugverhalten und Wanderungsgeschwindigkeit durch das Gebirge betrachtet werden. Dies war im Rahmen der vorliegenden Arbeiten nicht möglich.

Es läßt sich jedoch vermuten, daß die Sicherstellungszeiträume einiger Abfallkategorien, die Radionuklide langer Halbwertszeit und mit relativ hohen Wanderungsgeschwindigkeiten (z. B. Tc-99, J-129) in größeren Mengen enthalten, 10^5 Jahre und länger sein können.

4.3.2. Mengenaufkommen

Im folgenden wird immer bis zum Jahr 2000 gerechnet. Ausgegangen wird für Abfälle aus Wiederaufarbeitung, Kraftwerksbetrieb, Landessammelstellen und Forschungszentren von Daten der PTB (ILLI 1981), für Wiederaufarbeitung außerdem von Angaben der DWK (DWK 1980, DWK 1981) sowie für Stillegungsabfälle und solche aus der Industrie von Zahlen des GSF-Abschlußberichtes.

Stillegungsabfälle: Hier wird die GSF-Angabe von 3000 m^3 bis 2000 übernommen (S. D1-24).

Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken: Aus dem PTB-Bericht (ILLi 1981) bei dem dort angenommenen (unbekannten) Mix aus DWR und SWR ergibt sich eine spezifische Abfallmenge pro GWe und Jahr von:

	648 Gebinden		345 m³	
davon	272	400 l	146,72 m³	zementiert
	275	200 l	77,14 m³	gepreßt
	95	200 l-VBA	114,12 m³	zementiert
	6	200 l-VBA	6,84 m³	organisch

Bei Ausbaustrategien gemäß den Pfaden 1 und 2 der Enquete-Kommission (BUNDESTAG 1980) fallen bis 2000 die folgenden Abfallmengen an:

Pfad 1 (1980: 10 GWe, 1990: 30 GWe, 2000: 75 GWe):
629.114 Gebinde 334.945 m³

Pfad 2 (1980: 10 GWe, 1990: 20 GWe, 2000: 30 GWe):
335.722 Gebinde 178.741 m³

Diese beiden Pfade umfassen etwa den Bereich Minimum bis Maximum; die dritte Fortschreibung der Bundesregierung (BMWi 1981) liegt dazwischen und etwas näher an Pfad 1 als das Mittel.

Die bis 1980 schon angefallenen 18.400 m³ Gesamtabfälle wurden der Einfachheit halber hier eingerechnet.

Forschungszentren und Landessammelstellen: Die beiden Bereiche waren leider kaum aufzudifferenzieren, da die Forschungszentren in Karlsruhe und Jülich gleichzeitig als Landessammelstellen fungieren. Pro Jahr fallen derzeit an:

	8.817 Gebinde		3.331 m³	
davon	937	200 l-VBA	1.124,4 m³	zementiert
	1.880	200 l	526,4 m³	zementiert
	6.000	200 l	1.680 m³	gepreßt

Unter der Annahme, daß dies konstant bleibe, sind dies bis zum Jahr 2000

176.340 Gebinde 66.616 m³

Industrie: Da hierzu in (ILLI 1981) keine Angaben gemacht werden, wurde aus dem GSF-Abschlußbericht (s. D1-24) die Zahl von 7.000 m^3/a für Industrie, Landessammelstellen und Forschungszentren übernommen und daraus der Industrieanteil zu ca. 3.700 m^3/a berechnet. Dies ergibt bis 2000:

etwa 190.000 Gebinde 74.000 m^3

Dabei wurden 2,57 Gebinde/m^3 angesetzt; dies entspricht etwa der Verteilung bei Landessammelstellen und Forschungszentren.

Wiederaufarbeitung: Die Angaben der PTB hierzu beziehen sich auf eine 1400 jato-Anlage, eine Umrechnung auf 350 jato nach dem gegenwärtigen Konzept liefert wahrscheinlich zu kleine Werte, weil bestimmte Abfallmengen nicht linear vom Durchsatz abhängen. Es ergeben sich pro Jahr:

über	6.839 Gebinde	über 7.093,9 m^3	
davon	1.083 400 l-VBA/EAB	1.461,7 m^3	W221-W225
	2.991 400 l-VBA/EAB	4.038,2 m^3	W321-W323
	125 400 l-VBA/EAB	168,4 m^3	W331
über	1.346 400 l	727,0 m^3	W421-W422
	1.294 400 l	698,6 m^3	W441-W442

Aus dem DWK-Sicherheitsbericht für die in Hessen geplante WA-350 (DWK 1980, DWK 1981) ergeben sich die folgenden etwas höher liegenden Zahlen pro Jahr:

	10.186 Gebinde	12.627 m^3
davon	7.200 400 l-VBA	9.700 m^3
	1.366 400 l	740 m^3
	1.620 ATB	2.187 m^3

Es wurde davon ausgegangen, daß die Abschirm-Transportbehälter (ATB) dasselbe Volumen wie 400 l-VBA besitzen. Für die Zahl bis 2000 wurde als Minimum die Zahl der PTB, als Maximum die der DWK angenommen. Es ergeben sich

34.195 ... 50.930 Gebinde
35.469,5 ... 63.135 m^3

falls 1995 als das Jahr des Betriebsbeginns der Wiederaufarbeitungsanlage angenommen wird. Da die Zahlen der DWK nicht den Detaillierungsgrad aufwiesen,wie die der PTB, wurden bei der Berechnung der Inventare einer Endlagerkammer die Angaben der PTB benutzt.

In der Summe ergibt sich die bis zum Jahr 2000 anfallende Abfallmenge zu:

736.257 ... 1.046.384 Gebinde
354.827 ... 538.696 m^3

Dies liegt oberhalb der Schätzungen der Bundesregierung (BUNDESTAG 1981, BUNDESTAG 1983).

4.3.3. Zusätzlich notwendige Arbeiten zur Vervollständigung der Datenbasis

In einigen Punkten ist die vorgelegte Datenbasis noch nicht komplett. Es soll daher hier kurz angeführt werden, welche Arbeiten zur Vervollständigung notwendig wären.

Zunächst einmal muß sie an das gegenwärtig verfolgte Wiederaufarbeitungskonzept angepaßt werden. Dies ist notwendig, da mittlerweile sich die mittlere Lagerdauer der bestrahlten Brennelemente bis zur Wiederaufarbeitung von 3 auf 7 Jahre verlängert hat. Dadurch verändern sich die Inventare insbesondere für Pu-241 und Am-241 (durch den Zerfall von Pu-241) und auch das Np-Inventar.

Des weiteren sind, wie schon in Kapitel 4.3.1. angeführt, genauere Rechnungen zum Sicherstellungszeitraum erforderlich.

Schließlich erscheint es notwendig, die Nuklide am Ende einer Zerfallskette genauer auf ihre Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit des Endlagers zu untersuchen. Von besonderer Wichtigkeit erscheinen hier die Nuklide der Np-Zerfallsreihe, da sie auch nach 10^6 Jahren noch im Ci-Maßstab im Endlager vorliegen.

4.4. Exkurs über Radiolysegasbildung

An dieser Stelle soll auf Abschnitt D4.2.8 des GSF-Abschlußberichtes eingegangen werden.

Die GSF konzentriert ihre Bemühungen auf den Nachweis, daß es während der Einlagerungsphase in den Einlagerungskammern nicht zur Bildung zündfähiger Gemische, die vor allem durch das Radiolysegas Wasserstoff (H_2) verursacht wird, kommen kann. Dazu werden zunächst die H_2 -Bildungsraten betrachtet. Tabelle 4.24. zeigt einen Vergleich der Daten, die von der GSF verwendet werden, mit Literaturdaten. Zusätzlich zu der von der GSF berücksichtigten Literatur (KLUGER 1974, SCHEFFLER 1977, BIBLER 1979, KLUGER 1980, MÖCKEL 1981, KOWA 1983) wurden weitere Arbeiten (GEHRINGER 1981 a, GEHRINGER 1981 b, SCHORR 1979) herangezogen.

Die von der GSF in den Rechnungen benutzten Durchschnittswerte liegen unter den berichteten Maximalwerten. Die in einer zu 50% mit Abfall gefüllten Einlagerungskammer von 3.200 m^3 entstehenden Radiolysegasmengen werden nur für zementierte Abfallprodukte (Stillegungsabfälle) errechnet und liefern einen Anteil von 1,5 Vol-% nach 3 Jahren in einer unbelüfteten Kammer. Dies liegt unterhalb der Zündgrenze von 4 Vol-%. Für andere Abfälle liegen die Zahlen erheblich niedriger (0,03 - 0,07 Vol-%).

Mögliche Langzeitaspekte der Radiolysegasbildung werden nicht untersucht. In den Untersuchungen des Projektes Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE) wird die Radiolysegasbildung jedoch

als möglicher Antriebsmechanismus für den Transport von Nukliden aus dem Endlager hinaus (nach einem Wassereinbruch) angesehen und untersucht (MEMMERT 1983). Eine Überschlagsrechnung zeigt, daß das auch an dieser Stelle hätte geschehen müssen.

Ausgegangen wird von einer Einlagerungskammer von 3.200 m^3 und einer integralen Alpha-Dosis von 10^8 rad nach 1000 a (analog GSF S. D4-75). Eingelagert seien 1.600 m^3 Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken. Nimmt man einen Durchschnittsmix gemäß der von der PTB benutzten Verteilung an (ILLI 1981), so ergibt sich ein Nettovolumen (Volumen an Zementstein in den Gebinden) von 848,2 m^3. Dies entspricht 1.696 t Zement. Daraus errechnet sich eine H_2-Menge von 288,4 ... 1.357,1m^3 (unter Normalbedingungen), wenn man mit den von der GSF genannten Zahlen für α-Radiolyse rechnet. Unter den Bedingungen im Endlager reduziert sich das Volumen durch den lithostatischen bzw. hydrostatischen Druck um etwa 2 Größenordnungen auf einige m^3. Für die von der GSF bei den Sicherheitsbetrachtungen verwendete 40.000 m^3-Kammer ergeben sich einige Zehner bis einige Hundert m^3. Dieser Betrag ist nicht ohne weitere Diskussion zu vernachlässigen. Die Bildung anderer Radiolysegase, wenn auch in geringerer Größenordnung, kommt noch hinzu. Die α-Radiolyse hält aufgrund der langen Halbwertszeit vieler α-Strahler etwa 10^5 bis 10^6 Jahre an.

Tabelle 4.24. Vergleich der H_2-Bildungsraten

	GSF	max. Werte
Bitumen		
	3,9 ... 7,7 x 10^{-3} ml/g Mrad	8,0 ... 12,0 x 10^{-3} ml/g Mrad (Schorr)
	12 x 10^{-3} ml/g Mrad	8,0 ... 14,0 x 10^{-3} ml/g Mrad (Kowa)
Zement		
	0,8 ... 4,5 x 10^{-3} ml/g Mrad	3,0 ... 8,0 x 10^{-3} ml/g Mrad (Möckel)
	1,7 ... 8,0 x 10^{-3} ml/g Mrad	

4.5. Zusammenfassende Wertung

Die Kritik an der Abfallbeschreibung der GSF läßt sich wie folgt zusammenfassen.

Es wird nicht ausreichend dokumentiert, wie sich die Abfälle zusammensetzen, für die gilt, "daß die Eignung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung von schwachradioaktiven Abfällen und Stillegungsabfällen durch die vorliegenden Ergebnisse belegt ... ist" (GSF-Abschlußbericht: 21). Das vorgelegte Datenmaterial hat keinen durchgängig einheitlichen Bezugspunkt und erlaubt keine Schlußfolgerungen über die Langzeitgefährdung durch das Endlager.

Die Eignungsaussage hätte nur belegt werden können, indem gezeigt worden wäre, "daß jedes Faß und die Summe der Fässer mit den vorgesehenen Abfallstoffen für eine Einlagerung in der Schachtanlage geeignet seien" (Röthemeier, LANDTAG 1982 b). Dies ist nicht geschehen.

Unter diesen Umständen hat der Begriff schwachradioaktive Abfälle kaum einen Aussagewert; die oben zitierte Eignungsaussage kommt einem Blankoscheck für die Einlagerung gleich.

Die Bearbeiter des GSF-Abschlußberichts waren in ihrer Problemsicht offenbar auf transport- und handhabungstechnische Aspekte beschränkt.

Die Qualitätssicherungsmaßnahmen können Fehlklassifizierungen der Abfallablieferer nicht mit Sicherheit ausschließen. Auch hier hat sich die GSF offenbar auf Transport und Handhabung beschränkt.

Für das Mengenaufkommen kann man ähnliche Aussagen machen wie für die Abfallbeschreibung. Die anlagenspezifischen Abfallmengenangaben sind in sich nicht ganz konsistent; die Aussagen über die Gesamtmenge lassen sich nicht schlüssig aus den Einzelangaben herleiten.

Die Gesamtmenge ist wahrscheinlich zu niedrig geschätzt. Daß - insbesondere für die Nuklidspektren - wesentlich detailliertere Aussagen möglich gewesen wären, zeigen die durchgeführten Arbeiten zur Erstellung einer Datenbasis (Kap. 4.3.). Dabei wurden Nuklidspektren für Abfälle aus Wiederaufarbeitung, Kernkraftwerksbetrieb, Landessammelstellen und Forschungszentren zusammengestellt, das Abklingverhalten betrachtet und graphisch dargestellt und grobe Angaben über Sicherstellungszeiträume gemacht. Weiterhin wurde das zu erwartende Mengenaufkommen abgeschätzt.

Für die Radiolysegasbildung gilt, daß die GSF zwar zeigen kann, daß sie unter realistischen Verhältnissen nicht zur Bildung zündfähiger Gemische ausreicht. Daß sie jedoch einen Antriebsmechanismus für die Radionuklidwanderung aus dem Endlager heraus bilden kann, wurde ignoriert und nicht untersucht.

4.6. Literatur

ASSE (1975): GSF; Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse, München, Dezember 1975.

BIBLER, NED.-E (1979): Radiolytic Gas Generation in Concrete made with Incinerator Ash Containing Transuranic Nuclides. - DuPont-Ms-79-25.

BMWi (1981) s. unten.

BUNDESTAG (1980): Bericht der Enquete-Kommission Zukünftige Kernenergiepolitik. - Deutscher Bundestag, Bonn.

BUNDESTAG (1981): Antwort der Bundesregierung auf die große Anfrage "Verantwortung des Bundes für die Sicherstellung nach Einlagerung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland". - Bundestagsdrucksache 9/1231, Dezember 1981.

BUNDESTAG (1983): Bericht der Bundesregierung "Die Entsorgung der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Einrichtungen". - Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag, August 1983.

CROFF, A. G. et al. (1980): ORIGEN 2 - A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code. - ORNL-5621. Die hier verwandten Rechenergebnise wurden freundlicherweise von G. Kirchner, Universität Bremen, zur Verfügung gestellt.

DWK: Sicherheitsbericht der WA-350 (Hessen). - Hannover 1980, 1981, 1982.

GEHRINGER, P., PROKSCH, E. & SZINOWATZ, W. (1981): Die Gammaradiolyse von Bitumen, Teil I und II. - Atomkernenergie-Kerntechnik 39, S. 12 ff., S. 185 ff.

GSF-T 165 (1983): Aktuelle Ergebnisse der laufenden F+E-Arbeiten in der Schachtanlage Konrad zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. - GSF München.

HAUG, H.O. (1981a,b): Zerfallsrechnungen verschiedener mittelaktiver und actinidenhaltiger Abfälle des LWR-Brennstoffkreislaufes. - Teil I: KfK-Bericht 3221, Teil II: KfK-Bericht 3222.

HAZ (1982): Hannoversche Allgemeine Zeitung v. 02.09.1982,S.4

ILLI, H., EHRLICH, D. & WARNECKE, E. (1981): Anforderungen an radioaktive Abfälle abgeleitet aus Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung. - PTB-Bericht PTB-SE-5.

KELM, M. & KÖSTER, R. (1980): LAW- und MAW-Abfallströme aus einem Referenzentsorgungszentrum zur Wiederaufarbeitung von abgebrannten LWR-Brennelementen nach dem Purexprozeß mit einem Durchsatz von 1000 Jahrestonnen. - KfK-Bericht 2880.

KLUGER, W. (1974): Jahresbericht der ADB. - In: Krause, H. (Hrsg.): KfK-Bericht 2000.

KLUGER, W., HILD , W., KÖSTER, R., MEIER, G. & KRAUSE, H. (1980): Bituminierung radioaktiver Abfallkonzentrate aus Wiederaufarbeitung, Kernforschungseinrichtungen und Kernkraftwerken. - KfK-Bericht 2975.

KOWA, S., KERNER, N., HENTSCHEL, D. & KLUGER, W. (1983): Untersuchungen zur Alpharadiolyse von LAW/MAW-Bitumenprodukten aus der Wiederaufarbeitung. - KfK-Bericht 3241.

LANDTAG (1982 a): Niederschrift über die 2. Sitzung des Ausschusses für Umweltfragen am 13. September 1982. - Hannover.

LANDTAG (1982 b): Niederschrift über die 4. und 5. Sitzung des Ausschusses für Umweltfragen am 21. und 22. Oktober 1982. - Hannover.

MEMMERT, G. (1983): Manuskript eines Vortrages, gehalten auf einer Informationsveranstaltung des BMFT in Hitzacker, Mai 1983.

MÖCKEL, H. & KÖSTER, R. (1981): Untersuchungen zur Strahlenbeständigkeit von zementierten LAW-, MAW-Produkten. - KfK-Bericht 3045.

SCHEFFLER, K., KUCH, W. & RIEGE, U. (1977): Beständigkeit von MAW-Zementprodukten gegenüber Alpha-Bestrahlung. - KfK-Bericht 2519.

SCHORR, W., DUSCHNER, H. & STARKE, K. (1979): The Generation of Radiolysis Gases from Low- und Medium-Level Radioactive Waste Solidification Products. - Atomkernenergie-Kerntechnik 33, S. 265 ff.

BMWi (1981): Dritte Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung.- Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn.

Anhang 4. A: Inventar einer 40.000 m^3-Endlagerkammer

Betrachtet wird eine Kammer von 40.000 m^3, die zu 50% mit Endlagergebinden gefüllt ist. Drei Möglichkeiten werden durchgerechnet:

(1) Die Kammer ist gefüllt mit einem durchschnittlichen Faßmix, der keine Wiederaufarbeitungsabfälle enthält. Der Mix setzt sich aus dem Mittelwert aller bis zum Jahre 2000 angefallenen Abfälle aus Kernkraftwerken, Landessammelstellen und Forschungszentren zusammen (vgl. Kap. 4.3.2.).

(2) Die Kammer ist gefüllt mit einem Faßmix, wie er nach Inbetriebnahme einer Wiederaufarbeitungsanlage anfällt. Dazu wurde der Mittelwert, wie er zwischen 1995 und 2000 anfällt, gewählt. Wie bei (1) wurden schwach- wie mittelaktive Abfälle berücksichtigt.

(3) Die Kammer wird analog zu 2, allerdings nur mit schwachaktiven Abfällen gefüllt.

Der Kernkraftwerksausbau wird in allen Fällen gemäß Pfad 2 der Enquete-Kommission angenommen.

Es ergeben sich die folgenden Verteilungen auf die einzelnen Abfallkategorien

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	
K	19.336	17.888	27.870	Gebinde
F+L	10.140	8.876	12.832	Gebinde
W	-	6.859	4.322	Gebinde
Summe	29.476	33.623	45.024	Gebinde

	Fall 1	Fall 2	Fall 3
W221		525,6	
222		175,6	
223		300,2	
224		54,2	
225		28,2	
W321		2.223,2	
322		682,0	
323		99,1	
W331		123,5	
W421		1.351,2	2.204,4
422		unbekannt	unbekannt
W441		1.296,4	2.117,9
K321	224,3	207,5	
322	336,5	311,2	
K331	174,0	161,0	
K421	3.606,8	3.336,5	5.402,2
422	4.508,4	4.170,6	6.752,8
423	1.741,2	1.610,7	2.608,0
424	507,8	469,8	760,7
K441	4.851,7	4.488,2	7.272,1
442	3.385,5	3.131,8	5.074,4
L421	91,3	79,9	128,3
441	2.301,7	2.015,0	3.259,3
F321	1.074,8	940,9	
421	1.838,9	1.606,6	2.592,1
422	229,6	204,2	333,6
441	4.603,4	4.029,9	6.518,7

Eine 40.000 m³ -Kammer kann in einem Jahr aufgefahren werden (C3-27). Es wird daher angenommen, daß sie in einem Jahr gefüllt wird. Die Inventare werden daher aus den Inventarlisten mit dem Ausgangsalter (also dem der Anlieferung) entnommen.

Es ergeben sich die folgenden Inventare (in Curie):

Spalt- und Aktivierungs-Produkte:

Nuklid	Fall 1	Fall 2	Fall 3
H-3	4,11E2	1,58E5	5,66E2
C-14	2,06E2	1,80E2	2,91E2
Fe-55	-	7,42E6	-
Co-60	1,06E4	5,67E6	2,07E3
Ni-63	-	1,00E6	-
Sr-90	1,27E3	3,21E5	2,33E2
Zr-93	-	1,73E2	-
Tc-99	-	8,67E2	-
Ru-106	1,11E3	5,45E6	1,38E2
Rh-106	1,11E3	5,45E6	1,38E2
Sb-125	8,70E0	1,58E4	5,95E0
Te-125m	2,10E0	3,88E3	6,44E0
J-129	1,82E-1	3,62E1	2,82E-3
Cs-134	3,34E3	2,86E5	9,09E2
Cs-137	1,82E4	4,47E5	3,16E3
Cs-135	-	6,17E-1*	-
Ba-137m	1,73E4	4,42E5	3,12E3
Ce-144	1,04E2	2,17E5	8,47E2
Pr-144	1,04E2	2,17E5	8,47E2
Pm-147	-	1,59E5	-
Sm-157	-	5,09E3	-
Eu-154	2,00E-1	2,77E4	2,59E-1
Eu-155	-	5,47E3	-

* Dieser Wert ist wahrscheinlich zu niedrig. Eine Abschätzung anhand der Verhältnisse Cs-134: Cs-135 und Cs-137: Cs-135 liefert ein Inventar von ca. 1 Ci.

Aktiniden:

	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Ra-224	-	1,60E-2	-
Np-237	-	1,53E0	-
Pu-238	2,35E-2	1,84E4**	1,95E4**
239	3,30E-3	1,83E3**	1,89E3**
240	5,12E-3	2,80E3**	2,98E3**
241	-	5,42E5**	5,72E5**
242	-	8,83E0**	9,16E0**
Am-241	4,23E-3*	7,16E3	6,95E-4
242m	-	9,52E3	-
243	-	2,71E2	-
Cm-242	1,52E-2	7,20E3	1,16E-2
243	-	8,39E0	-
244	2,43E-2	1,12E4	1,81E-2
245	-	1,07E0	-
246	-	2,29E-1	-

Dazu kommen die α-Strahler aus F421 und F441 (genaue Zusammensetzung nicht verfügbar)

* 4,23E-3 Ci aus K. Nicht einbezogen: Max 6,85E0 Ci aus L421/441 (Annahme: alle Aktin. = Am-241)

** Pu-Inventar aus W422 (Faßzahl unbekannt) (ca. 450 Ci Pu-238-242/Faß) nicht einbezogen

Fall 2 liefert so hohe Inventare, da der gesamte wärmeproduzierende Abfall eingerechnet wurde, er stellt insofern eine Maximalabschätzung dar.

Fall 3 berücksichtigt die GSF-Aussage, daß nur schwachaktiver Müll eingelagert werden soll. Es treten jedoch deutliche Differenzen (eta eine Größenordnung) zu den in GSF-T 165 (1983) genannten Inventaren auf. Ein detaillierter Vergleich zur Aufklärung dieser Differenzen war nicht möglich, da die GSF keine Verteilungen auf die verschiedenen Abfallkategorien angibt.

5. Betrieblicher Strahlenschutz und Emissionen im Normalbetrieb

5.1. Betrieblicher Strahlenschutz

Das Strahlenschutzkonzept für einen bestimmungsgemäßen Betrieb (Kap. D4.1 des GSF-Abschlußberichtes) soll im Rahmen dieser Begutachtung nur zu einem Teil näher untersucht werden. Denn die betriebstechnischen und organisatorischen Planungen entsprechend den gesetzlichen Schutz- und Überwachungsvorschriften sind zwar Voraussetzungen zur Inbetriebnahme, sagen jedoch nichts über die grundsätzliche Eignung der Schachtanlage für die Endlagerung aus.
Deshalb soll hier nur auf 3 Aspekte der Betriebsüberwachung eingegangen werden, die im Sinne der §§ 28 und 31 StrlSchV kontrovers diskutiert werden können.

Der Strahlenschutzverantwortliche (d. h. der Genehmigungsinhaber, vertreten durch eine natürliche Person) hat u. a. dafür Sorge zu tragen, daß jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination vermieden sowie jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt "so gering wie möglich" gehalten wird.

Der Begriff "möglich" bezieht sich dabei nur auf den Stand von Wissenschaft und Technik; wirtschaftliche Erwägungen (wie z. B. die von der Internationalen Strahlenschutzkommission vorgeschlagenen Risiko-Nutzen-Analysen) spielen nach deutschem Strahlenschutzrecht bei Entscheidungen, wie weit eine Strahlenbelastung reduziert werden kann, keine Rolle.

5.1.1. Betriebsüberwachung und -organisation

Personenüberwachung

Regelmäßige Inkorporationsüberwachungen sollen im "Normalbetrieb" nicht stattfinden, weil "aus der Art der Handhabung

eine Gefährdung des Betriebspersonals ausgeschlossen werden kann" (GSF-Abschlußbericht: D4-6). Da jedoch "eine nicht festhaftende Kontamination an der Faßoberfläche möglich ist" (ebd.), kann ein Umfang mit offenen radioaktiven Stoffen auch im Normalbetrieb nicht von vornherein ausgeschlossen werden (s. u.). Deshalb sollten - im Sinne des Schutzes der Angestellten - nicht nur nach vermuteten Zwischenfällen, sondern regelmäßig Inkorporationsmessungen durchgeführt werden.

Der von der GSF zur Begründung aufgeführte Hinweis auf den Einlagerungsbetrieb im ehemaligen Salzbergwerk Asse ist in diesem Zusammenhang von geringer Bedeutung, da die geplanten Mengen an einzulagerndem Abfall in der Schachtanlage Konrad sehr viel größer sind; außerdem ist z. Zt. noch ungeklärt, welche Abfälle tatsächlich in das Endlager eingebracht werden (vgl. Kapitel 4).

Kontaminationsüberprüfung

Nach Kap. D3.1.2 und D3.1.3 des GSF-Abschlußberichtes erfolgen routinemäßig bei Übernahme und Entladung der Anlieferfahrzeuge u. a. die Messung der Ortsdosisleistung an der Wand der Fahrzeuge sowie Sichtprüfungen der Abfallgebinde. Außerdem können "ausgewählte Abfallgebinde ... auf Kontamination überprüft werden" (D3-4). Beschädigungen können also unentdeckt bleiben und dazu führen, daß nicht nur alle mit der Handhabung der Abfälle befaßten Personen größeren Strahlenbelastungen ausgesetzt sind, sondern auch die "normalbetrieblichen" Abgaben von Radioaktivität an die Umwelt erhöht werden. Insgesamt sind organisatorische und technische Maßnahmen zu fordern, nach denen die Anzahl nichtentdeckter beschädigter Gebinde sowie die Strahlenbelastung der mit der Überprüfung befaßten Personen so gering wie möglich gehalten wird.

Kontrollbereichsabgrenzung

Die Entscheidung zugunsten der Einrichtung eines zusammenhängenden Kontrollbereiches, der auch die Transportstrecken auf

der 4. Sohle umfaßt, wird mit dem geringeren Aufwand bei der Überprüfung der Kontamination begründet (D4-17). Dies mag für einen reibungsloseren Betriebsablauf von Vorteil sein; die Strahlenschutzsicherheit für die in diesem Bereich Tätigen, insbesondere die Fahrer der Transportfahrzeuge, wird dadurch jedoch geringer (s. 5.1.2.3.).

5.2.1. Abschätzung der Personendosis an sensitiven Betriebspunkten

5.1.2.1. Zeitbedarf für Einlagerungstätigkeiten

Die Strahlenbelastung des Personals bei der Hantierung der Abfälle an den einzelnen Betriebspunkten der Einlagerung ist eine Funktion von Dosisleistung und Aufenthaltsdauer in der Nähe der Abfallgebinde. Die in Kap. D3.3.3 des GSF-Abschlußberichtes gegebenen Abschätzungen für die Hantierungszeiten gehen davon aus, daß jährlich 22.500 200 l-Fässer und 7.500 VBA angeliefert und eingelagert werden, d. h. bei einem durchschnittlichen Volumen von 0,28 m^3 pro 200 l-Faß und 1,2 m^3 pro 200 l-VBA (Endabfall 15.000 m^3/a) legen sie einen einschichtigen Einlagerungs- und einen zwei- bzw. mehrschichtigen Auffahrbetrieb über 22 Jahre zugrunde (vgl. C3-37 des GSF-Abschlußberichtes).

Die Abschätzung des Zeitbedarfs und damit der für die Dosisabschätzung relevanten Aufenthaltsdauer, bezogen auf die Anzahl der ausführenden Personen, ergibt folgende Werte (vgl. S. D3-12, GSF-Abschlußbericht) für die vier betrachteten Betriebspunkte:

Schachthalle und Füllort: ca. 170 h/a·Person (ca. 51 min/d)*
Strecke Füllort-Lagerort: ca. 275 h/a·Person (ca. 83 min/d)*
Lagerstrecke: : ca. 458 h/a·Person (ca.2h17min/d)*

* bezogen auf 200 Arbeitstage/Jahr

Auch unter der Annahme, daß ein Teil des betrachteten Einlagerungspersonals noch mit weiteren Arbeiten in der Schachthalle bzw. unter Tage befaßt sein wird (z.B. Beschickung des Pufferlagers) und unter Berücksichtigung der erschwerten Arbeitsbedingungen unter Tage erscheint die Anzahl der Stunden bzw. Minuten, die der einzelne Beschäftigte nach Planung der GSF tatsächlich mit Handhabung oder Tranport der Abfälle verbringt, z. T. sehr kurz.

Zur Erklärung bieten sich hier mehrere mögliche Gründe an:

- Bei der Planung der Anlage soll von vornherein sichergestellt werden, daß der Dosisgrenzwert für beruflich Strahlenexponierte von 5 rem Ganzkörperdosis/Jahr nur als absolute Höchstgrenze und nicht mehr als die tatsächlich auftretende Arbeitsbelastung anzusehen ist; das würde den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP 26, 1977) entsprechen. Die tatsächlich auftretende Arbeitsbelastung wird danach aus der durchschnittlichen Exposition der Beschäftigen ermittelt, die nach ICRP als ein Zehntel des Dosisgrenzwertes (0,5 rem/a) angenommen wird.

- Andererseits könnte es jedoch auch der Fall sein, daß bei der Planung des Endlagers die Möglichkeit einer Arbeitsintensivierung oder -rationalisierung offengelassen werden soll. Mit dem gleichen Personalbedarf könnte beispielsweise eine größere Mengen Endabfall eingelagert werden, z.B. 25 000 m^3/a (vergl. dazu GSF-Abschlußbericht ; C3-37): einschichtiger Einlagerungs- und mehrschichter Auffahrbetrieb bei voller Ausnutzung der Transportleistung und Annahme gemischter Gebindearten; über 13 Jahre Einlagerungszeit; sowie GSF-T 165, 1983: 147).

- Möglicherweise sieht die GSF auch eine Voraussetzung, die implizit in ihren Dosisabschätzungen enthalten ist, als nicht realistisch an und plant dementsprechend für den Betrieb eine "Sicherheitsmarge" ein: daß nämlich nur die Zeiten, die tatsächlich oder erwartet mit der Hantierung von Abfällen verbracht werden, für die Dosisabschätzung anzurechnen sind, die übrige Arbeitszeit jedoch "strahlungsfrei" ist - eine Voraussetzung, die nicht gegeben ist, wie im folgenden gezeigt wird.

5.1.2.2. Oberflächendosisleistung der Abfallgebinde

Die Höchstwerte der zulässigen Dosisleistung sind nach Angaben des GSF-Abschlußberichtes (z. B. D4-25) auf 200 mrem/h an der Oberfläche und 10 mrem/h in 1 m Abstand vom Behälter festgelegt. Die GSF geht davon aus, daß sich in der Praxis allerdings im Mittel über alle Abfallgebinde nur eine Dosisleistung von 20 - 40 mrem/h direkt an der Außenseite der Gebinde und 5 mrem/h in 1 m Entfernung ergibt (ebd.: 57% der Fässer und 50% der VBA haben eine Dosisleistung von 5 - 10 mrem/h in 1 m Entfernung, 50% der VBA und 43% der Fässer weniger als 5 mrem/h).

Diese Einschätzung muß jedoch für die Realität des Einlagerungsbetriebes nicht zutreffend sein: Die Annahmebedingungen für radioaktive Abfälle, die 1975 für das ehemalige Salzbergwerk Asse aufgestellt wurden, erlauben in Ausnahmefällen, daß bis zu 10% der Behälter eines Transportes mit einer Dosisleistung bis zu 1000 mrem/h an einem beliebigen Punkt der Oberfläche und bis zu 50 mrem/h in 1 m Abstand von der Oberfläche angenommen und eingelagert werden können (GSF 1975).

Es liegt daher durchaus im Bereich des Möglichen, daß die mittlere Dosisleistung der in Konrad einzulagernden Abfallgebinde - und damit die Strahlenbelastung des Betriebspersonals bei der Hantierung, s. 5.1.2.3. - im GSF-Abschlußbericht unterschätzt worden ist.

5.1.2.3. Dosisabschätzung

Im GSF-Abschlußbericht wird die Strahlenbelastung von Beschäftigten an vier sog. sensitiven Betriebspunkten betrachtet. Diese Abschätzungen sollen im folgenden betrachtet werden.

Strahlenbelastung in der Entladestation und bei Beschickung des Förderkorbes

Die Tätigkeit der Fahrer der Ladefahrzeuge umfaßt im Normalfall: Aufnehmen der Abfälle, Fahren zum Förderkorb, Korbbeschickung und Zurückfahren. Bei der gegebenen Einlagerungsmenge müssen ca. 11.250 Paletten bzw. VBA transportiert werden. Für die Abschätzung der Strahlenbelastung werden im GSF-Abschlußbericht berücksichtigt: 265 h/a Fahren (Abstand von den Abfallgebinden ca. 3 m; Dosisleistung nach Fig. D4.1.3-3 im Mittel 1 mrem/h) sowie zusätzliche Belastung durch den Aufenthalt in der Nähe des Anlieferfahrzeuges (94 h beim Aufnehmen, Dosisleistung ca. 11 mrem/h). Die jährliche Kollektivdosis der Fahrer ergibt sich so nach GSF-Annahmen zu ca. 1,26 manrem.

Folgende Punkte bleiben von der GSF unberücksichtigt:

(1) Die Dosisleistung in 3 m Entfernung nach Fig. D4.1.3-3 des GSF-Abschlußberichtes beträgt im Mittel nicht 1 mrem/h, sondern liegt zwischen 1 und 2 mrem. Die Angaben beziehen sich zudem auf Einzelteile; transportiert werden die Fässer jedoch als 6er Paletten. Mit einem Mittelwert von 1,5 mrem/h und einem Korrekturfaktor von 2 für Paletten (50% der transportierten Gebinde) würde sich eine Dosis von ca. 0,6 manrem (im Gegensatz zu 0,26 manrem laut GSF) beim Fahren errechnen.

(2) Der Wert der Dosisleistung in 3 m Entfernung vom Anlieferfahrzeug (Frontfläche 5 m x 2 m) wurde mit Hilfe elementarer geometrischer Überlegungen nachgeprüft; die von uns ermittelte Schwankungsbreite von 7 - 14 mrem/h steht in guter Übereinstimmung mit dem von der GSF angegebenen Mittelwert (11 mrem/h).

Dabei muß grundsätzlich jedoch folgendes berücksichtigt werden: diese Werte beruhen auf der Annahme, daß die Oberflächendosisleistung der Gebinde nicht 200 mrem/h, sondern 20

- 40 mrem/h beträgt. Wenn diese Voraussetzung nicht mehr zutrifft - was nach 5.1.2.2. nicht auszuschließen ist - kann sich die Strahlenbelastung beim Abladen erhöhen.

Diese Einschränkung gilt für den Aufenthalt vor großflächigen Strahlenquellen an allen betrachteten Betriebspunkten.

(3) Die Belastung beim Absetzen der Paletten bzw. VBA (ca. 94 h/a) in den Förderkorb wurde von der GSF nicht berücksichtigt. Bei einer durchschnittlichen Dosisleistung von etwa 6 mrem/h berechneten sich damit etwa 0,6 manrem/a zusätzlich (unter der Annahme, daß der Förderzug mit 3 Paletten à 6 Fässer beladen wird, vgl. Strahlenbelastung am Füllort).

(4) Wenn der Transport nicht direkt vom Anlieferfahrzeug zum Förderzug verläuft, sondern zuerst das in der Schachthalle geplante Pufferlager (s. GSF-Abschlußbericht: D4-60 ff.) beschickt wird, erhöht sich sowohl die Fahrzeit als auch die Aufenthaltsdauer vor einer großflächigen Strahlenquelle. Eine Abschätzung der zusätzlichen Belastung ist uns im Rahmen dieser Begutachtung nicht möglich; der Nachweis, daß sie vernachlässigbar gering ist, hätte jedoch von der GSF erbracht werden müssen.

Die jährliche Kollektivdosis der zwei Staplerfahrer in der Schachthalle berechnet sich also zu schätzungsweise 2,2manrem - d. s. ca. 75% mehr als von GSF ermittelt (ohne Berücksichtigung der von uns nicht abschätzbaren zusätzlichen Belastungen).

Strahlenbelastung am Füllort

Bei der Dosisabschätzung für die Staplerfahrer unter Tage, die den Förderzug entladen und das Transportfahrzeug beschikken, gelten die gleichen Einwände wie bei den Staplerfahrern in der Schachthalle unter (1) und (2).

Strahlenbelastung beim Transport zur Einlagerungskammer

Die fünf Fahrer der Transportfahrzeuge unter Tage werden laut GSF-Angaben mit durchschnittlich 1,9 rem/a Person (9,6 manrem /a Kollektivdosis) die am höchsten belasteten Personen nach dem Personal in der Einlagerungskammer selbst sein.

(1) Die Dosisleistung am Fahrersitz (Mittelwert der GSF: 7 mrem/h) ist auch hier wieder mit der Einschränkung zu betrachten, daß sie sich erhöhen kann, wenn die Voraussetzung (20 - 40 mrem/h an der Außenseite der Gebinde) nicht mehr zutrifft (vgl. Strahlenbelastung in der Endladestation).

(2) Für die Fahrer (sowie für alle in den Transportstrecken unter Tage Tätigen, wie Personen zur Fahnbahnpflege und Streckensicherung, Strahlenschutzpersonal) gilt mit zunehmender Einlagerungsdauer, daß die Gefahr einer Kontamination der Transportstrecken, z. B. durch beschädigte Abfallgebinde (vgl. GSF-Abschlußbericht: D4-16), zunimmt. Würden die Strecken jedoch nicht dem Kontrollbereich zugeordnet, könnte die mit zunehmender Kontamination verbundene zusätzliche Belastung als Folge der notwendigen Kontrollen und Maßnahmen herabgesetzt werden.

Die erforderlichen Überlegungen zur Ermittlung der Kontamination in den Transportstrecken sowie zu deren Dekontamination lassen sich im GSF-Abschlußbericht nicht finden. Insbesondere nach einem Unfall unter Tage stellt sich dieses Problem mit größter Dringlichkeit (s. 6.1.4.).

Strahlenbelastung in der Einlagerungskammer

Bei Transport und Stapelung der Gebinde muß auch hier davon ausgegangen werden, daß die durchschnittliche Dosisleistung in 3 m Entfernung von einem Faß oder einer VBA ca. 1,5 mrem/h und damit die jährliche Kollektivdosis beim Stapeln ca. 1,13 manrem am Fahrersitz beträgt. Zusammen mit der erhöhten Dosisleistung vor dem Faßstapel (420 h/a, ca. 11 mrem/h nach

GSF) berechnet sich die jährliche Kollektivdosis in der Einlagerungskammer zu ca. 5,7 manrem, d. h. ca. 2,9 rem pro Person. Die GSF schätzt 5,35 manrem. Von der GSF wurde nicht untersucht, ob zusätzliche Expositionen infolge von Streustrahlung zu erwarten sind.

5.1.2.4. Bewertung der Dosisabschätzung

Die Strahlenbelastung wird im GSF-Abschlußbericht als u. a. dadurch "überschätzt" angegeben, daß die bei den ersten Simulationsversuchen ermittelten Hantierungszeiten zugrundegelegt wurden und im späteren Routinebetrieb kürzere Zeiten erwartet werden (D4-30).

Dem stehen jedoch folgende Einwände gegenüber:

(1) Die ermittelten Zeiten beziehen sich auf einen störungsfreien Betriebsablauf. Ein solcher kann jedoch in keiner technischen Analge vorausgesetzt werden: Menschen begehen Fehler, Maschinen funktionieren nicht immer wie vorgesehen.

Fehler infolge unzureichender Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Geschicklichkeit oder durch unkontrollierte Reaktionen auf plötzliche Störungen sind nicht auszuschließen, insbesondere nicht an einem Arbeitsplatz wie diesem, an dem die Streßbelastung vermutlich groß sein wird (Hantieren mit potentiell gefährlichen Materialien; hohe Temperaturen unter Tage).

"Risikofreudiges" Verhalten (d. h. bewußt sicherheitswidriges Verhalten ohne böswillige Absicht, z. B. zur Arbeitsersparnis und Beschleunigung von Betriebsabläufen) muß in jeder Industrieanlage angenommen werden; kleine Pannen können hier schnell zu längeren Hantierungszeiten oder geringfügiger Kontamination der Umgebung führen und damit die Strahlenbelastung erhöhen. Fehler infolge mangelnder Information über Vorschriften und Regeln können - trotz Strahlenschutzbelehrung - nicht ausgeschlossen werden.

Es muß jedoch ausdrücklich betont werden, daß hier nicht menschliche Unzulänglichkeit des Betriebspersonals als Ursache für Fehlverhalten verantwortlich gemacht werden soll. Entscheidend ist vielmehr die Gestaltung der Arbeitsbedingungen und -umgebung, die so erfolgen muß, daß Fehlverhalten möglichst selten auftreten kann und daß einmal aufgetretenes Fehlverhalten möglichst geringe Folgen für den direkt Betroffenen und andere hat (NG 350 : Kap. 4.1).

(2) Es ist nicht gerechtfertigt, die Arbeitszeit außerhalb der reinen Hantierung der Abfallgebinde als "strahlungsfrei" anzusehen. Beispielsweise muß berücksichtigt werden, daß immer ein gewisser Prozentsatz nichtentdeckter beschädigter - und damit kontaminierter - Gebinde gehandhabt werden wird, und daß die gesamte Schachtanlage incl. Fahrzeugen u. a. im Laufe der Jahre immer stärker kontaminiert sein wird.

(3) Die Abschätzung der Strahlenbelastung bei der Einlagerung ist in starkem Maße abhängig von der Oberflächendosisleistung der Gebinde, die von der GSF im Mittel möglicherweise zu klein angenommen wird.

Sicherlich ist eine Dosisabschätzung bei der Planung einer Anlage mit sehr vielen Unsicherheiten behaftet. Da die theoretisch ermittelten Werte jedoch eine Grundlage bei der Entscheidung für die Inbetriebnahme darstellen, hätte gerade deshalb eine wirklich umfassende Betrachtung vorgenommen werden müssen.

Die zusammenfassende Aussage des GSF-Abschlußberichtes, "an keinem Betriebspunkt (sei) mit einer Überschreitung der Grenzwerte ... zu rechnen" (D4-29) ist trivial; wäre rein rechnerisch eine Überschreitung zu erwarten gewesen, würde die Anzahl der mit der jeweiligen Tätigkeit befaßten Personen erhöht worden sein. Denn nach deutschem Strahlenschutzrecht sind nur die Dosisgrenzwerte für Einzelpersonen festgelegt; Einschränkungen bezüglich der Anzahl der belasteten Personen gibt es nicht.

Die Schätzwerte für die zu erwartenden Einzeldosen sind insgesamt sehr hoch, verglichen z. B. mit der maximalen Einzeldosis bei der Einlagerung in der Asse (1978: 0,9 bis 1 rem; GSF-Abschlußbericht: D4-81).

Die jährliche Kollektivdosis der betrachteten 11 Personen beträgt bei einer Einlagerungsmenge von 15.000 m^3 Endabfall pro Jahr etwa 19,4 manrem (GSF: ca. 17,8 manrem); dabei ist zu beachten, daß diese Angabe all jene Belastungen nicht berücksichtigt, deren Abschätzung infolge fehlender Daten mit zu großer Unsicherheit behaftet ist. Es ist deshalb zu fordern, daß zusätzliche Maßnahmen zur Strahlenabschirmung, wie sie die GSF erwähnt (D4-30), auch tatsächlich ergriffen werden.

Eine Bewertung der Dosisabschätzung, d. h. eine Abschätzung der Folgen aufgrund der zu erwartenden Kollektivdosis, soll hier nicht vorgenommen werden. Wir wollen nur anmerken, daß es keine Strahlendosis gibt, unterhalb derer das Risiko für Krebserkrankung oder genetische Schäden gleich Null ist. Auch andere gesundheitliche Schäden können nach dem heutigen Stand der Wissenschaft nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden (z. B. MORGAN 1978, BERTELL 1981).

5.1.3. Strahlenbelastung an "nichtsensitiven" Betriebspunkten

Laut GSF-Abschlußbericht (z. B. D4-13) sind ca. 17 Personen bei der Abfallagerung erforderlich (Einschichtbetrieb); hinzu kommen noch u. a. das Wartungs- und Reparaturpersonal sowie das Strahlenschutzpersonal.

Kapitel D4.1.3 des GSF-Abschlußberichtes könnte beim unbefangenen Leser den Eindruck erwecken, als sei die Strahlenexposition an den nicht betrachteten Betriebspunkten vernachlässigbar gering.

Es ist jedoch nicht einzusehen, warum z. B. für die Aufsichtsperson an jeder Einlagerungskammer kein Versuch einer Dosisabschätzung vorgenommen worden ist, obwohl sie sich doch gemäß ihrer Aufgabe - Kontrolle und Strahlenschutz - für eine gewisse Dauer ihrer Arbeitszeit in nicht allzu großer Entfernung vom Faßstapel aufhalten wird.

Für die Abschätzung der jährlichen Kollektivdosis - und damit des Gesamtrisikos einer gesundheitlichen Schädigung der im Kontrollbereich Tätigen - hätten zumindest noch folgende Personenkreise berücksichtigt werden müssen: das Personal für Dekontaminationsarbeiten, Reparatur und Instandhaltung, Versatzarbeiten und Aufsichtstätigkeiten sowie der Anschläger.

Bei der Betrachtung der Gesamt-Strahlenbelastung im Endlager darf daneben die große Zahl der im betrieblichen Überwachungsbereich Tätigen nicht unberücksichtigt bleiben, d. h. alle Personen, die im nördlichen Bereich der Schachtanlage arbeiten und/oder sich auf dem Bergwerksgelände über Tage bis zum Zaun aufhalten (GSF-Abschlußbericht: D4-16). Ihre Körperdosen dürfen nach der Strahlenschutzverordnung bis zu 500 mrem/a (bei dauerndem Aufenthalt) betragen (vgl. GSF-Abschlußbericht: D4-11)

5.2. Emissionen im Normalbetrieb

5.2.1. Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwetter und Strahlenbelastung von Personen in der Umgebung

Zum Schutz der Bevölkerung und Umgebung vor den Gefahren ionisierender Strahlen legt § 45 StrlSchV fest, daß die durch normalbetriebliche Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft bedingte Ganzkörperexposition für den ungünstigsten Fall höchstens 30 mrem/a betragen darf.

Wesentlich für die Bestimmung der Dosis nach den Berechnungsgrundlagen (BMI 1979) sind die jährlichen Ableitungsmengen, die im GSF-Abschlußbericht (Kap. D4.2.1) angeblich "konservativ" abgeschätzt werden.

5.2.1.1. Aktivitätsabgaben an die Umgebung

"Zur Vereinfachung der Berechnung der Aktivitätsabgaben aus den Abfallgebinden werden die Nuklide in Freisetzungsklassen eingeteilt ... Für jede Freisetzungsklasse wird ein Leitnuklid benannt" (GSF-Abschlußbericht: D4-31). Da in den folgenden Ausführungen des Berichts auf diese Klassifikation keinerlei Bezug mehr genommen wird, ist es weder ersichtlich, welche Funktion diese Aufteilung hat und welche Rolle den Leitnukliden zugeschrieben wird, noch, welcher Kategorie die Aktiniden zugeordnet werden.

Das Nuklidinventar mit den daraus abgeleiteten Jahresabgabewerten in Tab. D4.2.1-2 des GSF-Abschlußberichtes dient als Grundlage für die Berechnung der radiologischen Umweltbelastung, d. h. als Nachweis, daß § 45 StrlSchV eingehalten wird. Die Herkunft der Werte für die Freisetzungskoeffizienten und das offen gelagerte Inventar wird nicht belegt und läßt sich mit den Angaben des entsprechenden Kapitels im GSF-Abschlußbericht auch nicht nachvollziehen, so daß die Aussage, es handele sich um eine konservative Abschätzung, weder nachgewiesen worden noch überprüfbar ist.*
Zudem erscheint es unverständlich, daß das Nuklidinventar der zwei als unverschlossen angenommenen Einlagerungskammern so unvollständig aufgeführt wird. Tabelle 4.2.5-2, Kap. D4.2.5.3 des GSF-Abschlußberichtes nennt als Quelle die Angabe aus Kap. D4.2.1 und führt nicht nur ein vollständigeres Inventar auf (12 statt 3 Nuklide), sie differiert auch in den Angaben über die Aktivitätsfreisetzungen aus den Abfällen

* Die Angaben für die Freisetzungskoeffizienten stammen (nach GSF-T 146, 1983: 189) von der KWU.

für Tritium um eine Größenordnung und für Kohlenstoff-14 um den Faktor 6. Laut mündlicher Auskunft der GSF (13.09.1983) handelt es sich dabei um ein Versehen: Die Werte auf S. D4-33 sind neueren Datums und daher als verbindlich anzusehen. Es wurde vergessen, die veraltete Tabelle entsprechend zu korrigieren. Bei jenen Nukliden, die wohl auf S. D4-58, nicht aber auf S. D4-33 aufgeführt sind, handelt es sich um weitgehend hypothetische, kaum belastbare Werte.

5.2.1.2. Strahlenbelastung von Personen in der Umgebung des Endlagers

Zunächst soll hier die Art und Weise, in der die GSF ihre Berechnungen durchgeführt und präsentiert hat, an einigen Punkten kritisch beleuchtet werden. Zum anderen soll gezeigt werden, daß aus grundsätzlichen Erwägungen heraus die Behauptung der GSF, die berechneten Strahlenbelastungen betrügen 1 mrem pro Jahr oder weniger (GSF-Abschlußbericht : D4-40), allenfalls eine vielleicht nicht ganz unbegründete Vermutung darstellt, keinesfalls jedoch nachgewiesen wurde.

Ausgewählte "immanente" Kritikpunkte an den Berechnungen der GSF

(1) Die GSF betrachtet zunächst die maximal mögliche Strahlenbelastung einer Person, die sich im Abstand von 100 m vom Diffusor von Schacht II aufhält, also auf dem Gelände der Stahlwerke Peine Salzgitter AG, und zwar für die Dauer von 1 840 Stunden im Jahr. Es ist nicht einzusehen, aus welchem Grund ausgerechnet 1.840 h/a angenommen werden; selbst in den amtlichen Bestimmungen für beruflich Strahlenexponierte wird von einer Aufenthaltsdauer von 2.000 h/a am Arbeitsplatz ausgegangen (vgl. auch GSF-Abschlußbericht: D4-11). Da aus dem GSF-Abschlußbericht nicht hervorgeht, ob dieser 100 m Radius-Bereich um Schacht II zu den Teilen des Endlagerbetriebsgeländes gehört, die einem Überwachungsbereich zugeordnet werden (vgl. GSF-Abschlußbericht: D4-16), hätte bei konservativer Betrachtungsweise von einem ganzjährigen Aufenhalt, d. h. 8.760 h/a, ausgegangen werden müssen.

(2) Ziel der Ausbreitungsrechnungen ist die Ermittlung der Konzentration radioaktiver Stoffe in der bodennahen Luft der Umgebung. Die Konzentrationsverteilung innerhalb der Schadstoffwolke als Funktion des Abstandes von der Emissionsquelle wird dabei für die langfristige Aktivitätsfreisetzung durch den sog. Langzeitausbreitungsfaktor $\bar{\chi}$ beschrieben, der nach (BMI 1979) mit einigem Aufwand bei Vorliegen entsprechender Einflußgrößen berechnet oder vereinfacht - bei Kenntnis der Windrichtungsverteilung - mit Hilfe einer Grafik bestimmt werden kann.

Der Zahlenwert der Ausbreitungsparameter soll hier nicht kritisiert werden; es sei nur angemerkt, daß die Behauptung im GSF-Abschlußbericht, bei der Festlegung der Ausbreitungsfaktoren sei eine Gebäudeverwirbelung entsprechend einer Stirnfläche von 150 m² zugrundegelegt worden (D4-38), einigermaßen verwundert, denn das von der GSF verwendete Gauß'sche Ausbreitungsmodell ist für Verwirbelungen nicht verifiziert. Es ist natürlich möglich, daß die GSF eine Reihe von speziellen Messungen, die dazu nötig gewesen wären, durchgeführt hat; im Abschlußbericht werden sie jedoch nicht erwähnt.

Die Berechnung der Strahlenbelastung für einen Abstand von 100 m von Schacht II wird im GSF-Bericht damit begründet, daß das Gauß'sche Ausbreitungsmodell für geringere Entfernungen keine verläßlichen Ergebnisse für die Verteilung der Radionuklide liefert. In Anbetracht der geringen Emissionshöhe (9 m) ist jedoch damit zu rechnen, daß die Radionuklidkonzentration und damit die Strahlenbelastung in kleineren Entfernungen von Schacht II um einiges größer sein kann als in 100 m Entfernung.

Der sog. kritische Aufpunkt, d. h. die Stelle in der Umgebung, an der die höchste Strahlenexposition zu erwarten ist, liegt also in einem Bereich, in dem laut Theorie keine Aussagen über die Verteilung und Konzentration der Radionuklide gemacht werden können. Da jedoch nach der Strahlenschutzverordnung diese ungünstigste Einwirkungsstelle für die Berech-

nung angenommen werden muß, hätte eine wirklich konservative Abschätzung der zu erwartenden Strahlenexposition von einem unverdünnten Abwetterstrom ausgehen müssen. Das ist im GSF-Bericht jedoch nicht geschehen.

Bezogen auf eine Windrichtungshäufigkeit von 20% würde die auf diese Weise berechnete Ganzkörperdosis (Inhalation) bei ganzjährigem Aufenthalt $1 - 2 \cdot 10^{-4}$ rem/a betragen (mit den niedrigen Freisetzungswerten aus Tab. D4.2.1-2 des GSF-Abschlußberichtes) - ein Zahlenwert, der um 2 - 3 Größenordnungen höher liegt als der von der GSF angegebene. Wir erheben nicht den Anspruch, daß diese Dosis die realen Belastungen widerspiegelt; es soll nur gezeigt werden, wie groß die Bandbreite der Werte ist, je nachdem, welche Eingangsvoraussetzungen der jeweilige Betrachter annimmt.

(3) Für die Berechnung der Strahlenbelastung in 100 m Entfernung betrachtet die GSF die Expositionspfade ß-Submersion, γ-Bodenstrahlung und Inhalation. Da die interne Bestrahlung durch Verzehr kontaminierter Lebensmittel hier nicht berücksichtigt wurde, hätte deutlich ausgesagt werden müssen, daß eine landwirtschaftliche Nutzung für die Dauer des Betriebes des Endlagers prinzipiell ausgeschlossen sein muß.

Dies muß in gleichem Maße für die Nachbetriebsphase gelten, da davon ausgegangen werden kann, daß sich auf einer landwirtschaftlich nicht genutzten Fläche (Brache) die im Laufe des Betriebs der Anlage abgegebenen Radionuklide auf der Erdoberfläche oder in den obersten Bodenschichten akkumulieren.

(4) Die Werte für die Ganz- und Teilkörperdosen auf S. D4-39 des GSF-Abschlußberichtes lassen sich mit den genannten Daten teilweise nicht ohne weitere nachvollziehen. So verwendet die GSF beispielsweise für die Berechnung der ß-Submersion oder der Knochendosis (Inhalation) nicht ihren in Tab. 4.2.1-2 ausgedruckten Wert für die C-14-Aktivitätsabgabe von $1{,}5 \times 10^{10}$ Bq/a, sondern nimmt $1{,}3 \times 10^{10}$ Bq/a an (den inner-

halb der Arithmetik der Tabelle "korrekten" Wert*).
Unsere Berechnung der Ganzkörperbelastung (Inhalation) nach Gl. (3.4.) (BMI, 1979)ergibt ca. $6,3 \times 10^{-7}$ rem (für 1 840 h/a). Es ist uns nicht klar, wie der im GSF-Abschlußbericht genannte Wert von $9,5 \times 10^{-7}$ rem ermittelt worden ist; auch wenn er für diesen Fall auf der "sichereren" Seite liegt und insgesamt die für den Normalbetrieb errechneten Werte sehr gering sind, so wäre es doch wünschenswert gewesen, wenn die GSF hier - wie auch an anderen Stellen, vgl. z. B. 6.1.2.2. - ihre Rechnungen oder zumindest alle in diese eingehenden relevanten Daten vorgelegt hätte.

Grundsätzliche Bemerkungen

(1) Die Einschränkung der GSF, für die Berechnung der Strahlenbelastung würden nur die Nuklide von Tab. 4.2.1-2 des GSF-Abschlußberichtes berücksichtig, "deren Freisetzungsklasse einen Anteil von mindestens 1% der Gesamtaktivitätsabgabe ausmachen" (GSF-Abschlußbericht: D4-38) ist überflüssig, da andere Nuklide außer Jod-129, das wegen seiner "besonderen radiologischen Eigenschaften berücksichtig" wurde (ebd.) in der genannten Tabelle erst gar nicht aufgeführt werden.

Abgesehen davon, ist diese Einschränkung der GSF möglicherweise auch verharmlosend und könnte zu einer Unterschätzung der Strahlenbelastung führen, denn ein Nuklid, dessen Freisetzungsklasse weniger als 1% der gesamten Radioaktivitätsabgabe ausmacht, könnte sehr wohl zu einer Strahlenbelastung führen, die größer ist als die durch beispielsweise Kohlenstoff-14 verursachte Exposition. (Nach Angaben der GSF machen die C-14-Emissionen etwa 30% der Gesamtaktivitätsabgaben aus; ein Anteil von weit weniger als 1% an Strontium-90 etwa oder an alphastrahlenden Aktiniden würde zu einer weit größeren Knochendosis führen).

---

* Mit den von der GSF angegebenen Werten für offen gelagertes Inventar und Freisetzungskoeffizienten berechnet sich nämlich eine Aktivitätsabgabe von ca. $1,3 \times 10^{10}$ Bq/a für C-14

(2) Da die Angaben über erwartete Nuklidfreisetzung mit dem Abwetter im GSF-Abschlußbericht ohne Quellenangabe verwendet werden - ihre Korrektheit oder Plausibilität dort also nicht nachgewiesen ist - sind die damit berechneten Strahlenexpositionen von Personen in der Umgebung des Endlagers ebenfalls nicht belegt. Die GSF kann zwar vermuten, daß die "normalbetrieblich" bedingten Emissionen zu einer Strahlenbelastung führen, die weit unterhalb der Grenzwerte des § 45 StrlSchV liegt; der für eine Eignungsaussage erforderliche Nachweis ist im Abschlußbericht jedoch nicht erbracht worden.

(3) Selbst wenn jedoch die Angaben über erwartete Nuklidfreisetzungen von der GSF belegt worden wären: Da an keiner Stelle des GSF-Abschlußberichtes genauere Abfallklassifikationen aufgeführt werden, Art und Menge der einzulagernden Nuklide also offen bleiben (vgl. Kap. 4, insb. 4.2.) fehlt die Grundlage für die Abschätzung der Aktivitätsabgaben an die Umgebung - und damit auch für die zu erwartende Strahlenbelastung.

(4) Bekanntermaßen wird die Strahlenbelastung einer Person durch radioaktive Abgaben aus kerntechnischen Anlagen berechnet, und zwar mit Hilfe von Rechenmodellen, in denen versucht wird, komplexe meteorologische, physikalisch-chemische und physiologische Vorgänge beschreibbar zu machen. Dazu werden standardisierte Annahmen und Abschätzungen vorgenommen und festgelegt (BMI 1979), die nach § 45 StrlSchV so angelegt sein müssen, daß sie die Strahlenbelastung für die ungünstigste Einwirkungsstelle beschreiben.

Eine dieser Annahmen ist beispielsweise der gesunde "Standard"-Erwachsene: männlich, 70 kg schwer, mit definierten physiologischen Größen, Ernährungs- und Lebensgewohnheiten ("reference man", ICRP 23, 1975).

Am Beispiel der Atemrate soll hier gezeigt werden, welche Unsicherheiten bzw. Schwankungsbreiten in Rechnungen dieser Art stecken; das zahlenmäßig ausgedruckte Ergebnis täuscht eine Exaktheit und Allgemeingültigkeit vor, die in der Realität nicht gegeben sind.

Die bei der Inhalation aufgenommene Nuklidaktivität ist eine Funktion der Atemrate. Die Atemrate ist sowohl abhängig vom körperlichen Belastungszustand (Sitzen, Gehen, usw.) als auch von der Konstitution der einzelnen Person (z. B. Gewicht, individuelle Stoffwechselgrößen). In Abhängigkeit von der Arbeitsleistung kann die Atemrate nun einen Bereich von weniger als 10 Liter pro Minute bis etwa 80 Liter pro Minute (bei sehr schwerer Belastung) betragen (BUSH 1972).

Die in den offiziellen Berechnungsgrundlagen empfohlene und von der GSF in Kap. D4 verwendete Atemrate beträgt $V = 2{,}32 \times 10^{-4}$ m^3/s, d. h. etwa 14 Liter pro Minute; ein Wert, der im untersten Bereich liegt. Von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP 23) wird dagegen empfohlen, bei der Berechnung der Strahlenbelastung durch Inhalation eine Atemrate von 20 l/min zu verwenden; dies entspricht einem mittleren Wert für leichte Tätigkeit.

Da die GSF bei ihren Berechnungen nur eine beschränkte Aufenthaltsdauer von 1.840 Stunden im Jahr annimmt (vgl. S. 314), hätte sie in jedem Fall zumindest mit dieser etwa 30% höheren Atemrate rechnen müssen; die abgeschätzte Strahlenbelastung in 100 m Entfernung würde sich dann - da die Atemrate linear in die Berechnung eingeht - ebenfalls um ca. 30% erhöhen. (Damit bleibt immer noch außer acht, ob der von der ICRP empfohlene Wert tatsächlich als konservativ zu betrachten ist.)

5.2.2. Aktivitätskonzentrationen in den Grubenwässern und Strahlenbelastung von Personen in der Umgebung

5.2.2.1. Aktivitätskonzentration in den Grubenwässern

Die mittlere jährliche Aktivitätskonzentration in den Grubenwässern, die an die Umgebung abgegeben werden, ist abhängig von der jährlichen Nuklidfreisetzung aus den Abfällen und dem Anteil, der davon in die nach Übertage gepumpten Grubenwässer gelangt, sowie der jährlichen Grubenwassermenge, die nach Übertage gepumpt wird.

Bei der Berechnung der Aktivitätskonzentration in den Grubenwässern in Kap. D4.2.5.3 des GSF-Abschlußberichtes werden die Aktivitätsabgabewerte aus Tab. 4.2.5-2 verwendet. Diese Werte sind jedoch laut Mitteilung der GSF vom 13.09.1983 als veraltet anzusehen und müssen durch die (niedrigeren) aus Tab. D4.2.1-2 ersetzt werden. Es ist schwer verständlich, aus welchem Grund diese Korrektur erst viele Monate nach dem Erscheinen des Abschlußberichtes erfolgte und sie nicht früher der Öffentlichkeit bekanntgegeben worden ist. Immerhin gründet sich die Aussage der GSF, die abgeleiteten Grenzwerte nach § 46 der Strahlenschutzverordnung würden unterschritten, u. a. auf die Werte dieser Tabelle.

Da somit Teile des Kap. D4.2.5.3 als nicht mehr aktuell angesehen werden müssen, soll hier - ohne den ausführlichen Nachweis einer ungenügenden Verfahrensweise seitens der GSF - nur folgendes bemerkt werden:

Bei der Berechnung der Aktivitätskonzentration verwendet die GSF den Wert von 30 l/min für die nach Übertage gepumpte Grubenwassermenge. Die Benutzung des realistischeren Wertes von ca. 15 l/min (zur Herleitung vgl. u. a. Kap. B3.3.1) führt zu einer Verdoppelung der Nuklidkonzentration und damit bei Tritium zu einer klaren Überschreitung des in § 46 StrlSchV festgelegten Grenzwertes für die mittlere jährliche Nuklidkonzentration in dem an die Umgebung abgegebenen Wasser. (Grenzwert gemäß StrlSchV für Tritium: $7{,}25 \times 10^6$ Bq/m³; Tritium-Konzentration im Grubenwasser: $8{,}8 \times 10^6$ Bq/m³ *). Die im GSF-Bericht behauptete Unterschreitung des Grenzwertes beruht auf unrealistisch hohen Annahmen zur Pumpwassermenge.

Unter Verwendung des Aktivitätsfreisetzungswertes aus Tab. 4.2.1-2 (GSF-Abschlußbericht : D4-33) von $2{,}96 \times 10^{10}$ Bq/a für Tritium, der von der GSF als konservativ und aktuell an-

---

* (mit: Aktivitätsfreisetzung von $2{,}3 \times 10^{11}$ Bq/a für Tritium = der überholte Wert, mit dem in Kap. D4.2.5.3 des GSF-Abschlußberichtes gerechnet worden ist)

gegeben wird, beträgt die Konzentration im Grubenwasser unter Annahme der realistischeren Pumpwassermenge (15 l/min) 1,1 x 10^6 Bq/m³ und liegt damit um den Faktor 6,5 unter dem Grenzwert.

An dieser Stelle muß noch einmal betont werden, daß die hier angegebenen Werte nur für das von der GSF angenommene Inventar gelten. Wie in Kap. 4, Anhang, gezeigt wurde, sind Einlagerungen von erheblich größeren Inventaren durchaus im Bereich des Möglichen. Mit anderen Worten: erhöht sich das Aktivitätsinventar von Tritium um ca. einen Faktor 7, so kann es unter den o. g. Voraussetzungen zum Überschreiten des Grenzwertes nach § 46 der Strahlenschutzverordnung kommen.

5.2.2.2. Strahlenbelastung in der Umgebung durch die Ableitung der Grubenwässer

Innerhalb des Kapitels D4.2.5 des GSF-Abschlußberichts werden in lediglich zwei Sätzen Behauptungen über die Strahlenbelastung infolge des Ableitens von radioaktivem Grubenwasser aufgestellt, die verharmlosend und - infolge fehlender Berechnungen - völlig unbegründet sind.

Aus dem Text selbst ist nicht ersichtlich, welche Zahlenwerte und Annahmen der Aussage zugrundegelegt wurden. Aufgrund der Einbettung in Kap. D4.2.5.3 des GSF-Abschlußberichtes läßt sich jedoch die Annahme herleiten, die Bearbeiter hätten sich auf die inzwischen (laut Gespräch mit der GSF am 13.09.1983) nicht mehr dem aktuellen Kenntnisstand entsprechenden Tabelle 4.2.5-2 des GSF-Abschlußberichtes gestützt.

(1) "Die Konzentration der aus den Abfällen stammenden Nuklide ist so gering, daß bei Nutzung dieses Wassers als Trinkwasser die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung deutlich unterschritten würden." (GSF-Abschlußbericht: D4-59).

Die Strahlenschutzverordnung legt die maximal zulässige Aktivitätsabgabe mit Wasser so fest, daß keine Verdünnungsfaktoren zwischen der Einleitungsstelle und dem Ort der maximal möglichen Strahlenbelastung berücksichtigt werden. Die Nuklidkonzentration im Abwasser muß also so niedrig sein, daß eine Person bei ständiger Aufnahme von Wasser dieser Aktivität keine höhere Strahlenbelastung als 30 mrem|a erhält - mit anderen Worten: eine Nutzung dieses Wasser als Trinkwasser muß angenommen werden können.

Für die Ganzkörperexposition durch Tritium (nach BMI 1979) ergäbe sich danach mit den von den Bearbeitern des Kap. D.4.2.5.3 verwendeten Daten (Tritiumkonzentration im Abwasser: $4,4 \times 10^6$ Bq/m³ *) eine Jahresdosis von ca. 14 mrem; das ist nahezu die Hälfte des zulässigen Grenzwertes. (Unter Annahme einer realistischeren Pumpwasserwassermenge - vgl. 5.2.2.1. - würde sich sogar eine Ganzkörperbelastung allein durch Tritium von ca. 27 mrem im Jahr berechnen).

Die Einschätzungen im GSF-Abschlußbericht, daß bei Nutzung des abgeleiteten Grubenwassers als Trinkwasser die Dosisgrenzwerte deutlich unterschritten würden, wird damit widerlegt. Der Nachweis, daß ein Mensch, der seinen gesamten Trinkwasserbedarf von 880 Liter pro Jahr** durch Entnahme an der Einleitungsstelle oder in deren unmittelbarer Nähe deckt, Aktivitäten weit unterhalb der zulässigen Höchstgrenze aufnimmt, wird von der GSF nicht erbracht.

(2) "Darüber hinaus ist die jährliche Abgabemenge so gering, daß die über die Belastungspfade zu erwartende Strahlendosis weit unter den Grenzwerten liegen werden." (GSF, ebd.)

---

* Im GSF-Bericht sind irrtümlich $4,1 \times 10^6$ Bq/m³ angegeben (D4-57)

** Diese Wassermenge gilt für ein Mitglied der sog. kritischen Bevölkerungsgruppe, die jährlich das Doppelte der mittleren Trinkwassermenge (0,44 m³/a) zu sich nimmt (BMI 1979).

Das Immissionsschutzkonzept des § 45 der Strahlenschutzverordnung legt die Dosisgrenzwerte für die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser fest. Die Strahlenbelastung muß "für die ungünstigsten Einwirkungsstellen unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Belastungspfade einschließlich der Ernährungsketten berechnet werden" und darf 30 mrem Ganzkörperbelastung im Jahr nicht überschreiten.

Die externe Strahlenbelastung aus dem Abwasser kann für das von der GSF angegebene Nuklidgemisch (Tab. 4.2.1-2 bzw. 4.2.5-2 des GSF-Abschlußberichtes) vernachlässigt werden. Diese Außerachtlassung muß jedoch nicht für jeden Typ von einzulagerndem Inventar gelten.

Für die interne Strahlenbelastung sind unterschiedliche Pfade zu berücksichtigen, je nach Nutzung des Wassers:

die Trinkwasseraufnahme, der Fischverzehr, die Expositionspfade Viehtränke - Milch/Fleisch und Beregnung sowie die landwirtschaftliche Nutzung von Flußschlamm.

Eine Abschätzung der maximal möglichen Strahlenexposition über das Abwasser kann - im Gegensatz zum Abwetter - nur standortabhängig durchgeführt werden, da die Konzentration der Radionuklide im Fließgewässer sowohl von der Verdünnungskapazität des "Vorfluters" als auch dem Mischungsverhältnis zwischen Abwasser und Fließwasser abhängt. Der Ausgangswert für die Berechnung über die betrachteten Belastungspfade ist dann jeweils der Jahresmittelwert an der Stelle des Flusses, an der die entsprechende Nutzung ansetzt.

Unabhängig davon, welches Datenmaterial die GSF zugrundegelegt hat, bleibt festzustellen, daß die erforderlichen standortspezifischen Berechnungen im GSF-Abschlußbericht fehlen.

Es ist nicht nachgewiesen worden, daß die durch die Einlagerung radioaktiver Abfälle in die Grube Konrad normalbetrieb-

lich bedingte Strahlenexposition über den Abwasserpfad ("weit") unter den Grenzwerten des § 45 StrlSchV liegt.

Vor der Genehmigung und Inbetriebnahme des Endlagers ist deshalb ein radioökologisches Gutachten erforderlich.

5.3. Zusammenfassende Wertung

Die Ermittlung der Strahlenexposition des Einlagerungspersonals berücksichtigt nicht sämtliche relevanten Belastungsquellen und stellt möglicherweise eine Unterschätzung dar. Die Schätzwerte für die Personendosen sind bis zu etwa drei Mal höher als die maximale Personendosis bei der Einlagerung von schwachaktivem Abfall im ehemaligen Salzbergwerk Asse.

Die Abgabe von Radionukliden aus dem Endlager und die Größenordnung der resultierenden Strahlenbelastung in der Umgebung bei bestimmungsgemäßem Betrieb werden nicht auf der Basis konservativer Abschätzungen ermittelt. Art und Menge des einzulagernden Inventars, d. h. die Grundlage der Abschätzung, sind im GSF-Abschlußbericht nicht gegeben, und eine Reihe der verwendeten Parameter ist als nicht konservativ anzusehen. Die erforderlichen standortspezifischen Berechnungen zur Abschätzung der Strahlenbelastung durch Ableitung von radionuklidhaltigen Grubenwässern fehlen.

Vor Genehmigung und Inbetriebnahme des Endlagers ist deshalb ein radioökologisches Gutachten erforderlich.

5.4. Literatur

BMI (1979): Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer. - GMBl 30, Nr. 21 vom 15.08.1979, Bonn.

BERTELL, R. (1981): Radiation Exposure and Human Species Survival. - Enrivonmental Health Review, June, S. 43-52.

BUSH (1972): Assessing and Controlling the Hazard from Tritiated Water. - Atomic Energy of Canada Ltd. AECL-4150, Ontario; zit. in: Systec (1980): Relativierung des Schadenspotentials von Emissionen aus dem nuklearen Brennstoffkreislauf. - KWA 1537, Teil 3, Düsseldorf.

GSF (1975): Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse.

GSF-T 165 (1983): Aktuelle Ergebnisse der laufenden F+E-Arbeiten in der Schachtanlage Konrad zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Jahresbericht 1982, GSF München.

ICRP (1975): International Commission on Radiological Protection: Report of the Task Group on Reference Man. - ICRP Publication 23, Pergamon Press, Oxford.

ICRP (1977): Recommendations of the ICRP. - ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford.

MORGAN, K. Z. (1978): Cancer and Low Level Ionizing Radiation. - The Bulletin of the Atomic Scientists, 34 (7), S. 30-41.

NG 350 - MARBURG/GRUPPE ÖKOLOGIE-HANNOVER (1983): Bericht Wiederaufarbeitung. - Band 2, Hannover.

6. Stör- und Unfallbetrachtungen, Sicherheitskonzepte

6.1. Störfälle und Unfälle in der Betriebsphase

Beim Betrieb von kerntechnischen Anlagen unterscheidet man zwischen bestimmungsgemäßem Betrieb, Störfall und Unfall. Die Strahlenschutzverordnung definiert in ihrem Anhang (Begriffsbestimmungen) den juristischen Sprachgebrach:

Störfall: Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage ausgelegt ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorgesehen sind;

Unfall: Ereignisablauf, der für eine oder mehrere Personen eine die Grenzwerte übersteigende Strahlenexposition oder Inkorporation radioaktiver Stoffe zur Folge haben kann, soweit er nicht zu den Störfällen zählt.

Im Abschlußbericht der GSF ist ausschließlich von "Störfällen" die Rede. Die Möglichkeit, daß es auch zu einem Unfall im Sinne der Strahlenschutzverordnung kommen könnte, wird ausgeschlossen; wie sich zeigen wird, zu Unrecht.

Der Betrachtung betrieblicher Störfälle im GSF-Abschlußbericht wurden lt. GSF "repräsentative Ereignisse durch Einwirkungen von innen" (D5-2) zugrundegelegt.

Zusammenfassend stellt GSF fest: "Die ermittelten, als konservativ einzustufenden Werte zeigen, daß auch bei außerbestimmungsgemäßen Betriebsabläufen unzulässige Aktivitätsfreisetzungen aus dem Endlager nicht stattfinden" (GSF-Abschlußbericht: 19). Ein solcher, weitgehender Anspruch bedeutet, daß die betrachteten Ereignisse zumindest in der Größenordnung ihrer Auswirkungen zu den schlimmst-möglichen zu rechnen

sein müssen. Sie müssen in diesem Sinne das mögliche Ereignisspektrum abdecken, da sie sonst für die Beantwortung der grundsätzlichen Frage, ob "unzulässige Aktivitätsfreisetzungen aus dem Endlager" stattfinden können, völlig bedeutungslos wären.

Im Gegensatz dazu erklärten die Vertreter der GSF im Gespräch mit den Bearbeitern (13.09.1983), die betrachteten Ereignisse seien zwar nicht völlig willkürlich ausgewählt worden; der Anspruch, daß sie "abdeckend" seien, bestünde jedoch nicht.

Es soll hier nicht weiter ausgeführt werden, daß eine solche eingeschränkte Betrachtung nicht als Begründung für eine Eignungsaussage herangezogen werden kann. Für die folgende Analyse gehen wir von folgenden Punkten aus:

- Ungeachtet der Auffassung der GSF ist für die Beurteilung der Aussagekraft des GSF-Abschlußberichtes, sowie letztlich auch der Sicherheit des Endlagers, von Interesse, zu überprüfen, inwieweit bei den untersuchten Störfällen auch die schlimmst-möglichen Ereignisse betrachtet wurden.

- Unabhängig davon soll weiterhin geprüft werden, ob bei den tatsächlich betrachteten Ereignissen die GSF korrekte Rechenannahmen hinsichtlich von Bestimmungsgrößen wie Freisetzungsbruchteile u. ä. getroffen hat und mit diesen korrekt gerechnet wurde.

6.1.1. Diskussion des Spektrums der betrachteten Ereignisse

Die GSF betrachtet im Rahmen der "betrieblichen Störfälle" folgende Ereignisse:

Übertage (D5-2):
- Handhabungsstörfälle
- Ausfall der Stromversorgung

Untertage (D5-9):
- Brand eines beladenen Transportfahrzeuges (Abfallart L441)
- Absturz eines beladenen Förderkorbes (Abfallart K423).

Bei den Ereignissen über Tage werden Brände nicht betrachtet (D5-2). Dies wird nicht näher begründet. Im Abschnitt D2.2 wird ausdrücklich festgestellt, daß ein Brand nicht ausgeschlossen werden kann (D2-41). Brandgüter werden angegeben, Brandbelastungen abgeschätzt, mögliche Brandursachen aufgezeigt (bei dieser Aufzählung fehlen allerdings: Fahrzeugunfälle, chemische Reaktionen in den Abfällen), passive und aktive Brandschutzmaßnahmen aufgeführt sowie Flucht- und Rettungswege angegeben.

Bei einem Brand in der Entladehalle können z. B. bei Zusammenstoß und Beschädigung eines Lastkraftwagens und eines Gabelstaplers maximal ca. 700 l Diesel- und Maschinenöl ausfließen (D2-40).

Dieselöl ist nicht sehr leicht entzündbar und brennt bei Verteilung in dünnen Schichten u. U. überhaupt nicht. Gerade im Bereich der gestapelten Abfallgebinde ist jedoch mit geringfügigen Bodenunebenheiten, Mulden u. dgl. zu rechnen, die durch die kontinuierliche Belastung des Hallenbodens entstehen können. Dadurch sind größere Schichtdicken (und dementsprechende Branddauern, falls es zu einer Entzündung kommt), sowie Brände direkt an den Abfällen möglich. Im übrigen gelten die Eigenschaften von Dieselöl auch für Brände unter Tage, die auch von GSF unterstellt wurden. Laut Statistik (BATELLE 1981: 1-28) ist bei leichten und mittleren Lkw-Unfällen in 1,4% der Fälle mit Feuerausbruch zu rechnen (bei 21% davon Branddauer über 30 min), bei schweren Unfällen in 7,0% der Fälle (davon 50% über 30 min).

Falls es zu einem Brand kommt, kann aufgrund des im Vergleich zur Fahrzeugbeladung unter Tage größeren Inventars im Pufferlager sowie des Wegfallens der teilweisen Rückhaltung konta-

minierter Aerosole bei Ausbreitung in Strecken und Schacht dieses Ereignis erheblich größere Auswirkungen haben als ein Fahrzeugbrand unter Tage.

Angesichts der obigen Überlegungen muß festgestellt werden, daß

- die Untersuchungen der GSF zu den Bränden nicht abdekkend sind, und
- daß Brände über Tage im Hinblick auf mögliche Dauer, Verlauf, Freisetzungen usw. jedenfalls hätten untersucht werden müssen.

Einwirkungen von außen (EVA-Störfälle) werden von GSF mit der Begründung nicht untersucht, eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit sei am Standort nicht anzunehmen, eine derartige Analyse wäre demnach nicht anlagenspezifisch (D5-1). Genauere Daten dazu wurden nicht vorgelegt. Weiterhin sei angemerkt, daß z. B. die Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes (mit oder ohne Treibstoffbrand oder Explosion mitgeführter Waffen) auf das Pufferlager ganz offensichtlich von - anlagenspezifischen! - Kenngrößen wie Anordnung der Fässer und Radionuklidinventar, sowie auch von der Bevölkerungsdichte in der Umgebung usw. abhängen. Es wäre daher erforderlich gewesen, zunächst die Auswirkungen derartiger Ereignisse zu studieren, um auf dieser Grundlage erörtern zu können, bei welcher Eintrittswahrscheinlichkeit noch von einem vernachlässigbaren "Restrisiko" gesprochen werden könnte.

Bei den Handhabungsstörfällen geht die GSF davon aus, daß der "Behälterabsturz" alle anderen Störfälle, insbesondere den Anprall bei Zusammenstoß oder Auffahren von Fahrzeugen sowie Anschlagen eines am Kran hängenden Gebindes, abdeckt. Die betrachteten Fallhöhen entsprechen folgenden Aufprallgeschwindigkeiten:

- 1,5 m (Kastenbehälter und VBA auf Gabelstapler): 19,5 km/h
- 2 m (Paletten auf Gabelstapler): 22,5 km/h
- 3,5 m (Kastenbehälter am Kran): 30 km/h

Wesentlich höhere Geschwindigkeiten sind bei Fahrzeugen in der Entladehalle in der Tat kaum zu erwarten. Wichtiger erscheint die Frage, inwieweit bei einem Aufprall auf Kanten, Spitzen u. dgl., wie er gerade bei einem Fahrzeugunfall eintreten kann, auch bei diesen oder noch geringeren Geschwindigkeiten schwerere Beschädigungen der Fässer zu erwarten sind als bei einem Aufprall nach Absturz auf eine ebene Fläche. Dieser Punkt wird von GSF nicht diskutiert. Ebenfalls nicht diskutiert wird von GSF die Möglichkeit, daß Abfallfässer entgegen den Bestimmungen Flüssigkeiten enthalten können, die ausfließen und zu Kontaminationen nicht nur der unmittelbaren Aufpralloberfläche führen können. Dies ist keine theoretische Überlegung: In der Landessammelstelle Neuherberg bei München traten zwei Vorkommnisse dieser Art auf. "In beiden Fällen waren undichte Abfallfässer, die entgegen den für die Landessammelstelle geltenden Benutzungsbedingungen Flüssigkeiten enthielten, die Ursachen von Kontaminationen" (BAYRISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1981).

Bei den Ereignissen unter Tage ist vor allem die Wahl der Abfallkategorien dafür ausschlaggebend, ob die betrachteten Szenarien als abdeckend angesehen werden können.

Diese Frage soll in der Folge, gemeinsam mit den anderen Voraussetzungen und Rechenannahmen der GSF, getrennt für die beiden von GSF betrachteten Ereignisse diskutiert werden.

6.1.2. Die Behandlung von Bränden im GSF-Abschlußbericht

6.1.2.1. Brandverhalten verschiedener Abfallarten

Bitumen: Bitumenprodukte sollen zum Großteil in VBA eingelagert werden. Bei den von GSF zitierten Versuchen im KfK wurden drei Abfallgebinde mit VBA jeweils einem Feuer von 45 bis 50 Minuten Dauer ausgesetzt. Diese Versuchsbedingungen wurden in Anlehnung an die bei Transportunfällen laut IAEA zu unterstellenden Bedingungen (Feuer von 30 min, 800° C) gewählt. Die VBA blieben dabei intakt (KLUGER et al. 1980).

Dieses Ergebnis war allerdings leicht vorherzusehen. Den genannten Versuchen kann allenfalls ein symbolischer Charakter, aber kaum praktische Aussagekraft zugeschrieben werden. Über das Verhalten von Beton bei Brand sind nämlich ausreichend Daten bekannt, um auch ohne Experimente vorhersagen zu können, daß sich die oberste Schicht der VBA (rd. 2 cm) unter den Versuchsbedingungen typischerweise um ca. 10° pro Minute aufheizt (KORDINA 1963). Es wird also nach ca. 40 Minuten eine Temperatur von rund 400° C, nach ca. 50 Minuten eine solche von rund 500° C erreicht. Interessante und im einzelnen nicht vorhersagbare Phänomene wie Gefügelockerung, Festigkeitsabfall u. ä. beginnen bei etwa 400° C, Kriechen und evtl. Absprengungen durch Wasserverdampfung bei etwa 500° C. Die Experimente hörten also gerade zu dem Zeitpunkt auf, ab dem Vorgänge, die näheres Studium erfordern würden und die für die Sicherheit bedeutsam sind, erst zu erwarten gewesen wären. Für einen Brand längerer Dauer (etwa 2 h, wie beim Fahrzeugbrand unter Tage von GSF unterstellt, D5-13) ist ihre Aussagekraft gleich Null.

Die Heftigkeit, mit der Bitumenprodukte abbrennen, nimmt mit dem Gehalt an $NaNO_3$ zu. Bei den von GSF zitierten Laborversuchen lag der $NaNO_3$ -Gehalt bei 36% (D5-10); bei den genannten Versuchen im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) waren es 42%, Maximalwert wären ca. 50% (KLUGER et al. 1980).

Das Brandverhalten von Bitumenprodukten soll hier nicht weiter erörtert werden, da nach derzeitigem Planungsstand solche nur einen sehr kleinen Teil der einzulagernden Abfälle ausmachen. Bei Änderungen der Planung wäre dieser Frage aber verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen, u. a. auch im Hinblick darauf, daß nicht alle Bitumenprodukte mit VBA versehen sind.

Zement: Die GSF diskutiert hier ausschließlich das Verdampfen des im Zement enthaltenen Wassers als Freisetzungsmechanismus im Brandfall. Aus den hohen Dekontaminationsfaktoren (10^3 - 10^5), die bei der Konzentrierung wäßriger Abfälle durch

Verdampfung erreicht werden können, wird darauf geschlossen, daß - abgesehen von Tritium - nur sehr geringe Freisetzungen von Radionukliden erfolgen können (D5-13). Nur am Rande sei dazu angemerkt, daß die Übertragbarkeit der Dekontaminationsfaktoren aus der Abfallkonzentrierung (wo sie nur mit Hilfe von Tröpfchenabscheidern erzielt werden können, vgl. HÖHLEIN 1978: 9) auf die völlig unterschiedliche Konstellation des Siedens in den Zementporen näher belegt werden müßte. Wichtiger ist, daß die GSF einen anderen Freisetzungsmechanismus, der zu erheblich größeren Freisetzungsanteilen führen kann als den den genannten Dekontaminationsfaktoren entsprechenden Werten von 10^{-3} bis 10^{-5}, überhaupt nicht betrachtet. Zunächst ist die Annahme einer mittleren Temperatur der Zementprodukte beim Schadensfeuer von 400° C zurückzuweisen. Sie wird nicht näher begründet und kann bei Feuertemperaturen von 800° C (Treibstoffbrand) weit überschritten werden. So rechnet z. B. die Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) in der Sicherheitsbeschreibung des Zwischenlagers für schwachaktive Abfälle Gorleben (DWK 1980: 5.1-3) bei einem Treibstoffbrand sogar mit Zementtemperaturen von über 900° C. Bei derartigen Temperaturen ist mit einer Materialänderung zu rechnen, die zum Zerbröseln der Produkte führt. Durch einen Luftzug können dann radioaktive Stoffe als Aerosole freigesetzt werden, wobei DWK mit einer Freisetzung von 2% rechnet.

Eine andere Quelle berichtet von vollständigem Festigkeitsverlust eines Zementproduktes nach 30 min Erhitzung auf 500° C (BONNEVIE-SVENDSEN et al. 1976: 163).

Nicht gebundene, verpreßte brennbare Abfälle: Diese Abfälle werden bei dem Brandszenario der GSF betrachtet, das unten noch genauer diskutiert wird. Hier sei nur kurz angemerkt, daß die Annahme, 1% der Metallnuklide sei aus der pyrolisierenden Abfallmasse als Aerosol freisetzbar (D5-15), nicht als konservativ bezeichnet werden kann. Bei Brandversuchen, bei denen keine zusätzlichen Mechanismen wirksam wurden, um Aerosole zu bilden, wurden zwar in der Tat für Uran und Plu-

tonium Werte von 1% und weniger gemessen (MISHIMA & SCHWENDIMAN 1973 a,b). Bei gleichzeitigem Vorliegen eines Luftzuges durch die brennende Abfallmasse wurden dagegen für UO_2-Pulver an brennendem Papier, Stoff, Pappe oder Plastiksäcken Werte von 2,4% bis über 50% gemessen (MISHIMA & SCHWENDIMAN 1970). Luftgeschwindigkeit war dabei 46 oder 104 cm/sec; in einer Strecke mit 25 m^2 Querschnitt und 3600 m^3/min Wetterstrom beträgt die Wettergeschwindigkeit 240 cm/sec.

GSF gibt für die Annahme von 1% Freisetzung keine Quelle an. Es wird auf ein Rechenmodell hingewiesen, das jedoch nicht näher beschrieben wird; jedenfalls erscheint ein Rechenmodell, das Ergebnisse liefert, die zu experimentellen Befunden in Widerspruch stehen, äußerst problematisch. GSF diskutiert auch nicht, ob einzelne Metalle höhere Freisetzungsbruchteile aufweisen könnten als der Rest. Erwähnenswert ist dabei vor allem Cäsium, das bei Normaldruck schon bei 670° C siedet. DWK nimmt z. B. in der oben zitierten Sicherheitsbeschreibung an, daß Cäsium bei Verbrennung der verpreßten Abfälle mit Treibstoff zu 50% freigesetzt wird (DWK 1980: 5.1-3). Dieser Punkt könnte auch bei anderen Abfallkategorien von Interesse sein.

Insgesamt hätte das Brandverhalten der verpreßten Abfälle - die einen großen Anteil am Gesamtvolumen ausmachen, vgl. Kapitel 4., Anhang! - von GSF detaillierter und genauer belegt diskutiert werden müssen. Hier wurdenim GSF-Abschlußbericht offensichtlich falsche Prioritäten gesetzt - die nur in geringen Mengen zu erwartenden Bitumenprodukte werden erheblich ausführlicher behandelt. Insbesondere wäre es von Interesse gewesen zu untersuchen, inwieweit diese Abfälle auch nach Verlöschen eines externen Feuers weiterbrennen können.

6.1.2.2. Das Szenario der GSF "Fahrzeugbrand unter Tage"

Der wichtigste Schwachpunkt in den Betrachtungen der GSF ist die Auswahl der Abfallkategorie. GSF betrachtet Abfälle vom Typ L441, d. h. schwachaktive, ohne Bindemittel verpreßte Abfälle aus Landessammelstellen. Begründet wird dies damit, daß diese Abfälle relativ große Mengen der besonders flüchtigen Nuklide H-3 und C-14 enthielten (Gespräch 13.09.1983).

Diese Begründung ist verfehlt. Selbst bei den Abfällen vom Typ L441, die nur geringe Mengen an Plutonium und anderen Aktiniden enthalten, liegt bei einem Brand der Anteil von Pu-239 - trotz der erheblich geringeren Freisetzungsrate - an der resultierenden Strahlenbelastung weit über den Beiträgen von H-3 und C-14; bei der Ganzkörper-Dosis durch Inhalation am oberen Schachtende z. B. um mehr als einen Faktor 100 (bei einer Ermittlung der radiologischen Folgen nach den auch von der GSF benutzten Rechenvorschriften). Das Kriterium der GSF für die Auswahl der bei Fahrzeugbrand zu betrachtenden Abfallkategorie ist somit unbrauchbar. Bei einer einigermaßen konservativen Betrachtungsweise müssen Abfälle mit hohem Aktinidengehalt ausgewählt werden. Bei der Diskussion der radiologischen Auswirkungen wird in der Folge daher neben L441 auch W441 (schwachaktive, ohne Bindemittel verpreßte Wiederaufarbeitungsabfälle) betrachtet; der Gehalt an Pu-239 pro Faß liegt dabei ca. um einen Faktor 450 höher. Dazu kommen noch andere Pu-Isotope (vgl. Kapitel 4, Tabelle 4.13.).

Auch der Ablauf des Unfalles in dem Szenario der GSF ist nicht konservativ. Bei einem Unfall durch Zusammenstoßen zweier Fahrzeuge werden Brandlast und Wirkung des Aufpralles (verglichen mit Unfall durch Auffahren eines einzelnen Fahrzeuges auf ein unbewegliches Hindernis) verdoppelt. Über die mögliche Maximalgeschwindigkeit der Fahrzeuge wurden von GSF keine verbindlichen Angaben gemacht; jedoch können 20 km/h als plausibler Wert angesehen werden (Gespräch 13.09.1983). Die mechanische Einwirkung auf die Fässer ist damit erheblich größer als bei einem Absturz aus 2 m Höhe (der als maxi-

maler Hantierungsstörfall betrachtet wird). Damit entbehrt die Annahme der GSF, die Fässer könnten nur geringfügig beschädigt werden, so daß durch Begrenzung des Sauerstoffzutrittes kein vollständiges Abbrennen der Abfälle zu erwarten sei, jeder Grundlage.

Insgesamt steht jedenfalls unter der von GSF gemachten Voraussetzung eines unverminderten Wetterstromes ausreichend Sauerstoff zur Verfügung.

Im Szenario der GSF werden nur insgesamt 30% der Abfallmasse der betroffenen 12 Fässer von dem Brand erreicht; wie gezeigt, müßte eine konservative Betrachtung von 100% ausgehen.

Die Fragwürdigkeit der Annahme einer Freisetzung von nur 1% der Metallnuklide aus der brennenden Abfallmasse bei Vorliegen eines Luftstromes wurde oben bereits angesprochen.

Schließlich wird auch die Abscheidung der Aerosole bei Ausbreitung in Strecke und Schacht von GSF zu optimistisch betrachtet. Schon das Konzept des "Halbwertsweges" bei der Abscheidung der Sprengaerosole (Angabe der GSF: 370 m) ist angreifbar, da GSF an der entsprechenden Stelle (D4-44) feststellt, daß die Staubkonzentration mit dem zurückgelegten Weg langsamer abnimmt, als es einer exponentiellen Abscheidung mit konstanter Halbwertslänge (HWL) entsprechen würde. Dies ist wahrscheinlich auf die Polydispersität des Aerosols zurückzuführen (Fraktionen mit kleinem Durchmesser setzen sich langsamer ab als solche mit großem).

Werden der Einfachheit halber monodisperse Aerosole unterstellt, so läßt sich aus Messungen in Kohlebergwerken schließen, daß einer HWL von 370 m bei Konrad-Wetterverhältnissen ein Teilchendurchmesser von ca. 25 µm entspricht (DAVIES 1966: 402). GSF gibt zu diesem Punkt keine Angaben und stellt nur fest, daß die Teilchengröße der Sprengaerosole nicht hätte gemessen werden können.

Brandaerosole können erheblich geringere Durchmesser aufweisen. Bei Annahme von 5 µm (vgl. z. B. MISHIMA & SCHWENDIMAN 1973 a) folgt nach DAVIES (1966) eine HWL von ca. 1500 m. Im betrachteten Falle (1600 m Ausbreitungsweg) wäre also eine Rückhaltung um einen Faktor 2 als konservativ anzusehen, und nicht um einen Faktor 5, wie von GSF angenommen. Dabei ist im übrigen nicht berücksichtigt, daß ein Teil des Ausbreitungsweges nicht in einer horizontalen Strecke liegt, in der die Abscheidung durch Schwerkraft stattfinden kann, sondern im vertikalen Schacht, wo dieser Mechanismus wegfällt. Die Fallgeschwindigkeit der Teilchen liegt um Größenordnungen unter der mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeit im Wetterstrom, im Schacht ist daher nur im wandnahen Bereich mit Abscheidung zu rechnen.

Radiologische Folgen: Es werden folgende Fälle betrachtet:

I: Ermittlung nach den Modellannahmen der GSF

II: Korrektur der Annahmen: Freisetzung von 1% der Metallnuklide (statt 0,3%, aufgrund vollständiger Verbrennung); Rückhaltung bei Ausbreitung um Faktor 2 (statt 5).

III: Wie II, aber mit Freisetzung von 10% der Metallnuklide (verstärkte Aerosolbildung durch Luftzug).

Es werden die Abfallkategorien L441 (Inventar nach GSF, D5-14) und W441 (Inventar nach Kapitel 4, Tab. 4.13.) zugrundegelegt. Bei der Ermittlung der radiologischen Folgen nach den auch von GSF benutzten Rechenvorschriften traten auch im Fall I gewisse Diskrepanzen zu den von GSF ermittelten Werten auf. Die Werte im GSF-Abschlußbericht konnten nicht exakt nachvollzogen werden, verglichen mit den hier ermittelten Werten lagen sie maximal um einen Faktor 3 höher. Voraussichtlich ist dies auf zusätzliche von GSF getroffene Annahmen zurückzuführen, die im GSF-Abschlußbericht nicht dokumentiert sind. Z. B. geht die GSF von einer Branddauer von zwei

Stunden , sowie einer Aufenthaltsdauer von einer Stunde im unverdünnten Wetterstrom aus. Dementsprechend würden genau 50% der Radionuklidwolke an der betroffenen Person vorbeiziehen. Ohne nähere Erklärung wird im Abschlußbericht jedoch festgestellt, daß an dieser "der größte Teil des kontaminierten Abwetterstromes" vorbeiziehe.

Da die festgestellten Differenzen im Vergleich zu den Unterschieden zwischen den einzelnen Fällen und Abfallkategorien i. A. gering sind, wurde auf eine Klärung bis ins letzte Detail verzichtet. Im folgenden werden für Fall I und L441 die von GSF im Abschlußbericht angegebenen Werte, ansonsten die von den Bearbeitern aus den im GSF-Bericht bzw. den darin zitierten Richtlinien des BMI (1979) enthaltenen Angaben zu Wetterstrom, Atemrate, Ausbreitung, Dosisfaktor usw. abgeleiteten Resultate gegenübergestellt. Beispielhaft werden nur Ganzkörper- und Knochendosis betrachtet.

Strahlenbelastung durch Inhalation am Schacht 2 über Tage (mrem):

	L441			W441		
	I	II	III	I	II	III
Ganzkörper	1,7E1	4,2E1	4,2E2	2,7E4	2,3E5	2,3E6
Knochen	5,0E2	1,3E3	1,3E4	1,3E6	1,1E7	1,1E8

(1,7E1 = $1{,}7 \times 10^{1} = 17$)

Strahlenbelastung durch Inhaltation in 300 m Entfernung(mrem):

	L441			W441		
	I	II	III	I	II	III
Ganzkörper	8,0E-1	2,5E1	2,5E2	1,7E3	1,4E4	1,4E5
Knochen	3,0E1	9,2E1	9,2E2	8,2E4	6,8E5	6,8E6

Die bei Störfällen laut Strahlenschutzverordnung § 28 zulässigen Grenzwerte betragen 5 rem für den Ganzkörper, 30 rem für den Knochen. Bei Exposition am oberen Schachtende werden diese Werte bei W441 in allen Fällen überschritten (für

den Ganzkörper z. B. im Fall I schon nach ca. 11 min, im Fall III nach ca. 8 sec). Die Grenzwerte für außergewöhnliche Strahlenexposition beruflich strahlenexponierter Personen liegen laut Strahlenschutzverordnung § 50 beim Zweifachen der genannten Zahlen. Auch diese Grenzwerte werden noch weit überschritten.

Bei Inhalation in 300 m Entfernung werden für W441 im Fall I die nach § 28 StrSchVO zulässigen Grenzwerte für die Knochendosis überschritten, bei den Fällen II und III sowohl die Grenzwerte für die Ganzkörper- als auch die Knochendosis.

Bei Überschreitungen dieser Grenzwerte handelt es sich nach offizieller Terminologie nicht mehr um einen Störfall, sondern um einen Unfall. Schutzgrenzen für "Unfälle" sind laut Strahlenschutzverordnung nicht vorgesehen. Angesichts dieser hohen Strahlenbelastung muß gefordert werden, daß ein Evakuierungsplan für die Umgebung der Schachtanlage erstellt wird. Durch die optimistischen Annahmen bei den Störfallbetrachtungen fällt dieser wichtige Punkt bei der GSF unter den Tisch.

Zur Abschätzung der Strahlenexposition in 300 m Entfernung muß noch bemerkt werden, daß der dabei verwendete Kurzzeitausbreitungsfaktor χ (s/m^3) nach BMI (1979) für Einzelemissionen bei konstanten meteorologischen Bedingungen berechnet werden kann. Es ist zu kritisieren, daß die von der GSF verwendeten Ausbreitungskoeffizienten für eine Emissionshöhe von 50 m gelten (D5-20) obwohl die Abwetter der Grube über einen 9 m hohen Diffusor austreten.

Allgemein gilt, daß $\hat{\chi}$ im Nahbereich bei einer geringeren Emissionshöhe höhere Werte als bei größeren Emissionshöhen annimmt. Da der Kurzzeitausbreitungsfaktor linear in die Berechnung der Inhalationsdosis eingeht, wird die Strahlenbelastung von der GSF sowie in den hier präsentierten zusätzlichen Werten, die mittels der Methode der GSF berechnet wurden, möglicherweise unterschätzt. Um diesem Vorwurf zu entge-

hen, hätte die GSF für die Berechnung des Kurzzeitausbreitungsfaktors die einer Emissionshöhe von 9 m entsprechenden Parameter verwenden müssen. Entsprechende Berechnungen konnten von uns nicht durchgeführt werden, da die erforderlichen standortspezifischen Daten nicht vorliegen. Diese Feststellung gilt auch für die Betrachtung des Förderkorbabsturzes.

6.1.3. Das Szenario der GSF zum Förderkorbabsturz

GSF geht dabei von Abfallkategorie K423 aus (schwachaktiver zementierter Abfall aus Kernkraftwerksbetrieb, 200 l-Fässer in VBA). Auch dabei handelt es sich noch um eine relativ günstige Annahme. Z. B. enthält die Abfallform W323 (kalter, mittelaktiver zementierter Wiederaufarbeitungsabfall - Jod- und Kesselluftfilter) ein Vielfaches an Jod und Aktiniden (vgl. Kapitel 4, Tab. 4.9.). Bei der Diskussion der radiologischen Auswirkungen werden daher hier sowohl K423 als auch W323 betrachtet werden.

Weiterhin sind die Überlegungen der GSF zum Bruchteil des gebildeten flugfähigen Staubes nicht schlüssig. Von den zitierten Quellen bezieht sich eine (SMITH et al. 1977) nur auf verglaste Abfälle, ist also hier überhaupt nicht relevant. Die andere Quelle (WALLACE & KELLY 1976) beschreibt Versuche mit geringerer Energieeinwirkung, als beim Förderkorbabsturz auch nach Annahme der GSF zu erwarten ist. Dabei beträgt bei Einwirkung von 4,8 Joule/10 g der Anteil flugfähigen Staubes praktisch Null; bei Einwirkung von 9,6 Joule/10 g kann 1% als konservativer Wert angesehen werden. Beim Förderkorbabsturz werden aber Werte von ca. 15,4 Joule/10 g erreicht. Gerade aufgrund der offensichtlich starken Abhängigkeit der Staubbildung von der Aufprallenergie kann der bei 9,6 Joule/10 g gemessene Wert auf diese Verhältnisse nicht übertragen werden, wie es die GSF versucht - er ist jedenfalls zu niedrig. Zu bemerken ist weiterhin, daß bei den Experimenten von WALLACE & KELLY (1976) die Energiefreisetzung nicht auf einen Schlag erfolgte, sondern durch mehr-

faches Aufschlagen auf den Probekörper. Auch aus diesem Grunde erscheint die Übertragbarkeit fraglich.

Mangels genauerer Daten setzen wir - um die Auswirkungen dieser Parametervariationen zu zeigen, und nicht mit dem Anspruch, damit einen realistischen oder konservativen Wert anzugeben - für die Bildung von flugfähigem Staub eine Rate von 10% an.

Der Wert der GSF für die Freisetzung staubgebundener Aktivität in den Wetterstrom (Bruchteil 10^{-4}) wird dementsprechend - mit den genannten Einschränkungen - auf 10^{-3} korrigiert.

Die Rückhaltung von 90% der Staubteilchen während des Durchzuges durch Strecke und Schacht erscheint realistischer als die Annahme beim Fahrzeugbrand (kein Brandaerosol). Kleine Änderungen dieses Wertes beeinflussen das Endergebnis nur geringfügig; der Wert der GSF wird daher in diesem Falle übernommen.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß bei den Überlegungen der GSF die Staubfraktion mit einem Durchmesser von $>$ 10µm völlig vernachlässigt wird. Aus Abschnitt 6.1.2.2. folgt z. B., daß selbst bei Teilchen mit 25 µm Durchmesser noch über 0,1% am oberen Schachtende eintreffen werden. Insoweit ist die Abschätzung der radiologischen Folgen jedenfalls nicht-konservativ.

Ungeklärt ist, wieso die GSF beim Szenario "Förderkorbabsturz" mit 4 Abfallgebinden mit VBA rechnet, während beim Transport im Schacht 5 VBA als eine Transporteinheit angesehen werden (D3-12). Beim Absturz von 5 anstatt 4 VBA wären die unten angegebenen Dosiswerte jeweils mit 1,2 zu multiplizieren.

Radiologische Folgen: Es werden folgende Fälle betrachtet:

I: Ermittlung nach den Modellannahmen der GSF
II: Korrektur der Menge freigesetzten flugfähigen Staubes um den Faktor 10.

Es werden die Abfallkategorien K423 (Inventar nach GSF-Abschlußbericht, D5-17) sowie W323 (Inventar nach Kapitel 4, Tab. 4.9 .) zugrundegelegt.

Ähnlich wie beim Fahrzeugbrand konnten die Werte der GSF nicht exakt nachvollzogen werden; die von den Bearbeitern ermittelten Werte lagen in diesem Falle etwas über den im GSF-Abschlußbericht angegebenen. Die Diskrepanzen sind jedoch maximal ca. ein Faktor 2; es wurde wie in Abschnitt 6.1.2.2. verfahren.

Strahlenbelastung durch Inhalation am Schacht 2 über Tage(mrem):

	K423		W323	
	I	II	I	II
Ganzkörper	3,3E-3	7,4E-2	5,6E0	5,6E1
Knochen	1,7E-2	2,5E-1	2,4E2	2,4E3

Straphlenbelastung durch Inhalation in 300 m Entfernung (mrem):

	K423		W323	
	I	II	I	II
Ganzkörper	2,0E-4	2,2E-3	1,7E-1	1,7E0
Knochen	9,0E-4	8,2E-3	7,0E0	7,0E1

Überschreitung der gesetzlichen Störfallgrenzwerte ist hier nicht festzustellen (maximal werden 14% der Grenzwerte nach § 28 StrSchVO erreicht). Es wird gleichzeitig deutlich, daß bei W323 Dosiswerte auftreten, die um Größenordnungen über den im GSF-Abschlußbericht angegebenen liegen.

Die in 6.1.2.2. formulierte Kritik an der Verwendung eines Kurzzeitausbreitungsfaktors für eine Emissionshöhe von 50 m gilt auch hier.

6.1.4. Die Sicherheit der Beschäftigten bei untertägigen Störfällen

Die radiologischen Auswirkungen auf die Beschäftigten unter Tage werden im GSF-Abschlußbericht bei Störfällen nicht betrachtet. Entsprechende Überlegungen müßten aber angestellt werden, um die Strahlenbelastung der Beschäftigten unter Tage so gering wie möglich zu halten.

Beispielhaft sei die Problematik hier skizziert:

Für die Zeit während des bzw. unmittelbar nach dem Ereignis muß ein Notfallplan für das Verhalten des Personals vorliegen, um zu verhindern, daß sich Personen zu lange an exponierten Stellen aufhalten (die Nuklidkonzentrationen abwetterseitig sind hoch, da der Wetterstrom in der Strecke geringer ist als am Diffusor (3600 m^3/min gegenüber 6000 m^3/min) und die Abscheidung von Aerosolen in geringerem Ausmaß als am oberen Schachtende wirksam wird). Entsprechend gekennzeichnete Fluchtwege müssen das rasche Verlassen des Gefahrenbereiches erleichtern. Die Ampelschaltungen für Fahrzeuge u. ä. müssen dem Rechnung tragen.

Weiterhin ist ein Brandschutzkonzept auch für unter Tage erforderlich (für über Tage wird es von GSF im Kapitel D2.2. diskutiert, für den Bereich unter Tage findet sich nur der lapidare Hinweis: "Die Grubenfeuerwehr des Bergwerkes wird für Brände unter Tage eingesetzt" (D2-46)). Auch für die Bewetterung nach dem Ereignis muß ein Alarmplan vorliegen, damit der kontaminierte Wetterstrom möglichst wenige Orte erreicht, an denen sich Menschen befinden.

Überdies sind Pläne für Maßnahmen nach dem Störfall - Dekontamination der Strecken ist unverzichtbar, da der radioaktive Staub sonst bei jeglicher Aktivität wieder aufgewirbelt wird - unbedingt erforderlich. Bei nicht vollständiger Dekontamination ist im übrigen damit zu rechnen, daß der zurückgebliebene Staub nicht nur eine erhöhte Strahlenbelastung für die Beschäftigten bewirkt, sondern im Laufe der Zeit auch im Abwetterstrom an die Umgebung gelangen kann. In diesem Fall wären die "normalbetrieblichen" Abgaben und damit die Strahlenbelastung in der Umgebung für längere Zeit erhöht.

Bei dem Gespräch der Bearbeiter mit der GSF am 13.09.1983 wies diese darauf hin, daß Fragen des Schutzes der in der Grube Beschäftigten bei Störfällen im Abschlußbericht nicht betrachtet worden seien, da dies erst Gegenstand des Planfeststellungsverfahrens sein solle. Angesichts der Tatsache, daß im GSF-Abschlußbericht aber auch Fragen der Strahlenbelastung im Normalbetrieb (D4) sowie sogar verschiedene technische Fragen ohne direkte Relevanz für die Sicherheit (z. B. in C2) durchaus behandelt wurden, ist es erstaunlich, daß nicht auch die Sicherheit der in der Grube Beschäftigten bei Störfällen der GSF einige Überlegungen Wert war.

6.2. Sicherheitsbetrachtungen für die Nachbetriebsphase

6.2.1. Einleitung

In den "Sicherheitsbetrachtungen für die Nachbetriebsphase des Endlagers" (D5.2.) versucht die GSF, "eine Grundlage für die Abschätzung des Gefährdungspotentials durch Radionuklide" zu geben. In Modellrechnungen sollen "erste quantitative Aussagen zur Größenordnung der Wanderung einzelner Radionuklide zur Erdoberfläche" gewonnen werden (S. D5-34). Es wird also - an dieser Stelle im Bericht - nicht der Anspruch erhoben, exakte Vorhersagen der in den oberen Schichten zu erwartenden Radionuklidkonzentrationen zu präsentieren.

Dennoch werden die erhaltenen Ergebnisse an den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung gemessen. Nach den Berechnungen der GSF werden diese Grenzkonzentrationen nur bei einer der Rechnungen für ein Radionuklid (Sr-90) und auch bei diesem nur für einen einzigen Fall der Parametervariation überschritten. In der Tat ist es unverzichtbar - da Wasserzutritt in die Grube nicht ausgeschlossen werden kann -, zumindest im Rahmen einer grob abschätzenden Parameterstudie die Konsequenzen der Radionuklidwanderung im Grundwasser zu ermitteln. Hätte die GSF auf eine solche Abschätzung verzichtet, so fehlte der Aussage, die Eignung der Schachtanlage Konrad sei belegt, jede Basis. Dementsprechend zieht die GSF auch in ihrer Zusammenfassung die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen als Beleg der Eignung heran: Trotz der relativierenden Feststellungen im entsprechenden Abschnitt (D5.2) wird in der Zusammenfassung ein klarer Bezug zwischen Ausbreitungsrechnungen und Eignungsaussage hergestellt und betont, eine Wasserkontamination, die die heute gültigen Grenzwerte überschreite, sei nicht zu erwarten.

Die GSF stellt nicht explizit fest, wie aus den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnungen Argumente für die Eignung der Schachtanlage abgeleitet werden können. Der zugrundeliegende Gedankengang ist jedoch unschwer nachzuvollziehen: Wenn schon Berechnungen mit sehr einfachen Modellen, die noch "Über-Konservativitäten" enthalten (d. h., die Konzentration überschätzen), zeigen, daß Grenzwertüberschreitungen praktisch nicht auftreten - dann ist auch von einer verfeinerten Betrachtung nicht zu erwarten, daß sie unzulässig hohe Konzentrationen zum Ergebnis hat. Durch Abbau von Über-Konservativitäten können dann vielmehr die Ergebnisse nur noch tiefer liegen. Somit kann schon aus der einfachen Modellrechnung eine Eignungsaussage abgeleitet werden, wie es die GSF ja auch getan hat.

In der Folge soll nun überprüft werden,

- inwieweit bei den von GSF präsentierten Rechnungen tatsächlich noch Über-Konservativitäten bestehen;

- ob die den Rechnungen zugrundegelegten Annahmen und Parameter korrekt sind bzw., soweit die Werte variiert wurden, ob tatsächlich die gesamte mögliche Bandbreite erfaßt wurde;

- ob die Rechnungen fehlerfrei durchgeführt wurden.

Eingangs sollen die Grundvoraussetzungen der GSF-Szenarien (Antriebsmechanismen, Ausbreitungswege) kurz diskutiert werden.

6.2.2. Antriebsmechanismen und Ausbreitungswege

Die GSF unterstellt bei ihren Sicherheitsbetrachtungen ein Vollaufen der Einlagerungskammern mit Wasser. Als Antriebsmechanismen für die darauf folgende Ausbreitung von kontaminiertem Grundwasser werden diskutiert (D5-53; laut Gespräch am 13.09.1983 ist dies eine vollständige Aufzählung):

- Diffusion
- Konvektionsvorgänge infolge von Temperatur- und Konzentrationsunterschieden
- Verdrängungsvorgänge durch Konvergenz bzw. Quellvorgänge im Kammerbereich.

Der Beitrag der Diffusion wird zu Recht als "untergeordnet" eingestuft. Weiterhin ist wahrscheinlich die Rolle der Konvektion als relativ unbedeutend anzusehen, solange die Wärmeentwicklung der Abfälle gering bleibt. Eine genauere Dokumentation der Überlegungen, die die GSF zu diesem Punkt angestellt hat (D5-54) wäre allerdings wünschenswert gewesen.

Als einziger relevanter Antriebsmechanismus wird von GSF die Hohlraumverminderung durch Konvergenz und Quellvorgänge explizit diskutiert. Dies würde bedeuten, daß nach Abschluß dieser Vorgänge keine Bewegung von kontaminiertem Grundwasser mehr stattfindet. Im einzelnen betrachtet die GSF folgende Szenarien:

1. Ausbreitung von Radionukliden im Strecken-Schacht-System bei verschiedenen vorgegebenen, zeitlich unbegrenzt konstanten Fließgeschwindigkeiten, die in der Größenordnung der in tiefen Grundwasserleitern typischerweise anzutreffenden liegen sollen.

2. Ausbreitung von Radionuklid*en* im Strecken-Schacht-System bei vorgegebenem Ablauf der Verdrängungsmechanismen in der Kammer. Nach Beendigung der Konvergenz- (und Quell-) vorgänge stoppt auch die Wanderung der Radionuklide (bis auf Diffusionseffekte).

3. Ausbreitung von Radionukliden in das die Kammern umgebende Deckgebirge durch vorgegebene Verdrängungsvorgänge. Auch hier stoppt die Wanderung nach Beendigung der Verdrängung (dieser Fall ist allerdings nur sehr knapp dargestellt und dokumentiert).

Als plausibler Antriebsmechanismus für Szenario 1 kommt in erster Linie ein sich nach Kontakt mit Grundwasserleitern einstellender hydraulischer Potentialunterschied in Frage. Diese Möglichkeit wird von GSF ausgeschlossen. Wie an anderer Stelle gezeigt wird (Kap. 2.5.3.), ist dies nicht gerechtfertigt: Wasserführende Schichten reichen sehr nahe an das Endlagerbergwerk heran, das Entstehen von Wegsamkeiten ist möglich. Bei einer angenommenen Durchlässigkeit des Cornbrash-Sandsteins von 10^{-4} bis 10^{-7} m/sec folgen in dieser Schicht (unter der plausiblen Annahme eines Potentialunterschiedes von 1 m Wassersäule pro km) Filtergeschwindigkeiten von 3 bis 0,003 m/a; sie liegen also in der Größenordnung der in 6.2.4. betrachteten Geschwindigkeiten, bzw. noch etwas

darüber. Ist die Durchlässigkeit des verfüllten Strecken-Schacht-Systems größer bis etwa gleich jener der Schichten, aus denen der Wasserzutritt erfolgt, werden sich in diesem System ähnliche Geschwindigkeiten einstellen.

Weiterhin könnte in Szenario 1 auch die Konvergenz den Antrieb liefern, falls deren Verlauf nach dem Vollaufen durch die Geschwindigkeit bestimmt wird, mit der das Wasser die Grube wieder verlassen kann - d. h., wenn sie aufgrund des Fließwiderstandes des Wassers in der porösen Verfüllung gebremst wird. Bei einer Füllmenge von rd. 500.000 m³ Wasser in der Grube (vgl. Kapitel 3.5.3.) könnte eine Darcy-Gegeschwindigkeit von u = 1 m/a im Schacht ca. 13.000 Jahre lang aufrechterhalten werden; bei u = 0,1 m/a ca. 130.000 Jahre usw. (Dies sind Abschätzungen mit hypothetisch konstant gehaltener Fließgeschwindigkeit; sie sollen grobe Richtwerte für die unter dieser Voraussetzung relevanten Zeiträume geben. Es besteht daher kein Widerspruch zu abweichenden Zahlen, die in Kapitel 3.2.6. für einen anderen Fall - konstante Konvergenzrate - ermittelt wurden.)

Die Antriebsmechanismen bei Szenarien 2 und 3 sind vorgegeben. Bei der Modellierung der Konvergenz - v.a. ihres zeitlichen Ablaufes - bestehen sehr große Unsicherheiten (vgl. Kapitel 3.2.). Daher ist auch die Aussagekraft jeder darauf beruhenden Ausbreitungsrechnung schon grundsätzlich sehr gering.

Nicht geleistet wird von GSF die Beantwortung der Frage, welche Porositäten in verfüllten Strecken auch nach Abschluß der Konvergenz bestehen bleiben und inwieweit auch dann hier noch bevorzugte Ausbreitungsrichtungen existieren (was zu vermuten wäre). Nicht untersucht wurde von GSF weiterhin die mögliche Rolle der Radiolysegasbildung in den Kammern als Antriebsmechanismus. Die gebildeten Volumina sind unter den herrschenden Drücken relativ gering (siehe Kapitel 4.4.); dennoch kann nicht ohne nähere Betrachtung ausgeschlossen werden, daß sie einen Beitrag zur Ausbreitung leisten können.

An Ausbreitungswegen werden von GSF nur Strecken und Schächte, bzw. das wenig poröse, nicht-klüftige, völlig homogene Gestein selbst betrachtet. Andere Ausbreitungswege über klüftige und/oder stärker poröse grundwasserführende Schichten werden ausgeschlossen. Dagegen ist zu halten, daß derartige Ausbreitungswege zwar zweifellos erheblich länger wären als der in den Szenarien betrachtete Weg Strecke-Schacht, aber bei langlebigen Nukliden selbst bei großen Weglängen und geringen Ausbreitungsgeschwindigkeiten an der Tagesoberfläche noch hohe Konzentrationen auftreten können (vgl. 6.2.4.3.). Es ist daher nicht zulässig, diese Ausbreitungswege zu ignorieren, zumal GSF entgegen ihren Behauptungen den Beweis für die Nichtexistenz solcher Wege schuldig geblieben ist.

Abschließend sei noch festgestellt, daß die Möglichkeit der Ausbreitung von Radionukliden auf dem Wasserpfade keineswegs als hypothetisch abgetan werden kann, wie das von GSF im Gespräch am 13.09.1983 vertreten wurde. Weder kann eine vollständig dichte Schachtverfüllung, noch eine völlig zuverlässige Isolation von grundwasserführenden Schichten vorausgesetzt werden; somit sind Zutrittswege, Antriebsmechanismen und auch Ausbreitungswege in das oberste Grundwasserstockwerk gegeben.

6.2.3. Die sonstigen Voraussetzungen der GSF für die Ausbreitungsrechnungen

6.2.3.1. Wirkung gebindeinterner Barrieren

Das Auslaugverhalten der Abfallprodukte ist wichtig für die Festlegung des Quelltermes der Ausbreitungsrechnungen. Leider ist die Aussagekraft der Untersuchungen der GSF an zementierten und bituminierten Abfallprodukten (D5-24) sehr gering. Dies soll kurz am Beispiel der Zementprodukte - die nach dem dzt. Planungsstand in viel größeren Mengen als Bitumenprodukten eingelagert werden sollen - diskutiert werden.

Die Auflösung von Zement erfolgt grundsätzlich in zwei Phasen (vgl. z. B. PSE 1981: 3-52 f)

1. Diffusion ist dominierender Mechanismus. Kumulierte aufgelöste Menge ist proportional $\sqrt{t}$. Dauer einige Jahre.
2. Korrosion ist dominierender Mechanismus. Zeitabhängigkeit der kumulierten aufgelösten Menge schwer zu erfassen; u. U. proportional t. Dauer bis zum Ende der Auflösung.

Mit Einsetzen der 2. Phase kann also eine Beschleunigung des Auflösevorganges eintreten.

Dagegen überdecken die im GSF-Abschlußbericht angeführten Experimente nur eine Zeitdauer von 100 Tagen (D5-27), die im GSF-Jahresbericht 1982 (GSF-T 165 1983: 178-182) erwähnten sogar nur 50 Tage bzw., im Schnelltest, 7 Stunden. Die Problematik, daß sich der Auflösungsmechanismus später ändern könnte, wird nicht angesprochen. Auch für den betrachteten Zeitraum wurde nicht die Zeitabhängigkeit der Auslaugrate ermittelt, sondern nur der Mittelwert.

An dieser Stelle könnte eingewandt werden, daß bei im Vergleich zu den realen Abfallprodukten kleinen Proben, wie von GSF wohl verwendet (Angaben dazu fehlen allerdings), der Übergang zur 2. Phase der Auflösung rascher erfolgen könnte und evtl. schon die 100 Tage-Mittelwerte auch einen Beitrag der schneller verlaufenden Korrosion enthalten. Dem widersprechen aber Ergebnisse aus dem KfK, wo an Zementprodukten in Originalgröße noch etwas höhere Auslaugraten gemessen wurden als an kleinen Proben (KfK 1983: 238).
GSF unternimmt keinen Versuch, die bei den Ausbreitungsrechnungen angesetzte Standzeit der Abfallprodukte bis zur vollständigen Auflösung von 100 Jahren (D5-36, D5-54) aus den gemessenen Auslaugraten zu begründen. Eine exakte Ableitung des Langzeit-Verhaltens der Produkte wäre auch aufgrund des dargestellten Wechsels des Auflösungsmechanismus kaum möglich. Insbesondere kann daher auch nicht begründet werden,

daß der Wert von 100 Jahren konservativ ist. Z. B. rechnet das Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung im Zusammenhang mit dem Endlager Gorleben mit Standzeiten von einigen Zehnerjahren für zementierte Abfälle (MEMMERT 1983).

Zuletzt sei in diesem Zusammenhang noch darauf hingewiesen, daß das von GSF benützte salinare Auslaugmedium für die in Konrad zu erwartenden Verhältnisse ohnehin keine konservative Auslaugraten liefern kann: Angesichts der Zusammensetzung von im Hils-Sandstein angetroffenen Wässern kann nicht ausgeschlossen werden, daß CO_2 -haltige Wässer mit den Abfallprodukten in Kontakt kommen, die Zement stärker angreifen können als salinare Laugen (vgl. Kapitel 2.5.2.2.1.). Das Auslaugverhalten von ohne Bindemitteln verpreßten Abfällen wird von GSF nicht diskutiert; hier ist von im Vergleich zu Zementprodukten noch erheblich rascherer Auflösung auszugehen.

Die Aussagen zur Barrierenwirkung der Behälter im GSF-Jahresbericht 1982 (GSF-T 165 1983: 172) zeigen, daß bei Lackbeschädigungen die ersten Durchrostungen schon nach wenigen Jahren zu erwarten sind. Die im Abschlußbericht angegebenen Werte von 40 Jahren bis zur ersten Durchrostung (D5-29) werden dadurch relativiert. Im übrigen handelt es sich in beiden Fällen um unsichere Extrapolationen.

Weiterhin kann nicht davon ausgegangen werden, daß eine so vollständige Befüllung der Fässer möglich ist, daß durch äußere Druckbelastung keine Undichtigkeiten entstehen könnten.

Die Kurve der Zeitabhängigkeit der spezifischen Aktivität zementierter Abfälle im Abschlußbericht der GSF (D5-30) gibt im wesentlichen das Verhalten relativ kurzlebiger Spaltprodukte wieder. Wie Kapitel 4 im einzelnen illustriert, folgt auf die allein von GSF gezeigte Phase des raschen Abklingens, die nach weniger als 1.000 Jahren beendet ist, eine Phase, in der die restlichen Aktivität über viele Jahrtausende praktisch konstant bleibt. Bei Abfällen mit hohem Aktinidengehalt (z. B. W441) ist im übrigen auch schon in den ersten Zehner-

jahren die Aktivitätsabnahme erheblich langsamer als von GSF gezeigt (vgl. Kapitel 4, Abb. 4.12.).

6.2.3.2. Sorptionsverhalten von Radionukliden

Bei jeder Art von Ausbreitungsrechnungen für Radionuklide im Grundwasser (sowohl bei der Anwendung einfacher Modelle, wie im GSF-Abschlußbericht, als auch bei komplexeren, dreidimensionalen Berechnungen, wie sie z. B. von PSE für Gorleben durchgeführt werden) spielt das Sorptionsverhalten der Radionuklide eine entscheidende Rolle: Viele Radionuklide treten mit dem Gestein, durch welches das Grundwasser wandert, in Wechselwirkung; ihre Ausbreitung wird dadurch verlangsamt, ihre Konzentration in der Lösung verringert. Die in den oberen Grundwasserstockwerken auftretenden Konzentrationen können im Extremfall durch die Sorption um viele Größenordnungen reduziert werden; das Sorptionsverhalten kann damit letztlich dafür bestimmend sein, ob Grenzwerte eingehalten werden können oder nicht. Von der Genauigkeit und Belastbarkeit der Daten zur Radionuklidsorption hängt damit die Aussagekraft aller Ausbreitungsrechnungen entscheidend ab. Die GSF hat in ihrem Abschlußbericht (B2.4) sowie in GSF-T 165 (1983: Abschnitt 2) dieses komplexe Thema nur sehr skizzenhaft behandelt. Um ein Urteil darüber zu ermöglichen, welche Unsicherheitsbandbreiten durch das Sorptionsverhalten in die Ausbreitungsrechnungen eingehen, und die Breite des bei den Rechnungen eingesetzten Spektrums verschiedener Werte zu begründen, soll hier zunächst der Problemkreis der Sorption kurz im Überblick dargestellt werden.

6.2.3.2.1. Grundsätzliches zur Radionuklidsorption

Wie bereits angedeutet, wird die Ausbreitung der Radionuklide im Grundwasser durch physikalisch-chemische Interaktion zwischen den Radionukliden und dem Gestein, durch welches das

Wasser sich bewegt, verzögert. Diese Interaktion, die Sorption, umfaßt folgende Prozesse:

- Ionen-Austausch
- Adsorption
- Fällung
- Filterung von Kolloiden
- Mineralisation.

Die Steuerung der bei der Sorption ablaufenden Prozesse wird hauptsächlich beeinflußt von:

- Zusammensetzung des Grundwassers (pH-Wert, Redox-Potential, Gesamtionenkonzentration, Nuklidkonzentration, Anwesenheit komplexierungsfähiger Substanzen, Temperatur).

- Art des Gesteins (Mineralzusammensetzung, Ionenaustauschkapazität, effektives Poren- oder Kluftvolumen bzw. -oberfläche).

- Form des Radionuklids (Oxidationsstufe, Auftreten als Kation, als Anion, als anorg. oder org. Komplex, als Kolloid).

- Hinzu tritt außerdem der indirekte Einfluß der Halbwertszeit des Radionuklids. Radionuklide mit kurzer Halbwertszeit sind u. U. auch bei nur geringer Verzögerung der Ausbreitung durch Sorption schon zum Großteil zerfallen, ehe sie in die oberen Grundwasserstockwerke kommen; solche mit langer Halbwertszeit erreichen dagegen trotz höherer Sorption u. U. noch in nennenswerten Konzentrationen obere Schichten.

Für die Sorption sind zwei Maßangaben in Gebrauch:

- der Kd-Wert (Verteilungskoeffizient)
- der Rd-Wert (Rückhaltefaktor).

Der Kd-Wert ist nach ALBERTSEN & MATTHESS (1979) das "geochemische Maß für die Beweglichkeit von Radionukliden in Grund- und Sickerwässern". Er stellt das Verhältnis dar zwischen der Masse der an die feste Phase sorbierten Radionuklide pro Gewichtseinheit Feststoff zu der Masse der im Gleichgewicht in Lösung verbleibenden Radionuklide pro Gewichtseinheit Flüssigkeit.

$$Kd = \frac{\text{(Masse adsorbierte Nuklide) : (Masse Feststoff)}}{\text{(Masse Nuklide in Lösung): (Volumen d. Lösung)}} \text{ (ml/g)}$$

Die Aussagekraft des Kd-Wertes wird vor allem durch folgende Probleme eingeschränkt:

- die theoretischen Voraussetzungen, auf denen die Ermittlung des Kd-Wertes beruht (reversible und lineare Austauschreaktionen; Gleichgewichtsbedingungen; keine Fällung), sind nicht in jedem Fall erfüllt.

- Unmöglichkeit der Simulation der realen geochemischen Umgebung; Unmöglichkeit, Änderungen dieser Umgebung zu beobachten.

- Abhängigkeit des Kd-Wertes von experimentellen Paramentern; es existiert kein standardisiertes Verfahren.

Zur Illustration des letzten Punktes können z. B. Messungen im Rahmen von PSE dienen, die darauf hinweisen, daß das jeweilige Mengenverhältnis Flüssigkeit : Feststoff stark den Kd-Wert bestimmt. Bei diesen Experimenten, die für Cs und Sr durchgeführt wurden, nahm der Kd-Wert linear mit zunehmender Feststoffmenge ab (BACHHUBER et al. 1979: 1-22 ff.). Diese Einzelergebnisse können natürlich nicht beliebig verallgemeinert werden; sie deuten jedoch darauf hin, daß hier ein näher zu untersuchendes Problem vorliegt.

Insgesamt muß als bedenklich angesehen werden, wenn das komplexe und heute zum Teil nur ansatzweise verstandene Beziehungsgeflecht, das letztendlich die Sorption bestimmt, auf einen einzigen Zahlenwert (den Kd-Wert) reduziert wird, und

dieser Wert dann als entscheidende Größe in die Ausbreitungsrechnungen eingeht.

Der Rd-Wert gibt direkt an, um wieviel langsamer der Transport eines Radionuklides gegenüber der Fließbewegung des Wassers, in dem es transportiert wird, stattfindet. Er hängt mit dem Kd-Wert über folgende Beziehung zusammen:

$$Rd = 1 + \rho \cdot \frac{1 - \phi}{\phi} \; Kd$$

ρ...Dichte des Feststoffes
ϕ...Porosität

Die Ermittlung von Kd-Werten erfolgt in Schüttel-(batch-)Versuchen, jene von Rd-Werten in Säulen- und in-situ-Versuchen. Eine Umrechnung auf den jeweils anderen Wert ist natürlich grundsätzlich immer möglich.

Bei den Schüttelversuchen wirken sich neben den oben schon beschriebenen Faktoren auch rein versuchsbedingte Mechanismen wie z. B. Abrieb auf das Ergebnis aus; eine Standardmethode existiert nicht. Nach ALBERTSEN & MATTHESS (1979) sind die in Schüttelversuchen gewonnenen Kd-Werte nur als Richtwerte anzusehen, die an der oberen Grenze des tatsächlichen Sorptionsvermögens liegen. Säulenversuche (dazu sind auch die Diffusionsversuche zu rechnen) liefern etwas genauere Ergebnisse, doch bleibt auch hier das Problem der möglichst exakten Abbildung eines in der Realität sehr komplexen Systems bestehen. In-situ-Versuche wurden wegen der erforderlichen langen Zeitdauern (Jahre/Jahrzehnte) bisher kaum durchgeführt. Erste Versuche in Frankreich und Schweden mit Strontium zeigten Kd-Werte, die um ein bis zwei Größenordnungen unter den im Labor gemessenen lagen (COURTOIS 1980, LANDSTRÖM et al. 1982).

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß in dem komplexen System Abfälle/Grundwasser/Verfüllung/Deckgebirge eine Reihe von Faktoren auftreten kann, die auf die Sorption erniedrigend wirken. Insbesondere kann dies der Fall sein bei der Bildung von:

- Anionen bzw. anionischen Komplexen (tritt vor allem bei Jod und Tc auf; mobile anionische Komplexe sind jedoch auch bei Pu und Np von Bedeutung).

- Organischen Komplexen (organische Komplexbildner aus dem Wiederaufarbeitungsprozeß und von Dekontaminationsarbeiten können im Abfall in großen Mengen vorhanden sein; vor allem Aktiniden können dadurch verstärkt mobilisiert werden. Genaue Angaben zur Menge liegen nicht vor; es ist denkbar, daß z. B. bei Pu einige Prozent bis Zehnerprozent als Organokomplex mit sehr niedrigem Kd-Wert (nahe 0) vorliegen).

- Kolloiden (diese können z. B. durch Fällung bei leichter Überschreitung von Löslichkeitsgrenzen entstehen. Aktiniden sind in niedrigen Oxidationsstufen (III, IV) der Kolloidbildung besonders zugänglich (OLOFSSON et al. 1982). Die Kolloide werden durch den Ionenaustausch nur schwach beeinflußt).

sowie bei der Einwirkung anderer Faktoren wie z. B. den Einfluß von Mikroorganismen, die auch im tieferen Deckgebirge vorhanden sind.

Diese die Sorption erniedrigenden Faktoren wurden bisher experimentell praktisch noch nicht studiert; bisherige Messungen beziehen sich also immer auf den "Idealfall" von als Kationen gelösten Nukliden, so auch die Messungen der GSF. Näheres zur Sorption siehe z. B. HIRSCH & KREUSCH (1983), Kapitel 5.3.4.

6.2.3.2.2. Zu den Sorptionsmessungen der GSF

GSF war bei der Durchführung ihrer Experimente bemüht, "eine gute Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die in-situ-Verhältnisse zu erzielen" (B2-48). Relativiert wurde diese Aussage aus dem Abschlußbericht - wie so viele andere - später durch die mündliche Feststellung, man habe nur eine grobe Orientie-

rung und einen Vergleich mit Literaturwerten angestrebt (Gespräch 13.09.1983).

In der Tat sind die Experimente der GSF nicht geeignet, selbst nur für den oben genannten "Idealfall" belastbare Werte für Ausbreitungsrechnungen zu liefern:

- Es wurden Schüttelversuche durchgeführt, die von allen Verfahren der Realität am wenigsten nahe kommen (erst nach Beendigung der Arbeiten am Abschlußbericht wurden für einige Radionuklide auch Diffusionsversuche durchgeführt, vgl. GSF-T 165 1983: 18-24).

- Die verwendeten Tonsteinproben waren alt und verwittert (beim Abteufen von Schacht 1 genommen). Ihre Eigenschaften sind daher für die Verhältnisse im Gebirge nicht repräsentativ (siehe Kapitel 2.3.1.). Sämtliche Proben wurden vor den Versuchen fein zermahlen. Diese Aufbereitungsmethode ist jedenfalls Kluftaquiferen wie Kalkstein und Erz nicht angemessen.

- Das Feststoff-Flüssigkeitsverhältnis wurde mit 1:100 so gewählt, daß Messungen mit möglichst geringem Aufwand durchgeführt werden konnten. Von den realen Verhältnissen ist man dadurch noch viel weiter entfernt als bei den Versuchen von PSE (mit Verhältnis 1:2,5). Einer etwaigen Änderung des Kd-Wertes mit dem Feststoff-Flüssigkeitsverhältnis ging man nur im Bereich von 1:100 bis 1:500 nach, ohne einen Einfluß feststellen zu können (Gespräch 13.09.1983). Dies sagt aber wenig über die Situation bei geringeren Flüssigkeitsmengen aus, etwa im Bereich der Versuchsparameter von PSE, bei denen, wie oben erwähnt, eine sehr starke Abhängigkeit vom Feststoff-Flüssigkeitsverhältnis gefunden wurde.

Dazu kommen noch die in 6.2.3.2.1. angesprochenen grundsätzlichen Probleme, die bei jeder Art von Kd-Wert-Bestimmung zu berücksichtigen sind. Die Kd-Messungen der GSF werden auch in Kap. 2.3.2.3. diskutiert.

6.2.3.3. Die betrachteten Radionuklide und ihre Inventare:

Kriterien für die Auswahl der bei den Ausbreitungsrechnungen von uns betrachteten Radionuklide waren:

- Lange Halbwertszeit
- Hohe Radiotoxizität
- Geringe Sorption
- Große vorhandene Menge

Die ausgewählten Nuklide erfüllen jeweils zumindest drei dieser vier Bedingungen. Es handelt sich dabei um: Kohlenstoff -14 (C-14); Strontium-90 (Sr-90, auch von GSF betrachtet); Technetium-99 (Tc-99); Jod-129 (J-129); Neptunium-237 (Np-237, auch von GSF betrachtet); Plutonium-239 (Pu-239, auch von GSF betrachtet).

Das von GSF zusätzlich untersuchte Kobalt-60 wird hier nicht betrachtet (kurze Halbwertszeit, relativ starke Sorption bei nur mittlerer Radiotoxizität).

Unsere Ergebnisse illustrieren, daß die Radionuklidauswahl der GSF äußerst mangelhaft ist; Kriterien werden von GSF auch nicht angeführt, man scheint eher zufällig einige Nuklide herausgegriffen zu haben. Dies führte dazu, daß Nuklide nicht betrachtet wurden, die z. T. auch bei den Inventar-Annahmen der GSF schon zu Grenzwertüberschreitungen am oberen Schachtende führen (s. 6.2.4.3.).

Das Radionuklidinventar ist ein wichtiger Eingangsparameter für die Ausbreitungsrechnungen, dessen Einfluß rechnerisch leicht zu erfassen ist: Bei Festhalten aller anderen Bestimmungsgrößen hängt die Radionuklidkonzentration an einem beliebigen Ort zu einem beliebigen Zeitpunkt linear vom Inventar ab.

Um die bei den Inventaren mögliche Schwankungsbreite zu überdecken, wurden die Ausbreitungsrechnungen hier für zwei "Referenzinventare" durchgeführt:

1. Als unterer Grenzfall: Annahmen der GSF, die nur von der Einlagerung von schwachaktiven Abfällen ausgeht. GSF hat zwar eine tabellarische Zusammenstellung des von ihr angenommenen Inventars nicht vorgelegt; die Werte konnten aber (für Sr-90, Np-237 und Pu-239) aus den Annahmen für die Ausbreitungsrechnungen (S. D5-37 und, für Sr-90, D5-55) sowie (für C-14 und J-129) aus den Graphiken in GSF-T 165 (1983: 190) entnommen werden. Für Tc-99 war keine Angabe auffindbar; es ist in den schwachaktiven Abfällen nur in relativ geringen Mengen vorhanden und wurde von GSF ignoriert (entspr. in sehr grober Näherung Fall 3, Kap.4, Anhang).

2. Als oberer Grenzfall: Einlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen nach Kapitel 4,Anh.(Fall2).Dabei wurden auch wärmeentwickelnde mittelaktive Abfälle berücksichtigt; sie sind aber nur bei Sr-90 und Tc-99 für die hohen Werte verantwortlich.

6.2.3.4. Sonstige Rechenannahmen

Die Annahmen zur Porosität der Verfüllungen sowie zur Dispersivität wurden von GSF übernommen. Die Bestimmung der Dispersivität ist keine einfache Aufgabe; je nach der Größe der Versuchsanordnung wurden z. B. bei den Untersuchungen im Gorlebener Deckgebirge Werte von wenigen Zentimetern (Laborversuche) bis zu mehreren hundert Metern (in-situ-Versuche) gemessen (ALBERTSEN 1979). Der von GSF in den meisten Fällen angenommene Wert α = 5 m dürfte angesichts der Schachtabmessungen für eine Verfüllung durch Aufschütten in einer realistischen Größenordnung liegen. Jedoch sind auch hier Schwankungen möglich, wodurch auch über diesen Parameter Unsicherheiten in die Modellrechnung hineingetragen werden.

Ebenfalls übernommen wurden die Werte der GSF für die Darcy-Geschwindigkeiten; wie in 6.2.2. gezeigt, liegen sie in einer plausiblen Größenordnung. Darüber hinaus wurden auch Rechnungen für niedrigere Geschwindigkeitswerte als von GSF angenommen durchgeführt (dies könnte z. B. bei einem verbesserten Schachtverfüllungskonzept von Bedeutung sein).

Nicht betrachtet wurde der Einfluß der Diffusion. Wie schon die Berechnungen der GSF zeigen, ist er unter den getroffenen Modellannahmen vernachlässigbar.

Auf die großen Unsicherheiten bei der Beschreibung des Konvergenzverhaltens wurde bereits in 6.2.2. bzw. 3.2. hingewiesen.

6.2.4. Modellrechnungen zur Ausbreitung im Strecken-Schacht-System mit zeitlich unbegrenztem Fließen (D5.2.2)

6.2.4.1. Das Rechenmodell

GSF betrachtet hier die Radionuklidmigration in einem eindimensionalen porösen System unter stationären Bedingungen. Die Berechnungen wurden mit dem Rechenprogramm SWIFT (Simulator for Wast Injection, Flow and Transport) durchgeführt. Dabei wird (im vorliegenden Fall) die eindimensionale Transportgleichung unter gegebenen Anfangs- und Randbedingungen nach der Methode der finiten Differenzen numerisch gelöst.

Zunächst wird eine Rechnung für einen "Modell-Schacht"" von 1200 m Länge und 1 m² Querschnitt vorgenommen. Um die numerische Approximation durchführen zu können, wird der Schacht in 120 Blöcke von je 10 m Höhe zerlegt. Das Radionuklidinventar befindet sich zum Zeitpunkt t = 0 im untersten Block und wird in einem Zeitraum von 100 Jahren vollständig ausgelaugt.

Zur Beschränkung numerischer Fehler ist es erforderlich, daß die Blocklänge kleiner oder gleich der doppelten Dispersivi-

tät ist. Die Rechnungen können also nicht mit Dispersivitäten kleiner als 5 m durchgeführt werden. Wie in 6.2.3.4. ausgeführt, stellt dies jedoch keine entscheidende Einschränkung dar.

Als zweiten Schritt überträgt die GSF die Rechenergebnisse aus dem "Modell-Schacht" auf Konrad-spezifische Randbedingungen. Dabei wird zunächst - korrekt - berücksichtigt, daß ein größerer Schachtquerschnitt (38,38 m^2) bei sonst gleichen Annahmen eine proportional stärkere Verdünnung der Radionuklide bewirkt.

Weiterhin wird angenommen, daß sich zwischen Einlagerungsfeld und Schacht eine 1.000 m lange Strecke mit einem Querschnitt von 25 m^2 befindet. In diesem Punkt ist die übertragung der Rechenergebnisse auf Konrad-spezifische Randbedingungen fehlerhaft: Es wird eine gleichmäßige, unverzügliche Ausbreitung der Radionuklide in dieser Strecke angenommen. Daraus wird eine zusätzliche Verdünnung um den Faktor 10/25.000 (Volumen der untersten Zelle im "Modellschacht"/Volumen der Strecke zwischen Einlagerungsfeld und Schacht) abgeleitet. Diese gleichmäßige, kontinuierliche Verteilung der Radionuklide - die auf den ersten Blick als konservative Annahme erscheinen mag - steht jedoch in Widerspruch zu den sonstigen Modellannahmen und kann auch den realen Verhältnissen nicht entsprechen. Es ist durch nichts zu begründen, wieso einerseits im Schacht eine kontinuierliche Strömung mit vorgegebener Geschwindigkeit den Radionuklidtransport bewirken soll, während andererseits in den Strecken schlagartige Verdünnung unterstellt wird. Vielmehr muß angenommen werden, daß im gesamten Strecken-Schacht-System eine gleichmäßige Strömungsgeschwindigkeit herrscht, wodurch die Radionuklide aus dem Einlagerungsfeld ausgebreitet werden. Bei Übertragung auf Konrad-spezifische Randbedingungen muß dementsprechend einfach eine größere Länge des Ausbreitungsweges angenommen werden, durch den sich die Radionuklide gleichmäßig hindurchbewegen.

Die fraglichen Berechnungen wurden von PSE durchgeführt. Anläßlich der Besprechung am 13.09.1983 wurde vollständiger Konsens dahingehend hergestellt, daß die hier formulierte Kritik berechtigt ist und eine Rechnung der Art, wie sie von uns vorgeschlagen wird, aussagekräftigere Ergebnisse liefert als die im GSF-Abschlußbericht enthaltene Rechnung. Erschwert wird die Berechnung dadurch, daß Strecken- und Schachtquerschnitt nicht übereinstimmen: Bei einem vorgegebenen Antriebsmechanismus für die Grundwasserausbreitung, der gleichermaßen in Strecke wie Schacht wirkt, werden demzufolge in der Strecke höhere Fließgeschwindigkeiten hervorgerufen. Ein eindimensionales System mit zwei verschiedenen Fließgeschwindigkeiten ist aber sowohl numerisch als auch analytisch sehr viel schwieriger zu berechnen als ein solches mit nur einer Fließgeschwindigkeit. In Übereinstimmung mit PSE gehen die Bearbeiter der Gruppe Ökologie davon aus, daß dem in guter Näherung dadurch Rechnung getragen werden kann, daß mit einer Geschwindigkeit, aber mit um den Faktor 25/38,38 $\simeq$ 0,65 verkürzter Streckenlänge gerechnet wird.

Die Berechnung für Konrad-spezifische Randbedingungen hat damit für einen Ausbreitungsweg von insgesamt 1.850 m mit einem Querschnitt von 38,38 m² zu erfolgen. Auf dieser Basis wurden die Berechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse unten dargestellt werden. An einzelnen Beispielen wird weiterhin gezeigt werden, wie sehr durch den Fehler im GSF-Abschlußbericht die bei einzelnen Nukliden möglichen maximalen Konzentrationen am oberen Schachtende verfälscht werden können.

GSF weist darauf hin, daß bei ihren Berechnungen einige Faktoren nicht berücksichtigt werden, die die Ausbreitung der Radionuklide behindern bzw. auf andere Weise die maximal auftretenden Konzentrationen reduzieren. Sie stellt fest, daß bei Berücksichtigung dieser Faktoren die im Modell berechneten Radionuklidkonzentrationen um mehrere Größenordnungen unterschritten werden würden (D5-52).

Vor allem handelt es sich dabei um:

1. Die Radionuklide sind in der Realität zur Zeit t = 0 auf ein erheblich größeres Volumen verteilt, als im Modell angenommen.
2. Eine Schachtverfüllung mit geringerer Durchlässigkeit als im Modell angenommen könnte realisiert werden.
3. Rückhaltung durch die Behälter in der Endlagerkammer.
4. Rückhaltung durch sonstige Barrieren in Strecke und Kammer (Dämme).
5. Löslichkeitsbegrenzungen.
6. Höhere Kd-Werte der realen Verfüllmaterialien.

Punkt 1 ist bei Radionukliden, bei denen in kleinen Volumina starkes Überschreiten der Löslichkeitsgrenzen angenommen werden muß, ohne Bedeutung; bei J-129 z. b. würde sich (bei hohem Inventar, Inv.2 - s. 6.2.4.2.) auch bei einem tausendmal größerem Anfangsvolumen die Konzentration nicht ändern, da eine entsprechend größere Menge in Lösung übergehen würde. Bei Nukliden ohne wirksame Löslichkeitsbegrenzung könnte eine Betrachtung realistischer Volumina zu einer Konzentrationsminderung um zwei bis drei Größenordnungen führen - allerdings unter der Voraussetzung, daß sie gleichmäßig über sämtliche Endlagerkammern verteilt sind. Die Konzentration vieler Radionuklide auf jeweils einige wenige Abfallarten wirkt dieser Konzentrationsminderung wieder entgegen.

Bei unseren Berechnungen wurde Punkt 2 zumindest teilweise dadurch berücksichtigt, daß auch erheblich langsamere Ausbreitungsgeschwindigkeiten als die von GSF gewählten betrachtet werden. Die Dämme (Punkt 4) müssen, wie in Kapitel 3.5.2. gezeigt, in der Realität als durchlässig betrachtet werden. 5 wird hier ebenfalls berücksichtigt, und ist bei den meisten Nukliden von geringer Bedeutung.

Zu 3 ist anzumerken, daß bei den derzeit vorgesehenen Behälterkonzepten besondere Rückhalteeffekte nicht zu erwarten

sind (vgl. 6.2.3.1.). Zu 6 schließlich ist festzustelen, daß schon die im GSF-Abschlußbericht angesetzten Kd-Werte nicht ohne weiteres als konservativ akzeptiert werden können (Vgl. 6.2.3.2.).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß allenfalls die Punkte 1 und 2 noch auf gewisse "Über-Konservativitäten" in den Berechnungen der GSF hindeuten, wobei aber sehr fraglich ist, ob sie tatsächlich eine Reduktion der Radionuklidkonzentrationen "um mehrere Größenordnungen" (D5-51) bewirken können. GSF jedenfalls begründet diese Aussage nicht näher. Es ist anzunehmen, daß das Ausmaß der Reduktion auch stark radionuklidspezifisch ist.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß das GSF-Rechenmodell jedenfalls in einem Punkt offensichtlich nicht-konservativ ist: Entsprechend der Lage einzelner Feldesteile kann der Ausbreitungsweg der Radionuklide bis zum oberen Schachtende z. T. erheblich kürzer sein als 2.200 m. Auf diesen Punkt wird in Abschnitt 6.2.5. zurückgekommen, wo er von größerer Bedeutung ist als hier.

Die Berechnungen der Gruppe Ökologie wurden mittels analytischer Lösung der eindimensionalen Transportgleichung durchgeführt. Dies ist nur bei Annahme einer vereinfachenden Anfangsbedingung möglich. Es kann jedoch genau ermittelt werden, in welchem Bereich die gefundene Lösung dennoch nahezu exakt gilt, d. h. praktisch die gleichen Ergebnisse liefert wie die numerische Berechnung mit Hilfe eines Rechenprogrammes.

Die Überlegungen im einzelnen (vgl. z. B. BEAR 1979: 266):

Die eindimensionale Transportgleichung

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{V}{Rd} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{D}{Rd} \cdot \frac{\partial^2 C}{x^2} - \lambda C$$

wobei C ... Konzentration (Ci/m)

v ... Abstandsgeschwindigkeit, v = u/Ø (u ... Darcy-geschwindigkeit (m/a), Ø ... Porosität)

Rd... Retardationsfaktor

D ... $\alpha \cdot v$, α... Dispersivität (m)

λ ... Zerfallskonstante (a^{-1})

führt bei der Anfangsbedingung

$$C = M \cdot \delta(x,t), \quad -\infty \leq x \leq +\infty, \quad t = 0$$

M ... Radionuklid-Anfangsakitivität (Ci)

und den Randbedingungen

$$C \rightarrow 0 \text{ und } \frac{\partial C}{\partial x} \rightarrow 0 \text{ für } x \rightarrow \pm\infty$$

zu der Lösung

$$C(x,t) = \sqrt{\frac{M^2 Rd}{4\pi Dt}} \cdot \exp\left[-\frac{(Rdx - vt)^2}{4DRdt}\right] \cdot e^{-\lambda t} \qquad (I)$$

Die Anfangsbedingung (Dirac'sche Deltafunktion) entspricht einer sofortigen, vollständigen Auslaugung der Radionuklide und, zur Zeit t = 0, ihrer vollständigen Ansammlung innerhalb eines unendlich dünnen Volumenelementes am Beginn des Ausbreitungsweges.

Die Annahme einer gleichmäßigen Auslaugung innerhalb von z.B. 100 Jahren bedeutet dagegen einen langgestreckten "Eingangsimpuls" und dementsprechend eine schon zu Beginn der Ausbreitung vorhandene Verdünnung.

Die Verdünnung durch Dispersion nimmt jedoch während der Wanderung des "Radionuklidimpulses" kontinuierlich zu. Ab einem bestimmten Zeitpunkt ist sie praktich allein ausschlaggebend, und der Einfluß der Anfangsverdünnung auf die Konzentration

ist vernachlässigbar (d. h. es spielt dann keine Rolle mehr, welche Zeitspanne für die Auslaugung der Radionuklide angesetzt wird).

Insbesondere gilt für den Zeitpunkt, an dem das Konzentrationsmaximum das obere Schachtende erreicht:

Wenn $Rd > 1{,}2\ v$

stimmt der Zahlenwert für die Konzentration, den Formel (I) liefert, größenordnungsmäßig mit der exakten Lösung für eine Auslaugzeit von 100 Jahren überein (Fehler maximal ca. Faktor 2):

Wenn $Rd > 120\ v$

stimmt der Zahlenwert aufgrund Formel (I) praktisch genau mit der exakten Lösung überein (Fehler maximal ca. 1%).

Für die betrachteten Geschwindigkeiten folgt somit:

Darcy-Geschw.(m/a)	Untere Grenze für grobe Übereinst.f.Rd(Kd(ml/g))	Untere Grenze f.genaue Übereinst.f.Rd(Kd(ml/g))
1	6 (0,6)	600 (73)
0,1	1 (0)	60 (7)
0,01	1 (0)	6 (0,6)
0,001 und geringer	1 (0)	1 (0)

Das hier angewandte Rechenverfahren liefert also nur bei Kombination des höchsten betrachteten Geschwindigkeitswertes mit den niedrigsten Kd-Werten (0 und 0,5) Ergebnisse, die so ungenau sind, daß sie auch in der Größenordnung nicht mehr unbedingt zutreffen.

Diese Überlegungen gelten nur für die Konzentrationsmaxima. An den "Rändern" des Radionuklidpulses können stärkere Unschärfen auftreten. Die Maximalkonzentrationen am oberen Schachtende, die den nach Strahlenschutzverordnung zulässigen Grenzwerten gegenübergestellt werden können, sind aber ohnehin die in erster Linie interessierenden Werte und werden daher in der Folge fast ausschließlich betrachtet.

GSF hat die Rechenergebnisse im Abschlußbericht ausschließlich graphisch dokumentiert; genaue Konzentrationsverläufe sind daraus nicht zu entnehmen. Freundlicherweise wurden der Gruppe Ökologie jedoch von PSE zahlenmäßige Rechenergebnisse für die Ausbreitung im "Modell-Schacht" zur Verfügung gegestellt, so daß beispielhaft auch eine direkte Überprüfung der hier benutzten analytischen Methode durch Vergleich mit mittels SWIFT (unter Annahme einer Auslaugung in 100 Jahren) berechneten Werten möglich war.

Es handelt sich dabei (a) um Konzentrationswerte von Np-237 im obersten Block zu verschiedenen Zeiten, sowie (b) Konzentrationswerte von Pu-239 zur Zeit t = 10.000 Jahre in verschiedenen Blöcken.

a) Np-237 (u = 1 m/a, Kd = 5 ml/g)

Zeit (Jahre)	Konzentration im obersten Block (Ci/kg)	
	SWIFT	analytisch
8.800	1,84E-6	2,08E-6
9.800	4,61E-6	4,76E-6
10.000	4,75E-6	4,77E-6 ←
15.000	2,90E-11	1,48E-10

b) Pu-239 (u = 1 m/a, Kd = 100 ml/g)

Block Nr.	Konzentration z. Zt. t = 10.000 a (Ci/kg)	
	SWIFT	analytisch
111	3,5E-6	4,0E-6
112	5,2E-6	6,0E-6
113	6,9E-6	7,5E-6
114	8,0E-6	7,9E-6 ←
115	7,9E-6	7,2E-6
116	6,5E-6	5,5E-6
117	4,2E-6	3,6E-6
118	2,0E-6	2,0E-6
119	6,2E-7	9,3E-7

Beide Beispiele zeigen die gute Übereinstimmung im Bereiche des Maximums (Pfeil) sowie die schon erwähnten größeren Abweichungen an den Flanken.

6.2.4.2. Zusammenstellung der Rechenannahmen

1. Nicht variierte Parameter, die von GSF übernommen wurden, soweit sie in die Rechnung direkt Eingang finden (D5-37/38):

Verfüllmaterial	Dichte 2040 kg/m³ eff. Porosität 20%
Wasser (salinares Tiefenw.)	Dichte 1120,8 kg/m³
Dispersivität	5 m
Auslaugungszeitraum	Variationen zwischen 0 und 100 Jahren beeinflussen die präsentierten Ergebnisse nur geringfügig

2. Radionuklidinventare, wichtige Kennwerte der Radionuklide:

	Zerf.konst. (a^{-1})	Max.zul.Konz.n. StrSchVO (Ci/kg)	Inventar 1[3] (Ci)	Inventar 2[3] (Ci)
C-14[1]	1,21E-4	4,46E-8	10	60
Sr-90	2,43E-2	2,12E-11	2000	321.000
Tc-99	3,30E-6	8,70E-9	0	867
J-129	4,08E-8	1,00E-11	0,02	56,2
Np-237[2]	3,24E-7	1,67E-10	1,89	1,89[4]
Pu-239	2,87E-5	2,45E-10	709	1.830

1) nach Abzug der während d. Betriebsphase abgegebenen Mengen
2) ohne Berücksichtigung d. Aufbaues durch Zerfall von Am-241
3) bezogen auf eine 40.000m³-Kammer m. 20.000 m³ Bruttoabfall
4) Der Wert lt. Kapitel 4, Anhang (1,53 Ci) liegt etwas unter diesem Wert. Der Unterschied ist geringfügig; es wurde in beiden Fällen mit den Annahmen der GSF gerechnet.

3. Kd-Werte:

	Annahmen GSF (ml/g)	Annahmen GÖK (ml/g)
C-14	-	0 und 5
Sr-90	0 und 10	0 und 5
Tc-99	-	0 und 5
J-129	-	0
Np-237	5 und 50	0,5[1] sowie 5 und 50
Pu-239	100 und 1000	10[1] sowie 100 und 1000

1) Diese Werte wurden angenommen, um der Möglichkeit verstärkter Mobilisierung durch Bildung von organischen Komplexen, Kolloiden u. ä. (vgl. 6.2.3.2.1.) Rechnung zu tragen.

4. Darcy-Geschwindigkeiten:

Neben der Benutzung der auch von GSF eingesetzten Werte von 1 m/a, 0,1 m/a und 0,01 m/a wurde bei jedem Nuklid überprüft, ob auch bei geringeren Geschwindigkeiten (bis 0,00001 m/a) Grenzwertüberschreitungen resultieren.

6.2.4.3. Die Ergebnisse

In der Folge wird für jedes der betrachteten sechs Nuklide für die verschiedenen Kd-Werte und Darcy-Geschwindigkeiten die maximale, am oberen Schachtende auftretende Konzentration in der Flüssigkeit angegeben.

Diese Maximal-Konzentrationen treten zu folgenden Zeitpunkten nach Ausbreitungsbeginn (in Jahren) auf:

Kd (ml/g)	u (m/a) = 1	u (m/a) = 0,1	
0	-	3.700	
0,5	-	18.800	usw. umgekehrt
5	15.466	154.660	proportional
10	30.562	305.620	der Geschwin-
50	151.330	1.513.300	digkeit
100	302.290	3.022.900	
1000	3.019.570	30.195.700	

Die in den Tabellen angegebenen Werte folgen aus Inventar 2. Zusätzlich wird jeweils diskutiert, welche Veränderungen sich bei Inventar 1 ergeben. Wie bei den Berechnungen der GSF, bezieht sich das Anfangsinventar auf 130.000 m³ Bruttoabfall, also das 6,5-fache der Angaben in 6.2.4.2. Grenzwertüberschreitungen werden durch Unterstreichung hervorgehoben. Die Angabe 0 bedeutet eine Konzentration kleiner als 1,0E-25 Ci/kg.

1.Kohlenstoff-14:

u (m/a) \ Kd(ml/g)	0	5	
1E0	-	<u>4,88E-7</u>	
1E-1	<u>8,47E-5</u>	2,37E-14	
1E-2	<u>1,51E-6</u>	0	Alle Angaben in Ci/kg
1E-3	4,78E-24	0	
1E-4	0	0	

Zur Umrechnung auf Inventar 1 sind die Werte jeweils mit dem Faktor 0,167 zu multiplizieren. Auch in diesem Falle bleiben sämtliche angezeigten Grenzwertüberschreitungen bestehen.

2. Strontium-90:

Bis auf den, mit unserer analytischen Methode nicht erfaßbaren Fall u = 1 m/a, Kd = 0, ergeben sich bei allen Parameterkombinationen Werte kleiner als 1,0E-25. Für den genannten Fall hat schon GSF in ihrem Abschlußbericht eine Überschreitung der Grenzwerte konstatiert (Abschlußbericht: D5-51).

Im übrigen wird Sr-90 im GSF-Abschlußbericht wie auch in der vorliegenden Arbeit im Rahmen der Ausbreitungsrechnungen im Strecken-Schacht-System bei Auspressen durch Hohlraumverringerung (s. 6.2.5.) genauer betrachtet.

3. Technetium-99:

Kd(ml/g) / u (m/a)	0	5
1E0	-	4,36E-5
1E-1	1,89E-3	2,75E-5
1E-2	1,70E-3	2,78E-7
1E-3	5,65E-4	0
1E-4	1,47E-9 [1)]	0
1E-5	0	0

Alle Angaben in Ci/kg

1) 17% des gessetzlichen Grenzwertes
Tc-99 ist in Inventar 1 nicht enthalten.

4. Jod-129:

Bei diesem, in großen Mengen vorhandenen Nuklid (1 Ci ≙ 6.100 g) sind Löslichkeitsbegrenzungen zu berücksichtigen. Eine exakte Vorgehensweise würde ein detaillierteres Modell - insbesondere eine detaillierte Modellierung der Vorgänge

in den Endlagerkammern - erfordern; außerdem sind die Löslichkeitsgrenzen nicht genau bekannt und vom Grundwasserchemismus und anderen Parametern abhängig (BRÜGGEMANN 1982). Es ist unbekannt, inwieweit bei diesem Nuklid z. B. Kolloidbildung die Mobilisierung begünstigt.

Im Rahmen des hier betrachteten Modells liegt der Effekt der Löslichkeitsbegrenzung nicht in einer Reduzierung der insgesamt freigesetzten Menge, sondern in einer zeitlichen Dehnung der Freisetzung (vergleichbar dem Effekt einer verlängerten Auslaugzeit).

Dadurch wird die Maximalkonzentration reduziert, gleichzeitig aber die Zeitdauer verlängert, während der Konzentrationen nahe dem Maximum am oberen Schachtende auftreten. Letzterer Effekt kann mit der hier benutzten analytischen Lösung nicht erfaßt werden.

Daher wird die Löslichkeitsbegrenzung von uns einfach derart berücksichtigt, daß nur 0,1% der vorhandenen Menge nach Inventar 2 (und ca. 29% bei Inventar 1) als mobilisiert angenommen werden. (Zur Veranschaulichung: Dies bedeutet, daß bei Auflösung der mobilisierten Menge in ca. 300 m^3 Wasser etwa die von PSE für Silberjodid angenommene Löslichkeitsgrenze - die nicht unbedingt als konservativ angesehen werden kann - erreicht wird (MEMMERT 1983)).

Für Kd = 0 ergeben sich folgende Maximalkonzentrationen in Ci/kg:

u (m/a)	
1E-1	1,24E-8
1E-2	1,24E-8
1E-3	1,22E-8
1E-4	1,07E-8
1E-5	2,74E-9
1E-6	3,45E-15
1E-7	0

Am Beispiel Jod-129 sei noch kurz gezeigt, daß auch bei erheblich längeren Ausbreitungswegen noch hohe Konzentrationen auftreten können. Bei einer Wanderung über 20.000 m mit u = 0,01 m/a etwa in einer wasserführenden Schicht von 6,2 m Mächtigkeit (entspricht dem Schachtdurchmesser) tritt, auch unter Berücksichtigung der Verdünnung in transversaler Richtung α_T = 0,5 m; benutzt wurde die zweidimensionale Verallgemeinerung von (I), Fließen nur in x-Richtung), bei sonst gleichen Annahmen wie bei der Modellrechnung im Strecken-Schacht-System am Ende noch eine maximale Konzentration von 4,69E-11 Ci/kg in der Flüssigkeit auf - also noch mehr als das Vierfache des gesetzlichen Grenzwertes.

Diese Überlegung soll beispielhaft die Dimension des Problems und die Notwendigkeit der Betrachtung auch langer Ausbreitungswege illustrieren und erhebt keinen Anspruch auf exakte Modellierung realer Verhältnisse.

5. Neptunium-237:

Die anfangs auftretenden Konzentrationen können bei diesem Nuklid (bei Kd = 0,5 ml/g, nicht bei höheren Kd-Werten) im Bereich der Löslichkeitsgrenzen bzw. etwas darüber liegen. Angesichts der Möglichkeit von Kolloidbildung und anderen Mechanismen der Löslichkeitserhöhung wird dies in der Rechnung nicht berücksichtigt.

Kd(ml/g) / u (m/a)	0,5	5	50	
1E0	-	9,94E-8	9,75E-9	
1E-1	8,19E-7	9,49E-8	6,25E-10	Alle
1E-2	7,74E-7	6,05E-8	7,61E-11 [1)]	Angaben
1E-3	4,47E-7	6,63E-10	0	in
1E-4	1,86E-9	0	0	Ci/kg
1E-5	0	0	0	

1) 46% des gesetzlichen Grenzwertes

6. Plutonium-239:

Für die Löslichkeitsbegrenzung gilt hier (bezogen auf Kd = 10 ml/g) das bei Np-237 gesagte.

Kd(ml/g) / u (m/a)	10	100	1000	
1E0	2,04E-5	8,54E-10	0	Alle
1E-1	7,60E-9	0	0	Angaben
1E-2	0	0	0	in Ci/kg

Zur Umrechnung auf Inventar 1 sind die Werte jeweils mit dem Faktor 0,39 zu multiplizieren. Auch in diesem Falle bleiben sämtliche angezeigten Grenzwertüberschreitungen bestehen.

Das betrachtete Inventar bezieht sich jeweils auf den Zeitpunkt der Einlagerung; mit Ausnahme von Np-237 ist zu diesem Zeitpunkt auch jeweils die größte Menge vorhanden. Np-237 wird dagegen durch den Zerfall von Pu-241 und Am-241 zusätzlich produziert; seine Menge wird sich nach 10.000 Jahren auf das Vierfache vermehren. Dies bedeutet u. a., daß bei Np-237 ein Wasserzutritt, gefolgt von einer Durchströmung des Grubengebäudes, nach 10.000 Jahren oder später zu höheren Maximalkonzentrationen führen wird, als ein solcher kurz nach Beendigung der Einlagerung. Z. B. würde in diesem Falle auch bei Kd = 50 ml/g und u = 0,01 m/a der gesetzliche Grenzwert überschritten. (Auch Pu-239 entsteht aus Am-243 neu. Es zerfällt jedoch selbst so rasch, daß eine Mengenvergrößerung bei den betrachteten Referenzinventaren nicht eintritt.)
Bei sämtlichen betrachteten Radionukliden ergeben sich Grenzwertüberschreitungen, u. zw. in jedem Falle auch bei Annahmen, wie sie auch von GSF getroffen wurden.

Bei Tc-99, J-129 und Np-237 wird der gesetzliche Grenzwert auch noch bei Darcy-Geschwindigkeiten überschritten, die (z.T. erheblich) unter den von GSF betrachteten Geschwindigkeiten liegen. Bei Np-237 (dem einzigen dieser drei wichtigen Nuklide, das auch von GSF betrachtet wurde) trifft dies auch noch

für den niedrigeren der beiden von GSF selbst eingesetzten Kd-Werte zu.

Bei Np-237 wird der Grenzwert für manche Geschwindigkeiten auch beim höheren der beiden von GSF eingesetzten Kd-Werte überschritten.

Diese Ergebnisse stehen in krassem Gegensatz zu denen der GSF, die nur bei Sr-90 für u = 1 m/a und Kd = 0 eine Grenzwertüberschreitung festgestellt hat. Die Ursache für diese Diskrepanz liegt in dem in 6.2.4.1. beschriebenen fehlerhaften Vorgehen der GSF bei der Umrechnung vom "Modell-Schacht" auf Konrad-spezifische Randbedingungen.

Die Auswirkung dieses Denkfehlers soll an zwei Beispielen gezeigt werden: Unter sonst gleichen Randbedingungen werden die Werte für die Konzentrations-Maxima am oberen Schachtende nach GSF-Abschlußbericht (Ausbreitung über 1200 m, Berücksichtigung der Strecke durch Verdünnungsfaktor 4E-4) und nach der hier angewandten Methode (Ausbreitung über 1850 m) gegenübergestellt.

Für Np-237 bei Kd = 5 ml/g, u = 1 m/a folgt:

Wert nach GSF	4,9E-11 Ci/kg
Wert nach GÖK	9,94E-8 Ci/kg
Abweichung	Faktor 2012

Für Pu-239 bei Kd = 100 ml/g, u = 1 m/a folgt:

Wert nach GSF	8,84E-12 Ci/kg
Wert nach GÖK	8,45E-10 Ci/kg
Abweichung	Faktor 96

Abschließend soll an einem Beispiel noch gezeigt werden, für welche Zeitdauer die Konzentration am oberen Schachtende die gesetzlichen Grenzwerte überschreiten kann. Dabei wird illustriert werden, daß es sich bei den Grenzwertüberschreitungen nicht um Ereignisse von kurzer Dauer handelt, sondern daß u. U.

für sehr lange Zeiträume hohe Konzentrationen vorliegen, und damit u. U. für lange Zeiträume erhöhte Strahlenbelastungen für Mensch und Umwelt in der Umgebung des Endlagers auftreten können.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die hier angewandten analytischen Methoden an den Flanken des "Radionuklidpulses" nicht die gleiche Genauigkeit erreichen wie im Maximum; dennoch können diese Berechnungen als grobe Orientierung herangezogen werden.

Wie Abb. 6.1. zeigt, wird bei Np-237 für u = 0,1 m/a, Kd = 5 ml/g der gesetzliche Grenzwert für ca. 80.000 Jahre überschritten, davon ca. 60.000 Jahre um mehr als eine Größenordnung.

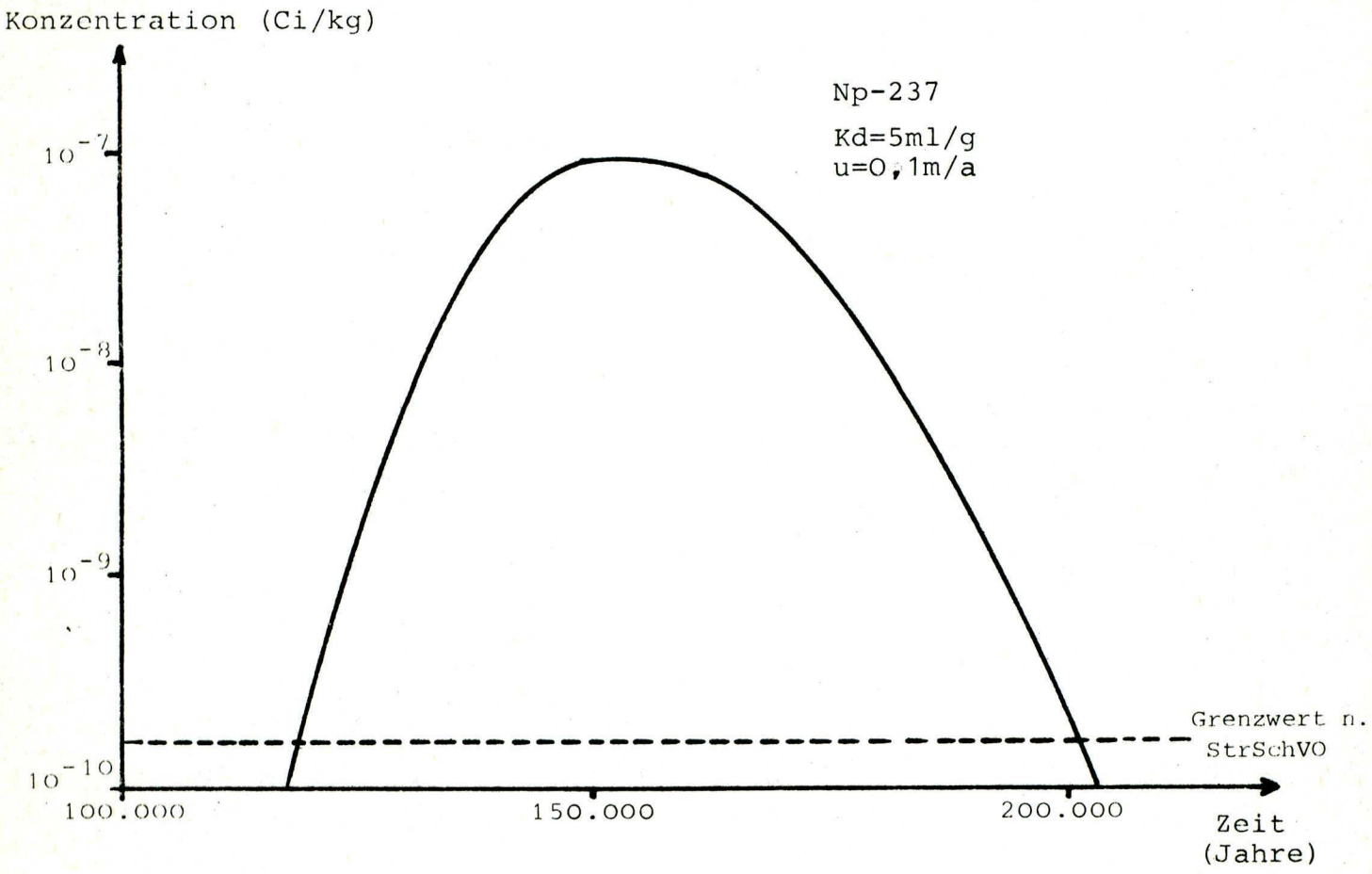


Abb. 6.1.: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Neptunium-237 am oberen Schachtende in Lösung.

6.2.4.4. Fazit

Die in 6.2.4.3. zusammengestellten Ergebnisse zeigen, daß das Rechenmodell der GSF - auch unter nicht-konservativen Annahmen - bei korrekter Anwendung für die Radionuklidkonzentration am oberen Schachtende zu Ergebnissen führt, die z. T. um mehrere Größenordnungen über den gesetzlichen Grenzwerten liegen. Selbst nach starker Verdünnung im oberflächennahen Grundwasser (z.B. 1:1000) liegen in vielen Fällen noch Grenzwertüberschreitungen vor.
Wie in 6.2.4.1. dargelegt, ist es fraglich, ob die Berücksichtigung zusätzlicher, konzentrationsmindernder Faktoren tatsächlich - wie von GSF vermutet - bei allen Nukliden zu einer Reduzierung der Konzentrationswerte in einem vergleichbaren Ausmaße führt.

Der Schluß, den die GSF in der Zusammenfassung des Abschlußberichtes u. a. unter Berufung auf die hier diskutierten Ausbreitungsrechnungen zieht, nämlich: "Auch für hypothetische Störfallszenarien ist eine Luft- und Wasserkontamination, die die nach der Strahlenschutzverordnung heute gültigen Grenzwerte überschreitet, nicht zu erwarten" (GSF-Abschlußbericht: 21) läßt sich durch diese Berechnungen nicht begründen; sie verfügen diesbezüglich kaum über Beweiskraft und deuten eher auf das Gegenteil. Außerdem sind die betrachteten Störfallszenarien nicht hypothetisch.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß nach neuesten internationalen Empfehlungen Vorbehalte gegenüber den nach der deutschen Strahlenschutzverordnung heute gültigen Grenzwerten angebracht erscheinen. In den Jahren 1979 - 1981 hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) für insgesamt 759 Radionuklide neue Empfehlungen für die maximal zulässige Konzentration ausgesprochen. Neben geringfügigen Erhöhungen mancher Grenzwerte für einzelne Nuklide (z. B. Sr-90, Ra-226) sind dabei vor allem drastische Reduzierungen der Grenzwerte bei den Aktiniden bemerkenswert. Sie sind da-

rauf zurückzuführen, daß die Wirkungen dieser Nuklide im menschlichen Körper bisher unterschätzt wurden.

Z. B. wurde der Grenzwert für Np-237 im Wasser gegenüber den bisherigen Empfehlungen der ICRP für die lösliche Form um einen Faktor 360, für die unlösliche um einen Faktor 3600 verschärft. Für Pu-239 sind die entsprechenden Faktoren 6,3 bzw. 5; für Am-241 23 bzw. 186. (CONSEIL SUPERIEUR DE LA SURETE NUCLEAIRE 1982: Annexe 6).

Diese neuen Empfehlungen wurden in der deutschen Strahlenschutzverordnung bisher nicht berücksichtigt.

6.2.5. Modellrechnungen zur Ausbreitung im Strecken-Schacht -System bei zeitlich begrenztem Antrieb (D5.2.3)

6.2.5.1. Das Rechenmodell

Die Ergebnisse, die von GSF im Kapitel D5.2.3 des Abschlußberichtes präsentiert werden, beruhen auf Rechnungen, die im Institut für Nukleare Entsorgungstechnik im Kernforschungszentrum Karlsruhe durchgeführt wurden (KIENZLER et al. 1982). Diese Arbeiten wurden nur in sehr knapper, z. T. unvollständiger Form publiziert; sie wurden jedoch in dankenswerter Weise von Dr. Kienzler in mehreren Telefongesprächen mit den Bearbeitern ausführlich erläutert.

Diese Berechnungen gehen aus von einer Lagerstrecke mit einem Volumen von 40.000 m^3, wovon 75% durch Abfall und Versatzstoffe gefüllt sind. Der Rest wird als mit Flüssigkeit vollgelaufen angenommen. Durch Konvergenz sowie durch Quellvorgänge im Versatz wird der Hohlraum innerhalb von 100 Jahren gleichmäßig verschlossen, d. h., es werden jährlich 100 m^3 Wasser aus der Lagerstrecke verdrängt. In der gleichen Zeitspanne sollen die Radionuklide aus den Abfällen vollständig ausgelaugt werden, wobei ebenfalls linearer Verlauf mit einer gewissen Spontanfreisetzung zu Beginn angenommen wird. Die

aus den Abfällen ausgelaugte Aktivität folgt somit der Beziehung:

$$A(t) = A_o(a+b\cdot t)\exp(-\lambda\cdot t)$$

wobei A_o... Anfangsaktivität (Ci)
a ... spontaner Freisetzungsanteil
b ...Freisetzungsrate (a^{-1})

bei Gültigkeit der Nebenbedingung a + 100.b = 1.
a wurde für die hier betr. Rechnungen gleich Null gesetzt.

Die Zeiträume der Hohlraumausfüllung und der Auslaugung wurden bewußt als gleich angesetzt, da angenommen wurde, daß eine Ausfüllung der Restvolumina in der Kammer nur in dem Maße möglich ist, in dem die Abfallbehälter und -produkte durch Korrosion ihre Festigkeit verlieren.

Weiterhin wird angenommen, daß - bei Sr-90 - die ausgelaugten Radionuklide sich instantan in der gesamten Lagerstrecke derart ausbreiten, daß die Konzentrationen (bezogen auf die Volumeneinheit) an jedem Punkt (sowohl in dem mit Wasser, als auch in dem mit Versatz und Abfallprodukten gefülltem Raum) gleich sind; dies entspricht etwa einem Kd-Wert von 0,5 ml/g (soweit die mündliche Erläuterung, die auch den Rechenergebnissen entspricht; in einer Tabelle des zitierten KfK-Berichtes, die auch von GSF übernommen wurde (D5-55) wird für Sr-90 ein Kd-Wert von 1 ml/g in der Kammer angegeben, der dazu in Widerspruch steht).

Anhand der bisherigen Annahmen kann der Radionuklid-Quellterm für das Auspressen aus der Kammer bestimmt werden. Die Berechnung des Konzentrationsverlaufes in der Strecke kann dann, z. B. für den Zeitpunkt t = 100 Jahre, analytisch erfolgen, wobei allerdings die abschließende Integration numerisch erfolgen muß.

Der Quellterm wurde - unter den vorgegebenen Annahmen - auf Richtigkeit geprüft. Abgesehen von einem punktuellen Fehler in Rechnung oder graphischer Darstellung der Ergebnisse (der Wert für t = 1 a liegt in dem zitierten KfK-Bericht um einen Faktor 2 zu niedrig), wurde kein Rechenfehler festgestellt.

Punktuelle Überprüfung der Konzentrationswerte längs der Migrationsstrecke - die allerdings sowohl im GSF-Abschlußbericht als auch in dem zitierten KfK-Bericht maximal nur bis 1000 m Weglänge graphisch dargestellt sind - durch Abschätzung zeigte ebenfalls keine Rechenfehler. Nicht begründbar ist allerdings die Schlußfolgerung der GSF, daß keine Freisetzungen erfolgen, worauf unten noch eingegangen wird.

6.2.5.2. Diskussion der Rechenannahmen und -ergebnisse

Für die Hohlraumverschließung sind 100 Jahre - zumindest im Hinblick auf die Konvergenz - ein relativ kurzer Zeitraum. Da bei kurzlebigen Nukliden wie Sr-90 rasches Auspressen zu höheren Konzentrationen führt, ist diese Annahme insoweit konservativ. Nicht konservativ ist die Annahme für den Kd-Wert in der Kammer; bei Kd = 0,1 ml/g würde z. B. rund die 2,5fache Menge Sr-90 in die Transportstrecke ausgepreßt. Ebenfalls nicht konservativ ist die Annahme einer Standzeit von 100 Jahren (vgl. 6.2.3.1.) sowie das Vernachlässigen der spontanen Freisetzung (z. B. durch Kontaminationen an Fässern oder aus diesen austretende Flüssigkeiten).

Weiterhin werden die Berechnungen für einen Querschnitt der Transportstrecke von 40 m^2 durchgeführt; dies entspricht etwa dem Schachtquerschnitt, nicht aber dem Querschnitt der Strecken, durch die die Radionuklide zunächst wandern (25 m^2). Kleinere Querschnitte führen unter sonst gleichen Annahmen zu höheren Geschwindigkeiten.

Die entscheidende Schwäche der Rechnung ist aber, daß sie nur eine einzige Kammer berücksichtigt, und nicht die Überlagerung der Geschwindigkeitsfelder aus mehreren Kammern.

Laut mündlicher Auskunft von Dr. Kienzler wurden nur Überlegungen dahingehend angestellt, daß die Konvergenzprozesse in offenstehenden Hohlräumen (z. B. den abgeworfenen Feldesteilen) im Vergleich zur Konvergenz in den Lagerkammern so rasch vonstatten gehen, daß insoweit keine Beschleunigungseffekte durch Überlagerung auftreten. Nur darauf kann sich daher die entsprechende Aussage im GSF-Bericht (D5-58) beziehen. Auch dieser Punkt sollte im übrigen noch genauer geprüft werden.

Es wurde nicht berücksichtigt, daß in den Kammern die entsprechenden Vorgänge etwa zeitgleich ablaufen und daß daher - da z. B. nach Kammermodell A jeweils 4 bis 6 Kammern in Abständen von 50 m aufgefahren werden sollen (C3-15) - diesbezüglich jedenfalls eine Überlagerung eintritt.

Wichtig ist schließlich noch, daß der Migrationsweg der Radionuklide vom Punkt des Austretens aus der Lagerkammer bis zum oberen Schachtende für manche Feldesteile des Endlagers erheblich geringer ist als die von GSF angenommenen 2000 m. Aus dem schematischen Grundriß der GSF (C3-23) können insbesondere für die Feldesteile 6 und 7 Migrationswege von weniger als 1500 m, für den Feldesteil 1 von weniger als 1300 m abgeschätzt werden. Im übrigen reichen im Schachtbereich Süßwasserschichten bis mindestens in eine Teufe von 100 m (vgl. Kap. 2.4.2.2.1.), so daß nicht erst das obere Schachtende von Bedeutung ist.

Näherungsrechnungen (Lösung der eindimensionalen Transportgleichung - siehe oben - mit Annäherung des Quellterms durch Rechteckimpulse derart, daß die Konzentration nicht überschätzt werden kann) zeigen, daß schon bei Betrachtung nur einer einzigen Kammer

- für Kd = O nach hundert Jahren der gesetzliche Grenzwert für Sr-90 auch unter den Annahmen der GSF an einem Punkt 2000 m vom Beginn der Ausbreitung um einige Größenordnungen überschritten wird;

- für Kd = 0,05 ml/g nach hundert Jahren der gesetzliche Grenzwert unter den Annahmen der GSF an einem Punkt 1500 m vom Beginn der Ausbreitung um einige Größenordnungen überschritten wird;

- für Kd=0,05 ml/g bei plausibler Variation zweier Parameter (spontane Freisetzung a = 10%, Kd in der Kammer ebenfalls 0,05 ml/g) nach hundert Jahren an einem Punkt 2000 m vom Beginn der Ausbreitung bei den Inventar-Annahmen der GSF der gesetzlichen Grenzwert etwa erreicht, bei den Annahmen nach Inventar 2 (6.2.4.2.) um etwa zwei Größenordnungen überschritten wird.

Dabei wurde durchgängig ein Querschnitt von 40 m² angesetzt, die Ausbreitungsgeschwindigkeit z. T. also noch unterschätzt.

Bei zeitgleichem Ablauf der Vorgänge in sechs benachbarten Kammern tritt - im übrigen unter den Annahmen der GSF - bis zu einem Kd-Wert von ca. 0,5 ml/g am oberen Schachtende Grenzwertüberschreitung auf.

Auch die Ergebnisse dieser Modellrechnungen können damit die Eignungsaussage der GSF nicht stützen. Insbesondere ist die Aussage der GSF, "(e)ine Freisetzung von Strontium aus dem Strecken-Schacht-System mit einem Gesamttransportweg von 2000 m erfolgt nicht" (D5-56) unrichtig und geht überdies angesichts der Möglichkeit kürzerer Transportwege am eigentlichen Problem vorbei.

6.2.6. Modellrechnung zum Auspressen ins Deckgebirge

Auf diese Modellrechnung, die auch von GSF nur in äußerst kurzer Darstellung präsentiert wird (D5-58 bis 60) soll hier nicht im einzelnen eingegangen werden.

Diese Rechnung ist schon von ihren Voraussetzungen her kaum geeignet, relevante Aussagen zur Sicherheit des Endlagers zu liefern: Sie geht davon aus, daß

1. Kammern, Strecken und Schächte so hochwirksam verschlossen werden, daß ihre Durchlässigkeit der des umgebenden Deckgebirges entspricht. Dies würde auch die Existenz von Schwächezonen im Bereich der Berührungsflächen Verfüllung/Strecken-(Schacht-)Wand ausschließen (vgl. dazu Kapitel 3.5.2.).

2. im umgebenden Deckgebirge keine Klüfte oder Zonen mit erhöhter Porosität - und damit keine ausgezeichnete Ausbreitungsrichtung - vorhanden sind.

Schon wenn nur eine dieser Bedingungen nicht erfüllt ist, verläuft die Ausbreitung in völlig anderer Form und treten erheblich längere Migrationsstrecken auf.

6.3. Zusammenfassende Wertung

Die Störfallbetrachtungen der GSF für die Betriebsphase sind unvollständig. Es werden nicht die schlimmsten Fälle untersucht. So ist z. B. bei einem Brand im Pufferlager über Tage (von GSF nicht berücksichtigt) mit stärkeren Auswirkungen zu rechnen als bei einem solchen unter Tage. Bei den betrachteten Störfällen wird mit optimistischen Annahmen gerechnet, insbesondere im Hinblick auf die Wahl der Abfallart. Unter realistischeren Voraussetzungen werden in einigen Fällen die gesetzlichen Grenzwerte der Strahlenbelastung, z. T. erheblich, überschritten. Es folgt die Notwendigkeit der Erstellung von Katastrophenschutzplänen für die Umgebung der Schachtanlage.

Die Auswirkungen von Störfällen auf die Beschäftigten unter Tage werden von der GSF nicht untersucht.

Bei den Ausbreitungsrechnungen für die Nachbetriebsphase werden nicht alle relevanten Ausbreitungswege und Antriebsmechanismen betrachtet. Die Rechnungen sind z. T. fehlerhaft. Wichtige Radionuklide werden nicht betrachtet (z. B. Jod-129, Technetium-99).

Bei korrekter Durchführung der Rechnungen zeigt sich, daß auch unter den von GSF gewählten Voraussetzungen - z. T. sogar bei noch geringeren Ausbreitungsgeschwindigkeiten - Radionuklidkonzentrationen am oberen Schachtende um Größenordnungen über den gesetzlichen Grenzwerten liegen können.

Die GSF beruft sich darauf, daß bei ihren Rechnungen viele Faktoren nicht berücksichtigt wurden, die zu einer Senkung der maximalen Radionuklidkonzentration führen werden. Einige dieser Faktoren wurden von uns berücksichtigt; z. T. wird gezeigt, daß sie tatsächlich nicht zu einer wesentlichen Minderung der Konzentration führen können.

Insgesamt kann die GSF mit ihren Störfallbetrachtungen nicht belegen, daß unzulässige Radionuklidfreisetzungen - sei es in der Betriebs- oder der Nachbetriebsphase - auszuschließen sind. Realistische Überlegungen deuten vielmehr auf das Gegenteil hin. Dies steht in krassem Widerspruch zu der Eignungsaussage der GSF.

6.4. Literatur zu Kapitel 6

ALBERTSEN, M. (1979): Die Dispersionslänge als Gesteinsparameter und die Aussagekraft sogenannter Durchbruchskurven für die Aufgabenstellung. - PSE-interner Arbeitsbericht Nr. 79/4, Geolog.-Paläontolog. Inst. Univ. Kiel.

ALBERTSEN, M. & MATTHESS, G. (1979): Ausbreitung von Radionukliden im oberflächennahen Boden. - PSE-interner Arbeitsbericht Nr. 80/13, Geolog.-Paläontolog. Inst. Univ. Kiel.

BACHHUBER, H., BUNZL, K., KREITNER, R., SCHIMMACK, W. & SCHULTZ, W.: Ausbreitung von Radionukliden im oberflächennahen Boden. - PSE-interner Arbeitsbericht Nr. 80/12, Gesellsch. f. Strahlen- u. Umweltf., Neuherberg.

BATTELLE (1981): Schwachstellen und Risikoabschätzung beim Transport radioaktiver Materialien, Teil 2, revidierte Fassung. - Battelle-Institut e. V. Frankfurt am Main.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (1981): Die geplante Sammelstelle für schwach- und mittelradioaktive Abfälle in Bayern. - Materialien 14, München.

BEAR, J. (1979): Hydraulics of Groundwater. - McGraw-Hill, New York.

BMI (1979): Richtlinie zu § 45 StrSchV. - Rundschreiben des Bundesinnenministers vom 15.08.1979.

BONNEVIE-SVENDSEN, M., TALLBERG, K., AITOLLA, P. & TOLLBÄCK, H. (1976): Studies on the Incorporation of Spent Ion Exchange Resins from Nuclear Power Plants into Bitumen and Cement. - Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle, Vol. II, IAEA, Vienna: S. 155-174.

BRÜGGEMANN, R. (1982): Anwendung des Konzepts begrenzter Löslichkeiten für Berechnungen der Freisetzung aus dem Endlager I: Beispiel: Silberjodid. - PSE-intener Arbeitsbericht Nr. 82/2, TU Berlin.

CONSEIL SUPERIEUR DE LA SURETE NUCLEAIRE (1982): Rapport du Groupe de Travail sur la Gestion des Combustibles Irradies. - Ministre de la Recherche et de l'Industrie, Paris.

COURTOIS, G. (1980): Diskussionsbeitrag in: Radioactive Waste Management and Disposal . - Proceed. of the First European Community Conference, Luxembourg 20. - 23. Mai 1980, Brüssel: S. 597.

DAVIES, C. N. (1966): Aerosol Science. - Academic Press, London/New York.

DWK (1980): Zwischenlager für schwach-radioaktive Abfälle Gorlben: Sicherheitsbeschreibung . - Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH, Hannover.

GSF-T 165 (1983): Aktuelle Ergebnisse der laufenden F+E-Arbeiten in der Schachtanlage Konrad zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, 192 S., GSF München.

HIRSCH, H. & KREUSCH, J.: Sicherheitsprobleme der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz. - Schriftenreihe der Max-Himmelheber-Stiftung, Ebenhausen (in Vorbereitung, erscheint Ende 1983).

HÖHLEIN, G. (1978): Treatment of Low and Intermediate Level Wastes. - KfK 2633, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

KFK (1983): Ergebnisbericht über Forschung und Entwicklung 1982, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

KIENZLER, B., KORTHAUS, E. & KÖSTER, R. (1982): Untersuchung der Radionuklidausbreitung als Folge eines angenommenen Wasserzutrittes zu den Abfällen im Eisenerzbergwerk Konrad. - KfK 3410, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

KLUGER, W., HILD, W., KÖSTER, R. MEIER, G. & KRAUSE, H. (1980): Bituminierung radioaktiver Abfallkonzentrate aus Wiederaufarbeitung, Kernforschungseinrichtungen und Kernkraftwerken. - KfK 2975, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

KORDINA, K. (1963): Das Verhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen unter Feuerangriff. - Inst. f. Baustoffkunde u. Stahlbetonb. der TH Braunschweig,Heft2.

LANDSTRÖM, O. et al. (1982): A Comparison of in-situ Radionuclide Migration Studies in the Studsvik Area and Laboratory Measurements. - Proceed. Scient. Basis of Nucl. Waste Managem., Berlin: S. 697-706.

MEMMERT (1983): Manuskript eines Vortrages, gehalten auf einer Informationstagung des BFT in Hitzacker, Mai 1983.

MISHIMA, J. & SCHWENDIMAN, L. (1970): The Amount and Characteristics of Plutonium made Airborne under Thermal Stress. - BNWL-SA-3379, Battelle Pacific Northwest Lab., Richland, Wash.

MISHIMA, J. & SCHWENDIMAN, L. (1973 a):BNWL-1732, Battelle Pacific Northwest Lab., Richland, Wash.

MISHIMA, J. & SCHWENDIMAN, L. (1973 b): Fractional Airborne Release of Uranium (representing Plutonium) during Burning of Contaminated Waste. - BNWL-1730, Battelle Pacific Northwest Lab., Richland, Wash.

OLOFSSON, U. et al. (1982): Properties and Mobilities of Actinide Colloids in Geologic Systems. - Proceed. Scient. Basis of Nucl. Waste Managem., Berlin: S. 755-764.

PSE (1981): Zusammenfassender Zwischenbericht. - Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung, Berlin.

SMITH, T. U. & ROSS, W. A. (1975): BNWL-1903, Battelle Pacific Northwest Lab., Richland, Wash.

WALLACE, R. M. & KELLY, J. A. (1979): DP-1400, DuPont de Nemours, Savannah, Carolina.