

Entwicklungsgemeinschaft Tieflagerung

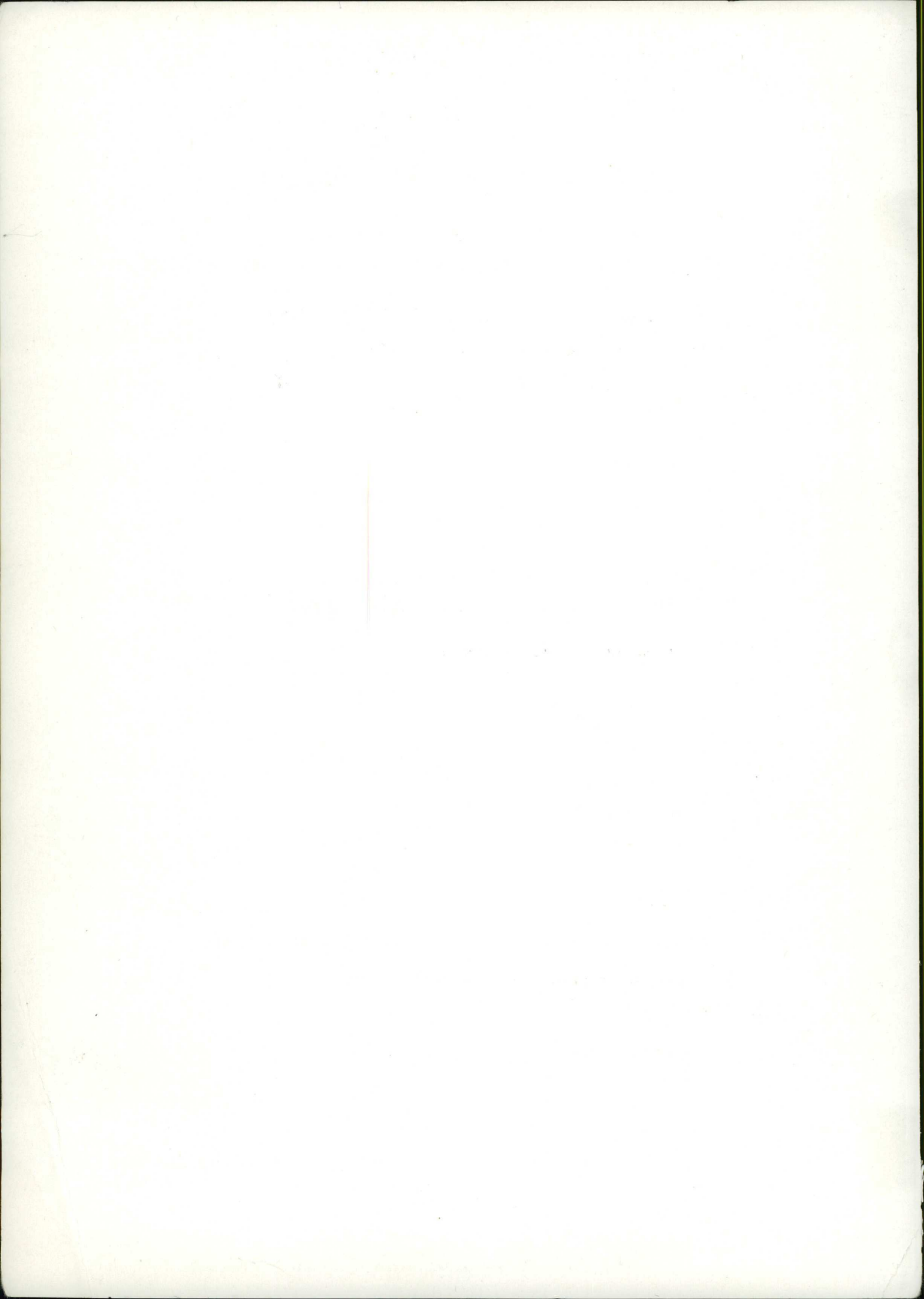
F + E-Programm zur Eignungsprüfung der
Schachanlage Konrad für die Einlagerung
radioaktiver Abfälle

Zusammenfassender Zwischenbericht



Ergebnisse des Untersuchungszeitraumes
1. 1. 1975 bis 30. 6. 1980

Gesellschaft für
Strahlen- und Umweltforschung mbH · München
Kernforschungszentrum Karlsruhe



*Kerstmut Rohre
Jaspallec 61*

ENTWICKLUNGSGEMEINSCHAFT TIEFLAGERUNG

GSF - Institut für Tieflagerung
KfK - Institut für Nukleare Entsorgungstechnik

F + E-Programm
zur
Eignungsprüfung der Schachanlage Konrad für
die Einlagerung radioaktiver Abfälle

Zusammenfassender Zwischenbericht (GSF T 114)

2. Auflage mit Textkorrekturen

Ergebnisse des Untersuchungszeitraumes
1.1.1975 bis 30.6.1980

Verantwortlich für Inhalt und Durchführung:

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München,
Institut für Tieflagerung

Kernforschungszentrum Karlsruhe,
Institut für Nukleare Entsorgungstechnik

Projektkoordinator:

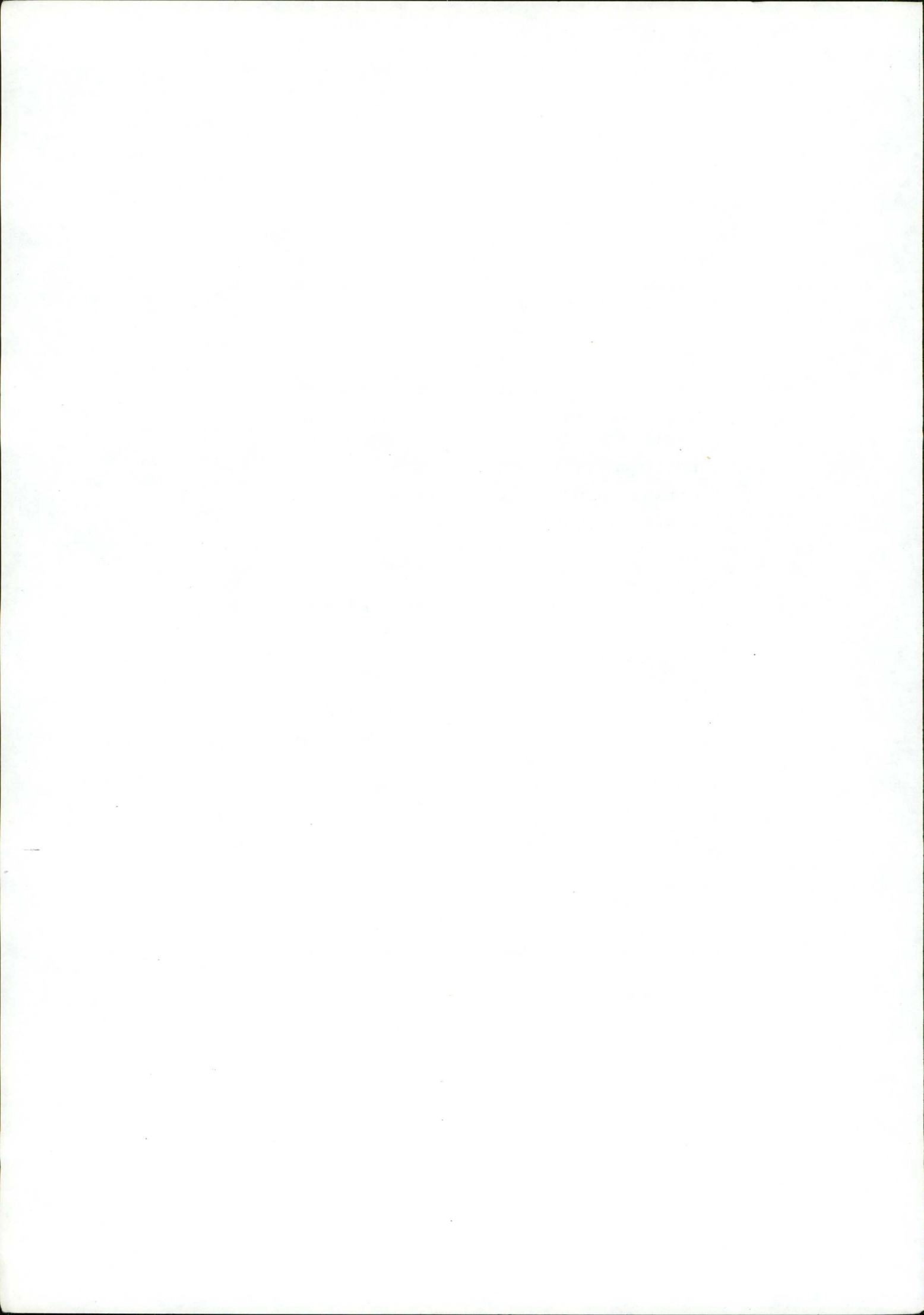
Dr. W. Brewitz, GSF

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
Gliederung und Ziele des F+E-Programms	1
Stand und zusammenfassende Ergebnisse der Untersuchungen	3
1. Standortbeschreibung und Geschichte der Lagerstättenerschließung	6
2. Geologische Untersuchungen	8
2.1 Geologie der Lagerstätte und des Deckgebirges	8
2.2 Wasserführende und wasserstauende Gesteinsformationen	12
- Darstellung der Aquifere	14
- Petrographie und regionale Ausbildung der Tonsteine	21
2.3 Feinpetrographische Bearbeitung des Erzlagers und der Nebengesteine	24
- Petrographie des Korallenoolith-Eisenerzes	24
- Tonsteinuntersuchungen	28
2.4 Tektonische Aufnahme	33
2.5 Zusammenfassung der bisherigen geologischen Untersuchungsergebnisse	37
- Geologischer Bau und Tektonik	37
- Lithostratigraphie und Petrographie	39
3. Hydrogeologische Untersuchungen	42
3.1 Hydrogeologische Situation der Grube	42
- Grundwasserbeobachtungspunkte	42
- Sicherungsmaßnahmen beim Abteufen der Schächte	44
- Verfüllung der Aufschlußbohrungen	48
3.2 Chemische Analyse der Grubenwässer	50
- Temperatur- und Dichtemessungen	50
- Beobachtung der wichtigsten Kat- und Anionen	50
- Formationsspezifische Spurenelementgehalte	52
3.3 Isotopenuntersuchungen an Grubenwässern	54

	Seite
- Schwefelisotopenbestimmung	54
- Tritiummessungen	56
3.4 Wassermengenbilanz	56
3.5 Zusammenfassung der bisherigen hydrogeologischen Untersuchungsergebnisse	58
4. Gebirgsmechanische Untersuchungen	61
4.1 Markscheiderische Standort- und Grubenüberwachung	61
- Gebirgssenkung	61
- Untertägige Gebirgsbewegungen	64
4.2 Deformationsmessungen	66
4.3 Spannungsmessungen und Aufweitungsversuche	72
4.4 Hydraulic fracturing-Versuche	76
4.5 Scherfestigkeitsversuche	77
4.6 Zusammenfassung der bisherigen gebirgsmechanischen Untersuchungsergebnisse	78
5. Geophysikalische Untersuchungen	82
5.1 Erdbebenchronik	82
5.2 Seismische Untersuchungen	86
- 3-Komponenten-Station	86
- Geophonnetz	87
- Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elastischen Wellen	87
5.3 Neigungsmessungen	89
5.4 Meteorologische Messungen	90
6. Bergtechnische Untersuchungen	92
6.1 Technische Aspekte des Einlagerungsbetriebes	92
- Einlagerungskammern	92
- Einlagerungsfelder	94
- Transport- und Zeitstudie	96
6.2 Feststellung der Einlagerungskapazität	97

	Seite	
6.3	Versatzuntersuchungen	100
6.4	Wettermessungen	101
6.5	Zeitplanung für die Erstellung der Anlagen im technischen Betrieb	103
6.6	Zusammenfassung der bisherigen bergtechni- schen Untersuchungen	106
	- Übertägige Anlagen	106
	- Schachtfördereinrichtung	107
	- Untertägiger Transport und Einlagerung	108
	- Situation der Einlagerungsfelder und Einlagerungskammern	110
	- Hohlraumerstellung	110
	- Hohlraumabschluß und Versatz	111
	- Wasserhaltung	111
7.	Kerntechnische Untersuchungen	113
7.1	Untersuchung zum sicheren Einschluß der Radionuklide	113
	- Betriebszeit	113
	- Nachbetriebszeit	117
7.2	Art und Menge der untersuchten Abfälle	118
	- Abfälle aus dem Betrieb von Kernkraft- werken	118
	- Abfälle aus Großforschungszentren und Landessammelstellen	118
	- Abfälle aus der Stilllegung von Kern- kraftwerken	119
7.3	Verpackungen für Transport und Endlagerung der radioaktiven Abfälle	125
7.4	Berechnung der Strahlenbelastung für das Betriebspersonal bei der Einlagerung der betrachteten Abfälle	128
7.5	Bisherige kerntechnische Untersuchungs- ergebnisse	130
8.	Weitere Forschungsarbeiten in der Schacht- anlage Konrad	131
	Literaturverzeichnis	133



Einleitung

Nach einer ersten Voruntersuchung im Jahre 1975, bei der keine negativen Gesichtspunkte, die gegen eine Verwendung der Grube Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle sprechen, festgestellt wurden, werden seit 1976 vom Institut für Tieflagerung der GSF in Zusammenarbeit mit dem KfK geowissenschaftliche, berg- und kerntechnische Eignungsuntersuchungen durchgeführt. Die Arbeiten erfolgen im Rahmen eines vom Bundesminister für Forschung und Technologie der Bundesrepublik Deutschland sonderfinanzierten Forschungsvorhabens, dessen Laufzeit vor kurzem bis zum Jahresende 1981 verlängert wurde.

In den Jahren 1978/79 wurden die Forschungsarbeiten im Rahmen eines 2-jährigen Forschungsvertrages mit der Kommission der Europäischen Gemeinschaft (Indirektes Aktionsprogramm: Bewirtschaftung und Lagerung von radioaktiven Abfällen, Programmbogen 7) ausgedehnt und u.a. durch besondere Permeabilitäts-, Leitfähigkeits- und Gebirgsspannungsmessungen erweitert. Zusätzliche Untersuchungen sind die geophysikalischen Neigungsmessungen, die eine Bestimmung kleinster rezenter tektonischer und gebirgsmechanischer Bewegungen ermöglichen sollen. Daneben werden auch Versatzstoffuntersuchungen und spezielle radiologische Sicherheitsbetrachtungen durchgeführt.

Gliederung und Ziele des F+E-Programms

Das gesamte F+E-Programm gliedert sich in:

1. Geowissenschaftliche und standortbezogene Untersuchungen
2. Bergtechnische Untersuchungen
3. Kerntechnische Untersuchungen

Durch die Bearbeitung dieser Programmpunkte soll festgestellt werden, ob das stillgelegte Eisenerzbergwerk aufgrund seiner

geologischen und bergtechnischen Gegebenheiten für die Endlagerung schwachaktiver Abfälle und kontaminierter/aktivierter Großkomponenten aus dem Betrieb von Kernkraftwerken, Großforschungszentren und Landessammelstellen sowie der Stilllegung von Kernkraftwerken geeignet ist, ob es die betriebliche und langfristige nukleare Sicherheit bietet und ob die Anlage mit einem vertretbaren Aufwand für die Einlagerung umgestellt werden kann.

Eindeutiger Schwerpunkt der Eignungsuntersuchungen liegt auf dem Gebiet der Geowissenschaften, da die geologischen, hydrogeologischen und gebirgsmechanischen Verhältnisse in der Grube für Eignung oder Nichteignung ausschlaggebend sind.

Zur Feststellung der geologischen Eignung werden untersucht:

- der geologische Bau,
- die hydrogeologischen Verhältnisse im Deckgebirge und in der Grube,
- die Gebirgsmechanik der Strecken und Kammern und des gesamten Grubengebäudes und
- die seismische Sicherheit der Grube für den Langzeitbetrieb.

Von den bergtechnischen Untersuchungen ist der Eignungsentcheid nur bedingt abhängig, da unter dem Aspekt einer sicheren End- und Einlagerung der Bergwerksbetrieb anders konzipiert sein wird als der eines reinen Erzgewinnungsbetriebes. So ist das Ziel der bergtechnischen Untersuchungen in erster Linie die Prüfung der vorhandenen Anlagen für eine eventuelle Einlagerung. Darüberhinaus werden Konzepte für notwendige technische Änderungen erarbeitet. Diese orientieren sich an der Einlagerung von schwachaktiven Abfällen in Norm-Fässern, Verlorenen Betonabschirmungen und von Großkomponenten als Einzelstücke oder zerlegt in Behältern.

Bei den kerntechnischen Untersuchungen werden erstens die bergtechnischen Geräte und Einrichtungen auf ihre Verwendungsfähigkeit und Sicherheit bei der Handhabung und Einlagerung der Abfälle geprüft. Bei der Entwicklung geeigneter Einlagerungstechniken sind die betrieblichen und gesetzlichen Vorschriften, wie sie in kerntechnischen Anlagen existieren, besonders zu berücksichtigen. Zweitens wird in Störfalluntersuchungen die betriebliche und nachbetriebliche Sicherheit des Endlagers betrachtet und bewertet. Dabei spielen sowohl die geologischen Verhältnisse wie auch die Abfälle mit ihren radioaktiven Stoffen sowie das gesamte Nuklidinventar eine Rolle.

Stand und zusammenfassendes Ergebnis der Untersuchungen

Die bisher durchgeführten Untersuchungen haben eine Reihe von Teilergebnissen geliefert. Im vorliegenden Bericht werden besonders die Ergebnisse des Jahres 1979 dargestellt. Angefügt ist eine bewertende Zusammenschau aller vorhandenen Daten für die jeweiligen Programmpunkte.

Die geowissenschaftlichen Untersuchungen (bearbeitet von GSF) wurden in 1979 mit einer Reihe von Messungen und in situ-Ver suchen fortgesetzt. Die bisher festgestellten geologischen, hydrogeologischen, gebirgsmechanischen und seismischen Standortverhältnisse sind im Hinblick auf eine sichere Einlagerung der Abfallstoffe positiv. Dies betrifft in erster Linie

- die große und abgeschlossene Tiefenlage des Erzlagere ohne Kontakt zu oberflächennahen Grundwasserhorizonten,
- das Fehlen großer wasserführender Gesteinsformationen im tieferen Deckgebirge,
- das Vorhandensein mächtiger Tonsteinformationen im Deckgebirge mit z.T. stark quellfähigen Tonmineralen,
- das äußerst geringe Feuchtigkeitspotential des Erzlagere und seiner umgebenden Gesteine,

- das Fehlen wirkungsvoller hydraulischer Verbindungen zu oberflächennahen Grundwasserstockwerken und die Isolierung der Tiefenwässer, die nicht am meteorologischen Kreislauf teilnehmen,
- die gebirgsmechanischen Eigenschaften, die die Auffahrung von geeigneten Einlagerungskammern zulassen,
- das günstige Senkungsverhalten des Deckgebirges und
- die Lage der Grube in einem Gebiet weitgehender seismischer Ruhe.

Insgesamt konnten aus geologischer Sicht keine Nachteile für den Standort Konrad als Endlager festgestellt werden. Das gilt generell auch für den bergwirtschaftlichen Aspekt, da im mittleren und nördlichen Teil des Gifhorner Troges auch nach Verwendung der Grube als Endlager noch genügend große Erzvorräte, die nach den letzten Berechnungen ca. 1,4 Milliarden Tonnen betragen, verfügbar bleiben.

Durch die bergtechnischen Untersuchungen (bearbeitet von GSF) wurde die Möglichkeit der Umstellung der Anlage auf einen Einlagerungsbetrieb im Prinzip nachgewiesen. Besonders hervorzuheben ist, daß

- die zu schaffenden Hohlräume (Einlagerungskammern) im Erzlager bergtechnisch beherrschbar und standfest sind,
- die Anlage aus bergtechnischer und maschinentechnischer Sicht mit relativ geringem Kostenaufwand zur Einlagerung radioaktiver Abfälle umstellbar ist und
- die Anlage mit ihren großzügigen technischen und baulichen Einrichtungen und das Grubengebäude mit den großräumigen Strecken, Wendeln und Kammern ingenieurtechnisch günstige Voraussetzungen für die Einlagerung von Fässern und Behältern mit radioaktiven Abfallstoffen und von einem Großteil der derzeitig bekannten Großkomponenten mit Bruttogewichten bis 20 t bieten.

Für den Transport und die Einlagerung von Gebinden wurden betriebs- und anlagentechnische Konzepte erstellt.

Im Rahmen der bisherigen kerntechnischen Untersuchungen (bearbeitet von KfK) sind die folgenden Teilergebnisse erzielt worden:

- Zusammenstellung der in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden schwachradioaktiven Abfälle nach Art und Menge,
- Vorschläge der für Transport und Endlagerung der Abfälle adäquaten Verpackungen,
- Sicherheitsbetrachtung für die Betriebszeit am Beispiel des Störfalles "Faßzerstörung". Dabei werden die Ergebnisse aus Staubmessungen und das Nuklidinventar hypothetischer Abfälle herangezogen,
- modellhafte Abschätzung der radiologischen Langzeitsicherheit des Endlagers anhand der Transportzeiten von Radionukliden aus dem Endlager durch das Deckgebirge bis in Grundwasserhorizonte.

An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß die Arbeiten der verschiedenen Fachgebiete einen noch z.T. unterschiedlichen Bearbeitungsstand haben.

Zur weiteren Bearbeitung der berg- und kerntechnischen Fragestellungen und zur Entwicklung spezieller Auffahrungs-, Handhabungs- und Verfülltechniken wurde das F+E-Vorhaben bis Ende 1981 verlängert. Bis zu diesem Termin werden auch die geowissenschaftlichen Langzeituntersuchungen weitergeführt, die u.a. zur Vervollständigung sicherheitsrelevanter und standortspezifischer Daten dienen.

Bei den Untersuchungen wurden eine Anzahl von Hochschul- und Forschungsinstituten in der Bundesrepublik Deutschland sowie Industriefirmen eingeschaltet. Unterstützende Arbeiten im Rahmen des F+E-Programms insbesondere bei den gebirgsmechanischen und bergtechnischen Untersuchungen leisteten die Stahlwerke Peine-Salzgitter AG, die Betreiberin der Grube.

1. Standortbeschreibung und Geschichte der Lagerstätten-erschließung

Das stillgelegte Eisenerzbergwerk Konrad liegt im Großraum Salzgitter in der Nähe des Ortes Salzgitter-Bleckenstedt (Meßtischblatt Lebenstedt-Ost, Nr. 3828). Das Grubengebäude ist ungefähr 1 km breit und erstreckt sich über eine Länge von ca. 3 km vom Hüttenwerk der Stahlwerke Peine-Salzgitter im Süden bis nach Salzgitter-Sauingen im Norden. Die Schachtanlage ist an das Fernstraßen- und Eisenbahnnetz angebunden und verfügt im Bereich des Schachtes 2 über einen direkten Zugang zum Mittelland-Stichkanal.

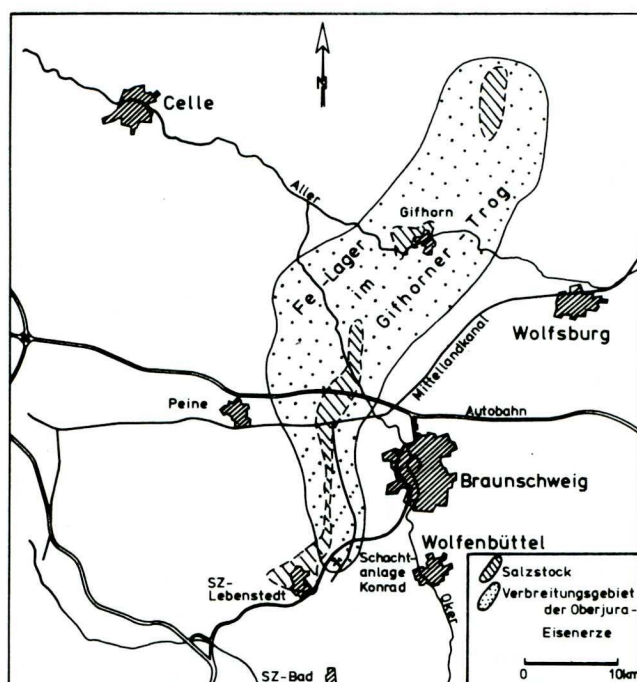


Fig. 1: Lage und Ausdehnung des Jura-Eisenerzvorkommens im Gifhorner Trog zwischen Salzgitter, Braunschweig, Peine und Gifhorn (nach KOLBE & SIMON, 1969)

Die Lagerstätte gehört zum sogenannten Gifhorner Trog, einer geologischen Struktur, deren erzführender Bereich von Salzgitter-Hallendorf bis in das Gebiet von Vorhop nördlich von Gifhorn reicht und sich dabei über eine Länge von 60 km erstreckt. Die Breite des Eisenerztroges variiert zwischen 8 und 15 km (Fig. 1).

Wegen seiner abgeschlossenen Tiefenlage wurde das weiträumige Erzvorkommen erst im Jahre 1933 bei Erdöl-Aufschlußbohrungen zufällig entdeckt. Eine erste geologische Erkundung der Lagerstätte erfolgte in den Jahren 1937 bis 1942 im Raum Gifhorn mittels eines größeren Bohrprogramms. Danach führten weitere Erkundungsbohrungen zum Nachweis von abbauwürdigen Teilbereichen des Erzvorkommens, wobei die Bewertung nach den damaligen für die Eisenerzförderung gültigen Gesichtspunkten vorgenommen wurde.

Von 1954 bis 1963 wurden der Südteil des Gifhorer Troges durch 65 Eisenerz-/Erdölbohrungen eingehender untersucht und schließlich in 1960 bei Salzgitter-Bleckenstedt der Schacht Konrad 1 mit einem Durchmesser von 7 m (Rasenhängebank + 98,51 m NN) bis 1232 m abgeteuft. Der Schacht 1 wurde im Plänerbereich (bis ca. 200 m) zementiert und insgesamt mit Betonformsteinen ausgebaut. Die Füllörter wurden bei - 901,4 m NN (1000 m/3. Sohle), - 1002,3 m NN (1100 m/4. Sohle) und - 1101,4 m NN (1200 m/5. Sohle) angesetzt. Bis Oktober 1962 wurde der 999 m tiefe Schacht Konrad 2 mit 7 m Durchmesser (Rasenhängebank + 90,78 m NN) abgeteuft. Die oberen 35 m wurden im Senkschachtverfahren abgeteuft und mit 1 m dicken Stahlbetonwänden ausgebaut. Die bis in 240 m Tiefe folgenden Plänerkalke wurden von der Schachtsohle aus in 3 Abschnitten zementiert. Das Aussetzen des Füllortes erfolgte auf der 3. Sohle, auf der zwischen beiden Schächten die erste Strecke aufgefahren wurde.

In den Jahren 1965 bis 1972 wurde südlich der Bleckenstedter Störung das Erzlager zwischen der 3. und 4. Sohle und später auch oberhalb der 3. Sohle im konventionellen Betrieb abgebaut. Die Kammern wurden im Spülverfahren mit insgesamt rund 1 Million Kubikmeter Sand versetzt. Von 1973 bis 1976 wurde dann ausschließlich im gleislosen Gewinnungsverfahren abgebaut. Bis zur Einstellung des Förderbetriebes mit einer Gesamtproduktion von 6,6 Mio. t Erz wurden rund 2,5 Mio. m³ Hohlraum aufgefahren. Seit Oktober 1976 werden in der Grube ausschließlich die für die Forschungsarbeiten notwendigen Vorrichtungen und die Instandhaltung der Strecken, Berge und Wendeln durchgeführt.

2. Geologische Untersuchungen

2.1 Geologie der Lagerstätte und des Deckgebirges

Das in der Grube Konrad aufgeschlossene oolithische Eisenerz (Minette-Typ) gehört in den mittleren Korallenoolith des Gifhorner Troges. In diesem synsedimentären Trog wurde es vor ca. 150 Millionen Jahren als marines Sediment abgelagert. Vorwiegend präkretazisch erfolgte dann die Umformung des Troges in eine strukturelle Mulde.

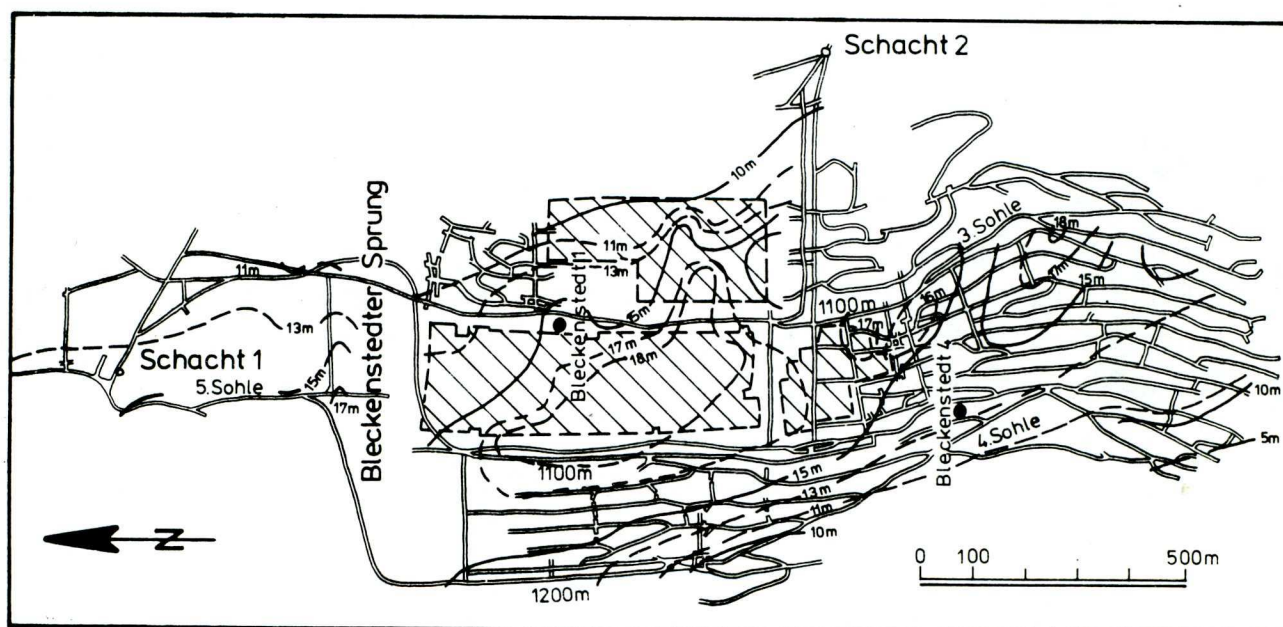


Fig. 2: Isopachen des Oberjura-Oolitherzes (Lagerhorizont) im Grubenfeld Konrad (n. KOLBE 1975)
Schraffierung: Abbaukammern mit Spülversatz

Die Eisenerzhorizonte treten in Wechsellagerung mit Kalk-, Mergel- und Tonsteinen auf. An der Basis des Unteren Erzlagere, das in der Grube abgebaut wurde und das zwischen 12 und 18 m mächtig ist (Fig. 2), kommen Konglomerate vor. Unterer Korallenoolith sowie Kalk- und Tonsteine der Heersumer Schichten bilden das Liegende der erzführenden Folge. Das unmittelbare Hangende besteht aus Mergel- und Kalksteinen des mittleren und oberen Malm. Darüber folgen transgressiv auflagernd 600 - 800 m mächtige Kreide-Sedimente mit vorwiegend Kalk-, Mergel- und Tonsteinen. Im Bereich von Schacht Konrad 2 wird die Schichtenfolge von bis zu 36 m mächtigen quartären Lockersedimenten abgeschlossen.

Tab. 1: Schichtmächtigkeiten im Deckgebirge der Schachanlage Konrad mit Angaben zur Petrofazies und Wasserführung

Schichtenfolge	Konrad 1		Konrad 2	
	bis m Teufe	Mächtigkeit [m]	bis m Teufe	Mächtigkeit [m]
Quartär, lehmig, trocken	2,30	2,30	3,50	3,50
Quartär, wasserführend	-	-	36,00	ca.33
-----Diskordanz-----				
Turonplänerkalk, kluftwasserführend	107,40	105	170	136
Cenomanpläner, in Klüften Salzwasser	158,0	45	190	20
Cenoman, überwiegend mergeltonig	229,0	71	245,80	56
Oberalb-Flammenmergel-Fazies	259,0	30	279,50	34
Oberalb, Mergelton	316,50	57	285	5
Mittelalb-Tonstein Minimuston	421,0	105	396	110
Unteralb-Tonstein und Mergeltonstein	527,0	105	469	73
Unteralb-Hilssandstein m. Salzwasser	-	-	470,10	1
Apt-Tonstein, unten bituminös	565,0	40	501,50	31
Barrême-Tonstein, auch bituminöse Bänke	684,50	120	578	77
Hauterive-Mergeltonstein	799,80	116	645,50	68
-----Diskordanz (Schichtlücke)-----				
Obermalm-Tonstein	880,0	80	-	-
Kimmeridge-Tonstein (Mitte m. Anhydritbänken)	1099,0 (942,5-959 u. 987-1006,5)	220	751,50 (680-687,5)	106
Ob. Korallenoolith, Kalkoolith u. Tonmergel	1152,0	53	776,50	25
Erzführender Mittl. Korallenoolith	1190,0	38	819,5	43
Unt. Korallenoolith Tonmergel u. Kalk	1232,50	42	876,7	57
Heersumer Schichten	-	-	882,50	6
Doggerton	-	-	999	117

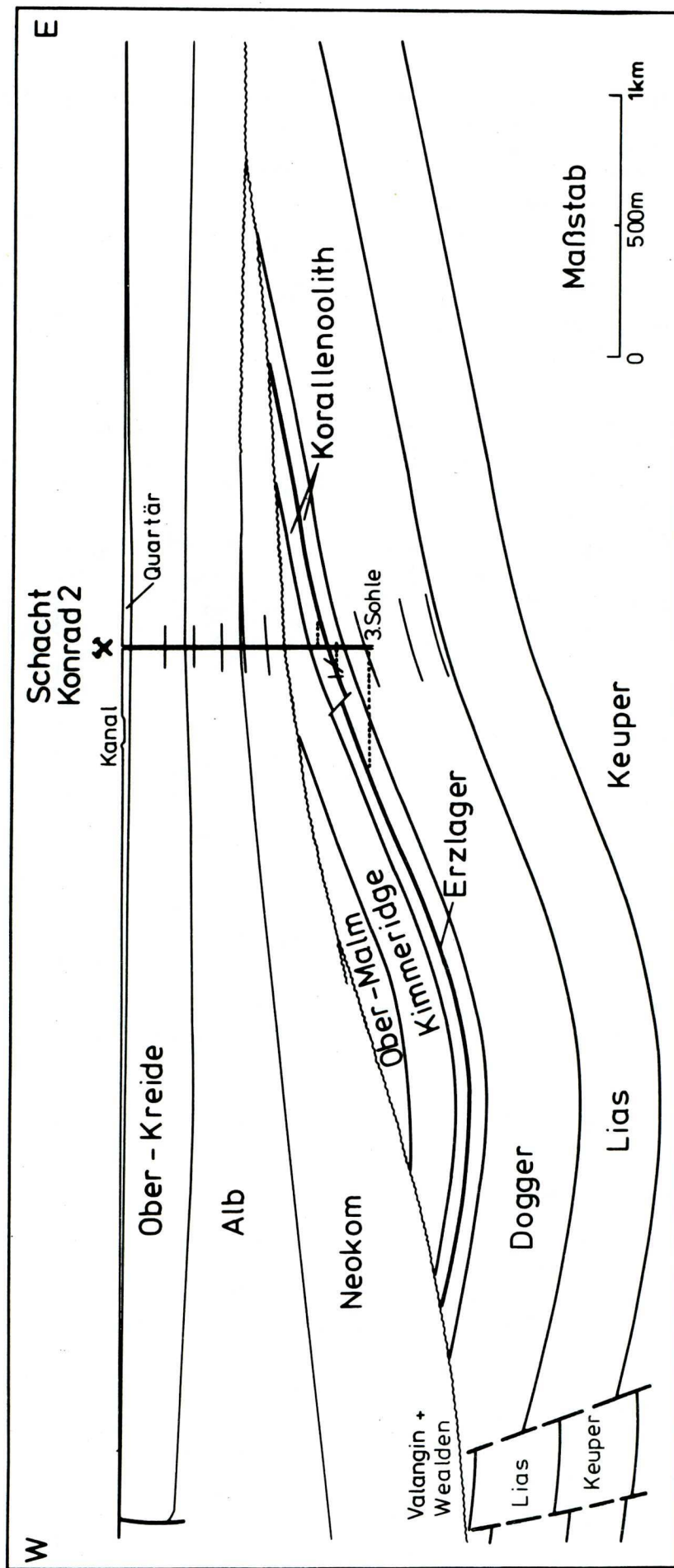


Fig. 3: West-Ost-Schnitt durch den Südteil des Gifhorner Troges (Üfinger Teilmulde) im Bereich der Schachtanlage Konrad (n. KOLBE & SIMON, 1969)

Das Grubenfeld Konrad liegt südlich der Schwellenregion von Vechelde im Ostteil der sogenannten Bleckenstedter Mulde des Gifhorner Troges. Diese wird durch den N-S verlaufenden Broi-stedter Salzstock in die westlich gelegene Köchinger- und die östliche Üfinger-Teilmulde zergliedert.

Die Schichten des oberen Jura streichen im Bereich der Schacht-anlage Konrad annähernd N-S. Der östliche Muldenflügel fällt mit $20 - 22^\circ$ nach W ein. Das Einfallen des Westflügels beträgt $15 - 20^\circ$ E. Für den südlichen Abschnitt der Bleckenstedter Mulde nehmen KOLBE & SIMON (1969) aus paläogeographischen und petrofaziellen Gründen ein umlaufendes Streichen an. Von der Vechelder Schwellenzone im Norden mit ihrer deutlich reduzier-ten Erzmächtigkeit tauchen die Schichten mit $8 - 10^\circ$ nach S in Richtung auf das Zentrum der Üfinger Teilmulde hin ab.

Im Trogtiefsten ist vom Jura bis hinein in die Oberkreide eine weitgehend konkordante Schichtenfolge entwickelt. An den Trogrändern werden dagegen die präkretazischen Schichten von den Unterkreide-Sedimenten verschiedener Stufen diskordant überlagert. Dabei erfolgt von Westen nach Osten ein Übergreifen auf immer ältere Einheiten (Fig. 3), ohne daß dabei ein im Gruben-bereich wirksamer hydrologischer Kontakt entstanden wäre. Die Malm-Ablagerungen der Üfinger-Teilmulde bilden eine ge-schlossene, wannenförmige Struktur, die vollkommen von 650 bis 800 m mächtigen Kreide-Quartär-Deckgebirgsschichten überlagert wird, weshalb Jura-Gesteine und mit ihnen das Erzlager nirgends an der Tagesoberfläche austreichen.

In dem durch das Grubengebäude aufgeschlossenen Abschnitt der Üfinger-Teilmulde herrschen E-W und N-S gerichtete Störungen vor, also tektonische Trennflächen, die parallel und quer zur Nord-Süd-Achse der Üfinger-Teilmulde verlaufen. Die ostwest-lich streichenden Störungen (Fig. 4) fallen hauptsächlich mit $60 - 70^\circ$ nach N ein und weisen Sprunghöhen bis zu 100 m auf, wie z.B. die Bleckenstedter Störung. Durch sie wird die Jura-Schichtenfolge in \pm E-W streichende Graben- und Horstschollen zerlegt. Die nordnord-

westlich bis nordnordöstlich streichenden Störungen sind vielfach älter und werden von den jüngeren Querstörungen ebenfalls versetzt. Die überwiegende Zahl dieser tektonischen Trennflächen ist auf den präalpinen Untergrund beschränkt.

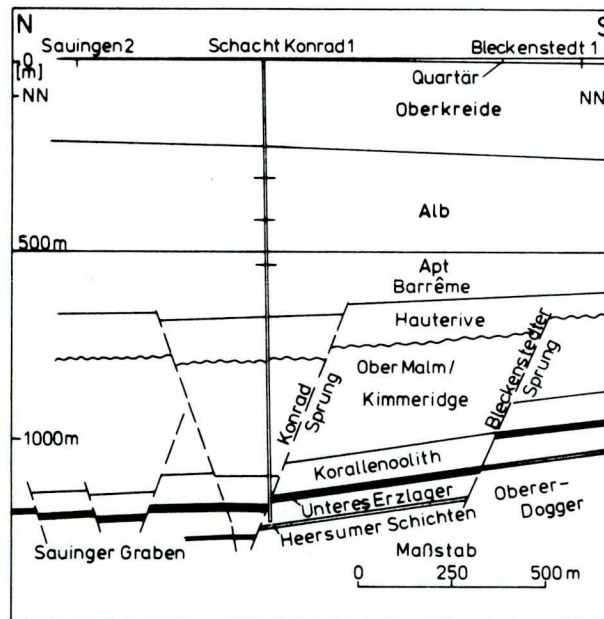


Fig. 3: Nord-Süd-Schnitt durch die Üfinger Teilmulde im Bereich der ehemaligen Eisenerzgrube Konrad (n. KOLBE & SIMON 1969)

2.2 Wasserführende und wasserstauende Gesteinsformationen

Die sichere Endlagerung von radioaktiven Abfallstoffen im Korallenoolith-Eisenerz der Grube Konrad stellt eine Reihe von besonderen Anforderungen an die Geologie der Lagerstätte. Von besonderer Bedeutung sind die Verhältnisse in bezug auf wasserleitende Aquifere und wasserstauende Gesteinsformationen im Deckgebirge mit ihrer Petrofazies, ihren Tiefenlagen und Mächtigkeiten sowie ihrer lateralen Verbreitung. Gewichtige Faktoren sind bei der Bewertung der hydrogeologischen Situation der Grube einerseits der Anteil und das hydraulische Potential

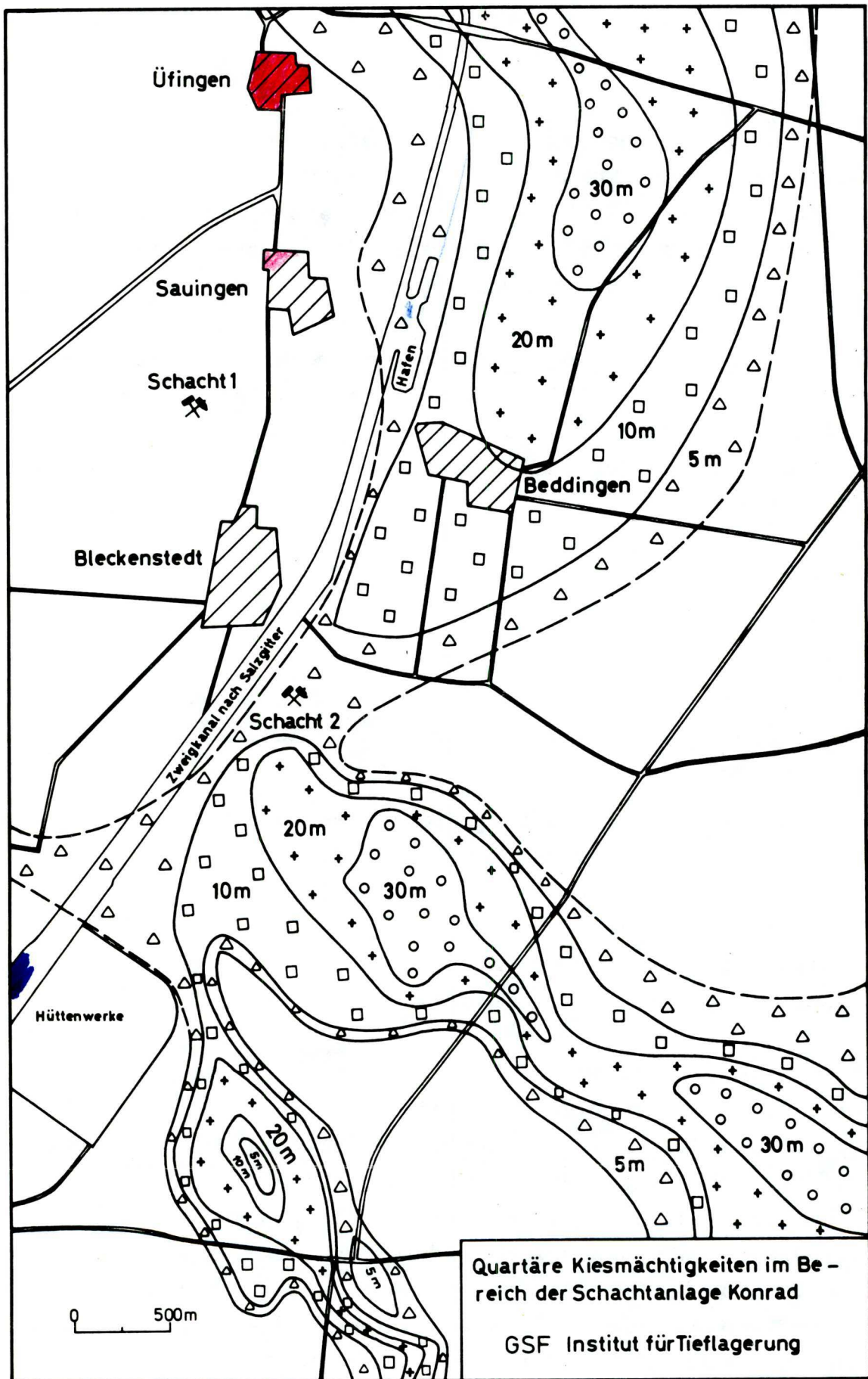


Fig. 5: Quartäre Kiesmächtigkeiten im Bereich der Schachtanlage Konrad

der Aquifere in den umgebenden Gesteinsformationen; andererseits stellen die Tonsteinhorizonte natürliche Sicherheitsbarrieren dar, die sowohl Wasserzuflüsse aus oberflächennahen Grundwasser- und aus anderen Tiefenwasserhorizonten als auch das Aufsteigen von Grubenwässern in den über Tage-Bereich verhindern.

Eine Darstellung der Aquifere in der Umgebung der Schachtanlage betrifft in erster Linie die mächtigeren kalkigen und sandigen Gesteinsschichten, wie sie aus den beiden Schachtprofilen Konrad 1 und Konrad 2 und den benachbarten Bohrungen bekannt sind (Tab. 1). Dies sind:

- Quartäre Lockersedimente mit Mächtigkeiten bis zu 35 m im Bereich des Schachtes 2, aber nicht durchgehend wasserführend,
- Oberkreideseimente mit bis zu 220 m Mächtigkeit. Die Wasserführung ist hauptsächlich an niedrig geklüftete Plänerkalke gebunden,
- Unter-Alb, ausgebildet als tonig-feinsandiges Mischgestein gegenüber einer im Harzvorland häufigen (Hils-)Sandsteinfazies. Die wasserführende Schicht ist nur im Bereich des Schachtes Konrad 2 ca. 1 m mächtig, nach W und NW (Schacht 1) wird der Null-Wert erreicht, was auch die Ergebnisse der Aufschlußbohrungen ausweisen.

Die quartäre Grundwasserführung ist im unmittelbaren Tagesbereich der Grube an eine quartäre Rinne gebunden, die östlich von Schacht Konrad 1 verläuft und zwischen 1 bis 1,5 km breit ist. Der Schacht Konrad 2 liegt im Bereich dieser Rinne, die in ihrem tiefsten Teil mit etwa 36 m mächtigen Sedimenten aufgefüllt ist, die einem starken lateralen und vertikalen Fazieswechsel unterliegen. In Wechsellagerung mit tonigen und tonig-schluffigen Sedimenten erreichen hier die wasserführenden Sande und Kiese nur eine Mächtigkeit von 10 - 15 m (Fig. 5).

Das Hauptwasserreservoir dieses Raumes bilden die quartären Verbreitungsgebiete im Bereich der Hütte Salzgitter und süd-östlich davon. Ein gewisser Grundwasserzufluß wird auch in einer direkt nach Süden anschließenden Rinne bestehen, wohingegen der Zufluß aus Norden wegen des starken faziellen Wechsels innerhalb des Quartärs vernachlässigbar ist. Der Grundwasserabfluß geht nach Norden, im wesentlichen nach Nordosten in Richtung Hoheweg-Thiede.

Die grundwasserführenden Plänerkalkschichten stehen, abgesehen von der pleistozänen Überdeckung bei Schacht Konrad 2, im gesamten Grubengebiet an der Tagesoberfläche an. In den Kalken beschränkt sich die Wasserführung auf Risse (Schnitte und Klüfte) und schichtparallele Fugen, die oft mit hauchdünnen abdichtenden Tonlagen beschichtet sind. Das Gebirge ist daher nicht wie ein poröser Speicher gleichmäßig durchtränkt. Es ist vielmehr trocken, hat dabei aber ein wasserführendes Spaltennetz. Der entspannte Grundwasserspiegel pendelte sich beim Anfahren durch Bohrungen auf den zu erwartenden Geländeabstand ein. Nach H. KOLBE liegt dieser im Umkreis von Schacht Konrad 1 bei ca. 17 m. Das entspricht den Grundwasserganglinien, die sowohl im Hüttengelände durch das Wasserwerk der Stahlwerke Peine-Salzgitter AG wie durch die Wasserstraßenverwaltung des Mittellandkanals in zahlreichen Pegellöchern abgelesen werden. Diese Pegelmessungen dienen hilfsweise auch der Kontrolle von Bodenbewegungen, denn bei einer plötzlichen Bodenabsenkung, bei der der Grundwasserspiegel erfahrungsgemäß konstant bleibt, würde der Meßabstand ruckartig verkürzt. Die bisherigen Meßergebnisse geben jedoch keine Hinweise auf eine derartig entstandene Anomalie.

Die Klüfte und Risse in den Plänerkalken sind gesteinsmechanisch in erdgeschichtlicher Vergangenheit entstanden, weil der Kalk auf die mit der Einmuldung einhergehenden Zerrung - im Gegensatz zu dem plastisch nachgebenden Ton - mit Spaltenbildung reagiert hat. Die schichtparallelen Fugen sind seit der Ablagerung dieser Kalke vor 90 Millionen Jahren wasserwirksam,

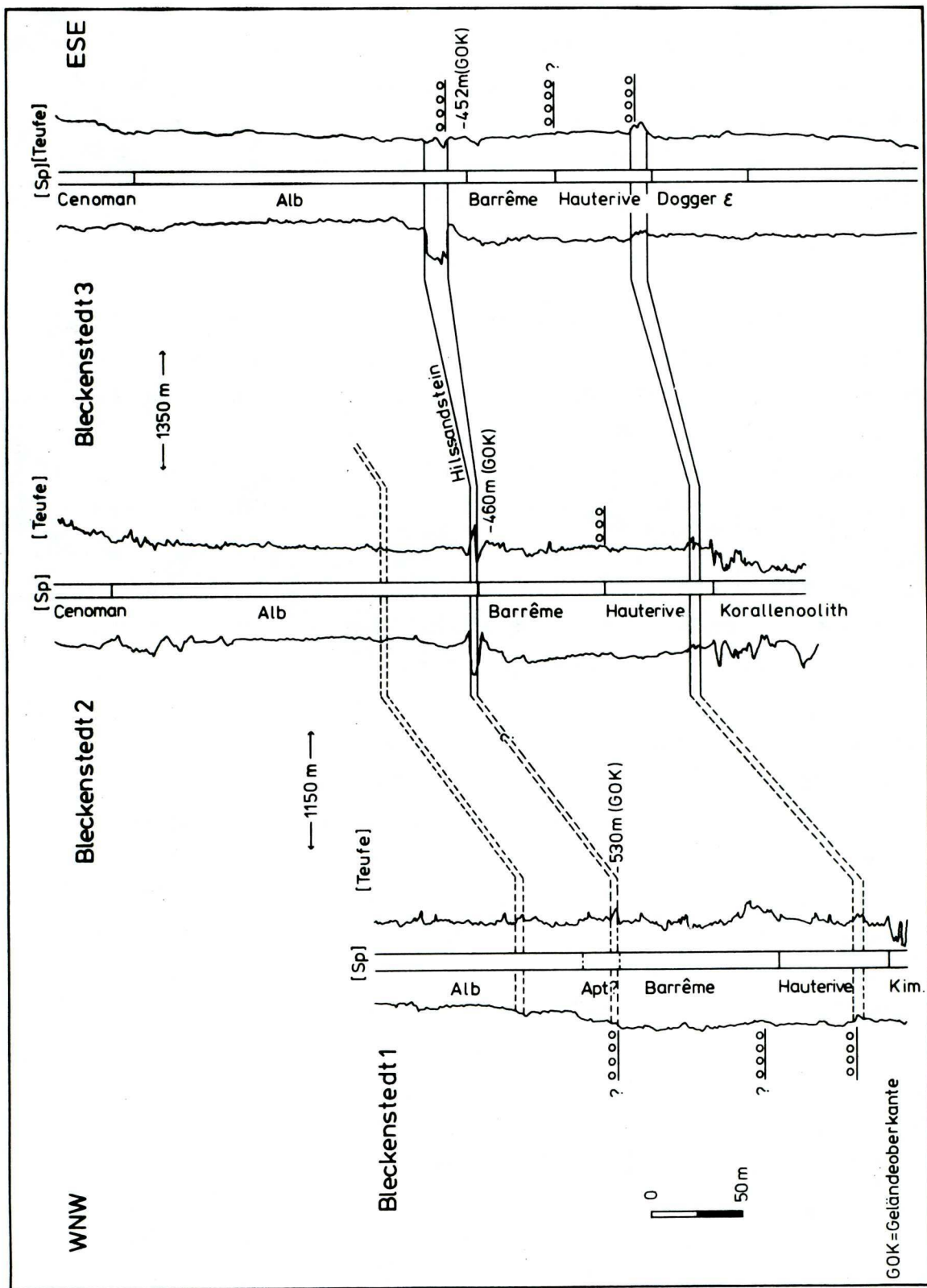


Fig. 6: Korrelation des Hilssandsteinhorizontes in einem Querprofil der Üfinger Teilmulde südlich des Schachtes Konrad 2 mit Schlumberger-Bohrloch-Diagrammen und der ausgewiesenen stratigraphischen Gliederung

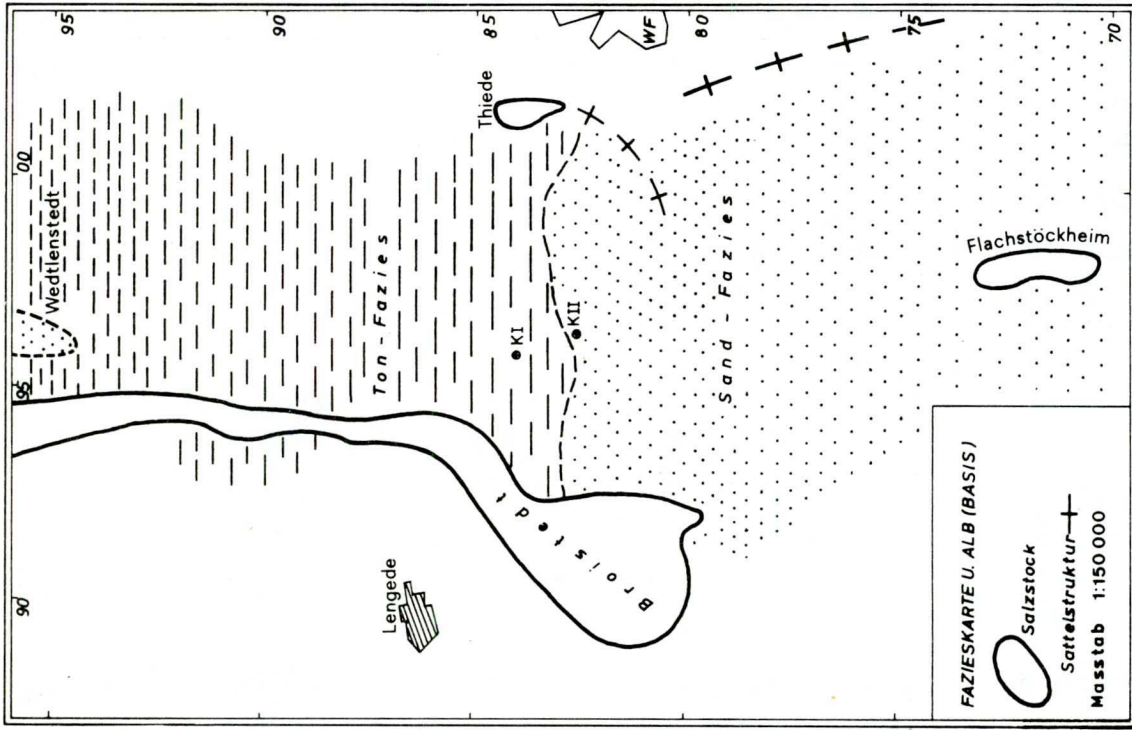


Fig. 8: Darstellung des Vertonungsbereiches der Alb-Basis im Raum der Üfinger Teilmulde nach Schlumberger-Bohrloch-Diagrammen

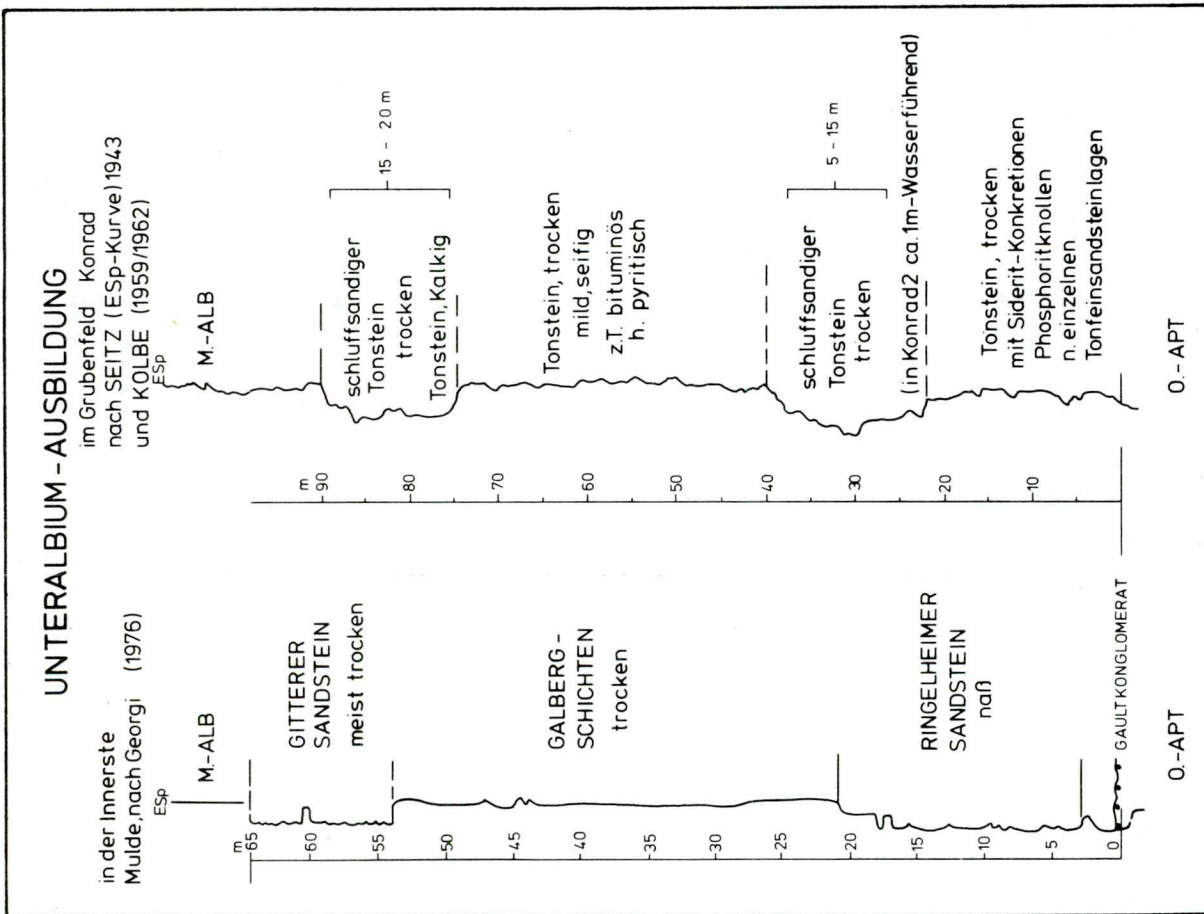


Fig. 7: Lithostratigraphische Gegenüberstellung des Unteralb der Gebiete Innerste-Mulde/Grubenfeld Konrad

weil viele von ihnen an der Basis dünne linsige Tonbestege aufweisen, die stauende Eigenschaften haben. Das Spaltennetz in den Plänerkalken hat aber nichts mit den tektonisch angelegten und die Schichten durchsetzenden Verwerfungen und Störungen gemeinsam. Größere, von unter Tage bis in die Plänerkalke hineinreichende Störungen sind unbekannt und aufgrund aller aus Tiefbohrungen ermittelten geologischen Informationen auch nicht vorhanden. Die "Sprünge", die das um 60 Millionen Jahre ältere erzführende Gebirge verworfen haben, sind fossil und verdanken ihre Entstehung einer Schichtenverbiegung, die zur Zeit der Unterkreide vor 110 bis 120 Millionen Jahren stattfand.

Zur Klärung der hydrogeologischen Fragestellungen, die den beim Teufen in Schacht Konrad 2 angetroffenen Hilssandstein als einzigen wasserführenden Horizont im tieferen Teil des Deckgebirges betreffen, wurde die Petrofazies des Unter-Albs im Raum Salzgitter-Braunschweig durch eine petrofazielle Arbeit gesondert untersucht.

Auf der Grundlage von geoelektrischen Schlumberger-Diagrammen (Fig. 6,7), Schichtverzeichnissen und Spülproben der benachbarten Tiefbohrungen wurden ein Isopachenplan und eine Fazieskarte (Fig. 8) für das Unter-Alb angelegt. Das Ergebnis weist den Hilssandstein als eine im Bereich von Schacht 2 ausdünnende Feinsandsteinfazies aus, die nach Norden in eine reine Tonsteinfazies übergeht. An Hilsproben aus dem Schachtbereich wurden auch die relevanten petrophysikalischen Parameter bestimmt. Der relativ hohe Wert von $5,68 \text{ m}^2/\text{g}$ für die spezifische Oberfläche bestätigt die mineralogische Analyse, d.h. das Vorhandensein bedeutender Anteile eines tonigen Bindemittels.

Durch eine mikroskopische Mengenanalyse sind für den in Schacht 2 aufgeschlossenen Hilssandstein folgende volumetrischen Mineralanteile ermittelt worden:

Quarz 38,6 %, Glaukonit 25 %, glaukonitisches Bindemittel 32,8 %, Plagioklas 1 %, Kalifeldspat 2 % und Karbonat 0,5 %.

Wichtiges Ergebnis für eine Abschätzung der hydraulischen Eigenschaften des Hils sandsteins ist, daß sowohl die geringe Mächtigkeit (1 m) als auch die gegenüber dem klassischen Hils sandstein stark veränderte Petrofazies mit ca. 91 Gew.-% Feinkorn ($< 0,20$ mm) und hohem tonigen Bindemittel- und Glaukonit-anteil den Horizont als Aquifer mit niedriger Transmissivität ausweisen. Mit dem durch Laborverfahren festgestellten und gegenüber dem realen mit Sicherheit zu hohen Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 1,5 \times 10^{-5}$ m/s läßt sich ein Transmissivitätskoeffizient $T = 0,00002$ m²/s errechnen. Solche Werte besitzen im allgemeinen nur für einen eng begrenzten Raum Gültigkeit. Ein überregionaler Vergleich zeigt jedoch, daß der berechnete Wert eine Größenordnung besitzt, die für schlecht durchlässige Lockersedimente typisch ist.

Die übrigen Horizonte, die beim Schachtabteufen Wasserzuflüsse aus Klüften und Tropfwasser aus Lagen brachten, spielen dagegen bei der Bewertung des hydraulischen Potentials des Deckgebirges keine größere Rolle.

So überwiegt im Ober-Alb die Tonstein- gegenüber der Flammenmergel-Fazies, aber nur die letztere ist für Wasserzuflüsse aus diesen Horizonten im Harzvorland bekannt. Die Wasserschüttungen waren beim Durchteufen in den Konrad-Schächten nie sehr stark und hatten einen deutlichen "Bitterwasser"-Charakter.

Valangin- und Wealden-Sandsteine, die meist wasserführend sind, kommen im engeren Gebiet der Schachtanlage Konrad nicht vor. Sie sind nur in den tieferen Bereichen des Gifhorner Troges entwickelt und brauchen damit im Rahmen der Eignungsuntersuchung nicht genauer betrachtet zu werden.

Im Kimmeridge waren die durchteuften Anhydritbänke trocken. Geringe Wasserzuflüsse konnten aus einem Sandsteinhorizont (Grenzsandstein) und der Ostracoden-Zone festgestellt werden. Es handelte sich dabei durchweg um NaCl-haltige Tropfwässer, deren Zonen sich heute nur noch durch zarte Salzstalaktiten andeuten.

Der Korallenoolith mit dem Erzlager ist durchweg trocken. Geringe, an Klüfte gebundene Wässer "bluteten" beim Auffahren der Strecken im Grubengebäude der Schachtanlage meist schnell aus. Die Gebirgswässer im Erzhorizont waren hochgradig mineralisiert, was auf lange Verweildauer im Gebirge schließen läßt (vermutlich mehrere Millionen Jahre). Nach dem "Ausbluten" verblieben z.T. Stalaktiten.

Im Liegenden des Erzlagers gibt es eine gewisse Durchfeuchtung der Heersumer Schichten. Solche Schwitzwässer wurden an Eisenoolith- und Kalksandsteinlagen auf der 1000 m-Sohle im Schachtquerschlag Konrad 2 beobachtet.

Wasserführung im tieferen Liegenden ist aus dem Cornbrash-Sandstein des Dogger ϵ , den Sandsteinen des Dogger β und den Kalksandsteinen des Lias α 2 und 1 bekannt. Auch müssen die Posidonienschiefer und die Trias-Sandsteine erwähnt werden, die in der direkten Umgebung der Schachtanlage weder zu Tage austreichen noch durch entsprechend tiefe Bohrungen erschlossen wurden.

Eine Beurteilung der Fließrichtungen in den Haupt-Aquiferen ergibt sich grundsätzlich aus einer zusammenfassenden Betrachtung der jeweiligen lithologisch-faziellen, strukturellen Mächtigkeitentwicklung im regionalen Großraum des subherzynen Kreidebeckens.

So ist für Plänerkalke der Oberkreide, die im Bereich der Schachtanlage einen direkten Kontakt zu den überlagernden quartären Sanden und Kiesen haben, zu erwarten, daß ihre Wässer in Richtung Braunschweig abfließen, wobei in Teilmulden und insgesamt im tieferen Niveau versalzte Tiefenwässer stagnieren.

Der Hilssandstein hat ein tektonisches Gefälle in Richtung Südwest in die Barumer Mulde, wo dieser Horizont mächtiger und petrographisch als typischer Wasserleiter ausgebildet ist.

Für die Eignungsaussage sind im Hinblick auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle die wasserstauenden Tonsteinformationen von besonderer Bedeutung. Die Verteilung der Tonsteine im Deckgebirge der Grube Konrad ist in den überarbeiteten und zu stratigraphischen Großeinheiten zusammengefaßten Schachtprofilen Konrad 1 und Konrad 2 dargestellt (Tab. 1). Allein die Tonsteine der Unterkreide sind insgesamt 500 m mächtig. Dazu kommen noch über 100 m Mergel- und Tonsteine des oberen Jura, die zusammen das Erzlager abdecken und die Grube vor Zuflüssen aus den Hauptaquiferen sichern.

Die Petrographie und regionale Ausbildung der beim Abteufen trockenen angetroffenen Tonsteine stellt sich unter Berücksichtigung der geologisch-bergmännischen Erfahrungen für das Grubengebiet Konrad und seine nähere Umgebung zusammenfassend wie folgt dar:

Das Alb weist im Niedersächsischen Becken, je nach paläogeographischer Situation und halokinetischer Beeinflussung, Gesteinsmächtigkeiten bis 500 m auf. Die Albformation ist ein markanter Transgressionshorizont, in dem auch Sandgehalte oder grobklastische Einlagerungen (Phosphoritgerölle, Erzgerölle) auftreten können, aber erst weitab vom Konrad-Erzgebiet. In den Fraktionen 2 - 0,63 μm wird bei Alb-Tonen oft 30 - 70 % Montmorillonit gefunden, daneben Illit, untergeordnet Kaolinit. Regelrechte reine Montmorillonitlagen wurden im Mittelalb und verstärkt im Unteralb nachgewiesen.

Im Oberalb ist im Konrad-Gebiet die Flammenmergel-Fazies, die nach Süden mit der Annäherung an den Harzrand so typisch ist, auf die oberen 30 m beschränkt. Sie tritt aber nicht kompakt auf, sondern zeigt einen Wechsel aus Tonsteinbänken mit tonigen Flammenmergelbänken. Dabei handelt es sich um ein graues bis grünlichgraues, kieseliges, gemasert-geflammtes Gestein mit einzelnen Kalk-Knauern.

Das Mittelalb in Minimuston-Fazies besteht aus blaustichig-grauem, mildem Tonstein mit seifig-glatten Bruchflächen. Gesteinsmechanisch erwies sich das Mittelalb überall im bergbaulichen Betrieb (Unterkreidegruben Salzgitter, Liegendes Bülden) als z.T. plastisch reagierender Ton. Die Mächtigkeiten betragen in Schacht Konrad 1 105 m.

Das Unteralb liegt im Konrad-Bereich als Tonstein vor, dessen Feinstsandgehalt nach Osten zunimmt und sich - so an der Basis in Schacht Konrad 2 - auf Tonfeinsandstein verdichten kann. Es handelt sich dabei um eine sehr feinkörnige, ca. 1 m mächtige, Ausbildung des "Hilssandsteins". Der Unteralb-Ton zeigt nur nesterweise Reaktion auf HCl und ist weitgehend kalkfrei. Seine gesteinsmechanischen Eigenschaften entsprechen dem des mittelalbischen Minimustons. Die Mächtigkeit der Unteraltone scheint bei Schacht Konrad 1 ein Maximum mit 105 m zu erreichen, sonst wurden 70 - 80 m gemessen (Konrad 2, Üfingen-Alvesse-Hüttenberg).

Die Apt-Tone sind mergeliger und etwas heller als die Alb-Tone. Der fazielle Übergang ist "schleichend". Das Unterapt ist extrem sapropelitisch, z.T. schieferig-bituminös. Die Mächtigkeiten sind mit 30 - 40 m in weitem Umkreis gleich.

Das Barrême ist lithofaziell dem Apt ähnlich, d.h. es kommen Ton- und Tonmergelsteine vor.

Das Oberbarrême ist - wie auch in anderen Bereichen des Niedersächsischen Beckens - eine sapropelitishe Fazies.

Mittel- und Unterbarrême zeigen einen ständigen Wechsel geschichteter toniger und ungeschichteter mergeltoniger Lagen. Einlagerungen von Karbonatkonkretionen und Muschelschalengeresten sind dabei nicht selten.

Das gesamte Barrême schwankt im Konrad-Gebiet zwischen 75 und 130 m Mächtigkeit, in Hüttenberg 200 m. Vermutlich machen sich in dieser Schichtstufe die Bewegungen, die zu den Schollen im Erzhorizont geführt haben, bemerkbar, d.h. bis in das Barrême kann man das Ausklingen der fossilen Störungen als nachweisbar annehmen.

Im Hauterive weitet sich der Meeresraum erheblich aus und es erfolgt die diskordante Überlagerung der jurassischen Formationen durch die Unterhauterive-Transgression. Die im Bereich Konrad 1 100 - 116 m mächtigen Sedimente sind als kalkarme Tonsteinfazies ausgebildet. Die Hauptmasse sind bläulich-graue Mergeltonsteine, die schwach bituminös und nur undeutlich geschichtet sind. Eingeschaltet sind Muschelpflaster- und Austernbewuchs.

Valangin- und Wealden-Sedimente sind aufgrund der Hauterive-Transgression im Bereich des Grubenfeldes Konrad nicht vorhanden und erscheinen erst zum Muldentiefsten im Westen und Norden der Üfinger Mulde.

Obermalm ist im Grubengebiet Konrad nur im W (Konrad 1) vertreten. Weiter östlich (Konrad 2) fiel diese Schichtgruppe der Abtragung vor dem Unterhauterive zum Opfer. Die kalkigen Tonsteine des tieferen Münder Mergel sind limnischer Entstehung mit brackischen Einflüssen.

Das Kimmeridge läßt sich in 3 Abteilungen gliedern, wobei der obere und untere mehr limnisch bzw. brackisch, der mittlere marin beeinflusst ist. Oberkimmeridge ist nur in Konrad 1 vertreten. Je nachdem, ob man die obere Anhydritserie noch einbezieht oder nicht, ergibt sich eine Mächtigkeit von 20 - 90 m. Vermutlich sind 90 m realistisch. Bunte limnische Tone wechseln mit Mergeltonen, die Mergel und Kalkknollen enthalten können. Die Bankfugen in 0,50 - 1,0 m Abstand sind durch papierdünne Tonlagen entstanden.

Die 75 - 100 m des mittleren Kimmeridge zeigen graue Mergeltonsteine im Wechsel mit handbreiten Schalenkalk- und Knollenkalklagen. Anhydrite bilden weiße und rosafarbene Lagen in Serien und Bänken.

Der 100 m mächtige Unterkimmeridge ist eine Wechselfolge von grauen, braungrauen, aber auch russischgrünen Mergelsteinen, von Tonmergeln und feinkörnigen Kalklinsen.

Durch die Unterkreidetransgression nach Osten und Süden nehmen die Kimmeridge-Mächtigkeiten in diesen Richtungen bis zum völligen

Ausfall ab: in Watenstedt Z 1 und bei Gebhardshagen sowie bei Broitzem liegt die Unterkreide direkt auf Dogger.

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit diese beim Schachtabteufen völlig trocken angetroffenen Gesteine von ihrem petrographischen und physikalischen Habitus her wasserabdichtend wirken, wurden Nebengesteinsproben aus den Schächten Konrad 1 und 2 und der Grube bearbeitet. Die petrographischen Untersuchungen erstreckten sich auf die Bestimmung der Glaukonit-, Serizit-, Ton-, Pyrit-, Salz- und organogenen Anteile. Durch geeignete Laboruntersuchungen wurden die Korngrößen, Porositäten und Permeabilitäten sowie die Verteilung der Tonminerale festgestellt. Besondere Bedeutung wird den Quellfähigkeitsversuchen mit den stärker Montmorillonit führenden Gesteinen beigemessen (s. nachstehend).

2.3 Feinpetrographische Bearbeitung des Erzlagers und der Nebengesteine

Die Petrographie des Korallenoolith-Eisenerzes ist, besonders im Hinblick auf seine chemische und mineralogische Zusammensetzung, durch eingehende Untersuchungen in der Zeit der Erzgewinnung bekannt. Grundsätzlich können nach den wechselnden Anteilen von Kalzit und Siderit im Erz vier verschiedene Erztypen in der Lagerstätte unterschieden werden (Tab. 2).

Die petrographische Bearbeitung des Erzlagers wurde durch eine genaue Bohrkernbeschreibung von insgesamt 180 m Bohrstrecke im Erz und in den liegenden und hangenden Nebengesteinshorizonten ergänzt. Die Bohrprofile zeigen die Gesteinsabfolge und die Lagerungsverhältnisse in Teilbereichen der 2. und 5. Sohle sowie im Unterwerksbau auf, und zwar an Punkten, an denen hydraulic fracturing-Versuche u.a. zur in situ-Permeabilitätsbestimmung im Gebirge durchgeführt worden sind (Fig. 9).

Für die Untersuchungsstrecke 672 wurde ein feinpetrographisches Profil erstellt, das für die weitergehende Ausdeutung der ingenieurgeologischen Extensometermessungen, die gebirgsmechanischen Untersuchungen und die Permeabilitätsuntersuchungen eine wichtige

Grundlage ist. Da die petrographischen Verhältnisse in der Grube ziemlich gleichförmig sind, kann dieses Profil auch zur Interpretation der Permeabilitäts- und Feuchtigkeitsmessungen und der parallel dazu durchzuführenden Wärmeleitfähigkeits- und Klüftigkeitsuntersuchungen in dem tieferen Teil der Strecke und der Wetter-Test-Strecke dienen.

Tab. 2: Chemische und petrographische Zusammensetzung des Korallenoolith-Erzes (n. F. GOLESTANEH, 1964)

Mineral	Mineralogische Zusammensetzung des oolithischen Eisenerzes in Vol.-% Erz-Typ				Zusammensetzung einer Durchschnittsprobe des Erzes aus Bohrung Bleckenstedt 4 (*Schacht Konrad)	
	I	II	III	IV	mineralogisch	chemisch Gew. %
Fe-Ooide	34,0	46,8	60,5	86,3	44,4	30,34 Fe (37,33 Fe ₂ O ₃) (5,43 Fe ₂ O)
Brauneisenerz	8,5	6,0	6,7	2,9	6,8	15,08 Ca O
+ Oxyd. Chamosit	4,2	10,3	4,1	0,5	4,4	9,6 Si O ₂ frei 4,54 Si O ₂ geb.
Siderit	4,5	9,7	2,8	1,2	4,5	5,00 Al ₂ O ₃ 0,95 Mg ₂ O ₃ 0,40 P
Kalzit	36,0	12,6	15,0	5,1	25,1	20,35 GLV
Quarz	10,0	12,8	8,9	3,4	9,6	(12,48 C O ₂) (7,87 H ₂ O)
Ton	2,8	1,8	2,0	0,6	1,8	0,06 V ² 0,17 Mn 0,17 Ti O ₂
Pyrit					0,3	0,17 S
Phosphorit					3,1	* 1,02 Cl * 0,44 K ₂ O
u.a.						* 0,88 Na ₂ O

Eisenerz-Typen: I. Kalzitischer Brauneisen-Silikat-Oolith
 II. Sideritisch-chamositischer Brauneisen-Silikat-Oolith
 III. Übergangstyp
 IV. dichtgepackter Brauneisen-Silikat-Oolith.

Mineralbestand der Fe-Ooide:

1. Nadeleisenerz
2. Rubinglimmer
3. + oxydierter Chamosit

Mineralbestand der Grundmasse:










1. Kalkspat
2. Brauneisenerz
3. + oxydierter Chamosit
4. Siderit
5. Quarz
6. Ton
7. Pyrit

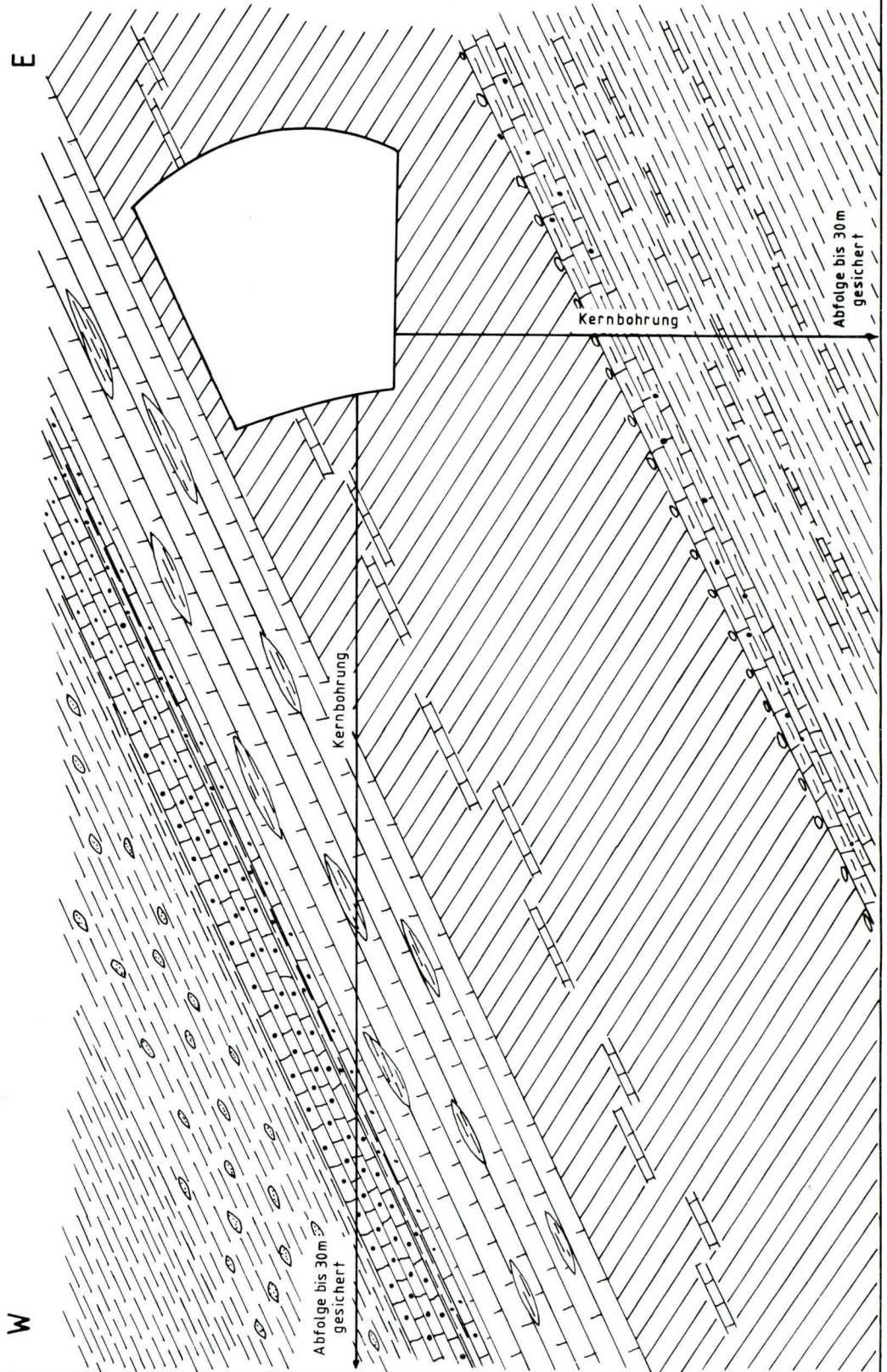
Fig. 9:

Feinpetrographisches Profil in der Untersuchungsstrecke 672 im Unterwerksbau der 5. Sohle

Legende:



-  sandige Einlagerungen
-  Erzkalk
-  Tonschmitzen
-  kalkiger Tonstein
-  Erzlager
-  Basiskonglomerat
-  Liegendkalk mit Erz
-  Kalkstreifung
-  Tonstein



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

Die Bestimmung der petrophysikalischen Parameter (Spezifische Oberfläche, Porosität, Porenradienverteilung) erfolgte einerseits mit einem 'Ströhlein-Area-Meter' nach Methode BRUNAUER, EMETT & TELLER (BET), bei der Nitrogen bei niedrigen Temperaturen von den internen und externen Oberflächen des porösen Gesteinsmaterials adsorbiert wird, andererseits mit Hilfe eines Porosimeters und durch das Quecksilber-Injektionsverfahren.

Die tabellarisch aufgelisteten Meßwerte lassen sich zu folgenden Ergebnissen zusammenfassen:

- Die Gesamtporosität variiert zwischen 2,2 % (Probe 3, einem dichten Biosparit) und 15,7 % (Probe 4, einem Eisenerz). Von der Gesamtporosität entfallen jedoch stets über 45 %, häufig über 60 - 70 % auf Totporosität und Poren mit einem Radius $< 75 \text{ \AA}$. Diese Tatsache und der Befund, daß nur ein geringer Bruchteil der Porosität auf Poren mit einem Radius $> 75.000 \text{ \AA}$ entfallen, findet ihren Ausdruck in den sehr niedrigen Permeabilitätswerten, die in keiner Probe den Wert von 1 Millidarcy erreichen.
- Die Werte für die spezifische Oberfläche variieren zwischen 1,29 und 27,05 m^2/g . Der Höchstwert tritt in einem oolithischen Eisenerz auf. Im allgemeinen sind diese Werte für oolithisches Eisenerz mit einer dichten Kleinstkugel-

Packung kennzeichnend. Für die anderen Gesteine ist auch der Schluß naheliegend, daß die starke Erhöhung der für Gesteine im Sandkorngrößenbereich üblichen spezifischen Oberfläche durch die Eisenerz-Partikel bedingt wird, die keinen kompakten homogenen Aufbau zeigen und dadurch eine große intrapartikuläre spezifische Oberfläche aufweisen.

- Die gemessene Porenradienverteilung im Bereich $75 - 75.000 \text{ \AA}$ zeigt deutlich, daß der überwiegende Anteil des Porenvolumens von Poren eingenommen wird, die einen Radius von $< 743 \text{ \AA}$ besitzen. Bei Probe 4 und 5 wird sogar über die Hälfte der Porenvolumina von Poren mit einem Radius von $125 - 75 \text{ \AA}$ eingenommen.

Für den hydrogeologischen Fragenkomplex ist von Bedeutung, daß die niedrigen Permeabilitätswerte im Erz von $< 10 \text{ \mu-Darcy}$ bzw. $70/150 \text{ \mu-Darcy}$ mit denjenigen wasserstauender Gesteine vergleichbar sind. Die Ausbreitung der natürlichen Tiefenwässer, wie auch der von über Tage eingeleiteten Betriebswässer, kann im Lagerbereich folglich nur an hydraulisch wirksamen tektonischen Trennflächen stattfinden.

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

In Erweiterung der petrologischen Arbeiten wurden spezielle Tonsteinuntersuchungen an Probenmaterial aus dem Deckgebirge der Schachanlage Konrad zur Bestimmung der Smektit-Minerale und ihrer Quell- und Sorptionseigenschaften durchgeführt. Dazu

wurde der Bereich der Unterkreide- und Oberjuraformationen mit ca. 100 Proben abgedeckt, so daß die Probendichte im geologischen Profil von Schacht Konrad 1 für die Albsedimente jeweils 10 m und für Schacht Konrad 2 20 m beträgt.

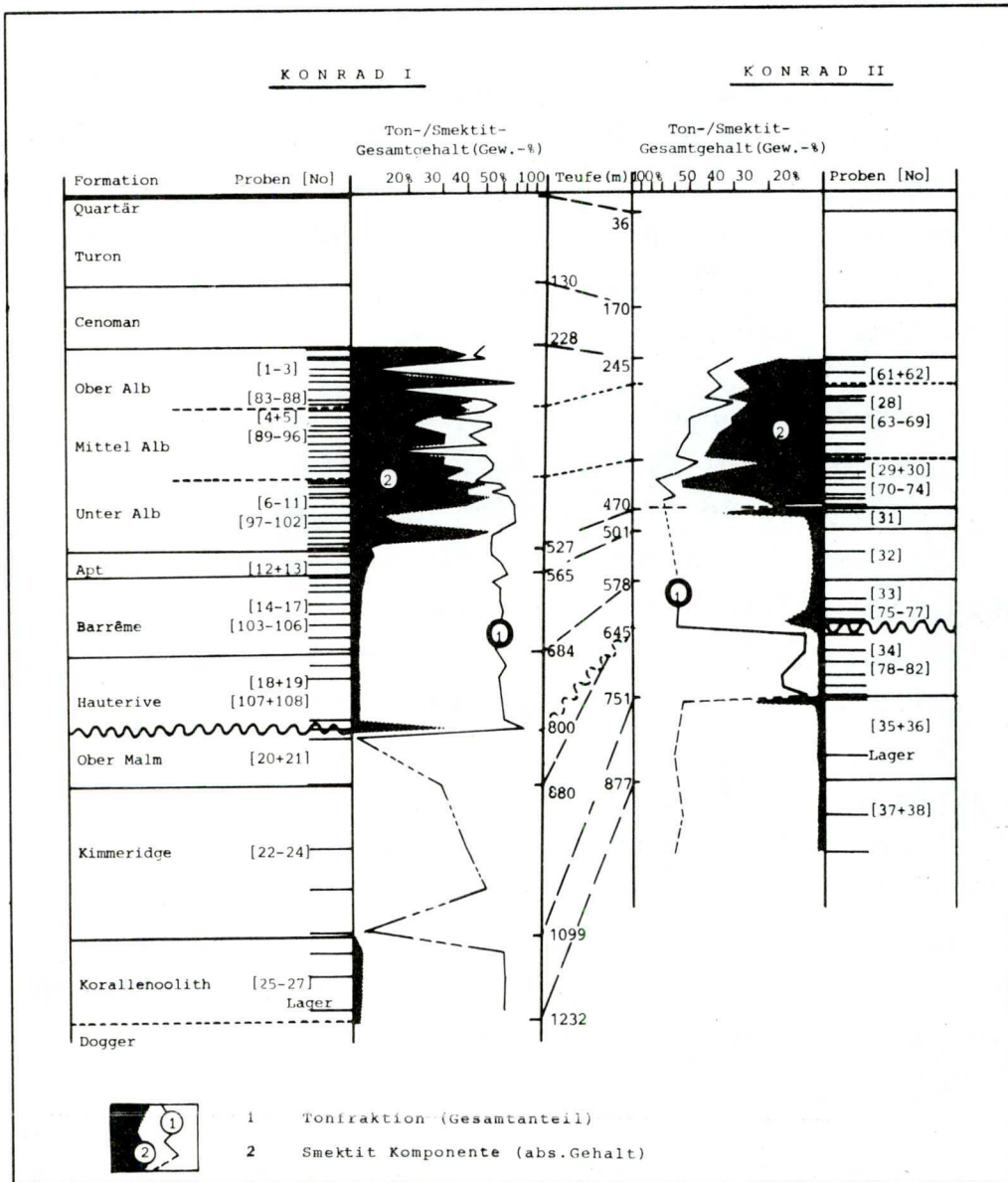


Fig. 10: Darstellung der Ton- und Smektitgehalte in den Schachtprofilen Konrad 1/2.

Die ziemlich gleichförmigen und in sich homogenen Gesteine können nach übergreifender makroskopischer Beschreibung als sandige, mergelige Tonsteine angesprochen werden. Eine spezifizierende qualitative Analyse der am Sedimentaufbau beteiligten Mineralfraktionen wurde röntgenographisch erarbeitet. Neben wechselnden Gehalten von Quarz und Karbonat, bedingt durch das Bildungsmilieu, weisen die Unterkreidegesteine einen Gesamt-Ton-Gehalt von 40 - 60 % (= Korngröße $< 3 \mu\text{m}$) auf (Fig.11). Akzessorisch, ohne bedeutende Anteile zu erreichen, konnten Chlorit und, als nicht Tonminerale Pyrit, Dolomit, Feldspäte, Gips, Steinsalz, Zeolithe?, Opal-CT und amorphe Substanzen nachgewiesen werden. Das Raumgewicht der Unterkreide-Sedimente steigt vom Hangenden ($2,15 - 2,22 \text{ g/cm}^3$) zum Liegenden ($2,43 - 2,50 \text{ g/cm}^3$) aufgrund der Kompaktion an.

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

Ein 10 \AA -Illit und detritischer Kaolinit ergänzen den Tonmineralbestand im Bereich der Albsedimente und sind bei Anteilen von je 40 - 60 % die bestimmenden Phyllosilikate in den Apt-, Barrême- und Hauterivegesteinen. Der quellfähige Tonanteil beträgt 5 - 15 % mit 12 \AA Montmorillonit/Illit als Mixed-Layer-Komponenten. Die Kimmeridgeformation ist, abgesehen von den Anhydritserien, als Karbonatfazies - Calcitgehalte von über 70 % - ausgebildet, Der lithologische Übergang zum Korallenoolith zeichnet sich durch den Anstieg der Tongehalte mit 15 % quellfähigen Mixed-Layer-Anteilen aus.

Die hervorstechenden und bergmännisch belegten Quelleigenschaften des Montmorillonits der Albsedimente wurden durch gesonderte Untersuchungsverfahren - Messung der spezifischen Oberfläche,

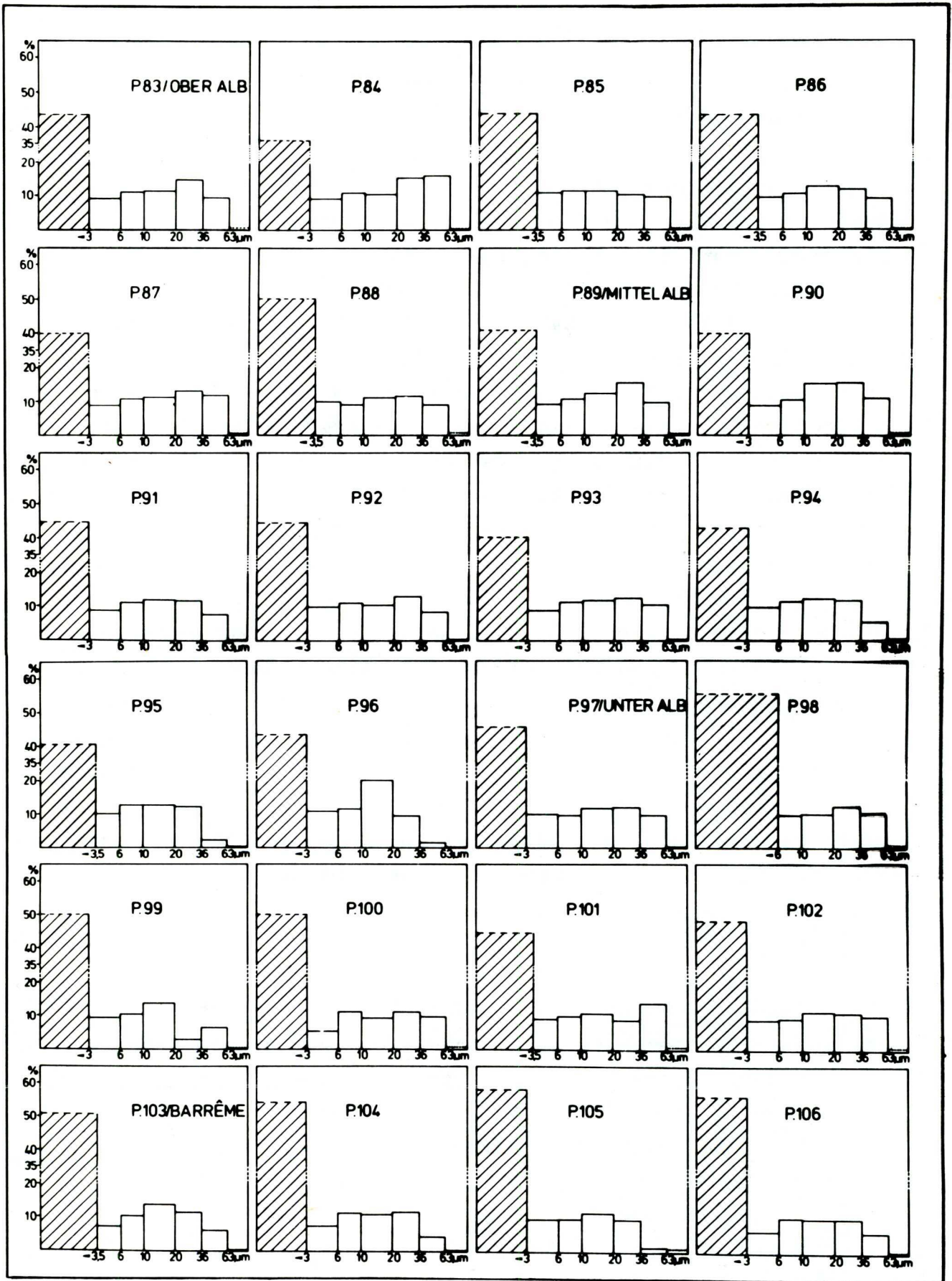


Fig.11: Darstellung der Korngrößenverteilung (Tonanteil $\leq 3\mu\text{m}$) der Neokom-Sedimente im Schachtprofil Konrad 1

Wasseraufnahmekapazität, Stereoscan-Aufnahmen - an speziellen Fraktionen bestimmt.

Die in der Rasterelektronenmikroskopaufnahme schuppenförmig, kompakt agglomerierten und diffus erscheinenden, hypidiomorph kristallisierten Montmorillonitaggregate weisen eine - nach dem BET-Prinzip ermittelte - spezifische Oberfläche von 47,54 - 76,02 m²/g (Alb, Konrad 1) und 26,84 - 32,71 m²/g (CaCO₃-frei, gefriergetrocknet, Konrad 2) auf. Die hohe spezifische Oberfläche der Tonminerale, insbesondere der Illite und Smektite, und ihre Aufweitbarkeit durch Einlagerung von Wassermolekülen in Zwischenschichtpositionen stehen im Einklang mit den gemessenen Werten der Wasseraufnahmekapazität von 300 - 470 Enslin (HARDERS & KIENOW, 1960) für die CaCO₃-freien, gefriergetrocknet aufbereiteten < 2 µm/ < 0,63 µm-Fraktionen der Albsedimente in Schacht Konrad 2.

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

Die Dilatometermessungen geben das durch die unterschiedliche Tonmineralzusammensetzung bedingte Wärmeausdehnungsverhalten von Gesteinskörpern aus den Alb-, Apt- und Kimmeridge-Formationen wieder, wobei eine anomale Schwindungsreaktion ($\Delta L = - 0,05/- 0,07$ mm) der Unter-Albgesteine in dem Temperaturbereich von 270 - 400 °C auftritt. Zur Klärung der Schwindungsreaktion werden derzeit weitere Untersuchungen durchgeführt.

Grundsätzlich bildet der Nachweis von stark montmorillonitführenden Tonsteinen im Deckgebirge der Grube Konrad einen wesentlichen

Beitrag zur geologischen Sicherheit eines möglichen Endlagers für radioaktive Abfälle. Das Quellvermögen des Montmorillonits ist eine zusätzliche Garantie dafür, daß die tektonischen Trennflächen im Deckgebirge hydrodynamisch nicht wirksam sind. Dehnungsklüfte, gleich welcher Entstehungsart sie sind, können durch die Wechselwirkung zwischen eindringendem Wasser und dem Montmorillonit schnell geschlossen werden, so daß die Abdichtung des Systems gegenüber Wässern der oberen Grundwasserschichten voll erhalten bleibt.

2.4 Tektonische Aufnahme

Für die Beurteilung des geotektonischen Baus der Lagerstätte wurden insgesamt 1137 Kluft- und Schichtwerte aus den Schächten und aus den Streckenaufschlüssen, die während der Zeit des Schacht-
abteufens und der Streckenauffahrungen eingemessen worden waren, mit dem montangeologischen Rechenprogramm GELI auf einer Großrechenanlage ausgewertet.

Die Darstellung der Kluft- und Störungsflächen in der Lagenhalbkugel-Projektion zeigt eine gürtelförmige Verteilung der Flächenpole. Die Isoliniendarstellung der Besetzungsdichte läßt drei eindeutige Maxima erkennen, von denen das größte mit 167/70 SE durch die 4 %-Linie markiert ist. Bei einem Schichtstreichen von 170 - 180 ° sind die zugehörigen Störungen mit den sie begleitenden Klüften als Blattverschiebungen einzustufen. Sie verlaufen + parallel zur Achse des Gifhorner Troges und tragen häufig Anhydrit-/Kalkspat-Bestege. Nach H. KOLBE (1969) sind diese Klüfte älter als die ostwestlich verlaufenden Klüfte mit dem Maximum 90/50 ° N. Letztere stellt H. KOLBE ihrer Entstehungszeit nach zusammen mit dem Bleckenstedter Sprung in die Unterkreide, bevorzugt in das Barrême. Die Flächen des dritten Maximums haben im Schmidt-Netz-Diagramm ihre größte Poldichte bei 179/40 ° NE. Sie gehören damit ebenfalls zu den nordsüdlich verlaufenden Zerrklüften, fallen aber gegenüber denen des ersten Maximums antithetisch ein und zeigen dort, wo sie als Störungsflächen ausgebildet sind, stellenweise abschiebenden Versatz im Erzlager.

Für die Bearbeitung spezieller gebirgsmechanischer und auch hydrogeologischer Fragestellungen wurde im Unterwerksbau der Grube eine 185 m lange Untersuchungsstrecke aufgefahren. Im Rahmen einer ersten geologischen Bearbeitung erfolgte eine petrographisch-tektonische Aufnahme dieser Strecke. Das wegen bewetterungstechnischer Notwendigkeiten angelegte Aufhauen zur 5. Sohle wurde in diese Untersuchungen einbezogen. Insgesamt wurden 400 m Aufschlußlänge bearbeitet, wobei etwa 300 Kluftmessungen durchgeführt worden sind. Der überwiegende Teil dieser Messungen bezieht sich auf die Feinklüftung des Erzlagers, wobei nur eine \pm N-S verlaufende Großkluft mit cm-dicken Kalkspat-Coelestin-Bestegen und zwei \pm E-W-streichende und nach N einfallende Abschiebungen als größere tektonische Elemente identifiziert wurden.

Im übrigen entspricht die richtungsabhängige Verteilung der Kluftflächen mit ihrer gürtelförmigen Anordnung der Maxima im Gefügediagramm (s. Fig.12) dem tektonischen Gesamtbild der Grube.

Eindeutiges Maximum bilden in der Untersuchungsstrecke die \pm N-S-streichenden Klüfte mit Einfallswerten von $75 - 90^\circ$ nach W bzw. E. Sie entsprechen einerseits präkretazisch angelegten Zerrklüften, die nach H. KOLBE (1969) $160 - 170^\circ$ streichen, und andererseits Störungszonen der Oberkreide, die parallel zum Salzstock von Broistedt verlaufen und mit etwa 20° streichen. Klufttrichtungen, die mit den wenigen ostwestlich gerichteten Verwerfungen identisch sind, sind im Unterwerksbau nur wenig entwickelt. Dagegen erscheinen Klüfte der Maxima $135^\circ / 77^\circ$ SW und $135^\circ / 63^\circ$ NE als syn- bzw. antithetische Trennflächen, an denen im Fall einer Störungzone im Ostteil des Grubenfeldes Versetzungsbeträge gemessen werden.

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

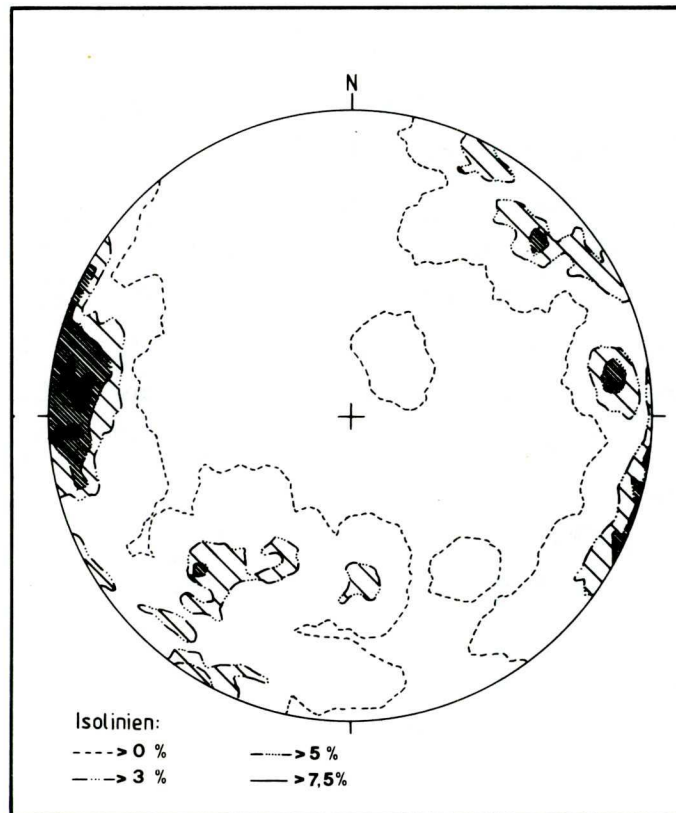


Fig. 12: Häufigkeitsverteilung von 118 tektonischen Meßwerten in der Untersuchungsstrecke 672. Flächenpoldarstellung in der Lagenhalbkugel-Projektion.

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

Danach wurde die Grube in sieben tektonische Teilbereiche gegliedert, die sich gegenseitig durch Größe und Verteilung der einzelnen Kluftmaxima unterscheiden. Auffallend ist die verschieden starke Häufung E-W-streichender Kluftelemente in einzelnen

Teilbereichen des Grubengebäudes. Damit wird deutlich, daß es hauptsächlich die großen Abschiebungen sind, die diese Richtung vertreten. Eine entsprechende Feinklüftung des Lagers existiert, aber sie ist außerhalb dieser Störungszonen wesentlich weniger verbreitet als die N-S/NW-SE streichenden Zerrungsklüfte. Diese ihrerseits zeigen vom südlichen bis hin zum nördlichen Teil der Grube eine langsame Veränderung der Streichrichtung. Im Süden erscheinen fast nur die N-S verlaufenden Zerrungsklüfte, während im Norden eine eindeutige NW-SE-Richtung vorherrscht. Die Gesamtheit der eingemessenen Klüfte sind bis auf wenige Ausnahmen winzige Risse im Gebirge, die keine offenen Weiten oder Versetzungsbeträge aufweisen.

Zusätzlich zu der bereits festgestellten Tatsache, daß es keine Kluftrichtung mit erhöhtem Sickerwasserpotential gibt, konnte jetzt nachgewiesen werden, daß in keinem der sieben verschiedenen tektonischen Teilbereiche bevorzugt Sickerwasser aus dem Gebirge zusetzt und das hydraulische Potential der Klüfte insgesamt äußerst gering ist.

Zur Klärung der Frage nach dem genauen Alter der tektonischen Elemente und ihren Auswirkungen in den Deckschichten der Kreide-Formation wurden in verschiedenen Tagesaufschlüssen der näheren und weiteren Umgebung tektonische Messungen durchgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den Jura-Werten aus der Grube wurden dafür Bereiche des umgebenden subherzynen Beckens ausgewählt, die von der tektonischen Zergliederung durch Salzstöcke weitgehend verschont geblieben sind. Dies waren im besonderen die Kalkbrüche Söhlde in der Lesser Mulde, der Kalkbruch Klein-Flöthe in der Warne-Fuhse Mulde und die Ziegeleigrube Grimme in der Braunschweig-Üfinger Mulde. Insgesamt wurden ca. 8.000 Klüfte eingemessen, die ebenfalls über das Rechenprogramm GELI ausgewertet wurden.

Erste Ergebnisse lassen eine auffällige Übereinstimmung zwischen den Kluftwerten des Juras und der Oberkreide erkennen. Dabei sind sowohl die Richtungswinkel als auch die gürtelförmige Anordnung der Kluftmaxima in der Lagenhalbkugelprojektion weitgehend identisch. Die zugehörigen Fallwinkel sind dagegen in den Tagesaufschlüssen generell etwas steiler. Auch erscheinen hier die E-W-gerichteten Klüfte weniger häufig. Anzeichen entsprechender Störungen, wie sie mit z.T. großen Verwerfungsbeträgen in der Grube aufgeschlossen sind, konnten nicht festgestellt werden.

Danach stellt sich der tektonische Bau der Grube als durchaus vergleichbar mit den von der Salztektonik unbeeinflussten Teilbereichen des subherzynen Beckens dar, obwohl der Salzstock Broistedt mit seiner östlichen Flanke etwa 2 km entfernt ist.

2.5 Zusammenfassung der bisherigen geologischen Untersuchungsergebnisse

Geologischer Bau und Tektonik

Das stratiforme Eisenerzlager des mittleren Korallenooliths liegt im südlichen Teil des Gifhorner Troges in 800 bis 1400 m Tiefe. Als Teil der Jura-Formation ist es zusammen mit Kalk-, Mergel- und Tonsteinen wannenförmig eingemuldet. Die jurassischen Gesteine streichen in der näheren und weiteren Umgebung der Schachanlage an keiner Stelle an der Tagesoberfläche aus. Sie werden diskordant von einer 650 m bzw. 800 m mächtigen Kreide-Quartär-Schichtenfolge überlagert.

Das Einfallen des Erzlagers ist im Bereich der Grube mit 20° nach Westen gerichtet. Unter den tektonischen Trennflächen herrschen Ost-West und Nord-Süd gerichtete Störungen und Klüfte vor. Sowohl die ostwestlich orientierte Bruchtektonik wie auch nordnordwestlich bis nordnordöstlich streichende Zerrungstektonik sind vorwiegend älter als das Apt (Stufe der Unterkreide). Sie haben bei der tektonischen Beanspruchung oberflächennaher Gesteinsschichten der Oberkreide keine Rolle gespielt.

Eine Serie nordnordöstlicher Zerrklüfte ist jünger angelegt. Sie durchsetzt in der Umgebung der Schachtanlage u.a. auch die Oberkreidekalke. In der Grube kommen diese Störungen selten und örtlich begrenzt vor.

Die Aussagen zum geologischen Bau der Grube basieren auf den Ergebnissen der ehemaligen Erkundungsbohrungen in der näheren und weiteren Umgebung des Standortes sowie der petrographischen, stratigraphischen und geophysikalischen Untersuchungen in diesen Bohrungen. Zur Klärung der Tektonik des Erzlagers und seiner benachbarten Gesteinsserien sind Kluftaufnahmen aus der Zeit der Grubenauffahrung vorhanden.

Zur Abbildung des geologischen Sachverhaltes sind erstellt:

- Mächtigkeitskarten für das Quartär, die quartären Kiese und Sande sowie das Korallenoolith;
- Tiefenlinienkarten für die Untergrenzen von Cenoman, Turon, Unterkreide, Portland und dem erzführenden mittleren Korallenoolith;
- Geologische Schnitte durch das Grubengebäude in N-S und E-W-Richtung;
- Gefügediagramme für den Untertagebereich der Grube, getrennt in tektonische Teilbereiche und verteilt auf die Hauptformationen;
- Gefügediagramme für benachbarte Übertageaufschlüsse.

Im Hinblick auf die Verwendung der Grube als Endlager für radioaktive Abfälle kann der geologische Bau aufgrund der folgenden Sachverhalte als günstig bewertet werden:

Die vorkommenden Gesteinsformationen liegen söhlig oder sind flach geneigt. Die einfache geologische Struktur wird nur durch wenige große Kluft- und Störungszonen beeinträchtigt. Das Erzlager wird durch die Kreideformationen diskordant überlagert und in seiner großen Tiefenlage abgeschlossen.

Ein Kontakt des Erzlagers zur Erdoberfläche oder oberflächennahen Grundwasserhorizonten existiert daher nicht. Störungszone mit großen Versetzungsbeträgen kommen im Kreide-Deckgebirge nicht vor. Insbesondere die ostwest orientierte Bruchtektonik ist älter als das Apt und setzt sich daher nicht bis nach über Tage fort. Die tektonische Zergliederung des Erzlagers ist auf einige wenige Teilbereiche im Grubenrevier beschränkt. Eine ausgeprägte Feinklüftung des Erzlagers ist, abgesehen von den Abbauauswirkungen in der direkten Zone des Streckenmantels, nur gering entwickelt.

Lithostratigraphie und Petrographie

Die Quartär-Kreide-Jura-Schichtenfolgen bestehen im Gebiet der Grube vorwiegend aus Ton- und Mergeltonsteinen. Im oberflächennahen Bereich überwiegen Kalksteine und gröberklastische Lockersedimente.

Pleistozäne Sande und Kiese kommen nur im Bereich von Schacht 2 vor. Sie sind insgesamt 15 m mächtig und werden von 20 m mehr oder minder Wasser absperrenden Lockergesteinen (Lehm, Geschiebemergel, Beckenton) überdeckt.

Turon und Cenoman sind bis in eine Tiefe von 158 m bzw. 190 m als Plänerkalk entwickelt. Die tieferen Oberkreide- und die Unterkreideschichten sind tonig bis mergeligtonig. Im Schacht 2 ist in 470 m Teufe eine 1 m mächtige Feinsandsteinbank (Äquivalent Hilssandstein) eingeschaltet.

Die Malm-Gesteine sind mit Ausnahme des Erzlagers und weniger Anhydritbänke tonig, tonig-mergelig und gelegentlich kalkig ausgebildet.

Die Alb-Tonsteine sind im Grubengebiet 189 bis 268 m mächtig. Sie besitzen einen besonders hohen Anteil an quellfähigem Montmorillonit und damit auch eine große Wasseraufnahmekapazität. Zusammen mit den tieferen Unterkreide-Tonsteinen sind sie besonders feinklastisch. Die Jura-Tonsteine sind stärker verfestigt, weniger feinkörnig und weniger porös.

Die gesamte Tonsteinfohle ist über dem Grubengebäude 600 bis 1000 m mächtig. Sie trennt den Erzhorizont von den oberflächennahen wasserführenden Gesteinsformationen. Die Tonsteine besitzen günstige petrophysikalische Eigenschaften, insbesondere eine äußerst geringe Permeabilität, die einem Wassereindringen aus diesen Grundwasserhorizonten entgegenstehen. Das günstige Sorptionsverhalten der Tonsteine gegenüber Radionukliden, das von anderen Arbeiten her bekannt ist, wird derzeit quantitativ noch untersucht.

Das Erzlager selbst ist im aufgeschlossenen Teil des Grubenreviers ziemlich gleichförmig ausgebildet. Das z.T. abgebaute untere Lager erreicht Mächtigkeiten zwischen 12 und 18 m. Das Erz ist ein Brauneisensilikatoolith, mit einem durchschnittlich ausgewogenen Kalk-Kieselsäureverhältnis. Die petrophysikalischen und mechanischen Daten weisen es als ein Gestein mit

einer guten Druckfestigkeit ($\bar{\sigma}_D = 380 \text{ kp/cm}^2$),
einer mittleren Zugfestigkeit von 43 kp/cm^2 ,
einer Dichte von $\sim 2,76 \text{ g/cm}^3$,
einer gegenüber Salz um den Faktor 3 niedrigeren
Wärmeleitfähigkeit ($3,6 \cdot 10^{-3} \text{ [cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}]$),
einem Wassergehalt (freies Wasser u. Kristallwasser) von $< 8 \%$,
einer geringen Porosität (max. 15 %) mit über
 $50 \% < 75 \text{ \AA}$, (Anteil der Totporosität) und mit
einer äußerst niedrigen Permeabilität von $\ll 1 \text{ m-Darcy}$

aus.

Die lithostratigraphischen und petrofaziellen Verhältnisse im Grubenbereich sind in Karten, Profilschnitten, Meßkurven, Diagrammen und Laborberichten dargestellt. Im besonderen sind dies:

- Stratigraphische Profile des Grubenbereiches auf der Basis der geologisch-petrographischen Schachtaufnahmen, der Laboruntersuchungen und der geophysikalischen Messungen in den benachbarten Aufschlußbohrungen,

- feinpetrographische Profilschnitte durch die quartären Ablagerungsbereiche in verschiedenen Richtungen,
- Fazieskarte für das Verbreitungsgebiet des Hilssandsteins,
- Röntgendiffraktometerdiagramme für die untersuchten Tonsteinproben aus den Schachtbereichen,
- Kornanalysen, Dünnschliffanalysen und Stereoscan-Aufnahmen an Ton- und Sandsteinen.

Für den Eignungsnachweis sind die folgenden petrographischen Erkenntnisse von entscheidender Bedeutung:

Das Deckgebirge besteht aus einer mächtigen Abfolge homogener Gesteinseinheiten, an denen im tieferen Deckgebirge wasserführende Formationen nur örtlich begrenzt und dort geringmächtig beteiligt sind.

Die abdichtenden Tonsteinformationen haben große laterale Verbreitung und erreichen über dem Erzlager Mächtigkeiten von 600 - 1000 m.

Die stark quellenden Tonminerale, besonders in der bis zu 300 m mächtigen Albformation, bewirken eine Selbstheilung von Rissen und Klüften im Gebirge.

Günstiges Verformungsverhalten der mächtigen Tonsteinformationen ist mitentscheidend für die regelmäßige Ausbildung und die gleichförmige Bewegung des Senkungstroges.

Generell gilt für die Geologie des Grubenbereiches, daß der festgestellte Bau der Lagerstätte vorteilhaft für die Errichtung eines Endlagers ist. Die Einlagerungskammern im Erzlager können unter Einhaltung der Sicherheitspfeiler zum Hangenden und Liegenden und zu den tektonisch gestörten Bereichen sicher angelegt werden. Die hydraulische Barrierenwirkung des Tonsteindeckgebirges kann unter Einbeziehung der Kenntnisse der Erdöllagerstättenbildung im Braunschweig-Gifhorner Raum, wo Tonmergel- und Tonsteine des Alb in den Fällen der Transgressionslagerstätten über Millionen von Jahren eine undurchlässige Lagerstättenabdichtung gebildet haben, für den Bereich der Grube Konrad und darüber hinaus als gesichert gelten. Wassereinträge aus dem oberflächennahen Bereich, die zu einer Gefährdung des Endlagers führen könnten, sind daher nicht zu erwarten. Umgekehrt verhindert diese Barriere auch die Ausbreitung eventuell freigesetzter Radionuklide, wobei die günstigen Sorptionseigenschaften der Tonsteine einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor darstellen.

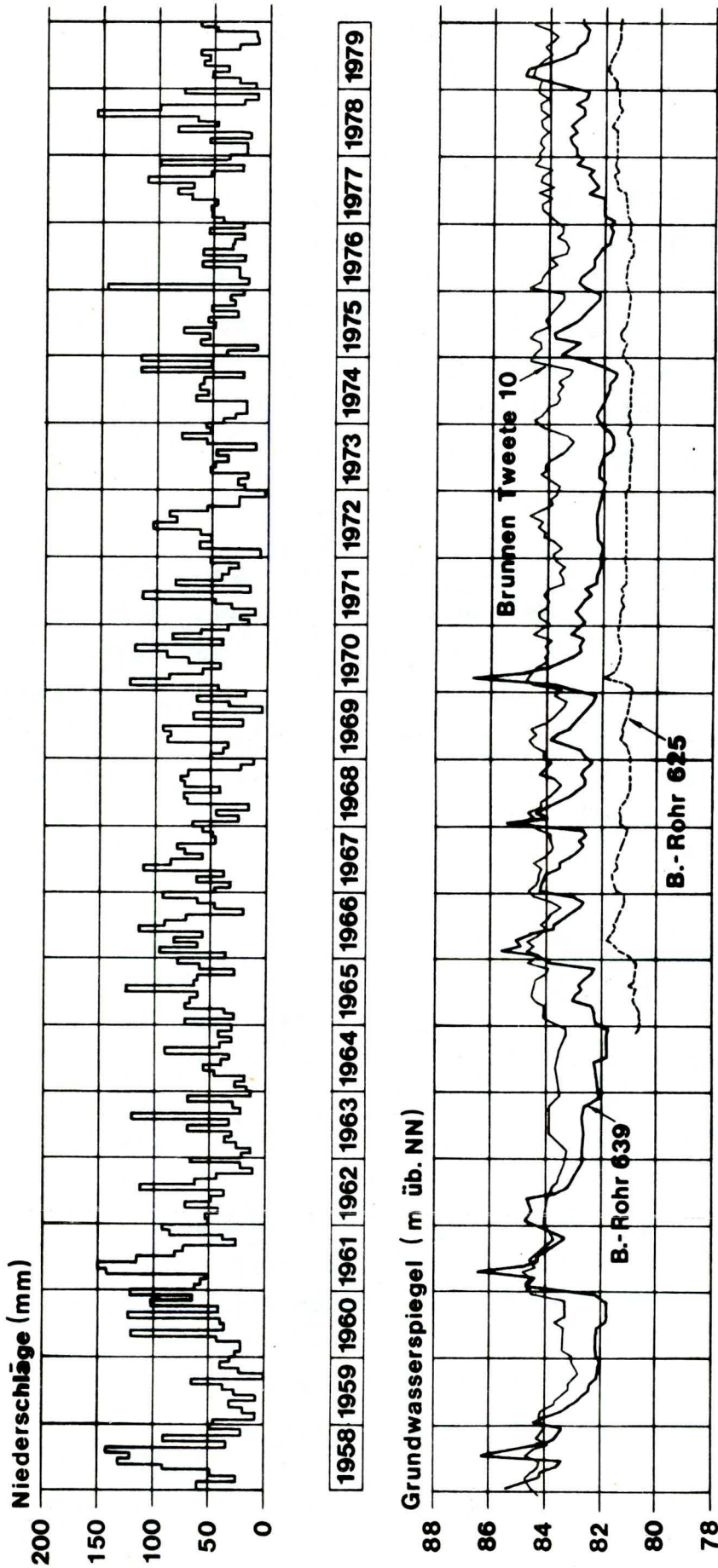
3. Hydrogeologische Untersuchungen

3.1 Hydrogeologische Situation der Grube

Zur Darstellung der Hydrogeologie im Bereich der Grube Konrad müssen in Ergänzung der oben beschriebenen lithostratigraphischen Verhältnisse die Ergebnisse aus den langjährigen Grundwasserpegelbeobachtungen und die beim Schachtabteufen durchgeführten Zuflußmengenmessungen herangezogen werden. Sie geben wichtige Hinweise auf das hydrodynamische Verhalten sowohl der oberflächennahen Lockersedimente als auch der tieferen Grundwasserformationen, im letzteren Fall vor der wirkungsvollen Abdichtung der Schachtröhren durch Zementeinpressung im Gebirge und Schachtausbau mit Betonformsteinen.

Unter dem Aspekt einer möglichen Beeinflussung der oberflächennahen Grundwasserverhältnisse durch bergbautechnische Maßnahmen wurden aus den Meßwerten zahlreicher Beobachtungs- und Wasserentnahmehäuser repräsentative Grundwasser-Ganglinien ausgewählt und mit einer gemittelten Niederschlagskurve für den Raum Vallstedt, Salzgitter-Lichtenberg und Salzgitter-Flachstökheim verglichen. Seit Juni 1978 stehen dafür auch die Meßdaten einer meteorologischen Station auf der Schachanlage Konrad zur Verfügung.

Die für den Vergleich herangezogenen drei Grundwasserbeobachtungspunkte erfassen die Grundwasserzustände sowohl in den Turon-Plänerkalken als auch in den quartären Kiesen und Sanden. Beide haben im Bereich der Schachanlage Konrad Kontakt miteinander, weshalb sie hier z.T. als hydrologische Einheit angesehen werden können. Der Brunnen 'Tweete 10' befindet sich senkrecht über dem Abbaufeld der 3. Sohle und damit in dem Bereich der größten, durch den Erzabbau verursachten, Oberflächensenkung. Das Standrohr 639 liegt etwa 1 km nördlich der Abbaufelder über unverritztem Gebirge, aber noch innerhalb des Senkungstroges. Das Rohr 625 liegt dagegen außerhalb des durch den Bergbau beeinflussten Oberflächenbereiches (Fig. 13).



Schachtanlage Konrad
Niederschläge und Grundwasserspiegel ab 1958
(nach Unterlagen der Salzgitter Erzbergbau AG und des Deutschen Wetterdienstes)

Fig. 13:

Eine Gegenüberstellung zeigt, daß alle 3 Ganglinien einen konformen, sich in einer gewissen Schwankungsbreite bewegendem Verlauf haben. Diese Tatsache ist ein klarer Anzeiger dafür, daß es zu Grundwasserspiegel-beeinflussenden gebirgsmechanischen Vorgängen über der Grube sowohl in der Zeit des Erzabbaus als auch danach nicht gekommen ist. Es existieren weder Anzeichen einer stärkeren plötzlichen Grundwasserabsenkung, wie sie durch das Abfließen des Wassers in Auflockerungszonen hinein eintreten könnten, noch verrät ein Anstieg des Grundwasserpegels ein verstärktes Absenken des Gebirges. Dabei ist gerade der Grundwasserspiegel ein deutlicher und empfindlicher Anzeiger für solche Vorgänge.

Das Quartärwasser wird durch das Wasserwerk der Hütte Salzgitter genutzt, das nur geringe Mengen in ein Verbundnetz u.a. mit dem Wasserwerk Börßum einleitet. Die Betriebswässer der Hütte werden ausschließlich für technische Zwecke gebraucht. Die Trinkwasserversorgung des Raumes Salzgitter-Braunschweig-Peine erfolgt über zentrale Wasserversorgungsnetze, wie das der Stahlwerke Peine-Salzgitter AG oder der Harz-Wasserwerke.

Beim Abteufen der Schächte Konrad 1 und 2 wurden Grundwässer in verschiedenen Formationen angeschlagen. Die Zulaufmengen aus den präquartären Grundwasserstockwerken wurden in einzelnen Teufenabschnitten gemessen und der Chemismus der Wässer analysiert. In Schacht Konrad 1 wurden die beim Abteufen aus den geklüfteten oberkreidezeitlichen Plänerkalken zulaufenden Wässer durch Zementinjektionen abgesperrt. Die Anfangszuflüsse beziehen sich auf den Gesamtzufluß bis zur jeweiligen Meßteufe (500 l/min bei 35 m, 180 l/min zwischen 80 und 95 m, 500 l/min im Abschnitt 120 - 150 m). Danach ließen die Zuflüsse rasch nach und blieben ab 195 m Teufe völlig aus. Schon während des Abteufens gingen die Schüttungen aus dem Plänerbereich auf 54 l/min zurück. Bei 1110 m trat im untersten Teil des Kimmeridge ein Salzwasser-Zulauf von 0,5 l/min mit 130 g Cl/l und 44,7 °C Temperatur auf. Dieser Zulauf ist nicht mehr nachweisbar. Alle angegebenen Wassermengen entsprechen den erfahrungsgemäß maximalen Anfangsmengen nach dem ersten Anschlag unberührter Grundwasserstockwerke. Der Gesamtzufluß in

Schacht 1, der sich heute auf ca. 0,2 l/min eingestellt hat, beweist die wirkungsvolle Abdichtung durch die Verpressung des Schachtmantels bis in 170 m Tiefe und die in diesem Abschnitt 75 bis 110 cm starke Ausmauerung.

Beim Schacht Konrad 2 wurden die bis zu 36 m mächtigen quartären Lockersedimente im Senkschachtverfahren durchteuft. Hierbei ließ man einen Betonmantel mit Eisenarmierung in das zu durchteufende Gebirge absinken. Dieser Senkkörper, der die geschlossene Schachtwandung darstellte, war unten offen und zwecks besseren Eindringens in die Sohle mit einem Schneid Schuh versehen. Das Niedersenken geschah durch das Eigengewicht des Körpers bzw. durch Wegnahme des Gesteins unter dem Schneid Schuh und im Innenraum der Schachtröhre. Der Außendurchmesser des Schneid Schuhs war ca. 10 - 20 cm größer als der des Senkkörpers, um so zwischen Gebirge und Senkkörper einen Ringraum zu schaffen, der zunächst mit einer Gleitflüssigkeit ausgefüllt und später zementiert wurde. Um das Wasser fernzuhalten, wurde eine Art Taucherglocke im unteren Teil des Senkkörpers eingebaut, die zur Sohle offen war und die unter Überdruck stand. Mannschaften und Material wurden durch eine Schleuse nach über Tage transportiert. Beim Erreichen des Festgesteins bei etwa 35 m Teufe wurde der Senkkörper festgesetzt und der Schacht mußte durch Bohr- und Schießarbeit weiter geteuft werden, da das Senkschachtverfahren nur im Lockergestein anwendbar ist. Zuvor wurde bis 91,5 m vorverpreßt (Ober-Turon). Anschließend wurde bei 69,5 - 164,5 m (Ober- und Unter-Turon) und 136,7 - 240 m (bis Unter-Cenoman) gegen Wasserzuflüsse aus den Teufenbereichen 66 m, 106 m und 136 m mit einer maximalen Gesamtmenge von 155 l/min nochmals Zement verpreßt. Danach waren keine weiteren Abdichtarbeiten notwendig.

Beim Niederbringen des Schachtes wurde in einer Teufe von 469 - 470,1 m wasserführender Hilssandstein mit ca. 500 l/min Zufluß angetroffen. Innerhalb zweier Tage ging die Zuflußrate auf 250 l/min zurück. Es wurden 214 bis zu 3,5 m tiefe Bohrlöcher

sowohl mit Polythixon als auch mit Zement verpreßt. Wirkungsvoller war die Einpressung von insgesamt 281 t Zement, wodurch der Zulauf auf etwa 60 l/min abgesenkt wurde, so daß die Abteufarbeiten ohne Behinderung fortgeführt werden konnten.

Wesentlich geringere kluftgebundene Wasserzuflüsse traten noch einmal in 864 - 878 m Teufe im Unteren Korallenoolith auf. Die anfangs gemessene maximale Gesamtmenge betrug 30 - 90 l/min, die dann aber mit normalen Verpreßarbeiten beseitigt werden konnte.

Beim Vorbohren im Schacht 2 wurde 3 m unterhalb der Schachtsohle in 1001 m Teufe ein Wasseraustritt beobachtet. Es handelte sich dabei um Wasser aus einer Cornbrash-Sandflaserpartie im oberen Dogger, der hier eine Topstruktur bildet. Die Bohrlöcher wurden zementiert. Ein Wasserzutritt von dort ist nicht mehr möglich.

Nach dem Abteufen des Schachtes Konrad 2 wurde der Bereich des Hilssandsteins nochmals abgedichtet. Dazu wurde die Schachtwandung in einer Teufe von 466,3 - 470,9 m zum Teil geöffnet und der Hilssandstein bis auf 3,3 m ab Schachtinnenkante aufgewältigt. Danach wurden die Stöße geankert, mit Maschendraht gesichert und torkretiert. Am Hilssandstein blieb eine Schotterfuge, davor wurde eine Abschlußmauer von etwa 50 cm Stärke aus Betonformsteinen gesetzt (Fig. 14). Im Liegenden des Hils wurden Entlastungsrohre eingesetzt, die bis in den Bereich der Schotterfuge reichten und die einen kontrollierten Ablauf des Hilswassers während der Abdichtarbeiten möglich machten. Die Schachtwandung konnte nun wieder hochgezogen werden, ein Anschlußmauerwerk an die alte Schachtwand wurde erstellt und der Hohlraum zwischen Schachtwand und Betonformsteinmauer wurde in 7 Abschnitten mit über 200 m³ Beton insgesamt ausgefüllt. Nach jedem Betonierabschnitt wurde ein Kranz von Rohren eingebracht (7 Kränze insgesamt), durch die nach Abschluß der Betonierarbeiten die Zementation erfolgte. Nach der ersten Zemen-

tation wurden die Entlastungsröhre geschlossen, wobei der hydrostatische Druck auf 7 atm stieg. Es folgten innerhalb von 6 Tagen noch 5 Nachzementierungen. Zum Abschluß wurden vom Hangenden des Hilssandsteins noch 8 ca. 3,5 m lange Löcher gebohrt, um die Schotterfuge ebenfalls zu verpressen. Der Wasserzufluß ging nach diesen Arbeiten sofort auf max. 15 l/min zurück und hat sich seitdem weiter verringert. Alle Wässer, die sich oberhalb 658 m Teufe an der Schachtwandung sammeln, betragen heute einschließlich der Kondenswässer 18 l/min und werden in der Wasserstrecke zur betrieblichen Nutzung gesammelt.

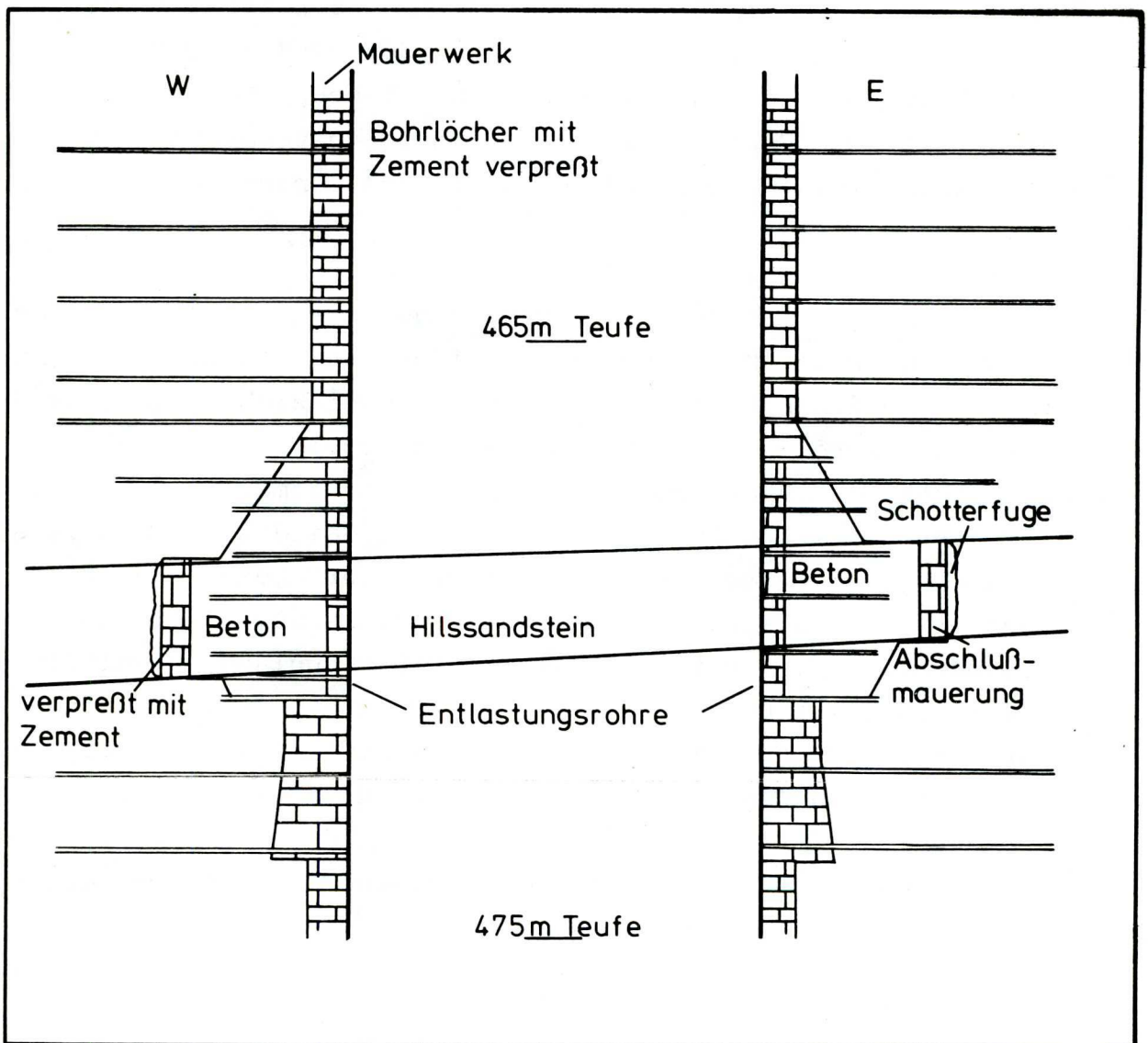


Fig. 14: Schema der Ausmauerung und Abdichtung im Bereich des Hilssandsteins in Schacht Konrad 2

Ohne an dieser Stelle genauer darauf einzugehen, muß festgestellt werden, daß der typische Hilswasserhorizont, wie er aus der Innerste-Mulde bekannt ist und wo er auch in großen Teufen (1800 m) als Süßwasserträger (70 bis 110 mg Cl⁻/l) angetroffen wird, hinsichtlich Kapazität, Ausdehnung und Oberflächenkontakt mit demjenigen im Schacht Konrad 2 in keiner Weise vergleichbar ist. Das hochmineralisierte Wasser in der dünnen Feinsandsteinlage ist hier als ein fossiles Standwasser ohne direkten Grundwassereinfluß aus oberflächennahen Bereichen einzustufen.

In der näheren Umgebung der Schachtanlage Konrad sind insgesamt 8 Erkundungsbohrungen abgeteuft worden, von denen 3, die Bohrungen Bleckenstedt 1 und 4 und die Bohrung Sauingen 2, im unmittelbaren Grubenbereich stehen. Derartige Bohrlöcher müssen nach der Tiefbohrverordnung so verfüllt werden, daß sich zwischen wasserführenden Horizonten keine hydraulischen Verbindungen bilden können. Der Verfüllungsplan muß beim zuständigen Bergamt eingereicht werden und wird von dort nach Genehmigung kontrolliert.

Das Verfüllen der Aufschlußbohrungen geschieht sofort nach deren Beendigung, weil ohne Spülungsumlauf unverrohrte Löcher nicht gehalten werden können. Dabei werden - wenn nicht durchgehend zementiert wird - die Erzhorizonte vom Bohrlochtiefsten bis mindestens 10 m über Kopf der Erzformation zementiert und alle bekannten Wasserstockwerke, zum Beispiel das des Plänerkalkes, durch eingebaute Stopfstrecken und Zementbrücken gesondert abgesperrt. Es bleibt keine Bohrlochstrecke unverfüllt. Zwischenbereiche sind mit angereicherter Dickspülung aufgefüllt. In 2 m Teufe ist bei jedem Bohrloch eine Zementplatte eingebaut. Daher ist es nirgendwo - auch nicht im Schacht Georg in Salzgitter-Ringelheim mit dem mächtigen Hilswasserhorizont im Hangenden oder in Peine mit dem wasserführenden Tertiär im Deckgebirge - zu Wasserzuläufen aus Bohrungen gekommen, die vom Tiefbau direkt angeschlagen wurden.

Im Grubenfeld Konrad, wo die Verhältnisse noch sehr viel günstiger sind, brachten die beiden im bisherigen Abbaubereich überhaupt vorhandenen und vom Streckenverlauf berührten Bohrungen Bleckenstedt 1 und 4 kein Wasser in die Grube.

Während des Erzabbaus wurden Wasserzutritte in verschiedenen Teilen des Grubengebäudes festgestellt. Es waren durchweg hochmineralisierte Kluftwässer des Korallenooliths, von denen die überwiegende Anzahl bald nach ihrem Anschlag versiegten. Die restlichen bilden mit einer Gesamtschüttung von < 8 l/min heute nur noch Sickerwasser- und Tropfstellen. In dieser Menge sind die abfließenden Restwässer des ehemaligen Spülversatzbetriebes ebenso enthalten wie die Betriebswässer, mit denen z.B. die Fahrbahnen zwecks Staubniederschlagung regelmäßig befeuchtet werden.

Im Rahmen der Untersuchungen werden diese Wässer, die sich in den 23 existierenden Pumpensümpfen sammeln, von denen 21 auf das Grubenrevier und 2 auf die Schächte verteilt sind, durch automatische Pegelschreiber und durch regelmäßige manuelle Messungen kontrolliert. Der Sickerwasserzutritt ist in der gesamten Beobachtungszeit in der Mehrzahl der Sümpfe mit Raten von ca. $0,2$ l/min und weniger nicht nur äußerst gering, sondern auch gleichmäßig gewesen. Bei einzelnen wenigen Sümpfen betragen die Schüttungen maximal $2,0$ bis $2,8$ l/min. Hier kann sich ein verstärkter Einfluß durch die ins Revier eingeleiteten Spritz- und Frischwässer bemerkbar machen, besonders da beide in Streckenabschnitten angelegt sind, in denen häufiger Fahrbetrieb stattfindet.

Durch die Messungen konnten auch in 1979 gegenüber den letztjährigen Beobachtungen keine entscheidenden Änderungen festgestellt werden. Der im Streckennetz gemessene Gesamtzulauf hat sich im Jahr 1979 von durchschnittlich ca. 8 l/min auf unter 6 l/min verringert.

3.2 Chemische Analyse der Grubenwässer

Die Grubenwässer wurden im 1/4-Jahresturnus durch Temperatur- und Dichtemessungen überwacht, um bei einer Änderung dieser Werte kurzfristig auf eine Beeinflussung entweder durch Oberflächen- bzw. Betriebswässer oder zusickerndes Formationswasser schließen zu können. Dazu erfolgte anfangs halbjährlich und später jährlich die Kontrolle der Wässer durch chemische Analysen mit Bestimmung der Chlorid-, Natrium-, Calcium-, Magnesium-, Sulfat-, Kalium- und Lithium-Gehalte und, soweit die Konzentrationen nicht zu gering waren, auch der Hydrogenkarbonat-, Karbonat- und Kohlendioxid-Gehalte.

Die Beobachtung der wichtigsten Kationen und Anionen über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg hat ergeben, daß sowohl die Ionenverteilung als auch die Salinität der Tiefenwässer bis auf geringste Unterschiede, die innerhalb der analytischen Nachweis- und Verfahrensgenauigkeit liegen, unverändert geblieben sind. Die Kationengehalte von Sickerwässern verschiedener Teufenbereiche, wie sie sich nach Auswertung der Analysen des Jahres 1979 darstellen (Fig.15), entsprechen auffallend den bereits in 1976 ermittelten Werten. Daraus ergibt sich die wichtige Aussage, daß eine langsame Verdünnung des hochsalinaren Grubenwassers durch Zumischung gering salinaren Wassers, wie es in oberflächennahen Bereichen angetroffen wird, oder von ausgesprochenem Süßwasser nicht stattfindet.

Dominierendes Kation ist das Natrium, gefolgt von Calcium und Magnesium. Bei den Anionen bilden die Chloridgehalte ein starkes Übergewicht. Die Konzentrationsbeziehungen entsprechen denjeni-

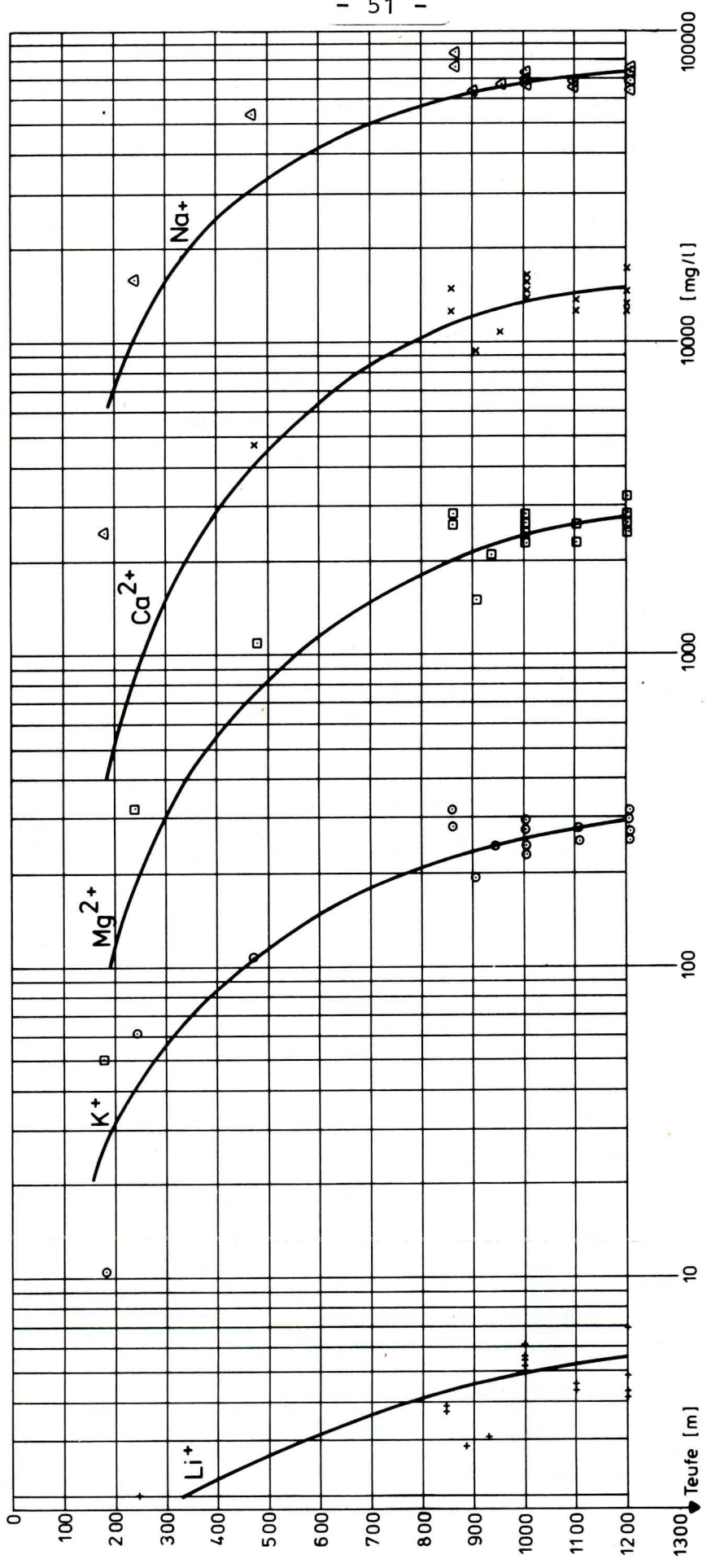


Fig. 15: Kationengehalte in Abhängigkeit von der Teufe, Analysen Juli 1979

gen der Tiefenwässer Nordwestdeutschlands (RICHTER & LILLICH, 1975), die in der Regel nicht am meteorologischen Kreislauf teilnehmen und für die geringe Sulfat- und Hydrogenkarbonat-gehalte typisch sind. Derartige Chloridwässer werden in der Literatur z.T. als diagenetisch verändertes fossiles Meerwasser aufgefaßt.

Aufgrund der langjährigen Analysenergebnisse und unter Berücksichtigung der letzten Spurenelementbestimmungen können für den natürlichen Chemismus des Korallenoolith-Tiefenwassers folgende Gehalte als repräsentativ gelten:

Li^+ 3,5 mg/l, Na^+ 64,5 g/l, K^+ 286 mg/l, Ca^{++} 13,5 g/l, Mg^{++} 2,38 g/l, Sr^{++} 326 mg/l, Ba^{++} 2 mg/l, Fe^{++} 42 mg/l, Mn^{++} 5 mg/l, Zn^{++} 3,8 mg/l, Cu^{++} 0,1 mg/l, Pb^{++} 0,5 mg/l, Cr^{++} 0,01 mg/l, V^{++++} 0,1 mg/l, Cl^- 130 g/l, Br^- 860 mg/l, J^- 30 mg/l, SO_4^{--} 733 mg/l, BO_3^{---} 68 mg/l.

Zum Nachweis formationsspezifischer Spurenelementgehalte in oberflächennahen Grundwässern und in Tiefenwässern wurde eine große Anzahl von Quellen und Erdölbohrungen im Großraum Braunschweig-Salzgitter-Peine beprobt. Die Wässer stammen aus verschiedenen Horizonten der Kreide, des Juras und der Trias. Ein Vergleich der chemischen Analysenergebnisse zeigt, daß die Korallenoolithwässer der Grube wie auch anderer Vorkommen sich durch hohe J-, Br- und BO_3 -Gehalte von den übrigen untersuchten Formationswässern unterscheiden. Letztere enthalten nur vereinzelt und unabhängig voneinander höhere Anteile dieser Ionen, die in ihrer Gesamtmenge immer deutlich unter den Konzentrationen des Korallenoolithwassers bleiben.

Von den Formationswässern, die in anderen Teilen des Gifhorner Troges im überlagernden Deckgebirge des Korallenooliths vorkommen, haben Wässer aus dem Valangin erhöhte Br- und BO_3 -Werte. Die Jodgehalte liegen mit 10,4 mg/l dagegen wesentlich niedriger als die des Korallenoolithwassers, die zwischen 23 und

Anzahl Analysen	O/T	Formation	Na ⁺	Li ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Sr ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	BO ₃ ³⁻	J ⁻	pH
1	O	Oberkreide	480	0,15	504	46,41	5,14	6,1	979	878	1,21	5,3	0,16	6,79
2	O	Hils	8,5 - 51	0,1 - 0,5	15 - 522	3,1 - 42	1,8 - 3,8	- 3,0	19 - 99	41 - 919	-0,13	0,2 - 1,0	0,06-0,78	5,3 - 7,1
1	O	Neokom	22	0,18	149	13	2,4	2,8	51	106	0,0	1,0	0,1	7,5
2	T	Neokom	27000 - 37000	3,85	3700 - 6600	899 - 1013	196 - 216		59000 - 68500	138	98	152	6,6	6,0 - 6,1
1	T	Valangin (1953)	1300		784	71			2059	1787				
15	T	Valangin	41000 - 117000	2,3 - 7,3	2350 - 17500	540 - 3340	260 - 600		63000 - 181000	- 830	565	79 - 107	10,4	6 - 6,7
16	T	Wealden	14600 - 65500	- 12	640 - 6000	- 1480	100 - 1500	60 - 406	24350 - 122000	- 160	- 194	- 80	- 7,8	5,5 - 7,0
3	T	Malm (z. T. Korallenolith)	49000 - 90000		7000 - 23000	1000 - 4500	-	-	98000 - 195000	140 - 1000	100 - 900		- 4	-
14	T	Dogger β	47000 - 74110	- 1	2410 - 11000	566 - 1700	150 - 400	- 580	24350 - 125000	- 300	80 - 250	117 - 165	9 - 20	6 - 6,5
1	T*	Lias α	2800	0,64	249	60	14	9,5	4380 - 154000	496	6,5	29	0,23	7,5
6	T	Lias α	63500 - 84500	2,7 - 3,8	7990 - 9340	1060 - 1950	240 - 831		115000 - 154000	270 - 523	176 - 268	166 - 333	- 11	4,8 - 6,3
4	O/T*	Keuper	7 - 2580	0,4 - 0,7	76 - 610	14 - 73	0,34 - 11	0,05 - 8	23 - 2814	55 - 2874	3,98	0,4 - 17	- 0,1	6,7 - 7,2
8	T	Keuper (Rhät)	7000 - 69100	11 - 116	442 - 18700	81 - 2380	64 - 516		10700 - 142300	- 362	- 1140	411 - 587	- 18	5,8 - 7,2
3	O	Muschelkalk	9,6 - 444	0,24 - 0,25	144 - 492	20 - 94	1,5 - 4,8	2,4 - 7,5	16 - 1080	150 - 807	- 0,2	- 0,8	0,0	6,9 - 7,5
2	O	Buntsandstein	4,18 - 40,18	0,16 - 0,3	70 - 572	10 - 93	0,91 - 3,7	- 5,5	13 - 48	36 - 1630	0,06 - 0,2	0,2 - 2,3	0,0	6,9 - 7,2
1	T	Zechstein	106000	0,83	1310	896	1147	30	175100	281	69	62	0,31	6,75
		Konrad:												
	T	Hils	54500	0,49	4470	628	110	550	95000	347	191	39,7	8,44	6,3
	T	5. Sohle, Lokschuppen	64500	3,5	13500	2380	286	326	130000	733	860	68	30	-

Analysenwerte in mg/l

*: Proben z.T. aus der Grube Haverlahwiese

T = Tiefenwasser

O = Oberflächenwasser

Tab. 3: Tabellarische Auflistung der festgestellten chemischen Gehalte von Oberflächen- und Tiefenwässern im Gebiet Salzgitter-Braunschweig-Peine

34 mg/l variieren. Das Hilssandsteinwasser und auch die Wässer aus dem Wealden enthalten um den Faktor 2 - 4 geringere Anteile dieser Ionen. Die Wässer der Oberkreide sind generell weniger stark mineralisiert.

Die Korallenoolithwässer als solche zeichnen sich in erster Linie durch einen deutlich höheren Bromgehalt gegenüber den anderen Formationswässern aus. Die Bromgehalte von 700 - 900 mg/l entsprechen auffällig den in den Grubenwässern Konrad bestimmten Werten (Tab. 3).

3.3 Isotopenuntersuchungen an Grubenwässern

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

Der Einfluß des benachbarten Salzstockes von Broistedt auf die Salinität der Grubenwässer wurde durch S-Isotopenbestimmungen eingehender untersucht. In Zechsteinsulfaten liegen die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte zwischen + 7,5 und 13 o/oo, die sich bei Salzstockablaugung auf die entsprechenden Salzwässer und Laugen übertragen. Die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Grubenwässer fallen in einen weiten Streubereich von - 3,3 o/oo bis + 21,7 o/oo. Derartige große Schwankungen sind aus autochthonen Formationswässern nicht bekannt. Eine zumindest teilweise Verfälschung, z.B. durch Betriebswässer, ist daher nicht auszuschließen.

Für die Sickerwässer des unteren Kimmeridge und oberen Korallenoolith mit vorwiegend Ton- und Mergeltonsteinen und Anhydritlagen wurden $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von + 10,1; + 10,5 ‰ festgestellt. Die Wässer aus dem Haupterzlager des mittleren Korallenoolith enthalten + 18,8; + 21,7 ‰ $\delta^{34}\text{S}$ und aus dem unteren, mittleren und oberen Korallenoolith sowie aus dem Dogger Zeta + 6,5; + 4,5; - 3,3 ‰ $\delta^{34}\text{S}$.

Die petrographisch-stratigraphische Zuordnung der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte zeigt, daß nur das Schwefelisotopenverhältnis im Hangenden des Erzlagers die für Zechsteinsulfate ausgewiesene Größenordnung besitzt. Dies kann seine Ursachen in dem Auftreten der Anhydritlagen oder aber auch in Salzaustritten aus alt angelegten Zechstein-Salzstöcken in die jeweiligen paläogeographischen Ablagerungsräume haben. Rezente Wasserverbindungen zu den heutigen Salzstöcken lassen sich daraus jedoch nicht ableiten. Die Wässer aus dem Haupterzlager entsprechen mit ihren Werten dagegen den aus der Literatur bekannten Malm- und Dogger-Werten, auch was den geringen Streubereich anbelangt. Die Werte in den im Liegenden vorkommenden Wässern sind erheblich niedriger und können durch Lösung sedimentären Pyrits und einem damit verbundenen Freiwerden von leichtem Schwefel beeinflusst worden sein. Ähnliche Werte sind aus Untersuchungen an bituminösen Tonsteinen bekannt geworden. Daneben lassen sich die niedrigen Werte durch Zumischung von aus oxidierten Sulfiden entstandenem Sulfat erklären.

Auffallend ist der extrem hohe $\delta^{34}\text{S}$ -Wert für das Hilswasser mit + 40,4 ‰. Die Ursache für das hohe ^{34}S -Übergewicht kann die verstärkte Pyritführung im Feinsandsteinbereich und eine überproportionale Bindung des leichten Schwefels an den Pyrit sein. Dieser Wert liegt bezeichnenderweise weit außerhalb der Schwefelisotopenverhältnisse der Grubenwässer, so daß allein aufgrund dieses Unterschiedes eine Kommunikation ausgeschlossen werden kann.

Tritiummessungen wurden im Übertagebereich in regelmäßigen Intervallen an Niederschlagsammelpföben vorgenommen. Die ermittelten Werte für die Zeit vom 14.5.1979 bis 10.9.1979 schwanken zwischen $9,0 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$ und $1,7 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$. Für die H 3-Konzentration des einziehenden Wetterstroms am Schacht 1 wurden am 8.6.1979 $(8,16 \pm 0,748) \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$ gemessen. Die Tageswerte im Unterwerksbau der 1200 m-Sohle betrugten $(3,14 \pm 0,706) \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$ und für den Gesamtausziehstrom am Schacht 2 $(5,48 \pm 1,121) \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$.

In der Treufelrinne in 474 m Teufe im Schacht 2, in der sich die aus dem Wetterstrom abregnenden Wässer sammeln, wurden $(1,28 \pm 0,969) \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$ analysiert. Dieser Wert ist durchaus mit den Niederschlags- und Kondensatwerten der Grubenwetter vergleichbar.

Demgegenüber sind die für das Hilswasser mit $(2,4 \pm 1,8) \times 10^{-9} \mu\text{Ci/ml}$ und für das Grubenwasser mit $(8,42 \pm 1,94) \times 10^{-9} \mu\text{Ci/ml}$ festgestellten Werte um den Faktor 10^2 niedriger und ein Beweis dafür, daß eine direkte Zumischung von oberflächennahen Grundwässern nicht stattfindet. Die geringe Restkonzentration ist auf Luftkontakt bei der Probenentnahme zurückzuführen.

3.4 Wassermengenbilanz

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

- Sickerwässer, die sich an den verschiedenen Pumpensämpfen sammeln, werden in den Hauptsumpf geleitet und von dort in ein Rückhaltebecken nach über Tage gepumpt. Die aus den Monatswerten abgeleitete durchschnittliche Pumpmenge für den Gesamtzulauf in den Revieren und in Schacht 2 liegt bei 20 l/min.
- Kondens- und Regenwasser, das sich im Schachtsumpf 1 sammelt und einmal jährlich gehoben wird, beläuft sich auf 0,2 l/min.

- Verdunstungswasser, das vom Wetterstrom aufgenommen wird und über den ausziehenden Wetterschacht die Grube verläßt, wird durch wöchentliche Wettermessungen bestimmt. Die kalkulierte Feuchtigkeitsmenge beträgt 40 - 80 l/min.
- Betriebswasser, das zur Staubbiederschlagung und Bohrarbeit verwendet wird, verläßt in geringen Mengen mit dem Fördergut die Grube. Der geschätzte Feuchteaustrag liegt bei 1 l/min.

Für die Genauigkeit der regelmäßigen betrieblichen Wettermessungen gilt einschränkend, daß die bisher durchgeführten Handmessungen allein nicht repräsentativ sind. Darüber hinaus wurden diese Messungen während der eigentlichen Betriebszeit, meist bei eingeschalteten Lüftern, durchgeführt. Erfahrungsgemäß muß der tatsächliche Feuchteaustrag auf dem Wetterweg niedriger als der kalkulierte Wert angenommen werden, da bei geringer Wettergeschwindigkeit auch die Menge der transportierten Wetterfeuchte abnimmt.

Dem kumulierten Wasseraustrag aus der Grube steht die eingeleitete Frischwassermenge gegenüber. Aus der Differenz ergibt sich eine angenäherte Wasserbilanz für die gesamte Feuchtigkeitsabgabe des Gebirges und des ehemals eingebrachten Spülversatzes. Die ermittelten monatlichen Durchschnittswerte zeigen einen deutlichen Abwärtstrend. In den Sommermonaten 78/79 wurde bei angenähert gleich großen Grubenwettermengen eine Abnahme dieser Gesamtfeuchte um ca. 25 % festgestellt. Die an den Pumpensümpfen im Revier gemessenen Wasserzulaufmengen verhalten sich entsprechend (Fig. 16).

Die Verringerung des Feuchteaustrages und der Einfluß, den die Verminderung der Gebirgsfeuchte und eine Verkittung des effektiven Porenvolumens durch Salzausscheidungen haben, wird durch spezielle Untersuchungen in einer Wetter-Test-Strecke näher bestimmt.

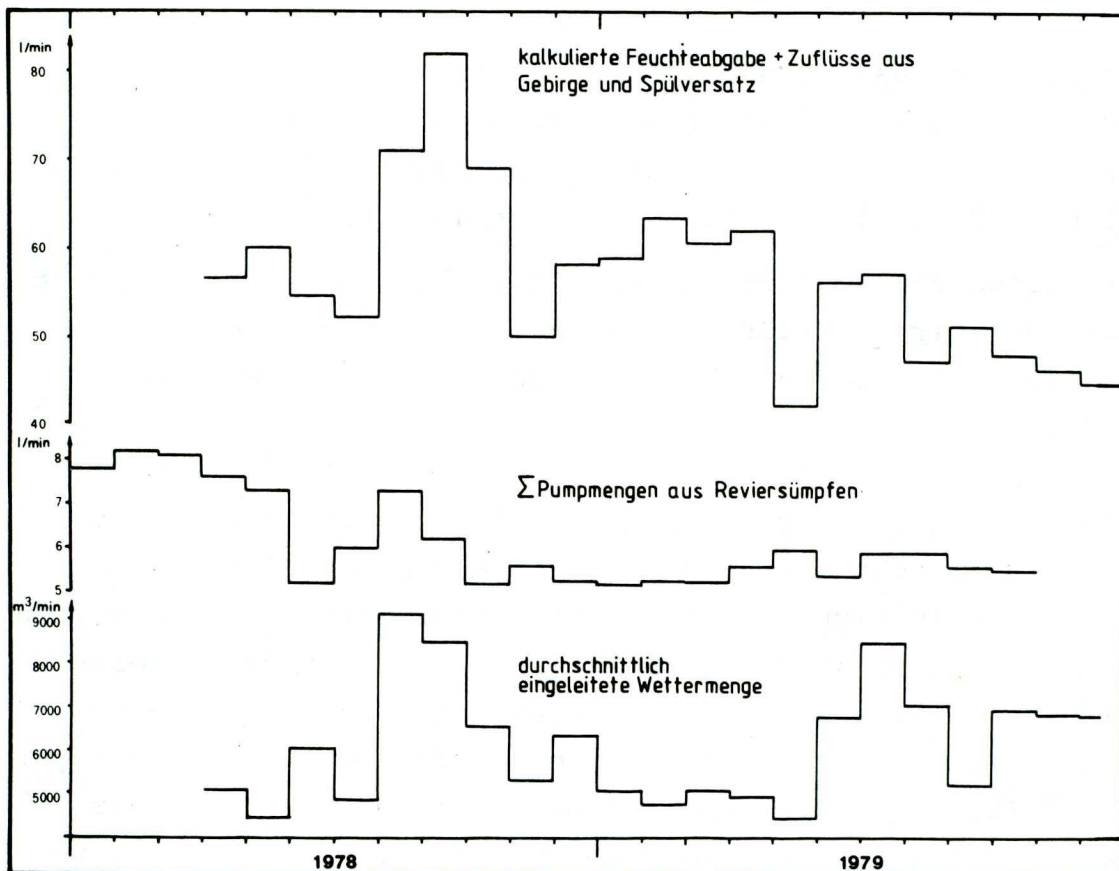


Fig. 16: Feuchteabgabe des Gebirges, kalkuliert auf der Basis der gemessenen Werte für die Feuchtigkeitszunahme der Grubenwetter und der Sicker-/Spülversatzrestwässer

3.5 Zusammenfassung der bisherigen hydrogeologischen Untersuchungsergebnisse

Hauptwasserführende Horizonte sind die pleistozänen Sande und Kiese und die Plänerkalke der Oberkreide. Beide haben Kontakt miteinander und bilden eine hydrogeologische Einheit. Sie streichen im gesamten Gebiet um die Schachanlage aus und werden durch Niederschläge und durch Zuflüsse aus entfernteren Verbreitungsgebieten aufgefüllt. Die oberflächennahen Wässer haben Trinkwasserqualität. Die Wässer des Cenomans und gebietsweise auch des Turons sind salzhaltig.

Die Schachtröhren sind im Bereich des Quartärs und der wasserführenden Oberkreideschichten mit den im Bergbau bewährten Verfahren wasserdicht ausgebaut.

Die wasserführenden Horizonte sind um den Schacht herum mit Dichtmasse, z.B. Zement, verpreßt. Die heutigen Wasseraustritte in den Schächten liegen pro Minute im Literbereich und sind wegen ihrer geringen Menge einzeln nicht meßbar.

Die im Schacht 2 bei 470 m vorhandene 1 m mächtige Hilssandsteinbank brachte beim Durchteufen einen Wasserzufluß. Das Gestein wurde verpreßt und die Schachtröhre wurde zur Absicherung gegen weiteren Wasserzutritt in dieser Zone besonders ausgemauert. Der heutige Zulauf, der in einer Treufelrinne gesammelt wird, liegt ebenfalls im Literbereich.

Das Wasser ist hochsalinar und in keiner Weise mit den Wässern des Hilssandsteins in dem weiter südlich gelegenen Verbreitungsgebiet vergleichbar. Das fossile Standwasser unterstreicht den atypischen Charakter dieser Hilssandsteinbank. Der starke Schluffanteil und die reduzierte Mächtigkeit weisen sie als Randfaziesbildung aus. Ihr hydraulisches Potential ist danach wesentlich geringer einzuschätzen als das des normalen Hilssandsteins.

Bei den Grubenwässern handelt es sich um Restwasser aus dem Spülversatz und um Formationswasser aus dem Korallenoolith. Die Wässer, die aus dem Gebirge einsickern, sind hochsalinare, fossile Standwässer vom Typ der norddeutschen Tiefenwässer ebenso wie die wenigen Kluftwässer, die bei Streckenauffahrungen lokal angetroffen wurden und die bald nach ihrem Anschlagen versiegten. Sie haben einen spezifischen Chemismus im Spurenelementbereich und enthalten keine Radioisotope aus der Zeit der atmosphärischen Kernwaffenversuche. Sie nehmen nicht am meteorologischen Kreislauf teil und sind mit diesem über wirkungsvolle hydraulische Leiter auch nicht verbunden. Das Wasserpotential im Erzhorizont und seinen umgebenden Gesteinen ist sehr begrenzt.

Der gesamte Wasserzulauf in den Revieren hat sich von ca. 8 l/min in 1978 auf ca. 6 l/min in 1980 verringert. Im Schacht 2 sammeln sich durch das Abregnen der ausziehenden Wetter und als Tropfwässer etwa 20 - 30 l/min.

Die Aussagen zur Hydrogeologie der Grube und ihres Deckgebirges basieren auf:

- chemischen Analysen an Formations- und Grubenwässern aus der Zeit des Schachtabteufens und danach,
- Spurenelementbestimmungen an den Grubenwässern, den erreichbaren Formationswässern sowie an Quell- und Erdölbegleitwässern der Umgebung,
- Isotopenmessungen an Gruben- und Deckgebirgswässern,
- Wassermengenmessungen in den Schacht- und in den Pumpensümpfen in den Revieren und auf
- Grundwasserpegelmessungen im näheren Übertagebereich.

Für den Eignungsnachweis ist aus hydrogeologischer Sicht von Bedeutung, daß ein Zusickern von Deckgebirgs- und Oberflächenwässern in die Grubenbaue, wie sie heute bestehen, nicht stattfindet.

Auch durch die bergbaulichen Abbauarbeiten und die damit in Verbindung stehende Tagesoberflächenabsenkung sind bisher keine neuen Wasserwege im Deckgebirge erzeugt worden, an denen Grundwasser aus oberflächennahen Horizonten zugelaufen ist. Störungen der natürlichen hydrogeologischen Verhältnisse sind, ausgelöst durch die Abbauauswirkungen, nicht erkennbar. Ein Wasserzulauf aus dem Erzlager selbst wird wegen des geringen Wasserpotentials nur in säkularen Zeiträumen geschehen und dann nur zur Füllung von Resthohlräumen ausreichen. Weder die Aufschlußbohrungen - wegen der durchgeführten Verfüllmaßnahmen - noch die Schächte - wegen der bergtechnischen Sicherungsmaßnahmen - sind künstliche Wasserleiter.

Einzulagernde, konditionierte Abfälle sind aufgrund dieser Tatsachen hydrologisch nicht gefährdet. Nach Verfüllung der Schächte kann wegen des Fehlens effektiver Wasserleiter im Deckgebirge, im Erzhorizont und in den Schachtbereichen ein Transport eventuell freigesetzter Nuklide aus dem Endlagerbereich bis hinein in die Biosphäre nicht stattfinden.

4. Gebirgsmechanische Untersuchungen

4.1 Markscheiderische Standort- und Grubenüberwachung

Bei der Beurteilung der Eignungsfähigkeit der Grube Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe ist aus Sicht der Gebirgsmechanik die Standsicherheit des Grubengebäudes mit seinen existierenden Hohlräumen und den noch aufzufahren- den Einlagerungskammern von besonderer Bedeutung.

Die für Standfestigkeits- und Tragfestigkeitsberechnungen erforderlichen Daten lassen sich mit Hilfe geeigneter Labor- und in situ-Versuche und aus einer Auswertung der markscheiderischen Messungen ermitteln. Dabei ist zuerst die Begutachtung der noch zu erwartenden Auswirkungen des 1976 eingestellten Erzbergbaus auf die Geländeoberfläche, das Deckgebirge und das Grubengebäude durchzuführen.

Die markscheiderischen Messungen wurden im Hinblick auf die Geschwindigkeit und die Beträge der Gebirgssenkung sowie die räumliche Ausbreitung des Senkungstrogos während und nach dem Eisenerzabbau ausgewertet. Dabei basiert die Analyse der über- tätigen Bewegungen auf Feinnivellementaufnahmen entlang von Beobachtungslinien, die bereits vor Beginn des Abbaus, den voraussichtlichen Einwirkungsbereich überdeckend, eingerichtet wurden. Die Messungen erfolgten bis 1968 und nach 1976 jährlich, in dem dazwischen liegenden Zeitraum jedoch nur alle zwei Jahre.

Die Senkungsbeobachtungen erstreckten sich auf ein Gebiet von $12,8 \text{ km}^2$ mit einer maximalen Absenkung von nur 24 cm (Fig 17). Von den ausgewählten Bodenpunkten liegt der Punkt 35 im Senkungstiefsten des Troges. Der Punkt 106 markiert den Bereich des gleislosen Abbaus, der 1971 im Süden der 4. Sohle begonnen wurde. Der Grenzwinkel hat sich auf etwa $43 - 44^\circ$ in Nord-Süd-Richtung (im Streichen), zum Hangenden auf ca. 42° und zum Liegenden auf ca. 40° eingestellt.

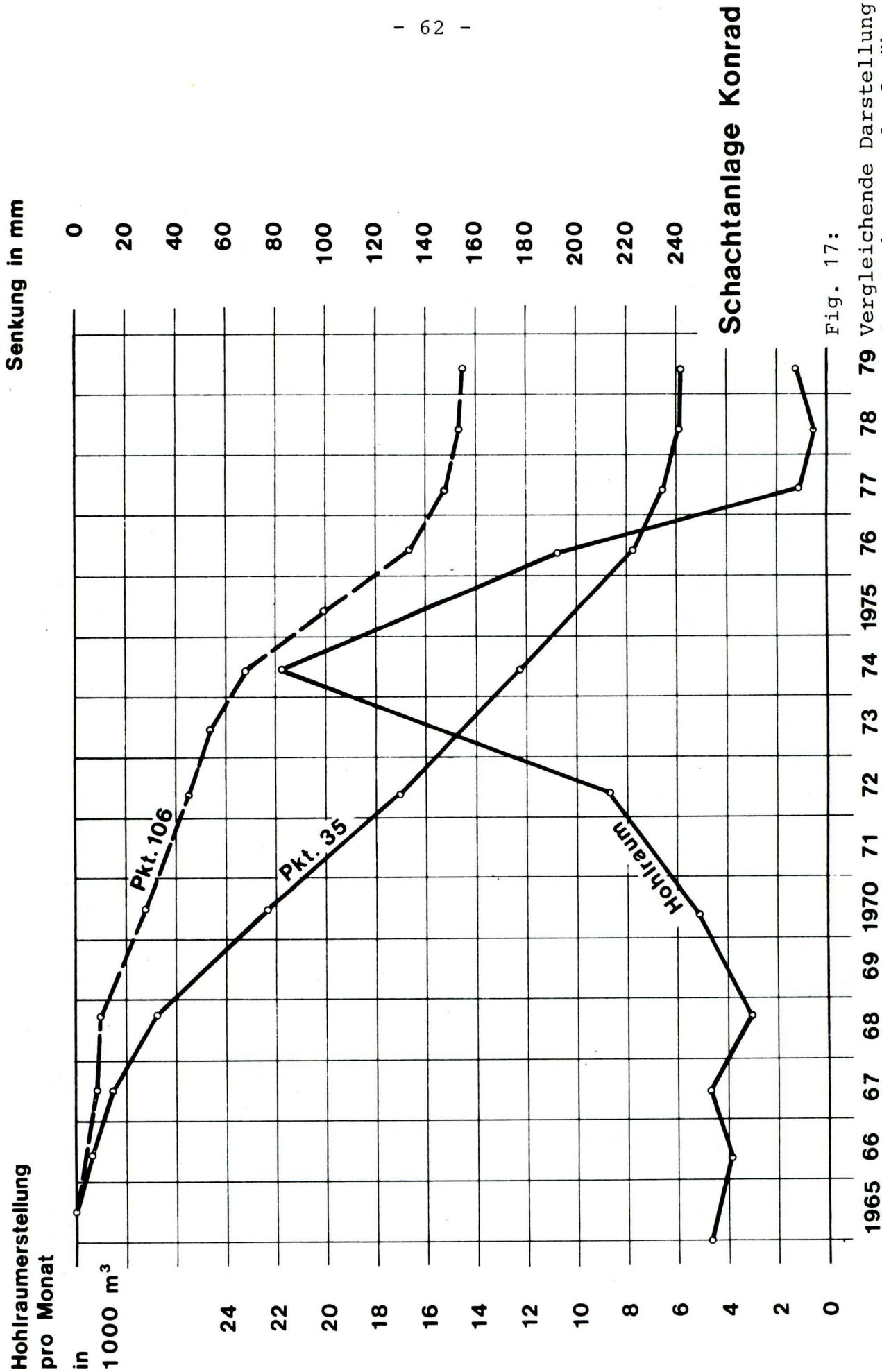


Fig. 17:

Vergleichende Darstellung des Senkungsverlaufs über Tage mit der Hohlraumstellung unter Tage

Bis 1977 lassen sich die Erkenntnisse aus der markscheiderischen Standortüberwachung wie folgt zusammenfassen:

- Mit der Abbaueröffnung erfolgte die erste Senkung.
- Die Senkungsgeschwindigkeit erreichte im Trogtiefsten maximal 2,29 mm/Monat.
- Im Trogtiefsten war keine Zeitverschiebung zur Hohlraumerstellung festzustellen.
- Über dem Abbauschwerpunkt des gleislosen Feldes (äußerster Süden der 3. und 4. Sohle) kam es zu einer Absenkungsgeschwindigkeit von max. 2,83 mm/Monat.
- Hier zeigte sich auch eine Zeitverschiebung von ca. 2 Jahren zur Hohlraumerstellung.
- Der Senkungstrog hat allem Anschein nach einen allseitig annähernd gleichen Grenzwinkel ($40 - 44^{\circ}$).
- Die Absenkung des Troges erfolgte sehr gleichmäßig.
- Nach der Einstellung jeglicher bergmännischer Gewinnungsarbeiten der Streckenvortriebe im September 1976 hielt der Senkungsvorgang an. Er verringerte sich jedoch auf eine Absenkungsgeschwindigkeit von max. 1,25 mm/Monat und weniger.

In 1979 wurde festgestellt:

- Die Bewegung der Tagesoberfläche hält auch drei Jahre nach Einstellung der Erzgewinnung noch an.
- Die Senkungsgeschwindigkeit hat sich weiter stark verringert. Sie beträgt an den über den Abbauschwerpunkten gelegenen Punkten 35 und 106 gleichermaßen ca. 0,08 mm/Monat.
- Das Senkungsmaximum liegt unverändert bei den Meßpunkten 34 und 35 und beträgt jetzt 244 mm.
- Der Senkungstrog mit einem Volumen von rd. 462.000 m^3 hat sich nach allen Seiten hin vergrößert und sich dabei andeutungsweise in mehrere Teilsenkungströge aufgegliedert.

Bei der Bewertung der übertägigen Senkung ist zu berücksichtigen, daß wegen der Großflächigkeit des Senkungstrogos kritische Schief-lagen oder Schäden an übertägigen Bauwerken bisher nicht aufgetreten sind. Großflächigkeit und gleichförmige Ausbildung des Senkungstrogos deuten ebenso auf eine plastische Verformung des Gebirgsverbandes hin wie der gleichmäßige Massenfluß, der in seiner Geschwindigkeit nicht unmittelbar von der Hohlraumerstellung beeinflußt wird. Beim derzeitig langsamen Ablauf der Bodenbewegungen sind hier die Grenzen der Meßgenauigkeit erreicht.

Eine auf der Grundlage dieser Ergebnisse durchgeführte Abschätzung der Bodenbewegungen, die durch das Auffahren von Einlagerungskammern nach dem unter 6.1 dargestellten Streckenkonzept hervorgerufen werden, wurden nach dem Verfahren ERHARDT/SAUER, das für die Vorausberechnungen von Senkungen, Schief-lagen und Krümmungen über Abbauen in flacher Lagerung angewendet werden kann, durchgeführt. Dabei wurden die bisherigen Abbausenkungsbeobachtungen mit einem abgeleiteten Grenzwinkel von 35° sowie die vorhandenen Abbauf Flächen und die jeweiligen gemittelten scheinbaren Abbauhöhen berücksichtigt. Unter der erfahrungsgestützten Annahme eines Absenkungsfaktors von 0,15 für Einlagerungsfelder nach dem Modell A (vergl. Fig. 26) mit voll versetzten Einlagerungs- und anderweitig genützten Kammern ist die Beeinflussung eines Gebietes, das über die äußere Begrenzung der eigentlichen Deponiefelder nur um rund 2 km hinausreicht, zu erwarten. Dabei wird im Senkungsschwerpunkt ein Maximalbetrag von zusätzlich 4 cm erreicht. Derartig geringe Senkungen bzw. Senkungsgeschwindigkeiten sind mit den heutigen Verhältnissen vergleichbar. Es kann so die Prognose gestellt werden, daß diese geringen Bewegungen zu keinen größeren Schäden an den im Einwirkungsbereich befindlichen Kunstbauten führen werden.

Die zusammenfassende Auswertung der bis in das Jahr 1965 zurückreichenden markscheiderischen Messungen zur Erfassung der Streckenkonvergenzen und Spannungsumlagerungszonen ergab für die untertägigen Gebirgsbewegungen die folgenden Sachverhalte:

- Streckenbereiche außerhalb des Abbaudrucks oder gegenseitiger Beeinflussung haben in ihrer bekannten Dimensionierung nach mehr als fünfzehnjähriger Standdauer noch druckfreie Stöße.
- Streichende Strecken und Kammern ohne Versatz, in einem flachen Abstand von 40 m voneinander aufgefahren, beeinflussen sich meßbar. Die Standfestigkeit ist jedoch nicht beeinträchtigt. Zeitfaktor (Zeitraum der meßbaren Beeinflussung): größer als 3 Jahre.
- Wird das Streckennetz durch Kammern in den Pfeilern verdichtet (Querschläge und Diagonalen aus den Abbaustrecken im Abstand von 25 m), kann es zu überlagernden Drücken kommen, welche zu Brüchen führen. Die Bruchkante liegt 100 m vom auslösenden Feld entfernt. Die meßbaren Auswirkungen reichen bis zu 200 m. Zeitfaktor: größer als 2 Jahre.
- Für den Weitungsbaue gilt, daß es mit der Öffnung eines Abbaus sofort in Kopf- und Ladestrecke zu meßbaren Einwirkungen kommt. Die Auflockerung reicht weiter als 4 m in die Firste. Die größeren Einwirkungen zeigen sich jeweils unterhalb eines Abbaus. Zeitfaktor: größer als 3 Jahre.
- Die Konvergenzen der Strecken sind in der Sohle stärker als in der Firste und erreichten bis zur Einstellung der Erzgewinnung in verschiedenen Teilen der Abbaufelder 15 % bis 54 % des ursprünglichen Streckenquerschnitts.
- Die Senkungsgeschwindigkeit der Firste variiert und läuft nicht synchron mit dem Abbaufortschritt ab.
- In der Nähe der natürlichen tektonischen Trennflächen im Gebirge scheinen sich "druckentspannte" Zonen zu bilden, die einer starken Konvergenz der Hohlräume entgegenwirken.

Aufgrund dieser ersten markscheiderischen Beobachtungen mit Langmeßbankern, Firstnivelements und Hohlraumkonvergenzmessungen wurde das unter 6.1 beschriebene Einlagerungsstreckenmodell entwickelt, für das eine hohe Standfestigkeit durch den Betrieb nachgewiesen ist.

4.2 Deformationsmessungen

Das gebirgsmechanische Verhalten der Grube wurde mit Firstensenkungsbeobachtungen und Konvergenz- und Extensometermessungen im Untertagebereich überwacht.

Zur Durchführung der gebirgsmechanischen Untersuchungen wurde im Unterwerksbau der Grube in 1213 m Tiefe die Strecke 672 aufgeföhren. Das in der Zeit des Erzabbaus erprobte Streckenprofil mit 25 - 30 m² Querschnittsfläche wurde nur im vorderen Teil der Strecke beibehalten. Im hinteren Teil wurde mit fast 40 m² die Größe einer Einlagerungskammer erreicht.

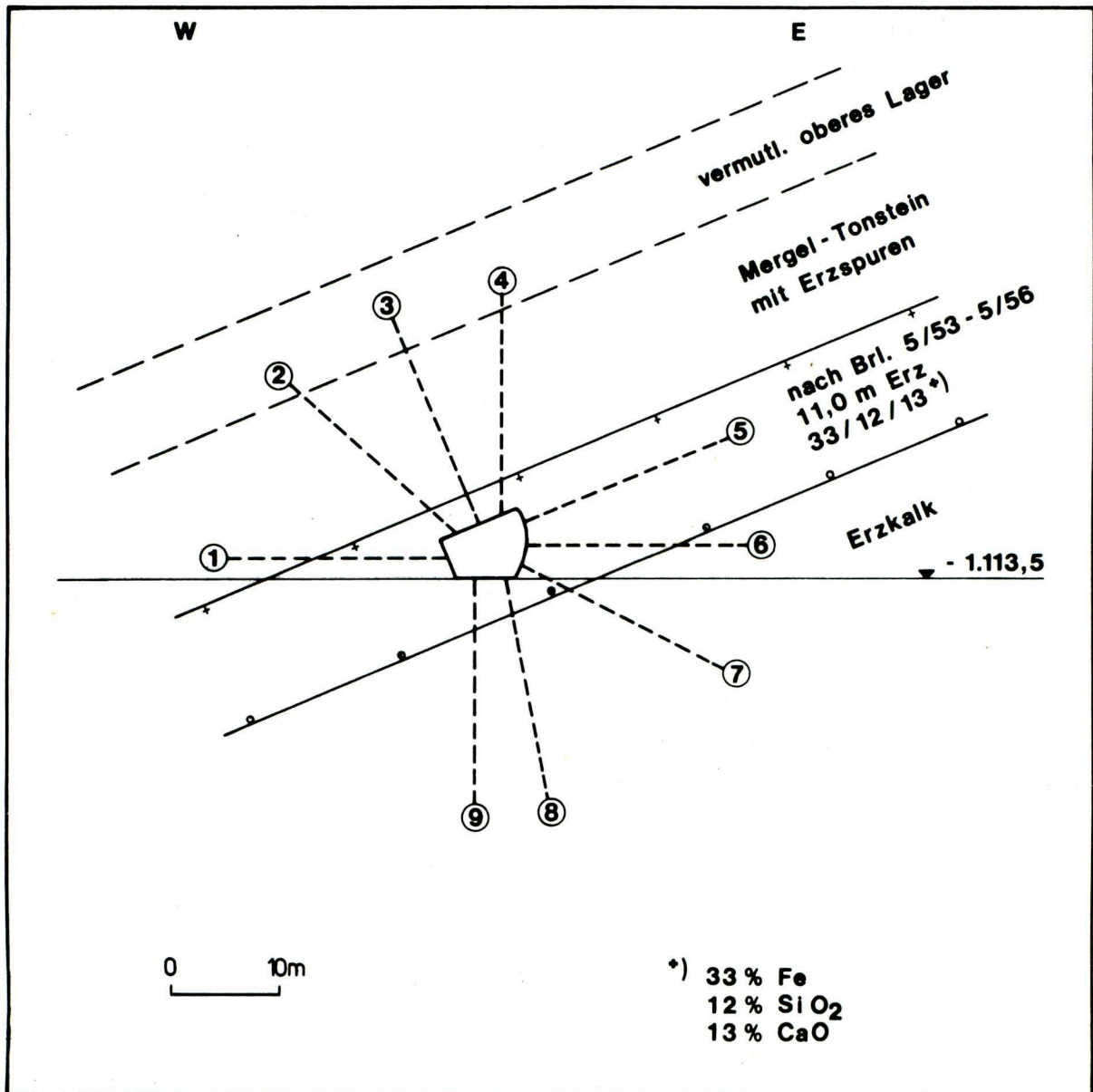


Fig. 18: Positionierung der Meßbohrlöcher einer Extensometerstation in der Untersuchungsstrecke 672

Im September 1978 wurde in der Versuchsstrecke 672 in einer Entfernung von 12 m zur Ortsbrust eine gebirgsmechanische Meßstation eingerichtet. Neun Bohrlöcher von je 20 m Tiefe wurden radial in den Streckenmantel gebohrt (Fig. 18). Jedes Bohrloch wurde mit drei Drahtextensometern versehen, die jeweils in 5, 10 und 20 m Teufe arretiert wurden. Damit konnte die Spannungsumlagerungszone des Streckenmantels in diesen Bereichen gemessen werden. Im Bohrlochansatz wurde ein Adapter einzementiert, der als Kupplungsstück für die Meßuhren und als Festpunkt für die Hohlraumkonvergenzmessungen im Streckenquerschnitt dient.

Die Nullmessung erfolgte Anfang September 1978. In wöchentlichen Abständen wurde die Bewegung des Streckenmantels in den Bohrlöchern 1 bis 9 und die Konvergenz der Stöße durch eine Längenmessung zwischen den sich gegenüberliegenden Adaptern gemessen.

Wie zu erwarten war, setzte die Auflockerung des Streckenmantels sofort mit der Streckenauffahrung ein. Da aber aus technischen Gründen ein sofortiges Einbringen der Extensometer nicht möglich war, fehlen für die ersten fünf Wochen die entsprechenden Werte. Danach wurde über mehrere Monate hinaus die Verformung des Streckenmantels gemessen, deren Größenordnung am Beispiel Bohrloch 7 bereits nach 2 Monaten besonders deutlich wird:

- Hier kam es im Bereich von 0 m bis 5 m Teufe zur größten Bewegung, etwa 10 mm.
- Der Bereich von 5 m bis 10 m erfuhr ebenfalls eine kontinuierliche Bewegung, jedoch nur etwa 3,5 mm.
- Im Bereich von 10 m bis 20 m scheint keine Bewegung stattgefunden zu haben. Der Verlauf der Kurve deutet auf einige Fehlmessungen hin.
- Die Gesamtverformung von 0 m bis 20 m (d.h. Auflockerung bzw. elastoplastische Verformung des Gebirges in Richtung Streckenachse) ergibt einen Wert von 13 mm.

- Die Geschwindigkeit dieser Gebirgsbewegung reichte im Beobachtungszeitraum von 0,44 mm/Tag bis 0,05 mm/Tag.

Die Messungen ergaben, daß die Konvergenz zwischen Sohle und Firste mit 19 mm größer ist als in der Horizontalen mit nur 6 mm. Dazwischen liegt die diagonale Konvergenz mit ca. 14 mm.

Die Abhängigkeit der Hohlraumkonvergenz im Meßquerschnitt von der Entfernung des Streckenvortriebs verringerte sich erst ab 32 m. Wie der Verlauf der Konvergenzkurven zeigt, ist bis dahin ihre Steigung fast gleich. Nach Überfahren der 32 m-Marke flachen alle langsam, aber deutlich ab.

Zur Darstellung der gebirgsmechanischen Bewegungen im Streckenmantel wurde eine Verformungskurve für den Meßquerschnitt angelegt (Fig.19). Diese basiert auf den Absolutbeträgen der Extensometermessungen in den einzelnen Bohrlöchern.

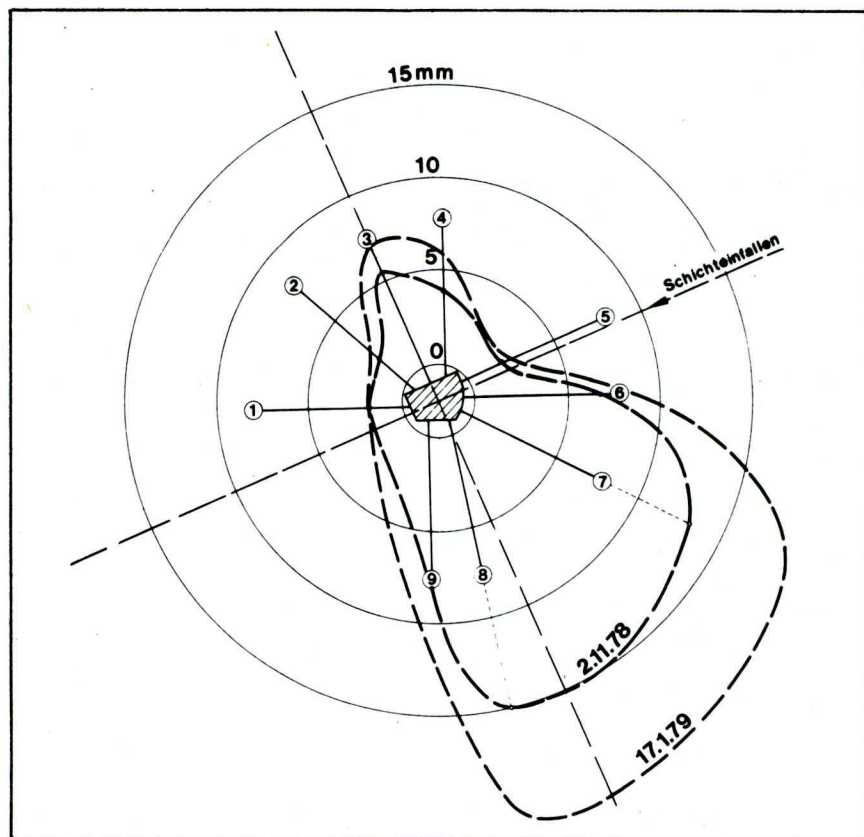


Fig. 19 : Extensometermessung an Station 672/1
Verformungskurve des Streckenmantels, Meßbeginn 7.9.78

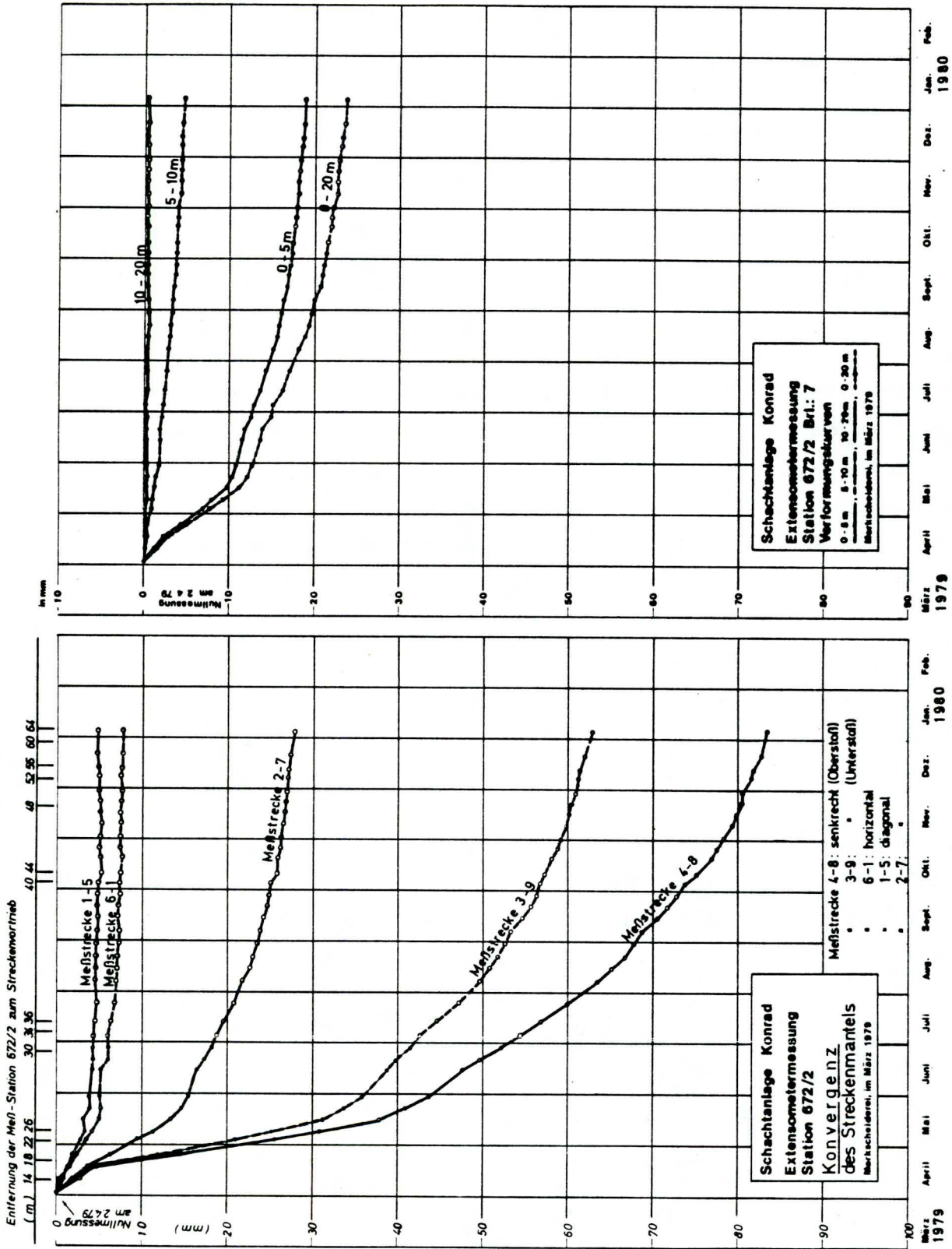


Fig. 20: Graphische Darstellung der Konvergenz- und Extensometermeßwerte (gemessen an Station 672/2 von April 79 bis Januar 80)

An dieser Verformungskurve sind eindeutig Größe und Richtung der Bewegungen zu erkennen, wobei die Bankrechte die bevorzugte Ebene ist, in der die Spannungsumlagerung im Gebirge abläuft. Dabei kommt die größere mechanische Einwirkung auf die Strecke aus dem Liegenden. Im Hangenden werden die Bewegungen durch den in der oberen Hälfte der Strecke eingebrachten Ankerausbau - gesetzt wird je ein 1,8 m langer Spreizhülsenanker pro Quadratmeter - gebremst. Da die Firste sofort nach der Streckenauffahrung gesichert wird, ist die tatsächliche Gebirgsauflockerung in diesem Bereich gering.

Zu Beginn des Jahres 1979 wurde in der Untersuchungsstrecke 672 eine zweite Extensometerstation, identisch mit der ersten und 55 m davon entfernt, eingerichtet. Im Gegensatz zur Station 1 erfaßt sie statt $30,2 \text{ m}^2$ einen Streckenquerschnitt von $39,4 \text{ m}^2$. Auch hier zeigt die Verformung einen sehr kontinuierlichen Ablauf (Fig. 20). Die größte Verformung tritt ähnlich wie bei Station 1 im Liegenden des Erzlagers auf. Wegen des wirkungsvollen Ankerbaus in der Firste entfallen von der Gesamtkonvergenz nur 10 % auf den Firsten- und 90 % auf den Sohlenbereich. Ein zahlenmäßiger Vergleich am Beispiel des Meßbohrlochs 4 macht dies besonders deutlich. Die Verformungswerte von Firste zu Sohle liegen in den Teufenbereichen 20 m bei 1:1, 10 m bei 1:2, 5 m bei 1:2,5 und im direkten Streckenmantel bei 1:14. Im Profil des Streckenmantels stellt sich die Spannungsumlagerungszone als Ellipse dar, deren Orientierung und Abmessungen der an Station 1 gemessenen Druckellipse entsprechen. Die Längsachse liegt auf einer Linie zwischen der Senkrechten und der Bankrechten. In dieser zum Streckenquerschnitt subvertikalen Richtung gehen die Gebirgsbewegungen über den 20 m-Bereich, in dem subhorizontalen Bereich nicht über den 10 m-Bereich hinaus.

Die Konvergenz verläuft auch hier in Abhängigkeit von der Zeit nach einer logarithmischen Funktion. Für die senkrechte Konvergenz zwischen den Meßpunkten 4 und 8 in einer 39 m^2 -Strecke lautet diese Funktion mit den ermittelten Regressionskoeffizienten:

$$K_{(\text{mm})} = -68,82 + 27,31 \ln d$$

d = Anzahl der Tage

Bekannterweise besteht ein geradliniger Zusammenhang zwischen Durchbauungsgrad und Konvergenz. Die vom Tage der Null-Messung an zusätzlich erstellten Grubenbaue beeinflussten die beobachteten Profile in ihrem Konvergenzvolumen - hier Prozentanteile vom Ausgangsquerschnitt -, jedoch unterschiedlich im Steigen pro Querschnittsgröße. Das Verhältnis Querschnitt zur Steigung verläuft in einer logarithmischen Funktion. Der Einfluß des am Tage der Null-Messung vorhandenen Durchbauungsgrades stellt sich in einer Potenzfunktion dar.

Zusammenfassend ergibt sich aus allen Gebirgsbeobachtungen zur Abschätzung der noch ablaufenden Konvergenz in Prozentanteilen des Streckenquerschnitts vom Tage der ersten Beobachtung an folgende Formel:

$$K \sim Z (-1,58 + 0,93 \ln F) - 3036,17 \times X^{-1,58}$$

K = Konvergenz in Prozent des Streckenquerschnitts

Z = Zusätzlicher Durchbauungsgrad in Prozent

X = Durchbauungsgrad in Prozent am Tage der Null-Messung
Durchbauungsgrad = geöffnete Abbaufäche im gebirgsmechanischen Einwirkungsbereich (200 m) des zu berechnenden Meßquerschnitts.

F = Streckenquerschnitt in m²

Messungen und Berechnungen ergaben, daß nach 2 Monaten etwa 35 % und nach 1 Jahr etwa 50 % der Endkonvergenz erreicht sind. Diese empirisch abgeleiteten Werte gelten ausschließlich für die Gebirgsbereiche der Grube Konrad.

Eine Interpretation der bisherigen Ergebnisse der Extensometermessungen zeigt somit, daß die Gebirgsbewegungen in Firste und Sohle bereits nach kurzer Zeit über den 20 m-Bereich hinausgehen. Eine solche mit der Streckenauffahrung zeitgleich einsetzende gleichmäßige Entspannungsbewegung spricht für eine plastische Gebirgsverformung, was in bergtechnischer wie auch in geologischer Hinsicht ein positives Kriterium ist. Durch den kontinuierlich ablaufenden Druckausgleich werden sich Spannungen im unmittelbaren Streckenmantel nicht aufbauen, wodurch das Auftreten plötzlicher Entspannungsbewegungen, wie z.B. Firstenbrüche, mit den Folgen größerer Gebirgsauflockerungen als wenig wahrscheinlich erscheint.

4.3 Spannungsmessungen und Aufweitungsversuche

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

Zur Berechnung der Gebirgsspannungen wurden an Bohrkernmaterial durch einaxiale Druckversuche der Elastizitätsmodul E und die Querdehnungszahl ν ermittelt. An einer Eisenerzprobe aus einer Bohrlochtiefe von 21,8 m wurde ein E-Modul von über 300 000 kp/cm² gemessen, was auf eine überdurchschnittliche Festigkeit schließen läßt. Die im Bereich 17 - 22 m gemessenen Werte haben eine geringe Streubreite und liegen im Mittel bei 220 000 kp/cm². Die Werte aus der horizontalen Richtung liegen im Durchschnitt höher als die aus der axialen und vertikalen Richtung.

Teufe (m)	Modul	Ø vertikal (kp/cm ²)	Ø horizontal (kp/cm ²)	Mittel (kp/cm ²)
6,4	D	50.900	47.700	49.300
14,5	D	140.000	105.900	123.000
24,4	D	50.000	35.400	42.700
6,4	E	186.000	90.500	138.300
14,5	E	192.500	118.900	155.700
24,4	E	75.800	54.800	65.300

Tab. 4: Durchschnittswerte der aus in situ-Versuchen im Gebirge ermittelten Deformations- (D) und Elastizitäts- (E) Moduln

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

Die Maximalbelastung des Gebirges erreichte bei 6,4 m 111 kp/cm². Die Übersicht der Durchschnittswerte der Gebirgsmoduln läßt erkennen, daß sowohl die Deformationsmoduln als auch die Elastizitätsmoduln im Meßpunkt bei 14,5 m Teufe ihr Maximum haben (Tab. 4). Außerdem zeigt sich, daß die Werte in vertikaler Richtung im allgemeinen bedeutend höher liegen als in horizontaler Richtung.

Teufe (m)	Probe Nr.	Richtung	E-Modul		ν
			kp/cm ²	M Pa	
17,3	1	axial	212.000	20.800	0,113
	2	vertikal	231.000	22.600	0,084
	3	horizontal	213.000	20.900	0,162
		<u>Mittel</u>	<u>219.000</u>	<u>21.400</u>	<u>0,120</u>
18,2	4	axial	221.000	21.700	0,148
	5	vertikal	172.000	16.800	0,071
	6	horizontal	243.000	23.800	0,070
		<u>Mittel</u>	<u>212.000</u>	<u>20.800</u>	<u>0,096</u>
19,9	7	axial	227.000	22.300	0,097
	8	vertikal	224.000	22.000	0,128
	9	horizontal	243.000	23.900	0,125
		<u>Mittel</u>	<u>232.000</u>	<u>22.700</u>	<u>0,117</u>
21,8	10	axial	217.000	21.200	0,122
	11	vertikal	228.000	22.400	0,118
	12	horizontal	303.000	29.700	0,187
		<u>Mittel</u>	<u>250.000</u>	<u>24.400</u>	<u>0,142</u>

Tab. 5 : Elastizitätsmoduln E und Querdehnungszahlen ν, ermittelt nach 'Empfehlung Nr. 1 des Arbeitskreises 19' der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.

Die vor Ort im Gebirge durch Bohrlochaufweitungsversuche ermittelten Gebirgsmoduln sind mit den experimentell an Gesteinsproben im Labor durch einaxiale Druckversuche gewonnenen E-Moduln (Tab. 5) durchaus vergleichbar.

Zur Beurteilung der Isotropie des Gebirges, in welchem die Spannungsmessungen durchgeführt wurden, erfolgte eine Untersuchung der Gesteinsproben mit Ultraschall. Die erzielten Schallgeschwindigkeiten zeigen für die axiale, vertikale und horizontale Richtung eine maximale Abweichung von 2,8 % vom jeweiligen arithmetischen Mittelwert. Das Gebirge darf demzufolge in der Umgebung der untersuchten Bohrkerne als isotrop in bezug auf seine mechanischen Eigenschaften bezeichnet werden. Die gemessenen Geschwindigkeiten liegen in Bohrlochteufen zwischen 17,30 und 21,80 m im Bereich von 3400 bis 3700 m/s.

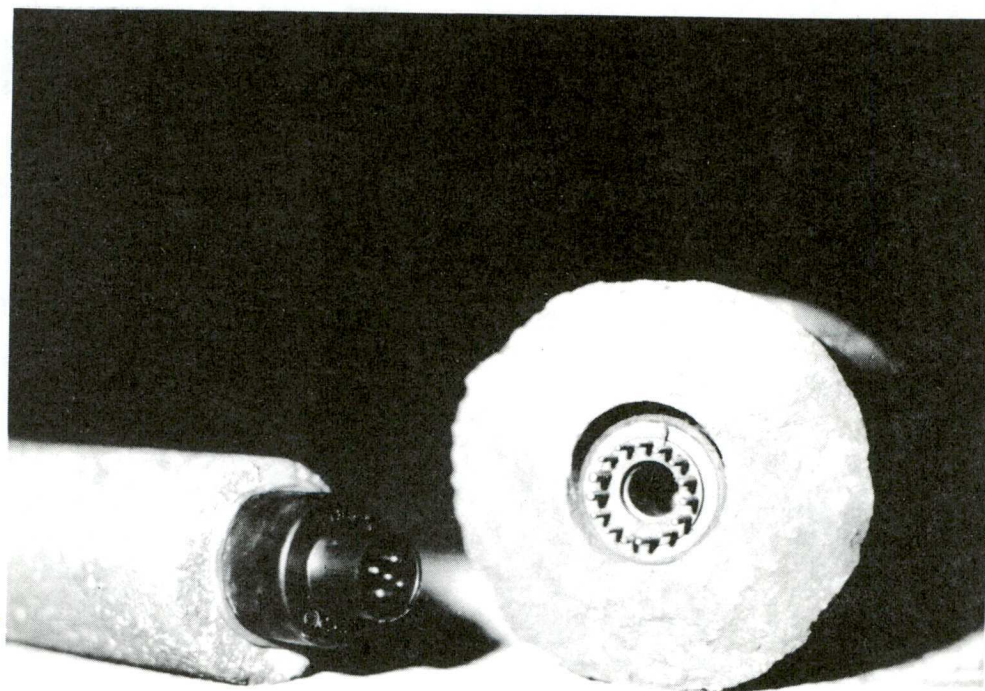


Fig. 21: Gebirgsspannungsmessungen im Eisenerz.
Links Bi-, rechts Triaxialzelle (System CSIR) auf einem 53,5 mm, bzw. 96 mm-Kern. Die Bohrkerne mit den Meßzellen wurden zur Wiederholungsmessung am entlasteten Gestein aus einem 20 m tiefen Bohrloch durch Überbohren gewonnen.

Für die in situ-Spannungsmessungen wurden in Abhängigkeit von der Gebirgsbeschaffenheit bi- und triaxiale Meßzellen verwendet (Fig. 21). Zur Berechnung der primären Gebirgsspannungen wurden die an den Dehnungsmeßstreifen der Meßzellen ermittelten Deformationen des überbohrten Kerns benutzt. Die zugehörigen Elastizitätsmoduln und die Querdehnungszahlen ergaben sich aus den in der Nähe der Meßpunkte ausgebohrten und im Labor untersuchten Gesteinsproben. Die Berechnung der Spannungen erfolgte nach Maßgabe der Elastizitätstheorie, die auf der Annahme eines elastischen Formänderungsverhaltens von homogenen Gesteinskörpern basiert, was auch durch die Laborversuche für das Erz in einem begrenzten Spannungsbereich bestätigt werden konnte (s. S. 73, Tab. 5).

Grundsätzlich ist anzumerken, daß ein derartiges Materialverhalten die Gebirgsverformung im ganzen nur bedingt beeinflusst, da durch das Zusammenwirken verschiedener Gebirgseigenschaften und -zustände eine Abminderung der Elastizität eintritt, weshalb man hier auch von einem elasto-plastischen Gebirgsverhalten sprechen kann (s. Gebirgssenkungs- und Deformationsmessungen).

Bei den Messungen wurde in einem Bereich von 6 m bis 12 m Entfernung vom Stoß die große Hauptspannung σ_1 in subhorizontaler und die kleine Hauptspannung σ_2 in subvertikaler ($63 - 72^\circ$) Richtung, d.h. in der Bankrechten festgestellt. Bei rund 10 m Teufe wurde ein absolutes Spannungsminimum mit einem \pm E-W-gerichteten Horizontaldruck von 103 kp/cm^2 festgestellt. Davor und dahinter sind die Drücke bedeutend größer.

Im tieferen Teil der Bohrung zwischen 17 und 23 m liegen die großen Hauptspannungen σ_1 mit $63 - 72^\circ$ in subvertikaler Richtung. Mit zunehmender Entfernung vom Ausbruch erreichen sie Werte von 200 kp/cm^2 . Die Richtungen der kleinen Hauptspannungen σ_3 liegen fast deckungsgleich im subhorizontalen Bereich in etwa ost-westlicher Richtung. Sie beginnen mit rund 100 kp/cm^2 und zeigen stark abnehmende Tendenz bis 45 kp/cm^2 .

4.4 Hydraulic fracturing Versuche

Die Frac-Versuche wurden an 3 verschiedenen Lokationen im Grubenrevier in 3 horizontalen und 3 vertikalen Bohrlöchern von je 30 m Tiefe durchgeführt. Die eigentlichen Messungen erfolgten in Injektions-Intervallen von 1 m Länge in verschiedenen Bohrlochteufen, in denen zuvor durch Bohrkernauswertung eine weitgehende Unversehrtheit der Bohrlochwandung festgestellt worden war.

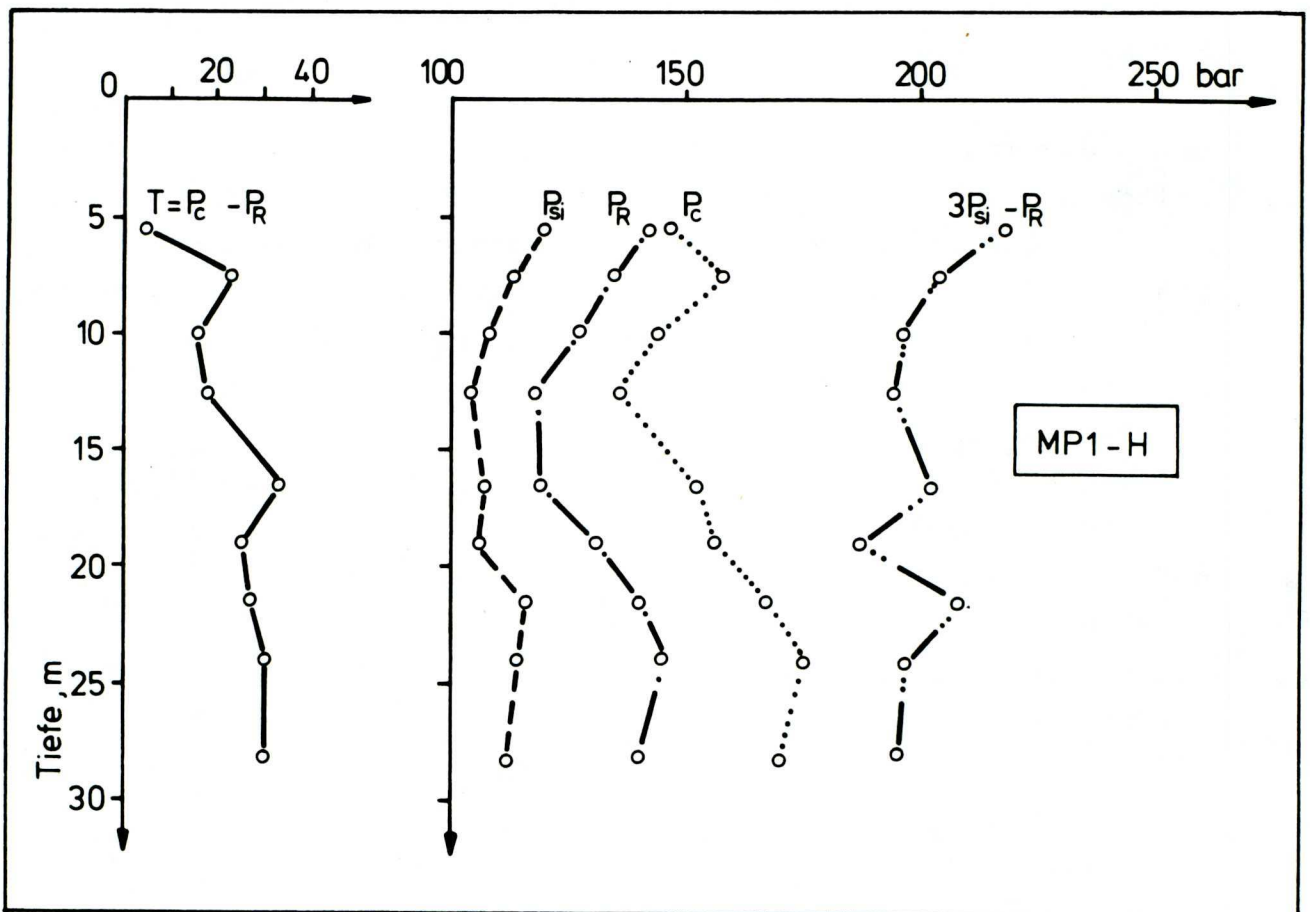


Fig. 22: Ergebnisse der Frac-Versuche in der Horizontalbohrung am MP1 (2. Sohle). T hydraulische in situ-Zugfestigkeit, p_c Frac-Druck, p_r Refrac-Druck, p_{si} Shut-in-Druck, $3p_{si} - p_r$ gibt die Spannungskonzentration aufgrund der p_{si} Vertikalspannung wieder.

Die gemessenen Größen für den Frac-Druck (P_C), Refrac-Druck (P_R) und Shut-in-Druck (P_{si}) dienten als Berechnungsgrundlage für die hydraulische Zugfestigkeit des Gebirges, $T = P_C - P_R$, und die davon abgeleiteten Spannungsgrößen wie kleinere und größere horizontale Hauptspannungen (S_h, S_H) und Vertikalspannung (S_V) (Fig. 22).

Am Meßort auf der 2. Sohle wurde im Horizontalbohrloch ab 20 m Tiefe ein homogenes Spannungsfeld registriert mit einer Horizontalspannungskomponente von 110 bar und einer vertikalen Hauptspannung von ca. 200 kp/cm².

Dieser Wert entspricht angenähert der berechneten Auflast des Deckgebirges für diesen Bereich, wenn man eine mittlere Dichte des Gebirges von 2,4 g/cm³ annimmt. Aus der Messung in der Vertikalbohrung ergibt sich für die kleinere horizontale Hauptspannung ein Wert von 190 kp/cm² und für die größere horizontale Hauptspannung von ca. 300 kp/cm². Die hydraulische Zugfestigkeit beträgt etwa 20 - 30 kp/cm².

Die Meßwerte, die noch einer detaillierteren Interpretation bedürfen, zeigen ähnlich wie die übrigen gebirgsmechanischen Messungen den begrenzten Einfluß der Streckenauffahrungen auf das natürliche Spannungsfeld im Gebirge auf.

4.5 Scherfestigkeitsversuche

Zur Ermittlung weiterer Gebirgskennwerte für eine spätere Standsicherheitsberechnung der untertägigen Grubenbaue wurden die Festigkeitseigenschaften tektonischer Trennflächen in einer ersten Probekörperserie untersucht. Die dafür notwendigen Trennflächenpaare stammen aus Kernen der Pendelbohrungen auf der 4. und 5. Sohle, die einen Durchmesser von 26 cm haben.

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

natürliche Kluft in Probe 1 hat die Werte 0/77 E und liegt damit im Streichen einer Hauptklufttrichtung, Die künstlichen Trennflächen wurden parallel zur Schichtung (0/22 W) erzeugt. Bei der Durchführung der Scherversuche wurde mit konstanter Aufgleitung und der Mehrstufentechnik gearbeitet. Die Auswertung der Ergebnisse hat eine gute Übereinstimmung der Kennwerte aus den Einzel- und Mehrstufenversuchen ergeben. Anhand einer gewogenen Mittelwertbildung kann die Hüllkurve der Spitzenreibung des untersuchten Eisenerzes durch die Potenzfunktion $T = 1,8 \cdot N^{0,9}$ beschrieben werden. Der Winkel der Restreibung beträgt $\phi = 35^\circ$.

Die Versuchsergebnisse lassen keine besonderen Unterschiede zwischen den natürlichen und künstlichen Trennflächen erkennen. Auch die Rauigkeitsprofile sind identisch, so daß die Ergebnisse für alle Trennflächen untereinander vergleichbar sind. Die Festigkeitsuntersuchungen werden durch Scherversuche mit behinderter Aufgleitung ergänzt.

4.6 Zusammenfassung der bisherigen gebirgsmechanischen Untersuchungsergebnisse

Die Grundlage der gebirgsmechanischen Untersuchungen bilden die bergmännischen Erfahrungen mit dem Spannungsumlagerungsverhalten des Eisenerzes in Bereichen der Abbaufelder und der Streckenauffahrungen sowie mit dem Senkungsverhalten des Deckgebirges über dem gesamten Grubenfeld.

Die seit dem Beginn des Erzabbaus an der Tagesoberfläche durchgeführten markscheiderischen Messungen belegen, daß sich das im Bergbaueinwirkungsbereich befindliche Gelände in den Jahren 1964 bis 1979 im Maximum um 244 mm abgesenkt hat. Die Absenkgeschwindigkeit betrug im Trogtiefsten maximal 2,3 mm/Monat. Über dem Abbauschwerpunkt erreichte sie maximal 2,8 mm/Monat. Der Massenfluß des Senkungstrogos verlief sowohl beim schwebenden Kammerbau mit Spülversatz als auch bei

dem im LHD-Verfahren durchgeführten Kammerpfeilerbau mit bis zu 20 %-iger Erzausbringung überaus gleichmäßig und unabhängig zur unterschiedlich großen Hohlraumerstellung. Zu kritischen Schieflagen an Gebäuden hat die Deckgebirgsabsenkung nirgends geführt. Nach der Einstellung des Erzabbaus hat sich die Ausbreitung des Senkungstrogas wie auch die Senkung selbst stark verlangsamt. Dadurch gilt eine weitgehend plastische Verformung des Deckgebirges als bestätigt.

Die geodätischen Gebirgsbeobachtungen in den Vorrichtungs- und Abbaubereichen haben ergeben, daß sich parallele Vorrichtungsstrecken in einem Abstand von 40 m noch meßbar beeinflussen. Bei einem hohen Durchbauungsgrad und der Anlage von jeweils 20 m entfernten unversetzten Abbaukammern kommt es zu großräumigen Druckausgleichsbewegungen, die bis zu 200 m vom druckauslösenden Betriebspunkt feststellbar sind. Die größte gemessene Streckenkonvergenz in einem Abbaufeld beträgt 54 % des ursprünglichen Streckenquerschnitts.

Auf der Basis der Extensometermessungen in einem Streckenvortrieb außerhalb der ehemaligen Abbaufelder stellt sich die Spannungsumlagerungszone im Streckenmantel als Ellipse dar. Die Gebirgsbewegungen reichen entsprechend den Achsen der Ellipse 20 m und mehr in die Firste und Sohle und bis etwa 10 m in die seitlichen Stöße hinein. Die Streckenkonvergenz läuft in Abhängigkeit von Zeit und Durchbauungsgrad in einer logarithmischen Funktion ab, bei der die größte gemessene Geschwindigkeit einige Zeit nach der Streckenauffahrung 1,4 mm/Tag betrug. Durch den Anker Ausbau beeinflußt verteilt sich die Konvergenz mit 10 % auf den First- und 90 % auf den Sohlenbereich.

Die in situ-Messung der Gebirgsspannungsgrößen in einem Streckenvortrieb läßt erkennen, daß im 5 m-Bereich von der Ortsbrust aus die Horizontalspannung gegenüber der Vertikalspannung überwiegt. Ab 15 m stellt sich eine höhere Vertikalspannung ein, die bei ca. 25 m ihren Normalwert erreicht.

Die Ergebnisse der gebirgsmechanischen Untersuchungen liegen in Form von markscheiderischen Berechnungen und Darstellungen sowie als Meßwerte aus den verschiedenen Versuchsreihen vor. Im einzelnen sind dies:

- Jahreskarten des Senkungstrogos mit Angabe der jährlichen und kumulativen Senkungsbeträge auf der Grundlage der Feinnivellements-aufnahmen;
- schematisierte Senkungsprofile für ausgewählte Meßpunkte über Abbau- und Randbereichen des Grubenreviers;
- vergleichende Kalkulation der Senkungstrog- und Gruben-hohlraumvolumina;
- Firstsenkungsmessungen in Strecken in und abseits von Abbaufeldern und Berechnung der Hohlraumkonvergenzen;
- Extensometer- und Konvergenzmessungen an besonderen Meßstationen in einer Vorrichtungsstrecke außerhalb von abbaubeeinflußten Feldesteilen mit dem Ergebnis einer Konvergenzabschätzung für derartige Grubenbaue;
- Elastizitätsmodul- und Querdehnungszahlbestimmungen durch einaxiale Druckversuche;
- Gebirgsmodul- und Spannungsmessungen durch verschiedene in situ-Versuche;
- Scherfestigkeitsmessungen an ss-parallelen Trennflächen;
- Senkungsvorausberechnung und Karte der Senkungsgleichen für Deponiefelder mit 40 m^2 großen und söhlig aufgefahrenen Einlagerungsstrecken.

Für den Eignungsnachweis ist aus gebirgsmechanischer Sicht von Bedeutung, daß auf der Grundlage einer Zusammenschau aller Ergebnisse aus den oben genannten Versuchen und unter Berücksichtigung der bergmännischen Erfahrungen die Auffahrung von standfesten Einlagerungshohlräumen in dem Eisenerzlager der Grube möglich ist. Außerhalb der Abbaufelder sind Strecken, Brückenfelder und Vorrichtungsstrecken mit lichten Weiten von 5 bis 12 m seit ihrer Auffahrung stand-sicher. Eine bergmännische Überarbeitung dieser Hohlräume war bisher nicht erforderlich.

Bei der Auswahl geeigneter Kammerformen und -größen und bei einer Kammeranordnung, die in etwa der Anlage der Vorrückungsstrecken in einem konventionellen Abbaufeld entspricht, können bis zu 15 % des Erzlagers für die Einlagerung genutzt werden. Im Grubenteil südlich der Bleckenstedter Störung können durch Auffahrung von 40 m² großen Strecken ca. 500.000 m³ Einlagerungshohlraum geschaffen werden.

Bei derartig eingerichteten Deponiefeldern kann davon ausgegangen werden, daß eine nahezu dichte Verfüllung mit Einlagerungsmaterial und Versatz erfolgen wird. Ein Absenkungsfaktor von 0,15, wie er für den konventionellen Abbau mit Spülversatz ermittelt wurde, wird an der Tagesoberfläche zu einer Maximalabsenkung von 4 cm führen, die sich zeitlich auf 1 bis 2 Jahrzehnte verteilt. Die relativ geringen aus den bestehenden Abbauen noch zu erwartenden Senkungen werden unter Berücksichtigung der sehr niedrigen Senkungsgeschwindigkeiten mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zu Schäden an den im Einwirkungsbereich befindlichen Kunstbauten führen.

Die Sicherheit eines späteren Einlagerungsbetriebes ist durch das gebirgsmechanische Verhalten der entworfenen Einlagerungsstrecken und -felder nicht gefährdet. Verglichen mit entsprechend vorgerichteten Feldern aus der Zeit des Erzabbaus sind solche Deponiefelder über längere Zeiträume standsicher, d.h. mit den im Bergbau üblichen Verfahren bergtechnisch beherrschbar. Abgesehen von einer sehr begrenzten Gebirgsauflockerung im engeren Streckenmantel kann wegen des plastischen Verhaltens der Gesteine das Entstehen größerer bruchtektonischer Risse als Folge der Streckenauffahrungen ausgeschlossen werden. Danach besteht kein Risiko eines größeren Wasserzulaufes aus dem Deckgebirge über derartige Wasserwege, und zwar weder für die Betriebs- noch für die Nachbetriebsphase.

5. Geophysikalische Untersuchungen

Für die Beschreibung der seismischen Standortverhältnisse müssen historische und aktuelle Ereignisse herangezogen werden. Die Daten der historischen Erdbeben und Erdstöße können den Erdbebenkatalogen entnommen werden, deren Angaben bis in das Jahr 58 n. Chr. zurückgehen und zum Teil sehr unvollkommen sind. Aktuelle Daten liegen von dem Zeitpunkt an vor, seit dem mit seismischen Stationen gearbeitet wird. Der norddeutsche Raum, in dem der Standort Konrad liegt, ist mit seismischen Stationen nicht ausreichend besetzt. Deshalb ist es notwendig, hier zusätzliche Stationen einzurichten, die speziell für die Erfassung von möglichen Nahbeben ausgelegt sind. Eine 3-Komponenten-Station mit kurzperiodischen Seismometern wurde Mitte 1978 im Grubengebäude der Schachanlage Konrad aufgebaut und seitdem ohne Unterbrechung betrieben. Weitere Stationen existieren z.Zt. außerdem im Bergwerk ASSE, an der TU Clausthal und an der Universität Hamburg.

5.1 Erdbebenchronik

Die Erdbebenchronik für den 200 km-Umkreis des Standortes Konrad wurde auf der Basis aller aus der entsprechenden Literatur bekannten Beben und Erdstöße, die von Menschen gefühlt und seit ungefähr 1900 auch meßtechnisch nachgewiesen wurden, erstellt. Der Vollständigkeit halber wurden auch solche Ereignisse notiert, die nach Angaben der Autoren zweifelhaft erscheinen. Ihnen wird jedoch hier keine Bedeutung beigemessen.

Zur Karte der aufgenommenen Schadensbeben (Fig. 23) muß einfühend festgestellt werden, daß bisher kein Beben mit zerstörender Wirkung bekannt geworden ist. Alle hier aufgeführten Beben haben nur leichte oder kräftige Schäden verursacht, wobei an Gebäuden feine Risse in Putz und Mauerwerk oder große Risse im Mauerwerk und das Herabfallen von Schornsteinen und Dachziegeln beobachtet wurden.

Folgende Schadensbeben sind bekannt:

1. 1323 Lüneburg
2. 1346 Erfurt
3. 1366 Mühlhausen
4. 1410 Wittstock/Havelberg
5. 1553 Leipzig
6. 1711 Leipzig
7. 1767 Rothenburg/Fulda
8. 1770 Alfhausen
9. 1789 Plaue/Havel
10. 1847 Eisfeld
11. 1872 Posterstein
12. 1894 Eisleben
13. 1926 Stadtroda
14. 1940 Krügershall *
15. 1953 Heringen *
16. 1958 Merkers *
17. 1975 Sünna *

Bei den mit * gekennzeichneten Beben handelt es sich um Folgererscheinungen des bergmännischen Abbaus von Kalivorkommen in der Thüringer und Saale-Mulde und im Werragebiet. Wegen der geringen Herdtiefe von ca. 1000 m sind diese Ereignisse als Gebirgsschläge mit erdbebenartigen Auswirkungen einzuordnen (SPONHEUER u.a. 1960; LEYDECKER, 1976, 1980) und nicht als Erdbeben.

Das bisher stärkste bekannte Beben war das von Posterstein (1872), mit einer Epizentralintensität $I_0 = 8^{\circ}$ und einer abgeschätzten Herdtiefe von rund 15 km. Die Entfernung zum Standort Konrad beträgt rund 200 km. Die Erschütterungen dürften nach den Angaben von SPONHEUER (1952) in dieser Entfernung noch gespürt worden sein.

Allgemein sind die Schüttergebiete der hier genannten Beben und auch der schadlosen Beben von sehr geringer Ausdehnung. Häufig sind die Angaben sogar nur auf einen einzigen Ort beschränkt. Deshalb spricht man von Lokalbeben mit geringen Herdtiefen.

In keinem der bekannten Fälle hat es an der Erdoberfläche sichtbare Veränderungen gegeben. Ereignisse mit sichtbaren Veränderungen werden nach der 12-teiligen makroseismischen Skala von Medvedev-Sponheuer-Karnik mit $I_0 > 8^0$ eingestuft. Diese Intensität wurde bei keinem der Beben im 200 km-Umkreis erreicht.

Ausgangsmaterial für die Sammlung der Erdbeben und Erdstöße für die Jahre 1000 bis 1979 sind die Erdbebenkataloge für Deutschland und angrenzende Gebiete. Die Daten der Beben, deren Epizentren innerhalb des 200 km-Umkreises um den Standort Konrad liegen, sind in Tabellen in chronologischer Reihenfolge gesammelt und, soweit möglich, in Schüttergebietskarten dargestellt. Erdbeben, die außerhalb des Umkreises liegen, sind in dem Katalog enthalten, sofern ihre Schüttergebiete weit in das betrachtete Gebiet hereinreichen.

Die Dichte der Epizentren nimmt überregional gesehen deutlich von Süden nach Norden, d.h. von den Alpen bis zur Nordsee, ab. An der nördlichen Grenze des variszischen Gebirges hört die Erdbebentätigkeit nahezu auf. Hierfür ist nach SPONHEUER (1962) die Konsolidierung des Untergrundes durch die vordevonischen Gebirgsbildungen die Ursache.

Bei einer näheren Untersuchung über die Verteilung von Erdbeben stellt man fest, daß innerhalb bestimmter Regionen die Erdbebenhäufigkeit stark zunimmt, andere Gebiete aber so gut wie erdbebenfrei sind. Diese grundsätzliche Beobachtung führte zu einer erdbebengeographischen Einteilung für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (AHORNER u.a., 1970).

Die seismische Aktivität eines Gebietes läßt sich durch Anzahl und Intensität der aufgetretenen Beben beschreiben. Berechnungen der Häufigkeitsbeziehungen können nur für solche Regionen durchgeführt werden, für die ein ausreichend großes Datenmaterial vorliegt. Außerdem können die Ergebnisse einer Region nicht auf andere übertragen werden.

Für den Standort Konrad bedeutet das, daß das Gebiet des 200 km-Umkreises Teile verschiedener seismotektonischer Regionen überdeckt.

Wie aus der Fig. 23 zu ersehen ist, liegen im Süden des Standortes Konrad in über 100 km Entfernung Bebenherde auf den Gebieten der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Demokratischen Republik, die zu den erdbebengeographischen Regionen Hessische Senke, Thüringer Becken und Leipziger Bucht gehören.

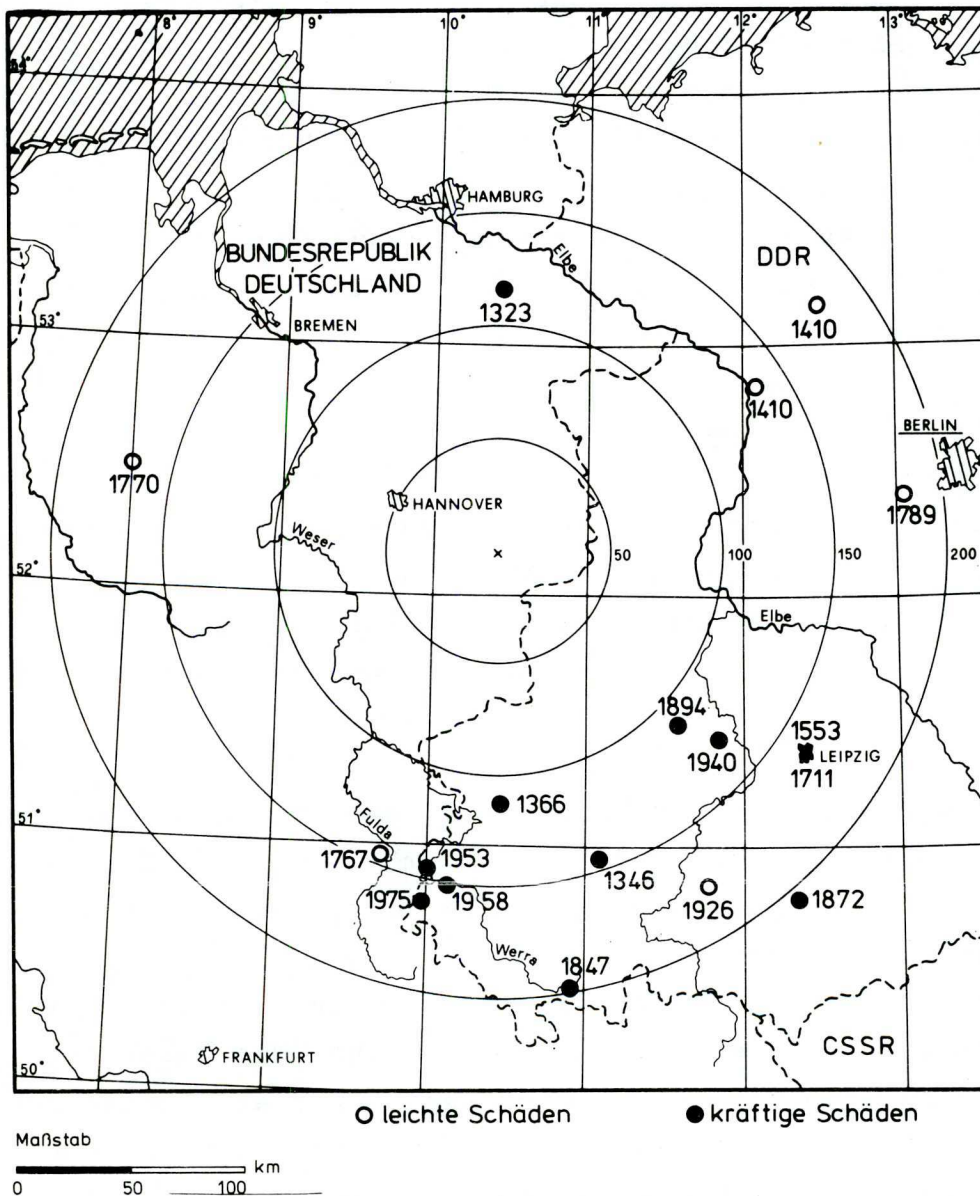


Fig. 23: Verteilung der Schadensbeben für den Zeitraum 1000-1979 um den Standort KONRAD

Der weitaus größte Teilbereich, der durch den 200 km-Umkreis begrenzt wird, ist die Norddeutsche Tiefebene. Hier ist jedoch die Anzahl der bekannten Beben und Erdstöße aus dem Zeitraum 1000 bis 1979 so extrem niedrig, daß die Darstellung einer Häufigkeitsbeziehung nicht durchgeführt werden kann.

Eine Magnituden-Häufigkeitsbeziehung ist für die Aussage des seismischen Risikos eines Gebietes notwendige Voraussetzung. Sie kann anhand von historischem Datenmaterial aus der Intensitäts-Häufigkeits-Verteilung und unter gewissen Annahmen von Herdtiefen und Absorptionskoeffizienten für begrenzte Regionen berechnet werden.

Für das Norddeutsche Tiefland ist aufgrund der vorliegenden Daten aus den vergangenen 980 Jahren eine Gefährdung durch Erdbeben nicht abzuleiten. In diesem extrem erdbebenarmen Gebiet liegt die Schachanlage Konrad in einer erdbebengeographisch günstigen Position.

5.2 Seismische Untersuchungen

Zur Erfassung möglicher rezenter tektonischer Bewegungsvorgänge im Bereich der Schachanlage Konrad sind seismische Meßverfahren besonders geeignet. Deshalb wurden im Hinblick auf verschiedene Aufgabenstellungen zwei seismische Anlagen im Grubengebäude installiert.

Mit Hilfe einer 3-Komponenten-Station, bestehend aus drei Seismometern vom Typ Geotech S-13, werden mögliche Erdbeben im Nahbereich des Standortes erfaßt. Die Seismometer sind auf 1 Hz Eigenfrequenz abgestimmt und mit 60 % der kritischen Dämpfung gedämpft. Die obere Frequenzgrenze der Registrieranlage liegt bei 38 Hz. Die erhebliche Bodenunruhe, die durch die nahegelegenen Industriebetriebe erzeugt wird, erforderte den Aufbau der Station unter Tage, weitab vom normalen Grubenbetrieb. Hierfür bot sich die in 1200 m Tiefe ca. 1000 m nach Norden aufgefahrene Strecke an (Fig. 24).

Die zweite Anlage besteht aus einem Geophonnetz, das im Grubengebäude installiert wurde (Fig. 24) . Mit seiner Hilfe werden die innerhalb der Grube auftretenden Ereignisse erfaßt und geortet. Die Anordnung der 8 Geophon-Stationen wurde nach geometrischen und tektonischen Gesichtspunkten durchgeführt. Bei den Geophonen handelt es sich um Aufnehmer vom Typ Sensor SM-6B mit 4,5 Hz Eigenfrequenz und einer Dämpfung von 60 % der kritischen Dämpfung. Die obere Frequenzgrenze der Registrierapparatur liegt bei ungefähr 250 Hz.

Während der fast zweijährigen Betriebsdauer wurde bisher keine regionale Seismizität festgestellt. Die häufig auftretenden seismischen Signale mit einer Gesamtdauer bis zu einer Minute werden aufgrund der Zeit des Auftretens an Wochentagen und während der allgemeinen Arbeitszeit als Auswirkungen sprengtechnischer Arbeiten angesehen. Aus Mangel an benachbarten Stationen konnten bisher keine Lokalisierungen durchgeführt werden. Seit Dezember 1979 ist eine gleiche seismische Station in der Schachanlage Asse installiert. Zusammen mit den Registrierungen der Erdbebenstation des Institutes für Geophysik der TU Clausthal ist eine Ortung der Ereignisse möglich geworden.

Das Geophonnetz, das im Grubengebäude installiert ist, dient in erster Linie der Beobachtung der Mikroseismik. Seit der Inbetriebnahme wurden weder aus dem Deckgebirge noch aus Teilen des Grubengebäudes natürliche Ereignisse festgestellt.

Das zur Ortung von Ereignissen aus dem Grubengebäude erstellte EDV-Programm wurde mit Hilfe der betrieblichen Sprengungen getestet. Zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elastischen Wellen wurde eine Laufzeitmessung auf einem 1000 m langen, Nord-Süd verlaufenden Profil auf der 3. Sohle durchgeführt. Hierbei wurde eine Kompressionswellengeschwindigkeit $V_p = 4080 \text{ m/s}$ berechnet.

Die mit dieser Geschwindigkeit ausgeführten Ortungen von Sprengungen zeigen jedoch, daß für das Grubengebäude keine isotrope Geschwindigkeitsverteilung angenommen werden darf. Dies weist auf eine anisotrope Verteilung der elastischen Gebirgsparameter hin.

Die Kompressionswellengeschwindigkeiten liegen je nach Grubenbereich zwischen 3500 m/s und 4300 m/s (Fig.24). Der niedrige Wert wurde für das südliche, abgeworfene Grubenfeld festgestellt. Im zentralen Bereich des alten Kammerabbaus steigt die Geschwindigkeit in Ost-West-Richtung auf 3700 m/s an.

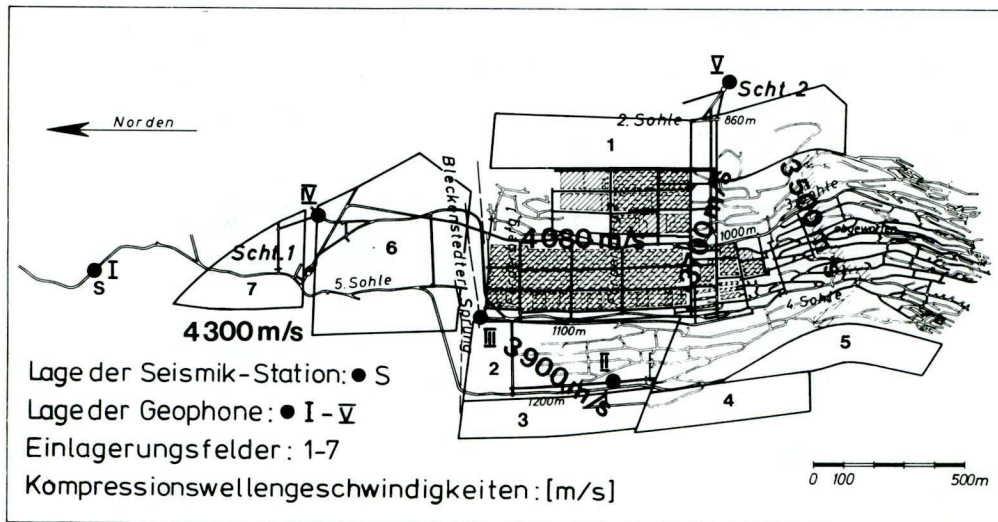


Fig. 24: Verteilung der Kompressionswellengeschwindigkeiten im Grubengebäude der Schachtanlage Konrad

Im Bereich zwischen Schacht Konrad 1 und der Station I in der nördlichen Untersuchungsstrecke erhält man eine Geschwindigkeit von ungefähr 4300 m/s. Dieser Wert kann wegen des äußerst geringen Durchbauungsgrades als Wert für das vom Bergbau unbeeinflusste Erzlager gelten.

Im Bereich zwischen der 4. und 5. Sohle mit vier Teilsohlen in unterschiedlichen Niveaus beträgt die Ausbreitungsgeschwindigkeit je nach Richtung 3900 m/s bis 4000 m/s. Die angegebenen Geschwindigkeiten sind Durchschnittswerte für Entfernungen von 100 m bis einige 100 m. Lokale Punktmessungen mit Ultraschall können gegenüber diesen Werten z.T. abweichende Resultate liefern.

Eine quantitative Angabe zu den dynamisch bestimmten Kompressions- und Schermoduln kann erst nach einer Messung der entsprechenden Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten erfolgen. Diese Messungen werden demnächst mit einer speziellen seismischen Apparatur vorgenommen.

Die bisher durchgeführten seismischen Messungen haben nachgewiesen, daß das zunächst vorgesehene Grubenfeld zwischen der 4. und 5. Sohle (Einlagerungsfelder 2 - 5) für eine Endlagerung geeignet ist.

5.3 Neigungsmessungen

Auf der 2., 4. und 5. Sohle wurden an drei Lokationen zur Installation der geophysikalischen Neigungsmesser jeweils eine 20 m tiefe Bohrung niedergebracht, die, voll verrohrt, eine lichte Weite von 200 mm haben. Die Meßorte liegen in bezug auf den geologischen Bau der Grube ca. 200 m nördlich und südlich der Bleckenstedter Störung und östlich der sogenannten Grabenstörung nahe Schacht Konrad 2 in Teufen zwischen 900 und 1200 m. Zur Dämpfung der Eigenschwingung der Verrohrung und zur Minimierung des Einflusses des Sohlenhubs auf die empfindlichen Meßgeräte wurde eine besondere Art der Hinterfüllung der Verrohrung mit plastischem Ton gewählt.

Erste über mehrere Wochen hinweg dauernde Orientierungsmessungen mit einem Gerät haben gezeigt, daß besonders Temperaturänderungen am Meßgerät die Werte der Neigungsamplituden beeinträchtigen. Durch geeignete Techniken der Wärmeisolierung in und am Mundloch der Bohrung ist diese temperaturabhängige Instrumentendrift ausgeschaltet worden.

Die bisherigen Messungen haben die Übertragung der Erdzeiten und von Erdbeben auf das Grubengebäude nachgewiesen.

5.4 Meteorologische Messungen

Die in 1979 gemessenen Wetterdaten wurden ausgewertet, in Tabellen und Graphiken zusammengefaßt und mit den langjährigen Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes in der Station Braunschweig-Völkenrode verglichen.

Danach lag die mittlere Lufttemperatur in 2 m Höhe über Gelände in den Monaten Januar und Februar 79 rund 5 °C niedriger als das langjährige Mittel, in den Monaten Juli und August 2 °C bzw. 1,5 °C darunter. Die mittlere Temperatur im Dezember 1979 lag 3 °C über dem langjährigen Durchschnitt.

Bei der relativen Feuchte liegen die monatlichen Mittelwerte für September und Oktober ca. 10 % niedriger als das langjährige Mittel der Wetterstation Braunschweig-Völkenrode. Für den Luftdruck, die Windgeschwindigkeit und die Intensität des Niederschlages liegen keine Vergleichsmöglichkeiten vor. Die gemessene Niederschlagsmenge liegt jedoch deutlich unter dem langjährigen Mittelwert.

Bei der horizontalen Windrichtung herrschte die Richtung SW vor, gefolgt von den Richtungen WSW, W und SSW. Die prozentuale Häufigkeitsverteilung der in 1979 gemessenen Windrichtungen ist in einem Polardiagramm dargestellt (Fig.25).

Ununterbrochene Meßreihen liegen seit der Inbetriebnahme der Station (Juni 78) vor. Auf Magnetband gespeichert sind alle Rohdaten in 10-Minutenintervallen sowie die Tages- und Monatsberichte.

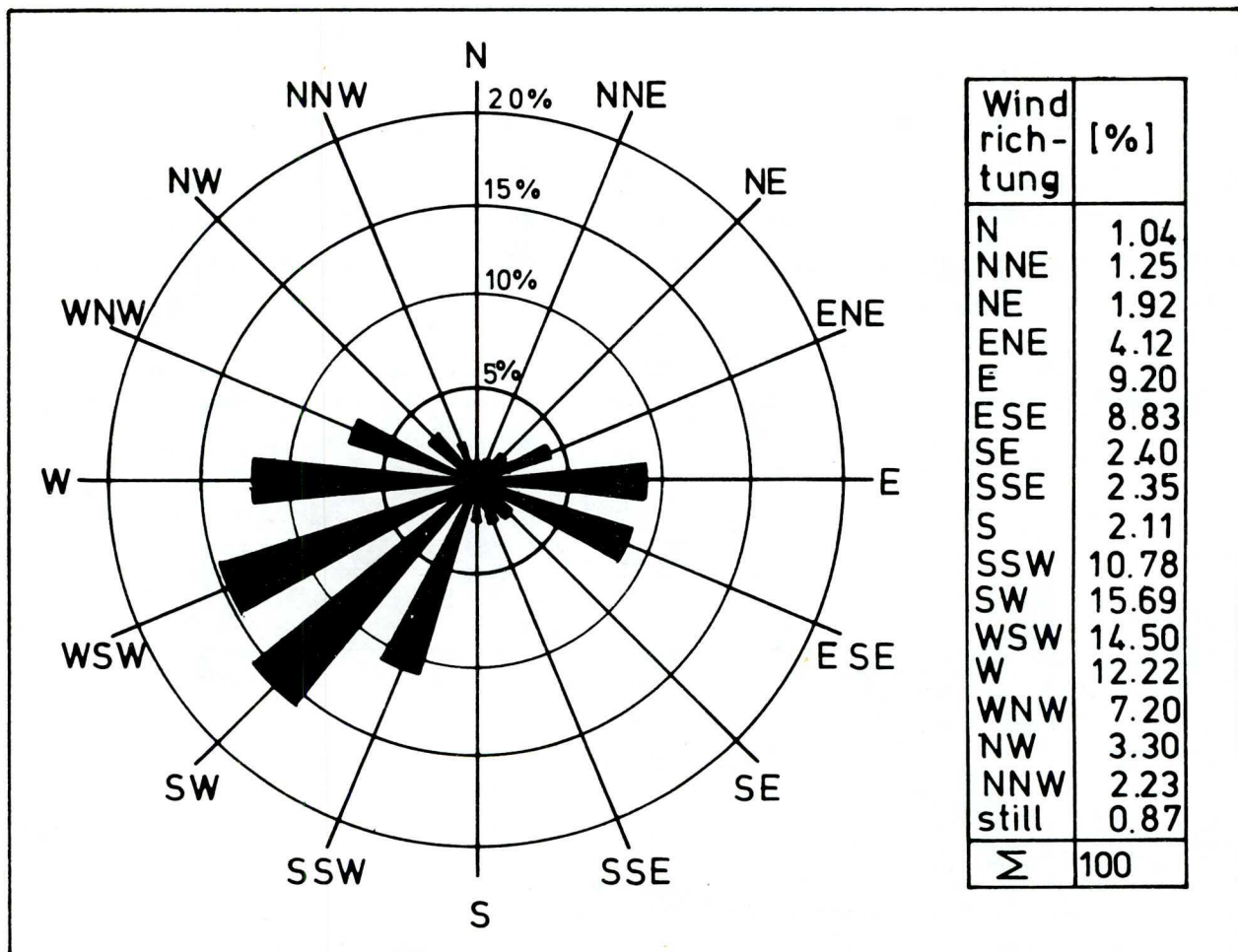


Fig. 25: Verteilung der Windrichtungen für das Jahr 1979
Standort: KONRAD

6. Bergtechnische Untersuchungen

6.1 Technische Aspekte des Einlagerungsbetriebes

Bei der bergtechnischen Entwicklung von Einlagerungskammern wurden einerseits die geologischen und gebirgsmechanischen Verhältnisse, andererseits die bergmännischen Erfahrungen berücksichtigt. Mit dem Ziel, die langfristige Standsicherheit der Hohlräume und ihren wirkungsvollen Abschluß als Grundbedingungen für eine sichere Endlagerung zu garantieren sowie die Kammern zur Aufnahme verschiedenartiger radioaktiver Abfallgebinde und Großkomponenten optimal zu dimensionieren und die bergtechnische Betriebsmöglichkeit zu gewährleisten, entstanden vier Modell-Typen.

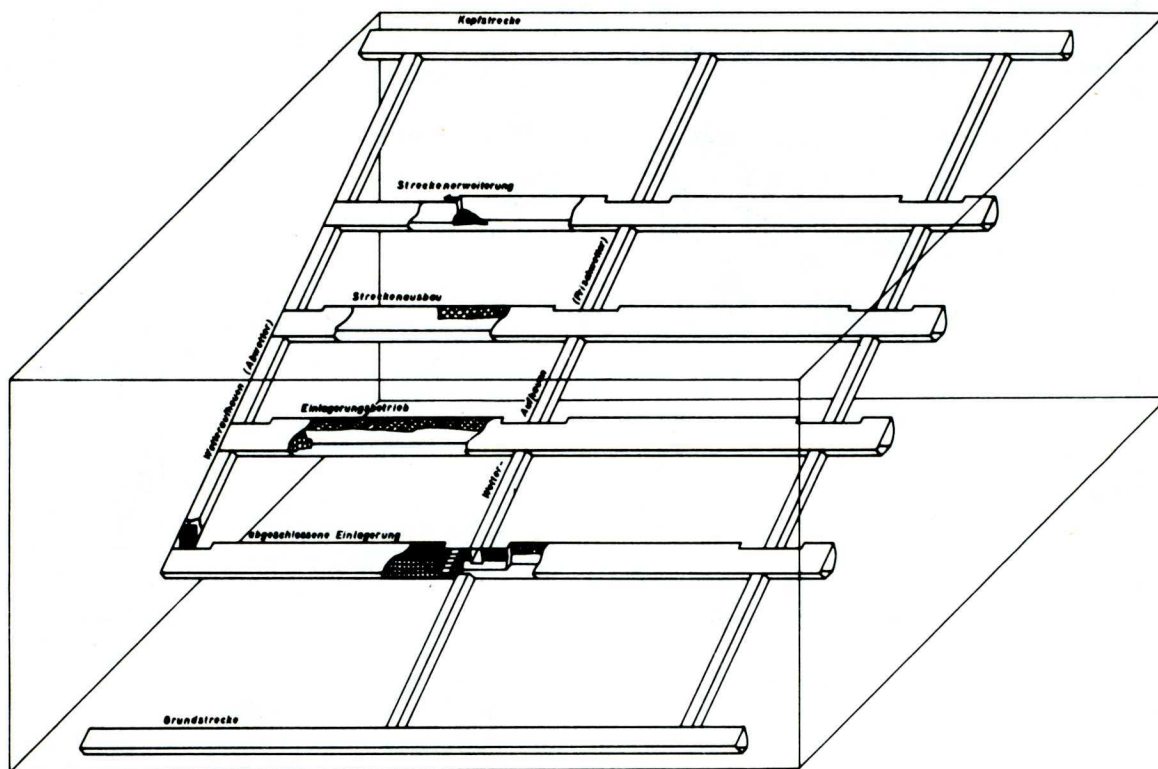


Fig.26: Schemabild eines Vorrichtungs- und Einlagerungsbetriebes in erweiterten Strecken (Kammermodell A)

Das Kammermodell A (Fig.26) basiert auf dem bisher angewandten bergtechnischen Vorrichtungskonzept für Gewinnungsfelder. Dabei werden zwei Sohlen in einem seigeren Abstand von 100 m

im Erzlager parallel aufgefahren (z.B. 4. und 5. Sohle) und durch entsprechende Wetteraufhauen verbunden. Im Abstand von 60 m zur Grund- bzw. zur Kopfstrecke und mit einem Abstand von 50 m untereinander - jeweils bezogen auf das einfallende Lager - werden dann vier (evtl. auch sechs) Einlagerungsstrecken eingerichtet. Diese haben gegenüber den normalen Fahrstrecken (25 m^2) einen erweiterten Querschnitt von 40 m^2 Fläche und eine Länge der einzelnen Abschnitte von ca. 80 m. Die obere Hälfte des Streckenprofils wird mit dem bewährten Anker- ausbau (Spreizhülsenanker von 1,8 m Länge) und Maschendraht- verzug gesichert, wobei eine Ankerdichte von ca. 1 Anker pro Quadratmeter eingehalten wird.

Eine vergleichende Gegenüberstellung der vier entwickelten Kammermodelle hat gezeigt, daß das Kammermodell A für eine Einlagerung am günstigsten ist. Unter den gegebenen Bedingungen hat ein Einlagerungsraum mit diesem Grundkonzept die folgenden Vorteile:

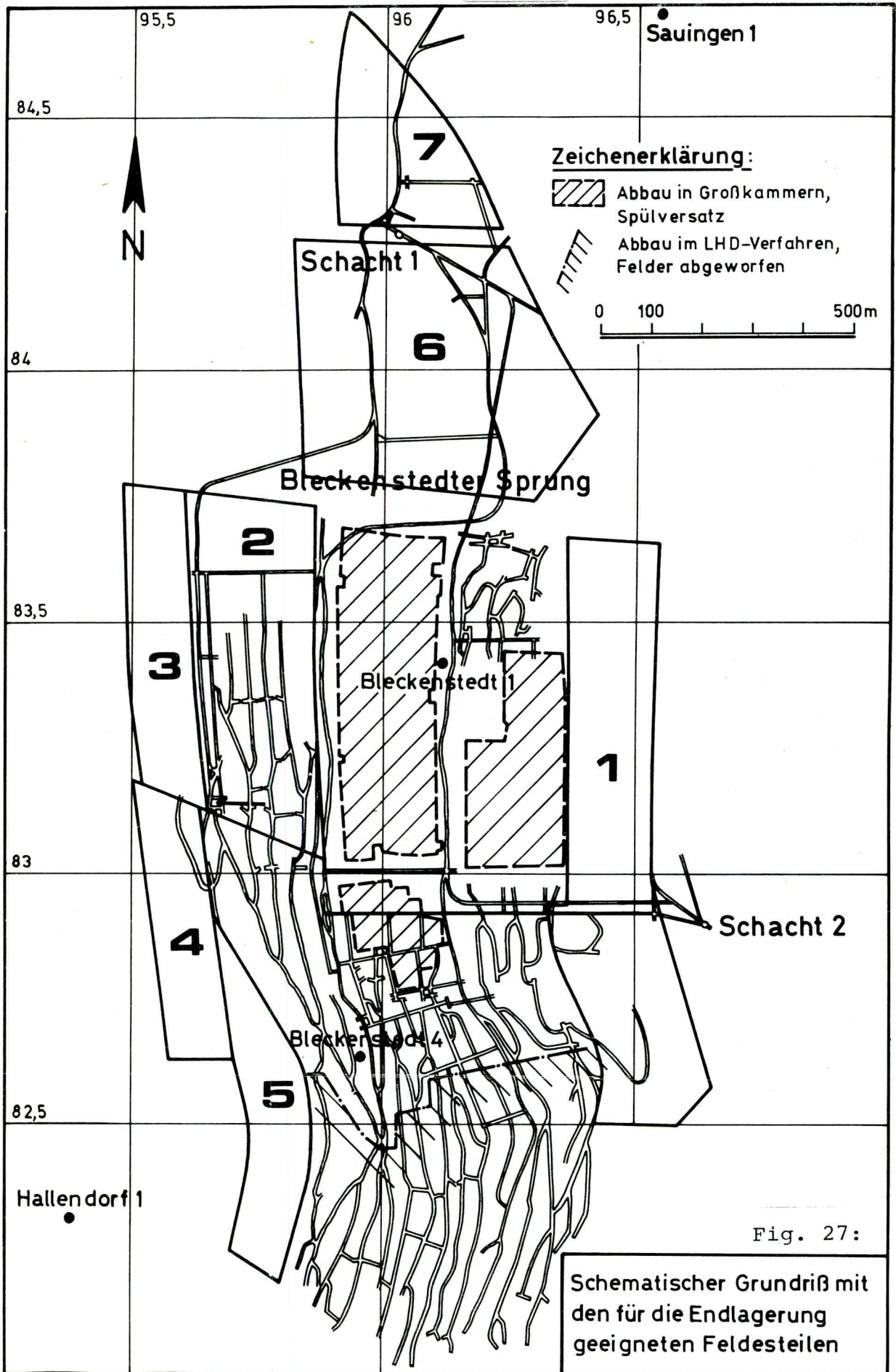
- Hohe gebirgsmechanische Sicherheit der großräumigen Streckenquerschnitte durch streichende, im Erzlager aufgefahrene Einlagerungsstrecken, die durch starke, nicht durchörterte Pfeiler getrennt sind.
- Minimierung des Bergeversatzes in den Einlagerungskammern aufgrund ausreichender Standsicherheit der Kammerwände.
- Sichere und einfache bergtechnische Kammer- und Streckenauffahrung durch Teilschnittmaschinen mit gebirgsschonender Arbeitsweise und exakter Einhaltung des Streckenformats.
- Kurze Wege für den Transportbetrieb bei Einlagerung und Hohlraumgewinnung mit ausreichenden Verkehrsflächen.
- Technische Durchführbarkeit des Abschlusses von Einlagerungskammern und Einlagerungsstrecken durch weitgehend mechanisch aufgeschüttete Dämme.
- Große Hohlraumausnutzung bei der Stapelung der Abfallbehälter.

- Versatzlose Einlagerung bei dichter Faßstapelung und einfache Versatzeinbringung bei der Endlagerung von Großkomponenten.
- Problemlose Wetterführung und Möglichkeiten zur Trennung der Wetter im Einlagerungs- und Auffahrbetrieb.

Mit der Entwicklung einer geeigneten Einlagerungskammer war die Feststellung der für die Auffahrung derartig dimensionierter Kammern zur Verfügung stehenden Feldesteile verbunden. Aus einer bergtechnisch/markscheiderischen Bewertung des existierenden Grubenreviers ergab sich, daß insgesamt 7 Einlagerungsfelder (Fig.27) angelegt werden können, fünf davon im Grubenteil südlich der Bleckenstedter Störung. Es wurde folgende Hohlraumabschätzung durchgeführt:

- Im Feldesteil 1 beträgt die Erzmächtigkeit durchschnittlich 9,5 m, das sind für die in Fig.24 ausgewiesene Fläche 5,45 Mio. t Erz oder 3 Mio. m³ Volumen. Bei Anwendung auf das Kammermodell A mit 40 m² Streckenquerschnitt ergibt sich daraus ein Einlagerungshohlraum von 218.400 m³.
- Im Feldesteil 2 ist das bauwürdige Erz mit Fe-Gehalten $\geq 28 \%$ 15,6 m mächtig. Das zur Verfügung stehende Erzvolumen beträgt 2,5 Mio. m³. Bei Auffahrung des Kammer-typs A würden davon ebenfalls 218.400 m³ genutzt werden können.
- Die Felder 3 und 4 mit zusammen 1,2 Mio. m³ Erzvolumen ermöglichen die Schaffung von 122.400 m³ Einlagerungsvolumen.
- Das Feld 5 mit 4 m Erzmächtigkeit erlaubt die Auffahrung weiterer Einlagerungsstrecken mit insgesamt 86.000 m³ Hohlraum.

Damit können für Einlagerungszwecke in Kammern vom Typ A im Revier südlich der Bleckenstedter Störung (Felder 1 - 5) zwischen 500 000 m³ und 650 000 m³ Hohlraum je nach Auffahrung zur Verfügung gestellt werden.



Im Rahmen einer Studie wurde der technische Ablauf eines Einlagerungsbetriebes in Kammern vom Typ A im Hinblick auf die Strahlenbelastung des Betriebspersonals überprüft. Beide stehen in engen Wechsel- und Abhängigkeitsbeziehungen.

In der Schachthalle über Tage und auch am Füllort der Einlagerungs-
sohle wird neben einer Krananlage mit Auslegerarm als Alternative ein Aufschubwagen bzw. ein Aufschubgestell für den Förderkorb in Erwägung gezogen. Die Abfallbehälter und -gebände sollen über Tage auf diesen fahrbaren Untersatz gestellt werden, der dann auf den Korb geschoben und am Füllort herausgezogen wird. Mit einem einfach zu gestaltenden, jedoch fernbedienbaren Kran wird die Last abgehoben und auf das Transportfahrzeug aufgesetzt. Bei der Gestaltung des Füllortes sollen jedoch beide Varianten, Ausrüstung mit Auslegerkran und Betrieb mit Aufschubwagen, berücksichtigt werden.

Für erste Versuche der Behälter- und Gebindehandhabung über und unter Tage wurde ein Gabelstapler für 8 t Hublast beschafft. Dieser entspricht in seiner Auslegung den Bestimmungen der Bergbehörde. Zur Beherrschung des maximalen Gefälles bzw. der maximalen Steigungen bis 20% ist er mit hydrodynamischem Antrieb auf beiden Achsen und einer Allradbremsanlage ausgerüstet.

Die in einer Transport- und Zeitstudie zugrunde gelegten Arbeitsabläufe wurden unter dem Gesichtspunkt der Strahlenbelastung des Betriebspersonals untersucht. Vorausgesetzt wurde dabei, daß unabhängig von den Aktivitäten der in den Abfallbehältern eingeschlossenen radioaktiven Materialien die Dosisleistung in 1 m Abstand von der Behälterwandung 10 mrem/h nicht übersteigt. Als Parameter wurden dabei verschiedene Gebindeformen und Gebindegewichte betrachtet, so z.B. 400 l-Fässer mit und ohne verlorene Abschirmung (VBA), Palettengestelle für mehrere 400 l-Fässer sowie Behälter (Stahl/Beton) von bis zu 2 m x 2 m x 2 m. Je nach Art der Komponenten sind die Betriebsabläufe im Rahmen des Transportes von über Tage bis zur Einlagerungskammer und damit auch die Zeiten für die Handhabung verschieden.

Bei diesen ersten Untersuchungen mit geschätzten Werten für die einzelnen Handhabungsphasen zeigte sich, daß die Dosisbelastung des Personals bei allen Betriebsvorgängen unterhalb der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung liegt.

6.2 Feststellung der Einlagerungskapazität

In engem Zusammenhang mit der Transportstudie und dem Konzept der Einlagerung in erweiterten Strecken steht die Einlagerungskapazität der Schachtanlage Konrad. Hier bestehen Wechselbeziehungen zwischen den zur Verfügung zu stellenden Hohlräumen und der Transportkapazität in Schacht und Strecken.

Im Feldebereich südlich der Bleckenstedter Störung kann für die Einlagerung ein Gesamthohlraum mit einem Volumen von mindestens 500.000 m^3 erstellt werden.

Unter Berücksichtigung der begrenzten Ausfüllung der Einlagerungskammern mit Abfallkomponenten, der Zwischendämme, der Streckenversiegelung und der Nebenörter und Nebenstrecken werden nur ca. 50 % als nutzbarer Hohlraum angesetzt. Bei einer kalkulierten jährlichen Einlagerungsleistung von 12.500 m^3 effektivem Abfallvolumen reicht die angegebene Lagerkapazität für eine Betriebszeit von rund 20 Jahren. Unter Einbeziehung der Feldesteile (Felder 6 + 7) im Grubenbereich nördlich der Bleckenstedter Störung, für die ein erstellbarer Gesamthohlraum von ebenfalls 500.000 m^3 abgeschätzt wurde, verlängert sich bei gleicher Leistung diese Zeit um weitere 20 Jahre.

Im Rahmen einer ersten betrieblichen Abschätzung ergibt sich für ein kalkuliertes jährliches Abfallvolumen von 12.500 m^3 bei 200 Einlagerungsschichten pro Jahr ein zu verfüllender Nutzhohlraum von $62,5 \text{ m}^3$ pro Schicht. Für die Erstellung dieses Nutzhohlraumes genügt bei dem oben genannten Ausnutzungsgrad in den Einlagerungskammern von 50 % die Auf-fahrung von ca. 3 m Strecke pro Tag bzw. ca. 50 m pro Monat. Dies entspricht bei einem Streckenquerschnitt von ca. 40 m^2 einem Volumen von ca. $125 \text{ m}^3/\text{Tag}$ und einem Erzanfall von ca.

340 t/Tag bzw. ca. 5.700 t pro Monat.

Über die mögliche Bereitstellung nutzbaren Hohlraums in der Größenordnung von 12.500 m^3 pro Jahr wurden die Einheitsmengen für die Komponenten der verschiedenen Arten in Annäherung ermittelt und auf die pro Schicht dafür notwendigen Förderzüge und Transportfahrten unter Tage bezogen. Ein Vergleich dieser Förderzugzahlen mit den in einer Transportstudie festgelegten Erfordernissen macht deutlich, daß im Hinblick auf das Einlagerungsvolumen und die benötigte Transportzeit mit der geplanten Förderanlage, den vorgesehenen Transport- und Stapelfahrzeugen und sonstigen Einrichtungen, wie Kräne u.a., die genannten Abfallgebände für die Ausfüllung eines Hohlraumes von 12.500 m^3 pro Jahr im einschichtigen Betrieb eingelagert werden können. Bei entsprechender Organisation ist noch genügend Zeit zur gleichzeitigen Hohlraumerstellung einschließlich Erzförderung, Einbringen des Versatzes und der Abdämmung.

Die Einlagerungsleistung von 12.500 m^3 pro Jahr ergibt sich aus der Abstimmung der Förderkapazitäten eines 1-Schichtbetriebes (Schacht- und Streckenförderung) mit gleichzeitiger Abfall- und Erzförderung. Für das jährlich einlagerbare Abfallvolumen kommen alternativ verschiedene Gebindeeinheiten mit folgenden Stückmengen in Frage:

Einheiten alternativ	Stückmengen		Förderzüge	maximale Förderzugzahl pro Schicht
	pro Jahr	/ pro Schicht		
1. 400 l-Fässer (auf 6er-Paletten)	25.000*	125	10	25
2. 400 l-Fässer in VBA	5.000*	25	8/12	20
3. Normbehälter 1,19 x 1,19 x 2,35 m	3.500*	18	9	15
4. Großbehälter 2 x 2 x 2 m	1.560*	8	8	10

*: Gesamtvolumen der Abfallgebände jeder der 4 Alternativen: $12.500 \text{ m}^3/\text{a}$

Die Transportstudie, die eine Erzförderung unberücksichtigt läßt, geht von den maximal möglichen Förderzügen und Transporten in der Strecke aus und bezieht sich dabei auf eine effektive Arbeitszeit von 5 Stunden pro Schicht für die einzelnen Betriebsabläufe wie Schachtförderung, Streckenförderung und Einlagerungsvorgang. Danach liegen die maximal pro Schicht einlagerbaren Abfallmengen, besonders für 400 l-Fässer auf 6er-Paletten und für VBA's bedeutend höher und erreichen mit ca. 125 m^3 pro Schicht bzw. 25 000 m^3 pro Jahr das Doppelte des oben angegebenen Wertes.

Eine derartige Steigerung der Einlagerungsleistung bedingt allerdings eine 2. Schicht für die Erstellung des notwendigen untertägigen Hohlraums. Bei der Auffahrung der erforderlichen 100 m Einlagerungsstrecke fallen dann monatlich ca. 11 400 t Erz an. Insgesamt gesehen verkürzt sich dadurch auch die Nutzungsdauer des Feldesteiles südlich der Bleckenstedter Störung von 20 auf 10 Jahre.

Je intensiver eine Einlagerung durchgeführt wird, umso mehr gewinnt die Hohlraumerstellung an Bedeutung. Durch die erforderliche größere Anzahl von Betriebspunkten kann aus Gründen der betrieblichen Organisation, der Wittertechnik, der Staubbekämpfung sowie der betrieblichen und kerntechnischen Sicherheit eine weiträumige Trennung zwischen Einlagerungsrevier und der Aus- und Vorrichtung erforderlich werden. Eine vorstellbare Betriebsorganisation ist z.B., im südlichen Feldesteil ein Einlagerungsfeld fertig aufzufahren, technisch auszurüsten und anschließend mit Abfällen zu füllen, während gleichzeitig im Unterwerksbau bzw. im nördlichen Teil des Grubenreviers ein neues Feld vorgerichtet wird. Einen derartigen Betrieb mit Einlagerung und Hohlraumerstellung stellt das Schemabild auf S. 105, Fig. 28 dar.

Im südlichen Feldesteil kann das umfahrene Grubenfeld (Feld 2) zwischen der 4. und 5. Sohle in 4 Jahren in einschichtigem Betrieb bergtechnisch für einen Einlagerungsbetrieb vorbereitet werden.

Nach 4 Jahren stehen dann ca. 128.000 m³ Hohlraum sofort zur Verfügung. Unter Vernachlässigung der Erzförderung aus einem gleichzeitigen Auffahrbetrieb lassen sich hier mit den maschinentechnischen Möglichkeiten und unter Berücksichtigung des Füllungsfaktors 0,5 25.000 m³ Abfall im Einschichtbetrieb (100 Mann Betriebspersonal) bzw. 45.000 m³ im Zweischichtbetrieb (150 Mann Betriebspersonal) in den ersten 2 1/2 bzw. 1 1/2 Jahren endlagern.

6.3 Versatzuntersuchungen

Im Rahmen von Versatzstoffprüfungen wurden an gebrochenem Eisenerz, Tonstein und einer Mischung aus beiden u.a. Schwindung und Quellung, Verdichtbarkeit, Wasserdurchlässigkeit und Lagerungsbeständigkeit gegen H₂O und NaCl-Lösungen bestimmt. Günstige physikalische Werte ergaben sich aus den Untersuchungen mit einem Eisenerz/Tonstein-Gemisch der Zusammensetzung 1:1. Die verwendeten Körnungen waren Eisenerz 0-10 mm aus der werkeigenen Brecheranlage und Tonstein < 11,2 mm im Laborbackenbrecher zerkleinert. Folgende Daten wurden ermittelt:

- | | |
|---|--|
| - Schüttdichte | 1.51 Mg/m ³ |
| - Optimale Verdichtung bei 11,0 Gew.-% Wassergehalt | 2.520 g/cm ³ |
| - Druckfestigkeit bei optimalem Wassergehalt und bei 3 N/mm ² Belastung | 4,1 - 4,9 N/mm ²
(nach 28 bzw. 90 Tagen) |
| - Gesamtporosität aus Roh- und Reindichte bei einer Druckbelastung von 3 N/mm ² | 28.9 % |
| - Quellung | 0.9 % |
| - Wasserdurchlässigkeitsbeiwert bei optimalem Wassergehalt und 3 N/mm ² Druckbelastung | 7 · 10 ⁻⁷ m/s =
70 m-Darcy |

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

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

Zur Auswahl eines geeigneten Schüttversatzes wurde in einer Versuchsreihe der geringste Haufwerksporenanteil von Erzmaterial der Körnungen 0 - 10 mm und 40 - 80 mm und von verschiedenen Mischproben bestimmt. Günstige Ergebnisse lieferte eine Schüttung 50/50 %, die bei einem Porenanteil von 12 Vol.-% im wassergesättigten Zustand eine Raumdichte 2.05 t/m^3 erreicht. Die im Labor untersuchten Versatzstoffe werden in in situ-Experimenten geprüft und nach Bedarf weiterentwickelt.

6.4 Wettermessungen

Zur Vertiefung der Wetteruntersuchungen, die mit den allein nicht repräsentativen Handmessungen begonnen wurden, und als vorbereitende Messung zur in situ-Permeabilitätsbestimmung in der Wetterteststrecke wurden in einer 2 1/2-monatigen Kampagne die Grubenwetter beobachtet. Dazu wurden je 3 Meßpunkte im einziehenden Wetterstrom auf den drei Sohlen am Schacht 1 und im ausziehenden Wetterstrom am und im Schacht 2 eingerichtet. Mit den automatisch registrierenden Meßinstrumenten (Feuchte-

und Temperaturmeßschreiber, Druckdifferenzmeßschreiber, Geschwindigkeitsmeßschreiber) wurden die Wettermenge und die Trocken- und Feuchttemperaturen erfaßt. Über ein rechnergestütztes Auswertprogramm wurden die umfangreichen Meßdaten ausgewertet. Dabei wurden der Feuchteaustrag aus der Grube auf dem Wetterweg und die Wetterzustände bei verschiedenen Betriebszuständen, wie

- Ventilatoren in Betrieb,
- Ventilatoren ausgeschaltet und
- Ventilatoren ausgeschaltet bei gleichzeitig geschlossener Schachtklappe am Schacht 1,

ermittelt. Darüber hinaus wurde der Einfluß von überlagernden Faktoren, wie es z.B. die künstliche Wasserzufuhr nach unter Tage ist, auf die Wetterfeuchte größenordnungsmäßig erfaßt.

Als Ergebnis der Messungen hat sich gezeigt, daß der Gesamtwetterstrom in der Größenordnung von 100 bis 130 m³/sec liegt und die Wetterstromverteilung bei den einzelnen bewetterungstechnischen Betriebszuständen nur geringfügig schwankt. Der Wetterdruckbedarf war während der Untersuchungsphase in der kalten Jahreszeit relativ klein, da durch die Wärmeaufnahme im Grubenrevier die Wetter einen starken natürlichen Auftrieb erhalten. Der Temperaturanstieg der Wetter ist in der Hauptsache auf den Wärmeaustausch mit dem Gebirge, teilweise aber auch auf die Luftkompression in den seigeren Grubenbauen zurückzuführen. Mit sinkender Außentemperatur ging der Druck der Ventilatoren so weit zurück, daß durch den natürlichen Auftrieb ein Überfluten der Ventilatoren eintrat und diese abgeschaltet werden konnten. Dabei war die Differenzmenge der Wetterströme sehr gering.

Der Wasserdampfgehalt der ausziehenden Wetter ist nur geringen Schwankungen unterworfen. Die untertägige Wasseraufnahme hängt stark von dem Wassergehalt der einziehenden Wetter ab. Während der Untersuchungen lag die Summe des Wassergehaltes am Ausziehschacht bei ca. 10 g/m^3 .

In der warmen Jahreszeit kann der Wasserdampfgehalt der Luft über Tage bereits diese Größenordnung erreichen, so daß je nach den Druckverhältnissen unter Tage keine zusätzliche Feuchtigkeit mehr aufgenommen werden kann und sich sogar Wasser im Ausziehbereich niederschlagen kann. Ergänzende Untersuchungen sind für das Sommerhalbjahr 1980 geplant.

Die Untersuchungsergebnisse sind auch zur Auslegung der Wetterführung für einen möglichen Einlagerungsbetrieb von Bedeutung, da sie Aufschluß über Möglichkeiten der Unterbrechung oder des Umkippens von Teilwetterströmen geben.

Beim Einlagerungsbetrieb wird eine Sonderbewetterung der Einlagerungsstrecken notwendig sein. Um hier eine Optimierung der Wetterführung zu erreichen, sollen 1980/81 Versuche mit Wetterbohrlöchern gefahren werden. Zur Vorbereitung dieser Untersuchungen wurden im Jahre 1979 Konzepte für Bohrverfahren von Wetterbohrlöchern mit ca. 50 m Länge und 500 - 700 mm Durchmesser in Neigungen von $20 - 25^\circ$ entwickelt.

6.5 Zeitplanung für die Erstellung der Anlagen im technischen Bereich

Der derzeitige Stand der Untersuchungen der technischen Aus- bzw. Umrüstung der Schachanlage für die Einlagerung von radioaktiven Abfallkomponenten ist soweit fortgeschritten, daß eine erste Zeitplanung und Kostenzusammenstellung durchgeführt werden konnte.

In dieser Zusammenstellung sind die Änderungen bzw. Neuplanungen an folgenden Anlageteilen und Geräten enthalten:

Schachtfördereinrichtung mit

Fördermaschine und zugehörigem Gebäude,
Änderung im Fördergerüst,
Schachteinbauten und
Einrichtung des Füllortes der 1.100 m-Sohle.

Übertägige Einrichtungen für Einlagerungsbetrieb mit

Umbau in der Schachthalle,
Schachthallenkrananlage,
Waggonentladehalle,
Gleisanlagenänderungen und
neuen Straßenführungen.

Errichten einer neuen Sieb- und Brechanlage.

Über- und untertägige Transporteinrichtungen mit

Transportfahrzeugen,
Be- und Entladeeinrichtungen,
(Stapelfahrzeuge, Krananlagen, Personen- und
Materialfahrzeuge).

Bergbaumaschinen

schneidende Vortriebsmaschinen mit Abförder-
einrichtungen und Staubfilteranlagen, Ventilatoren u.a.,
Bohrmaschinen für Wetterbohrlöcher,
Bohreinrichtungen für Sackbohrlöcher,
Versatzmaschinen und Einrichtungen.

Umbau der Wasserhaltung.

Aus den Erfahrungen beim seinerzeitigen Aufbau der Schachtanlage Konrad kann als vorgegebene Zeit für diese oben angeführten Um- und Ausrüstungen ein Zeitraum von mindestens 3 Jahren angesetzt werden. Dabei ist Voraussetzung, daß bereits eine weitgehende Vorarbeit an vergabereifen Projekten abgeschlossen ist. Bei der zeitlichen Abstimmung ist Parallellauf von verschiedenen Projekten angenommen, die zwar technisch un-

abhängig voneinander sind, wie z.B. Neubau Fördermaschinengebäude und Aufbau einer neuen Sieb- und Brechanlage, von der Organisation her aber Berührungspunkte haben, wie Unterbringung von Belegschaft, Waschkaueneinrichtungen, Rüstplatz, Werkstatt u.a.. Aus diesen Gründen kann es unter Umständen erforderlich sein, Um- oder Neubauten bzw. Erweiterungen der vorhandenen übertägigen Anlagen vor dem Baubeginn der dem eigentlichen Einlagerungsbetrieb dienenden technischen Anlagen durchzuführen. Anderenfalls kann sich der Termin bis zu 2 Jahre hinausschieben.

Zu dem oben genannten technischen Aufwand kommen noch die von der kerntechnischen Seite her notwendigen Einrichtungen.

Die oben genannten 5 Gruppen der technischen Einrichtungen können zwar anhand von vergleichbaren Richtpreisen und Schätzungen angenähert ermittelt werden, eine Endsumme kann aber z.Z. noch nicht genannt werden, da die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind.

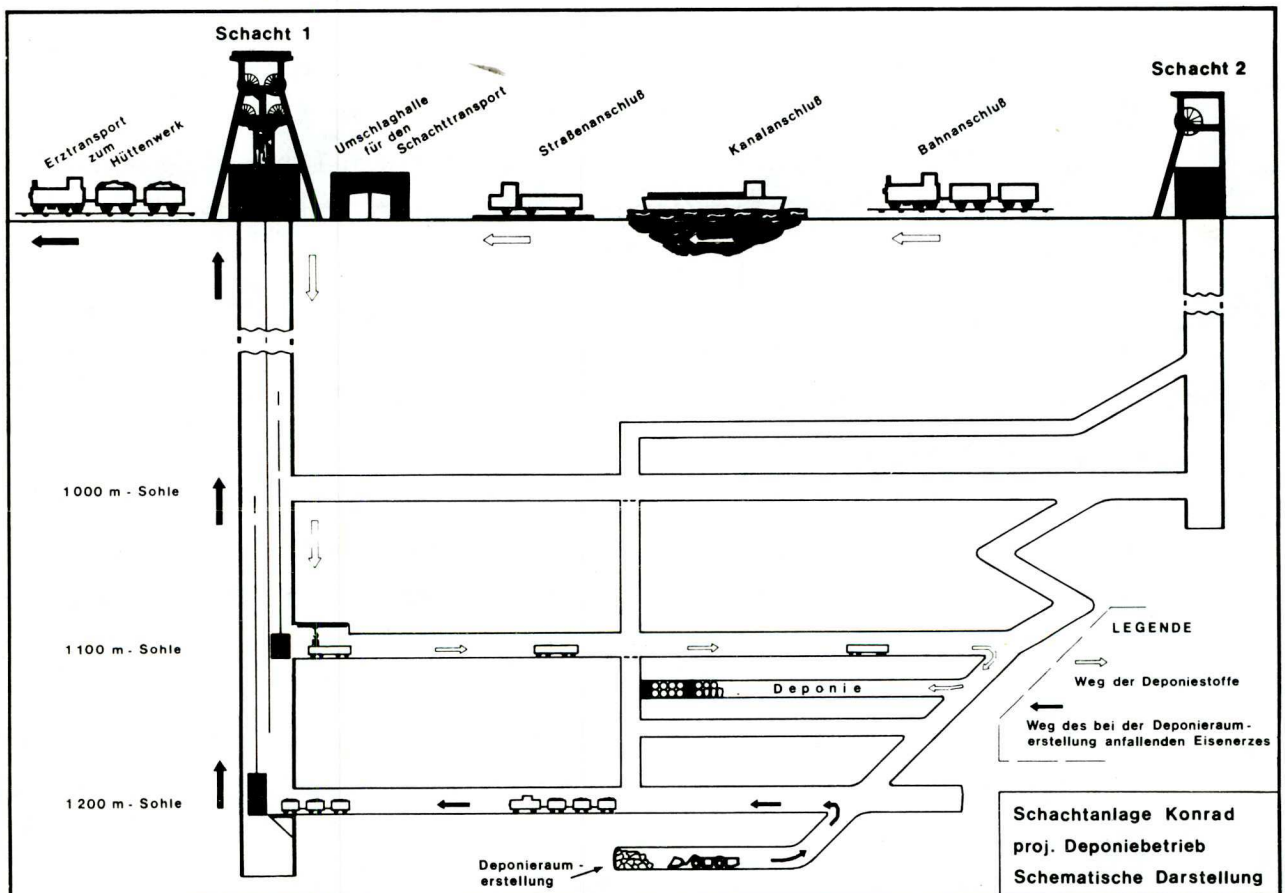


Fig. 28: Schemabild für einen Einlagerungsbetrieb im südlichen Feldesteil der Grube Konrad

6.6 Zusammenfassung der bisherigen bergtechnischen Untersuchungsergebnisse

Übertägige Anlagen

Betriebsgebäude, wie Schachthalle, Werkstatt, Fördermaschinen und Umformergebäude, Schalthalle mit Stromversorgungsanlagen, sind ausreichend dimensioniert. Das Werksgelände am Schacht Konrad 1 bietet genügend Platz für den Neubau von Verwaltungs- und Kauengebäude, für die Verlegung der Erzbrechanlage sowie für eventuelle bauliche Einrichtungen zur kerntechnischen Sicherheitsüberwachung.

Bahnanschluß am Schacht Konrad 1 für Erzverladung ist vorhanden. Das ehemalige Gleis für Berge und Materialförderung unmittelbar am Schacht kann für die Anlieferung der Einlagerungskomponenten verwandt und entsprechend hergerichtet werden. Am Schacht Konrad 2 existiert ein Gleisanschluß von der Hütte her.

Straßenanschluß besteht am Schacht Konrad 1 direkt zur Kreisstraße 12, der Industriestraße Nord und der mittelbar vorbeiführenden Bundesstraße 490. Der im Hüttengelände liegende Schacht 2 ist über alle Werkszufahrten zu erreichen.

Wasserstraßenanschluß ist durch den bis zur Hütte reichenden Stichkanal des Mittellandkanals, der in der Nähe von Schacht 2 vorbeiführt, vorhanden.

Waggonentladehalle mit Vorrichtungen zur Registrierung, Prüfung und Umladung der angelieferten Abfallgebände kann mit einer Grundfläche von ca. 20 x 70 m unmittelbar neben der Schachthalle errichtet werden. Bahnanschluß ist über das ehemalige Materialgleis gegeben.

Die Schachthalle ist in ihren Abmessungen ausreichend, so daß keine Erweiterungen vorgenommen werden müssen. Eine Unterteilung

durch eine staubdichte Abschottung zwischen Einlagerungs- und Erzförderbereich ist in der Schachthalle notwendig. Diese Verkleidung ist auch im Führungsgerüst zwischen dem südlichen Trum und dem nördlichen Trum der Erzförderung in der gesamten Höhe der Schachthalle und im Schacht bis unter die Schachtklappen durchzuziehen. Die Beschickungseinrichtungen (Korbab- und -aufschiebeeinrichtungen, Wagenumlauf und Wipper) bleiben im nördlichen Schachthallenteil für die Erzförderung erhalten. Der südliche als Einlagerungsbereich auszubildende Teil wird durch einen voll umkleideten Hallenteil an die Waggonentladehalle angeschlossen.

Den übertägigen Transport der Komponenten übernehmen Gabelstapler oder ein Spezialkran, der die Einlagerungskomponenten aus der Waggonentladehalle in die Schachthalle bis auf den Förderkorb transportiert. Dieser Spezialkran ist mit einer Drehtraverse und verfahrbarem Auslegerarm für eine Nutzlast von 24 t auszurüsten. Ein Konstruktionsentwurf für diesen Kran wurde ausgearbeitet.

Schachtfördereinrichtung

Der Schacht Konrad 1 hat einen Durchmesser von 7 m. Der nördliche Teil ist mit einer Gestellförderung für 18 t Nutzlast im Zweikorbbetrieb ausgerüstet und wird in dieser Form weiterhin für Erzförderung und Seilfahrt benötigt.

Der Querschnitt im südlichen Fördertrum erlaubt den Einbau einer Förderung für einen Großraumkorb mit ca. 2,4 x 2,4 m nutzbarer Grundfläche und ein schmal gehaltenes Gegengewicht. Für die einzurichtende Förderung gelten die folgenden technischen Daten:

Nutzlast 24 t, Fahrgeschwindigkeit 8 m/s, max. Komponentenabmessungen 2 x 2 x 4 m, Zweiseilförderung mit Förderkorb und Gegengewicht.

Das vorhandene Doppelstrebengerüst und das Führungsgerüst können ohne Verstärkungen verwendet werden. Umbauten sind notwendig zur Verlagerung der vier Seilscheiben im Strebengerüst und zur Aufnahme von Großraumkorb und Gegengewicht im Führungsgerüst. Die vorhandenen Schachteinbauten sind in den Einstrichen teilweise zu verstärken, die Spurlatten sind zu erneuern.

Der Großraumförderkorb soll für die Aufnahme von Abfallkomponenten verschiedener Art und Größe mit Gewichten bis zu 20 t ausgelegt sein. Für Großkomponenten sind z.Z. Einheitsbehälter mit den Abmessungen 1,19 x 1,19 x 2,35 m vorgesehen. Behälter mit größeren Abmessungen können ebenfalls benutzt werden, sofern sie in den Strecken transportabel und in den Einlagerungskammern handhabbar sind. Die Abmaße 2 x 2 x 4 m bilden hier eine obere Grenze. Bei der Beschickung des Großkorbes mit derartigen Großbehältern kann sich, ebenso wie bei der Entladung auf der Einlagerungssohle, ein Einschubwagen als eine zweckmäßige technische Lösung erweisen. Zur besseren gewichts- und volumenmäßigen Ausnutzung des Großkorbes bei der Förderung leichterer Einzelgebilde, z.B. von 400 l-Fässern auf 6er-Paletten und VBA-Behältern, eignet sich ein einschiebbares Etagengestell. Die Abfallkomponenten einerseits und der Einschubwagen bzw. das Etagengestell andererseits ergeben zusammen das Gesamtfördergewicht des Großkorbes von 24 t.

Am Füllort der Einlagerungssohle - 1100 m-Sohle - ist ein neuer Schachtstuhl einzubauen. Um den Großraumkorb in der Entladestellung zu fixieren, ist eine spezielle Haltevorrichtung notwendig. Im Hinblick auf die Entladung von Großkomponenten und die hierzu notwendige Krananlage mit in den Korb reichendem Auslegerarm muß das Füllort verbreitert und auf eine Höhe von ca. 12 m gebracht werden.

Untertägiger Transport und Einlagerung

Als Zufahrt zu dem vorerst vorgesehenen Einlagerungsfeld zwischen 1100 m-Sohle und der 1200 m-Sohle (Feld 2 in Fig.27) kann die vorhandene

Die Schneidbarkeit des Erzes wurde im Anschluß an entsprechende petrographische Untersuchungen durch die Versuche mit der Sohlenfräse vor Ort nachgewiesen. Der versuchsweise Einsatz einer leistungsstarken schneidenden Streckenvortriebsmaschine ist vorgesehen.

Die Abförderung des bei der Hohlraumerstellung gewonnenen Gutes erfolgt in Förderwagen über die Gleisanlage auf der 1200 m-Sohle und die Gestellförderung im nördlichen Trum des Schachtes Konrad 1 nach über Tage.

Hohlraumabschluß und Versatz

Hierbei handelt es sich zunächst um den Restversatz der von Komponenten nicht ausgefüllten Räume in den Einlagerungskammern, die Dämme vor den Kammerabschnitten und den Verschuß der einzelnen Einlagerungsstrecken während der Betriebsphase.

Die Untersuchung über geeignete Versatzmaterialien, Geräte zur Versatzeinbringung und die Dammgestaltung laufen z.Z. noch. Eine Erprobung soll mit einem Transport- und Stapelversuch mit inaktiven Komponenten in Faß- und Gebindeform verbunden werden.

Wasserhaltung

Die derzeitig installierte Pumpenanlage ist für den heutigen Bedarf bei weitem zu groß dimensioniert, da sie für den ehemaligen Spülversatzbetrieb ausgelegt ist. Sie soll dennoch erhalten und auf den neuesten Stand der Technik gebracht werden. Die Wasserhaltung soll so gestaltet werden, daß die Wässer sowohl über Schacht 1 als auch Schacht 2 zu Tage gefördert werden können. Es wurde ein Konzept entwickelt, nach dem über Schacht 1 eine Wassermenge von $3 \text{ m}^3/\text{min}$ und $2 \text{ m}^3/\text{min}$ über Schacht 2 gefördert

werden können. Eine untertägige Rohrleitungsverbindung zwischen Schacht 1 und 2 soll eingerichtet werden. Ausreichende Sumpfstrecken sind vorgesehen. Übertägige Rückhaltebecken werden eingerichtet.

Die bergtechnischen Untersuchungsergebnisse liegen vor als:

- Beschreibung der technischen/bergbaulichen Anlagen und der Fahrzeuge der Schachtanlage Konrad,
- Entwicklungsstudie zum Umbau der Schachtförderung für den Einlagerungsbetrieb,
- Konstruktionsentwurf für die Änderung der vorhandenen Krananlagen,
- Transportstudie zum Einsatz von Lade- und Transportfahrzeugen für den untertägigen Einlagerungsbetrieb,
- Wasserhaltungskonzept für den Untertagebereich der Grube.

Für die Verwendung der Schachtanlage als Endlager für radioaktive Abfälle spricht aus bergtechnischer Sicht, daß die ehemals für eine Tagesförderung von 5000 t ausgelegten technischen Einrichtungen großzügig dimensioniert sind. Durch teilweise Umrüstung und Ergänzung sowie durch notwendige Neuananschaffungen, z.B. von Transportfahrzeugen, läßt sich die Anlage mit einem vertretbaren Aufwand auf einen Einlagerungsbetrieb sowohl für Faßgebände und Container als auch für Einzelkomponenten aus der Kernkraftwerksstillegung umstellen.

Für die Endlagerung dieser Abfälle bieten von den verschiedenen bergmännisch erprobten Hohlraumformen Einlagerungstrecken mit 40 m² Querschnittsfläche einerseits gute Möglichkeiten der Endlagerausnutzung und Abfallhandhabung, andererseits aber auch gute Voraussetzungen für die betriebliche und nachbetriebliche Sicherheit.

7. Kerntechnische Untersuchungen

Kerntechnische Untersuchungen geben Aufschluß über die Verwendungsmöglichkeit der Schachanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Die Untersuchungen erstrecken sich auf

- den Nachweis der sicheren Verwahrung der eingeschlossenen Radionuklide im Erzbergwerk,
- die für die Endlagerung im Erzbergwerk geeigneten radioaktiven Abfälle,
- adäquate Verpackungen für Transport und Endlagerung der radioaktiven Abfälle und
- Berechnungen möglicher Strahlendosen, denen das Betriebspersonal ausgesetzt ist.

7.1 Untersuchungen zum sicheren Einschluß der Radionuklide

Ziel der Untersuchungen ist es, den quantitativen Nachweis zu führen, daß die im Erzbergwerk einzulagernden Radionuklide keine Gefährdung für die Biosphäre bilden können.

Die radiologische Sicherheitsbetrachtung wird für die Betriebszeit und für die Nachbetriebszeit des Endlagerbergwerks durchgeführt. Als mögliche Radionuklid-Transportmittel sind prinzipiell für die Betriebszeit Gas-/Flüssigphasen zu betrachten, für die Zeit nach Verschuß des Bergwerks lediglich die flüssige Phase.

Betriebszeit

Der Störfall "Wassereinbruch" während der Betriebszeit wird aufgrund des technischen Zustandes des Schachtausbaus,

der geologischen Verhältnisse sowie der in der Schachanlage Konrad installierten Pumpenleistung nicht betrachtet, da nicht zu erwarten ist, daß größere Zuflußmengen als beim Abteufen der Schächte auftreten und zudem die Pumpen so groß ausgelegt wurden, daß die für den ehemaligen Spülversatzbetrieb benötigten Wassermengen problemlos bewältigt werden konnten.

Als denkbarer Störfall während der Betriebszeit wird die Zerstörung eines Abfallgebundes durch Absturz im Schacht angenommen.

Für die modellmäßige Berechnung der Strahlenbelastung des Personals nach einem Störfall während der Betriebszeit wurde angenommen, daß beim Einlagerungsbetrieb ein Abfallfaß der Kategorien 1 bzw. 2 (vgl. Tab. 6) so zerstört wird (z.B. durch Absturz im Schacht), daß in einer Entfernung von 300 m vom Störfallort in Wetterrichtung 0,001 % der Aktivität ankommt.

Diese Annahmen sind aufgrund der Ergebnisse von Staubmessungen in der Schachanlage Konrad pessimistisch. Bei den Staubausbreitungsmessungen wurde bei einem Abschlag von 100 m^3 Erz durch Schießen in einer Entfernung von 300 m von der Ortsbrust bei mehreren Arbeitsvorgängen eine Schwebstaubkonzentration gemessen, die einem Anteil von nur 0,0001 % der 100 m^3 entspricht. Es wird angenommen, daß die Auswirkungen, die ein Faßabsturz auf das Zementprodukt hat, gleich denjenigen sind, die der Sprengvorgang auf das Erz hat.

Weiter zeigen die Staubmessungen in der Schachanlage Konrad, daß der Einfluß der Entfernung von der Sprengstelle zu den Meßstellen 1 bis 4 (100 - 400 m) auf die Dispersion der Schwebstaubwolke einen unbedeutenden Einfluß hat. Die Meßwerte der Meßstelle 3 in 300 m Entfernung von der Ortsbrust wurden als repräsentativ angesehen, da hier davon ausgegangen werden konnte, daß Meßfehler einerseits durch die Sedimentation von größerem

Staub innerhalb der 300 m-Streckenlänge und andererseits durch weitere Wetterverzweigungen (zu geringe Staubkonzentrationen) auszuschließen sind. Die Meßwerte zeigen, daß die durch den Arbeitsvorgang Schießen entstandenen Schwebstaubwolken die Meßstelle während einer Zeitspanne von ca. 10 Minuten passieren.

Für die Ausbreitung von kontaminiertem Staub nach einem Störfall "Faßzerstörung" (Wettergeschwindigkeit 2,2 m/s bei 3300 m³/min und Streckenquerschnittsfläche von 25 m², Gesamtwettermenge 10.000 m³/min verteilt auf 3 Sohlen), kann dieser Zeitraum von 10 Minuten für das Vorbeiziehen der Staubwolke an einem Punkt in 300 m Entfernung vom Störfallort ebenfalls zugrunde gelegt werden. Mit Hilfe dieser Zeitspanne und dem mittleren Volumen an Atemluft von 50 l/min bei mittlerer körperlicher Arbeit lassen sich die Inhalationsdosen unter Verwendung der Inhalationsfaktoren für verschiedene Organe bestimmen. Tabelle 6 zeigt die Inhalationsdosen für Plutonium, resultierend aus diesem Störfall. Andere Nuklide, wie Sr-90 und Cs-137, sind gegenüber der Belastung durch Plutonium vernachlässigbar.

Aktivitätsträger	Abfallgebinde bzw. Erz	Organ	Inhalationsdosis (rem/Ereignis; 10 min)
Plutonium	400 l-Faß Kat. 1 Feste trockene Abfälle ohne Behandlung Pu- Gehalt max. 10 mCi/t	Knochen	4,2 x 10 ⁻³
		Leber	6,1 x 10 ⁻⁴
		Niere	4,1 x 10 ⁻⁴
		Lunge	1,3 x 10 ⁻⁴
Plutonium	400 l-Faß Kat. 2 Verfestigte Abfälle Pu-Gehalt max. 4 Ci/t	Knochen	4,2 x 10 ⁻¹
		Leber	6,1 x 10 ⁻¹
		Niere	4,1 x 10 ⁻¹
		Lunge	1,3 x 10 ⁻¹
Radium, Thorium	Konrad-Erz mit den natürlich enthaltenen radioaktiven Stoffen Thorium und Radium	Knochen	1,7 x 10 ⁻² rem/a
		Leber	9,5 x 10 ⁻⁴ "
		Niere	2,5 x 10 ⁻³ "
		Lunge	4,4 x 10 ⁻³ "

Tab. 6: Berechnete Inhalationsdosen bei Zerstörung eines Abfallgebundes durch Absturz sowie bei untertägigen Arbeiten

Zum Vergleich werden Inhalationsdosen bei üblichen Arbeiten im Erzbergwerk Konrad über einen Zeitraum von 1 Jahr (6 Stunden/Schicht, 5-Tage-Woche, 40 Wochen) angegeben. Bei der Berechnung dieser Inhalationsdosen für Konrad-Erzstaub mit seinen natürlich enthaltenen radioaktiven Stoffen Thorium und Radium wurde eine Basiskonzentration von 1 mg/m^3 angenommen.

Die radiologische Belastung durch Inhalation (Tab. 6) liegt in allen Fällen unter den Grenzwerten der Körperdosen für beruflich strahlenexponierte Personen (BMI, Strahlenschutzverordnung, 1976), bei Zerstörung eines Fasses der Kategorie 1 sogar unter den Grenzwerten für beruflich nicht strahlenexponierte Personen (Tab. 7).

Organe	beruflich strahlenexponierte Personen (rem/a)	beruflich nicht strahlenexpon. Personen (rem/a)
Knochen	30	0,18
Leber Niere Lunge	15	0,09

Tab. 7.: Grenzwerte der Körperdosen nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)

Berücksichtigt man weiterhin betriebliche Möglichkeiten des Schutzes gegen kontaminierte Luft nach einem derartigen Störfall, wie z.B. das Anlegen von Atemschutzgeräten, so können die radiologischen Belastungen weiter reduziert werden.

Nachbetriebszeit

Zur Beurteilung der langfristigen Sicherheit wurden mit einem vereinfachten Modell Abschätzungen eines möglichen Nuklidtransportes aus dem Endlager in das Grundwasser vorgenommen. Dieser Modellansatz ist noch nicht endgültig und soll daher hier nicht weiter abgehandelt werden, zumal dort, wo noch reale Eingangsparameter fehlen, mit vorläufigen Annahmen gearbeitet werden mußte. Allerdings wurden die Annahmen so gewählt, daß die abgeleiteten Ergebnisse auf einen "ungünstigsten Fall" anwendbar sind und die Aussagen deshalb auch bei pessimistischer Betrachtungsweise für eine Bewertung herangezogen werden können.

Dieser erste Ansatz einer Ausbreitungsrechnung für Radionuklide in einem gering permeablen Medium läßt erkennen, daß bei der petrographischen Ausbildung und der Mächtigkeit des Deckgebirges der Grube Konrad die Migrationszeiten für die betrachteten Radionuklide Sr-90, Cs-137, Pu-238 und Pu-239 wesentlich mehr als das Hundertfünzigfache der jeweiligen Halbwertszeiten betragen werden. Dabei ist die Wirkung der als impermeabel zu bewertenden Alb-Tonsteine ebenso wenig berücksichtigt worden wie die Verzögerung der Radionuklidfreisetzung in die Biosphäre durch

- Dispersion und Rückhaltung der Radionuklide im Gebirge (Die 3-dimensionale Dispersion würde einen wesentlichen Rückhaltungs- und Verzögerungseffekt bewirken.),
- Verzögerte Auslaugung der Abfälle,
- Rückhaltung von Radionukliden durch Behälter und
- Rückhaltung von Radionukliden durch den Versatz des Grubengebäudes.

Zusätzlich wird auch die Berücksichtigung der erforderlichen Verdünnung der aus dem Endlager freigesetzten salzreichen Wässer auf einen Salzgehalt, der im Trinkwasser zulässig ist, eine entsprechende Reduktion der Radionuklidkonzentration im Trinkwasser erbringen.

7.2 Art und Menge der untersuchten radioaktiven Abfälle

Das Ziel der Arbeiten bestand in der Ermittlung der radioaktiven Betriebsabfälle und aller Abfälle aus der Stilllegung von Kernkraftwerken, unabhängig von einer Endlagerung in der Grube Konrad. Für aktivierte Komponenten aus Betriebs- und Stilllegungsabfälle wurden im Rahmen dieses F+E-Projektes keine geowissenschaftlichen und bergtechnischen Eignungsuntersuchungen durchgeführt.

In die Untersuchungen der Betriebsabfälle wurden alle schwachradioaktiven Abfälle sowie aktivierte und kontaminierte Großkomponenten einbezogen, die beim Betrieb von Kernkraftwerken, in Großforschungszentren einschließlich der Prototyp-Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe und in Landessammelstellen anfallen.

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

Abfälle aus Großforschungszentren und Landessammelstellen unterscheiden sich sehr in ihrer Zusammensetzung. Der größte Teil der Abfallmengen stammt aus den Forschungszentren Kernforschungsanlage Jülich und Kernforschungszentrum Karlsruhe, wobei das Kernforschungszentrum Karlsruhe den Hauptanteil produziert. In den Zentren Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung und Hahn-Meitner-Institut fallen nur geringe Mengen meist schwachaktiver Abfälle an.

Aus dem Betrieb von 12 Kernkraftwerken (6 Siedewasser- und 6 Druckwasserreaktoren je 1200 MWe, ohne Stilllegungsabfälle) sind nach der Systemstudie "Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik", Bd. I/IV 1976/77, folgende Rohabfallmengen zu erwarten:

- kontaminierte Teile 84 m³/a
- aktivierte Teile 5 m³/a
- Wasseraufbereitung und 5 000 m³/a
 allgemeiner Betrieb

Die häufigsten Radionuklide sind bei den kontaminierten Teilen aus dem Reaktorbetrieb vor allem die Radionuklide Cs-137 und Co-60, bei den aktivierten Teilen Co-60. Bei den Abfällen aus der Wasseraufbereitung sind ebenfalls Cs- und Co-Isotope die Hauptaktivitätsträger.

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

Tabelle 8 zeigt die zu erwartenden Gebindezahlen für die verschiedenen Abfallarten pro Jahr. Die Angabe der Aktivitäten und der Anteile der verschiedenen Nuklide an den Aktivitäten wurden aus der oben genannten Systemstudie entnommen und durch Mitteilungen von der Kraftwerk Union und dem Kernforschungszentrum Karlsruhe/Hauptabteilung Dekontaminations-Betriebe ergänzt.

Es wurden alle radioaktiven Abfälle aus der Stilllegung von Kernkraftwerken modellmäßig untersucht, unabhängig von Art und Umfang der für die Endlagerung im Erzbergwerk Konrad in Frage kommenden Abfälle. Art, Menge und zeitlicher Anfall der Abfälle von Leistungsreaktoren wurden zusammengestellt.

Auf der Grundlage von 6 Referenz-Kernkraftwerken wurden Hochrechnungen für alle im Betrieb, im Bau und in der Planung befindlichen Kernkraftwerke durchgeführt. Im vorliegenden Bericht sind jedoch ebenso wie bei den Betriebsabfällen die Daten von nur 12 Kernkraftwerken enthalten. Diese erlauben jederzeit eine Extrapolation auf eine beliebige Anzahl von Kernkraftwerken verschiedener Typen.

Tab. 8: Jährliches Abfallaufkommen aus dem Betrieb von 12 Kernkraftwerken (je 1200 MWe; ohne Stilllegungsabfälle) sowie den Kernforschungszentren und Landessammelstellen 1 Jahr nach Anfall

Abfallart	Behälter/Jahr	Verpackungsart	Aktivität/Behälter (Ci)	Aktivitätsverteilung ausgewählter Radionuklide
Aktivierte Reaktor-festabfälle 1)	80	400 l-Faß Gußbehälter	56 H-3 und 6750 Co-60	
	375	140 l Nutzvolumen	12 H-3 und 1440 Co-60	
Kontaminierte Reaktorabfälle	933	400 l-Faß	0,9	Co-58 11 % Co-60 20 %
	5.700	400 l-Faß	0,9	Cs-137/Ba-137 m 28 % Cs-134 9 %
Abfälle aus Wasserreinigung und sonst. Reaktorabfälle	1.100	VBA (400 l-Faß)	16	Sr-90 7 %
	9.100 2) 2.250 3)	400 l-Faß VBA (400 l-Faß)	1,3 16	Cs-137/Ba-137 m 25 % Cs-134 7 % Ce-144/Pr-144 8 % Pu 2) 3) Ru-106/Rh-106 15 % Sr-90 9 %
Σ Abfall/a	15.813	400 l-Faß		
	3.350	VBA		

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

2) 75 % Fässer der Kategorie 1 (Pu: max. 10 mCi/t), 25 % der Fässer Kategorie 2 (Pu: max. 4 Ci/t), vergleiche Tab. 6.

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

Tabelle 9 gibt über die voraussichtliche Betriebszeit der betrachteten Kernkraftwerke Aufschluß und deutet bei Annahme einer durchschnittlichen Lebensdauer von 30 Jahren auf den möglichen Zeitpunkt ihrer Stilllegung hin. Darüber hinaus ist der berechnete Anfall an Stilllegungsabfällen ersichtlich.

Name	Standort	Typ	Leistung	Inbetriebnahme	Voraussichtlich letzte Abschaltung	Gesamtmasse KKW	Radioaktive Abfälle
			MW	Jahr	Jahr	Mg	Mg
KRB-I	Gundremmingen	SWR	237	1966	1977	$1,4 \cdot 10^5$	6290
KWL	Lingen	SWR	256	1968	1976	$1,5 \cdot 10^5$	5910
KWO	Obrigheim	DWR	328	1968	1998	$5,8 \cdot 10^4$	2510
KKS	Stade	DWR	630	1972	2002	$1,1 \cdot 10^5$	4600
KKW	Würgassen	SWR	640	1973	2003	$2,0 \cdot 10^5$	7840
Biblis A	Biblis	DWR	1 146	1974	2004	$2,0 \cdot 10^5$	8360
KKB	Brunsbüttel	SWR	770	1976	2006	$2,2 \cdot 10^5$	8260
GKN-1	Neckarwestheim	DWR	762	1976	2006	$1,3 \cdot 10^5$	5440
Biblis B	Biblis	DWR	1 240	1976	2006	$2,1 \cdot 10^5$	8780
KKI-1	Ohu	SWR	870	1977	2007	$2,8 \cdot 10^5$	9020
KKU	Esenstamm	DWR	1 230	1978	2008	$2,1 \cdot 10^5$	8780
KKP-1	Philippsburg	SWR	864	1979	2009	$2,3 \cdot 10^5$	9020
Summe						$2,2 \cdot 10^6$	$8,5 \cdot 10^4$

Tab. 9: Berechneter Anfall der Stilllegungsabfälle von 12 betrachteten Kernkraftwerken

Neben der Mengenermittlung kommt vor allem dem Aktivitätsinventar der Abfälle Bedeutung zu. Anhand der Referenzkraftwerke Biblis A (Druckwasserreaktor DWR) und Brunsbüttel (Siedewasserreaktor SWR) wurde die spezifische Aktivität (bezogen auf Co-60 und Mn-54) der einzelnen Stilllegungskomponenten zum Zeitpunkt der Stilllegung ermittelt (Tab. 10, 11).

Komponente	Masse	Spezifische Aktivität Co-60 Mn-54	Spezifische Aktivität Gesamt	Gesamt-Aktivität
-	Mg	Ci/g	Ci/g	Ci
Gitterplatte	2,8	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^4$
Kernumfassung	18,3	$9,2 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$5,7 \cdot 10^6$
Kernbehälter	68,5	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,44 \cdot 10^5$
Führungsstück	0,001	2,1	2,1	$2,3 \cdot 10^3$
Führungsbolzen	0,00054	2,1	2,1	$1,1 \cdot 10^3$
Zentrierstift	0,005	2,1	2,1	$1 \cdot 10^4$
GAU-Konsolenteil	0,0035	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^1$
RDB-Plattierung A3	0,7	$2 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	58
RDB-Plattierung B	3,5	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	520
Stütze	3,4	$2 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	280
Steuerstäbführungsrohr 1	3	$2 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	250
RDB-Zone A3	37,7	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$	3 300
RDB-Zone BI	49,5	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	500
RDB-Zone BM	51,9	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	240
RDB-Zone BA	52,7	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	150
RDB-Plattierung C1	1,3	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	0,25
Unterer Rost	17,5	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	350
Armierung des Biolog. Schild	13,4	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-7}$	7,1
Liner Bio-Schild	6,4	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	24
Isolierung RDB	12,2	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	55
Kontaminierte Teile	8 087,2	-	-	gering

Tab.10: Spezifische Aktivität von Druckwasserreaktor-typischen Stilllegungsabfällen zum Zeitpunkt der letzten Abschaltung.
Referenz: Kernkraftwerk Biblis A (RDB $\hat{=}$ Reaktordruckbehälter)

Komponente	Masse	spez. Aktivität Co-60 u. Mn-54	spez. Aktivität Gesamt	Gesamt- Aktivität
-	Mg	Ci/g	Ci/g	Ci
Unteres Kern- gitter	5,5	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$1,45 \cdot 10^5$
Kernmantel	43	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$1,16 \cdot 10^6$
Ober. Kerngitter	4,4	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^5$
Kernsprühsystem	1,5	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^4$
Kerndeckel	6,4	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^4$
Steuerstabführungs- rohr 1	6,3	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-5}$	540
RDB-Zone B	78,6	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$	650
RDB-Zone CI	35,9	$7,6 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	430
RDB-Zone CA	35,9	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	125
RDB-Zone D	49,8	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	9
RDB-Plattierung B	2,8	$2 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	22
RDB-Plattierung C	2,6	$5 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	55
RDB-Plattierung D	1,8	$4,4 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	0,32
Speisewasserver- teiler	2	$2 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	16
Zyklone-Unterteil	32,5	$7,7 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	11
RDB-Isolierung Unterteil	6	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$	12
Armierung Biolog. Schild 1	102	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	19
Arm. Biol.Schild 2	94,3	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	26
Arm. Biol.Schild 3	40,1	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$	7,5
Schalung Biol.Schild 1	3	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	4,3
Schal. Biol.Schild 2	2,8	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	6
Schal. Biol.Schild 3	1,2	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	1,7
Kontamin. Teile	7591,6	-	-	gering

Tab. 11: Spezifische Aktivität von Siedewasserreaktor-typischen Stilllegungsabfällen zum Zeitpunkt der letzten Abschaltung.
Referenz: Kernkraftwerk Brunsbüttel (RDB $\hat{=}$ Reaktordruckbehälter)

Nachdem die spezifische Aktivität der Komponenten ermittelt wurde, sind im Hinblick auf die Entwicklung von Behältern zum Transport und insbesondere zur Endlagerung die Stilllegungsabfälle in 3 Aktivitätsgruppen eingeteilt worden, unabhängig davon, wo sie konkret eingelagert werden.

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

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

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

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

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

Tab. 12: Anfall der radioaktiven Stilllegungsabfälle in drei Aktivitätsgruppen in verschiedenen Phasen der Beseitigung (in Prozent)

7.3 Verpackungen für Transport und Endlagerung der radioaktiven Abfälle

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

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

Für diverse aktivierte und kontaminierte Schrotteile eignen sich besonders verlorene Stahlcontainer, die ebenso wie die Faßgebände in Stapeltechnik eingelagert werden können (vgl. Tab. 13).

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

Tab. 13: Gebinde und Einlagerungstechnik für verschiedene Abfallarten

Der Antransport bis zum Förderschacht mit der Bundesbahn ist für alle Abfallgebändearten gewährleistet. Das Entladen der Waggons, der Transport nach unter Tage und das Stapeln der Abfallgebände in den Einlagerungsstrecken erfordert abgesehen von den berg- und sicherheitstechnischen Aspekten keine grundlegend neuen kerntechnischen Überlegungen.

Die Entwicklung von Verpackungen für Stilllegungsabfälle führte entsprechend den Aktivitätsgruppen zu 3 Behältertypen. Für die Aktivitätsgruppen 1 und 2 sind die Abschirm- und Barrierefunktionen der Behälter von Bedeutung. Diese Behälter müssen sicherstellen, daß die Dosisleistung von 200 mrem/h an der Oberfläche und 10 mrem/h in 1 m Abstand nicht überschritten wird.

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

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

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

Die Tabelle 14 gibt letztlich Auskunft über die erforderliche Anzahl der Behälter und das Nettolagervolumen für die radioaktiven Abfälle aus der Stilllegung von 12 Kernkraftwerken. Damit sind alle z.Zt. im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke erfaßt. Es wurde unterstellt, daß die Beseitigung jeweils 1 Jahr nach der Stilllegung beginnt. Damit ist der ungünstigste Fall beschrieben, denn es ist aus sicherheitstechnischer Sicht wesentlich vorteilhafter, die Beseitigung zu einem späteren Zeitpunkt vorzunehmen. Die damit verbundene Verschiebung des Behälteraufkommens wird in der Tabelle 15 sichtbar.

Gruppe	Gesamt- masse [Mg]	Beschreibung	Behälterabmaße [mm]	Nutzmasse im Behälter [Mg]	Behälter- gewicht [KN]	Behältergesamt- anzahl	Einzelvolumen brutto Gesamtvolumen, brutto [m ³]
1	820	Stahlabfall Betonfixierung Stahlgußbehälter	D = 1 480 H ^a = 1 480 d ^a = 660 h _i ⁱ = 660	0,621	185	1 290	2,5 3225
2	4 029	Stahlabfall Betonfixierung Stahlguß- behälter 1. Einsatz 2. Einsatz 3. Einsatz	D = 1 500 H ^a = 1 500 d ^a = 1 360 h _i ⁱ = 1 360 d _i ⁱ = 1 180 h _i ⁱ = 1 180 d _i ⁱ = 1 050 h _i ⁱ = 1 050 d _i ⁱ = 920 h _i ⁱ = 920	6,21 4,02 2,85 1,92	53 107 137 160	247 351 339 63 <hr/> 1 000	2,7 2659
3	79 950	Stahlbehälter	l = 2 350 b ^a = 1 190 h ^a = 1 190	Schrott 7,23 Beton 3,50 Brenn- bares 1,53	22	6 695 5 680 7 912 <hr/> 20 287	3,3 6,7 · 10 ⁴

Tab. 14: Behälteranzahl und Nettolagervolumen für die radioaktiven Stilllegungsabfälle von 12 Kernkraftwerken aufgeteilt nach Aktivitätsgruppen

Gruppe	Behälteraufkommen bei einer Beseitigung nach:			
	1 a	10 a	30 a	50 a
1	1 290	563	206	-
2	1 000	929	629	274
3	20 287	20 395	20 571	20 751

Tab. 15: Behälteraufkommen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Beseitigung nach der Stilllegung

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

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

Die Strahlenbelastung des Betriebspersonals berechnet sich nach der tatsächlichen Dosisleistung und nach der Dauer des Aufenthaltes in der Nähe der Abfallbehälter und dem Abstand zu diesen.

Bei der Beurteilung der Dosisbelastung des Betriebspersonals bei der Einlagerung von Betriebsabfällen kann auf die Erfahrung und Daten des Salzbergwerkes Asse zurückgegriffen werden.

Im Jahre 1978 wurden in die Asse 30.579 Fässer und verlorene Betonbehälter eingelagert. Die Dosisbelastung des Betriebspersonals ist aus folgender Tabelle ersichtlich (n. R. STIPPLER und H. KLEIMANN, 1979):

Anzahl der Personen	Jahresdosis (mrem/a)
45 unter der Nachweisgrenze von 40 mrem/Monat	d.h. < 480
10	bis 600
0	bis 700
2	bis 800
2	bis 900
1	bis 1000

Tabelle 16 : Personendosisverteilung bei der Einlagerung von radioaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse für das Jahr 1978.

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

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

Für die Beurteilung der Dosisbelastung des Betriebspersonals aus Stilllegungsabfällen liegen noch keine Erfahrungen und Daten vor. Deshalb müssen entsprechende Rechnungen durchgeführt werden. Die Dosisleistung der Abfallgebinde ist ermittelt worden. Die Verweilzeiten der am Endlagerprozeß beteiligten Personen in bestimmten Abständen zu den Gebinden wurde abgeschätzt. Diese Werte sollen in nächster Zeit anhand von Simulationsversuchen bestätigt werden.

7.5 Bisherige kerntechnische Untersuchungsergebnisse

Im Rahmen der durchgeführten Arbeiten sind die folgenden Teilergebnisse erzielt worden:

- Aufstellung eines Kataloges von schwachaktiven Abfällen mit Angaben zu Art, Aktivität, Nuklidinventar, jährlichem Mengenaufkommen, Verpackungsart, Produzenten;
- Meßreihen zur Staubbelastung der Wetterwege bei verschiedenen bergtechnischen Betriebszuständen;
- Erste Vorschläge zur Reduzierung der Dosisbelastung des Betriebspersonals bei hoher Einlagerungsleistung unter Verwendung von Paletten;
- Die Sicherheitsbetrachtung für die Betriebsphase des Endlagers basiert auf einer Untersuchung zur Nuklidfreisetzung nach dem Störfall "Faßzerstörung durch Absturz bei der Endlagerung". Die ermittelte Belastung durch Inhalation liegt bei den gegebenen Randbedingungen unterhalb der Grenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen;
- Die Sicherheitsanalyse für die Nachbetriebsphase beruht auf der Betrachtung eines Nuklidtransportes aus dem Endlager heraus. Die errechneten Transportzeiten entsprechen einem Vielfachen der Zerfallszeiten der Abfälle, so daß unter den getroffenen Annahmen eine Belastung nicht zu erwarten ist.

8. Weitere Forschungsarbeiten in der Schachtanlage Konrad

Auf der Grundlage der skizzierten Ergebnisse der bisherigen Forschungsarbeiten, die aus geowissenschaftlicher und bergtechnischer Sicht die Eignung der Grube für die Endlagerung schwachaktiver Abfälle bestätigen, werden in den Jahren 1980/81 die Untersuchungen mit

- Ermittlung geologischer und standortspezifischer Daten,
- Weiterentwicklung bergtechnischer Auffahr- und Einlagerungskonzepte und
- Optimierung des kerntechnischen Sicherheitskonzeptes für einen Einlagerungsbetrieb

fortgesetzt.

Die geologischen, hydrogeologischen und geophysikalischen Untersuchungen werden in diesem Rahmen als Langzeit- und Kontrollbeobachtungen der geologischen Verhältnisse weitergeführt. Die gebirgsmechanischen Untersuchungen haben zusätzlich die Aufgabe einer projektbegleitenden Forschung bei der Auffahrung von Einlagerungsstrecken und bei der Überwachung der mechanischen Stabilität des Einlagerungsfeldes und des Grubengebäudes. Unter hydrogeologischen und geochemischen Gesichtspunkten werden die entwickelten Versatzstoffe eingehend auf ihr Wasserhaltevermögen sowie ihre mechanischen und Sorptionseigenschaften untersucht und in in situ-Versuchen erprobt.

Die Dauerbeobachtung des mechanischen und hydraulischen Gebirgsverhaltens dient der Vervollständigung des wissenschaftlichen Datenmaterials. Grundsätzlich neue Erkenntnisse über die geologische Eignung der Grube für die Endlagerung schwachaktiver Abfallstoffe und kontaminierter/aktivierter Großkomponenten werden diese Arbeiten jedoch nicht mehr liefern.

Die kern- und bergtechnischen Arbeiten sind auf die Erprobung und gegebenenfalls Optimierung der bisher entwickelten Einlagerungskonzepte sowie auf die Untersuchung der betrieblichen und kerntechnischen Sicherheit des möglichen Endlagers ausgerichtet. Dazu wird ein Grubenteil durch die Auffahrung großdimensionierter Teilstrecken für den in situ-Versuch vorgerichtet, bei dem mit inaktiven Fässern die Einlagerungs- und Versatztechniken, das gebirgsmechanische Verhalten der Einlagerungskammer sowie das Versatz- und Korrosionsverhalten der Fässer unter Konrad-spezifischen Bedingungen untersucht werden. Die damit verbundenen bergtechnischen Arbeiten werden unter besonderen Sicherheitsmaßnahmen im Hinblick auf eine möglichst geringe Staubbelastung der Wetterwege und eine weitgehend gebirgsschonende Arbeitsweise sowie mit dem Ziel der Optimierung der Lagerkapazitäten durchgeführt.

Zu den kerntechnischen Sicherheitsuntersuchungen gehören im einzelnen eine Strahlenschutzrechnung für Personal und Umgebung anhand des aufgestellten Einlagerungskonzeptes, Sorptionsmessungen an potentiellen Versatzstoffen für ausgewählte Radionuklide und die Bestimmung von Auslaugraten zementierter Abfälle unter realistischen Störfallbedingungen.

Die weiterführenden Forschungsvorhaben der drei Disziplinen Geowissenschaften, Bergtechnik und Kerntechnik haben hinausgehend über ihre Bedeutung für die Entwicklung eines Endlagers in der Schachanlage Konrad richtungsweisenden Charakter für andere Endlagerbergwerke in nicht salinaren und salinaren geologischen Formationen. So wird die Identifikation untertägiger Wässer und die Überwachung des Wasser- und Wetterhaushaltes in jedem Endlager dieser Art eine hohe Priorität haben. Die mögliche Beeinflussung des tektonischen Zustandes des Grubengebäudes durch natürliche Ereignisse und durch vom Bergbau ausgelöste gebirgsmechanische Vorgänge erfordert eine geodätische und geophysikalische Langzeitbeobachtung des Endlagers. Die bergtechnischen und kerntechnischen Entwicklungen sind in verschiedener Hinsicht direkt auf ähnliche Endlager für radioaktive Abfälle übertragbar.

Literaturverzeichnis

- AHORNER, L.; MURAWSKI, H.; SCHNEIDER, G.: Die Verbreitung von schadenverursachenden Erdbeben auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Versuch einer seismologischen Regionalisierung. - Zeitschr. f. Geophysik, Bd. 36, S. 313 - 343, 1970.
- BENTZ, A.; MARTINI, H.J.: Lehrbuch der angewandten Geologie. - Euke Verlag Stuttgart, Bd. II, 1969.
- BMFT: Systemstudie "Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik." - KWA 1214, Bd. I, 1976.
- BMFT: Systemstudie "Radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik." - KWA 1214, Bd. IV, 1977.
- BMI: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13.10.1976. - Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 125, S. 2905 - 2995, ausgegeben am 20.10.1976.
- BMI: Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft. - Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Bonn, 1977.
- BROCKAMP, O.: Diagenetische Veränderungen von Montmorilloniten in Alb-Sedimenten Norddeutschlands. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westfl., 27, S. 121 - 136, Krefeld 1979.
- ERHARDT/SAUER: Die Vorausberechnung von Senkung, Schiefelage und Krümmung über dem Abbau in flacher Lagerung. - Bergbauwissenschaften, Bd. 8, Heft 18, 1961.
- FÜCHTBAUER, H.; MÜLLER, G.: Sedimente und Sedimentgesteine. - Sedimentpetrologie Teil II, 3. Aufl., S. 784, Stuttgart 1977.
- GLIENKE, G.: Umstellung des Abbauverfahrens auf der Schachanlage Konrad der Salzg. Erzbergb. AG auf eine Technologie mit gleislosen Dieselgroßmaschinen. - Erzmetall, Bd. 27, Heft 11, S. 517 - 526, 1974.
- GOLESTANEH, F.; KOLBE, H.; RABSILBER, K.: Das Oberjura-Eisenerz der Schachanlage Konrad der Salzgitter Erzbergbau AG bei Salzgitter Bleckenstedt. - Erzmetall, 28, (3), S. 105 - 115, 1975.
- GSF: Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse. - Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Stand: Dezember 1975.
- HARDERS, F.; KIENOW, S.: Lehrbuch der Feuerfestkunde. - Berlin, 1960.

- HARJES, H.P.; LEYDECKER, G.: Seismische Kriterien zur Standortauswahl kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover 1978.
- HECHT, F.; HEDEMANN, H.-A.; KABELAC, F.: Zur Tektonik und Stratigraphie der Erdölfelder am Nordwest-Rand des Gifhorner Troges. - Geol. Jb., Bd. 74, S. 559 - 600, Hannover 1957.
- ICRP: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. - (ICRP Publication 2), Report of Committee II (1959), Pergamon Press (1960).
- KBS: Handling of Spent Nuclear Fuel and Final Storage of Vitri-fied High Level Reprocessing Waste. - Vol. IV, Kärn-Bränsle-Säkerhet, Schweden, 1978.
- KOLBE, H.: Hydrologische Aufgaben im Salzgitter-Eisenerzbezirk. - Zeitschr. deutsch. Geol. Ges., 116, (1), S. 142 - 159, 1964.
- KOLBE, H.: Schichtenfolge im Oberjura-Eisenerz-Aufschlußgebiet der Schachanlage Konrad der Salzgitter-Erzbergbau AG. - Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, 44, S. 161 - 193, 1975.
- KOLBE, H.; SIMON, P.: Die Eisenerze im Mittleren und Oberen Korallenoolith des Gifhorner Troges. - Beiheft Geol. Jahrbuch, 79, S. 256 - 338, 1969.
- KÖSTER, R.; RUDOLPH, G.: Immobilization of Strontium and Cesium in Intermediate-Level Liquid Wastes by Solidification in Cements. - Scientific Basis for Nuclear Waste Management Vol. 1, 1979.
- LANDAU, L.D.; LIFSCHITZ, E.M.: Lehrbuch der theoretischen Physik. - Bd. IV, Hydrodynamik, Akademie-Verlag, Berlin 1966.
- LEYDECKER, G.: Der Gebirgsschlag vom 23.6.1975 im Kalibergbau-gebiet des Werratales. - Geol. Jahrbuch Hessen, 104, S. 271 - 277, 1976.
- NERETNIEKS, I.: Transport Mechanism and Rates of Transport of Radionuclides in the Geosphere as Related to the Swedish KBS Concept. - IAEA-SM-243/108, Intern. Symposium on the Underground Disposal of Radioactive Wastes, Otaniemi, Finn-land, Juli 1979.
- SPONHEUER, W.: Erdbebenkatalog Deutschlands und der angrenzenden Gebiete für die Jahre 1800 - 1899. - Mitt. Deutsch. Erd-bebendienst, 3, 1 - 195, Berlin 1952.
- SPONHEUER, W.: Untersuchungen zur Seismizität von Deutschland. - Veröff. Inst. f. Bodendynamik u. Erdbebenforschung Jena, Berlin 1962.

RICHTER, W.; LILLICH, W.: Abriß der Hydrologie. - S. 274,
Stuttgart 1975.

SIEBERG, A.: Erdbebenkatalog Deutschlands für die Jahre 1935 -
1939. - Mitt. Deutsch. Reichserdbebendienst, 1, 1 - 28,
Berlin 1940.

SIEBERG, A.: Beiträge zum Erdbebenkatalog Deutschlands und an-
grenzender Gebiete für die Jahre 58 - 1799. - Mitt. Deutsch.
Reichserdbebendienst, 2, 1 - 111, Berlin 1940.

STIPPLER, R.; KLEIMANN, H.: Strahlenschutz und Umgebungsüber-
wachung bei der Lagerung von radioaktiven Abfällen in einem
Salzbergwerk. - Radioaktive Abfälle, 13. FS-Jahrestagung
15. - 19.10.79 in Köln, S. 261 - 275, 1980.

STRÖHLEIN: Areameter-Laborgerät zur Serienbestimmung der Ober-
flächengrößen von feinteiligen Stoffen nach HAUL-DÜMBGEN,
Bauart Ströhlein. - Gerätebeschreibung.

