

Ergebnisse der isotopenhydrogeologischen Untersuchungen  
des Grubenfeldes Bartensleben/Marie (1981 - 1988)

Bericht zum Wirtschaftsvertrag

Isotopenhydrogeologische Untersuchungen im Endlager  
für radioaktive Abfälle

zwischen

dem VE Kombinat KKW "Bruno Leuschner" Greifswald, BT  
Endlager für radioaktive Abfälle, Morsleben

und

der Bergakademie Freiberg, Intersektionelle Forschungs-  
gruppe Isotopenhydrogeologie

Autoren: R. Gellermann (BAF)  
S. Radke (ERA)  
W. Remus (ZGI)

Geheimhaltungsgrad: Dienstsache

Freiberg - Morsleben - Berlin, 1989

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Hydrogeologische Aufschlüsse	5
2.1.	Zuflüsse im Grubengebäude	5
2.2.	Zuflüsse in den Schachtröhren	8
2.3.	Grundwasserbeobachtungsrohre und sonstige Probenahmestellen	11
3.	Untersuchungsprogramm	13
4.	Ergebnisse	17
5.	Diskussion	17
5.1.	Salzlösungen in den Grubengebäuden	17
5.2.	Schachtröhren	22
5.3.	Oberflächennahe Grundwässer	24
5.4.	Oberflächengewässer	25
5.5.	Quantitative Interpretation: Modelle und Modell- aussagen	25
6.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	33
7.	Literatur	35
8.	Anlagen	
	Anlage I: Lagepläne und Schnitte	
	Anlage II: Probenahme	
	Anlage III: Meßergebnisse	
	Anlage IV: Bilder (Ergebnisdarstellungen und Modelle)	

## 1. Einleitung

Im Jahre 1981 wurde auf der Grundlage eines Kooperationsvertrages zwischen dem SAAS und der Bergakademie Freiberg (Intersektionelle Forschungsgruppe "Isotopenhydrogeologie" der Sektionen Physik und Geowissenschaften) mit isotopenphysikalischen Untersuchungen an Grund- und Oberflächenwässern aus dem Endlager für radioaktive Abfälle (ERA) Morsleben begonnen. Die Arbeiten wurden seit 1984 auf der Grundlage des zwischen dem VE Kombinat KKW "Bruno Leuschner" Greifswald, BT ERA Morsleben, und der Bergakademie Freiberg, IFG "Isotopenhydrogeologie" abgeschlossenen Wirtschaftsvertrages fortgesetzt. Die Zielstellungen dieser Untersuchungen betrafen zunächst die sicherheitstechnische Bewertung von Zuflüssen im Grubengebäude und in den Schachtröhren. Es sollten Beiträge zur Klärung von Herkunft und "Alter" der Zuflüsse erarbeitet werden. Die zentrale Frage betraf den Nachweis bzw. den sicheren Ausschluß von hydraulischen Verbindungen zwischen Süßwässern der oberflächennahen Grundwasserleiter und den Salzlösungen in den Grubengebäuden.

Da diese Fragen nicht losgelöst von der hydrogeologischen Situation im Umfeld der Grube beurteilt werden können, wurden isotopenhydrogeologische Untersuchungen der oberflächennahen Grundwässer zu einem zweiten Untersuchungsschwerpunkt. Die unter diesem Aspekt durchgeführten Messungen dienten gleichzeitig zur Überprüfung und ggf. zur Präzisierung hydrogeologischer Modellvorstellungen im Rahmen der geologischen Erkundungs- und Testarbeiten /1/.

Methodisch wurde zunächst auf die Nutzung von Tritium orientiert. Weitere Isotope, vor allem  $^{14}\text{C}$ , aber auch stabile Isotope und Nuklide der Umwandlungsreihen ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) sollten entsprechend den vorhandenen Möglichkeiten einbezogen werden.

Dieser Bericht beabsichtigt, die bisher durchgeführten Arbeiten zu dokumentieren, den erreichten Bearbeitungsstand einzuschätzen, Beprobungsabstände für Langzeitbeobachtungen festzulegen und Aufgabenstellungen für weiterführende Arbeiten abzuleiten.

In Tabelle 1 sind wichtige physikalische Parameter der in diese Arbeiten einbezogenen radioaktiven Nuklide aufgeführt. Die Tritium- und  $^{14}\text{C}$ -Analysen wurden im Tri-Car-Labor der Sektion Physik (Leiter: Dr.sc. D. Hebert), die  $^{13}\text{C}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Analysen im Isotopenlabor der Sektion Geowissenschaften (Leiter: Dr.habil. J. Pilot), die U-Isotopenmessung im U-Labor der Sektion Physik (Leiter: Dr.sc. R. Gellermann) durchgeführt.

Tabelle 1: Angaben zu radioaktiven Nukliden

Nuklid	Halbwertszeit/a	Umw.-art	Herkunft	Bemerkungen
$^3\text{T}$	12,43	$\beta^-$	kosmogen, anthropogen	Natürliches Niveau; vor 1950:5 T.E.; starke Erhöhung durch Kernwaffentests 1961/62
$^{14}\text{C}$	$5,73 \cdot 10^3$	$\beta^-$	kosmogen, z.T. anthropogen	Natürliches Niveau, vor 1950:100 pmc. Erhöhung durch KW-Tests
$^{234}\text{U}$	$2,45 \cdot 10^5$	$\alpha$	radiogen	Tochternuklid in $^{238}\text{U}$ -Reihe. Isotopenfraktionierung durch Rückstoßeffekte
$^{238}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$	$\alpha$	primordial	Clarke-Wert: $2,5 \text{ ppm} = 30 \text{ mBq} \cdot \text{g}^{-1}$

Tabelle 2: Angaben zu stabilen Isotopen

Isotopenverhältnis	Meßgröße	Standard	Typischer Wertebereich im Grundwasser
$^2\text{D}/^1\text{H}$	$\delta \text{D}$	SMOW	- 80 ... - 50
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	$\delta ^{13}\text{C}$	PDB	- 16 ... - 12
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	$\delta ^{18}\text{O}$	SMOW	- 15 ... - 5

## 2. Hydrogeologische Aufschlüsse

### 2.1. Zuflüsse im Grubengebäude

Das gesamte Grubengebäude umfaßt eine Länge von über 5 km und eine Breite von etwas über einem Kilometer. Die Grubenfelder der Schachtanlagen Bartensleben und Marie sind an mehreren Punkten gegeneinander durchschlägig und somit kann die Beurteilung der hydrogeologischen Situation nur einheitlich für beide Grubenfelder vorgenommen werden (Lageplan: Anlage I/1).

Tropf- und Naßstellen (SCHWANDT, 1971) sind bei bergmännischen Auf-fahrungen in nahezu allen stratigraphischen Horizonten, jedoch in unterschiedlicher Häufung festgestellt worden. Die größte Anzahl wurden im Hauptanhydrit (A 3) und Grauen Salzton (T 3) registriert.

Aus der geologischen Position und der Entwicklung der Zuflußmengen kann man die Schlußfolgerungen ziehen, daß alle Tropf- und Naßstellen im Grubenfeld Marie und mit kurzer Zuflußdauer im Grubenfeld Bartensleben aus geschlossenen Hohlräumen innerhalb des intakten Salzgebirges stammen und somit keine Gefährdung darstellen. Von dieser Feststellung muß man die Tropf- und Naßstellen mit längerer Austrittsdauer, die an Zerklüften des A 3 gebunden sind, ausklammern.

#### (1) Grubenfeld Bartensleben, 1. Sohle, Abbau 1a

Am 21.8.1962 traten beim Anschließen der Schrapperkammer für diesen Abbau konzentrierte Salzlösungen auf. Im eigentlichen Abbau stellte man erste Zuflüsse am 17.10.1968 in einem Vorbohrloch fest, das durch einen Packer abgedichtet wurde. Danach bildeten sich Naß- und Tropfstellen in der Firste, die ihre Lage in den nachfolgenden Jahren mehrfach änderten. Die Austritte im Bereich dieses Abbaues liegen an der Westflanke der Hauptmulde im Liniensalzhorizont des Leinesteinsalzes. Der in der Nähe aufgeschlossene Hauptanhydrit zeichnet sich durch Klüftung in mehreren Richtungen aus, an der sich ebenfalls Naß- und Tropfstellen zeigten.

Die Austrittsmengen waren gering. Zur Zeit fallen etwa  $1,5 \text{ m}^3/\text{a}$  an, wobei jahreszeitliche Unterschiede festgestellt wurden. Diese Tatsache und die gemessenen hohen Tritiumwerte weisen auf die Beein-

flutung durch feuchte Grubenwetter hin (s. Abschnitt 5.1).

Seit 1962 liegen Werte über die spezifische Dichte (Anlage IV/1) vor. Die spezifische Dichte charakterisiert bekanntlich die Gesamtheit der gelösten Bestandteile. Generell ist festzustellen, daß die einzelnen Werte keinen Schwankungen unterliegen und somit die in Anlage III/1 zusammengestellten Analysenwerte die Aussage über die Konstanz dieser hochmineralisierten Wasser untermauern.

Dieses Wasser ist in den  $\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$  - Typ einzustufen.

### (2) Grubenfeld Bartensleben, 1. Sohle, Abbaustrecke 5

Im Juli 1966 wurde durch ein 6 m langes Bohrloch in der Abbaumittelstrecke konzentrierte Salzlösung im Hauptanhydrit nach Durchteufen des Liniensalzes (Na 3) erbohrt. Die Austrittsstelle befindet sich an der Westflanke der Hauptmulde, wo der Hauptanhydrit, der Graue Salzton und das Kaliflöz sehr intensiv geklüftet sind.

Die zuzitenden Salzlösungen waren von geringer Menge und betragen maximal 2,6 l/min, insgesamt 5 m<sup>3</sup>. Das Bohrloch wurde mit einem Packer abgedichtet und wird nur zur Probenahme geöffnet. Am Bohrloch konnte ein Überdruck von maximal 18,5 kp/cm<sup>3</sup> gemessen werden.

Diese Zuflußstelle kann anhand der hohen Mg-Gehalte sowie der relativ hohen Bromgehalte als eine konzentrierte Salzlösung des geschlossenen Klufteystems des Hauptanhydrits eingestuft werden (vergl. Anlage III/1). Auch hier wurde die spezifische Dichte in regelmäßigen Abständen registriert, wobei die Zeitreihe eine gleichförmige Entwicklung zeigt (Anlage IV/1). Auch hier handelt es sich um einen  $\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$ -Wassertyp.

### (3) Grubenfeld Bartensleben, 4a-Sohle

Im Jahre 1983 wurde mit der 4a-Sohle das Rolloch 1a, die Verbindung zur 1. Sohle, angeschossen. Damit besteht die Möglichkeit, die anfallenden Tropfwässer aus dem Bereich der 1. Sohle besser mengenmäßig zu erfassen und zu kontrollieren. Die chemische Zusammensetzung der hier anfallenden Wasser entspricht denen der 1. Sohle.

(4) Grubenfeld Marie, Lagerteil H.

Am 11. 6. 1907 beobachtete man das erste Auftreten von Salzlösungszuflüssen beim Abbau von fast reinem Sylvinit im Oberbau Lagerteil H (Kaliflöz Staßfurt) von der 318 m-Sohle. Damit wurde die gefährvollste Situation für das Grubengebäude geschaffen, da reiner Sylvinit als Nutsalz immer in der Nähe des Salzepiegels auftritt. Der verbliebene Sicherheitspfeiler beträgt nach neuesten Sonar-Untersuchungen nur 32 - 38 m.

Nach alten Unterlagen sind mehrere Laugonaustritte erfolgt. Eine eindeutige Rekonstruktion der Laugenzuflüsse nach Menge und Anzahl der Zutrittsstellen ist aufgrund unvollständiger Unterlagen nicht mehr möglich. Die gemessenen Zuflüsse zeigten einen allmählichen Rückgang der Zuflußmenge, die bis 1936 mehr oder weniger konstant  $0,2 \text{ m}^3/\text{d}$  betrug. Für den Zeitraum 1973 bis 1986 kann man einen Zufluß von  $0,03 - 0,09 \text{ m}^3/\text{d}$  errechnen. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Unterlagen ergibt sich eine Gesamtmenge von  $2726 \text{ m}^3$ , das entspricht etwa  $34 \text{ m}^3/\text{a}$  bzw.  $0,093 \text{ m}^3/\text{d}$  für den Zeitraum von 1907 - 1985. Die Tropfstellen im Lagerteil H sind nicht deutlich lokalisiert. Die Zuflüsse werden in einem Sammelbecken gefaßt und in unregelmäßigen Abständen abgepumpt.

Aus der Anlage III/1 ist abzulesen, daß bei Kalium und Magnesium mehr oder weniger konstante Werte ermittelt wurden. Besonders hervorzuheben sind relativ hohe Gehalte an Brom und Jod. Schwankungen im Na-Gehalt sind vor allem darauf zurückzuführen, daß die Ermittlung rechnerisch aus der Differenz der Ionenanteile erfolgte.

Aus der chemischen Zusammensetzung folgt, daß zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine Beeinflussung durch niedrig mineralisierte Grundwasser aus oberflächennahen Grundwasserleitern nicht vorliegt. Diese Aussage wird auch durch die geringe Schwankungsbreite der Dichte in der 50jährigen Meßreihe (seit 1939) nachhaltig gestützt (Anlage IV/1). Es handelt sich um Salzlösungen vom  $\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$ -Typ

## (5) Grubenfeld Marie, 2a-Sohle "Bunte First"

Die Zuflüsse erfolgen aus Klüften des hier aufgeschlossenen Hauptanhydrits (A 3), der stark tektonisch beansprucht und in einzelne Schollen zerlegt wurde. Ehemals offene Klüfte wurden mit einem kristallisierten Steinsalz, Sylvin, Palyhalit u.a. wieder verschlossen. Nach nicht dokumentierten Aussagen sollen bis zum Jahre 1957 ca.  $4 \text{ m}^3$  konzentrierte Salzlösung ausgeflossen sein. Es wird angenommen, daß die gegenwärtigen Zuflüsse (Tropf- und Naßstellen) aus in sich geschlossenen Kluftsystemen des Hauptanhydrits (A 3) und Grauen Salztons (T 3) austreten und vom hydrogeologischen Standpunkt keine Gefährdung für die Grubenbaue darstellen.

Die chemische Zusammensetzung dieser Zuflüsse geht aus der Anlage III/1 hervor. Es handelt sich ebenfalls um den  $\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$  - Typ.

## (6) Grubenfeld Marie, Bremsbergfuß, 460 m-Sohle

Es handelt sich um ein Bohrloch, das durch einen Packer abgedichtet wurde und geringe Mengen - und nur kurzfristig - schüttet. Dieser Salzlösungsaustritt wurde erst 1987 in den laufenden Beprobungszyklus aufgenommen. Auffallend ist eine andere chemische Zusammensetzung der gelösten Komponenten (Anlage III/1). Es handelt sich hierbei um Salzlösungen vom  $\frac{\text{MgCa}}{\text{Cl}}$  - Typ.

## 2.2. Zuflüsse in den Schachtröhren

## (1) Schacht Bartensleben /12/

Der Schacht Bartensleben wurde in der Zeit vom 08. 03. 1910 bis 13. 08. 1912 bis zu einer Endteufe von 524 m niedergebracht. Der lichte Schachtdurchmesser beträgt 525 m. Das Abteufen erfolgte ohne erhebliche Schwierigkeiten. So wurden lediglich in den oberen Schichten bis ca. 35 m Teufe die Abteufarbeiten durch Sandnester erschwert und in 177 m Teufe eine Sandzone angefahren. Die Wasserzuflüsse betragen bei 100 m Teufe ca.  $3,5 \text{ l/min}$  und bei 177 m ca.  $6 \text{ l/min}$ . Die Salzspiegelzone erwies sich als ungefährlich und wies keine Zuflüsse auf. Der Schacht wurde durchgehend in Mauerwerk ( 0,5 m) ausgebaut.



Das Schachtprofil der Schachtröhre ist in Anlage I/3 dargestellt. Die für isotopehydrogeologische Untersuchungen gewählten Probenahmestellen lassen sich kurz wie folgt einordnen:

- Die Zuflußstelle auf der Ost/Südostseite in 37 m Teufe, durch das Mauerwerk von ca. 0,5 m Stärke wurde ein Stahlrohr in den Bereich roter und blauer Keuperletten eingelassen, wird zur Probenahme an das speziell vorbereitete Probenahmegefäß über eine Schlauchverbindung gekoppelt. Der Zufluß liegt zur Zeit bei ca. 0,4 l/min., es tritt eine klare Lösung aus.
- An der Zuflußstelle auf der Westseite in 67 m Teufe, hier wurde ebenfalls durch das Mauerwerk von ca. 0,5 m Stärke in den Bereich roter und blauer Keuperletten ein Stahlrohr eingelassen, tritt nur noch tropfenweise Lösung aus. Die Probenahme erfolgte wie oben beschrieben.
- Die Zuflußstelle auf der Ost/Nordseite in 185 m Teufe liegt im Hauptzuflußbereich Grauer Sand, Letten/Sand, rote und blaue Keuperletten (175 - 210 m Teufe). Durch das Mauerwerk von ca. 0,675 m wurde ein Stahlrohr eingelassen, die Zuflußmenge beträgt zur Zeit noch 0,01 l/min.
- In 204 m Teufe auf der Südwestseite sind für den Hauptzuflußbereich zwei Stahlrohre durch das Mauerwerk von 0,675 m eingelassen, die mittels Schlauchverbindung und T-Stück zusammengefaßt sind. Die klare Lösung tritt stoßweise aus, die Zuflußmenge beträgt zur Zeit 3,6 l/min.

Im Hauptzuflußbereich sind noch weitere nicht verrohrte Zuflüsse vorhanden, die mittels Traufenrinnen gefaßt und zum Sammelbecken auf der 1. Sohle geführt werden. Die Gesamtzuflüsse betragen zur Zeit 6,0 - 6,5 l/min. Unterhalb 210 m Teufe ist der Schacht vollkommen trocken.

## (2) Schacht Marie /13/

Der Schacht Marie wurde 1897/98 im Normalabteufverfahren mit einem lichten Schachtdurchmesser von 5,25 m bis zu einer Teufe von 520 m niedergebracht. Das Abteufen erfolgte ohne erhebliche Zwischenfälle, die maximalen Zuflüsse lagen bei ca. 30 l/min. Der Salzspiegelbereich wies keine Zuflüsse auf. Der Schacht wurde voll

ausgemauert. Das Schachtprofil ist in Anlage I/4 dargestellt. Die Zuflüsse im Schacht betragen von 1945 - 1973 ca. 18 bis 19 l/min., danach gingen sie auf 12 - 16 l/min. zurück. Als Ursache des Rückganges wird die Inbetriebnahme von Brunnen in Schachtnähe angenommen.

Die Schachtwässer werden durch Rohre in Verbindung mit Traufenrinnen vollständig gefaßt und in ein im östlichen Stoß in ca. 156 m Teufe eingebautes gemauertes Basin mit ca. 26 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen geleitet. Sie werden als schwach betonaggressiv eingestuft.

Wesentlich für die Probenahme bei isotopenhydrogeologischen Untersuchungen ist die Tatsache, daß seit Februar 1987 ca. 2400 m<sup>3</sup>/min Wetter im Schacht Bartensloben einziehen und ca. 1000 m<sup>3</sup> hiervon kontaminiert aus der Schachtröhre Marie ausziehen.

Die für isotopenhydrogeologische Untersuchungen gewählten Probenahmestellen an den beiden Hauptzuflußstellen lassen sich wie folgt einordnen:

- Die Zuflußstelle in ca. 76 m Teufe - 1 m unterhalb des Einstriches E 35 an der Nordostseite ist ein Packer durch das 0,5 m starke Mauerwerk eingesetzt, von dem über ein Plastrohr von ca. 50 mm Durchmesser die zusitzenden Wässer in das zur Pumpenkammer führende Fallrohr eingeleitet werden - kann gegenüber einziehenden Wetterern als relativ dicht betrachtet werden. Der gegenwärtige Zufluß beträgt 2 l/min. Der gesamte Bereich von 70 - 76 m Teufe, graue Letten mit festen Kalksteinbänken, auf der Nordostseite ist sehr feucht.
- Die Zuflußstelle auf der Ostseite im Bereich blaugrauer Letten mit Kalksandstein in ca. 132 m Teufe beim Einstrich E 63 liegt im Hauptzuflußbereich. Der eingebaute Packer durch das ca. 0,5 m starke Mauerwerk mündet unmittelbar in einem relativ offenen, von Schachtwetterern stark beeinflussten Auffangbehälter. Dieser ist über Plastschlauch in das zur Pumpenkammer führende Fallrohr eingebunden. Zur Zeit beträgt der Zufluß am Packer 12 l/min.

Weitere nicht verrohrte Zuflüsse in der Schachtröhre werden mittels Traufenrinnen gefaßt und in das zur Pumpenkammer führende Fallrohr eingeleitet. Der Gesamtzufluß zur Pumpenkammer beträgt zur Zeit 17 l/min. Unterhalb 140 m ist der Schacht vollkommen

trocken.

### 2.3. Grundwasserbeobachtungsrohre und sonstige Probenahme- stellen

Zur Gewinnung allgemeiner Kenntnisse über die Verteilung von Umweltisotopen in den Grundwasserleitern des Untersuchungsgebietes wurden vorhandene Altbohrungen, Quellen und im Rahmen der hydrogeologischen Erkundung abgeteufte Grundwasserbeobachtungsrohre (GWB/R) boprot. Die Lage der PN-Punkte ist in Anlage I/1 dargestellt. Ergänzende Angaben zu den GWB/R sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Damit wurden folgende stratigrafische Einheiten erschlossen:

Quartär	-	6 Aufschlüsse
Oberkreide	-	1
Jura	-	3
Keuper	-	6
Muschelkalk	-	2
Bunteandstein	-	2
Caprock	"	1

Einbezogen in die Untersuchungen wurden drei Quellaustritte, eine tiefe Altbohrung (Bohrloch Schweinshagener Mühle) sowie die Bohrung Kb Mors 2/85.

Von allen hydrogeologischen Aufschlüssen liegen chemische Vollanalysen, z.T. mehrfach vor (Anlage III/2).

Tabelle 3: Angaben zu den im Untersuchungsgebiet vorhandenen GWBR

Bezeichnung ERA-Nr.	ZGI-Nr.	Filter m. u. Gel.	Filter m. unter Wassersp.	GW-Oberfl. m unter Gel. 1)
P 1		72 - 76	52 - 56	19,7
P 2	3/55/83	5 - 9	4,5 - 8,5	0,7
P 3	3/56/83	14 - 18	13,5 - 17,5	0,5
P 4		26 - 30	21 - 25	5,4
P 5		44 - 48	46 - 50	-2,0
P 6	3/58/83	22 - 25	8 - 11	14,3
P 7		62 - 66	61,5 - 65,5	0,6
P 8	3/57/83	44 - 48	43 - 47	1,5
P 9		37 - 42	35,5 - 41,5	2,2
P 11		15 - 18	14 - 17	1,4
P 12		19 - 23	18 - 22,5	0,6
P 14 <sup>2)</sup>		7 - 11	5,5 - 10,5	0,7
P 15		19 - 23	18,5 - 22,5	0,5
P 16		40 - 46	39,5 - 45,5	0,4
P 17		27 - 34	17 - 24	10,7
P 20		72 - 78	71,5 - 77,5	0,7

1) gerundet auf dm

2) enth. u. U. Reste von Bohrspülung (pH 11)

### 3. Untersuchungsprogramm

Eine zusammenfassende Übersicht über die bisher durchgeführten isotopenhydrogeologischen Probenahmen im Bereich des Endlagers gibt Tabelle 4. Zusätzlich zu den hydrogeologisch und sicherheitstechnisch relevanten Beprobungspunkten wurden einige Proben für die Messung von Tritium (T) in der Luftfeuchte sowie von  $^{14}\text{C}$  im Luft- $\text{CO}_2$  entnommen. Diese Proben dienten vor allem zur Unterstützung der Interpretation der Tritiumanalysen an Salzlösungen in der Grube bzw. zur Bewertung der Einsatzmöglichkeit der  $^{14}\text{C}$ -Methode. Weiterhin wurden einige T-Proben für spezielle Aufgabenstellung des BI Freiberg analysiert. Auf diese Messungen wird im folgenden nicht näher eingegangen.

In das Untersuchungsprogramm integriert waren hydrogeochemische Analysen der Wässer. Hierzu wurden die Salzlösungen in den Grubengebäuden sowie die Schachtwasserzuflüsse über mehrere Jahre beprobt. Zu jeder für die Isotopenanalyse entnommenen Probe wurde eine hydrogeochemische Parallelbeprobung durchgeführt. Darüber hinaus wurden unabhängig weitere hydrogeochemische Proben entnommen und im Labor des VEK Geologische Forschung und Erkundung Halle, BI Schworin, gemäß TGL 24455 analysiert.

Eine Übersicht über alle (bis 1988) entnommenen Proben für Isotopenanalysen mit Angaben zur Probenahme gibt Anlage II/1. Die zur Probengewinnung benutzten Methoden werden im folgenden kurz charakterisiert.

In den Grubengebäuden:

- (1) Tropfwasser direkt im Sammelbehälter (offenes System)
- (2) Tropfstelle mit schaumstoffgedichtetem Trichter abgedeckt, Plastkanister über Schlauch mit Trichter verbunden; Kanister abgeschlossen, Druckausgleich über Kanüle (geschlossenes System).  
Anlage II/2
- (3) Wie (2), aber mit Glasflasche mit Rückschlagventil (Glycerinfüllung)
- (4) Entnahme aus dichtem Packer
- (5) Schöpfprobe von Salzlösungsansammlungen

In den Schachtröhren:

- (6) Abgedichtete Zuflüsse bei geringen Zuflußmengen, Verbindung von Wasseraustritt zu Kanister über Schlauch.
- (7) Stellenweise offene Zuflüsse bei größeren Zuflußmengen

GWBR/Bohrungen:

- (8) Schöpfproben mit 1 l Schöpfer; Vor Probenahme mehrmals (In der Regel 2 - 3 mal) vorgeschöpft (über PN-Toufo); Entnahme aus Filterteufe
- (9) Gestängetest beim Abteufen der Bohrung.  
Wasserhebung durch Liften. Dadurch sowohl Möglichkeit des Entgasens als auch mögliches Lösen von Luft-CO<sub>2</sub>. T-Konzentrationen sollten wenig beeinflusst werden, bei <sup>214</sup>C ist leichte Erhöhung der Werte nicht auszuschließen, bei stabilen Isotopen sind Isotopieeffekte ebenfalls nicht kritisch (Dr. Trettin, ZfI, pers. Mitteilung).

Quellen:

- (10) Möglichst nahe am Quellaustritt geschöpft

Oberflächengewässer:

- (11) Von Hand geschöpft

Luftfeuchte:

- (12) Glaskolben mit ausgeheiztem Molekularsieb X 13 gefüllt (Ca. 250 g). Am PN-Ort Kolben belüftet und einige Wochen vor Ort belassen
- (13) Ausfrieren von Luftfeuchte

Luft-CO<sub>2</sub>:

- (14) 2,5 l Ba(OH)<sub>2</sub> + NaOH - Stipix  
\* obertägig gemischt und im Kanister zum PN-Ort transportiert. In Fotoschale einige Wochen stehen gelassen. Nachfüllen mit Wasser war nicht notwendig, da keine wesentliche Verdunstung auftrat.

## Bemerkungen:

Pr. Nr. 24: Glasflasche mit Rückschlagventil. Durch starken Gasdruck wurde Glycerin aus Rückschlagventil ausgeblasen.

Pr. Nr. 20: Beprobung von T in Luftfeuchte: ca. 1000 l Luft in 100 g H<sub>2</sub>O geleitet.

→ T-Gehalt in der Luftfeuchte kann nur abgeschätzt werden, da noch keine Sättigung erreicht. Für Abschätzungen ergibt sich mit einer absoluten Luftfeuchte von  $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , daß maximal 10 % des Sättigungswertes erreicht werden. Das angegebene Ergebnis (Anlage III/9) wurde berechnet aus Meßwert multipliziert mit 10.

Pr. Nr. 109: Pumpversuch 96 Std.; Gegen Ende des Pumpens aus dem ständigen Auslauf Probe entnommen (s. Protokoll vom Pumpversuch vom 9.11.87 ERA Morsleben, unveröff.).

Tabelle 4: Zusammenfassende Übersicht über die durchgeführten Probenahmen

Jahr	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Tropfstellen/ Salzlösungen	9 T	3 T 4 st.I	4 T 1 U					
Schachtröhren	8 T	4 T 4 st.I	1 T (1C) 3 U		2 T	1 T	4 T	
Oberfl.- u. GW			(4 T)		3 T 1 C	11 T	8 T	7 T
Oberfl.-gewässer	5 T							
Luftfeuchte	1 T		1 T			1 T		
Luft-CO <sub>2</sub>				2 C				
Sonstige (BIF)				1 T	3 T	1 T	2 T	

Abkürzungen: T - Tritium  
 C - <sup>14</sup>C (+ <sup>13</sup>C)  
 st.I - stabile Isotope (<sup>18</sup>O)  
 U - Uraniumisotope



#### 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Isotopenanalysen sind in den Anlagen III/3 bis III/12 zusammengefaßt. Beobachtungsdaten und hydrogeochemische Analyseergebnisse von Salzlösungen, Schachtröhrenzuflüssen und von Brunnen am Werkeingang sind in Anlage III/1 aufgeführt.

Die Meßergebnisse von Tritium und  $^{14}\text{C}$  werden sowohl in den SI-Einheiten als auch in den konventionellen Einheiten T.E. (Tritium-einheit) und pmc (% modern  $^{14}\text{C}$ ) angegeben. Für die Umrechnung dieser Einheiten in SI-Einheiten gelten die Beziehungen

$$1 \text{ T.E.} = 10^{-18} \text{ mol } (^3\text{T})/\text{mol } (^1\text{H}) = 0,118 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$$

$$100 \text{ pmc} = 226 \text{ mBq} \cdot \text{gC}^{-1}$$

Die Interpretation der Meßwerte muß auf der Grundlagen von Modellen erfolgen, die wesentliche Aspekte der hydrogeologischen Verhältnisse vereinfacht, aber realistisch widerspiegeln.

Einige entnommene Proben konnten nicht gemessen werden bzw. wurden verworfen. Es sind dies

Pr.-Nr. 55:  $^{14}\text{C}$ , nicht genug Karbonat

Pr.-Nr. 78:  $^{13}\text{C}$ , nicht genug Karbonat

Pr.-Nr. 105: U, zuviel Fe in der Probe

Von den Ergebnissen der Tritiummessungen sind die der im Jahre 1983 beprobten GWBR aus nicht mehr exakt rekonstruierbaren Gründen als nicht repräsentativ einzustufen. Vermutlich wurden sie durch eine Lagerung im Bereich des ERA teilweise kontaminiert.

#### 5. Diskussion

##### 5.1. Salzlösungen in den Grubengebäuden

Zur Entscheidung über den Grad der Gefährlichkeit der Grubenzuflüsse muß die Frage beantwortet werden, ob es sich um Sedimentations- oder Reliktlösungen, d.h. während der Ablagerung bzw. im frühdiagenetischen Stadium entstandene oder um Infiltrationswässer (meteorisch) handelt, die mit weniger mineralisierten Grundwässern in Verbindung stehen. Nach VOIGT (1972) kann man postulieren, daß die Salz-

lösungen, die im Prozeß der primären und sekundären Salzbildung entstehen, konzentrierte bzw. hochkonzentrierte Na-Mg-Cl- bzw. Mg-Cl-Lösungen mit hohem Gehalt an verschiedenen Spurenelementen (Li, Br, B) darstellen. Die häufigsten Kriterien für eine genetische Klassifizierung sind der  $\frac{\text{Br} \cdot 10^3}{\text{Cl}}$  sowie der  $\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$ -Koeffizient. In der Anlage IV/2 sind die errechneten  $\frac{\text{Br}}{\text{Cl}}$ -Koeffizienten zum Chloridgehalt in Beziehung gesetzt. Die ausgezogene Linie stellt den Standardwert für das Ozeanwasser dar. Alle Werte, die rechts von dieser Linie liegen, kann man als Sedimentationswasser bezeichnen. Daraus resultiert, daß die Grubenzuflüsse insgesamt, jedoch differenziert, zu den Sedimentationswässern gerechnet werden können. Der  $\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$ -Koeffizient liegt bei 0,02 und kleiner, so daß auch hier die Werte erheblich unter denen des Ozeanwassers (0,85) liegen, wie aus der Anlage IV/2 ablesbar ist. Auffallend ist ferner die Konstanz des  $\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$ -Koeffizienten bei allen Grubenzuflüssen; dieser Umstand spricht ebenfalls gegen eine Beeinflussung durch Infiltrationswasser. Die mitgeteilten Daten in der oben angeführten Abbildung zeigen auf der anderen Seite recht eindeutig, daß es sich beim Test in der Bohrung Kb More 2/85 um ein Infiltrationswasser handelt. Durch die Kaliforschung (SCHMIEDL, 1987) wurde mittels Brom-Identifizierungsverfahren für Salzlösungen die Grubenzuflüsse begutachtet. Danach ist der Zufluß 1, Sohle Abbaustrecke 5 als Reliktlösung einzuordnen. Die Salzlösungen im Lagerteil II, der Bunten First und des Abbaues 1a sind technogen über die Luftfeuchte der Wetter stark beeinflusst, wie bereits durch erste isotopehydrogeologische Untersuchungen nachgewiesen werden konnte (s. unten), so daß eine Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit des Identifizierungsverfahrens nicht gegeben ist. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand handelt es sich um Mischlösungen. Zur eindeutigen Identifizierung sollen verstärkt isotopehydrogeologische Untersuchungen durchgeführt werden.

Die bisherigen Isotopenuntersuchungen stützen die oben aus hydrogeochemischen Analyseergebnissen abgeleiteten Schlußfolgerungen. Die von den Salzlösungen in den Grubengebäuden erhaltenen Tritiumwerte besitzen z. T. ein Aktivitätsniveau, das nicht durch natürliches, aus dem Wasserkreislauf stammendes Tritium verursacht sein kann. Vielmehr handelt es sich um Tritium aus eingelagerten Abfällen, welches über die Luftfeuchte in die Proben gelangt.

Erste orientierende Messungen des T-Gehaltes in der Luftfeuchte (Anlage III/9) ergaben Werte von  $\approx 10^5$  T.E. (bzw.  $\approx 10^4$  Bq·kg<sup>-1</sup>). Diese Werte werden sowohl durch die Analyseergebnisse an Proben des BIF (Anlage III/12) gestützt, die ebenfalls durch kondensierte Luftfeuchte kontaminiert waren, als auch durch einige Meßergebnisse des SAAS, bei denen die Tritiumkonzentrationen in der Grubenluft zu etwa 170 - 5000 Bq·m<sup>-3</sup> (= etwa (12-350)·10<sup>3</sup> Bq·kg<sup>-1</sup>) ermittelt wurden (FRÜHLICH, pers. Mitteilung). Diese sehr hohen Tritiumgehalte führen zu einer schwer vermeidbaren Kontamination der T-Proben sogar bei sorgfältig durchgeführter Probenahme. Selbst bei einer Entnahme von Proben aus einem unter Druck stehenden Packer (Abbau 5, Bremsbergfuß) wurde stets Tritium in den Proben nachgewiesen. Der niedrigste Meßwert dieser Proben von  $3 \pm \frac{6}{3}$  T.E. (Probe 23) wurden von einer Probe erhalten, die nach einer Erstbeprobung als zweite entnommen wurde. Diese Doppelbeprobung sollte künftig gezielter durchgeführt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, daß sehr geringe natürliche Tritiumgehalte (< 1 T.E.), die durch zusitzendes meteorisches Wasser theoretisch auftreten können, auch in Zukunft nicht eindeutig nachweisbar sind. Eine weitere Senkung der Probenkontamination ist dennoch anzustreben, da damit das Zusitzen jüngerer Wasser aus oberflächennahen GW-Leitern mit immer größerer Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Die Möglichkeit einer Datierung dieser Wasser auf der Basis von T-Messungen ist allerdings sehr skeptisch zu beurteilen.

Besonders stark von Kontaminationen durch den T-Gehalt der Luftfeuchte betroffen sind die ungefaßten Tropfwässer. Der höchste bisher gemessene Wert (Probe 17) von  $96,3 \cdot 10^3$  T.E. bzw.  $11,5 \cdot 10^3$  Bq·kg<sup>-1</sup> wurde vor Reparatur des Packers in der Abbaustrecke 5 bei offenen Probenahmebedingungen (Eimer unter Tropfstelle gestellt) gefunden. Durch Abdichten der Tropfstellen im Abbau 1a und in der Abbaustrecke 5 gelang es, die T-Kontamination des Tropfwassers beträchtlich zu senken. Dieser Effekt beweist aber andererseits, daß das Tropfwasser nicht vollständig aus kondensierter Luftfeuchte besteht. Vielmehr muß im Tropfwasser ein signifikanter Anteil tritiumfreien bzw. tritiumarmen Wassers existieren. Eine Abschätzung dieser Anteile ist auf der Basis

der T-Gehalte in der Luftfeuchte möglich. Nimmt man einen T-Gehalt der Luftfeuchte von  $2 \cdot 10^5$  T.E. als repräsentativ an, so entsprechen den im Abbau 1a gefundenen Werten von  $20 \cdot 10^3$  T.E. Luftfeuchteanteile am Tropfwasser von 10 %. Der Rest des Wassers, also 90 % müßte "echtes", mit hoher Wahrscheinlichkeit tritiumfreies Grundwasser sein.

Unsicherheitsfaktoren, die diese Abschätzung beeinflussen können, sind

- die ungenaue Kenntnis des T-Gehaltes der Luftfeuchte, der u. U. auch stark zeitlich veränderlich sein kann;
- ein Reservoirereffekt des Salzgesteins, der sowohl zu einer Verzögerung als auch zu einer Verdünnung des T-Eintrages aus der Luftfeuchte führen kann.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß aus der T-Bilanz nicht unmittelbar die Massenbilanz des Tropfwassers abgeleitet werden kann. Vielmehr sind Isotopenaustauschprozesse zwischen T-haltiger Dampfphase und T-freien Sickerwässern bei deren Austritt an der Grubenfirst möglich, die zu keiner wesentlichen Veränderung der Massenbilanz führen.

Weitere Aussagen zur Entstehung und Herkunft der Tropfwässer in den Grubengebäuden sind aus Untersuchungen mit stabilen Isotopen des Wassermoleküls ( $^2\text{D}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) gewinnbar. Die ersten  $\delta^{18}\text{O}$ -Meßwerte sind für hochsalinare Lösungen relativ stark negativ, insbesondere die aus dem Packer entnommene Probe (Abbaustrecke 5) fällt mit einem Wert von -10 ... -12 ‰ besonders negativ aus. Als Ursachen für diese niedrigen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sind zu diskutieren:

- (1) die Lösungen entstehen durch meteorogene Infiltrationswässer, die aus oberflächennahen Grundwasserleitern in den Salzstock eindringen;
- (2) durch Isotopenaustausch mit  $\text{CO}_2$  und/oder die Hydratisierung von Silikaten sowie Gipsbildung kommt es zu einer  $^{18}\text{O}$ -Isotopenabreicherung der salinaren Reliktlösungen, für welche ansonsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von 0 ... +9 ‰ charakteristisch sind /2/.

(3) In den Salzlösungen sind große Anteile kondensierter Luftfeuchte ( $\delta^{18}\text{O} \approx -10 \text{ o/oo}$ ) enthalten,

Eine Entscheidung zwischen diesen Diskussionsvarianten ist gegenwärtig noch nicht möglich. Vielmehr sollten die o.g. Gesichtspunkte bei den weiteren Untersuchungen gezielt bearbeitet werden.

Die T-Messungen der Tropfwässer vom Lagerteil H zeigen im Prinzip ein ähnliches Bild wie jene vom Abbau 1a. Auch hier sind deutlich Anteile von Luftfeuchte im Tropfwasser nachweisbar, besonders offensichtlich nach der Umstellung des Bewetterungsregimes im Grubenfeld im Jahre 1987 (Probe 118). Eine Abschätzung von Luftfeuchteanteilen ist allerdings z. Z. nicht möglich, da für diesen Teil des Grubengebäudes aktuelle T-Messungen in der Luftfeuchte fehlen. Andererseits zeigen die vor 1987 entnommenen Proben 41 und 75 T-Gehalte unter 10 T.E., die nur durch zusätzliche tritiumfreie (-arme) Grundwässer erklärt werden können. Auch hier sind weitere Untersuchungen mit Tritium und stabilen Isotopen sinnvoll.

Für Aussagen zur Herkunft der Tropfwässer sind im Prinzip auch die U-Isotope  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  geeignet. Das Aktivitätsverhältnis  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  (AU) bildet hierbei einen isotopischen Indikator der für qualitative Aussagen genutzt werden kann. Da es allerdings bisher nicht möglich ist, die Isotopenfraktionierung des Uraniums objektspezifisch aus theoretischen Modellen abzuleiten, bedingen alle Aussagen, die aus den U-Isotopen abgeleitet werden sollen, Kenntnisse über die U-Isotopenverteilung in den wichtigsten Teilreservoirs des Untersuchungsobjektes. Insofern bilden die Meßwerte der U-Isotope von Abbau 1a einen ersten Basiswert für weitere Untersuchungen. Das niedrige Aktivitätsverhältnis dieses Wertes weist darauf hin, daß keine ausgeprägten, kurzschlußartigen Verbindungen zu den tiefen Horizonten der oberflächennahen Grundwasserleiter existieren. Gerade in diesen Bereichen sind offenbar große bis sehr große AU-Werte typisch (Anlage III/10).

Um die Durchführbarkeit einer Datierung der Salzlösungen auf der Basis von  $^{14}\text{C}$ -Messungen beurteilen zu können, wurden 1983 zwei Proben zur Untersuchung der  $^{14}\text{C}$ -Kontamination der Grubenluft gewonnen und analysiert. Das Meßergebnis vom Abbau 1a besitzt

eine gegenüber rezente natürlichem Niveau (1983 ca. 120 pmc) etwa 500fach erhöhte  $^{14}\text{C}$ -Aktivität. In der Grube Marie lag zum Zeitpunkt der Beprobung eine geringe, aber statistisch signifikante Kontamination vor. Auch in diesem Teil des Grubengebäudes ist allerdings inzwischen mit erhöhten  $^{14}\text{C}$ -Aktivitäten im  $\text{CO}_2$  der Grubenluft zu rechnen. Damit erscheint eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung der Tropfwässer z. Z. nicht praktisch durchführbar, denn die dabei zu bewältigenden Probleme: Beprobung großer Laugenmengen ( $\geq 100$  l), bei vollständiger Abdichtung gegenüber der Grubenluft sind gegenwärtig kaum realisierbar.

## 5.2. Schachtröhren

Die Schachtröhre Bartensleben ist aufgrund der einziehenden Wetter und der relativ guten Dichtung der Probenahmestellen gut für Untersuchungen mit natürlichen Radionukliden geeignet. Die bisherigen Messungen von Tritium an Zuflüssen aus der Schachtröhre Bartensleben zeigten durchweg sehr geringe T-Gehalte mit eindeutig zur Tiefe hin abnehmenden Werten. Allerdings konnte bis zu einer Tiefe von 180 m noch Tritium in den Zuflüssen nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis zeigt, daß bis in diesen Tiefenbereich noch geringe Anteile "junger" Wässer (Infiltration nach 1950) existieren müssen (siehe auch Abschnitt 5.4.).

Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen an den Schachtröhrenzuflüssen liegen in einem Bereich wie er für rezente bzw. nacheiszeitliche Infiltrationen typisch ist. Diese Interpretation ist jedoch nicht eindeutig, da schwach mineralisierte Wässer mit  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von -10 o/oo auch durch Mischung von kaltzeitlichen Wässern ( $\delta^{18}\text{O} \approx -11 \dots -12$  o/oo) mit holozänen ( $\delta^{18}\text{O} \approx -8 \dots -9$  o/oo) oder präpleistozänen Wässern ( $\delta^{18}\text{O} \approx -8 \dots -2$  o/oo) gebildet sein können (GRABCZAK u. ZUBER, 1983 /3/). Eine genauere Interpretation ist daher nur auf der Grundlage komplexer Isotopenuntersuchungen sinnvoll.

Der erste bisher vorliegende  $^{14}\text{C}$ -Meßwert vom Zufluß 205 m zeigt einen deutlichen Alterseffekt an. Für eine Berechnung der Fließ- bzw. Verweilzeit des Grundwassers ist zusätzlich die Kenntnis

der Anfangsaktivität des neugebildeten Grundwassers erforderlich. Darüber hinaus sollten auch einige Aussagen zur Karbonatchemie (z. B. Lösung und/oder Fällung) möglich sein. Beide Voraussetzungen sind z. Z. noch nicht in ausreichendem Maße gegeben. Der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von  $-4,0$  ‰ ist gegenüber "normalen" Grundwässern mit Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, deren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bei etwa  $-12 \dots -16$  ‰ liegen, deutlich zu höheren Werten hin verschoben. Dieser Effekt kann z. B. auf Isotopenaustauschprozessen mit Methan bzw.  $\text{CO}_2$  beruhen, wobei die genannten Gase u. U. aus tieferen Horizonten (im Bereich des Salzpiegels?) in den wasserführenden Horizont migrieren. Derartige Prozesse können ebenfalls zu einer Verringerung der spezifischen  $^{14}\text{C}$ -Aktivität (bezogen auf den gelösten Kohlenstoff!) führen und ergeben damit zu hohe Alterswerte. Diese Einschränkungen sind bei der Interpretation der im Abschnitt 5.4. berechneten Modellalter unbedingt zu berücksichtigen.

In der Schachtröhre Marie konnten bisher die drei Zuflußstellen E 35, E 63, E 152 beprobt werden. Die erste Probenahme (1985) erfolgte vor der Umstellung der Wetterführung in den Gruben. Diese Proben sind daher als unbeeinflußt von technogenem Tritium bzw.  $^{14}\text{C}$  anzusehen. Die bei der Wiederholungsbeprobung im Jahre 1987 entnommenen Proben des Zuflusses E 152 sowie einer Tropfstelle in Schachtnähe in der Teufe 310 m sind deutlich durch technogenes Tritium kontaminiert. Die beiden Hauptzuflüsse bei E 35 und E 63 zeigen zwar eine gegenüber 1985 leichte Erhöhung der T-Gehalte, im Prinzip konnten jedoch die Ergebnisse der ersten Beprobung bestätigt werden.

In beiden Zuflüssen konnte eindeutig Tritium - und zwar in relativ hohen Konzentrationen - nachgewiesen werden. Da eine technogene Kontamination der Proben mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann, sind diese Resultate ein eindeutiger Hinweis auf Anteile relativ junger Wässer in den Zuflüssen. Andererseits folgt aus dem  $^{14}\text{C}$ -Wert von etwa 26 pmc, daß es sich nicht vollständig um sehr junge Wässer (Infiltration nach 1950) handeln kann, da ansonsten ein  $^{14}\text{C}$ -Gehalt von mindestens 50 pmc auftreten müßte. In jedem Fall muß im Bereich der Schachtröhre Marie mit einer relativ großen vertikalen Komponente der

Grundwasserströmung gerechnet werden. Ob dieser Effekt an einen sehr eng um die Schachtröhre begrenzten Bereich, vielleicht auch spezielle Störungszonen, gebunden ist, oder typisch für die hydrogeologische Situation in der Umgebung der Schachtröhre Marie ist, kann nur durch weitere hydro- und isotopehydrogeologische Studien näher beleuchtet werden.

Die bisherigen Meßwerte von U-Isotopen in den Schachtröhrenzuflüssen zeigen einen generellen Trend, wie er auch in anderen norddeutschen Grundwasserleitern gefunden wurde /4/: Die gelöste  $^{238}\text{U}$ -Aktivität nimmt zur Tiefe hin deutlich ab, gleichzeitig nehmen die Aktivitätsverhältnisse  $\text{AU}$  zu. Damit sind im Prinzip gute Voraussetzungen gegeben, um den Isotopenindikator  $\text{AU}$  für hydrogenetische Aussagen zu nutzen.

### 5.3. Oberflächennahe Grundwässer

Die Untersuchung der oberflächennahen Grundwässer gestattet neben der Präzisierung hydrogeologischer Vorstellungen auch erste Aussagen zu Modellaltern der Grundwässer in den oberhalb des Salzspiegels gelegenen Horizonten. Bei der Interpretation der Meßwerte ist allerdings zu berücksichtigen, daß das gesamte Untersuchungsgebiet hydrogeologisch stark strukturiert ist, die GWBR teilweise nur Kleineinzugsgebiete repräsentieren und bei der Probenahme aus GWBR nur sehr begrenzte Tiefenbereiche erfaßt wurden. Deshalb ist eine tiefenorientierte Interpretation der Ergebnisse erforderlich (siehe 5.5.).

Von den beprobten Quellen, Brunnen und sonstigen Aufschlüssen liefern die T-Meßergebnisse erste Hinweise auf die Genese des Wassers sowie Fließ- bzw. Verweilzeiten. Auch hier gibt es im allgemeinen gute Übereinstimmung mit hydrogeologischen Vorstellungen. Nicht ganz klar ist die Ursache für die relativen hohen T-Gehalte der PN-Stellen 114, 115. Hier wurde aufgrund relativ hoher Salzgehalte ein tritiumarmes bis -freies Wasser erwartet.



#### 5.4. Oberflächengewässer

Die drei T-Messungen, die bisher von Oberflächengewässern vorliegen, stellen in erster Linie Basisdaten für weitere Untersuchungen dar. Eine eigenständige Interpretation ist wenig sinnvoll.

#### 5.5. Quantitative Interpretation: Modelle und Modellaussagen

Gemessene Verteilungen natürlicher Radionuklide in Grundwasserleiter-Systemen können im Prinzip durch systembeschreibende Stofftransportmodelle beschrieben werden (LUCKNER u. SCHESTAKOW, 1986 /5/).

Die praktische Nutzung derartiger Modelle erfordert jedoch eine ausreichende Datenbasis sowohl im Hinblick auf die Radionuklide als auch in bezug auf Hydraulik und Geochemie. Darüber hinaus wird ein hinreichend detailliertes mathematisches Modell zur Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes benötigt. Da diese Forderungen häufig nicht in ausreichendem Maße erfüllt sind, werden in der Isotopenhydrogeologie in der Regel konzeptionelle Boxmodelle benutzt. Diese Modelle basieren auf der Beschreibung des Radionuklid-Transportes als Übertragungsfunktion des hydrogeologischen Systems mit einer bestimmten Verweilzeit-Verteilungsfunktion (VV-Fkt.)  $f(\tau_i)$  für ein Nuklid  $i$ .

Es gilt

$$a_{i, \text{out}}(t) = \int_0^{\infty} a_{i, \text{in}}(t - \tau_i) f(\tau_i) e^{-\lambda_i \tau_i} d\tau_i \quad (1)$$

wobei für das "Nuklidalter"  $\tau_i$  in vielen Fällen gesetzt werden kann

$$\tau_i = R_i \cdot \tau \quad (2)$$

mit  $R_i$  - Retardationskoeffizient des Nuklids  $i$

$\tau$  - Verweilzeit eines Volumenelementes Grundwasser im Untergrund ("Alter")

Da Tritium, Deuterium ( ${}^2_1\text{H} = \text{D}$ ),  ${}^{18}\text{O}$  wassermolekülinterne Isotope sind und sich - abgesehen von geringen Isotopieeffekten - nicht vom "normalen" Wasser unterscheiden, können diese Isotope als ideale Tracer der Wasserbewegung angesehen werden. Definitionsgemäß gilt für diese Isotope dann  $R_i = 1$ .

(Bei Umrechnungen zu Volumenstrombilanzen ist das Verhältnis von Gesamtporenanteil zu durchströmten Porenanteil  $n_{\text{total}}/n_{\text{durchstr.}}$  zu berücksichtigen! JORDAN u.a., 1985 /6/)

${}^{14}\text{C}$  kann gering retardiert sein ( $R \approx 1,5$  unter aeroben Bedingungen, /7/, beim Uranium müssen andere Modellansätze benutzt werden (GELLERMANN und FRÖHLICH, 1984 /8/).

Die einfachsten, einparametrischen VV-Funktionen sind

- das Exponentialmodell (EM)  $f(\tau) = \frac{1}{T_M} e^{-\tau/T_M}$  (3)

$T_M$  = mittlere Verweilzeit

- das Piston-Flow-Modell (PFM)  $f(\tau) = \delta(\tau - T_0)$  (4)

$T_0$  = Fließzeit

Diesen Modellen entsprechen die in Anlage IV/3 dargestellten hydrogeologischen Modellschemata.

Da diese beiden Modelle zwei sehr unterschiedliche Fälle der Grundwasserströmung widerspiegeln, sind sie für erste Abschätzungen besonders geeignet. Die starke Abstraktion und Schematisierung dieser Modelle ist jedoch bei der weiteren Benutzung der Modellaussagen stets in Rechnung zu stellen.

Es existiert eine Vielzahl weiterer, mehrparametrischer Modelle (Exponential-Piston-Flow-Modell, Dispersionsmodelle, Infiltrationsmodelle, u.a.), deren Nutzung vor allem bei langen Beobachtungsreihen sinnvoll ist /9/.

Für eine erste Abschätzung mittlerer Verweilzeiten von Quellen ist das EM häufig geeignet. In Anlage IV/4 ist die entsprechende Modellkurve der T-Gehalte im Grundwasser für eine Input-Funktion

$a_{in}(t-\tau)$  nach HEBERT /11/ und für das Beobachtungsjahr 1987 dargestellt. Aus dieser Kurve ergeben sich die in Tabelle 5 aufgeführten mittleren Verweilzeiten  $T$  für die untersuchten Quellen.

Tabelle 5: Mittlere Verweilzeit des Grundwassers von Quellen

PN-Stelle	PN-Jahr	Pr.-Nr.	$T_M/a$
Kleygrund	1987	96	6 oder 40
Alleringeslobener Spring	1987	97	20
H <sub>2</sub> S-Quelle	1987	98	300
Solqu, Horstwiesen	1988	118	1 oder 120
114	1986	89	5 oder 60
115	1986	90	4 oder 70

Für einige Wässer ist aufgrund der Doppeldeutigkeit der  $T(T_M)$ -Kurve (Anlage IV/4 keine eindeutige Zuordnung einer mittleren Verweilzeit möglich. Bei der Probe Kleygrund sprechen die hydrogeologischen Gegebenheiten für ein sehr junges Alter (Zufluß aus einem Böschungsbereich), bei PN-Stelle 114, 115 sind die höheren Alterswerte wahrscheinlicher. Auch hier kann vor allem eine Langzeitbeobachtung zur Präzisierung der Aussagen führen.

Generell muß berücksichtigt werden, daß das einparametrische EM die wirklichen hydrogeologischen Verhältnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht exakt wiedergibt. Beispielsweise sind niedrige  $T$ -Gehalte auch durch Mischung zweier Grundwasser-Komponenten sehr unterschiedlichen Alters denkbar. Solche Verhältnisse können ebenfalls durch Langzeitbeobachtung von Tritium, aber auch durch Einbeziehung geochemischer Daten oder weiterer Isotope in die Untersuchungen aufgeklärt werden.

Problematischer wird die quantitative Interpretation der Meßwerte bei den GWBR und den Schachtröhren. Hier kann aufgrund der tiefenbezogenen Probenahme das EM bestenfalls formal angewandt werden, die hydrogeologische Bedeutung der Modellalter muß dann allerdings im Einzelfall diskutiert werden.

In Anlage IV/5 sind Modellkurven des EM über der Beobachtungszeit dargestellt, und die Meßwerte von GWBR mit T-Gehalten über 5 T.E. wurden eingetragen. Da hier einige Wiederholungsmessungen mit Zeitabständen von zumindest 2 - 3 Jahren existieren, sind auch erste Trendeinordnungen möglich. Die Meßwerte von P 4, P 16 und P 17 zeigen einen zeitlichen Trend, wie er auf der Basis des EM erwartet wird. Bei P 14 und P 15 nahmen die T-Gehalte geringfügig zu. Dieser Trend kann durch das EM nicht erklärt werden. Die formal aus dem EM abgeschätzten Modellalter der GWBR und Schachtröhrenzuflüsse sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Modellergebnisse (GWBR, Schachtröhren, sonstige Beobachtungspunkte)

GWBR	$T_M/10^3$ a	$\alpha_{EM}/\%$	$\alpha_{MM}/\%$
P 1	0,7 - 1,1	3 - 5	4 - 7
P 3	$\geq 4$	$\leq 1$	$\leq 1$
P 4	0,020	83	100
P 6	0,46	8	10
P 7	$\geq 4$	$\leq 1$	$\leq 1$
P 8	0,38 - 0,73	5 - 9	6 - 12
P 9	1,0	3,5	5
P 11	2,0	2	2
P 12	2,7	1	2
P 14	0,06	44	56 - 62
P 15	0,2 - 0,3	11 - 16	15 - 22
P 16	0,25	13	14 - 18
P 17	0,07	39	48 - 56
P 20	4,0	1	1
BL Schweinsh. M.	0,77	5	6
Br. Werkseing.	0,020	83	100
Kb Mors 2/85	0,67	5	8
Schachtr. BL:			
35 m	1,3 - 1,5	2 - 3	21 - 25
61 m	1,6 - (0,4)?	2 - (9)	4 - (14)
180 m	3,1 - 1,6	1 - 2	2 - 4
205 m	3,9 - 7,4	-1	- 1

Schachtr. Marie:

E 35	0,002 oder 0,08	35	46 <sup>1)</sup>
E 63	0,25	13	18 <sup>1)</sup>

$$\alpha_{EM}: T_1 = 35 \text{ a}$$

$$\alpha_{MM}: a_{T/1} = 50 \text{ T.E.}$$

1) 1985

Um aus der Tiefenverteilung von Tritium im UG weitere Aussagen ableiten zu können, wurde folgendes Modell untersucht:

In einem idealen, homogenen und unbedeckten Grundwasserleiter der Mächtigkeit  $H$  gilt für die Fließzeit  $\tau$  (FRÖHLICH, 1985 /10/), Anlage IV/6

$$\tau = T_M \cdot \ln(h/z) \quad (5)$$

mit

$$T_M = P \cdot h/v_N \quad (6)$$

( $P$  = Porenanteil,  $v_N$  = Neubildungsrate in  $\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$ )

Der in den Jahren 1963/64 infiltrierte Niederschlag mit den maximalen T-Gehalten ("Bomben-Peak") befindet sich bei einer idealen Grundwasserströmung ohne Dispersion in der Tiefe  $h-z_{\max} = \delta z_{\max}$ .

Für die Fließzeit gilt  $\tau_{\max} = t - 1963$

Damit folgt aus Gl.(5)

$$h \left( 1 - e^{-\frac{\tau_{\max} \cdot v_N}{P \cdot h}} \right) = \delta z_{\max} \quad (7)$$

eine Gleichung mit der eine Berechnung der Eindringtiefe bei gegebenen  $\tau_{\max}$ ,  $v_N$  möglich ist. In Anlage IV/7 sind zwei entsprechende Modellkurven dargestellt.

Diese Zwischenergebnisse können benutzt werden, um die Tiefenverteilung von Tritium im Modellgrundwasserleiter zu berechnen. Dabei wurden zwei Fälle untersucht:

- (1) Direkter T-Input, Fließbewegung ohne Dispersion,  $\tau$  aus Gl.(5)
- (2) T-Input durch Aerations-/Mischungszone mit  $T_{M1} = 10$  a, Fließbewegung ohne Dispersion,  $\tau$  aus Gl.(5)

Die mit diesen Modellen berechneten T-Verteilungen für das Jahr 1987 sind in Anlage IV/8 gemeinsam mit Meßergebnissen dargestellt.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse kommt es nicht vordergründig auf ein Anpassen der Meßwerte an die Modellkurven an, vielmehr ergeben sich die hydrogeologisch relevanten Informationen aus der relativen Lage von Meßwert und Kurve.

Die GWBR P 3, P 5, P 11, P 12, P 15 weisen T-Gehalte auf, die deutlich niedriger ausfallen, als vom Modell erwartet.

Mögliche hydrogeologische Ursachen für diese Ergebnisse sind

- eine Reduzierung der Versickerung durch Deckschichten,
- Aufstiege tieferer (älterer) Grundwässer in Entlastungszonen
- gestörte hydrogeologische Verhältnisse mit einer reduzierten Grundwasserdynamik (insbesondere in vertikaler Richtung).

Die GWBR P 1, P 8, P 16 besitzen T-Gehalte, die relativ zu den Modellkurven zu hoch ausfallen. Diese Werte können jedoch relativ einfach durch Dispersionseffekte erklärt werden.

GWBR P 4, P 14, P 17 und der Br. am Werkseingang haben T-Gehalte, wie sie für junge Infiltrationswässer typisch sind. Die Maxima der Modellkurven im Tiefenbereich von 20 - 30 m dürfen hierbei nicht überinterpretiert werden, da sie eine Folge der weitgehend im Modell vernachlässigten Dispersion sind.

Eine weitere Möglichkeit, zu einer hydrogeologisch interpretierbaren Form des Datenmaterials zu gelangen, besteht in der Abschätzung von Jungwasseranteilen. Definiert man den Jungwasseranteil  $\alpha$  als den Anteil des beprobten Wassers, der nach 1952

infiltrierte (Beginn der H-Bomben-Tests in der Atmosphäre), so so gilt

$$\alpha = \int_0^{t-1952} f(\tau) d\tau \quad (8)$$

Setzt man für  $f(\tau)$  die VV-Funktion des EM ein (Gl. (3)), so erhält man

$$\alpha_{EM} = 1 - e^{-T_1/T_M} \quad (9)$$

mit  $T_1 = t - 1952$ .

Eine andere Art der Abschätzung eines Jungwasseranteils folgt aus einem Mischungsansatz. Faßt man den gemessenen T-Gehalt  $a_T$  als Zumischung eines "jungen" Wassers mit  $a_{T1} = a_{T1}$  zu einer "alten", tritiumfreien Komponente auf, so gilt

$$a_T = \alpha_{MM} \cdot a_{T1} \quad (10)$$

Für das Untersuchungsgebiet und den Zeitraum von 1985 - 1988 kann man als Modellparameter einsetzen

$$T_1 = 35 \text{ a}$$

$$a_{T1} = 50 \text{ T.E.}$$

Mit diesen Werten abgeschätzte Jungwasseranteile sind in Tabelle 6 mit aufgeführt.

Welches der vorgestellten Modelle die hydrogeologischen Verhältnisse der beprobten Aufschlüsse am besten widerspiegelt, kann u.a. durch Langzeitbeobachtung eingegrenzt werden. Bei einer Migration von Tritium in die Tiefe (Anlage IV/8) muß man insbesondere in den GWBR P 1, P 8, P 16 in den nächsten Jahren ansteigende T-Gehalte erwarten. Wird ein solcher Anstieg nicht gemessen, fallen u. U. die Werte sogar wieder ab, so sind Zumischungen von Jungwasser besser geeignet, die Daten zu erklären.

Generell läßt sich einschätzen, daß bisher das Bombentritium ("Alter" = 35 a) in den oberflächennahen Grundwasserleitern bis in eine Tiefe von ca. 60 m eingedrungen ist, wobei sich die größten Anteile in einer Tiefe von  $\leq 30$  m befinden.

Über die tieferen Horizonte der oberflächennahen Grundwasserleiter, die bis in die Nähe des Salzspiegels reichen, geben die Schachtröhrenzuflüsse und die Proben eines Bohrungstests (Kb Mors 2/85) erste Anhaltspunkte (vgl. Abschnitt 5.2.). Der Nachweis geringer T-Gehalte bei ebenfalls deutlich reduzierten  $^{14}\text{C}$ -Gehalten kann am einfachsten als Zumischung von Jungwasserkomponenten zu einem  $^{14}\text{C}$ -mäßig gealterten, tritiumfreien Wasser erklärt werden. Nimmt man für das Gebiet zunächst einen  $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt von  $a_{\text{C},0} = 60$  pmc an (entsprechende Messungen wären noch durchzuführen), so kann man abschätzen:

- den Jungwasseranteil nach Gln. (9,10)
- $^{14}\text{C}$ -Gehalt der "Altwasserkomponente" über

$$a_{\text{C,gem.}} = (1-\alpha) \cdot a_{\text{C,alt}} + \alpha \cdot 60 \text{ pmc} \quad (11)$$

(Hierbei wird angenommen, daß im "jungen" und "alten" Wasser gleiche Konzentrationen gelösten Hydrogenkarbonats existieren).

- die Fließzeit (PFM) bzw. die mittlere Verweilzeit (EM) von  $^{14}\text{C}$  über

$$T/k_a = 8,3 \cdot \ln \left( \frac{60}{a_{\text{C,alt}}} \right) \quad (12)$$

$$T_M/k_a = 8,3 \left( \frac{60}{a_{\text{C,alt}}} - 1 \right) \quad (13)$$

Die erhaltenen Werte, die aufgrund der oben umrissenen Modellannahmen als erste Abschätzungen zu interpretieren sind, wurden in Tabelle 7 aufgeführt. Sie zeigen, daß für die "alten" Grundwasser im Teufenbereich von 100 m bis zum Salzspiegel mit "Alterswerten" von ca.  $10 \cdot 10^3$  a und mehr gerechnet werden muß.



Tabelle 7:  $^{14}\text{C}$ -Modellberechnungen

Bezeichnung	$\alpha$ /‰	$a_{c,alt}$ /pmc	$\tau$ /ka	$T_M$ /ka
Kb Mars 2/85	7	11	14	37
Schachtr. Bl 205 m	0	15	12	33
Schachtr. Marie E 63	15	17	10	21

## 6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Der vorliegende Bericht gibt eine erste Übersicht über Ergebnisse von Isotopenuntersuchungen am Endlager für radioaktive Abfälle (ERA) Morsleben.

Schwerpunkt der Arbeiten waren T-Messungen zur Beurteilung hydrogeologischer Verhältnisse. Einbezogen waren aber auch Messungen anderer Isotope ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{234}\text{U}$ ).

Damit ist eine Datenbasis gegeben, von der ausgehend weitere Arbeiten zur Nutzung natürlicher Radionuklide im Untersuchungsgebiet konzipiert werden können. Für die notwendige Langzeitbeobachtung der Tritiumgehalte sind in Tabelle 8 empfohlene Beprobungsabstände bis zum Jahr 1995 angegeben. Darüber hinaus sollten jedoch die bisher nur in geringem Umfang gemessenen Isotope stärker in die Arbeiten einbezogen werden.

Tabelle 8: Empfohlene Beprobungsabstände für die Langzeitbeobachtung von Tritium bis 1995

<u>zu beproben:</u>	<u>Abstände:</u>
Salzlösungen	2 Jahre
Schachtröhren	2 - 3 Jahre
GWBR	Komplette Wiederholungsbe- probung 1989/90
(P1 - P20)	Weitere Beobachtung ent- sprechend den gewonnenen Meßergebnissen
Neue Bohrungen	1. Beprobung operativ: Wiederholungsmessungen nach 2 - 4 Jahren.
Quellen	2 - 5 Jahre

Die Besonderheit des Standortes ERA legt es nahe, die gesamte Information, die aus der Verteilung natürlicher Radionuklide ableitbar ist, für die Sicherheitseinschätzung des Standortes zu nutzen. Das bedeutet, daß zukünftig neben den hydrogeologischen Aussagen gezielt standortspezifische Migrationseigenschaften von Radionukliden untersucht werden sollten.

## 7. Literatur

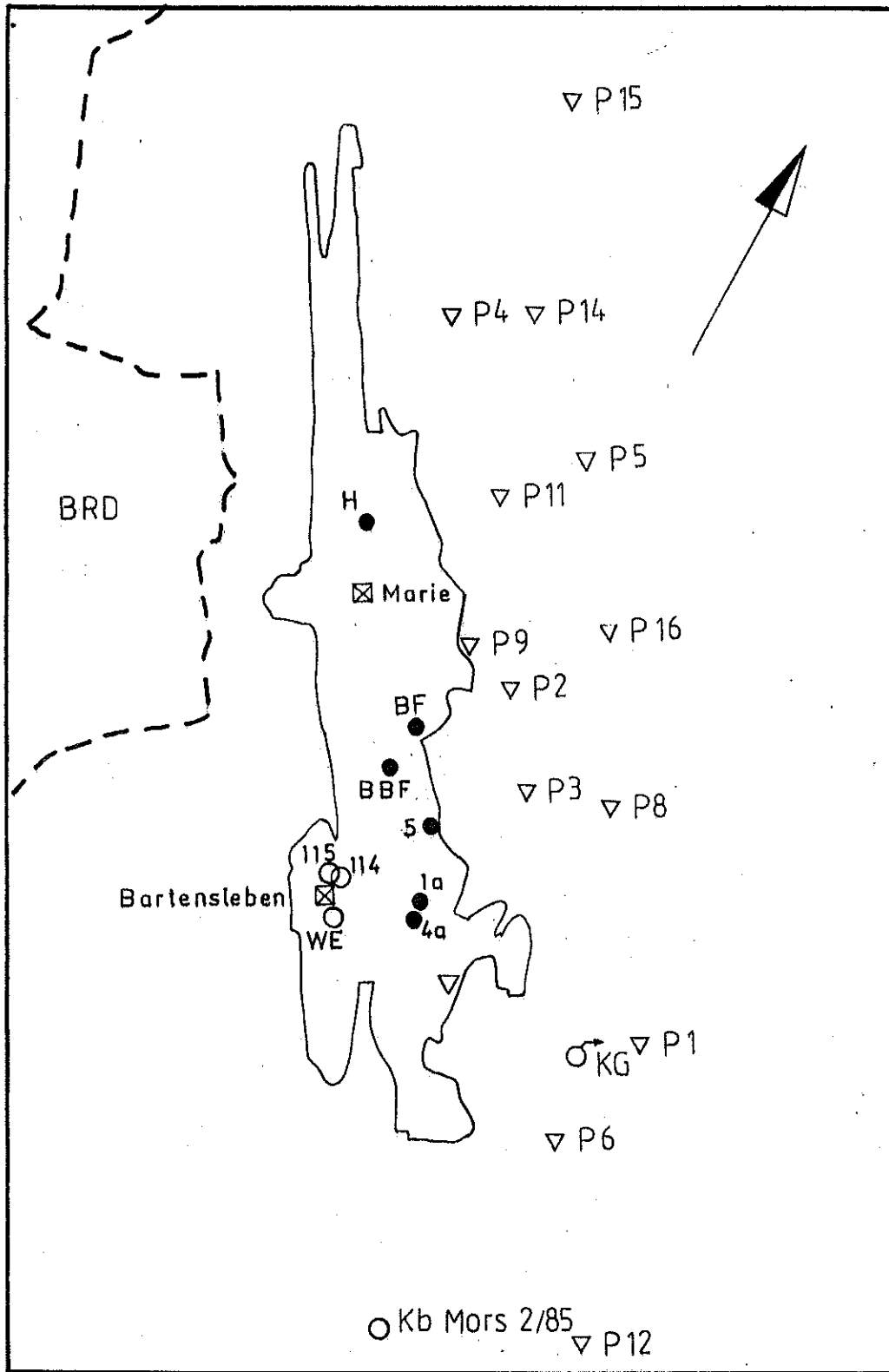
- /1/ Schwandt, A.: Sicherheitstechnische Untersuchungen zur Einlagerung radioaktiver Abfälle in die Steinsalzgrube Bartensleben. Studie. VEB Komb. KALI, DB Produkt., Abt. Geol., Sondershausen, 30.9.1971
- /2/ Schmiedl, H.-D., A. Runge, H. Jordan, K. Koch, J. Pilot u. K.-H. Elert: Die Deuterium- und Sauerstoff-18-Isotopenanalyse - ein modernes Verfahren zur Bewertung untertägiger Salzlösungsvorkommen in Kali- und Steinsalzgruben, Z. geol. Wiss. 10 (1982) 73 - 85
- /3/ Grabczak, J. u. A. Zuber: A combined isotope and chemical approach to determining the origin of brines in salt mines. In: Isotope u. ihre Anwendung in den Geowissenschaften, in der Bergbausicherheit und im Umweltschutz, FFH C 417, VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1986, S. 105 - 115
- /4/ Gellermann, R.: Uranium-Isotopenuntersuchungen im Objekt Fürstenwalde  
In: Geschützteitsbewertung von Grundwasserressourcen. Zwischenbericht (A III). Intersektionelle Forschungsgruppe "Isotopenhydrogeologie" BA Freiberg 1988, unveröff.
- /5/ Luckner, L. u. W.M. Schestakow: Migrationsprozesse im Boden- und Grundwasserbereich, VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1986
- /6/ Jordan, H., D. Hebert, K. Fröhlich, R.-P. Scholz u. R. Gellermann: Zur hydrogeologischen Interpretation von Isotopendaten im Zusammenhang mit Stofftransportprozessen, Isotopenpraxis 21 (1985) 3, 79 - 82
- /7/ Institut für Hydrologie, GSF München. Jahresbericht 1987, S. 77 - 81  
Garnier, J.-M.: Retardation of dissolved radiocarbon through a carbonated matrix  
Geochim. Cosmochim. Acta 49 (1985) 683 - 693

- /8/ Gellermann, R. u. K. Fröhlich: Nutzung der Uraniumisotope  $^{234}\text{U}$  und  $^{238}\text{U}$  in der Hydrologie und Hydrogeologie, FFH C 397, VEB Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie (1984)
- /9/ Maloszewski, P. u. A. Zuber: J. Hydrol. 57 (1982) 207 - 231
- /10/ Fröhlich, K.: Current aspects in groundwater dating.  
In: Isotope und ihre Anwendung in den Geowissenschaften,  
in der Bergbausicherheit und im Umweltschutz (Teil 1),  
FFH C 417, VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie (1986)  
S. 18 - 32
- /11/ Hebert, D.: In: Geschützteitsbewertung von Grundwasser-  
ressourcen. Abschlußbericht (A IV). Intersektionelle For-  
schungsgruppe "Isotopenhydrogeologie" BA Freiberg 1989,  
unveröff.
- /12/ Turba, E.: Bergschadenkundliche Analyse der Schachtanlage  
Bartensleben. BI Freiberg, FB Kerntechnik 1975, BI-E-83-159
- /13/ Turba, E. u. H. Mosler: Bergschadenkundliche Analyse der  
Schachtanlage Marie, BI Freiberg, 30.9. 1977, BI-E-109-204
- /14/ Voigt, H.-J.: Genese und Hydrochemie mineralisierter Grund-  
wässer. WTI Sonderheft 6 (1972), ZGI Berlin
- /15/ Schmiedl, H.-D.: Bewertung von Salzlösungsvorkommen im  
Grubenfeld Bartensleben - Marie mittels eines Brom-  
deutifizierungsverfahrens. Unveröff. Bericht; Kombinat  
Kali, DB Forschung, Sondershausen 1987.

## Anlagenverzeichnis

- Anlage I/1: Lageplan  
I/2: Schematischer Schnitt durch die Grube Bartensleben  
I/3: Schachtröhrenprofil Bartensleben  
I/4: Schachtröhrenprofil Marie
- Anlage II/1: Entnommene Proben  
II/2: Gegen Grubenluft abgedichtetes System zur PN von Tropfwässern
- Anlage III/1.1: Übersicht zur Flußmenge, Dichte und pH-Wert zusitzender Wässer bzw. Salzlösungen in den Schachtröhren bzw. Grubengebäuden (1982 - 1988)  
III/1.2: Übersicht zur chemischen Zusammensetzung zusitzender Wässer bzw. Salzlösungen in den Schachtröhren bzw. Grubengebäuden (1982 - 1988)  
III/2: Hydrogeochemische Analysenergebnisse von GWBR  
III/3: Tritium in den Salzlösungen des Grubengebäudes  
III/4: Tritium in Schachtröhrenzuflüssen  
III/5: Tritium in den oberflächennahen Grundwässern. Meßdaten aus GWBR.
- Anlage III/6: Tritium in oberflächennahen Gewässern. Meßdaten von Quellen und sonstigen Beprobungspunkten  
III/7: Tritium in Oberflächengewässern  
III/8:  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  in Grundwässern  
III/9: Tritium und  $^{14}\text{C}$  in der Luft des Grubengebäudes  
III/10: Ergebnisse von U-Isotopenanalysen  
III/11: Ergebnisse von  $^{18}\text{O}$ -Analysen  
III/12: **Analysenergebnisse von Versuchen des BIF**
- Anlage IV/1: Langzeitreihe der Dichte in den Salzlösungen  
IV/2.1: Br/Cl-Verhältnis von Salzlösungen  
IV/2.2: Mg/Cl-Verhältnis von Salzlösungen  
IV/3: Häufig benutzte Box-Modelle des Isotopentransports  
IV/4: Modellkurven der T-Gehalte im Grundwasser nach dem Exponentialmodell  
IV/5: Modellkurven der zeitlichen Entwicklung des Tritiumgehaltes im Grundwasser, berechnet mit dem Exponentialmodell und Meßwerte von GWBR

- IV/6: Modellschema eines unbedeckten Grundwasserleiters  
im x-z-Koordinatensystem
- IV/7: Eindringtiefe  $\delta z_{\max}$  des Tritium-Bombenpeaks
- IV/8: Tritium über der Entnahmetiefe, Meßwerte von  
GWBR und Modellkurven.

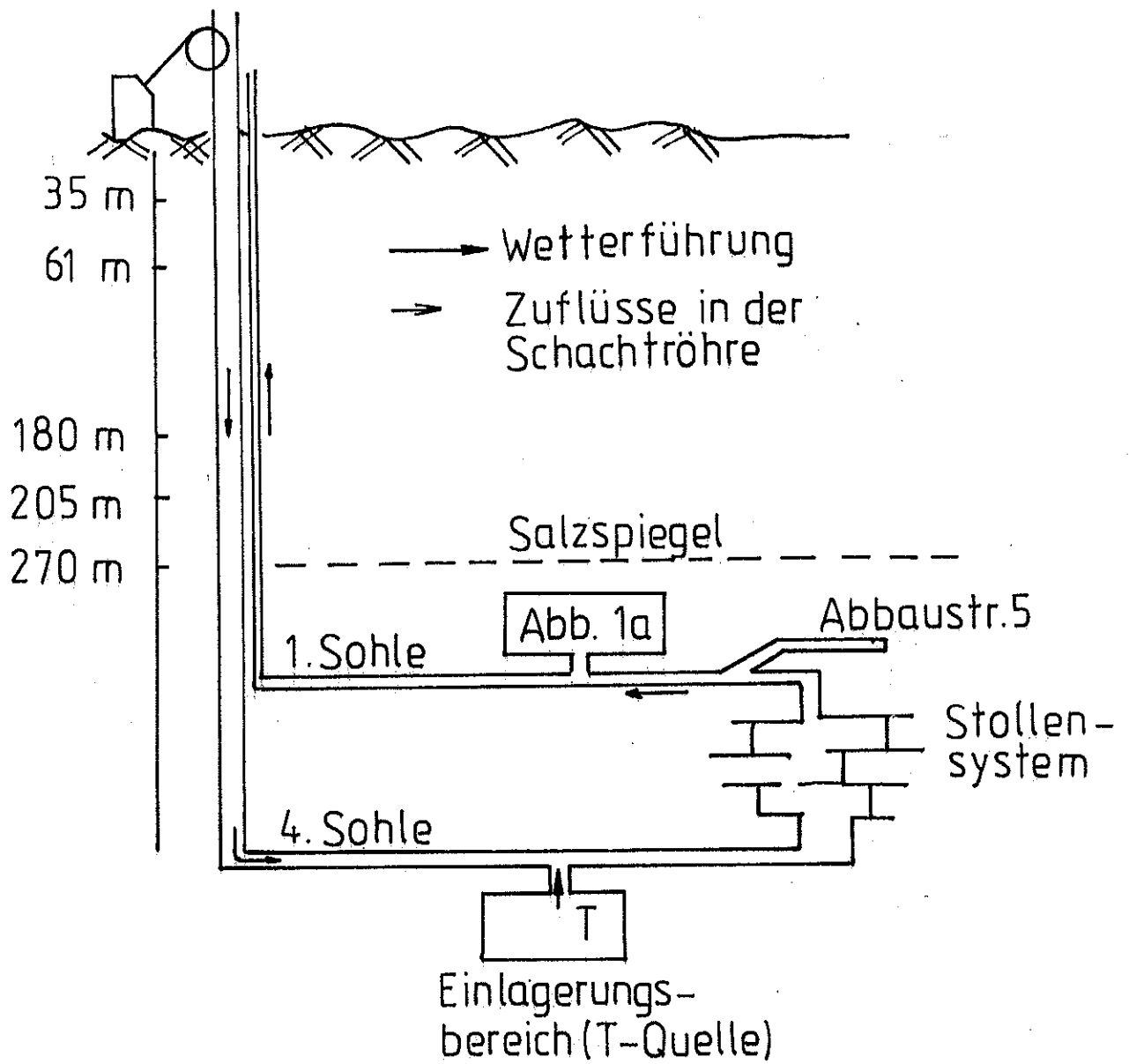


Anlage I/1

Lageplan des Grubenfeldes Bartensleben/Marie sowie von Probenahmestellen

- Legende:
- ☒ Schachtröhren
  - Zufluß unter Tage
  - ▽ GWBR
  - Brunnen
  - Quellen
  - Grenze des Grubenfeldes
  - - - Staatsgrenze

Abkürzungen: siehe Tabelle II/1, III/5



Anlage I/2

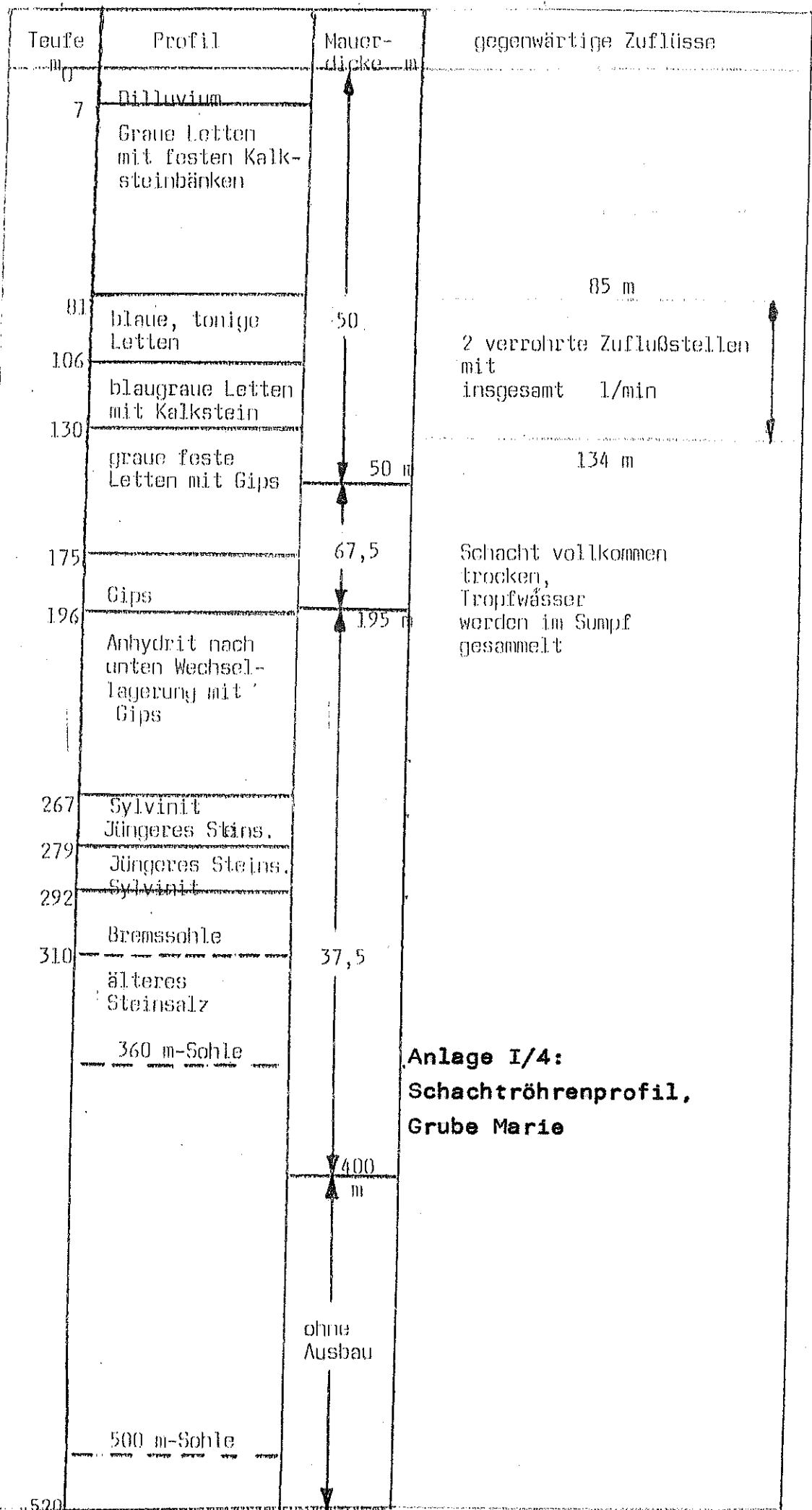
Schematischer Schnitt durch die Grube Darteneleben.



Anlage I/3 Schachtröhrenprofil Bartensleben

Teufe m	Profil	Mauer- dicke cm	gegenwärtige Zuflüsse 12 m
33	Mergel	50	0,8 - 1,2 l/min
	Rote und blaue Keuper- letten nach unten mit einge- lagerten Gips- schnüren	150	80 m
175			175 m
187	Grauer Sand		5 - 6 l/min
200	Letten, Sand		
	rote und blaue Keuperletten	67,5	200 m
235	Keuperletten		Zuflüsse durch Traufenrinnen ge- sammelt, kein Wasser durch den Ausbau, Tropfwasser werden im Sumpf gesammelt
253	Juraton		
	Gips		
270	Keuperletten	280	
283	Jüngeres Steinsalz		
320			
335	Hartsalz		
	Jüngeres Steinsalz		
386	1. Sohle		
396	Hartsalz	37,5	
	älteres Steins.		
424	2. Sohle		
	Steinsalz Hartsalz		
456			
466	3. Sohle		
	älteres Steinsalz		
506	4. Sohle		
524			

**Anlage I/3:  
Schachtröhrenprofil  
Bartensleben**



**Anlage I/4:  
Schachtröhrenprofil,  
Grube Marie**

Anlage II/1: Entnommene Proben

Lfd. Nr. (1)	Datum (2)	Probenbez. (3)	Isot. Nukl. (4)	PN-Art (5)	Bemerkungen (6)
1	04 06 81	Salzbach	T	O	11
2		Pumpenbecken 1. Sohle	T	SL	11
3		Salzbach (Speicher) Mischprobe	T	O	11
4		Schachtröhre BL, 35 m	T	SR	6
5		Schachtröhre BL, 61 m	T	SR	6
6		Schachtröhre BL, 180 m	T	SR	6
7		Schachtröhre BL, 205 m	T	SR	7
8		Abbau 1a	T	SL	2
9	04 06 81	Abbaustr. 5	T	SL	(2)
10	22 09 81	Salzbach (Quelle)	T	O	11
11		Pumpenbecken	T	SR	11
12		Schachtröhre BL, 35 m	T	SR	6
13		Schachtröhre BL, 61 m	T	SR	6
14		Schachtröhre BL, 180 m	T	SR	6
15		Schachtröhre BL, 205 m	T	SR	7
16		Abbau 1a	T	SL	1
17	22 09 81	Abbaustr. 5	T	SL	1
18	24 11 81	Abbau 1a	T	SL	2
19	24 11 81	Abbau 1a	T	SL	1
20	25 11 81	Abbau 1a	T	L	

Fortsetzung Anlage II/1

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
21	17 12 81	Bunte First	T	SL	5
22	17 12 81	Lagerteil H	T	SL	5
23	17 12 81	Abbaustr. 5	T	SL	4
24	13 10 82	Abbau 1a	T	SL	3
25		Abbau 1a	18 <sub>0</sub>	SL	
26		Abbaustr. 5	T	SL	4
27	13 10 82	Abbaustr. 5	18 <sub>0</sub>	SL	4
28	20 10 82	Schachtröhre BL, 205 m	T	SR	7
29		Schachtröhre BL, 205 m	18 <sub>0</sub>		7
30	20 10 82	Schachtröhre BL, 205 m	U		7
31	11 11 82	Schachtröhre BL, 180 m	T		6
32		Schachtröhre BL, 180 m	18 <sub>0</sub>		6
33		Schachtröhre BL, 180 m	U		6
34		Schachtröhre BL, 61 m	T		6
35		Schachtröhre BL, 61 m	18 <sub>0</sub>		6
36		Schachtröhre BL, 35 m	T		6
37		Schachtröhre BL, 35 m	18 <sub>0</sub>		6
38	11 11 82	Schachtröhre BL, 35 m	U		6
39	16 11 82	Bunte First	18 <sub>0</sub>	SL	5
40	16 11 82	Lagerteil H	18 <sub>0</sub>	SL	1

frisch aufgefangen

Fortsetzung Anlage II/1

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
41	15 12 82	Lagerteil H	T SL	1	frisch aufgefangen
42	26 04 83	Abbau 1a	T L	12	bis 05 05 83
43		Abbau 1a	<sup>14</sup> C L	14	bis 18 05 83
44		Abbau 1a (1. Probe)	U SL	2	bis 12 05 83
45		Abbau 1a	T SL	2	
46	26 04 83	Lagerteil H	<sup>14</sup> C L	14	bis 06 06 83
47	12 05 83	Abbau 1a (2. Probe)	U SL	2	bis 27 05 83
48	13 05 83	Lagerteil H	T L	11	bis 06 06 83
49	18 05 83	Abbau 1a	<sup>18</sup> O SL	2	aus Kanister
50	27 05 83	Abbau 1a	<sup>18</sup> O SL	2	frisch entnommen
51	06 06 83	Lagerteil H (I)	<sup>18</sup> O SL	1	
52		Lagerteil H (II)	<sup>18</sup> O SL	5	
53	06 06 83	Lagerteil H	T SL	1	
54	23 08 83	Schachtröhre BL, 205 m	T SR	7	
55		Schachtröhre BL, 205 m	<sup>14</sup> C SR	7	zwei Fällungen
56		Schachtröhre BL, 205 m	<sup>13</sup> C SR	7	von 1. Fällung
57	25 08 83	ZGI 3/55/83	T GW	8	P 2
58		ZGI 3/56/83	T GW	8	P 3
59		ZGI 3/58/83	T GW	8	P 8
60		ZGI 3/58/83	T GW	8	P 6

Fortsetzung Anlage II/1

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
61	22 12 83	Abbaustr. 5	T	SL	4
62	12 83	Lagerteil H	T	SL	1
63	16 11 84	X3/1	T	-	-
64	21 06 85	Schachtröhre Marie, E 35	T	SR	7
65		Schachtröhre Marie, E 63	T	SR	7
66		Schachtröhre Marie, E 63	<sup>14</sup> C	SR	7
67		Schachtröhre Marie, E 63	<sup>13</sup> C	SR	7
68	04 07 85	Kb Mors 2/85	T	GW	9
69		Kb Mors 2/85	<sup>14</sup> C	GW	9
70	11 09 85	F 17	T	GW	8
71	30 09 85	ZGI 3/148/85	T	GW	8
72	30 09 85	ZGI 3/149/85	T	GW	8
73	II/III 85	X3/2	T		-
74	III/85	Luftfeuchte, 4. Sohle	T	(L)	
75	26 03 86	Lagerteil H	T	SL	1
76	28 05 86	Schachtröhre BL, 205 m	T	SR	7
77		Schachtröhre BL, 205 m	<sup>14</sup> C	SR	7
78		Schachtröhre BL, 205 m	<sup>13</sup> C	SR	7
79	28 05 86	P 4	T	GW	8
80		P 7	T	GW	8

Probe: BIF (Dr. Berger)

P 20

P 14

Probe: BIF (Dr. Berger)

Probe: BIF (Dr. Berger)

direkt von Tropfstelle  
oberhalb des Packers

Fortsetzung Anlage II/1

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
81		P 9	T	GW	8
82		P 11	T	GW	8
83		P 14	T	GW	8
84		P 15	T	GW	8
85	29 05 86	P 1	T	GW	8
86		P 3 (1)	T	GW	8
87		P 3 (2)	T	GW	8
88		P 12	T	GW	8
89		P 16	T	GW	8
90	29 05 86	Probestelle 114	T	GW	10
91	29 05 86	Probestelle 115	T	GW	10
92	IV/85	A 1 (1. Probe)	T	-	-
93	I-III/86	A 1 (2. Probe)	T	-	-
94	31 03 87	P 4	T	GW	8
95		P 8	T	GW	8
96		P 6	T	GW	8
97		Kleygrund	T	GW	10
98		Alleringersl. Spring	T	GW	10
99		H <sub>2</sub> S-Quelle	T	GW	10
100	31 03 87	BL Schweinsh. Mühle	T	GW	

1. geschöpfter Liter

5. geschöpfter Liter

0.4 l·min<sup>-1</sup>

3 l·min<sup>-1</sup>

Probe: BIF (Meißner)

Probe: BIF (Meißner)

ZGI /171/, Drainage?

ZGI 3/27/, Q 900 m<sup>3</sup>/d

ZGI 3/47/, Zufluß zur Böschung

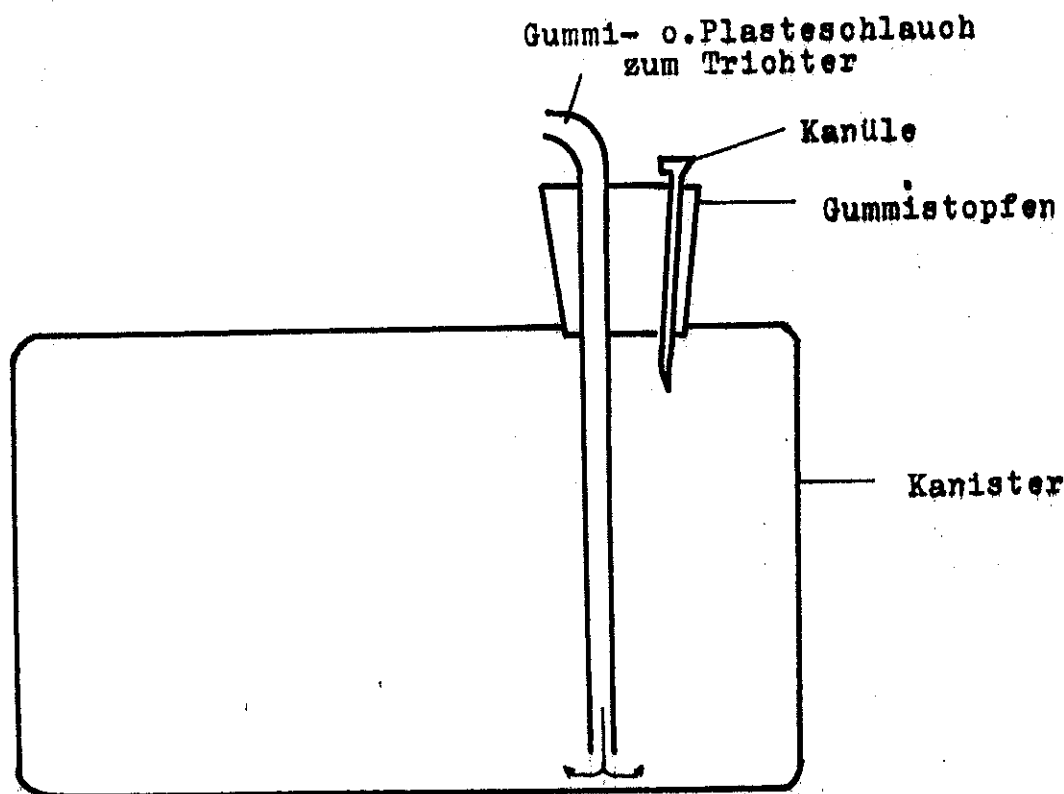
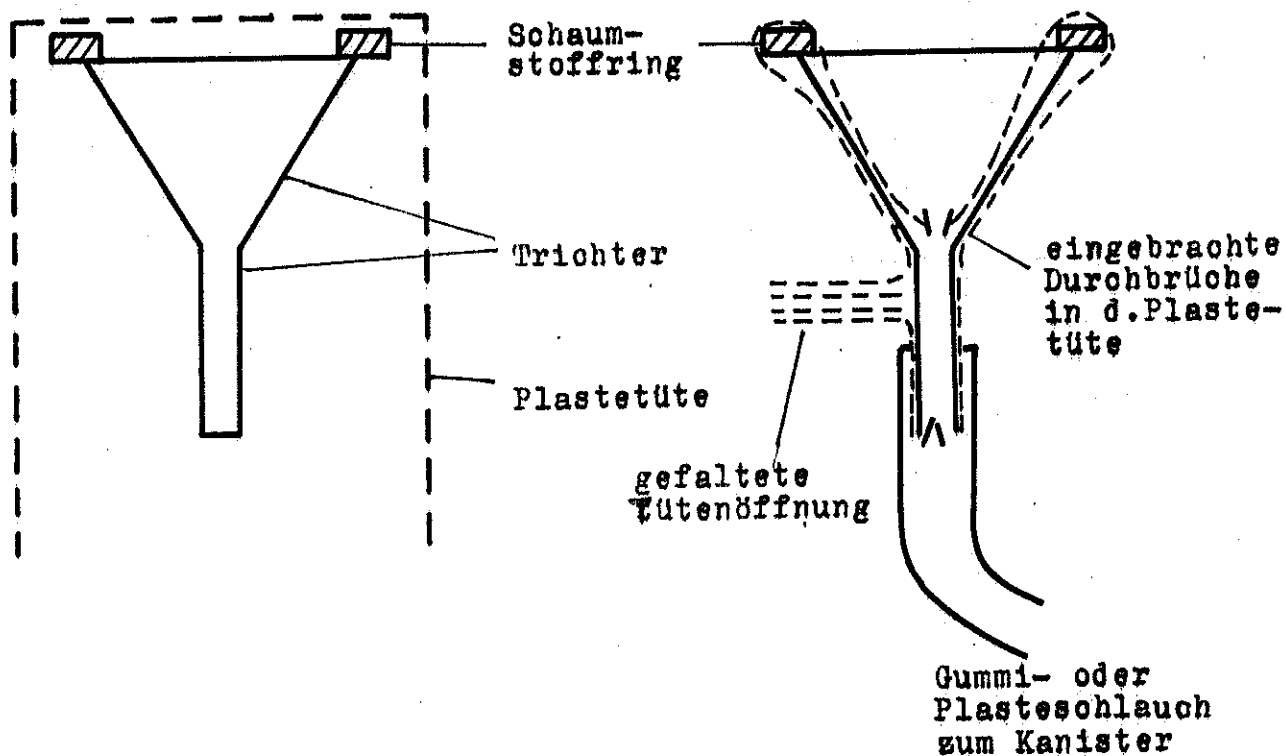
v. Hand geschöpft

Fortsetzung Anlage II/1

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
101	01 04 87	Schachtröhre Marie, E 35	T	SR	7	
102		Schachtröhre Marie, E 63	T	SR	7	
103		Schachtröhre Marie, E 63	U	SR	7	
104		Schachtröhre Marie, E 152	T	SL	1	0.1 l/35 min, Tropfstelle
105	01 04 87	Schachtröhre Marie (Tropfstelle 310 m)	T	SL	5	Probe aus Sammelbehälter geschöpft
106	01 04 87	Abbaustr. 5	U	SL	4	
107	I-II/87	A 1 (thermisch)	T	-	-	Probe: BIF (Meißner)
108	Febr. - Sept. 87	A 2	T	-	-	Probe: BIF (Meißner)
109	09 87	Brunnen Werkseingang	T	GW	-	
110	31 05 88	P 1	T	GW	8	
111		P 4	T	GW	8	
112		P 8	T	GW	8	
113		P 15	T	GW	8	
114		P 16	T	GW	8	
115		P 17	T	GW	8	
116		Bremsbergfuß, 460 m	T	SL	4	
117		Lagerteil H (1)	T	SL	5	
118	31 05 88	Lagerteil H (2)	T	SL	1	Tropfwasser seit 20. 1. 88
119	01 06 88	Solquelle Horstwiesen	T	GW	10	



Ausrüstung zur Probenahme



Anlage II / 2 :

Gegen Grubenluft abgedichtetes PN-System für Tropfwasser (geschlossenes System)

Anlage III/1.1: Übersicht zur Flußmenge, Dichte und pH-Wert der zuzusitzenden Wasser bzw. Salzlösungen in den Schachtröhren und an den Naß- und Tropfstellen des Grubenfeldes Bartensleben/Marie für den Zeitraum Dez. 1982 bis Juni 1988 (Durchschnittswert/Wertebereich)

Probenahmestort	Anzahl	Dichte	pH-Wert	Zuflußmenge	Gesamtmineralisation g/l
1. Schachtröhre Grube Bartensleben	12	1,03 1,02-1,03	7 5-8	9,1 m <sup>3</sup> /d	36,4
2. Abbau 1a Grube Bartensleben	12	1,29 1,28-1,30	1,5 1-3	1,5 m <sup>3</sup> /d	391,2
3. Abbaustrecke 5,1,5 Grube Bartensleben	12	1,34 1,34	2,5 1,5-4,5	geschlossener Packer	462,7
4. Schachtröhre Grube Marie	12	1,00 0,98-1,00	7,5 6-8,5	17,2 m <sup>3</sup> /d	2,15
5. Lagerteil H Grube Marie	12	1,29 1,28-1,30	6 4-6,5	0,08 m <sup>3</sup> /d	400,6
6. Bunte First Grube Marie	9	1,31 1,29-1,35	6 4-6,5		402,0
7. Bremsbergfuß 460 m Grube Marie	4	1,37 1,37	4,5 4-5	geschlossener Packer	523,3
8. Brunnen Werkeingang <sup>1</sup>	1	1,08	8	15 m <sup>3</sup> /d	0,97

\*\* ausgewählt als Vergleichsprobe

Anlage III/1.2: Übersicht zur chemischen Zusammensetzung der zuzitenden Wasser bzw. Salzlösungen in den Schachtröhren und an den Naß- und Tropfstellen des Grubenfeldes Bartensleben/Marie für den Zeitraum Dez. 1982 bis Juni 1988 (Durchschnittswert/Wertebereich)

Probenahmeort	chemische Zusammensetzung in g/l								
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup> + J <sup>-</sup>
1. Schachtröhre	11,7	0,25	1,02	0,48	0,02	18,9	3,92	0,10	0,02
Grube Bartensleben	8,9 - 13,5	0,12 - 0,50	0,88 - 1,19	0,40 - 0,83	0,01 - 0,07	15,2 - 20,3	3,32 - 4,49	0,06 - 0,13	0,01 - 0,10
2. Abbau 1a	7,5	10,3	3,3	88,1	0,1	277,9	0,3	n. n.	3,7
Grube Bartensleben	1,5 - 11,5	9,1 - 10,9	2,5 - 6,0	85,9 - 90,3	0,1 - 0,2	266,9 - 287,8	0,2 - 0,8		3,2 - 3,8
3. Abbaustrecke 5,1,5	3,6	1,2	n. n.	113,5	Spuren	326,8	10,0	Spuren	7,6
Grube Bartensleben	0,6 - 6,2	0,6 - 1,3		111,5-115,5		319,9 - 331,8	9,1 - 10,7		7,2 - 8,1
4. Schachtröhre	0,53	0,02	0,12	0,06	Spuren	0,70	0,44	0,28	n. n.
Grube Marie	0,47 - 0,58	0,02 - 0,03	0,09 - 0,15	0,02 - 0,03		0,64 - 0,77	0,38 - 0,49	0,18 - 0,35	
5. Lagerteil H	16,3	24,2	n. n.	78,1	0,9	247,3	30,8	1,4	2,2
Grube Marie	8,5 - 20,1	22,2 - 25,3		74,0 - 80,1	0,2 - 0,8	238,9 - 258,7	27,0 - 35,2	0,7 - 1,8	2,0 - 2,6
6. Bunte First	10,2	19,5	n. n.	85,1	0,8	250,9	31,4	2,0	2,1
Grube Marie	3,5 - 14,0	14,7 - 21,6		66,7 - 98,5	0,6 - 0,9	200 - 299	24,3 - 37,0	1,3 - 2,5	1,6 - 2,9
7. Bremsbergfuß 460 m	5,1	1,6	80,3	72,2	0,01	359,4	n. n.	0,5	4,2
Grube Marie	2,9 - 9,1	1,6 - 1,7	75,1 - 84,4	68,6 - 75,9	0,01	356,2 - 363,4		0,5	4,1 - 4,3
8. Brunnen Werkeingang**	0,01	0,01	0,13	0,09	0,01	0,08	0,36	0,29	n. n.

\* Der Na<sup>+</sup>-Gehalt wurde für die Einzelanalysen aus der Differenz mval/l errechnet

\*\* ausgewählt als Vergleichsprobe

Anlage III/2: Hydrogeochemische Analysenergebnisse von GWBR (Angaben in  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	
Datum	25.8.83	25.8.83	25.8.83	12.10.83	3.8.83	2.11.83	12.10.83	25.8.83	
pH	8,5	8,5	8,2	7,8	7,8	7,5	7,5	8,3	
$^{\circ}\text{GH}$	31,4	7,0	78,0	11,6	94,0	28,8	21,2	57,2	
$^{\circ}\text{KH}$	20,7	5,2	15,1	11,6	9,2	3,1	30,3	5,5	
$\text{KMnO}_4$ -Verbr.	73	33		74,0	18	17	335,0	120	
$\text{Na}^+$	207,0	241,5	120,0	355	538,9	63,5	1070,0	1561,0	
$\text{K}^+$	7,1	17,8	9,3	4,7	20,5	12,3	8,3	90,5	
$\text{Ca}^{2+}$	112,9	31,4	463,1	69,3	255,8	163,0	228,7	407,4	
$\text{Mg}^{2+}$	67,7	11,3	57,2	8,2	225,4	26,0	39,9	0,9	
$\text{NH}_4^+$	n. n.	n. n.	Sp	Sp	0,9	Sp	0,5	1,2	
Fe (ges)	-	-		0,1	-	n. n.	Sp		
Mn	-	-		n. n.	-	n. n.	n. n.		
$\text{Cl}^-$	117,0	63,1	20,8	155,3	354,6	90,8	439,6	1120,5	
$\text{SO}_4^{2-}$	480,3	480,3	1229,6	240,1	2137,3	345,8	1673,2	2761,7	
$\text{NO}_2^-$	n. n.	0,3	n. n.	0,1	n. n.	0,3	0,02	Sp	
$\text{NO}_3^-$	2,0	n. n.	n. n.	32,1	n. n.	161,0	n. n.	n. n.	
$\text{PO}_4^{3-}$	0,02	Sp	0,04	0,3	0,1	0,4	0,4	0,02	
$\text{HCO}_3^-$	451,4	112,9	329,4	567,8	201,3	67,1	658,8	119,0	
$\text{SiO}_2$	5,7	10,4	7,8	15,9	7,8	16,0	15,7	5,7	
$\text{NaHCO}_3$				433,2			-		
ADR	1325	916	2596	1314,0	4224	1184	4305	6480	
Typ (SCUKARSV)	NaMgCa - $\text{SO}_4 \text{ HCO}_3$	Na - $\text{SO}_4$	Ca - $\text{SO}_4$	Na - $\text{HCO}_3 \text{ SO}_4$	NaMg - $\text{SO}_4$	Ca - $\text{SO}_4$	Na - $\text{SO}_4$	Na $\text{SO}_4 \text{ Cl}$	
Bemerkung	(0)	(0)	(1)	(1)	(2)	(0)	(2)!	(1)	

- (0) - nur Einzelbestimmung  
 (1) - Wiederholungsmessungen mit näherungsweise übereinstimmenden Ergebnissen  
 (2) - Wiederholungsmessungen mit wesentlich anderen Ergebnissen

Fortsetzung Anlage III/2:

	P 9	P 11	P 12	P 14	P 15	P 16	P 17	P 20
Datum	28.11.83	29.11.83	26.11.83		2.11.83	18.7.85	18.7.85	30.9.85
pH	8,0	8,7	8,1		7,2	7,3	7,9	8,7
$^{\circ}\text{GH}$	30,4	6,7	6,2		23,1	89,0	12,1	0,06
$^{\circ}\text{KH}$	30,4	8,7	6,2		12,6	3,9	3,9	0,06
$\text{KMnO}_4$ -Verbr.	56	134	226		34	21	7	9
$\text{Na}^+$	335,0	202,5	855,1		71,0	682,2	145,0	64,5
$\text{K}^+$	12,3	6,0	10,9		8,3	35,8	12,0	10,5
$\text{Ca}^+$	160,1	47,9	24,3		114,4	571,8	80,1	1,4
$\text{Mg}^+$	34,7	8,7	12,1		30,8	64,3	3,9	1,7
$\text{NH}_4^+$	n. n.	Sp	Sp		Sp	3,7	3,6	0,8
Fe (ges)	n. n.	0,8	0,5		n. n.			
Mn	n. n.	0,8	n. n.		n. n.			
$\text{Cl}^-$	95,7	92,2	382,9		69,5	702,0	245,3	29,1
$\text{SO}_4^{2-}$	600,4	62,4	537,9		201,7	2085,1	124,9	24,0
$\text{NO}_2^-$	n. n.	n. n.	n. n.		0,6	n. n.	0,02	n. n.
$\text{NO}_3^-$	n. n.	n. n.	n. n.		28,0	n. n.	n. n.	Sp
$\text{PO}_4^{3-}$	0,8	0,4	n. n.		1,9	n. n.	n. n.	n. n.
$\text{HCO}_3^-$	671,0	506,3	1079,7		274,5	85,4	85,4	125,1
$\text{SiO}_2$	18,8	n. n.	n. n.		10,0	1,2	1,5	1,2
$\text{NaHCO}_3$	12,0	435,0	1302,0					153,0
ADR	1714	904	2718		784	4314,0	640,0	234,0
Typ	NaCa -	NaCa -	Na -		CaNa -	NaCa -	NaCa -	Na -
	$\text{SO}_4 \text{ HCO}_3$	$\text{HCO}_3$	$\text{HCO}_3 \text{ SO}_4 \text{ Cl}$		$\text{HCO}_3 \text{ SO}_4$	$\text{SO}_4 \text{ Cl}$	Cl	$\text{HCO}_3$
Bemerkung	(1)	(0)	(2)		(2)	(0)	(0)	(0)

Anlage III/3: Tritium in den Salzlösungen des Grubengebäudes

Bez. der PN-Stelle	PN Datum	Pr.- Nr.	T.E.	Bq·kg <sup>-1</sup>	Bemerkung
Abbau 1a	04 06 81	8	34400 ± 150	3930 ± 25	
	22 09 81	16	16700 ± 150	1990 ± 20	
	24 11 81	18	5300 ± 130	625 ± 15	
	24 11 81	19	16200 ± 130	1910 ± 15	
	13 10 82	24	50300 ± 140	5935 ± 17	
	26 04 83	45	21940 ± 90	2590 ± 11	
Abbaustr. 5	04 06 81	9	8150 ± 80	962 ± 9	
	22 09 81	17	96300 ± 1000	11470 ± 30	
	17 12 81	23	50 ± 20	5,9 ± 2,4	zwei Teilproben
	17 12 81	23	3 ± 3	0,35 ± 0,35	
	13 10 82	26	5,4 ± 0,9	0,64 ± 0,1	
	22 12 83	61	40 ± 5	4,7 ± 0,6	
Lagerteil H	17 12 81	22	22 ± 10	2,6 ± 1,2	
	15 12 82	41	8,4 ± 0,5	1,0 ± 0,06	
	06 06 83		14 ± 6	1,7 ± 0,7	I oder II
	12 83	62	34 ± 5	4,0 ± 0,6	
	26 03 86	75	4 ± 0,5	0,47 ± 0,06	
	31 05 88	117	330 ± 35	38,9 ± 3,9	(1)
	31 05 88	118	1170 ± 40	138 ± 5	(2)
Bunte First	17 12 81	21	60 ± 10	7,1 ± 1,2	
Bremsbergfuß	31 05 88	116	13 ± 1	1,5 ± 0,1	

Anlage III/4: Tritium in Schachtröhrenzuflüssen

	PN Datum	Pr.- Nr.	T.E.	Bq·kg <sup>-1</sup>	Bemerkungen /zugehörige Proben
<u>Schachtröhre Bartensleben</u>					
35 m	04 06 81	4	2,4 ± 0,5	0,29 ± 0,06	
61 m		5	1,9 ± 0,5	0,23 ± 0,06	
180 m		6	1,0 ± 0,5	0,12 ± 0,06	
205 m	04 06 81	7	0,4 ± 0,4	0,05 ± 0,05	
35 m	22 09 81	12			} Übersichts- messungen LSC
61 m		13	≤ 8	≤ 1	
180 m		14			
205 m	22 09 81	15			
35 m	11 11 82	36	2,0 ± 0,5	0,24 ± 0,06	<sup>18</sup> O, U
61 m	11 11 82	34	6,8 ± 0,4	0,80 ± 0,05	
180 m	11 11 82	31	1,8 ± 0,4	0,21 ± 0,05	<sup>18</sup> O, U
205 m	20 10 82	28	0,3 ± 0,3	0,04 ± 0,04	<sup>18</sup> O, U
205 m	23 08 83	53	≤ 1	≤ 0,1	( <sup>14</sup> C), <sup>13</sup> C
205 m	28 05 86	76	0,2 ± 0,2	0,02 ± 0,02	<sup>14</sup> C, <sup>13</sup> C
Pumpenbecken	04 06 81	2	88 ± 5	10,4 ± 0,6	
(1. Schle)	22 09 81	11	182 ± 7	21,5 ± 0,8	

Fortsetzung Anlage III/4:

	PN Datum	Pr.- Nr.	T.E.	Bq·kg <sup>-1</sup>	Bemerkungen /zugehörige Proben
<u>Schachtröhre Marie</u>					
E 35	21 06 85	64	23 ± 2	2,7 ± 0,2	
E 63	21 06 85	65	9 ± 0,6	1,1 ± 0,07	<sup>14</sup> C, <sup>13</sup> C
E 35	01 04 87	101	37 ± 3	4,4 ± 0,4	
E 63	01 04 87	102	13 ± 1	1,5 ± 0,1	U
E 152	01 04 87	104	1069 ± 25	126 ± 3	
Tropfst. 310 m	01 04 87	105	1565 ± 30	185 ± 4	



Anlage III/5: Tritium in oberflächennahen Grundwässern. Meßdaten aus GWBR. Eingeklammerte Werte nicht repräsentativ.

Bezeichnung	Jahr der PN					
	1983	1985	1986	1987	1988	1989
Angaben in T.E.						
P 1			3,3 ± 0,4		2,0 ± 0,5	
P 2	(33 ± 2)					13
P 3	(2 ± 1)		0,3 ± 0,3			
P 4			46 ± 3	50 ± 3	45 ± 3	67
P 5						7100
P 6	(27 ± 2)			5 ± 1		
P 7			0,3 ± 0,3			
P 8	(27 ± 2)			6 ± 1	3,0 ± 0,5	5
P 9			2,4 ± 0,4			
P 11			1,2 ± 0,3			
P 12			0,9 ± 0,3			
P 14		28 ± 2	31 ± 2			
P 15			7,5 ± 0,6		11 ± 1	
P 16			9,0 ± 0,5		7 ± 1	950
P 17		28 ± 2			24 ± 2	
P 20		0,3 ± 0,3				

Fortsetzung Anlage III/5: Teil 2. Angaben in Bq·kg<sup>-1</sup>

Bezeichnung	Jahr der PN				
	1983	1985	1986	1987	1988
P 1			0,39 ± 0,05		0,24 ± 0,05
P 2	(3,9 ± 0,2)				
P 3	(0,2 ± 0,1)		0,035 ± 0,035		
P 4			5,4 ± 0,4	5,9 ± 0,4	5,3 ± 0,4
P 5					
P 6	(3,2 ± 0,2)			0,59 ± 0,12	
P 7			0,035 ± 0,035		
P 8	(3,2 ± 0,2)			0,71 ± 0,12	0,35 ± 0,06
P 9			0,28 ± 0,05		
P 11			0,14 ± 0,04		
P 12			0,11 ± 0,04		
P 14		3,3 ± 0,2	3,6 ± 0,2		
P 15			0,88 ± 0,07		1,3 ± 0,1
P 16			1,06 ± 0,06		0,8 ± 0,1
P 17		3,3 ± 0,2			2,8 ± 0,2
P 20		0,035 ± 0,035			

Anlage III/6: Tritium in oberflächennahen Gewässern. Meßdaten von Quellen und sonstigen Beprobungspunkten

Bezeichnung	Datum PN	Pr.- Nr.	T.E.	1989	Bq·kg <sup>-1</sup>	Bemerkung
<u>Quellen</u>						
Kleygrund	31 03 87	97	34 ± 2		4,0 ± 0,2	Buntsandstein
H <sub>2</sub> S-Quelle	31 03 87	99	7 ± 1		0,8 ± 0,1	Lias
Alleringesl. Spr.	31 03 87	98	50 ± 3	34 ± 3	5,9 ± 0,4	Muschelkalk
Solqu. Horstw.	01 06 88	118	16 ± 1		1,5 ± 0,1	
<u>Bohrlöcher/Brunnen</u>						
BL Schw.-h. M.	31 03 87	100	3 ± 1		0,35 ± 0,12	Lias
Kb Mors. 2/85	04 07 85	68	3,8 ± 0,4		0,45 ± 0,05	Teufe 215 m
Br. Werkseing.	09 87	109	49 ± 4		5,8 ± 0,5	
<u>Sonstige</u>						
PN-Stelle 114	29 05 86	90	30 ± 2	29 ± 2	3,5 ± 0,2	
PN-Stelle 115	29 05 86	91	26 ± 2	25 ± 2	3,1 ± 0,2	

Anlage III/7: Tritium in Oberflächengewässern

Bezeichnung	Datum PN	PN. Nr.	T.E.	Bq·kg <sup>-1</sup>
Salzbach	04 06 81	1	76 ± 4	9,0 ± 0,5
Salzbach (Quelle)	22 09 81	10	28 ± 6	3,3 ± 0,7
Salzbach (Speicher)	04 06 81	3	68 ± 4	8,0 ± 0,5

Anlage III/8:  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  in Grundwässern

Bezeichnung	PN Datum	Pr. Nr.	pmc	$\text{Bq} \cdot \text{kg}_\text{C}^{-1}$	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	Bemerkung
Schachtr. BL	23 08 83	56	-	-	-4,0	1)
205 m	28 05 86	77	$6 \pm 9$	$14 \pm 20$		
Schachtr. Marie						
E 63	21 06 85	66, 67	$25,9 \pm 1,0$	$58,5 \pm 2,3$	-13,8	
Kb Mors. 2/85	04 07 85	69	$15 \pm 6$	$34 \pm 14$	-8,4	2)

1)  $^{14}\text{C}$  Proben (52, 54) nicht meßbar, da zu wenig Karbonat im Fällungsniederschlag

2)  $^{13}\text{C}$ -Messung vom  $\text{CO}_2$ -Gas der  $^{14}\text{C}$ -Messung (→ geringe Isotopenverschiebung möglich)

Anlage III/9: Tritium und  $^{14}\text{C}$  in der Luft des Grubengebäudes

PN-Ort	Jahr	PN.- Nr.	Bemerkung		
--------	------	-------------	-----------	--	--

$^3\text{T}$ in der Luftfeuchte			T.E.	$\text{Bq} \cdot \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}^{-1}$
Abbau 1a	81	20	$(134 \pm 1) \cdot 10^3$	$15\,800 \pm 150$
Abbau 1a	83	42	$(508 \pm 3) \cdot 10^3$	$59\,900 \pm 350$
4. Sohle	85	74	$(179 \pm 2) \cdot 10^3$	$21\,100 \pm 240$
Lagerteil H	83	48	$30 \pm 10$	$3,5 \pm 1,2$

$^{14}\text{C}$ im Luft- $\text{CO}_2$			pmc	$\text{Bq} \cdot \text{g}_{\text{C}}^{-1}$	$^{13}\text{C}/\text{‰}$
Abbau 1a	83	43	$(69,8 \pm 0,6) \cdot 10^3$	$(158 \pm 1) \cdot 10^3$	-18,0
Lagerteil H	83	46	$163 \pm 2$	$(0,37 \pm 0,01)$	-11,7

Anlage III/10: Ergebnisse von U-Isotopenanalysen

Bezeichnung	PN Datum	Pr.- Nr.	$^{238}\text{U}$ $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
Schachtr. BL				
35 m	11 11 82	38	$43,7 \pm 3,1$	$2,86 \pm 0,10$
180 m	11 11 82	33	0,1	n.b.
205 m	20 10 82	30	$2,21 \pm 0,25$	$5,16 \pm 0,27$
Schachtr. Marie				
E 63	01 04 87	103	$0,65 \pm 0,08$	$11,53 \pm 1,44$
Abbau 1a	26 04 83	44	$17,6 \pm 2,3$	$0,72 \pm 0,07$
	12 05 83	47	$21,5 \pm 4,9$	$0,72 \pm 0,07$
-----				
Abbaustr. 5	01 04 87	106	nicht analysierbar, zuviel Eisen	

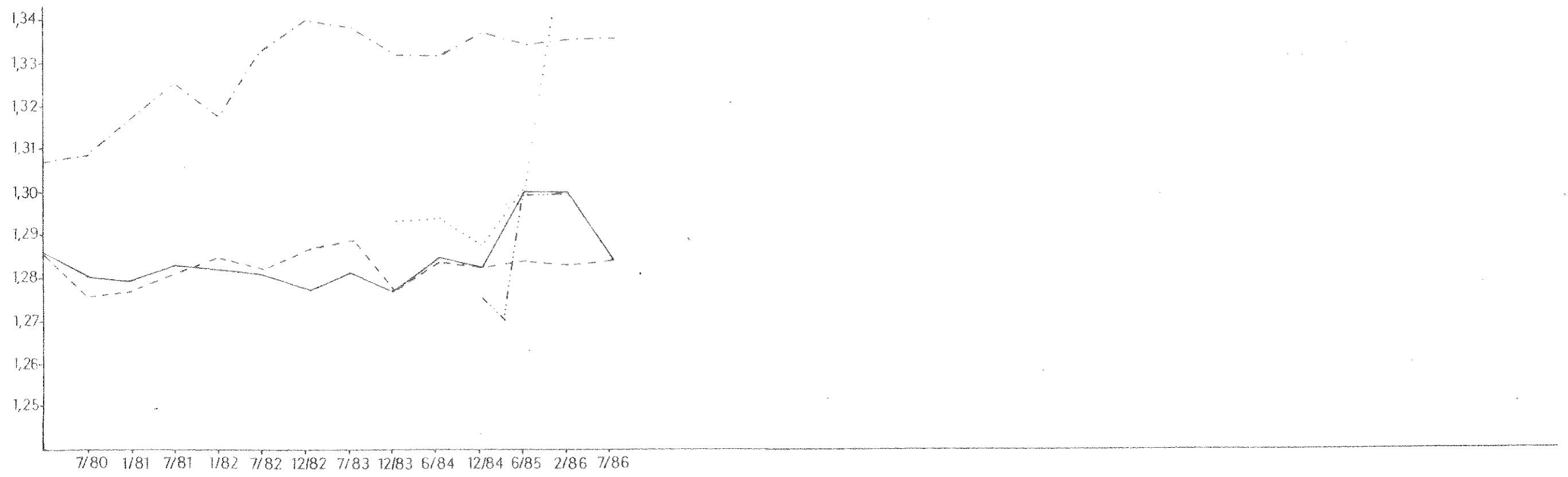
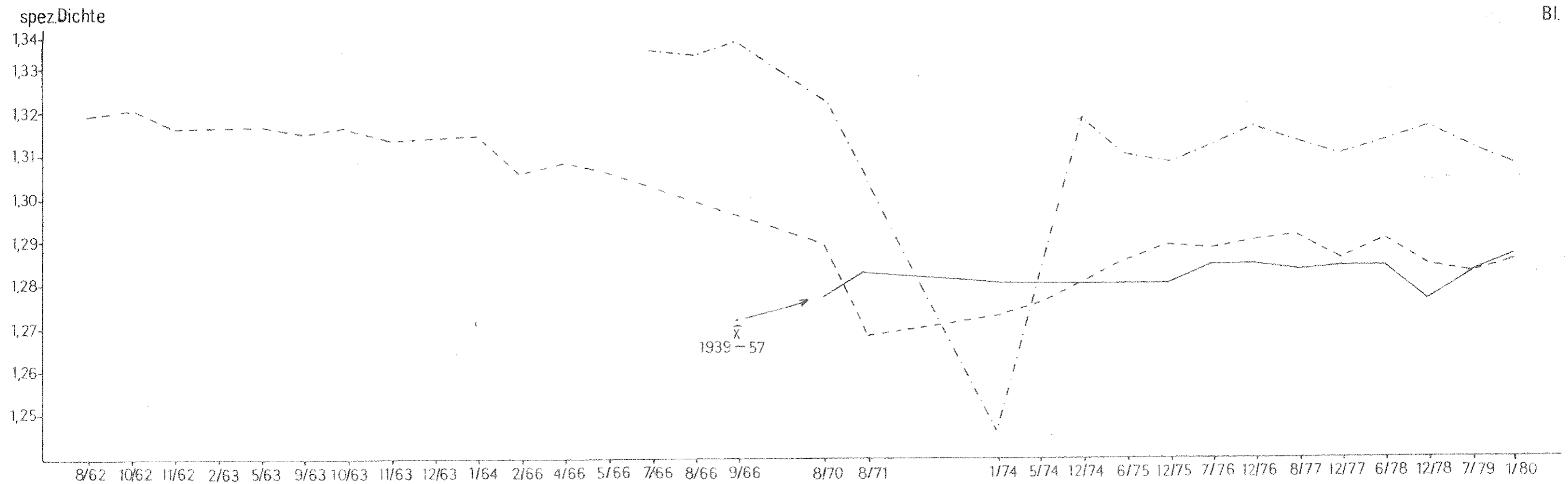
Anlage III/11: Ergebnisse von  $^{18}\text{O}$ -Analysen (Meßfehler:  $\pm 0,3 \text{ ‰}$ )

Bezeichnung	Datum	Pr.- Nr.	$^{18}\text{O}$ ‰
Abbau 1a	13 10 82	25	-9,9
Abbaustr. 5	13 10 82	27	-12,2
Schachtr. BL			
205 m	20 10 82	29	-9,7
180 m	11 11 82	32	-9,8
61 m	11 11 82	35	-9,7
35 m	11 11 82	37	-8,8
Bunte First	16 11 82	39	-8,0
Lagerteil H	16 11 82	40	-9,2



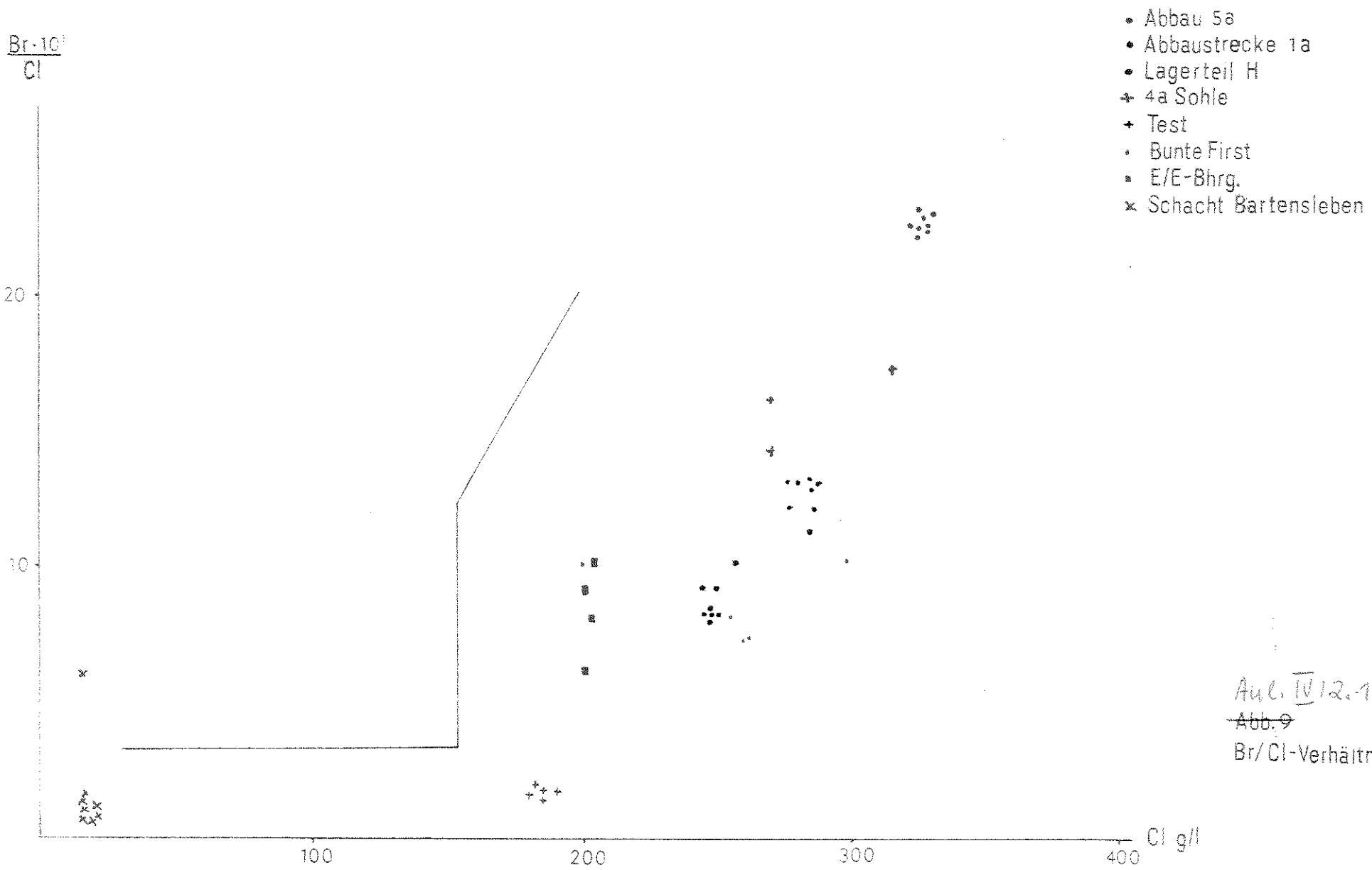
Anlage III/12: Analysenergebnisse von Versuchen des BIF

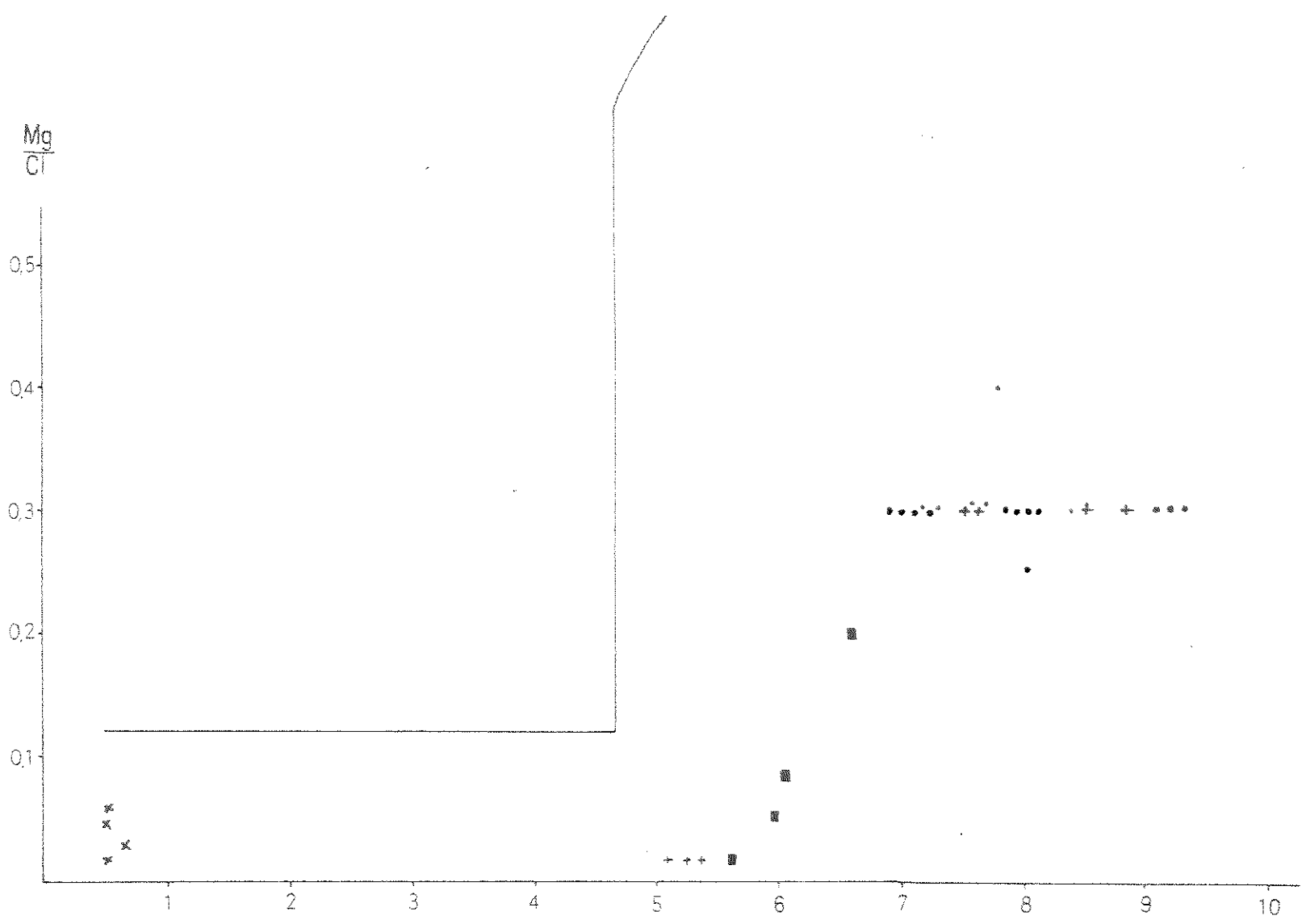
Bezeichnung	Jahr	Pr.- Nr.	$10^3$ T.E.	$10^3$ Bq·kg <sup>-1</sup>
X3/1	84	63	$149 \pm 4$	$17,6 \pm 0,5$
X3/2	85	73	$162 \pm 2$	$19,4 \pm 0,2$
A1 (1. Probe)	85	92	$121,6 \pm 4,1$	$14,3 \pm 0,5$
A1 (2. Probe)	86	93	$76 \pm 2$	$9,0 \pm 0,2$
A1 (thermisch)	87	107	$60,6 \pm 1,5$	$7,2 \pm 0,2$
A2	87	108	$(498 \pm 5)$	$58,8 \pm 0,6$



- Legende:
- Lagerteil H
  - - - - - Abbau 1a
  - · - · - Abbaustrecke 5
  - · · · · Bunte First
  - - - - - 4a Sohle

Abb.: IV/1  
 Entwicklung der spezifischen Dichte

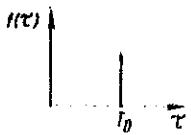
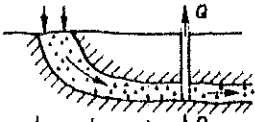

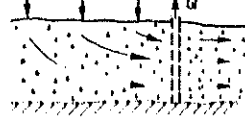
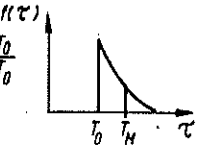
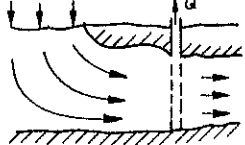




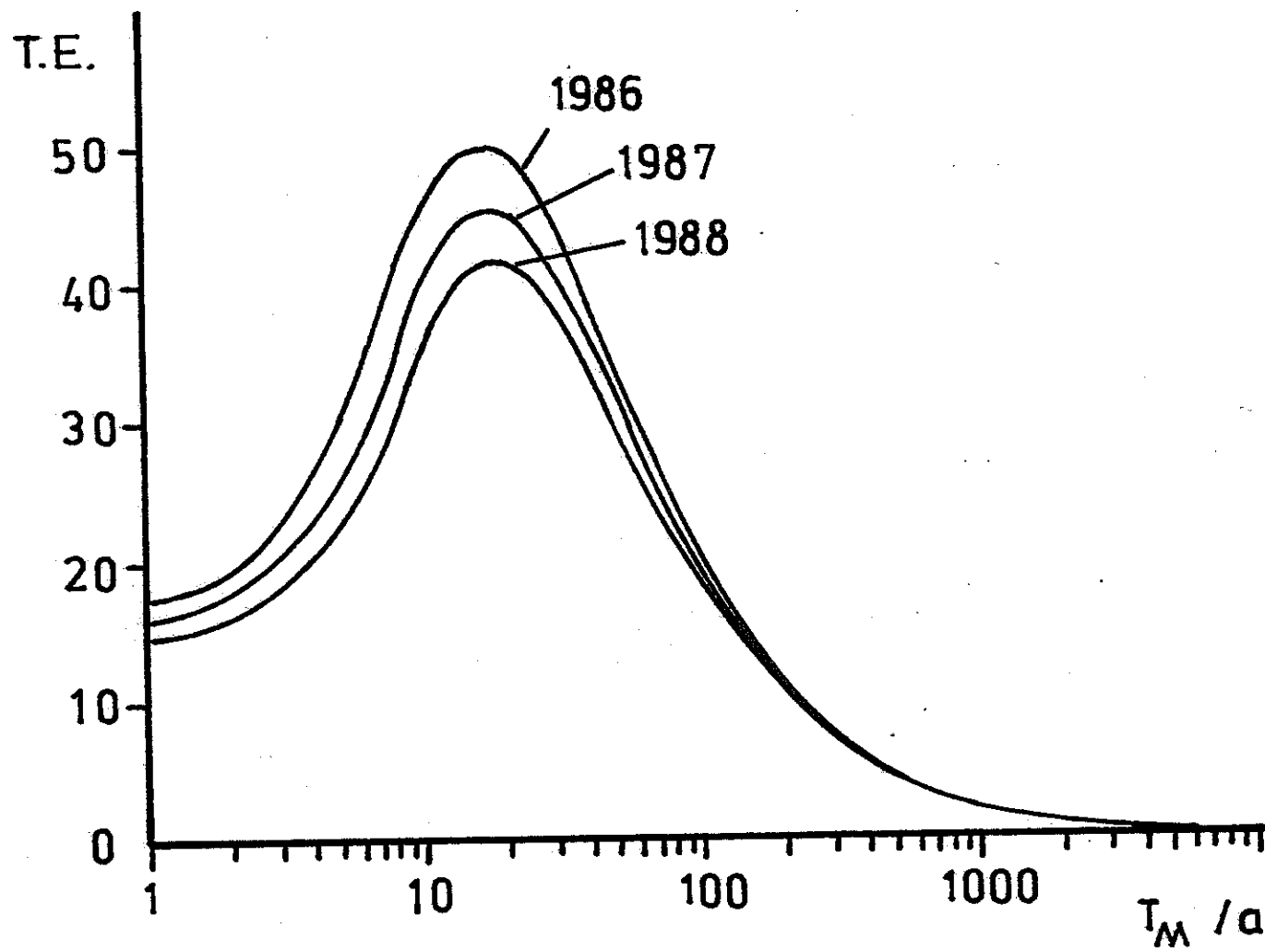
- Abbau 5a
- Abbaustrecke 1a
- Lagerteil H
- + 4a Sohle
- Bunte First
- + Test
- E/E-Bhrg.
- x Schacht Bartensleben

Aufl. IV 12.2  
 Abb. 10  
 Mg/Ci-Koeffizient

g Äqu./l

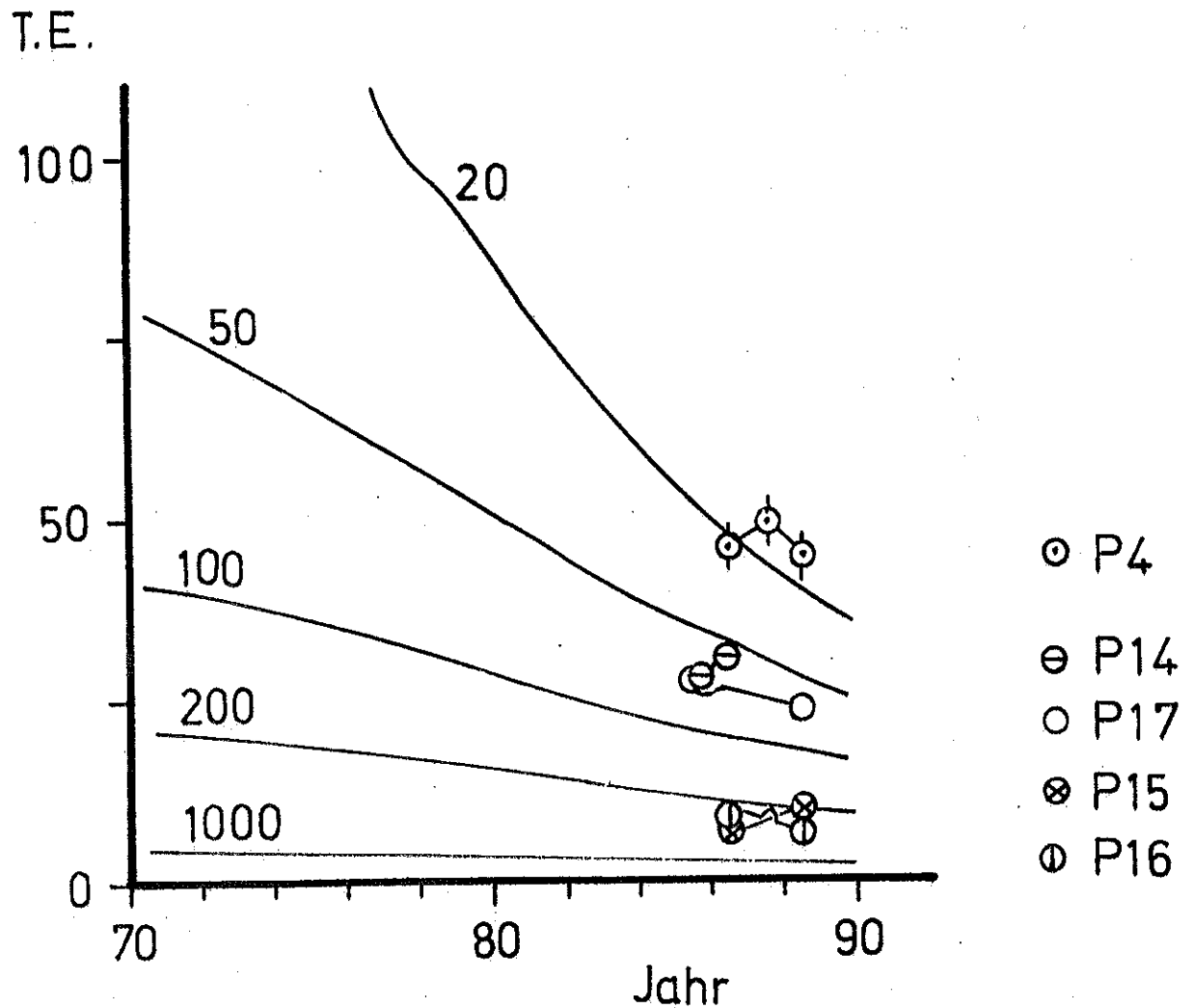
Modell	VV-Funktion	Verteilung	Hydrogeologisches Modell
Piston-Flow (PF)	$f(\tau, T_0) = \delta(\tau - T_0)$		
Exponentialmodell (EM)	$f(\tau, T_H) = \frac{1}{T_H} e^{-\frac{\tau}{T_H}}$		
Exponential-Piston-Flow (EP-Modell)	$f(\tau, T_H, T_0) = 0$ für $\tau < T_0$ $f(\tau, T_H, T_0) = \frac{1}{T_H T_0} e^{-\frac{\tau - T_0}{T_H T_0}}$ für $\tau \geq T_0$		

Anlage IV/3



Anlage IV/4

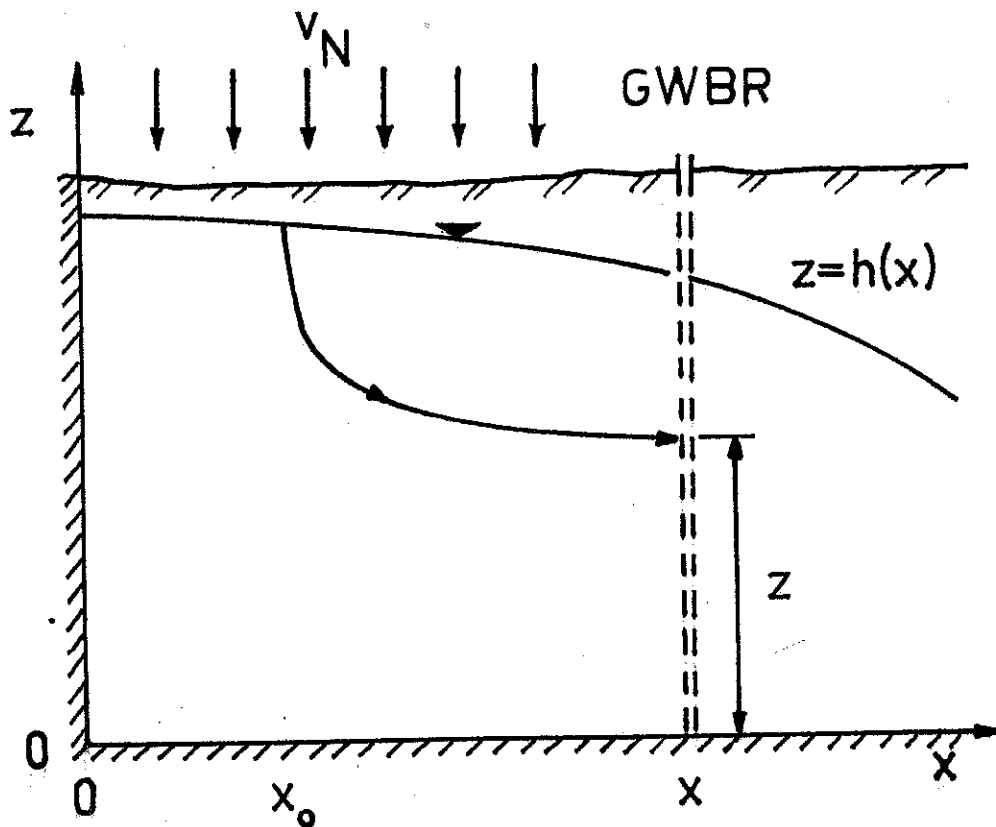
Modellkurven der T-Gehalte in Grundwasser nach dem Exponentialmodell, mittlere Verweilzeit  $T_M$  und für die Beobachtungsjahre 1986, 87, 88



#### Anlage IV/5

Modellkurven der zeitlichen Entwicklung des Tritiumgehaltes im Grundwasser, berechnet mit dem Exponentialmodell und Maßwerte von GWBR. Inputfunktion nach /11/.

Kurvenparameter:  $T_M$  in a

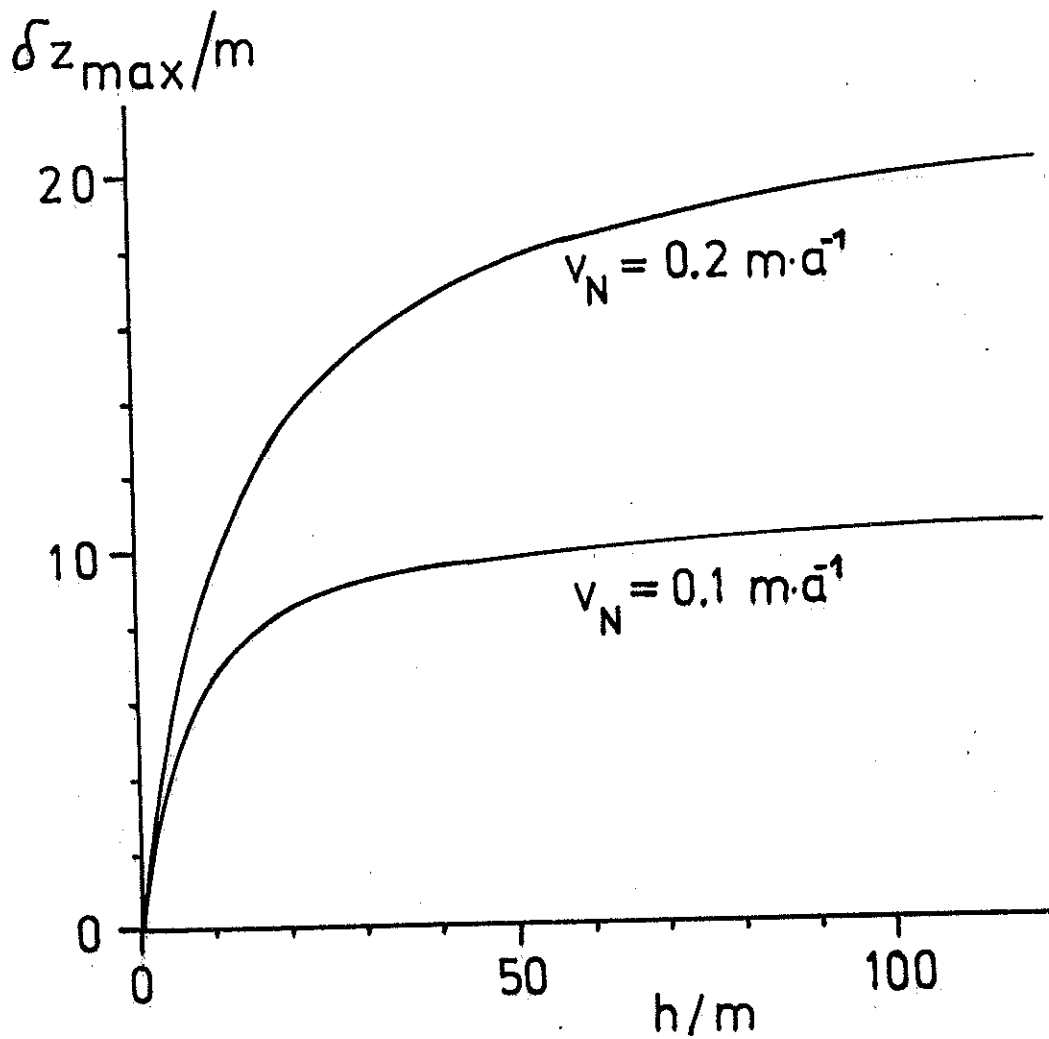


Anlage IV/6

Modellschema eines unbedeckten Grundwasserleiters im x-z-Koordinatensystem. Die Fließzeit eines eingezeichneten Fließweges berechnet sich zu

$$\tau = \int_{x_0}^x \frac{dx}{v_x(x, z)}$$

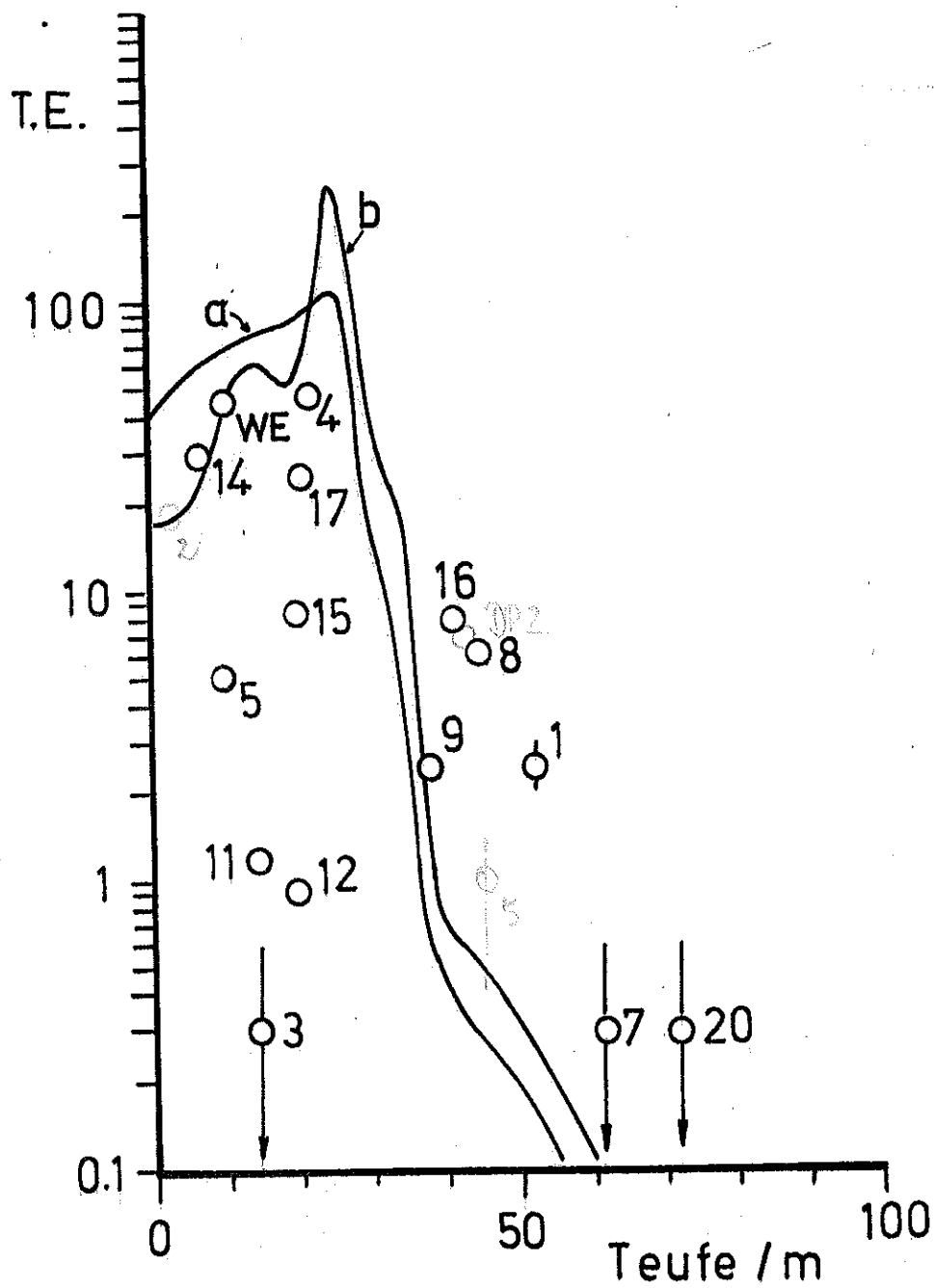




#### Anlage IV/7

Eindringtiefe  $\delta z_{\max}$  des Tritium-Bombenpeaks, berechnet für zwei unterschiedliche Neubildungsraten  $V_N = 0,1 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$  ( $= 31 \cdot \text{s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ) bzw.  $V_N = 0,2 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$  ( $= 61 \cdot \text{s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ) in einem unbedeckten Modellgrundwasserleiter der Mächtigkeit  $h$  für das Jahr 1980.

Annahme:  $P = 0,2$



#### Anlage IV/8

Tritium über der Entnahmetiefe. Meßwerte von GWDR und Modellkurven

Modell: unbedeckter Grundwasserleiter; Mächtigkeit 100 m, Porenanteil 0,2, Neubildung  $0,26 \text{ m a}^{-1}$  ( $T_N = 76 \text{ a}$ ),

Kurve "a": Aerationzone mit  $T_{M1} = 10 \text{ a}$ ; Kurve "b" ohne Aerationzone ( $T_{M1} = 0$ )