



## DECKBLATT



|        | Projekt | PSP-Element         | Obj. Kenn.  | Aufgabe   | UA  | Lfg.-Nr. | Rev. |
|--------|---------|---------------------|-------------|-----------|-----|----------|------|
|        | N A A N | N N N N N N N N N N | N N N N N N | X A A X X | A A | N N N N  | N N  |
| EU 123 | 9K      | 3165.36             | ---         | HG        | RB  | 0030     | 00   |

|   |          |
|---|----------|
| Titel der Unterlage:<br>Chemismus tiefer Grundwässer:<br>Hydrochemische Untersuchungen und Altersdatierungen an<br>tiefen Grundwässern aus dem Nahbereich der Schachtanlage<br>Konrad | Seite:   |
|   | I.       |
|   | Stand:   |
|   | 14.03.86 |

|            |             |
|------------|-------------|
| Ersteller: | Textnummer: |
| GSF        |             |

Stempelfeld:

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| PSP-Element TP....9K/212235 | zu Plan-Kapitel: 3.1.9.6 |
|-----------------------------|--------------------------|

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | PL   | PL  |
|  |  |  |
|  |  | Freigabe im Projekt   |

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

# Revisionsblatt



|        |         |                     |             |           |     |          |      |
|--------|---------|---------------------|-------------|-----------|-----|----------|------|
| EU 123 | Projekt | PSP-Element         | Obj. Kenn.  | Aufgabe   | UA  | Lfd. Nr. | Rev. |
|        | N A A N | N N N N N N N N N N | N N N N N N | X A A X X | A A | N N N N  | N N  |
|        | 9K      | 3165.36             | ---         | HG        | RB  | 0030     | 00   |

|  |                    |
|--|--------------------|
| Titel der Unterlage: Chemismus tiefer Grundwässer:<br>Hydrochemische Untersuchungen aus dem Nahbereich der<br>Schachtanlage Konrad | Seite:<br>II.      |
|  | Stand:<br>14.03.86 |

| Rev. | Revisionsst. Datum | verant. Stelle | Gegenzeichn. Name | rev. Seite | Kat. *) | Erläuterung der Revision |
|------|--------------------|----------------|-------------------|------------|---------|--------------------------|
|      |                    |                |                   |            |         |                          |

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

Schachtanlage Konrad

Leistungsverzeichnis-Nummer 2219.05

Chemismus tiefer Grundwässer

Arbeitspaket Nummer 7

Hydrochemische Untersuchungen und Altersdatierungen  
an tiefen Grundwässern aus dem Nahbereich der  
Schachtanlage Konrad

Gesellschaft für Strahlen und Umweltforschung mbH München

Institut für Tieflagerung



Institut für Radiohydrometrie



LV-Nr. 2219.05

Chemismus tiefer Grundwässer

AP-Nr. 7

Hydrochemische Untersuchungen und Altersdatierungen an tiefen Grundwässern aus dem Nahbereich der Schachanlage Konrad.

Braunschweig, den 14. März 1986



Dieser Bericht wurde im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

## Inhaltsverzeichnis

|         |   | Seite |
|---------|---|-------|
|         | Abbildungsverzeichnis   |       |
|         | Tabellenverzeichnis   |       |
|         | Anlagenverzeichnis  |       |
|         | Kurzfassung   |       |
| 1       | Einleitung  | 1     |
| 2       | Probenentnahmestellen und -verfahren  | 2     |
| 2.1     | Probenentnahme aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus                                     | 2     |
| 2.2     | Probenentnahme aus den Träufelrinnen des Schachtes Konrad 2                                       | 3     |
| 2.3     | Probenentnahme aus Pumpensämpfen  | 4     |
| 2.4     | Probenentnahme aus Tropfstellen und wasserführenden Klüften                                       | 5     |
| 2.5     | Probenentnahme aus der Tiefbohrung Konrad 101   | 8     |
| 2.6     | Probenentnahme vor Aufnahme des PTB-Untersuchungsprogramms  | 9     |
| 3       | Hydrochemische Untersuchungen   | 11    |
| 3.1     | Umfang und Methodik der hydrochemischen Analysen  | 11    |
| 3.2     | Qualitätskontrolle der analytischen Verfahren   | 12    |
| 3.2.1   | Vergleich der Analysen  | 13    |
| 3.2.2   | Aussagemöglichkeiten der Vergleichsanalysen   | 15    |
| 3.3     | Hydrochemische Typisierung der im Grubengebäude vorhandenen Wässer                                | 16    |
| 3.3.1   | Hydrochemische Untersuchungen vor Aufnahme des PTB-Untersuchungsprogramms                         | 16    |
| 3.3.2   | Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus  | 17    |
| 3.3.3   | Träufelrinnen   | 19    |
| 3.3.4   | Pumpensämpfe  | 20    |
| 3.3.5   | Hydrochemische Untersuchungen an tiefen Grundwässern aus Tropfstellen und wasserführenden Klüften | 21    |
| 3.3.5.1 | Ionenkonzentrationen  | 21    |
| 3.3.5.2 | Gelöste Gase  | 28    |
| 3.3.5.3 | Geothermometrie   | 29    |
| 3.3.5.4 | Genese der Tiefengrundwässer aus Klüften  | 30    |
| 3.3.6   | Hydrochemische Untersuchungen im Zuge des Abteufens der Tiefbohrung Konrad 101                    | 34    |

|         |  | Seite |
|---------|--|-------|
| 4       | Altersbestimmungen   | 36    |
| 4.1     | Methodik der Klassifizierung von Grundwasser nach Alter und Herkunft durch Umweltisotopenmessungen | 36    |
| 4.1.1   | Tritium  | 36    |
| 4.1.2   | Kohlenstoff-14 und Kohlenstoff-13  | 37    |
| 4.1.3   | Deuterium und Sauerstoff-18  | 38    |
| 4.1.4   | Schwefel-34  | 38    |
| 4.2     | Ergebnisse und Interpretation der Umweltisotopenmessungen  | 40    |
| 4.2.1   | Wässer aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2           | 40    |
| 4.2.1.1 | Tritium  | 40    |
| 4.2.1.2 | Kohlenstoff-14   | 41    |
| 4.2.1.3 | Deuterium und Sauerstoff-18  | 42    |
| 4.2.2   | Wässer aus Träufelrinnen   | 42    |
| 4.2.3   | Wässer aus Sümpfen   | 43    |
| 4.2.4   | Wässer aus Klüften und Tropfstellen  | 44    |
| 4.3     | Ergebnisse der Schwefelisotopen-Bestimmungen   | 46    |
| 5       | Konzentration natürlicher Radionuklide   | 48    |
| 6       | Zusammenfassung der Ergebnisse   | 52    |
| 7       | Literaturverzeichnis   | 60    |

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Abhängigkeit des  $\text{SO}_4^{2-}$ - und Sr-Konzentrationen
- Abb. 2: Abhängigkeit der Li- von der Mg-Konzentration und Ausgleichskurve
- Abb. 3: Abhängigkeit der Li/Mg-Temperatur von der Wassertemperatur
- Abb. 4: Abhängigkeit der Li/Mg-Temperatur vom Cl-Gehalt
- Abb. 5: Abhängigkeit des Na/K-Verhältnisses vom Abdampfrückstand
- Abb. 6: Abhängigkeit der Ca-Konzentration vom Chlorid-Gehalt
- Abb. 7: Abhängigkeit der Mg-Konzentration vom Chlorid-Gehalt
- Abb. 8: Abhängigkeit des Br- vom Mg-Gehalt
- Abb. 9: Abhängigkeit der Br-Konzentration vom Chlorid-Gehalt
- Abb. 10: Abhängigkeit des Ca/Mg-Verhältnisses vom Chlorid-Gehalt
- Abb. 11: Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus: Schacht Konrad 1, Teufenabhängigkeit von 3 H und 14 C
- Abb. 12: Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus: Schacht Konrad 2, Teufenabhängigkeit von 3 H und 14 C
- Abb. 13: Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus 14 C/13 C-Relation
- Abb. 14: Pumpensümpfe und Träufelrinnen Schacht Konrad 2 2 H/18 O-Relation und "Niederschlagsgerade"
- Abb. 15: Grundwasser aus Klüften und Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus, 2 H/18 O-Relation und "Niederschlagsgerade"
- Abb. 16: Teufenabhängigkeit von 34 S

## Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Mittlere Zusammensetzung der Tiefengrundwässer aus der Schachtanlage Konrad (nicht bilanziert)
- Tab. 2: Meßergebnisse von Isotopenanalysen an tiefen Grundwässern aus der Schachtanlage Konrad
- Tab. 3: Konzentrationen von  $^{34}\text{S}$  in Tiefengrundwässern
- Tab. 4: Eigenschaften von Wässern aus Pumpensämpfen (Meßdatum: 01.11.1985)
- Tab. 5: Konzentrationen von Kalium im Vergleich mit Aktivitätskonzentrationen des Isotops Kalium-40
- Tab. 6: Jod-127 und Jod-129 in Tiefengrundwässern
- Tab. 7: Zusammensetzung gelöster Gase (Ort 300)
- Tab. 8: Isotopen-Verhältnisse in gasförmig gelösten Kohlenwasserstoffen



## Anlagenverzeichnis

- Anl. 1: Lage der untersuchten Träufelrinnen (Schacht Konrad 2)
- Anl. 2: Lage der Bohransatzpunkte in Schacht Konrad 1
- Anl. 3: Lage der Bohransatzpunkte in Schacht Konrad 2
- Anl. 4: Orientierung der Bohransatzpunkte im Schachtschnitt  
(Schacht Konrad 1)
- Anl. 5: Orientierung der Bohransatzpunkte im Schachtschnitt  
(Schacht Konrad 2)
- Anl. 6: Lage der vor Aufnahme des PTB-Untersuchungsprogramms  
untersuchten Pumpensümpfe
- Anl. 7: Lage der untersuchten Pumpensümpfe
- Anl. 8: Lage der Entnahmestellen tiefen Grundwassers aus Klüften
- Anl. 9: SCHOELLER-Diagramm der Konzentrationsverteilung

## Kurzfassung



Tiefengrundwässer treten im Grubengebäude und den Schächten der Schachtanlage Konrad relativ selten und meist nur mit geringen Zutrittsmengen auf. Die hydrochemische Typisierung dieser Tiefengrundwässer beruht auf der Entnahme zahlreicher Wasserproben, und auf daran ausgeführten 329 hydrochemischen Analysen (meist Vollanalysen) 56 radiometrischen Altersbestimmungen mit den Isotopen Tritium, Deuterium, Sauerstoff-18, Kohlenstoff-13, Kohlenstoff-14 und Schwefel-34, 9 umfassenden Analysen natürlicher Radionuklide (Caesium-137, Uran-238, Radium-226, Radium-228, Blei-210, Kalium-40, sowie der  $\beta$ -Gesamtaktivität) sowie 36 Zeitreihen der Dichte- und Temperaturwerte von Wässern aus Pumpensümpfen mit insgesamt 922 Einzelbestimmungen.

Die Wässer entstammten den Trüffelrinnen in Schacht Konrad 2, Wasserzutritten aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2, Pumpensümpfen im Grubengebäude, sowie Wasserzutritten und Tropfstellen, die während des Auffahrungs- und Erkundungsprogramms angeschlagen worden waren. Darüberhinaus wurden Wasserproben aus der Tiefbohrung Konrad 101 in die Bearbeitung einbezogen.

Während oberflächennahe Grundwässer vor allem vom Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub>-Typ (in Plänerkalk-Aquifer) oder vom Ca-Na-Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Typ (quartärer Grundwasserleiter im Bereich von Schacht Konrad 2) sind, werden in Tiefen unterhalb von ca. 100 m nur noch Tiefengrund-

wässer vom Na-Cl-Typ angetroffen, entsprechend dem in Norddeutschland vorherrschenden Tiefengrundwasser-Typ. Die Mineralisierung der Tiefengrundwässer ist von der Teufenlage ihres Auftretens abhängig. Im Bereich des Grubengebäudes treten die Wässer mit einer der normalen geothermischen Tiefenstufe entsprechenden Temperatur von 40 - 50 Grad Celsius aus dem Speichergestein (Korallenoolith des Malm) aus. Calcium und Magnesium liegen überwiegend als Chloride vor. Die Gehalte an karbonatischen Ionen sind sehr gering, und die dadurch bedingte schwache Pufferung der Wässer führt zu pH-Werten im schwach sauren Bereich. Relativ hohe Konzentrationen an Strontium, Jodid, Bromid, sowie ein hohes Na/K-Verhältnis führten zu der Annahme, daß die Wässer ursprünglich in einem Tonstein mit evaporitischen Bildungen gespeichert waren. Solche Gesteine stehen im Hangenden (unterer und mittlerer Kimmeridge) zur Verfügung und können bei tektonischer Beanspruchung (kimmerische Phase), die auch zur Bildung offener Klüfte im Korallenoolith geführt haben kann, ausgepreßt und im Liegenden gespeichert worden sein.

Diese Klüfte stellen keinen weiträumig zusammenhängenden Kluftgrundwasserleiter dar; vielmehr sind angeschlagene wasserführende Klüfte in der Regel binnen kurzer Zeit (oft schon nach Stunden) erschöpft oder liefern nur noch Tropfwasser.

Radiometrische Datierungsmethoden können die aufgrund hydrogeologischer Überlegungen angenommenen hohen Grundwasseralter derzeit noch nicht in vollem Umfang bestätigen. Die für höhere Grundwasseralter geeignete C-14-Methode kann bei günstigen Verhältnissen nur Alter von max. 50 000-70 000 Jahren nachweisen, die schwierigen Probenentnahmebedingungen unter Tage, die bislang eine geringfügige Kontamination mit dem C 14 der Grubenwetter nicht ganz vermeiden ließen, lassen zur Zeit lediglich Mindestmodellalter von ca. 10 000 Jahren zu. Frischwasseranteile, die über die Bewetterung bzw. aus dem übertägigen Wasserversorgungsnetz zur Ergänzung

des Wasserbedarfs des Grubenbetriebs in das Grubengebäude gelangen, sind in den hochmineralisierten Grundwässern dagegen stets radio-metrisch anhand der Konzentrationen von Tritium, Kohlenstoff-14 und Schwefel-34 leicht erkennbar. Das aus kerntechnischen Anlagen emittierte radioaktive Isotop Iod-129, das zu Beweissicherungszwecken ebenfalls untersucht wurde, konnte nicht nachgewiesen werden (Nachweisgrenze 0,1 mBq/l). Natürliches radioaktives Kalium-40 tritt entsprechend der normalen Kalium-Isotopenverteilung in den Tiefengrundwässern auf. Relativ hohe Aktivitätskonzentrationen von Radium-226 sind bei den langen Verweilzeiten der Grundwässer im Grundwasserspeichergestein zu erwarten gewesen. Dagegen können radioaktive Uran-Isotope bei den vorherrschenden pH/Eh-Bedingungen nur in schwer-löslichen Uranverbindungen vorliegen und sind deshalb in den Tiefengrundwässern nicht in meßbaren Konzentrationen gelöst.

## 1 Einleitung

Im Rahmen der LV-Nr. 2219.05, Chemismus tiefer Grundwässer, waren hydrochemische Analysen, Radionuklidbestimmungen und Altersdatierungen von Grundwässern aus der Schachtanlage Konrad sowie aus der Tiefbohrung Konrad 101 Gegenstand von insgesamt 6 Teilaufgaben (Arbeitspakete 1-6). Die bearbeiteten Wässer wurden aus

- den Träufelrinnen des Schachtes Konrad 2 (AP 1) /11/,
- den Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 (AP 2) /5/,
- ausgewählten Pumpensämpfen und Tropfstellen (AP 3) /8/,
- wasserführenden Klüften, die bei der Auffahrung neuer Strecken im Grubengebäude angeschlagen worden waren (AP 4) /12/ und
- der Tiefbohrung Konrad 101 bzw. ersatzweise herangezogenen Grundwässern (AP 5) /9/

gewonnen. Zusätzlich wurde eine Zusammenstellung von Wasseranalysen geliefert, die vor der Aufnahme des PTB-Untersuchungsprogrammes vorgenommen worden waren (AP 6) /10/.

Der vorliegende Bericht basiert auf 329 hydrochemischen Analysen, 950 Bestimmungen der Dichte, Wassertemperatur und z. T. der pH-Werte an Wässern aus Pumpensämpfen, 56 Altersbestimmungen unterschiedlichen Umfangs und 9 Analysen natürlicher Radionuklide, die in /5, 8, 9, 10, 11, 12/ dokumentiert sind. Es dient der Zusammenfassung und Interpretation aller zum Chemismus tiefer Grundwässer der Schachtanlage Konrad im Rahmen der LV-Nr. 2219.05 vorgenommenen Untersuchungen.

## 2 Probenentnahmestellen und -verfahren

Die Probenentnahme muß untertage ganz besonders an die jeweilige Entnahmesituation angepaßt werden. Anders als übertage, wo in der Regel normgerecht erstellte und ausgebaute Grundwasser-Meßstellen zur Verfügung stehen, in denen eine standardisierte Probengewinnung möglich ist, ist das Auftreten von Wasserzutritten im Grubengebäude an stets wechselnde räumliche, geologische und hydrologische Bedingungen gebunden, denen bei der Probenentnahme Rechnung getragen werden muß.

### 2.1 Probenentnahme aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus

Im Schacht Konrad 1 wurden insgesamt 39 Kernbohrungen und 97 Vollbohrungen gestoßen; im Teufenbereich bis 160 m wurden in 8 von insgesamt 27 Kern- und Vollbohrungen Wasserzutritte festgestellt. Die Entnahme von Wasserproben war in 4 Bohrungen möglich.

Im Schacht Konrad 2 wurden insgesamt 43 Kernbohrungen und 107 Vollbohrungen gestoßen; im Teufenbereich bis ca. 135 m wurden in 9 Kern- und Vollbohrungen Wasserzutritte angetroffen, in denen die Entnahme von Wasserproben möglich war. Dazu ist allerdings anzumerken, daß im Bereich des Hils-Sandsteins keine Bohrungen vorgenommen wurden, um diesen Bereich nicht unnötig zu perforieren /21/.

Die Wasserproben aus diesen Erkundungsbohrungen wurden meist unmittelbar nach dem Anschlagen der Wässer durch Mitarbeiter der Schachtanlage Konrad vorgenommen. Diese Proben ließen, wegen der ad hoc-Entnahme nur die Bestimmung der Haupt-Wasserinhaltsstoffe zu. Karbonat-Ionen und in situ-Parameter konnten dabei nicht bestimmt werden. Erst danach war es möglich, nach gesonderter Absprache mit dem Betrieb, den jeweiligen Schacht zu einer vollständigen Probenentnahme zu befahren. Der Umfang der vorzunehmenden

Untersuchungen richtete sich sehr stark nach den verfügbaren Wassermengen, so daß z.B. C 14-Bestimmungen, für die eine große Wassermenge (180 l) bereitgestellt werden mußte, nur in einigen Fällen durchgeführt werden konnten.

Die Lage der beprobten Bohrlöcher zur Erkundung des Schachtausbaus ist in Schachtprofilen der Schächte Konrad 1 (Anl. 2) und Konrad 2 (Anl. 3) sowie in Schachtquerschnitten (Schachtscheiben) der Schächte Konrad 1 (Anl. 4) und Konrad 2 (Anl. 5) dargestellt.

## 2.2 Probenentnahme aus den Träufelrinnen des Schachtes Konrad 2

Im ausziehenden Wetterschacht Konrad 2 sind insgesamt 4 Träufelrinnen in unterschiedlichen Teufen angeordnet (Anl. 1). Diese fangen u.a. das beim Abkühlen der ausziehenden Wetter auskondensierte und am Schachtstoß niederrinnende Kondenswasser auf und ermöglichen eine geordnete Ableitung dieser Wässer. Dieses ursprünglich nicht mineralisierte ("destillierte") Wasser belädt sich während des Abwärtsrinnens mit Mineralstoffen, die durch den Abwetterstrom mitgeführt werden bzw. am Schachtstoß niedergeschlagen sind. Die schließlich in den Träufelrinnen aufgefangenen Wässer sind deshalb in unterschiedlichem Ausmaß mineralisiert. Darüberhinaus finden sich am Schachtstoß gelegentlich Wasserzutritte, deren Wässer ebenfalls durch die Träufelrinnen aufgefangen werden. Dies ist besonders der Fall im Bereich der Träufelrinne 470 m, durch die Wasserzutritte aus dem Bereich des Hils-Sandsteins aufgefangen werden. Die tiefste Träufelrinne bei 870 m nimmt geringfügige Wasserzutritte aus dem Bereich des unteren Korallenooliths auf.

Die Entnahme der Wasserproben erfolgte im August, sowie als Wiederholungsbeprobung, im Oktober 1985. Dabei diente die Erstbeprobung im August 1985 zugleich auch der Erprobung der Vorgehensweise bei der Probenentnahme. Bei der Probenentnahme im Oktober konnten dann die für die Vergleichsanalysen ("Ringanalyse") benötigten Probenmengen gewonnen werden.

Der Aufwand für die Probenentnahme mußte sich nach den vorhandenen Schüttungsraten richten. So konnte bei einer Schüttung von ca. 3 l/min aus der Träufelrinne 470 m die Entnahme der erforderlichen Probenmengen (incl. 720 l Wasser für die C 14-Bestimmung) in einer Schicht (7 Stunden) vom Förderkorb aus bewerkstelligt werden.

Dagegen wurde für die Probenentnahme aus der Träufelrinne 870 m ein wirtschaftlich kaum noch zu vertretender Aufwand benötigt. Die geringe Zulauftrate von nur ca. 0,05 l/min erforderte eine über fünf Tage andauernde Probenentnahme, um die erforderliche Wassermenge zu gewinnen (allerdings konnten für die C 14-Analyse nur 180 l bereitgestellt werden). Nur so konnten, bei täglicher Schachtbefahrung durch den wissenschaftlichen Bearbeiter, einen Mitarbeiter, drei Schachthauer und einen aufsichtführenden Schachtsteiger, eine ausreichende Wassermenge zusammengetragen werden.

### 2.3 Probenentnahme aus Pumpensämpfen

Pumpensämpfe dienen der Sammlung und geordneten Ableitung von Wasserzutritten im Grubengebäude. Die in ihnen für eine Wasserproben-Entnahme zur Verfügung stehenden Wassermengen richten sich nach dem Umfang des Wasserzutritts. Zusätzlich nehmen diese Pumpensämpfe Wasser auf, das zur Fahrbahnberieselung eingesetzt



wurde und dabei versickert ist. Auf der 6. Sohle befindet sich ein Hauptsumpf, in dem ein Teil der von den Pumpensümpfen angelieferten Wässer gesammelt und bei Bedarf in den Schachtsumpf von Schacht Konrad 1 gepumpt wird. Dieser sammelt alle im Grubengebäude anfallenden Wässer, die von dort schließlich zu einem Sammelbecken nach übertage gefördert werden.

Im Schachtsumpf von Schacht Konrad 2 werden die von der Träufelrinne 870 m abgeleiteten Wässer gesammelt und durch eine automatische Pumpe abgefördert. Die im Schachtsumpf anfallenden Wassermengen (ca. 1 l/min) können allerdings nicht nur aus der Träufelrinne 870 m stammen, so daß ein Wasserzutritt durch die Schachtsohle angenommen werden muß. Die Wässer aus den höher gelegenen Träufelrinnen werden in der Wasservorratsstrecke in 658 m Teufe gesammelt und für die Fahrbahnberieselung verwendet. Im Schacht Konrad 2 ist eine Frischwasserleitung verlegt, die aus dem Betriebsnetz P+S den Wasserbedarf des Untertagebetriebes ergänzt.

Sumpfwässer enthalten demnach neben den in das Grubengebäude eintretenden tiefen Grundwässern auch einen Teil des im Grubenbetrieb verwendeten und von übertage hereingeförderten Frischwassers (oberflächennahes Grundwasser) und sind deshalb sehr häufig Mischwässer.

Die Lage der untersuchten Pumpensümpfe ist in Anl. 6 und Anl. 7 wiedergegeben

#### 2.4 Probenentnahme aus Tropfstellen und wasserführenden Klüften

Bei Tropfstellen und Wasserzutritten aus Klüften ist die Art des Wasserzutritts lokal besonders unterschiedlich. Die Entnahmestellen werden deshalb im einzelnen aufgeführt und kurz beschrieben:

Ort 101

Kluftwasser aus Sohlenbohrungen in der Nord- und Südstrecke der 1. Sohle. Unterer Korallenoolith, unteres Erzlager.

Ort 300

Abgedichtetes und mit einem Schieber/Manometer versehenes Bohrloch in der Ortsbrust. Mittlerer Korallenoolith, unmittelbar oberhalb der Grenze zum unteren Korallenoolith, der das Kluftwasser führt.

Ort 402, Extensometer-Bohrloch 2

Für Extensometermessungen ausgerüstetes, verrohrtes Bohrloch unmittelbar unterhalb der Spülversatzfelder mit geringem Wasseraustritt (Tropfwasser). Unterer Korallenoolith, Wasser stammt überwiegend aus dem Spülversatz.

Ort 410 N

Großflächiger Kluftwasseraustritt aus der Bleckenstedter Störung. Unterer Korallenoolith (Trümmerkalk).

Ort 600

Anfangs ergiebige, zuletzt aber nur noch geringfügige Wasserzutritte aus Firste und Stößen. Unterer Korallenoolith (Top der Trümmerkalkschwelle).

Ort 601

Anfangs ergiebige, zuletzt aber nur noch geringfügige Wasserzutritte aus dem Stoß (Tropfwasser). Mittlerer Korallenoolith (tonig-sandiger, oolithischer Kalkstein).

Die Lage der beprobten wasserführenden Klüfte ist in Anl. 8 dargestellt.

Die Anzahl der Probenentnahmestellen wurde durch die Anfahrung wasserführender Klüfte während des Erkundungs- und Auffahrungsprogramms bestimmt. Die Anzahl der jeweils entnommenen Proben mußte sich nach der zur Verfügung stehenden Wassermenge richten und wurde in der Regel folgendermaßen gestaffelt:

- je eine Probe am 1., 2. und 3. Tag nach Auftreten des Wassers,
- danach je eine Probe wöchentlich für einen Zeitraum von vier Wochen,
- danach je eine Probe monatlich für einen Zeitraum von drei Monaten,
- danach Probenentnahme in halbjährlichen Abständen.

Hinsichtlich der Häufigkeit der Probenentnahme sollten auch evtl. Schwankungen im Lösungsinhalt berücksichtigt werden. Die erste Probenentnahme erfolgte in der Regel unmittelbar nach dem Auftreten der Wässer durch Betriebspersonal der Schachanlage Konrad. Alle weiteren Proben wurden sodann unter Leitung des wissenschaftlichen Bearbeiters entnommen.

Für radiometrische Untersuchungen wurden die erforderlichen Proben am ersten Tag nach dem Auftreten der Wässer und anschließend in halbjährlichen Abständen entnommen. Hierbei stellte vor allem die C 14-Bestimmung hohe Anforderungen an die Probengewinnung und -präparation: wegen der geringen Kohlenstoff-Konzentrationen in den Tiefengrundwässern wurden zuletzt max. 860 l Wasser entnommen und der Kohlenstoff-Gehalt unter Tage ausgefällt, um eine für die Untersuchung ausreichende Kohlenstoffmenge zu gewinnen. Bei derart großen Wassermengen und den erforderlichen Hantierungen unter Tage sind die Kontaminationsmöglichkeiten und -quellen allerdings nicht mehr zu vernachlässigen, so daß künftig an einer Optimierung der Probenentnahme für C 14-Bestimmungen weitergearbeitet werden muß.

## 2.5 Probenentnahme aus der Tiefbohrung Konrad 101

Während des Abteufens der Tiefbohrung Konrad 101 wurden Wasserzutritte erbohrt. Eine Probe (1000 ml) wurde am 16.12.1984 entnommen und am 20.12.1984 durch die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) bei der GSF, Institut für Tieflagerung, eingeliefert. Wegen starker Verunreinigung der Probe durch Bohrspülung war eine Bearbeitung nicht möglich. Weitere Wasserproben in einer für die vorgesehenen Untersuchungen geeigneten Qualität konnten nicht gezogen werden.

Ersatzweise wurden deshalb durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) aus einem

- Bohrbrunnen zur Grundwasserförderung in Söhlde (R 3584385 H 5783800) am 1.3.1985 und aus dem
- Hils-Sandstein, Bohrloch im Schacht Konrad 2 am 21.2.1985

zwei Wasserproben entnommen und im Labor der BGR einer chemischen Analyse unterzogen. Für die Bestimmung natürlicher Radionuklide wurden jeweils 2 x 10 l Wasser entnommen und dem Institut für Strahlenschutz der GSF zu Untersuchung übergeben.

Aus zwei Pumpversuchen am 18.1.1985 an den abgepackerten Teufenbereichen 0-116,2 m (Pumpversuch I) und 155-214 m (Pumpversuch II) hat das Labor der BGR zwei weitere Proben chemisch analysiert, die ebenfalls in /9/ dokumentiert sind.

## 2.6 Probenentnahme vor Aufnahme des PTB-Untersuchungsprogramms

Seit 1976 wurden im Rahmen der Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad durch die GSF (IfT) ein- bis zweimal jährlich die Grubenwässer hinsichtlich der Hauptwasserinhaltsstoffe Na, K, Ca, Mg, Sr, Cl, SO<sub>4</sub> und der für die genetische Beurteilung wichtigen Spurenstoffe Li, Br, I und BO<sub>3</sub> untersucht.

Die Proben wurden aus den

- Sümpfen, die der betrieblichen Wasserhaltung dienen und aus den
- Träufelrinnen des ausziehenden Wetterschachtes (Schacht Konrad 2), sowie aus einem
- Wasserzutritt (Hilssandstein) in Schacht Konrad 2, der durch eine Bohrung gefaßt und verschlossen ist, und aus der
- Wasservorratsstrecke (Schacht 2, 658 m Teufe)

entnommen. Die Lage der Probenentnahmestellen sind in einem Schachtprofil des Schachtes Konrad 2 (Anl. 1) und in einem Übersichtsriß des Grubengebäudes (Anl. 6) dargestellt. Zusätzliche Wasserproben-Entnahmen und Messungen von Dichte und Temperatur der Grubenwässer wurden durch Personal der Schachtanlage Konrad/Markscheiderei vorgenommen.

Die Probenentnahme wurde, wenn möglich, an solchen Sümpfen vorgenommen, für die eine geringe betriebliche Beeinflussung festgestellt werden konnte. Bei den Träufelrinnen liegt stets eine Beeinflussung durch den Grubenbetrieb (Kondenswasser) vor.

Alle Probenentnahmen und untertägigen Messungen unterlagen besonderen Schwierigkeiten, die bei einem qualitativen Vergleich mit übertägigen Wasseruntersuchungen stets zu berücksichtigen

sind. Die Schwierigkeiten der Probenentnahme unter Tage ergeben sich aus den

- betrieblichen Einflüssen, wie
  - o unterschiedlicher Bewetterungsintensität in verschiedenen Grubenbereichen,
  - o unterschiedlicher Staubbelastung der Wetter,
  - o Straßenbau und -erhaltung durch Sohlenbefeuchtung,
  - o Förderbetrieb

und den

- klimatischen Bedingungen, wie
  - o erhöhtem Luftdruck,
  - o hohen Temperaturen,
  - o hoher relativer Luftfeuchtigkeit.

Durch diese Bedingungen wird einerseits die Qualität der Sumpfwässer durch Kontamination beeinflusst, andererseits aber auch die Qualität der Probenentnahme durch

- Abkühlung der Proben beim Transport nach Übertage mit der Folge von temperaturbedingten Änderungen von Lösungsgleichgewichten
- Druckentlastung der Proben beim Transport nach Übertage mit der Folge von Änderungen der Lösungsgleichgewichte durch Entgasung
- Belastung der Meßelektronik durch hohe Temperatur und Luftfeuchte
- bergrechtlich veranlaßte kurze Aufenthaltszeiten des Entnahmepersonals in gering oder nicht bewetterten Grubenteilen.

Bei der Interpretation der Meßergebnisse und Wasseranalysen sind diese vielfältigen und unvermeidlichen Einflüsse auf die Qualität der Meßwerte und Wasserproben zu berücksichtigen.

### 3 Hydrochemische Untersuchungen

#### 3.1 Umfang und Methodik der hydrochemischen Analysen

Die in der Schachtanlage entnommenen Wasserproben wurden nach der Entnahme unverzüglich dem Labor übergeben. Dort erfolgte sofort die Bestimmung der Karbonat-Ionen und des  $\text{CO}_2$ , sowie die erforderlichen Konservierungsmaßnahmen (Ansäuern mit  $\text{HCl}$  Suprapur MERCK).

Wenn möglich, wurden bereits während der Probenentnahme die leicht veränderlichen Parameter Temperatur, pH-Wert,  $\text{O}_2$ -Konzentration und Redoxpotential gemessen. Auch die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit und der Dichte erfolgte gewöhnlich bereits an der Entnahmestelle.

Im Labor wurden dann die Konzentrationen der gelösten anorganischen Ionen mit geeigneten Analysemethoden bestimmt:

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| - $\text{Na}^+$      | ICP-AES         |
| - $\text{K}^+$       | ICP-AES         |
| - $\text{Li}^+$      | ICP-AES         |
| - $\text{Sr}^{2+}$   | ICP-AES         |
| - $\text{Ca}^{2+}$   | ICP-AES         |
| - $\text{Mg}^{2+}$   | ICP-AES         |
| - $\text{Fe}^{2+}$   | ICP-AES         |
| - $\text{Mn}^{2+}$   | ICP-AES         |
| - $\text{Al}^{3+}$   | ICP-AES         |
| - Si                 | ICP-AES         |
| - $\text{Ba}^{2+}$   | ICP-AES         |
| - $\text{Cl}^-$      | DEV(D1.2)       |
| - $\text{SO}_4^{2-}$ | ICP-AES (als S) |
| - $\text{BO}_3^{3-}$ | ICP-AES (als B) |
| - $\text{I}^-$       | DEV(D3)         |
| - $\text{HCO}_3^-$   | titrimetr.      |
| - $\text{Br}^-$      | DEV(D2)         |

Dabei bedeuten:

ICP - AES = Inductive Coupled Plasma - Atom Emission Spectroscopy  
 DEV = Deutsche Einheitsverfahren für Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung.

Die Analysenergebnisse sind auf einem Datenträger gespeichert und wurden mit einem Rechenprogramm einer Plausibilitätsüberprüfung und Vorauswertung unterzogen.

### 3.2 Qualitätskontrolle der analytischen Verfahren

Zur Absicherung der chemischen Analysen wurden bei zwei Fremdlabors Vergleichsanalysen in Auftrag gegeben. Der Begriff "Ringanalyse" wird in DIN 38402 Teil 41 und 42 umrissen; dort werden auch der Untersuchungsumfang und die Versuchsauswertung beschrieben. Auf diese geltende Norm bezogen können die Vergleichsuntersuchungen, über die hier berichtet wird, nicht als "Ringanalyse" bezeichnet werden, weshalb auf diesen Begriff im weiteren verzichtet wird.

Zum Vergleich der chemischen Wasseranalysen wurden vereinbarungsgemäß insgesamt drei Laboratorien beauftragt, die regelmäßig Wasseruntersuchungen durchführen und mit der Analytik hochsalinärer Wässer vertraut sind:

- Labor 1:            Institut für Tieflagerung, Braunschweig, der  
                      Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung  
                      München GmbH, Theodor-Heuss-Str. 4, 3300 Braunschweig.
  
- Labor 2:            Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft,  
                      Postfach, 3200 Hildesheim.
  
- Labor 3:            Geologisches und Ingenieurbüro [REDACTED]  
                      [REDACTED]

Der Umfang der Analysen wurde den Labors vorgegeben, er war aber so umfassend, daß eine vollständige Erfassung der Hauptbestandteile erfahrungsgemäß erzielt werden konnte. Die Proben für den Analysen-



vergleich wurden durch Teilung einer homogenen Gesamtprobe von ausreichender Menge gewonnen. Die Auswahl der zur Abfüllung verwendeten Gefäße und eine evtl. Probenkonservierung wurden nach den Wünschen der beteiligten Labors vorgenommen. Nach der Entnahme wurden die Proben den Labors unverzüglich durch Boten zugestellt.

### 3.2.1 Vergleich der Analysen

Aus den Vergleichsdaten wurde jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung der Einzelbestimmungen vom Mittelwert als Hilfsmittel für die Bewertung der Bestimmungen errechnet. Dazu mußten offensichtliche Ausreißer-Werte vorher eliminiert werden. Das Kriterium der Ausreißer-Elimination wurde anhand der DVWK-Empfehlung zu Inhalt und Genauigkeitsanforderungen chemischer Grundwasseranalysen /6/ bei 10% festgelegt; dies entspricht der ungünstigsten Genauigkeitsanforderung für eine Einzelbestimmung. Wenn die Standardabweichung der Einzelbestimmungen vom Mittelwert durch Elimination eines stark abweichenden Wertes unter 10% zu drücken war, dann wurde dieser Wert als Ausreißer gekennzeichnet und eliminiert. Eine statistische Absicherung dieser Vorgehensweise kann bei nur drei Einzelbestimmungen nicht vorgenommen werden. Sie ist deshalb lediglich als plausibles Vorgehen zu bewerten, das eine Aussage über den "wahren" oder "falschen" Wert nicht zuläßt. Es ist damit allenfalls möglich, aus vorhandenem Datenmaterial, das trotz der geringen Anzahl von Vergleichsanalysen die Beurteilung des Grundwassers ermöglichen muß, einen plausiblen Wert herauszuziehen.

Der Vergleich der Analysen ermöglichte folgende Bewertung:

Die Bestimmung des Natriums erscheint relativ unproblematisch. Die Standardabweichungen von den Mittelwerten sind relativ gering.

Überraschenderweise stellte sich dagegen heraus, daß die Bestimmung des Kaliums offenbar recht problematisch ist. Die Standardabweichungen sind z. T. sehr hoch.

Beim Nachweis des Strontiums stimmten alle drei Labors meist relativ gut überein. Der Nachweis dieses für Tiefengrundwasser genetisch interessanten Elementes ist deshalb offenbar recht zuverlässig.

Auch bei der Bestimmung des Calciums wichen die beteiligten Labors allenfalls um ca. 2% vom Mittelwert ab, so daß auch dieses Erdalkali-Element offenbar zuverlässig zu bestimmen ist.

Dagegen zeigen die ermittelten Konzentrationen für Eisen und Mangan z. T. sehr große Abweichungen vom Mittelwert.

Starke Fehlerstreuungen sind auch beim Barium zu beobachten, dessen Bestimmung erfahrungsgemäß nicht sehr zuverlässig ist. Das Ergebnis entspricht deshalb den Erwartungen.

Bei den Anionen erwies sich die Bestimmung der Chlorid-Konzentration erwartungsgemäß als unproblematisch. Die Abweichungen vom Mittelwert liegen innerhalb der Reproduzierbarkeit analytischer Verfahren.

Dagegen konnten die aus den Sulfat-Bestimmungen errechneten großen Standardabweichungen durchaus erwartet werden. Für die Messung der Sulfat-Konzentration in hochsalinaren Lösungen scheint es kein befriedigendes Analysenverfahren zu geben.

Dies gilt in weitaus höherem Maße auch für die Bestimmung des Borat-Ions. Bei Standardabweichungen von über 100% gibt es keine Möglichkeit mehr, Überlegungen über den evtl. wahren Borat-Gehalt des untersuchten Wassers anzustellen.

Die Bestimmung der Iodid-Konzentrationen zeigte ebenfalls große Schwankungen. Sie muß deshalb als problematisch angesehen werden.

Die für das Bromid ermittelten Konzentrationen streuen dagegen nicht so stark um den Mittelwert, so daß die Bromid-Bestimmung in salinaren Wässern als befriedigend bezeichnet werden kann.

### 3.2.2 Aussagemöglichkeiten der Vergleichsanalysen

Der Vergleich von drei chemischen Analysen jeweils ein und derselben Probe ermöglicht nicht die Ermittlung "richtiger" und "falscher" Werte. Auch sind Aussagen über die Qualität einzelner Labors im Prinzip nicht möglich. Dafür würde es einer größeren Zahl teilnehmender Labors bedürfen (die erforderliche Anzahl ist durch DIN. 38402 Teil 41 vorgegeben), damit statistische Prüfverfahren angewendet werden können.

Die vorstehende Auswertung des Analysenvergleichs beschränkt sich daher auf eine qualitative Überprüfung der Plausibilität von Differenzen und Übereinstimmungen. Die Tatsache, daß dafür numerische Verfahren (Mittelwertbildung, Berechnung der Standardabweichung) eingesetzt werden, darf keinesfalls zu der Annahme verleiten, daß solche Zahlenwerte über "richtig" und "falsch" entscheiden können; sie lassen lediglich eine qualitative Aussage über die den jeweiligen Bestimmungen zuzuordnende Zuverlässigkeit zu. Die Qualitätsaussage muß überdies wegen der geringen Zahl von nur zwei in den Vergleich einbezogenen Proben auf diese beschränkt werden. Eine allgemeine Aussage über die Analytik hochsalinärer Grundwässer kann daraus auf keinen Fall abgeleitet werden.

Dagegen liegen die errechneten Ionenbilanzen (nur Labor 1 und Labor 3 haben diesen Test auf Vollständigkeit und Richtigkeit ihrer Analysen selbst vorgenommen) innerhalb der zu fordernden

Toleranzen /6/. Wegen der hohen Konzentrationen von Natrium und Chlorid, bei deren Nachweis überdies gute Übereinstimmungen erzielt wurden, haben sich die Abweichungen bei der Bestimmung weiterer Ionen, deren Konzentrationen erheblich niedriger liegen, in den Ionenbilanzen nicht auswirken können.

Ein wichtiges Ergebnis des Analysenvergleichs ist, daß in solchen Fällen, wo chemische Grundwasser-Analysen zu Beweissicherungszwecken oder für sicherheitsrelevante grundwassergenetische Interpretationen heranzuziehen sind, auf Qualitätskontrollen, wie z. B. normengerechte Ringanalysen, vor allem bei hoch mineralisierten Grundwässern nicht verzichtet werden sollte. Sie entsprechen deshalb dem internationalen Standard bei der hydrogeologischen Untersuchung von Endlagerstandorten.

### 3.3 Hydrochemische Typisierung der Tiefengrundwässer aus dem Grubengebäude der Schachanlage Konrad

#### 3.3.1 Hydrochemische Untersuchungen vor Aufnahme des PTB-Untersuchungsprogramms

Schon nach den hydrochemischen Untersuchungen, die die GSF bis 1982 in der Schachanlage Konrad vorgenommen hat, war eine übersichtsmäßige hydrochemische Typisierung der dort auftretenden Tiefengrundwässer und ein Vergleich mit anderen, vorwiegend aus Erdöllagerstätten bekannt gewordenen norddeutschen Tiefengrundwässern vorgenommen worden /4/. Diese Tiefengrundwässer zeigen eine generelle Teufenabhängigkeit der Mineralisierung, die in der Regel auf die NaCl-Konzentration zurückzuführen ist. Dies zeigt, daß die Verweildauer der Tiefengrundwässer in Zusammenhang mit der Teufe steht. Unterschiede in den übrigen gelösten Bestandteilen können dagegen häufig als formationsspezifisch erkannt werden.

Die Konrad-Tiefengrundwässer fügen sich in dieses hydrochemische Grundschema gut ein. Sie lassen sich als Na-Cl-Wässer im Sinne des für Mineralwässer eingeführten Klassifizierungsschemas charakterisieren. Sie sind entsprechend der Teufenlage ihres Auftretens mit einer elektrischen Leitfähigkeit von schwerpunktmäßig 160 - 190 mS/cm, entsprechend einem mittleren Gesamtlösungsinhalt (Gesamtmineralisation) von ca. 280 g/l, relativ hoch mineralisiert. Erdölbegleitwässer aus nicht weit entfernten Lagerstätten des Malm weisen einen ähnlichen Chemismus hinsichtlich der Hauptbestandteile auf.

Die Wassertemperaturen entsprachen jeweils den anzunehmenden Gebirgstemperaturen und lagen, je nach den Entnahmebedingungen, meist zwischen 40 und 50 Grad Celsius. Die bei diesen Temperaturen jeweils gemessenen Dichten der Wässer lagen im Mittel bei  $1.14 \pm 5\%$ . Die pH-Werte lagen stets im schwach sauren Bereich, zwischen 5,2 und 6,4, was auf die nur schwache Pufferung bei geringen Hydrogenkarbonatgehalten zurückzuführen ist.

Bei den Nebenbestandteilen fallen vor allem die hohen Jodid-, Bromid- und Borat-Konzentrationen auf, die auch bei Korallenoolith-Wässern aus benachbarten Erdölfeldern beobachtet wurden.

### 3.3.2 Hydrochemische Untersuchungen an Grundwässern aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus

Die chemische Zusammensetzung der aus den Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 gewonnenen Grundwässer ist von der Entnahmetiefe und von der lithologischen Ausbildung der jeweiligen Grundwasserleiter abhängig. Aufgrund der hydrogeologischen Gesamtsituation war das Auftreten unterschiedlicher Wassertypen im Quartär und der Ober-

kreide (Turon) auch zu erwarten. In tiefer gelegenen Schichten wurden in den Schachterkundungsbohrungen keine oder lediglich für eine Beprobung zu geringfügige Wasserzutritte festgestellt. Der Hilssandstein, der in Schacht Konrad 2 bei ca. 470 m unter Rasenhängebank ansteht, wurde während des Schachterkundungsprogramms nicht erbohrt um eine unnötige Perforierung des Schachtstoßes in diesem Bereich zu vermeiden /21/.

Im Schacht Konrad 1 wurde in einer Teufe von ca. 65 m eine Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub>-Wasser angeschlagen, das dem Typus oberflächennaher Grundwasser im Turon-Pläner in der Umgebung der Schachanlage Konrad entsprechen dürfte.

In Schachterkundungsbohrungen unterhalb von 100 m wurden bereits Na-Cl-Wässer angeschlagen, die mit dem allgemeinen Typus der Tiefengrundwässer, nicht aber mit denen aus dem Grubengebäude vergleichbar sind.

Etwas komplexer ist die Tiefenentwicklung der Wassertypen bei den im Schacht Konrad 2 erbohrten Grundwässern.

In ca. 39 m unter Rasenhängebank wurden Ca-Na-Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Wässer vorgefunden, die für den quartären Grundwasserleiter im Bereich des Hüttengeländes der Stahlwerke Peine-Salzgitter AG, insbesondere aber im Einflußbereich der unweit vom Schacht gelegenen Schlackenverkipfung charakteristisch sind.

Mit zunehmender Tiefe gehen diese in Na-Cl-HCO<sub>3</sub>-Mischwässer und schließlich in Na-Cl-Wässer vom Tiefengrundwasser-Typus über.

### 3.3.3 Hydrochemische Untersuchungen an Wässern aus den Träufelrinnen in Schacht Konrad 2

Die zweimalige Probenentnahme aus den Träufelrinnen in 470 m (Bereich des Hils-Sandsteins) und 870 m (Bereich des unteren Korallenooliths), im Abstand von wenigen Monaten, zeigte, daß die Wässer einander hinsichtlich der Hauptbestandteile sehr ähnlich sind /11/. Es bestehen jedoch durchaus Unterschiede, die bei wiederholter Beprobung und Untersuchung reproduzierbar sind. Die Wässer beider Träufelrinnen sind in den Typus der hochmineralisierten Na-Cl-Wässer einzuordnen.

Die Unterschiede im Mineralisierungsgrad der Wässer sind nur von geringer Bedeutung. Auffallende Unterschiede bestehen

- bei den Erdalkali-Elementen Calcium und Magnesium, die in der Träufelrinne 870 m ca. doppelt so hoch sind, wie in der Träufelrinne 470 m.
- bei den Bromid- und Iodid-Konzentrationen, die zwar stark veränderlich, in der Träufelrinne 870 m aber stets viel höher als in der Träufelrinne 470 m waren.
- bei den  $\text{HCO}_3$ -Konzentrationen, die in der Träufelrinne 870 m, wie überall im Grubengebäude, sehr gering sind.

Eine nach vorangegangener mehrwöchiger gründlicher Schachtreinigung am 30.01.1986 durchgeführte Schachtbefahrung zeigte, daß alle vorhandenen Träufelrinnen, vor allem aber die in 470 m Teufe angeordnete, Wasser aufnehmen, das durch den Schachtstoß Zutritt. Die aus dem Hils-Sandstein (470 m Teufe) bzw. aus dem unteren Korallenoolith austretenden hochmineralisierten Tiefengrundwässer stellen daher einen großen Teil der von den Träufelrinnen gesammelten und abgeführten Wässer dar. Die beobachteten chemischen

Zusammensetzungen der Wässer stimmen mit früheren Beobachtungen /10/ weitgehend überein, jedoch konnten die früher festgestellten Schwankungen im Chemismus des von der Träufelrinne 470 m abgeführten Wassers in dem kurzen Probenentnahmezeitraum nicht reproduziert werden.

#### 3.3.4 Hydrochemische Untersuchungen an Wässern aus Pumpensümpfen

Im Rahmen von /10/ wurden 180 Wasseranalysen von 30 Sümpfen dokumentiert, ergänzend wurden in /8/ drei weitere Pumpensümpfe der ersten Sohle untersucht. Tab. 4 dokumentiert ergänzend Temperaturen, Mineralisierung und pH-Werte der meisten Pumpensümpfe zu einem Zeitpunkt im Herbst 1985.

Die untersuchten Wässer zeigen, bei gelegentlich unterschiedlichem Mineralisierungsgrad, eine relativ einheitliche chemische Zusammensetzung. Die elektrischen Leitfähigkeiten liegen schwerpunktmäßig zwischen 160 - 190 mS/cm (55,5% der Werte), was erfahrungsgemäß einem mittleren Gesamtrückstand von ca. 280 g/l entspricht. Die pH-Werte liegen wegen der nur geringen Pufferung durch Hydrogenkarbonat-Ionen im schwach sauren Bereich zwischen  $\text{pH} = 5,2$  und  $\text{pH} = 6,4$  (90 % der Meßwerte).

Das bedeutet, daß Frischwasserbeeinflussungen an der chemischen Zusammensetzung vor allem dann praktisch nicht erkannt werden können, wenn nur die Hauptionen-Konzentrationen untersucht werden. Die Wässer sind durchweg als Na-Cl-Wässer zu typisieren, ein Wassertyp, der sich im Grubengebäude nach kurzer Zeit bei allen eingebrachten Wässern einstellt, wenn sie im Gleichgewicht mit dem Gestein stehen. Eine Klassifizierung anhand von Spurenelementen ist erst dann möglich und sinnvoll, wenn quantitative Kenntnisse über die analytischen Schwankungsbreiten vorliegen.



### 3.3.5 Hydrochemische Untersuchungen an tiefen Grundwässern aus Tropfstellen und wasserführenden Klüften

#### 3.3.5.1 Ionenkonzentrationen

In /12/ sind chemische Analysen von 76 Wasserproben aus 16 Tropfstellen und während des Auffahrungs- und Erkundungsprogramms angeschlagenen wasserführenden Klüften dokumentiert. In /8/ wird über zwei weitere chemische Analysen von Wasserproben aus zwei der wasserführenden Klüfte in der Schachanlage Konrad berichtet.

Alle aus Klüften ausgetretenen Tiefengrundwässer sind Na-Cl-Wässer mit einer Gesamtmineralisation von im Mittel ca. 230 g/l. Die mittleren Ionenkonzentrationen (nicht ionenbilanziert) der Wässer sind in Tab. 1 wiedergegeben. Die angegebenen Fehlerbreiten entsprechen der zweifachen Standardabweichung. In ihnen sind sowohl die Genauigkeit der jeweiligen Bestimmungsverfahren als auch die natürlichen und entnahmebedingten Unterschiede enthalten. Die Mittelwerte dienen deshalb lediglich einer groben Klassifizierung der Ionengehalte der Tiefengrundwässer aus der Schachanlage Konrad. Die Fehler liegen innerhalb der Genauigkeit der analytischen Verfahren, wenn sie geringer als 10 % sind. Größere Fehler (z. B. beim Sulfat- oder Eisen-Gehalt) entstehen u. U. zusätzlich, wenn die analytischen Bestimmungen bei den hohen Gesamtmineralisationen der Wässer schwierig sind, oder (z. B. bei der Temperatur oder der  $\text{HCO}_3$ -Konzentration), wenn es sich um leicht veränderliche Wassereigenschaften handelt. Die mittleren Ionenkonzentrationen der Kluftwässer ermöglichen eine hydrochemische Typisierung. Eine ähnliche Typisierung der Tiefengrundwässer der Schachanlage Konrad läßt sich auf graphischem Wege mit Hilfe des SCHOELLER-Diagramms vornehmen (Anl. 9).

Die angeschlagenen Wässer hatten stets die entsprechend der Teufenlage zu erwartende Gebirgstemperatur. Abweichungen (Abkühlungen)

sind immer durch die Art der Probennahme erklärbar. Die gemessenen Wassertemperaturen entsprechen einer normalen geothermischen Tiefenstufe.

Die Gesamtmineralisation der Wässer ist bei Abdampfrückständen von im Mittel 228 g/l  $\pm$  12 % hoch und entspricht der Tiefenlage ihres Auftretens. Damit verbunden sind elektrische Leitfähigkeiten von durchschnittlich 168 mS/cm  $\pm$  12 %, so daß man durch einfache Messung der elektr. Leitfähigkeit und Multiplikation mit 1,36 einen Orientierungswert für den Gesamtlösungsinhalt der Wässer erhalten kann. Die hohe Gesamtmineralisation der Tiefengrundwässer ist mit einer mittleren Dichte von 1,143  $\pm$  5 % verbunden.

Die pH-Werte liegen fast stets im sauren Bereich. Dies liegt vor allem an der geringen Pufferung der Wässer durch die sehr geringen  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentrationen. Der untere Extremwert wurde mit pH = 4,53 gemessen, bei dem die  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration schon nahe 0 liegen muß. Dies gilt allerdings uneingeschränkt nur für die unter Normalbedingungen stehende Wasserprobe. In den wassererfüllten Klüften treten stets relativ hohe Drücke auf. In diesem Zustand ist in den Wässern relativ viel gasförmiges  $\text{CO}_2$  gelöst, das bei Austritt der Wässer bzw. bei der Probenentnahme größtenteils entweicht. Analysen von Gasproben /7/ vom Ort 410 N und vor allem vom Ort 300, wo ein Anfangsdruck von 76 bar gemessen worden ist, haben einen  $\text{CO}_2$ -Anteil an dem im Wasser gelösten Gas von bis zu 20 %. Außerdem ist die Temperaturabhängigkeit der Dissoziation des Wassers bei Temperaturen von 40 - 50 Grad Celsius nicht mehr zu vernachlässigen. Allein durch diesen Temperatureinfluß wird der Neutralpunkt der Wässer auf pH = 6,77 (bei 40 Grad Celsius) bzw. pH = 6,70 (bei 50 Grad Celsius) herabgesetzt /15/.

Die gemessenen Redoxpotentiale liegen zwischen 98 mV und 297 mV. Bei den fast völlig sauerstofffreien Tiefengrundwässern sollten

eigentlich geringere Eh-Werte erwartet werden. Es ist jedoch zu bedenken, daß der Eh-Wert als Summenparameter von mehreren unterschiedlichen Redoxreaktionen beeinflußt wird. Unter diesen sind Reaktionen im Rahmen des anorganischen und organischen Schwefel-Zyklus sowie Reaktionen unter Beteiligung des Stickstoff-Spezies von Bedeutung. Diese sind für eine Beurteilung des Redox-Status der Tiefengrundwässer besser geeignet, sind aber in den Analysenumfang nicht einbezogen gewesen. Um den Redox-Status der Tiefengrundwässer der Schachanlage Konrad genauer abschätzen zu können, ist es erforderlich, die absoluten Konzentrationen der gelösten Gase (vor allem  $N_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ) und von  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$  und  $NO_3^-$  sowie, wennmöglich, des Sulfid-Ions heranzuziehen. Nur mit diesen Informationen können die Tiefengrundwässer der Schachanlage Konrad auch unter Berücksichtigung der Redox-Reaktionen, die viele weitere chemische Gleichgewichte beeinflussen, geochemisch umfassend charakterisiert werden.

Die hohen Gesamtmineralisationen sind fast ausschließlich auf gelöstes NaCl zurückzuführen (191 g/l). Dies ist, unabhängig von der geologischen Formation, mit der das Wasser in Kontakt steht, typisch für norddeutsche Tiefengrundwässer; in diesem Rahmen entsprechen die NaCl-Konzentrationen der Tiefengrundwässer aus der Schachanlage Konrad der Teufenlage ihres Auftretens. Damit einher gehen höhere Gehalte vor allem an Calcium und Magnesium, die teilweise ebenfalls in Form von chloridischen Spezies vorliegen. Auf seiten der Anionen tragen außerdem Sulfat und Bromid mit relativ hohen Konzentrationen zur Gesamtmineralisation bei.

Calcium tritt in Konzentrationen zwischen 8200 mg/l und 16600 mg/l auf. Der Mittelwert von 12200 mg/l weist jedoch eine relativ geringe Streuung von nur + 14 % auf. Das Calcium liegt fast ausschließlich als chloridische Spezies vor.

Das Magnesium ist mit Konzentrationen von 1800 mg/l bis 3000 mg/l in den Tiefengrundwässern aus der Schachanlage Konrad vertreten. Der Mittelwert von 2450 mg/l weist jedoch nur eine geringe Streuung von nur  $\pm 11$  % auf. Auch das dem Calcium chemisch ähnliche Magnesium muß fast ausschließlich in Form chloridischer Spezies vorliegen.

Das Kalium weist hohe Werte zwischen 165 und 687 mg/l auf. Die Kalium-Konzentrationen nehmen zwar mit dem Abdampfdruckstand zu, jedoch ist die Korrelation nicht hochsignifikant. Gegenüber Meerwasser, das ein Na/K-Verhältnis von 27,84 aufweist /16/, sind die Tiefengrundwässer der Schachanlage Konrad an Kalium relativ abgereichert.

Genetisch von Bedeutung ist das Strontium, das in Tiefengrundwässern, die Kontakt mit Sulfatgesteinen hatten oder noch haben, bevorzugt gegen gelöste Calcium-Ionen eingetauscht wird. Die Tiefengrundwässer der Schachanlage Konrad führen Strontium-Konzentrationen zwischen 214 mg/l und 576 mg/l, der Mittelwert liegt bei 374 mg/l  $\pm 24$  %. Dies sind sehr hohe Strontium-Konzentrationen, die auf eine primäre Herkunft der Tiefengrundwässer aus Gesteinen, die unter evaporitischen Bedingungen sedimentiert wurden, hinweisen könnten. Die Strontium-Konzentrationen sind stark abhängig vom Gehalt an gelösten Sulfat-Ionen (Abb. 1); beim Erreichen der Löslichkeitsgrenze wird deshalb Celestin ( $\text{SrSO}_4$ ) ausgefällt.

Die relativ hohen I-, Br- und  $\text{BO}_3$ -Konzentrationen der Koralloolith-Wässer sind offenbar formationsspezifisch. Dies trifft auch auf die Korallenoolith-Wässer benachbarter Erdölfelder zu /4/, vor allem dann, wenn eine Oberjura-Überdeckung vorhanden ist.

Die Jodid-Konzentrationen liegen zwischen 13,3 mg/l und 84,0 mg/l (42,5 mg/l  $\pm 38$  %), die Bromid-Konzentrationen liegen zwischen 341,2 mg/l und 1005,8 mg/l (784,0 mg/l  $\pm 84$  %). Iod und Brom werden

bei der Bildung von Evaporiten aus dem Meerwasser in der Restlösung relativ angereichert. Für Iod wird auch eine relative Anreicherung über Tonmembraneffekte für möglich gehalten, da es einen größeren Ionenradius als Chlorid besitzt /16/. In den Tiefengrundwässern der Schachanlage Konrad ist die relative Iod-Anreicherung offenbar an Prozesse gebunden, die sich auf andere der untersuchten Wasserinhaltsstoffe nicht auswirkt. Deshalb sind die Iod-Gehalte mit anderen Wasserinhaltsstoffen allenfalls auf einem geringen Signifikanzniveau korreliert.

In den Tiefengrundwässern der Schachanlage Konrad wurden Borat-Konzentrationen von 45 mg/l bis 149 mg/l gefunden. Über das chemische Verhalten des Bors in wäßrigen Lösungen ist nur wenig bekannt. Das Radikal der Orthoborsäure, das  $\text{BO}_3$ -Ion, ist allerdings nur in alkalischen Lösungen ( $\text{pH} > 8,2$ ) nennenswert dissoziiert. Die Angabe als  $\text{BO}_3$  in den Analysentabellen erfolgte deshalb lediglich aus Gründen der Vergleichbarkeit mit älteren Analysen. Der hydrochemische Analysenvergleich /11, 12/ zeigte, daß die Bestimmung von Bor in hochsalinaren Wässern relativ schwierig ist und die Analysenergebnisse deshalb relativ unzuverlässig sind; eine Deutung von Bor-Konzentrationen darf sich deshalb nicht zu sehr an den Betrag der Analysenwerte anlehnen. Die Größenordnung der  $\text{BO}_3$ -Konzentrationen ist jedoch durchaus charakteristisch für jurassische Tiefengrundwässer im norddeutschen Raum.

Über die Spurenelemente Rubidium und Barium sind auf der Grundlage des vorliegenden Datenmaterials praktisch keine belastbaren geochemischen Aussagen möglich.

Für das Rubidium wurden lediglich zwei Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze gefunden. Diese Werte liegen bei ca. 3,6 mg/l. Alle anderen Bestimmungen ergaben Werte  $< 0,165$  mg/l (Nachweisgrenze). Rubidium, das sich geochemisch ähnlich wie das Kalium verhält, liegt im Grundwasser gewöhnlich nur in Konzentrationen

von wenigen Mikrogramm pro Liter, also unterhalb der mit ICP-AES in hochsalinaren Wässern erreichbaren Nachweisgrenze, vor. Höhere Gehalte wurden in Zechsteinwässern und Begleitwässern von Erdöllagerstätten nachgewiesen / [REDACTED] 1983 in: 16/. Hinsichtlich des Rubidiums entsprechen die Tiefengrundwässer der Schachtanlage Konrad demnach nicht diesen Mineralwassertypen.

Die wenigen Barium Werte (15 Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze) streuen sehr stark zwischen 0,06 mg/l und 3,01 mg/l. Der Analysenvergleich (Kap. 3.2) hatte gezeigt, daß die für hochsalinare Wässer zur Verfügung stehenden analytischen Verfahren die überwiegend geringen Barium-Konzentrationen nicht zuverlässig ermitteln können. Eine geochemische Auswertung der in den Tiefengrundwässern der Schachtanlage Konrad ermittelten Barium-Konzentrationen ist deshalb vorerst nicht möglich. Da das Bariumsulfat sehr schwer löslich ist, können höhere Barium-Konzentrationen nur in praktisch sulfatfreien Wässern erwartet werden. In solchen Wässern können dann in Verbindung mit hohen Salzgehalten oder mit Begleitwässern von Erdöllagerstätten erhöhte Barium-Konzentrationen festgestellt werden, die, wie beim geochemisch ähnlichen Strontium, auf Ionenaustausch-Reaktionen zurückgeführt werden können.

In den Tiefengrundwässern der Schachtanlage Konrad wurden Eisen-Konzentrationen zwischen 0,7 mg/l und 101 mg/l festgestellt; der Mittelwert liegt bei ca. 60 mg/l, die Streuung der Analyseergebnisse ist sehr groß. In gewöhnlichen reduzierten Grundwässern sind Eisen-Konzentrationen von bis zu 10 mg/l normal. Der Chemismus des Eisens in Grundwässern ist relativ kompliziert und von vielen Begleitumständen abhängig. Deshalb sollten die beobachteten Schwankungen der Eisen-Konzentrationen nicht überbewertet werden. Vielmehr erklären sich diese häufig schon aus den Probennahmebedingungen oder den Umständen des Wasserzutritts im Grubengebäude. Beim Kontakt mit Sauerstoff, entweder bei der Probennahme oder bereits innerhalb der Kluft, die die Wässer dem Austrittspunkt im Grubengebäude zuführt, wird durch Ausfällung von  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  das

gelöste Eisen sehr leicht dem Wasser entzogen. Proben vom Ort 300, wo ideale Probenentnahmebedingungen vorhanden sind, zeigen mit Eisen-Konzentrationen von 65 mg/l  $\pm$  38 % allerdings eine ebenso große Streuung der Werte wie z. B. solche vom Ort 660 A (65 mg/l  $\pm$  39 %), wo ein Kontakt mit Luftsauerstoff wesentlich leichter zustande kommen kann. Am Betriebspunkt 410 N, wo nur frei aus einer offenen Kluft austretende Wässer zur Verfügung stehen, streuen die Eisen-Konzentrationen dagegen zwischen 13,8 mg/l und 57,7 mg/l (Mittelwert: 30,2 mg/l  $\pm$  79 %).

Das Mangan tritt in Konzentrationen von 0,9 mg/l bis 10 mg/l (2,5 mg/l  $\pm$  92 %) auf. Bei den herrschenden pH/Eh-Bedingungen liegt es als  $Mn^{2+}$  vor. Die Streuung der Werte ist deutlich geringer, wenn man die einzelnen Wasserzutrittsstellen getrennt betrachtet:

|           |          |       |      |
|-----------|----------|-------|------|
| Ort 300   | 1,3 mg/l | $\pm$ | 9 %  |
| Ort 410 N | 2,1 mg/l | $\pm$ | 11 % |
| Ort 660 A | 2,3 mg/l | $\pm$ | 5 %  |

Eine probennahmebedingte Ausfällung von Mangan ist vor allem am Betriebspunkt Ort 410 N möglich, dort aber aufgrund der gemessenen Konzentrationen nicht sehr wahrscheinlich. Dagegen scheint eine Abhängigkeit von der Gesamtmineralisation zu bestehen.

Die Silizium-Konzentrationen liegen zwischen 2,3 mg/l und 10,4 mg/l. Genetische Hinweise zur Herkunft und Entstehung der Tiefengrundwässer in der Schachtanlage Konrad können aus den Silizium-Konzentration vorerst nicht hergeleitet werden.

### 3.3.5.2 Gelöste Gase

Da die Tiefengrundwässer in der Schachtanlage Konrad im ungestörten Zustand unter hohem Druck gespeichert sind (Anfangsdruck am Ort 300: 76 bar) ist die Konzentration und Zusammensetzung der gelösten Gase nicht zu vernachlässigen. Am Ort 300 konnten, da es sich dort um ein abgepackertes und verschlossenes Bohrloch handelt, Gasproben entnommen und gaschromatographisch untersucht werden. Die Ergebnisse der Gasanalysen sind in Tab.7 dokumentiert.

Die Gasanalysen ergaben hinsichtlich der Hauptbestandteile eine gut zu reproduzierende Zusammensetzung mit 66 - 67 %  $\text{CH}_4$  und ca. 29 %  $\text{N}_2$ . Daneben fanden sich  $\text{C}_2\text{H}_6$ , He, Ar,  $\text{O}_2$  und  $\text{CO}_2$ . Diese Nebenbestandteile sind weniger gut reproduzierbar. Möglicherweise konnte eine geringfügige Kontamination bei der Probenentnahme nicht ganz ausgeschlossen werden.

Zusätzlich wurden von den beiden Betriebspunkten Ort 300 und Ort 410 N Gasproben aus den Grubenwettern entnommen und hinsichtlich der Isotopenverteilung der Kohlwasser-Gase untersucht. Die Ergebnisse /7/ können noch nicht abschließend interpretiert werden.

Die wichtigsten Gase,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2$ , können als ursprünglich im Wasser gelöste Gaskomponenten angesehen werden. Der relativ hohe Anteil elementaren Stickstoffs ist das Ergebnis von Reduktionsreaktionen in den Tiefengrundwässern, evtl. unter mikrobieller Beteiligung; diese hohen Stickstoff-Anteile werden häufig in Tiefengrundwässern vorgefunden und konnten deshalb erwartet



werden. Zur Abschätzung des Redox-Zustandes der Tiefengrundwässer ist allerdings eine absolute Bestimmung der Gasmengen, sowie der ebenfalls bei Redox-Reaktionen entstandenen Stickstoff-Spezies  $\text{NO}_2$  und  $\text{NH}_4$  erforderlich. Die Kohlenwasserstoff-Gase sind überwiegend durch bakterielle Stoffwechsel-Reaktionen entstanden. Dies geht aus ihrer Isotopen-Zusammensetzung (Tab. 8) hervor /7/.

### 3.3.5.3 Geothermometrie

Da die Tiefengrundwässer offensichtlich in einem chemischen Reaktionsgleichgewicht mit ihrem Speichergestein stehen, konnten versuchsweise Bildungstemperaturen mit dem Mg/Li-Geothermometer berechnet werden. Eine Überprüfung des Mg/Li-Verhältnisses in den Wasserproben ergab einen Funktionstyp von der Form der dafür anzuwendenden empirischen Gleichung, so daß die Berechnung der Modelltemperaturen formal gerechtfertigt war (Abb. 2). Das Mg/Li-Geothermometer zeigt gewöhnlich zufriedenstellende Ergebnisse für Bildungstemperaturen zwischen 40 und 75 Grad Celsius und ist damit für die Tiefengrundwässer der Schachanlage Konrad geeignet. Eine wichtige Einschränkung seiner Aussagemöglichkeiten liegt in der bei den vorliegenden Konzentrationen bzw. hohen Gesamtmineralisation der Wässer offenbar etwas problematischen analytischen Bestimmung des Li-Ions.

Bei einem Mittelwert von 39,1 Grad Celsius  $\pm 10 \%$  zeigen die Mg/Li-Modelltemperaturen eine relativ geringe Abhängigkeit von den Entnahmetemperaturen (Abb. 3). Die mittlere Modelltemperatur entspricht (bei Beachtung der o. g. Vorbehalte) der Gebirgstemperatur, bei der sich die Einstellung des chemischen Gleichgewichts vollzog, recht gut. Wenn eine Zumischung von Wässern stattfinden würde, die unter anderen Temperaturbedingungen equilibriert worden sind, dann müßte sich eine Mischungslinie nachweisen lassen.

Eine Abhängigkeit von der Gesamtmineralisation der Wässer (in Abb. 4 am Chlorid-Gehalt gemessen) läßt sich ebenfalls nicht feststellen.

#### 3.3.5.4 Zur Genese der Tiefengrundwässer aus Klüften

Die aus Klüften in der Schachtanlage Konrad zutretenden Tiefengrundwässer sind originäre Tiefengrundwässer ohne Kontamination durch jüngere oder gar oberflächennahe Grundwässer. Dies geht aus ihrer chemischen Zusammensetzung, aber auch aus den Isotopenkonzentrationen (Kap. 4, 5) hervor.

Die Gesamtmineralisation der Wässer (Gesamtrückstand) entspricht der Tiefenlage ihres Vorkommens und fügt sich in dieser Hinsicht in das Schema der Teufenabhängigkeit der Mineralisierung von norddeutschen Tiefengrundwässern ein. Die Entnahmetemperaturen entsprechen den jeweils zu erwartenden Gebirgstemperaturen. Derartige Tiefengrundwässer liegen in der Regel in einem "reduzierten" Zustand vor. Dies ist auch bei den Tiefengrundwässern aus der Schachtanlage Konrad der Fall. Zwar drückt sich dieser reduzierte Zustand im Redoxpotential nicht sehr deutlich aus, die  $N_2$ -Konzentration der im Wasser gelösten Gase zeigt jedoch, daß eine Reduktion stickstoffhaltiger Verbindungen bis hin zum elementaren Stickstoff stattgefunden hat (eine endgültige Beurteilung des Redox-Status ist erst dann möglich, wenn die Absolutgehalte von Stickstoff in den Tiefengrundwässern bestimmt werden können). Auch die Jodid-, Bromid- und Bor-Konzentrationen der Wässer fügen sich in den Gesamtrahmen norddeutscher Tiefengrundwässer gut ein und sind innerhalb dieses (relativ groben) Rahmens formationsspezifisch.

Außer dieser Grobtypisierung der Tiefengrundwässer aus der Schachtanlage Konrad (Anl. 9) sind auch Differenzierungen vorzunehmen.

Die Wässer können hinsichtlich ihrer Gesamtmineralisation in zwei Gruppen zusammengefaßt werden: z. B. weisen die Wässer vom Betriebspunkt Ort 660 A einen Abdampfrückstand von  $233,8 \pm 2 \%$ , die vom Betriebspunkt Ort 300 einen Abdampfrückstand von  $209,5 \pm 2 \%$  auf. Damit einher gehen Chlorid-Konzentrationen von  $130,7 \pm 3,0 \%$  bzw.  $117,8 \pm 0,5 \%$  (Ort 300) einher (Tab. 1). Diese beiden Betriebspunkte können stellvertretend für Wasserzutritte oberhalb (Ort 300) und unterhalb der 4. Sohle (Ort 660 A) angesehen werden. Möglicherweise handelt es sich aber lediglich um eine teufenabhängige Gruppierung.

Generell ist eine hochsignifikante Abhängigkeit der  $\text{Na}^+$ - und  $\text{Cl}^-$ -Konzentration vom Abdampfrückstand festzustellen. Dies bedeutet, daß NaCl der Hauptträger der Gesamtmineralisation der Wässer ist. Dagegen nimmt das Na/K-Verhältnis mit zunehmender Mineralisation ab (Abb. 5); die starken Streuungen der Na/K-Werte sind z. T. auf analytische Unsicherheiten bei der Bestimmung des Kaliums zurückzuführen. Die Gehalte der Erdalkali-Ionen Kalzium und Magnesium nehmen mit zunehmender Mineralisierung ebenfalls zu (Abb. 6, 7); die Gruppierung nach unterschiedlicher Mineralisierung (in Abb. 6, 7 nach Chlorid-Gehalten) ist deutlich zu erkennen. Mit höheren Magnesium-Konzentrationen geht eine Zunahme der Bromid-Gehalte einher (Abb. 8); auch hinsichtlich des Mg/Br-Verhältnisses (Abb. 8) wird wieder die Trennung der Wässer aus dem Bereich der 6. Sohle (bzw. unterhalb der 5. Sohle) von den übrigen Tiefengrundwässern der Schachanlage Konrad besonders deutlich. Deshalb sind hohe Bromid-Konzentrationen auch mit hohen Chlorid-Werten verknüpft (Abb. 9). Eine Probe vom Betriebspunkt 402 läßt auch anhand ihres Mineralisierungsgrades ihre durch die Untersuchung der Isotopenkonzentrationen von  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  und  $^{34}\text{S}$  eindeutig nachweisbare Herkunft aus den Spülversatzfeldern erkennen. Das Ca/Mg-Verhältnis zeigt dagegen keine signifikante Abhängigkeit vom Mineralisierungsgrad (Abb. 10). Die Bindung von Calcium und Magnesium an chloridische Spezies und die recht hohen Konzentrationen

können möglicherweise durch Ionenaustauschprozesse von Erdkali- gegen Natrium-Ionen erklärt werden, die vor allem im Porenraum von Tongesteinen ablaufen können. Gegenüber Meerwasser, das ein Na/K-Verhältnis von 27,84 aufweist /16/, sind die Tiefengrundwässer der Schachanlage Konrad an Kalium relativ abgereichert. Dies könnte auf eine Herkunft der Tiefengrundwässer aus Sedimenten, die bei annähernd evaporitischen Bedingungen gebildet wurden, hinweisen; in der Restlauge von Evaporiten wird nämlich das Kalium bei der Sedimentation sehr stark angereichert und auf diesem Wege den verbleibenden Porenlösungen entzogen.

Für die Genese der Wässer sind außerdem die hohen Strontium-Konzentrationen von Bedeutung. Solche hohen Strontium-Konzentrationen, wie sie in den Tiefengrundwässern der Schachanlage Konrad vorgefunden wurden, treten bevorzugt in solchen Tiefengrundwässern auf, die im Kontakt mit sulfatischen Evaporiten stehen oder standen, wobei ein Austausch von Strontium- gegen Calcium-Ionen stattfindet. Solche evaporitischen Bildungen sind im Korallenoolith nicht vorhanden. Es liegt also nahe, die untersuchten Wässer als allochthone Tiefengrundwässer zu betrachten, die primär Porenlösungen eines Tonsteins mit evaporitischen Anteilen waren und postsedimentär, bzw. sogar postdiagenetisch in die Klüfte im Korallenoolith hineinmigriert sind.

Auf eine derartige Genese der Tiefengrundwässer weisen auch die relativ hohen Jodid- und Bromid-Konzentrationen hin. Jod und Brom werden bei der Bildung von Evaporiten relativ angereichert. Dies ist auf die gute Löslichkeit der chemischen Spezies zurückzuführen, in denen sie enthalten sind. Das Iod ist dabei allerdings überwiegend an organische Substanz gebunden. Der Korallenoolith selbst ist im Gegensatz dazu ein Gestein, das unter hydrodynamisch bewegten und von stetem Wasseraustausch in dem Meeresteil, in dem es sedimentiert wurde, geprägt ist; in einer solchen Fazies tritt eine Anreicherung organischer Substanz wegen optimaler Oxidations-

bedingungen gewöhnlich nicht auf. Dagegen werden Tonsteine häufig in einem meist anoxischen, stets aber hydrodynamisch ruhigen Milieu sedimentiert, indem eine Anreicherung von organischer Substanz in Abhängigkeit von deren Anlieferung in das Sedimentationsbecken stattfinden kann.

Genetisch von Bedeutung ist auch die Feststellung, daß die Rubidium-Konzentrationen stets unterhalb der Nachweisgrenze liegen oder sehr geringfügig sind. Rubidium gilt als Leitelement für Sedimente die während eines progressiven Salinarzyklus nach dem Beginn der Steinsatz-Ausfällung gebildet worden sind. Erhöhte Rubidium-Konzentrationen in Tiefengrundwässern können deshalb als Hinweis auf Ablaugungsvorgänge an Salzstöcken gewertet werden. Wegen der äußerst geringen Rubidium-Konzentrationen ist für die Tiefengrundwässer aus der Schachanlage Konrad eine solche Genese auszuschließen.

Die Fließgeschwindigkeit von Tiefengrundwässern ist fast immer sehr gering; dies gilt auch für die in der Schachanlage Konrad angeschlagenen Tiefengrundwässer. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß sich die chemischen Gleichgewichte zwischen Tiefengrundwasser und dem Mutter- bzw. Speichergestein jeweils vollständig einstellen. Die chemische Zusammensetzung der untersuchten Tiefengrundwässer wird deshalb von den Gesteinen, in denen sie gespeichert sind oder waren, geprägt.

Einige der oben diskutierten Eigenschaften der Tiefengrundwässer zeigen allerdings, daß sie nicht mehr in ihrem Muttergestein gespeichert wird. Die im Korallenoolith heute gespeicherten Tiefengrundwässer sind also nicht synsedimentär entstanden, sondern später in die Klüfte im Korallenoolith hineinmigriert.

Diese o.a. Argumente weisen vielmehr auf eine mögliche primäre Herkunft der Tiefengrundwässer aus den hangenden Unter- und Mittel-Kimmeridge-Serien hin. Diese Kimmeridge-Serien sind aus grauen und grünen Ton- und Tonmergelsteinen zusammengesetzt, die Kalksteinbänke, sowie weiß und rosa gefärbte Anhydritbänke und -Knollenlagen führen. Dies entspricht einer teilweise evaporitischen Fazies. Häufig sind auch Hinweise auf feinverteilte organische Substanz in diesen Gesteinen zu erhalten.

Während der fortschreitenden Ausprägung der gemeinsamen Randsenke der Salzstöcke Broistedt/Vechelde und Thiede wurden diese Gesteine halokinetisch beansprucht, was u.a. im liegenden Korallenoolith zur Öffnung von Zerrklüften führte. Dies ermöglichte wahrscheinlich eine gravitative Entwässerung des Kimmeridge in die offenen Kluftvolumina des Korallenooliths. Der feinsandig ausgebildete Übergangsbereich vom oberen Korallenoolith zur Basis des Kimmeridge wurde während der Auffahrung des Grubengebäudes noch geringfügig wasserführend angetroffen.

Denkbar wäre auch ein Aufdringen von Porenwässern aus dem Liegenden, wo ebenfalls Tonsteine anstehen, und zwar im Zuge der Konsolidierung der sedimentären Füllung des östlichen Gifhorner Troges. Diese Konsolidierung des Sedimentbeckens ist heute praktisch abgeschlossen; über die Beendigung des Konsolidierungsprozesses liegen keine Kenntnisse vor. Dies gilt auch für die Ausbildung der Sedimentgesteine im Liegenden des Korallenooliths und für die in ihnen enthaltenen Porenwässern. Beim gegenwärtigen Kenntnisstand ist deshalb die oben ausgeführte Herleitung der in Klüften des Korallenoolith gespeicherten Tiefengrundwässer diejenige, die durch Beobachtungen belegbar ist.

### 3.3.6 Hydrochemische Untersuchungen im Zuge des Abteufens der Tiefbohrung Konrad 101

Im Rahmen von /9/ waren ursprünglich keine hydrochemischen Analysen durchzuführen. Die durch die Tiefbohrung aufgeschlossenen Tiefengrundwässer sollten lediglich auf ihren Gehalt an natürlichen Radionukliden untersucht werden. Eine dahingehende Bearbeitung der geförderten Wasserproben war wegen starker Verunreinigung mit Bohrspülung jedoch nicht möglich.

Ersatzweise wurden deshalb durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) aus einem

- Bohrbrunnen zur Grundwasserförderung in Söhlde (R 3584385 H 5783800) am 1.3.1985 und aus dem
- Hils-Sandstein, Bohrloch im Schacht Konrad 2 am 21.2.1985

zwei Wasserproben entnommen und im Labor der BGR einer chemischen Analyse unterzogen.

Aus zwei Pumpversuchen am 18.1.1985 an den abgepackerten Teufenbereichen 0-116,2 m (Pumpversuch I) und 155-214 m (Pumpversuch II) hat das Labor der BGR zwei weitere Proben chemisch analysiert.

Das Wasser aus dem Teufenbereich 0-116,2 m stammt aus Ober- und Mittel-Turon-Pläner und ist als Ca-HCO<sub>3</sub>-Wasser zu bezeichnen. Diese hydrochemische Typisierung schließt auch das aus dem Brunnen Söhlde entnommene Wasser ein, der ebenfalls in Oberkreide-Pläner angesetzt ist und könnte aufgrund hydrochemischer Überlegungen charakteristisch für oberflächennahe wasserführende Kreide-Pläner in der näheren Umgebung der Schachtanlage Konrad sein. Das Wasser aus Söhlde kann deshalb trotz seines höheren Sulfat-Gehaltes als relativ gleichwertiger Ersatz für das aus dem Teufenbereich 0-116,2 m der Tiefbohrung Konrad 101 gewonnene Wasser angesehen werden.

Die in der Bohrung Konrad 101 aus dem Teufenbereich 155-214 m gezogene Wasserprobe lieferte ein höher mineralisiertes Na-Cl-Wasser mit einem erhöhten Ca-HCO<sub>3</sub>-Anteil. Das in Schacht Konrad 2 aus dem Hils-Sandstein entnommene Wasser ist damit vor allem hinsichtlich des Mineralisierungsgrades keinesfalls zu vergleichen. Das Wasser aus dem Hils-Sandstein entspricht jedoch dem Chemismus der in der Schachtanlage Konrad auftretenden Tiefengrundwässer relativ gut. Tiefengrundwässer dieses Typs sind im Profil der Tiefbohrung Konrad 101 wahrscheinlich erst unterhalb der seitens der BGR festgestellten Salz-/Süßwasser-Grenze, also unterhalb 220-230 m Tiefe, zu erwarten /21/.



#### 4 Altersbestimmungen

##### 4.1 Methodik der Klassifizierung von Grundwasser nach Alter und Herkunft durch Umweltisotopenmessungen

Die vorliegende Untersuchung stützt sich auf Messungen der Konzentrationen der Umweltisotope  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  und  $^{18}\text{O}$  in Wasser. Im folgenden werden die Prinzipien der Messung und der isotopenhydrologischen Interpretation der Ergebnisse von Messungen dieser Umweltisotope kurz beschrieben /17/.

##### 4.1.1 Tritium

In der Isotopenhydrologie wird vielfach Grundwasser als "jung" bezeichnet, welches sich ganz oder zu einem erheblichen Teil aus Niederschlägen gebildet hat, die nach 1952 gefallen sind. Es besitzt infolge der hauptsächlich bis 1963 durchgeführten Kernwaffenversuche  $^3\text{H}$ -Konzentrationen, die heute noch ein Mehrfaches der natürlichen  $^3\text{H}$ -Konzentrationen von Niederschlägen in Mitteleuropa betragen. Dagegen hat älteres Grundwasser, welches sich aus Niederschlägen gebildet hat, die vor 1953 in den Untergrund einsickerten, heute nur noch Tritiumgehalte von weniger als ca. 1 TU. Wenn man in einem Grundwasser Tritiumgehalt findet, die über etwa 1 TU liegen, so muß dieses Wasser zumindest Anteile aus Niederschlägen enthalten, die nach 1952 gefallen sind. Allerdings kann Tritium auch aus der Luftfeuchte der Grubenwetter in tritiumfreie bzw. -arme Grundwässer eindringen.

Die Bestimmung der Tritiumkonzentrationen erfolgte im allgemeinen durch partielle Elektrolyse von Wasserproben (0,4 l) und Langzeitmessungen in Flüssigkeitsszintillationsspektrometern. Die Meßergebnisse sind in Tritiumeinheiten (TU) angegeben. 1 TU ist definiert als das Verhältnis  $^3\text{H}/\text{H} = 10^{-18}$  und entspricht 3,2 pCi/l Wasser bzw. 0,118 Bq/l Wasser.

#### 4.1.2 Kohlenstoff-14 und Kohlenstoff-13

Der  $^{14}\text{C}$ -Gehalt des Hydrogenkarbonats, Karbonats und des freien  $\text{CO}_2$  im Grundwasser stammt aus dem biogenen Boden- $\text{CO}_2$  und damit letztlich aus der Atmosphäre. Erfahrungsgemäß haben neu gebildete Grundwässer, die kein anthropogenes  $^{14}\text{C}$  enthalten, in Abhängigkeit von den geologischen bzw. geochemischen Verhältnissen im Einzugsgebiet, einen  $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt zwischen etwa 60 und 100% modern (■■■■ 1972). Der  $^{14}\text{C}$ -Gehalt wird als "% modern" angegeben, wobei 100% modern etwa dem spezifischen  $^{14}\text{C}$ -Gehalt lebender organischer Substanz im Jahre 1950 entspricht. 100 % modern entspricht 6,11 pCi bzw. 0,226 Bq pro g Kohlenstoff.

Da sich durch Lösungs- und Fällungsvorgänge sowie Kohlenstoff-Isotopenaustausch der  $^{14}\text{C}$ -Gehalt weiter verringern kann, ist zur Berechnung von  $^{14}\text{C}$ -Modellaltern u.a. die Kenntnis des Chemismus und des  $^{13}\text{C}$ -Gehalts des Grundwassers, der Gesteinsmatrix und der im Grundwasser gelösten Gase notwendig. Der  $^{13}\text{C}$ -Gehalt (bzw. das  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnis) wird als relative ‰-Abweichung von einem Kalksteinstandard (PDB) angegeben ( $\delta^{13}\text{C}$ -Wert).

Da bei der vorliegenden Untersuchung nur der Chemismus und der  $^{13}\text{C}$ -Gehalt des Grundwassers gemessen werden konnte und außerdem die gemessenen  $^{13}\text{C}$ -Gehalte der meisten Grundwasserproben relativ hoch waren, wurden die  $^{14}\text{C}$ -Modellalter unter der stark vereinfachten Annahme der Gültigkeit des  $^{13}\text{C}$ -Korrekturmodells (PEARSON 1965) und eines  $\delta^{13}\text{C}$ -wertes von  $-21 \text{ ‰} \pm 2 \text{ ‰}$  für das Bodengas- $\text{CO}_2$  bzw.  $+1 \text{ ‰} \pm 2 \text{ ‰}$  für das Gestein berechnet ( $^{13}\text{C}$ -korrigierte  $^{14}\text{C}$ -Modellalter).

Zur Bestimmung der  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen in den Grundwasserproben wurde aus 180 l Wasser (bzw. aus größeren Wassermengen von bis zu 860 l) mit  $\text{BaCl}_2$  und karbonatfreier  $\text{NaOH}$  der anorganische Kohlenstoff als  $\text{BaCO}_3$  ausgefällt. Im Laboratorium wurden die  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen nach Überführung des Probenkohlenstoffs in Benzol durch Langzeit-Flüssigkeitsszintillationszählung bestimmt.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnisse wurden nach entsprechender Vorbehandlung der Proben massenspektrometrisch bestimmt.

#### 4.1.3 Deuterium und Sauerstoff-18

Die hydrologische Anwendung von Messungen der  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte (genauer: der Isotopenverhältnisse  $^2\text{H}/^1\text{H}$  und  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) beruht auf den in natürlichen Wässern auftretenden Konzentrationsunterschieden. Diese Unterschiede sind hauptsächlich durch temperaturabhängige Isotopenfraktionierungen bei Phasenumwandlungen (Verdunstung, Kondensation u.a.) vor der Bildung des Grundwassers bedingt. Der Zusammenhang zwischen den  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalten der Niederschläge wird weltweit im Mittel durch die sog. Niederschlagsgerade  $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$  gegeben.

Die Messung der  $^2\text{H}/^1\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnisse erfolgte nach entsprechender Präparation von kleinen Wasserproben (5 ml) massenspektrometrisch.

Die  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte von natürlichen Wässern werden durch die relative ‰-Abweichung des Isotopengehalts der Wasserprobe von dem eines Meerwasser-Standards (V-SMOW) angegeben ( $\delta^2\text{H}$ - bzw.  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert).

#### 4.1.4 Schwefel-34

Schwefel ist in der Natur mit vier stabilen Isotopen (Schwefel 32, Schwefel-33, Schwefel-34, Schwefel-36) vertreten, von denen das Isotop Schwefel-32 ca. 97 % einnimmt. In Grundwasser ist der Schwefel vor allem in gelösten Sulfationen enthalten. Es ist üblich, Schwefelisotopengehalte in der  $\delta$ -Notation wiederzugeben:

$$\delta \text{ S-34 } (\text{‰}) = (R(\text{Probe}) - R(\text{Standard})) / R(\text{Standard}) * 1000.$$

Da der Standard (Troilit-Schwefel aus dem Canon Diablo-Meteoriten) isotopisch mit der mittleren Zusammensetzung des irdischen Schwefels übereinstimmt, können die  $\delta$ -Werte von Wasserproben direkt als Fraktionierungsgrad gegenüber dem terrestrischen Mittelwert der Schwefel-isotopen-Verteilung interpretiert werden.

Die natürliche Isotopenfraktionierung des Schwefels ist u. a. auf folgende Prozesse zurückzuführen /18/:

1. Lösungs- und Fällungsprozesse während Oxidationsstufenänderungen in der Folge von Redoxreaktionen.
2. Reduktion von Sulfat durch Mikroorganismen (Biologischer Schwefel-Kreislauf) bzw. deren Unterbindung.
3. Fällung von Metallsulfiden und Erdalkalisulfaten, vorzugsweise in bestimmten Zeitabschnitten der Erdgeschichte.

Die Geochemie des Schwefels ist (einschließlich der biogeochemischen Prozesse) ein äußerst komplexes Arbeitsgebiet. Obwohl eine Altersbestimmung mittels  $^{34}\text{S}$  nicht direkt möglich ist, zeigen die Gehalte von Schwefel-34 in Grundwässern dennoch, ähnlich wie diejenigen aus Evaporit-Gesteinen, eine Abhängigkeit vom geologischen Alter der mit ihnen in Kontakt stehenden Aquifer-Gesteine.

## 4.2 Ergebnisse und Interpretation der Umweltisotopenmessungen

### 4.2.1 Wässer aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2

Aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und 2 wurden 26 Grundwasserproben im Zeitraum 07.07. bis 15.08.1984 entnommen und die Konzentrationen der Isotope  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  und  $^{18}\text{O}$  bestimmt (Tab. 2).

#### 4.2.1.1 Tritium

Die Wasserproben haben Tritiumkonzentrationen von 0,7 bis ca. 26 TU und können altersmäßig in zwei Gruppen eingeteilt werden. In den Proben VI/2-35/1, KII/1-39 und VII/1-39/1 konnte Tritium nachgewiesen werden, das im wesentlichen durch die von 1953 bis 1963 durchgeführten Kernwaffentests in die Atmosphäre gelangte. Während die Probe VI/2-35/1 ( $^3\text{H}$ -Gehalt 6,7 TU) nur zu einem geringen Teil aus Niederschlagswasser der letzten drei Jahrzehnte besteht und somit im wesentlichen Anteile von Wasser enthält, das älter als 3 Jahrzehnte ist, enthalten die Proben KII/1-39 und VII/1-39/1 wegen der höheren Tritiumkonzentrationen (18,3-25,8 TU) einen erheblichen Anteil Grundwasser, das sich aus Niederschlägen der letzten drei Jahrzehnte gebildet hat. Alle anderen Proben enthalten keine mit dem angewandten Analysenverfahren nachweisbaren Tritiumkonzentrationen und bestehen somit aus Grundwasser, das sich vor 1953 aus Niederschlägen gebildet hat.

Trägt man u.a. die Tritiumkonzentrationen von Grundwasserproben aus den Schächten Konrad 1 (Abb. 11) und Konrad 2 (Abb. 12) gegen die Entnahmetiefe der Grundwasserproben auf, so erkennt man, daß nur in einer Tiefe von 35 m (Schacht Konrad 1) bzw. 39 m (Schacht Konrad 2) Tritium im Grundwasser nachgewiesen wurde; die unterschiedlichen Konzentrationen deuten auf unterschiedlich große Anteile von relativ jungem Grundwasser hin. In größeren Tiefen konnte innerhalb der Meßgenauigkeit des angewandten Analysenverfahrens kein Tritium nachgewiesen werden; diese Grundwässer haben sich also aus Niederschlägen der Zeit vor 1953 gebildet und können erheblich älter als drei Jahrzehnte sein.

#### 4.2.1.2 Kohlenstoff-14

Die in den Grundwässern aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und 2 gemessenen  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen liegen in einem Bereich von <1,2 bis 33% modern. Die Abnahme der  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen in den Grundwasserproben ist mit einer Zunahme der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte korreliert (Abb. 13). Dies deutet auf einen Isotopenaustausch zwischen Grundwasser und Aquifergestein hin, durch den zusätzlich zum radioaktiven Zerfall des  $^{14}\text{C}$  eine Abnahme der  $^{14}\text{C}$ -Konzentration im Grundwasser bewirkt wird und ein u.U. zu großes Wasseralter vorgetäuscht wird. Die  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen ergeben (mit Ausnahme der überprüfungsbedürftigen Probe KII/2-50 vom 08.08.1984)  $^{13}\text{C}$ -korrigierte  $^{14}\text{C}$ -Modellalter bis zu etwa 11 000 Jahren und entsprechen damit holozänem Grundwasser. Bei den Proben KI/8-140 und VI/9-160/1 kann kein  $^{14}\text{C}$ -Modellalter angegeben werden, da bei diesen Grundwasserproben aufgrund der sehr hohen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ein nahezu vollständiger Kohlenstoffisotopenaustausch mit der Gesteinsmatrix stattgefunden haben kann.

Trägt man die  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen der Grundwasserproben gegen die Entnahmetiefe auf (Abb. 11 und 12), so erkennt man, daß die  $^{14}\text{C}$ -Gehalte der Grundwässer aus dem Schacht Konrad 1 von ca. 31 % mod. in 65 m Tiefe auf nicht nachweisbare  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen (in Abhängigkeit von der verfügbaren Kohlenstoffmenge  $<1,2$  bis  $<5,1$  % mod.) in 140 bzw. 160 m Tiefe abnehmen. Die  $^{14}\text{C}$ -Gehalte der Grundwässer aus dem Schacht Konrad 2 nehmen von ca. 33 % mod. in 39 m Tiefe auf ca. 11 % mod. in 80 bzw. 110 m Tiefe ab.

#### 4.2.1.3 Deuterium und Sauerstoff-18

Die  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte der untersuchten Proben liegen bei  $\delta^2\text{H} = -59,2$  bis  $-54,5$  ‰ bzw.  $\delta^{18}\text{O} = -8,62$  bis  $-7,89$  ‰ und sind mit Isotopengehalten neugebildeter Grundwässer in diesem Gebiet bei geringerer Streubreite vergleichbar. Die Meßwerte gruppieren sich im  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm (Abb. 14) um die sog. Niederschlagsgerade, die durch die Beziehung  $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$  gegeben ist.

#### 4.2.2 Wässer aus Träufelrinnen

An 7 Proben von Wässern aus Träufelrinnen der Grube Konrad wurden  $^2\text{H}$ -,  $^{18}\text{O}$ - und  $^3\text{H}$ -Messungen und an 1 Probe davon zusätzlich  $^{14}\text{C}$ - und  $^{13}\text{C}$ -Analysen durchgeführt (Tab. 2).

Die  $^3\text{H}$ -Konzentrationen liegen zwischen  $<1,0$  und  $3,6$  TU und sind damit relativ niedrig. Demnach enthalten die Wässer hauptsächlich Wasser, welches sich aus Niederschlägen der Zeit vor 1953 gebil-

det hat. Die geringen  $^3\text{H}$ -Gehalte können teilweise oder vollständig aus der Luftfeuchte der Grubenwetter stammen (Isotopenaustausch oder Kondensation). Die im Januar 1986 an einigen Stellen gemessenen  $^3\text{H}$ -Gehalte der Grubenwetter lagen um 15 TU.

Die  $\delta^{2\text{H}}$ - bzw.  $\delta^{18\text{O}}$ -Werte der Wasserproben liegen zwischen -47,5 und -24,5 ‰ bzw. -5,89 und +0,90 ‰ (Abb. 15). Alle  $\delta$ -Werte sind deutlich höher als bei den Grundwässern aus Schachtbohrungen und deuten damit auf Wasser anderer Herkunft bzw. starke Verdunstungseinflüsse.

In der Probe Träufelrinne 470 m vom 14.10.1985 ist trotz der relativ großen Standardabweichung (bedingt durch die trotz einer Wasserprobenmenge von ca. 620 l nur geringen verfügbaren Kohlenstoffmengen)  $^{14}\text{C}$  eindeutig nachgewiesen worden. Die  $^{14}\text{C}$ -Konzentration liegt erwartungsgemäß deutlich unterhalb der an oberflächennahen Grundwässern gemessenen Werte. Der  $^3\text{H}$ -Gehalt der Probe Träufelrinne 470 m vom 14.10.1985 könnte entweder auf die Zumischung eines geringen Anteils jungen Grundwassers oder auch auf Kondensation aus der Wetterfeuchte bzw. auf Isotopenaustausch mit der Wetterfeuchte zurückzuführen sein. Im letzteren Fall müßte auch ein Eintrag von  $^{14}\text{C}$  aus dem  $\text{CO}_2$  der Grubenwetter in Betracht gezogen werden. Der  $^{13}\text{C}$ -Wert des Wassers aus der Träufelrinne liegt zwar im Bereich von Grundwasser üblicher Genese, er könnte aber u.U. auch durch in den Grubenwettern vorhandenes  $\text{CO}_2$  organischer Herkunft (fossile Brennstoffe) beeinflusst sein.

#### 4.2.3 Wasser aus Sümpfen

Aus Sümpfen der Grube Konrad wurden an 11 Wasserproben  $^2\text{H}$ -,  $^{18}\text{O}$ - und  $^3\text{H}$ -Messungen und an zwei Proben zusätzlich  $^{14}\text{C}$ - bzw.  $^{13}\text{C}$ -Analysen durchgeführt (Tab. 2).



Die  $^3\text{H}$ -Konzentrationen liegen zwischen  $<1,3$  und  $26,5$  TU und zeigen damit eine große Variationsbreite. Die  $^3\text{H}$ -Gehalte der Proben aus dem Schachtsumpf Schacht Konrad 2 und den Pumpensümpfen 1/2, 1/4 und 1/5 entsprechen mit ihren nicht nachweisbaren bzw. relativ niedrigen Werten etwa den Proben aus den Trüffelrinnen mit entsprechender Deutung. Die Proben aus dem Schachtsumpf Schacht Konrad 1 enthalten erhebliche, zeitlich konstante  $^3\text{H}$ -Gehalte, die auf einen wesentlichen Anteil von Grundwasser (bzw. Kondenswasser) deuten, das sich aus Niederschlägen aus der Zeit nach 1953 gebildet hat.

Die an zwei Proben aus Pumpensümpfen gemessenen  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen von  $<3,4$  % modern (Pumpensumpf 1/5) bzw.  $9,6 \pm 5,1$  % modern (Pumpensumpf 1/4) ergeben wegen der sehr hohen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ( $-0,5$  bzw.  $-0,2$  ‰) keine aussagefähigen  $^{14}\text{C}$ -Modellalter. Bei der Probe aus dem Pumpensumpf 1/4 kann im übrigen eine  $^{14}\text{C}$ -Kontamination durch das in den Grubenwettern vorhandene Luft- $\text{CO}_2$  nicht ausgeschlossen werden.

Die  $\delta^2\text{H}$ - bzw.  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte liegen zwischen  $-48,3$  und  $-22,5$  ‰ bzw.  $-6,49$  und  $-0,05$  ‰ (Abb. 15) und unterscheiden sich deutlich von den Werten für oberflächennahe Grundwässer.

#### 4.2.4 Wässer aus Klüften und Tropfstellen

An 19 Wasserproben aus Klüften wurden Konzentrationen der Isotope  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$  und  $^{18}\text{O}$  sowie an einigen Wasserproben auch  $^{13}\text{C}$ - und  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen gemessen (Tab. 2).

Die  $^3\text{H}$ -Konzentrationen liegen zwischen  $<0,7$  und  $10,7$  TU, wobei in den meisten Fällen kein  $^3\text{H}$  nachgewiesen werden konnte. Damit

besteht der größte Teil der untersuchten Wasserproben aus Grundwasser, das sich (u.U. lange) vor 1953 neugebildet hat. Proben, in denen  $^3\text{H}$  nachgewiesen wurde, enthalten geringe Anteile von jüngerem Wasser, das möglicherweise durch Isotopenaustausch mit den Grubenwettern in die Proben gelangt sein kann. Der relativ hohe  $^3\text{H}$ -Gehalt der Probe 402/2 vom 02.10.1985 kann durch erhebliche Anteile von  $^3\text{H}$ -haltigem Wasser aus den Spülversatzfeldern erklärt werden. Die an 2 Proben durch Beschleuniger-Massenspektrometrie gemessenen  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen vom Ort 300 (vom 10.01.1985 bzw. 19.03.1985) liegen bei 5,1 bzw. 2,5 % modern (Mitteilung vom Phys. Inst. der Univ. Bern). Wegen der bei geringen anorganischen Kohlenstoffkonzentrationen nur schwer ausschließbaren  $^{14}\text{C}$ -Kontamination /19/ sind diese gemessenen  $^{14}\text{C}$ -Gehalte vermutlich nur als obere Grenzwerte für die im Grundwasser vom Ort 300 enthaltenen  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen zu betrachten. Für die am 19.03.1985 am Ort 300 entnommene Probe ergibt sich dabei ein  $^{13}\text{C}$ -korrigiertes  $^{14}\text{C}$ -Modellalter von mehr als 10 000 Jahren.

Die relativ hohen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Kluftwässer, die bei -4,3 bis 0,1 ‰ liegen, deuten auf Grundwässer mit abweichender Genese gegenüber üblich gebildeten Grundwässern bzw. auf Isotopenaustausch mit der Gesteinsmatrix hin.

Die  $\delta^2\text{H}$ - bzw.  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Wasserproben liegen in einem (relativ engen) Bereich von -33,1 bis -14,7 ‰ bzw. -1,49 bis +7,94 ‰, der darauf deutet, daß das Wasser Verdunstungsvorgängen ausgesetzt war. Aus hydrologischer Sicht kann geschlossen werden, daß sich die Verdunstung des Wassers nicht in der Gegenwart abgespielt hat. Somit kann es sich um Formationswässer handeln.

### 4.3 Ergebnisse der Schwefelisotopen-Bestimmungen

Es wurden  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte zwischen  $-4,2 \text{ ‰}$  und  $+43,0 \text{ ‰}$  gefunden (Tab. 3). Ein Wert von  $\delta^{34}\text{S} = 0 \text{ ‰}$  entspricht der mittleren terrestrischen Schwefelisotopenverteilung. In jungen Grundwässern findet man meist  $\delta^{34}\text{S} = 0 \text{ ‰}$ , ein Wert von  $\delta^{34}\text{S} = 20 \text{ ‰}$  entspricht der Schwefelisotopenverteilung im Sulfat von rezemem Meerwasser. Dies war nicht immer so, vielmehr lagen die  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte in jurassischem Meerwasser um  $15 \text{ ‰}$  /17/.

Die an den Wasserproben aus dem Grubengebäude gemessenen  $^{34}\text{S}$ -Konzentrationen zeigen demnach, daß die Proben relativ mit  $^{34}\text{S}$  angereichert sind (Abb. 16). Dies ist möglicherweise auf eine Isotopenfraktionierung im Zuge der Diagenese der Tiefengrundwässer zurückzuführen; die Möglichkeit einer solchen Deutung ergab sich auch schon aufgrund der  $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnisse der Tiefengrundwässer im Vergleich mit der "Niederschlagsgeraden". Dieser Vergleich ließ bereits vermuten, daß die Wässer sich im Verlauf des grundwasserdiagenetischen Aufkonzentrierungsprozesses hinsichtlich einer Isotopenfraktionierung ähnlich verhalten haben, als wenn sie "Verdunstungseinflüssen" unterlegen hätten.

Dagegen haben die quartären Grundwässer, die aus den Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 gewonnen worden waren,  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte um  $0 \text{ ‰}$  (Abb. 16).

Die im Bereich kretazischer Gesteine in den Schachtbohrungen aufgetretenen Wässer haben erwartungsgemäß  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte um  $20 \text{ ‰}$ .

Demzufolge ist eine Kontamination von in Grubengebäuden auftretenden Wässern durch solche aus dem oberflächennahen quartären Grundwasserleiter anhand der  $^{34}\text{S}$ -Konzentration gut zu erkennen. Dies zeigt sich insbesondere an der Wasserprobe aus dem Exten-

someter-Bohrloch 2 am Ort 402. Von diesem Wasser war bereits vor der Beprobung bekannt, daß es aus den Spülversatzfeldern oberhalb der 4. Sohle stammen mußte. Wegen des allgemeinen Wassermangels in der Schachanlage Konrad ist es seinerzeit erforderlich gewesen, das für den Spülversatz benötigte Wasser von Übertage in das Grubengebäude einzubringen. Bereits die Tritium- und  $^{14}\text{C}$ -Konzentrationen aus der Probe vom Ort 402 hatten angezeigt, daß es sich um große Anteile von jungem Grundwasser handeln mußte, obwohl sich das Wasser chemisch nicht sonderlich von anderen Wässern in der Schachanlage Konrad unterscheidet. Durch den relativ geringen  $^{34}\text{S}$ -Gehalt des Wassers wird diese Erkenntnis bestätigt.

Den Einfluß oberflächennahen Grundwassers zeigen auch die Pumpensümpfe 1/4 und 1/5, die während der Auffahrung der Erkundungs- und Schachtanbindungsstrecke auf der 1. Sohle beprobt worden waren. Während der Streckenauffahrung waren besonders intensive Fahrbahnunterhaltungsmaßnahmen erforderlich, für die das Mischwasser aus der Wasservorratsstrecke verwendet worden ist. Der in einer von der jüngsten Auffahrung auf der 1. Sohle nicht berührten Strecke liegende Pumpensumpf 1/2 führt dagegen normale  $^{34}\text{S}$ -Werte, die zeigen, daß dieses Wasser nicht mit jungem, oberflächennahem Grundwasser kontaminiert ist.

Die o. a. Unterschiede in der Schwefelisotopen-Zusammensetzung sind signifikant. Die verfahrensbedingten Bestimmungsfehler (Standardabweichung) von Schwefel-34 liegen bei  $\pm 1 \text{ ‰}$  und sind damit deutlich geringer als die beobachteten Differenzen.

## 5 Konzentrationen natürlicher Radionuklide

Die nachzuweisenden Radionuklide und die bei den Messungen geforderten Nachweisgrenzen wurden in Anlehnung an die in der Strahlenschutzverordnung /1/ vorgeschriebenen Messungen an Oberflächengewässern festgelegt. Darüberhinaus wurden Messungen einzelner radioökologisch besonders wichtiger Nuklide, die in radioaktiven Abfällen enthalten sein können, zur Beweissicherung vorgesehen.

Im einzelnen wurden die Proben hinsichtlich ihres Gehalts an folgenden z. T. künstlichen Radionukliden, die oberirdischen Kernwaffenversuchen entstammen und durch den Grubenbetrieb in die in der Grube auftretenden Wässer eingetragen werden, sowie an z. T. natürlich auftretenden Radionukliden, die den Zerfallsreihen von U und Th entstammen, vermessen:

|        |                        |
|--------|------------------------|
| H 3    | K 40                   |
| I 127  | I 129                  |
| Cs 137 | Ra 226 (Pb 214/Bi 214) |
| Ra 228 | U 238 (Th 234)         |

Zusätzlich wurde die Brutto- $\beta$ -Aktivität bestimmt.

Zur Bestimmung der Rest- $\beta$ -Aktivität (= Gesamt- $\beta$ -Aktivität gamma-spektrometrisch ermittelt.

In Umweltproben werden die Rest-Beta-Aktivität und die Alpha-Aktivität in erster Linie durch Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen verursacht. Die Alphastrahler mit der größten radiologischen Bedeutung (vor allem also das Ra 226) wurden bereits gammaspektrometrisch, bzw. nach chemischer Abtrennung mit empfindlicher Einzelnuclid-Analyse gemessen. Die Messungen wurden im GSF-Institut für Strahlenschutz ( ) vorgenommen.

Die Nachweisgrenzen wurden nach Maßgabe der Strahlenschutz-Verordnung /1/ sowie der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen /2/ festgelegt. Für die Umgebungsüberwachung müssen die Nachweisgrenzen für künstliche Radionuklide jeweils weniger als 1/30 derjenigen Konzentration betragen, bei der durch eine jährliche Trinkwasseraufnahme von 880 l /3/ die Grenzwerte nach § 45 StrlSchV erreicht werden. Die Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide (hier: K 40, Th- und U-Folgeprodukte) bleibt nach § 28 (2) StrlSchV unberücksichtigt. Aus den Werten gemäß Anlage IV, Spalte 6 der StrlSchV (Grenzwerte der Jahres-Aktivitätszufuhr durch Ingestion) bzw. /2/ ergeben sich damit folgende Nachweisgrenzen:

| Nuklid               | Grenzwert lt.<br>Berechnungsgrdl.<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) | Nachweisgrenze<br>(erreicht)<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---|--|
| H 3                  | 220 000   | 154,7  |
| K 40                 | -   | 100  |
| Pb 210               | 8   | 60   |
| I 129                | 12,5  | 0,2  |
| Cs 137               | 1 000   | 30   |
| Ra 226               | 0,8   | 20   |
| U nat                | 38  | 20   |
| Th nat               | 80  | 30   |
| Rest-β-<br>Aktivität | 110   | 110  |

Diese Grenzwerte werden durch die Bestimmungsverfahren in den meisten Fällen unterschritten.

Von den künstlichen Radionukliden waren in den Tiefengrundwässern der Schachanlage lediglich H 3, sowie auch C 14, nachzuweisen. Diese sind mit großer Sicherheit über die Bewetterung

bzw. Frischwasserzufuhr in das Grubengebäude eingetragen worden oder als Kontamination während der Probenentnahme in die Proben gelangt. Dies ergaben u. a. Nachbeprobungen für die Tritium-Bestimmung unter besonders aufwendigen Bedingungen. Die weitere Verfeinerung der Probenentnahme hinsichtlich einer Minimierung der Kontamination durch die Grubenwetter muß deshalb eine der künftigen Aufgaben sein.

Die natürlich vorkommenden Radionuklide konnten erwartungsgemäß in fast allen Wasserproben nachgewiesen werden.

In den Träufelrinnen 470 m und 870 m waren, entsprechend den gleichbleibenden Kalium-Konzentrationen, auch relativ gleichbleibende K 40-Aktivitätskonzentrationen nachzuweisen. Auch in den Tiefengrundwässern aus Klüften innerhalb des Grubengebäudes waren die K 40-Aktivitäten gewöhnlich mit den absoluten Kalium-Konzentrationen vergleichbar (Tab. 5). K 40 nimmt einen Anteil von ca. 0,012 % am natürlichen Kaliumisotopen-Gemisch ein. Die aus der Tabelle ersichtlichen Abweichungen vom natürlichen Kaliumisotopen-Verhältnis können möglicherweise auf die Unsicherheiten bei der chemischen Analyse des Kalium-Ions zurückgeführt werden.

Das Radium verhält sich als Erdalkalielement ähnlich wie das Barium, d. h. es bildet bei den gegebenen pH-Werten relativ schwerlösliche Karbonate und Sulfate. Der Radium-Gehalt in den Tiefengrundwässern ist deshalb stark von ihrer Verweildauer im Speichergestein abhängig. Die Aktivitätskonzentrationen des langlebigen Ra 226 liegen zwischen 2,4/ und 9,3 Bq/l und sind damit im allgemeinen relativ hoch. Eine Ausnahme bildet der Ra 226-Gehalt der Wasserprobe vom Ort 402, Extensometer-Brl. 2, der mit 1,7 Bq/l eher mit den Ra 226-Aktivitäten oberflächennaher Grundwässer zu vergleichen ist. Dies ist darauf zurückzuführen, daß es sich in diesem Fall um Wasser aus den Spül-

versatzfeldern handelt; für den Spülversatz wurde überwiegend oberflächennahes Grundwasser herangezogen. Die übrigen Ra 226-Aktivitätskonzentrationen liegen mit 2,4 - 9,3 Bq/l relativ hoch. Obwohl die Ra 226-Aktivitätskonzentrationen natürlich stark von der lokalen Verteilung der natürlichen Uran-Isotope im Speichergestein abhängig sind und dadurch größere Schwankungen in den Ra 226-Aktivitätskonzentrationen erwartet werden müssen, deuten auch diese Untersuchungsergebnisse möglicherweise auf längere Verweilzeiten der Tiefengrundwässer im Korallenoolith hin. Meßbare Uran-Aktivitätskonzentrationen (U 238) konnten in den Tiefengrundwässern nicht nachgewiesen werden. Dies ist nicht überraschend, da bei den vorliegenden pH/Eh-Bedingungen nur schwerlösliche Uran-Spezies stabil sind.

Mittels der sehr empfindlichen Neutronen-Aktivierungsanalyse bestimmte Konzentrationen von I 127 und I 129 (absolute Nachweisgrenze für I 129: 55 fCi = 2,04 mBq, Nachweisgrenze für die untersuchte Gesamtprobe:  $1,02 \cdot 10^{-4}$  Bq/l) ergaben für I 129 keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze (Tab. 6). Das langlebige Isotop I 129 (Halbwertszeit  $1,57 \cdot 10^7$  Jahre) kann aus kerntechnischen Anlagen emittiert werden; sein Auftreten in den Tiefengrundwässern konnte deshalb auch nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit erwartet werden.



## 6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die hydrochemische Bearbeitung der in der Schachtanlage Konrad auftretenden Wässer umfaßte die Gesamtheit aller Wasservorkommen im Grubengebäude. Die Wässer stammten aus

- den Träufelrinnen des Schachtes Konrad 2,
- den Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2,
- Pumpensämpfen,
- wasserführenden Klüften, die während des Erkundungs- und Streckenauffahrungsprogramms im Grubengebäude angeschlagen worden waren, sowie an weiteren Tropfstellen und
- der Tiefbohrung Konrad 101

und sind damit sehr unterschiedlicher Herkunft, Entstehung und sekundärer Überprägung.

Auch die vor Aufnahme des PTB-Untersuchungsprogramms seitens der GSF durchgeführten hydrochemischen Analysen wurden nochmals in die Auswertung einbezogen.

Die Anzahl der Wasserzutritte innerhalb des Grubengebäudes und die Summe der Zutrittsmengen sind von beinahe zu vernachlässigender Bedeutung. Auch anfangs hohe Schüttungsraten aus neu angefahrenen oder erbohrten Klüften gehen sehr schnell zurück, um nach kurzer Zeit (oft schon nach wenigen Stunden) nur noch Tropfwasser zu liefern oder gänzlich zu versiegen. Diese geringen Wassermengen erschweren die kontaminationsfreie Probenentnahme und damit die hydrochemische und radiometrische Bearbeitung der Tiefengrundwässer z. T. beträchtlich.

Die hydrochemischen Untersuchungen ermöglichen eine Typisierung der Wässer. Während oberflächennahe Grundwässer vor allem vom Typ der Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub>-Wässer (wenn Pläner-Kalke den Grundwasserleiter bilden) oder vom Typ der Ca-Na-Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Wässer (quartärer Grundwasserleiter im Bereich von Schacht 2) sind, werden in größeren Tiefen unterhalb von ca. 100 m nur noch Tiefengrundwässer vom Na-Cl-Typ angetroffen. Dies ist der normale Tiefengrundwasser-Typ in Norddeutschland. Die Mineralisierung dieser Tiefengrundwässer ist von der Teufenlage ihres Auftretens und damit von ihrer Verweilzeit im Grundwasserleiter abhängig. Diese Aussagen können aus der synoptischen Betrachtung der hydrochemischen Untersuchungen von Wässern aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2, von Wässern aus den Trüffelrinnen in Schacht Konrad 2 und von Wässern, die aus Bohrlöchern, angeschlagenen Klüften oder aus Tropfstellen dem Grubengebäude zutreten, abgeleitet werden.

Die im Bereich der Schächte zutretenden Wässer sind jedoch mehr oder weniger stark durch jüngere Grundwässer bzw. Kondenswasser (Trüffelrinnen) kontaminiert. Diese Kontaminationen lassen sich an der chemischen Zusammensetzung der Wässer in der Regel nicht erkennen. Vielmehr nehmen Wässer, die in das Grubengebäude eingebracht werden, stets relativ schnell die für originäre Tiefengrundwässer, wie sie im Bereich der Schachtanlage Konrad auftreten, typische Zusammensetzungen an. Lediglich bei Wässern, die den Spülversatzfeldern entstammen, ist der hohe Anteil von Frischwasser an einer etwas geringeren Gesamtmineralisation zu erkennen. Stets sind solche Kontaminationen jedoch anhand der Isotopenkonzentration von Tritium, Kohlenstoff-14 und Schwefel-34 gut zu erkennen.

Originäre Tiefengrundwässer, die aus Klüften und Störungen dem Grubengebäude zufließen, sind hinsichtlich der Hauptbestandteile normale Na-Cl-Wässer mit im Mittel ca. 230 g/l gelösten, anorganischen Bestandteilen. Ihre Wassertemperatur entspricht der bei

einer normalen geothermischen Tiefenstufe zu erwartenden und liegt demzufolge zwischen 40 und 50 Grad Celsius. Wegen der geringen Konzentration von Karbonat-Spezies und der damit verbundenen geringen Pufferung der Wässer liegen die pH-Werte im sauren Bereich. Die Wässer befinden sich in einem praktischen sauerstofffreien, reduzierten Zustand; dies ist an den gemessenen Redoxpotentialen nicht unmittelbar zu erkennen, wird jedoch an den hohen Gehalten an elementarem Stickstoff dort deutlich, wo es möglich ist, nahezu kontaminationsfreie Proben der in den Tiefengrundwässern gelösten Gase zu entnehmen.

Bei den Nebenbestandteilen fällt auf, daß die Erdalkalien Calcium und Magnesium als chloridische Spezies vorliegen. Gegenüber Meerwasser, aus dem die Tiefengrundwässer ursprünglich mit großer Wahrscheinlichkeit entstanden sind, weisen sie eine Abreicherung an Kalium auf, was auf eine Herleitung von Porenwässern aus evaporitisch gebildeten Sedimenten hindeutet. Darauf deuten auch die relativ hohen Strontium-Konzentrationen hin, die jedoch aus Gründen der Löslichkeit der gemeinsam gebildeten Spezies reziprok vom Sulfat-Gehalt abhängig sind. Auch die relative Jod-Anreicherung in den originären Tiefengrundwässern deutet auf eine evaporitische Entstehung der ursprünglichen Muttergesteine der Tiefengrundwässer hin. Eine Klassifizierung von Wässern, die oberhalb der 4. und unterhalb der 5. Sohle auftreten nach dem Gesamtionengehalt, kann zunächst lediglich als Teufenabhängigkeit interpretiert werden.

Die Tiefengrundwässer stehen sicherlich weitgehend im chemischen Gleichgewicht mit den Kluftgesteinen, in denen sie zur Zeit gespeichert sind. Jedoch gibt es Hinweise dafür, daß diese nicht das ursprüngliche Muttergestein gewesen sein können. Das Muttergestein war, wie der chemischen Zusammensetzung der Tiefengrundwässer zu entnehmen ist, ein Tonstein, der evaporitische Bildungen und eine gewisse Anreicherung an organischer Substanz aufweist. Solche Bildungen sind im Korallenoolith nicht vorhanden.

Vielmehr ist der Korallenoolith, vor allem dort, wo er als oolithischer Sand- oder Kalkstein ausgebildet ist, ein Sediment, das unter starker Wasserbewegung und bei stets gutem Wasseraustausch entstanden ist. In einem solchen Gestein sind weder evaporitische Bildungen noch eine Anreicherung von organischer Substanz möglich. Es ist deshalb davon auszugehen, daß das Muttergestein der Tiefengrundwässer in der Schachanlage Konrad nicht die Serie des Korallenooliths gewesen sein kann.

Dagegen kommen die Serien des unteren und mittleren Kimmeridge, im Hangenden der Korallenoolith-Serie, als primäres Speichergestein für diese Tiefengrundwässer durchaus in Betracht. Diese Gesteine wurden an der Jura/Kreide-Grenze (kimmerische Phase) tektonisch kräftig durchbewegt. Dies kann sowohl die Auspressung der Porenlösungen aus den Tonsteinen, als auch das Aufreißen von Klüften im Korallenoolith bewirkt haben, die die migrierenden Wässer langfristig speichern konnten. Der feinsandig ausgebildete Übergangsbereich vom oberen Korallenoolith zum unteren Kimmeridge wurde während des Abteufens von Schacht Konrad 1 immer noch wasserführend angetroffen (Porengrundwasserspeicher).

Dagegen ist eine Herleitung der in der Schachanlage Konrad angeschlagenen Tiefengrundwässer von Ablaugungswässern benachbarter Salzstöcke auszuschließen. Auch eine Herleitung von aufsteigenden Porenwässern kann zur Zeit nicht belegt werden. Der Grundwasserspeicher, Kluftsysteme im Korallenoolith, stellt keinen weitreichenden, aus weiträumig vernetzten Klüften bestehenden Grundwasserleiter dar. Wie die Charakteristik des Auftretens angeschlagener Kluftwässer in der Schachanlage Konrad zeigt, versiegen diese Wasserzutritte meist innerhalb relativ kurzer Zeiträume. Eine Nachlieferung aus größerer Entfernung kann deshalb nicht angenommen werden. Nur so konnte es der BGR gelingen, am bisher bedeutendsten Tiefengrundwasserzutritt in der Schachanlage Konrad, im Schachtquerschlag Ort 300, mittels Druckaufbautests eine Abschätzung der insgesamt verfügbaren Wassermenge in der dort angeschlagenen Kluft (im unteren Korallenoolith) vorzunehmen.

Eine solche Genese der Tiefengrundwässer der Schachtanlage Konrad bedeutet, daß diese Tiefengrundwässer ein sehr hohes Bildungsalter aufweisen müssen. Für den Nachweis solcher Grundwasseralter stehen verschiedene radiometrische Methoden zur Verfügung. Mit Hilfe von C 14 ist es theoretisch möglich, maximale Grundwasseralter von ca. 50 000 - 70 000 Jahren nachzuweisen. Unter der Annahme der oben beschriebenen Genese der Tiefengrundwässer, bei der erheblich höhere Grundwasseralter vorliegen müßten, dürften keine meßbaren Konzentrationen von C 14 in den Tiefengrundwässern vorliegen. Da dennoch C 14-Konzentrationen gemessen werden konnten, müssen diese zunächst auf Kontamination bei der Probenentnahme und -konservierung zurückgeführt werden. C 14-Bestimmungen (in Verbindung mit Tritium-Bestimmungen) an den Wässern aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 zeigen jedenfalls deutlich, daß unterhalb von max. 40 m keine Grundwasseranteile mehr nachgewiesen werden können, die nach dem Jahre 1953 entstanden sind. Dies ist demnach auch für die Tiefengrundwässer im Grubengebäude der Schachtanlage Konrad aufgrund hydrogeologischer Überlegungen anzunehmen; Vermischungen junger, oberflächennaher Grundwässer sind, im Gegensatz zu den Verhältnissen im eigentlichen Grubengebäude, aufgrund möglicher Wegsamkeiten hinter der Schachtausmauerung ungleich wahrscheinlicher.

Unter der ungünstigen Annahme, daß die gemessenen C 14-Konzentrationen organisch (d. h. durch regulären Zutritt junger Grundwässer bei nachfolgender homogener Vermischung mit den Tiefengrundwässern) und nicht durch Kontamination verursacht sind, ergibt sich ein C 14-Modellalter von mehr als 10 000 Jahren, wobei erwartet werden kann, daß sich bei weiterem Ausschluß von Kontaminationsmöglichkeiten bei der Probenentnahme noch höhere Grundwasseralter nachweisen werden lassen. Die S 34-Analysen, die zur Kontrolle

der o.g. genetischen Vorstellungen ebenfalls herangezogen werden können, stimmen innerhalb des sehr groben Zeitrasters, in dem sie anwendbar sind, mit Literaturergebnissen von S 34-Konzentrationen jurassischer hochmineralisierter Wässer relativ gut überein. Da S 34-Konzentrationen hinsichtlich der Bildungszeit jedoch mehrdeutig sind, ist es empfehlenswert, die S 34-Analysen künftig etwas zu modifizieren und unter Einbeziehung von O 18-Analysen der gelösten Sulfate derart zu erweitern, daß konkretere Aussagen zum Grundwasseralter möglich sind.

Die zur Beweissicherung vorgenommene Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen natürlicher und aus kerntechnischen Anlagen emittierter Radionuklide in den Tiefengrundwässern der Schachanlage Konrad ergab nachweisbare Aktivitätskonzentrationen von Tritium und C 14, die mit hoher Wahrscheinlichkeit über die Bewetterung ins Grubengebäude eingebracht worden sind. Das aus kerntechnischen Anlagen emittierte langlebige Radionuklid I 129 konnte in den Tiefengrundwässern der Schachanlage Konrad nicht nachgewiesen werden (Nachweisgrenze 0,1 mBq/l).

Unter den natürlichen Radioisotopen tritt besonders das Kalium-40 als Bestandteil des natürlichen Isotopengemischs des Kaliums, entsprechend dem natürlichen Anteil von K 40 am natürlichen K-Isotopengemisch von ca. 0,012 % auf. Entsprechend dem Anteil von Elementen der Th-/U-Zerfallsreihen in den Mineralien der Speichergesteine und den langen Verweilzeiten der Tiefengrundwässer in den Speichergesteinen entsprechend treten relativ hohe Ra 226-Aktivitätskonzentrationen von bis zu 9,3 Bq/l auf. In einem Wasser aus den Spülversatzfeldern oberhalb der 4. Sohle wurden dagegen nur 1,7 Bq/l Ra 226 gefunden, was einem hohen Anteil ober-

flächennahen Grundwassers erwartungsgemäß entspricht. Da unter den herrschenden pH/Eh-Bedingungen nur schwer lösliche Uran-Spezies stabil sind, konnten meßbare Uran-Aktivitätskonzentrationen in den Tiefengrundwässern nicht nachgewiesen werden.

Künftige Untersuchungen von Tiefengrundwässern aus der Schachanlage Konrad sollten vor allem eine vollständigere Beschreibung des geochemischen Systems zum Ziel haben. Dies ermöglicht exaktere Rückschlüsse auf die Entstehungsgeschichte der Wässer. In diesem Zusammenhang ist die Beschreibung des Redox-Status, der sich in gemessenen Redoxpotentialen druckentlasteter Wässer nur unvollkommen ausdrückt, durch die Bestimmung der stickstoffhaltigen Spezies  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  und  $\text{NH}_4$  sowie des elementaren, im Wasser gelösten Stickstoffs von besonderem Interesse. Für die Bestimmung der Halogene Br und I sind, wenn möglich, zuverlässigere analytische Verfahren einzusetzen. Einige Spurenelemente haben nicht die erhofften Informationen erbracht, sollten aber dennoch nicht aus dem Untersuchungsprogramm genommen werden, da eine breitere Datenbasis evtl. eine bessere statistische Absicherung der Beobachtungen und damit eine künftige Interpretation der Meßdaten ermöglichen könnte.

Künftige Altersbestimmungen von Tiefengrundwässern aus der Schachanlage Konrad müssen sich u. a. auf den weiteren Ausbau von Möglichkeiten zur kontaminationsfreien Probenentnahme und -konservierung konzentrieren. Dazu sind auch Tritium und C 14-Proben aus der Wetterfeuchte heranzuziehen, um ggf. Kontaminationseinflüsse quantifizieren zu können. Die Interpretation von C 14-Analysen bedarf darüberhinaus zukünftig weiterer Daten über den absoluten Gasgehalt der Tiefengrundwässer und seine elementare und isotopische Zusammensetzung, sowie über die Isotopenzusammensetzung von Karbonat-Mineralen aus dem Speichergestein. Nur so können die zur Interpretation erforderlichen geochemischen Modellberechnungen vollständig durchgeführt werden. Die Aussage

von S 34-Bestimmungen an gelösten Sulfaten läßt sich erheblich konkretisieren, wenn zusätzlich die O 18-Konzentrationen in den Sulfaten und die S 34-Konzentrationen evtl. gelöster sulfidischer Spezies einbezogen werden.

Hochmineralisierte Tiefengrundwässer sind generell nicht besonders gut untersucht, da im allgemeinen nur ein geringes wirtschaftliches Interesse besteht. Die hydrochemische Analytik ist aus demselben Grund bislang nicht bis zu einer zufriedenstellenden Reproduzierbarkeit der Ergebnisse entwickelt worden. Um so mehr ist bei den in der Schachtanlage Konrad auftretenden Tiefengrundwässern einer Qualitätskontrolle der analytischen Verfahren durch eine Ringanalyse weiterhin ein besonderes Interesse zu widmen, um zu belastbaren genetischen Aussagen zu gelangen.



7 Literaturverzeichnis

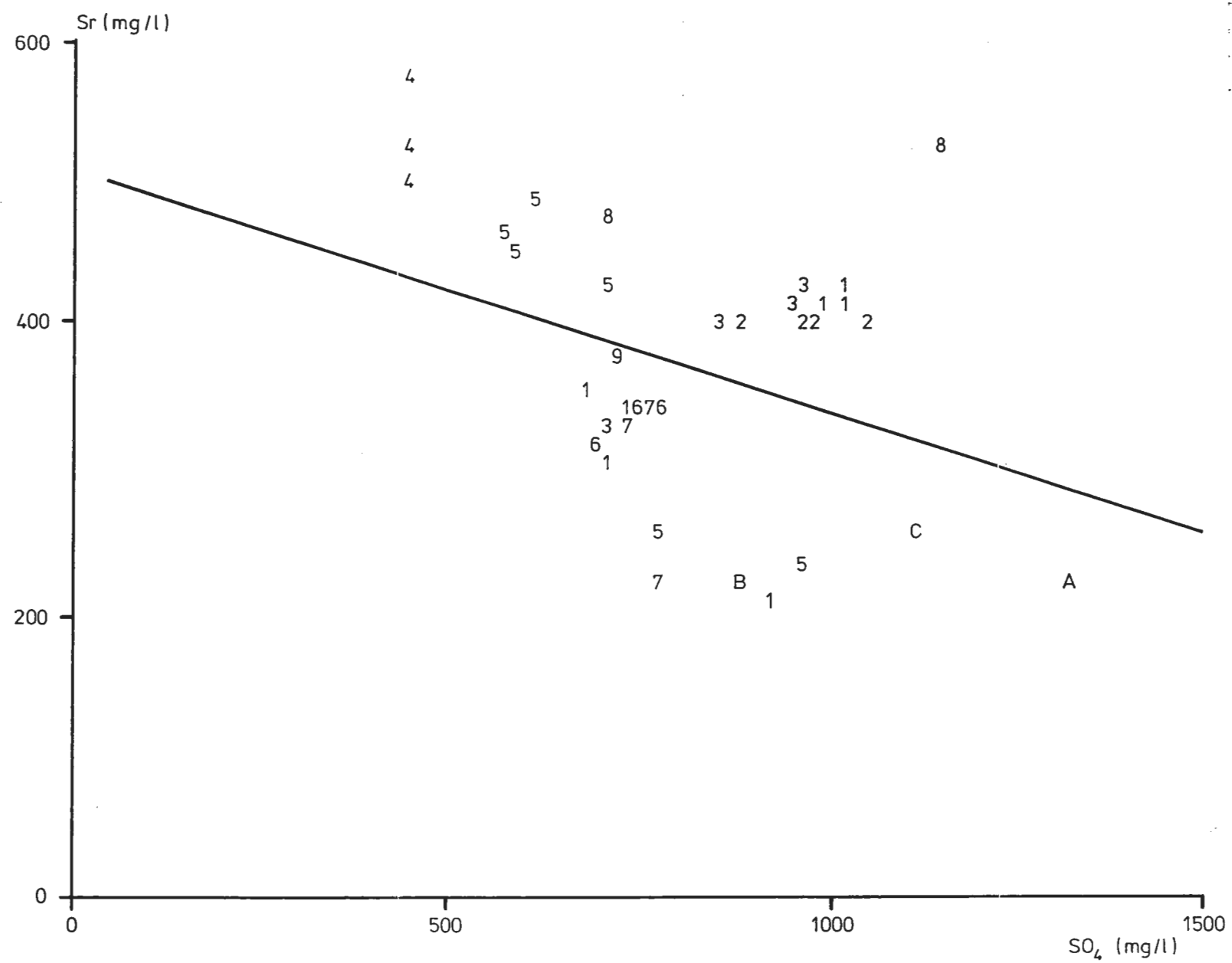
- /1/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV). - Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1977, Teil 1.
- /2/ Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen, GMBL Nr. 32, 30. Jahrgang, S. 668-683, 1979.
- /3/ Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässern. - GMBL Nr. 21, 30. Jahrgang, S. 271-436, 1979.
- /4/ BREWITZ, W. (1982): Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. - Abschlußbericht zum Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie (KWA 1324 6), Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Institut für Tieflagerung, GSF-T 136, Braunschweig.
- /5/ BUSCH, W. & FABER, P. (1986): Chemismus tiefer Grundwässer. Hydrochemische Untersuchungen und radiometrische Altersbestimmungen an Grundwässern aus Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus der Schächte Konrad 1 und Konrad 2. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.05 AP 2, GSF-Institut für Tieflagerung, Braunschweig.
- /6/ DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (DVWK) (1979): Empfehlung zu Umfang, Inhalt und Genauigkeitsanforderungen bei chemischen Grundwasseruntersuchungen. - DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, H. 111, 6 S.; Hamburg, Berlin (Parey).

- /7/ FABER, E. & GERLING, P. (1985): Bericht über Isotopenuntersuchungen an Gasen, Grube Konrad. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Archiv B 4.33: 850043 (interner Bericht): 9 S.; Hannover.
- /8/ FABER, P. (1985): Chemismus tiefer Grundwässer. Hydrochemische Untersuchungen und radiometrische Altersbestimmungen an Wässern aus Pumpensämpfen und Tropfstellen im Grubengebäude der Schachanlage Konrad. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.05 AP 3, GSF-Institut für Tieflagerung, Braunschweig.
- /9/ FABER, P. (1985): Chemismus tiefer Grundwässer. Radionuklidbestimmungen und Altersdatierungen an tiefen Grundwässern aus der Tiefbohrung Konrad 101. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.05 AP 5, GSF-Institut für Tieflagerung, Braunschweig.
- /10/ FABER, P. (1985): Chemismus tiefer Grundwässer. Analysenergebnisse von Gruben- und Schachtwässern der Schachanlage Konrad aus der Zeit vor Aufnahme des PTB-Untersuchungsprogrammes. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.05 AP 5, GSF-Institut für Tieflagerung, Braunschweig.
- /11/ FABER, P. (1986) Chemismus tiefer Grundwässer. Hydrochemische Untersuchungen und radiometrische Altersbestimmungen an Wässern aus den Träufelrinnen des Schachtes Konrad 2. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.05 AP 1, GSF-Institut für Tieflagerung, Braunschweig
- /12/ FABER, P. (1986): Chemismus tiefer Grundwässer. Hydrochemische Untersuchungen und radiometrische Altersbestimmungen an Wässern aus Klüften, die im Rahmen der untertägigen Erkundung der Schachanlage Konrad angeschlagen wurden. - Abschlußbericht zu LV-Nr. 2219.05 AP 4, GSF-Institut für Tieflagerung, Braunschweig.

- /13/ GEYH, M.A. (1972): On the determination of the initial  $^{14}\text{C}$  content in groundwater. In: RAFTER, T.A. & GRANT-TAYLOR, T. (Eds.): Proc. 8<sup>th</sup> Int. Conf. Radiocarbon Dating, Wellington, New Zealand, 369-380.
- /14/ HOETZL, H. et al. (1983): Radionuclide concentration in Ground Level Air and Precipitation in South Germany from 1976 to 1982, GSF-Institut für Strahlenschutz, GSF-S 956, München.
- /15/ MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. - Berlin, Stuttgart (Bornträger).
- /16/ MOSER, H. & RAUERT, W.: Isotopenmethoden in der Hydrologie. - Berlin, Stuttgart, 1980
- /17/ NIELSEN, H. (1979): Sulfur Isotopes. - in: JÄGER, E. & HUNZIKER, J. C. (Eds.): Lectures in Isotope Geology, 283-312; Berlin, Heidelberg (Springer).
- /18/ NORDSTROM, D.K., ANDREWS, J.N., CARLSSON, L., FONTES, J.-C., FRITZ, P., MOSER, H. & OLSSON, T. (1985) : Hydrogeological and Hydrochemical Investigations in Boreholes - Final report of the phase I geochemical investigations of the Stripa groundwaters. Stripa Project - Technical Report SKB 85-06; Stockholm.
- /19/ PEARSON, F.J.jr. (1965): Use of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios to correct radiocarbon ages of materials initially diluted by limestone. In: Proc. 6<sup>th</sup> Int. Conf. Radiocarbon Dating, Pullman, USA, 357-366.

/20/ Westfälische Berggewerkschaftskasse (1984): Gutachten über die Standfestigkeit der Schächte 1 und 2 der Eisenerzgrube Konrad in Salzgitter im Hinblick auf die weitere Verwendung für die Erz- und Materialförderung, Seilfahrt und Wetterführung, abgegeben am 30.11.1984, durchgeführt im Auftrag der PTB (LV-Nr. 2321.05), Bochum.

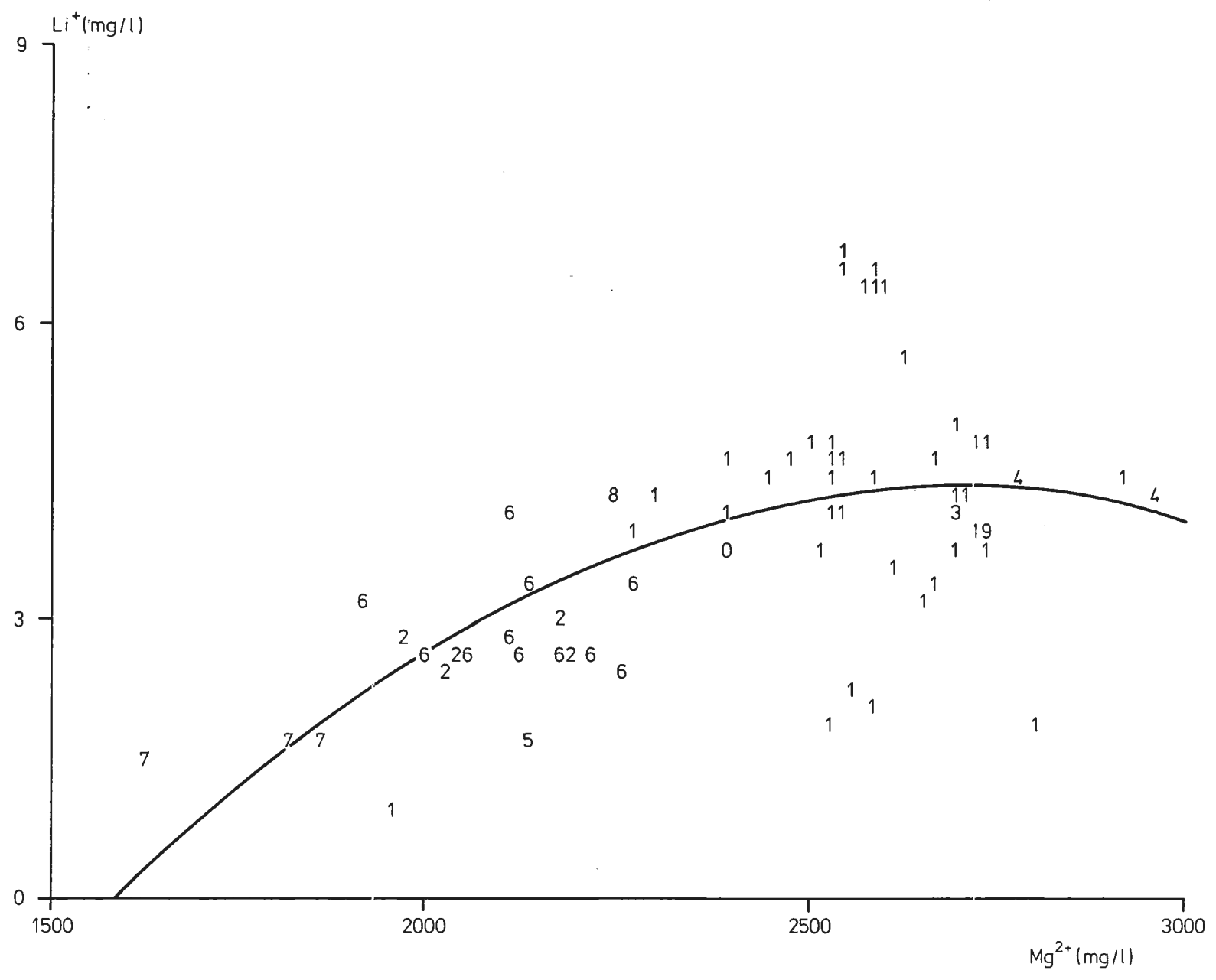
/21/ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1985): Hydraulische Testarbeiten in der Bohrung Konrad 101. - 61 S.; Hannover.



Legende:

- 1 : Ort 660 A Brl. 6/3
- 2 : Ort 660 A Brl. 6/1
- 3 : Ort 660 A
- 4 : Ort 410 N
- 5 : Ort 300
- 6 : Ort 660 A Brl. 6/6
- 7 : Ort 660 A Brl. 6/7
- 8 : Ort 101 N
- 9 : Ort 600
- 0 : Ort 601
- B : Bohrloch 3/137
- F : Bohrloch 5/96
- C : Bohrloch 3/138 - 1
- A : Ort 402 Ext.-Brl. 2

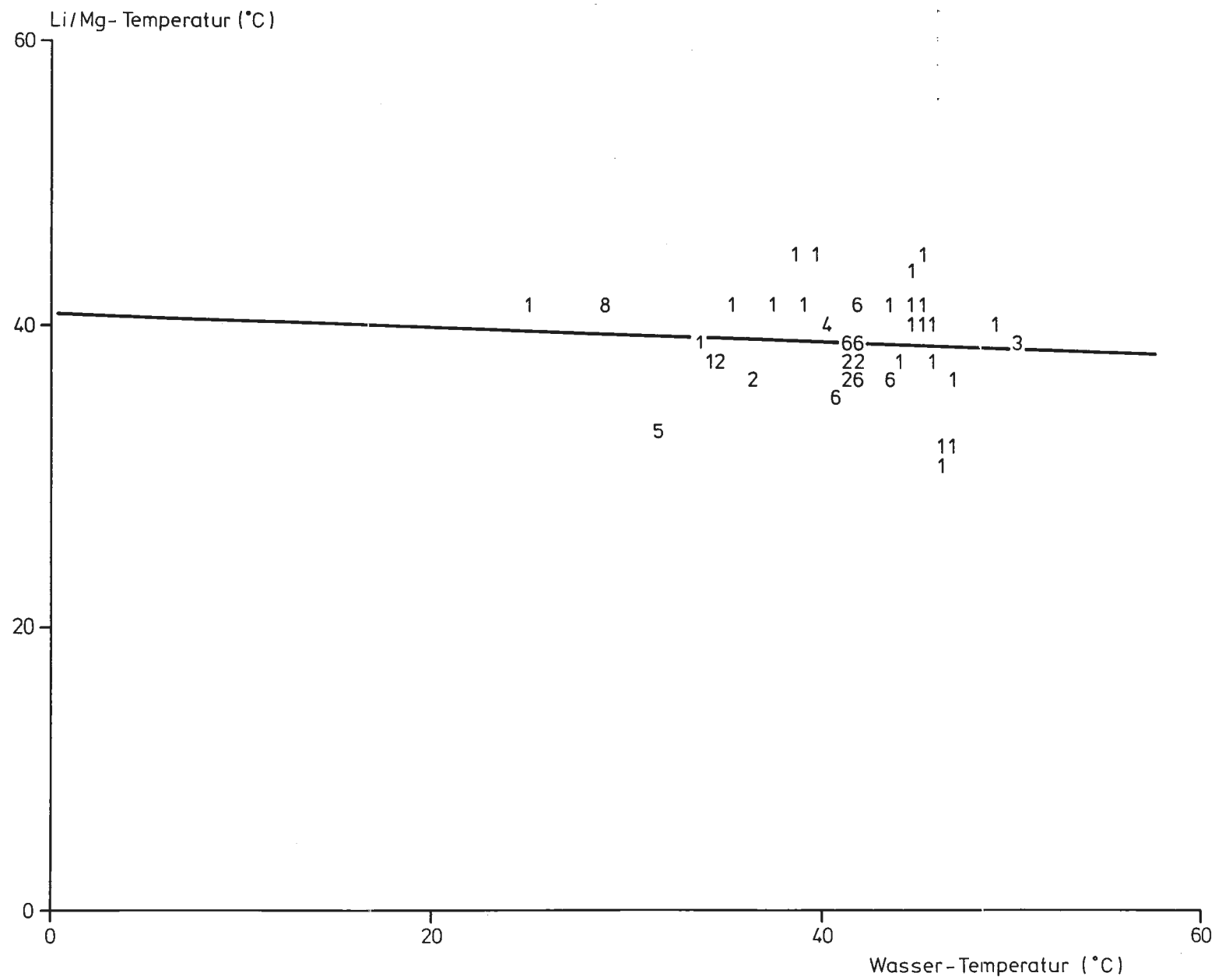
|   |       |            |  |      |
|---|-------|------------|--|------|
| Projekt   |       |            |  |      |
| Schachtanlage Konrad<br>Salzgitter  |       |            |  |      |
| Leistungskatalog  |       |            |  |      |
| Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7   |       |            |  |      |
| Bemerkung   |       |            | Objekt   |      |
|   |       |            | Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachtanlage Konrad |      |
|   |       |            | Einheit: Abhängigkeit der SO <sub>4</sub> - und<br>Sr-Konzentrationen      |      |
|   | Datum | Name       | Maßstab  | Abb. |
| bearb.  | 5/86  | [redacted] |  | 1    |
| gez.  | 5/86  | [redacted] |  |      |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tieflagerung |       |            |  |      |



LEGENDE :


- 1 : Ort 660A
- 2 : Ort 410N
- 3 : Ort 600
- 4 : Ort 601
- 5 : Ort 402 Ext.-Brl. 2
- 6 : Ort 300
- 7 : Ort 101
- 8 : Brl. 3/137
- 9 : Brl. 5/96
- 0 : Brl. 3/138-1

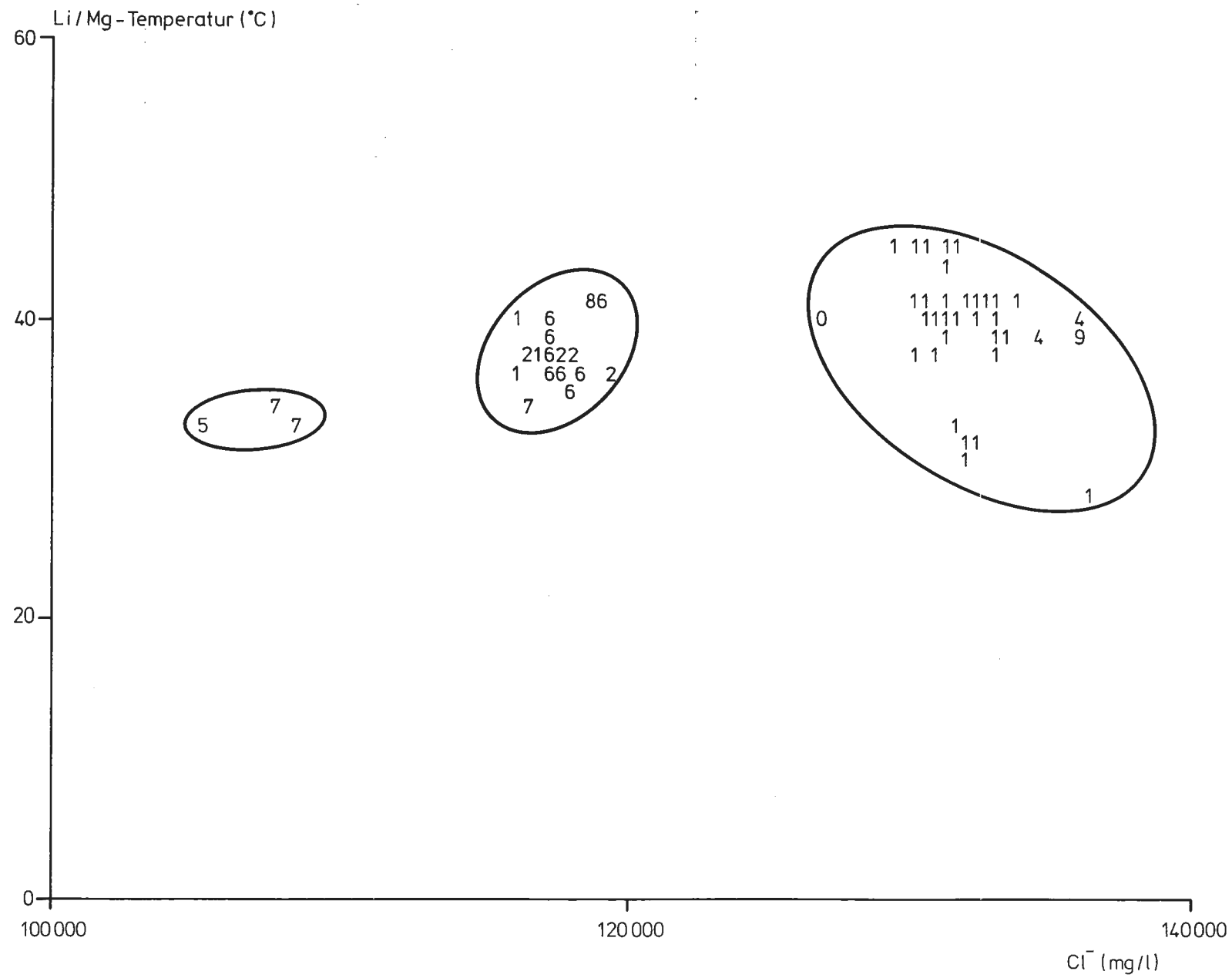
|  |        |  |         |      |
|--|--------|--|---------|------|
| Projekt:   |        |  |         |      |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter  |        |  |         |      |
| Leistungskatalog:  |        |  |         |      |
| Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7  |        |  |         |      |
| Bemerkung  |        | Objekt Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachanlage Konrad           |         |      |
|  |        | Einzelheit Abhängigkeit der Li-Konzentration<br>von d. Mg-Konzentration u. Ausgleichskurve |         |      |
|  | Datum  | Name   | Maßstab | Abb. |
| bearb.   | 5 / 86 |  |         | 2    |
| gez.   | 5 / 86 |  |         |      |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tief Lagerung |        |  |         |      |



LEGENDE :

- 1 : Ort 660A
- 2 : Ort 410N
- 3 : Ort 600
- 4 : Ort 601
- 5 : Ort 402 Ext.-Brl. 2
- 6 : Ort 300
- 8 : Brl. 3/137

|  |       |   |         |      |
|--|-------|---|---------|------|
| Projekt:   |       |   |         |      |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter  |       |   |         |      |
| Leistungskatalog: Teilaufgabe Nr 2219.05<br>Arbeitspaket Nr 7  |       |   |         |      |
| Bemerkung  |       | Objekt Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachanlage Konrad  |         |      |
|  |       | Einzelheit Abhängigkeit der Li/Mg - Modell-<br>temperatur von d. Wassertemperatur |         |      |
|  | Datum | Name  | Maßstab | Abb. |
| bearb.   | 5/86  |   |         | 3    |
| gez.   | 5/86  |   |         |      |
|  Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tief Lagerung |       |   |         |      |

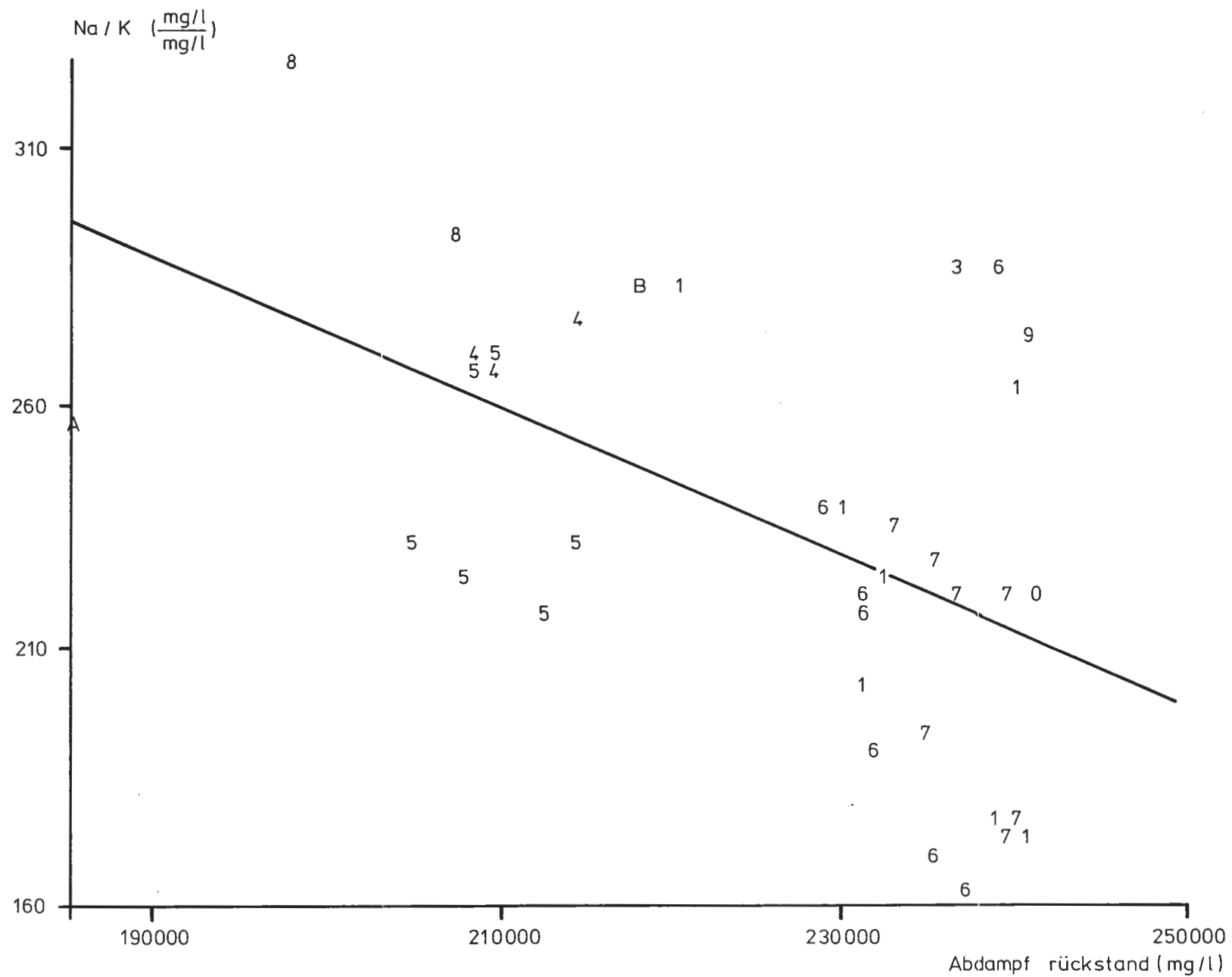


LEGENDE :

- 1 : Ort 660A
- 2 : Ort 410N
- 4 : Ort 601
- 5 : Ort 402 Ext.-Brl.2
- 6 : Ort 300
- 7 : Ort 101
- 8 : Brl. 3/137
- 9 : Brl. 5/96
- 0 : Brl. 3/138-1

|   |       |   |         |      |
|---|-------|---|---------|------|
| Projekt:  |       |   |         |      |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter   |       |   |         |      |
| Leistungskatalog:   |       |   |         |      |
| Teilaufgabe Nr 2219.05<br>Arbeitspaket Nr 7   |       |   |         |      |
| Bemerkung   |       | Objekt: Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachanlage Konrad |         |      |
|   |       | Einzelheit: Abhängigkeit der Li/Mg - Modell-<br>temperatur vom Cl - Gehalt        |         |      |
|   | Datum | Name  | Maßstab | Abb. |
| bearb.  | 5/86  |   |         | 4    |
| gez   | 5/86  |   |         |      |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tieflagerung |       |   |         |      |

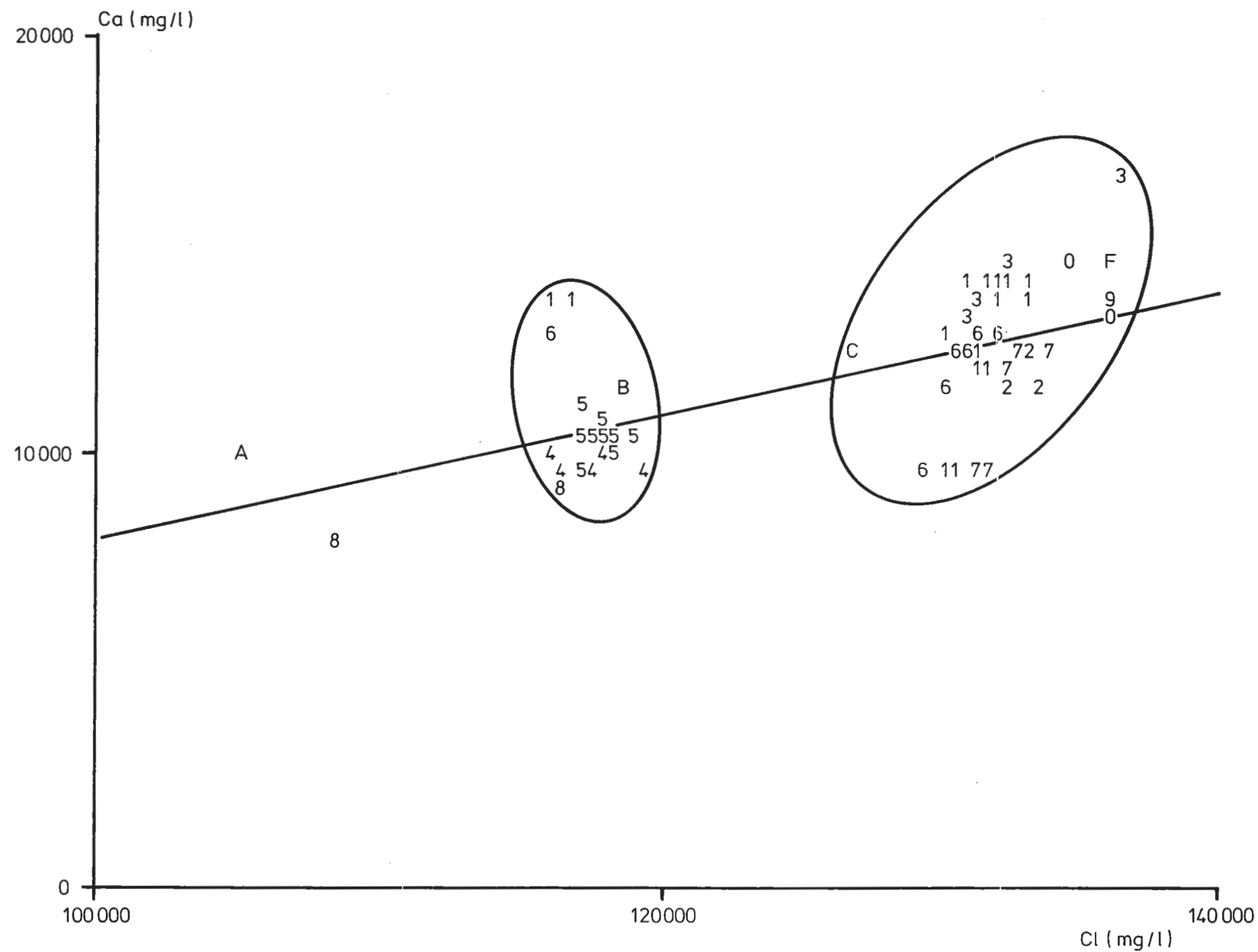




Legende:

- 1 : Ort 660A Brl. 6/3
- 2 : Ort 660A Brl. 6/1
- 3 : Ort 660A
- 4 : Ort 410N
- 5 : Ort 300
- 6 : Ort 660A Brl. 6/6
- 7 : Ort 660A Brl. 6/7
- 8 : Ort 101N
- 9 : Ort 600
- 0 : Ort 601
- B : Bohrloch 3/137
- F : Bohrloch 5/96
- C : Bohrloch 3/138-1
- A : Ort 402 Ext.-Brl. 2

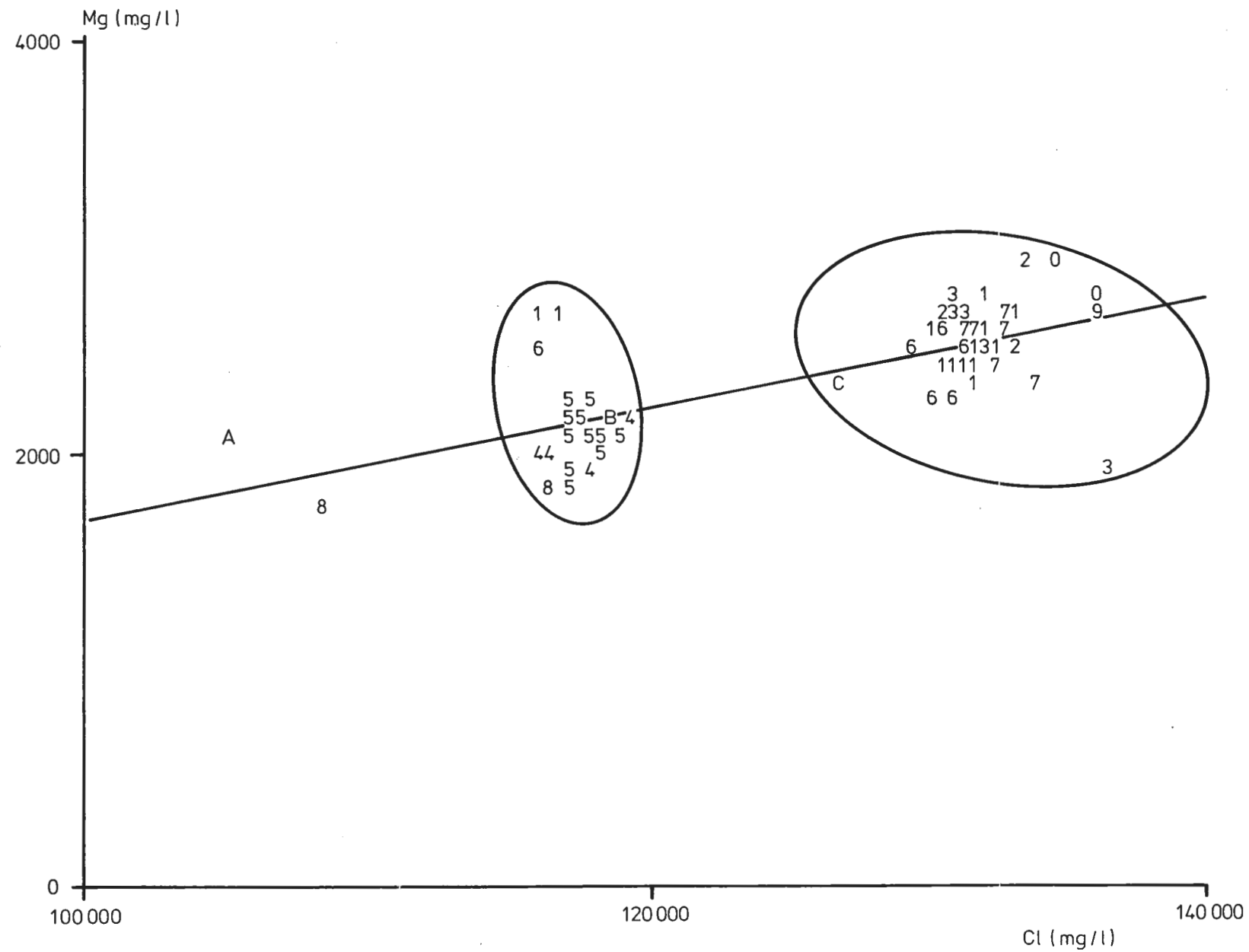
|  |       |  |         |      |
|--|-------|--|---------|------|
| Projekt  |       |  |         |      |
| Schachtanlage Konrad<br>Salzgitter   |       |  |         |      |
| Leistungskatalog   |       | Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7  |         |      |
| Bemerkung  |       | Titel: Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachtanlage Konrad<br>Fragestellung: Abhängigkeit des Na/K -Verhältnisses<br>vom Abdampfrückstand |         |      |
|  | Datum | Name   | Maßstab | Abb. |
| bearb.   | 5/86  |  |         | 5    |
| gez.   | 5/86  |  |         |      |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tiefenergie |       |  |         |      |



Legende:

- 1 : Ort 660A Brl. 6/3
- 2 : Ort 660A Brl. 6/1
- 3 : Ort 660A
- 4 : Ort 410N
- 5 : Ort 300
- 6 : Ort 660A Brl. 6/6
- 7 : Ort 660A Brl. 6/7
- 8 : Ort 101N
- 9 : Ort 600
- 0 : Ort 601
- B : Bohrloch 3/137
- F : Bohrloch 5/96
- C : Bohrloch 3/138-1
- A : Ort 402 Ext.-Brl. 2

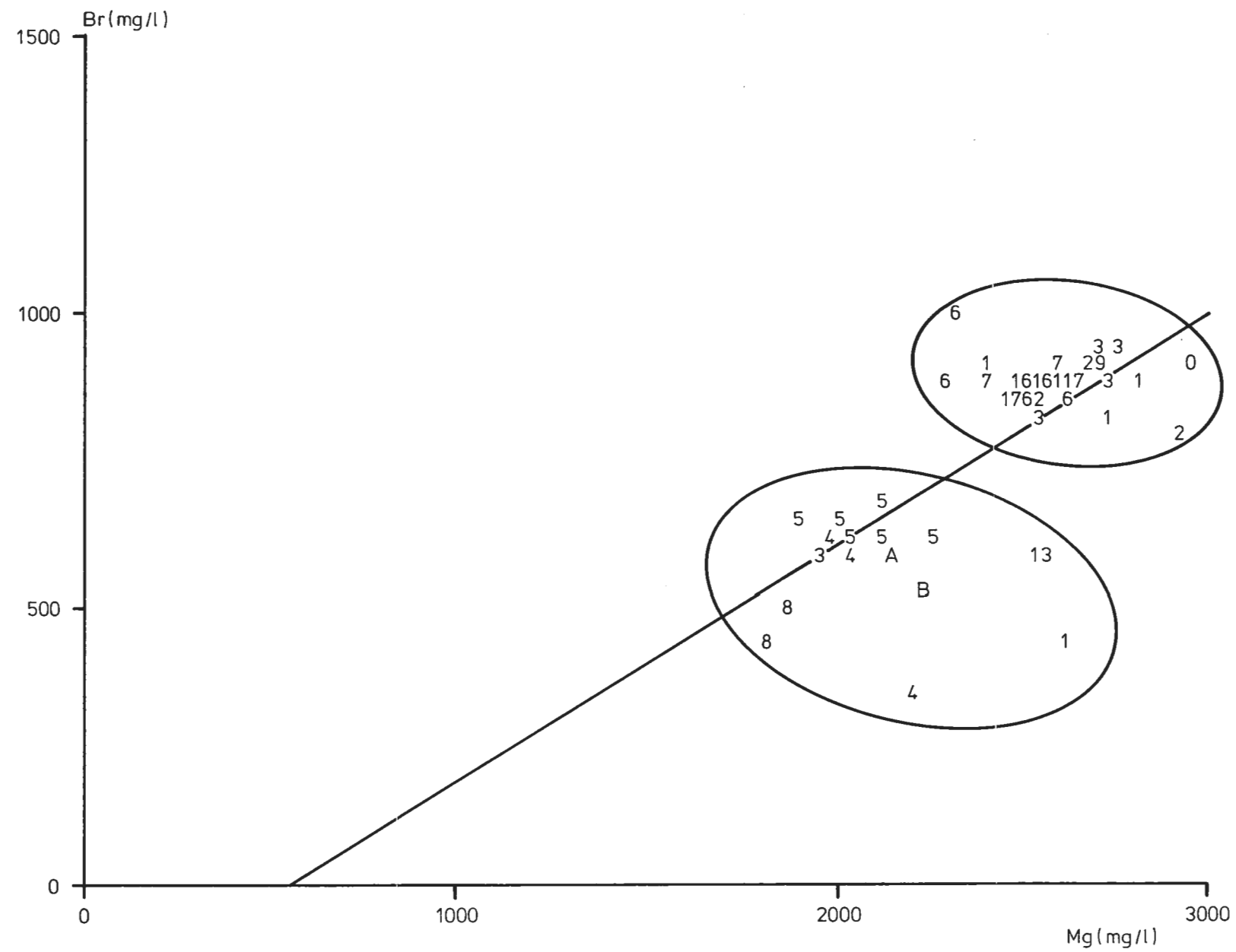
|  |       |  |         |      |
|--|-------|--|---------|------|
| Projekt  |       |  |         |      |
| Schachtanlage Konrad<br>Salzgitter   |       |  |         |      |
| Leistungskatalog   |       | Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7  |         |      |
| Bemerkung  |       | Objekt Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachtanlage Konrad<br>Einheit: Abhängigkeit der Ca-Konzentration<br>vom Cl-Gehalt |         |      |
|  | Datum | Name   | Maßstab | Abb. |
| bearb  | 5/86  |  |         | 6    |
| gez  | 5/86  |  |         |      |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tiefenergie |       |  |         |      |



Legende:

- 1 : Ort 660A Brl. 6/3
- 2 : Ort 660A Brl. 6/1
- 3 : Ort 660A
- 4 : Ort 410N
- 5 : Ort 300
- 6 : Ort 660A Brl. 6/6
- 7 : Ort 660A Brl. 6/7
- 8 : Ort 101N
- 9 : Ort 600
- 0 : Ort 601
- B : Bohrloch 3/137
- F : Bohrloch 5/96
- C : Bohrloch 3/138 -1
- A : Ort 402 Ext.-Brl. 2

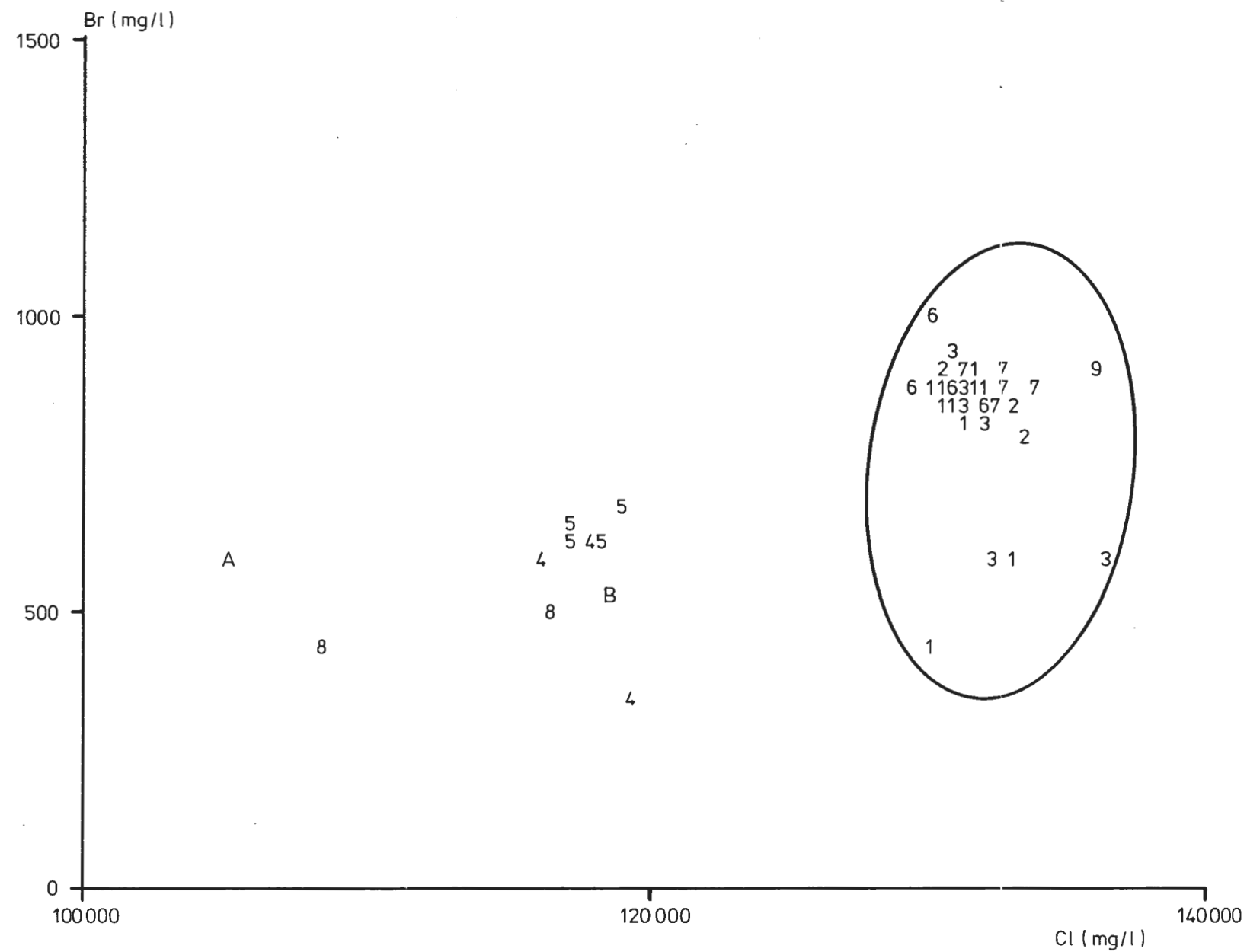
|  |       |   |           |
|--|-------|---|-----------|
| Projekt  |       |   |           |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter  |       |   |           |
| Leistungskatalog   |       | Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7   |           |
| Bemerkung  |       | Objekt Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachanlage Konrad<br>Einheit: Abhängigkeit der Mg-Konzentration<br>vom Cl-Gehalt |           |
|  | Datum | Name  | Maßstab   |
| bearb  | 5/86  |   |           |
| gez  | 5/86  |   | Abb.<br>7 |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tiefenergie |       |   |           |



Legende:

- 1 : Ort 660A Brl. 6/3
- 2 : Ort 660A Brl. 6/1
- 3 : Ort 660A
- 4 : Ort 410N
- 5 : Ort 300
- 6 : Ort 660A Brl. 6/6
- 7 : Ort 660A Brl. 6/7
- 8 : Ort 101N
- 9 : Ort 600
- 0 : Ort 601
- B : Bohrloch 3/137
- F : Bohrloch 5/96
- C : Bohrloch 3/138 -1
- A : Ort 402 Ext.-Brl. 2

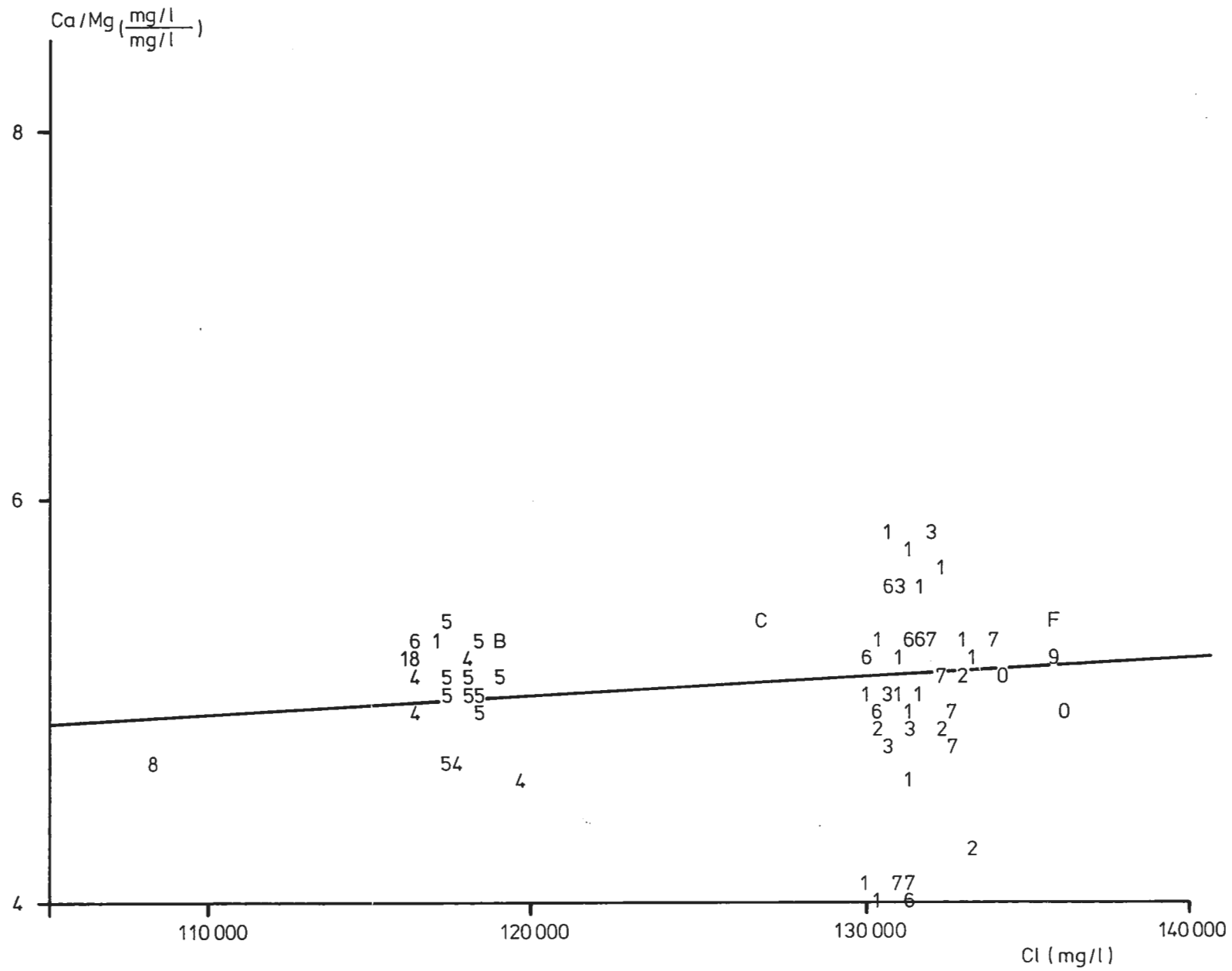
|                                   |        |  |      |
|-----------------------------------|--------|--|------|
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter |        |  |      |
| Literaturverzeichnis              |        | Technische Aufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7                                     |      |
| Bemerkung                         |        | f. i. e. x. t. Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachanlage Konrad |      |
|                                   |        | f. i. e. x. t. Abhängigkeit des Br-Gehaltes<br>vom Mg-Gehalt                             |      |
|                                   | Gepr.: | Notiz:   | Abb. |
|                                   | 5/86   |  | 8    |
|                                   | 5/86   |  |      |
|                                   |        |  |      |



Legende:

- 1 : Ort 660A Brl. 6/3
- 2 : Ort 660A Brl. 6/1
- 3 : Ort 660A
- 4 : Ort 410N
- 5 : Ort 300
- 6 : Ort 660A Brl. 6/6
- 7 : Ort 660A Brl. 6/7
- 8 : Ort 101N
- 9 : Ort 600
- 0 : Ort 601
- B : Bohrloch 3/137
- F : Bohrloch 5/96
- C : Bohrloch 3/138-1
- A : Ort 402 Ext.-Brl. 2

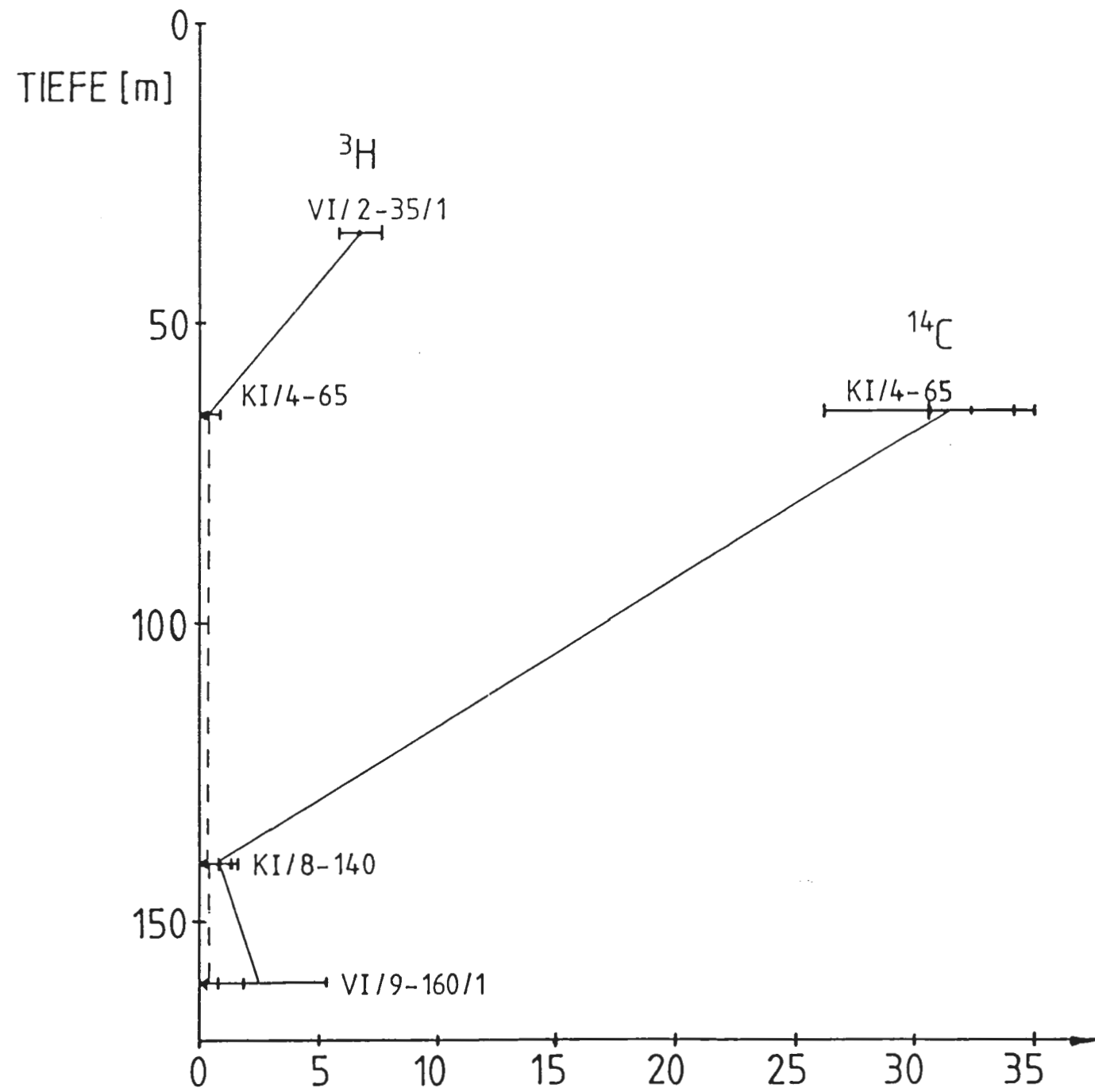
|   |       |   |         |      |
|---|-------|---|---------|------|
| Projekt   |       |   |         |      |
| Schachtanlage Konrad<br>Salzgitter  |       |   |         |      |
| Leistungskatalog  |       | Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7   |         |      |
| Bemerkung   |       | Objekt: Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachtanlage Konrad<br>Erzzeit: Abhängigkeit der Br - Konzentration<br>vom Cl - Gehalt |         |      |
| beord.  | Datum | Name  | Maßstab | Abb. |
| gez.  | 5/86  |   |         | 9    |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tiefenerdung |       |   |         |      |




Legende:

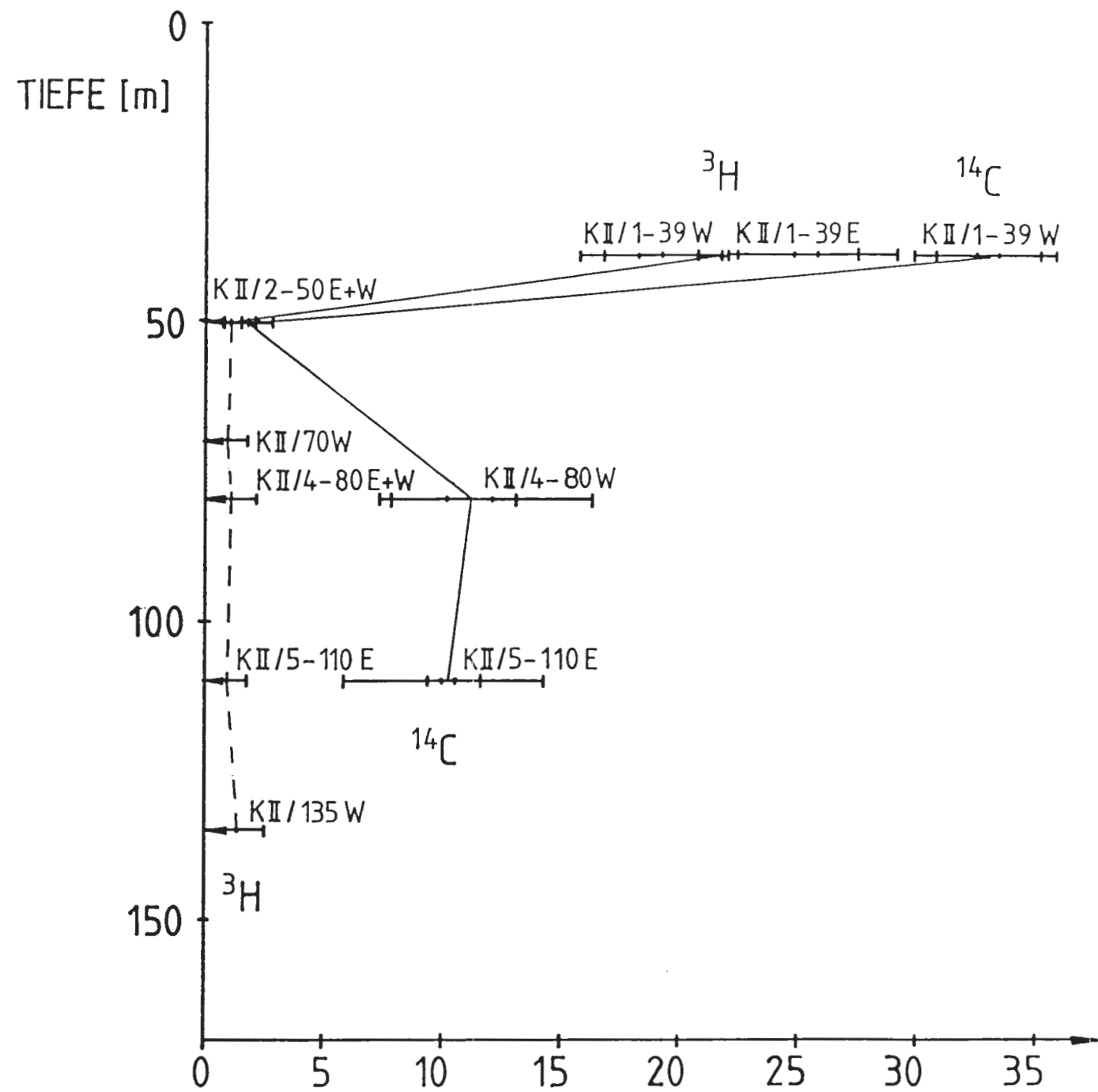
- 1 : Ort 660 A Brl. 6/3
- 2 : Ort 660 A Brl. 6/1
- 3 : Ort 660 A
- 4 : Ort 410 N
- 5 : Ort 300
- 6 : Ort 660 A Brl. 6/6
- 7 : Ort 660 A Brl. 6/7
- 8 : Ort 101 N
- 9 : Ort 600
- 0 : Ort 601
- B : Bohrloch 3/137
- F : Bohrloch 5/96
- C : Bohrloch 3/138 - 1
- A : Ort 402 Ext.-Brl. 2

|  |       |   |            |
|--|-------|---|------------|
| Projekt  |       |   |            |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter  |       |   |            |
| Leistungskatalog   |       | Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7   |            |
| Bemerkung  |       | Objekt: Hydrochem. Unters. u. Altersbest.<br>tiefer GW aus d. Schachanlage Konrad<br>Ergebnis: Abhängigkeit der Ca/Mg-<br>Verhältnisses vom Cl-Gehalt |            |
|  | Datum | Name  | Maßstab    |
| bearb.   | 5/86  |   | Abb.<br>10 |
| gez.   | 5/86  |   |            |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tiefenerkundung |       |   |            |




[TU]  $^3\text{H}$ -KONZ.  
[% mod.]  $^{14}\text{C}$ -KONZ.

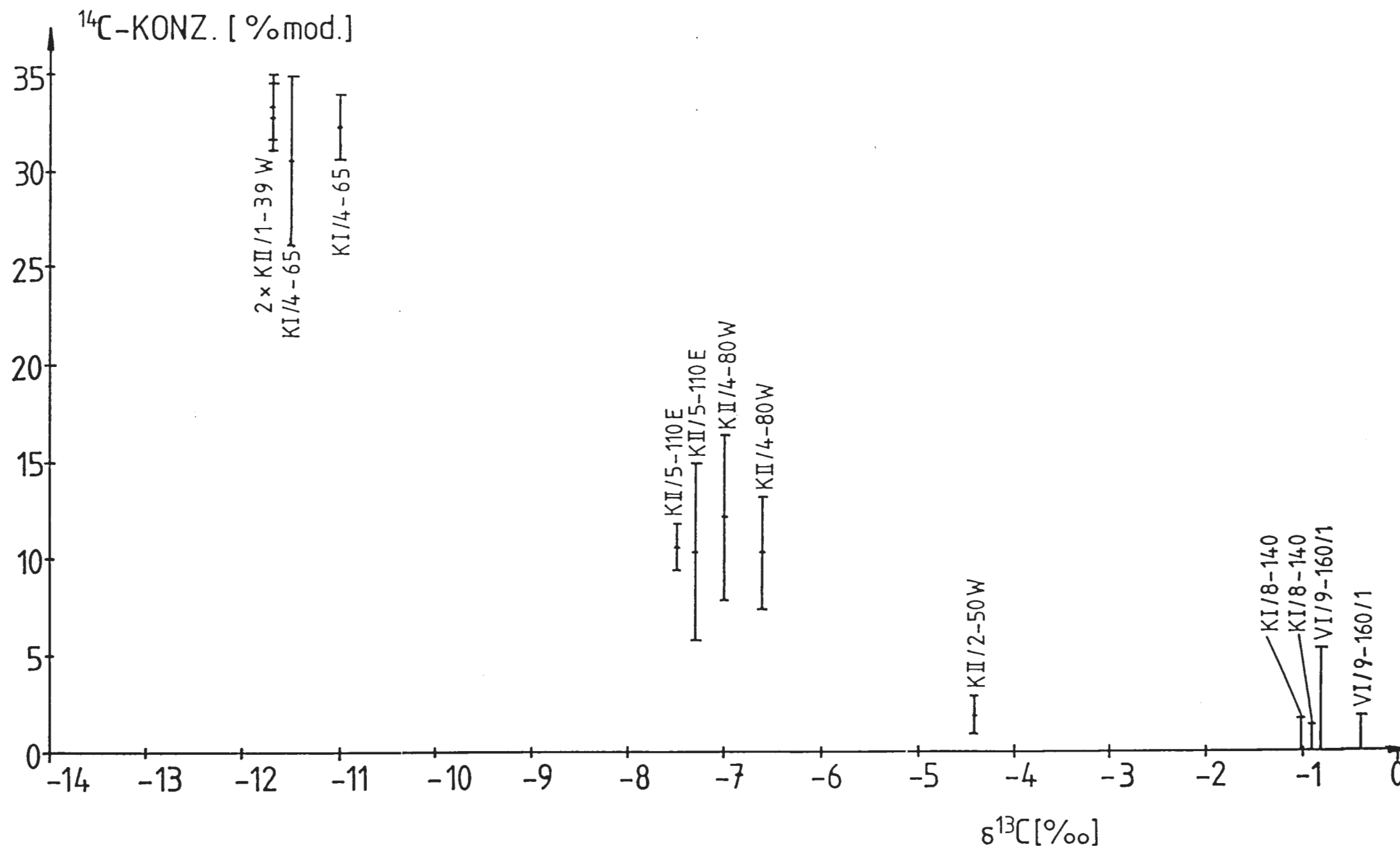
|   |       |  |         |
|---|-------|--|---------|
| Projekt:  |       |  |         |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter   |       |  |         |
| Leistungskatalog: Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7   |       |  |         |
| Bemerkung:  |       | Objekt: Chem. Analysen u. Altersbest.<br>an tiefen Grundwässern  |         |
|   |       | Einzelheit: Bohrung z. Erh. d. Schachtausbaus<br>Sch. Konrad 1 Teufenabh. von $^3\text{H}$ und $^{14}\text{C}$ |         |
|   | Datum | Name   | Maßstab |
| bearb   | 3/86  |  |         |
| gez   | 3/86  |  | Abb. 11 |
|  Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tretlagerung |       |  |         |



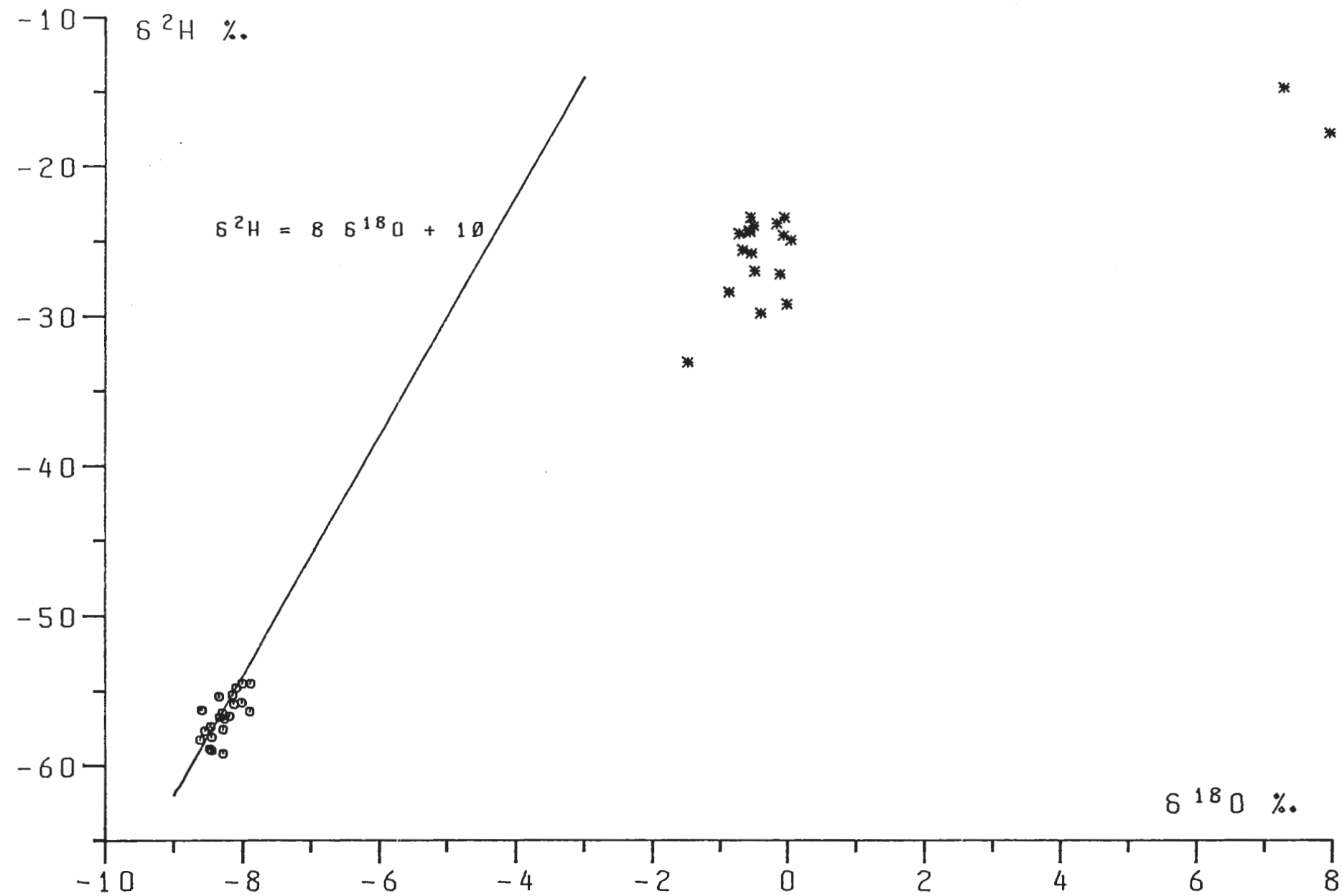
[TU]  $^3\text{H}$ -KONZ.  
[% mod.]  $^{14}\text{C}$ -KONZ.

|   |       |  |         |         |
|---|-------|--|---------|---------|
| Projekt   |       | Schachanlage Konrad<br>Salzgitter  |         |         |
| Leistungskatalog  |       | Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7  |         |         |
| Bemerkung   |       | Objekt: Chem. Analysen u. Altersbest.<br>an tiefen Grundwässern<br>Einzelheit: Bohrung z. Erh. d. Schachtausbaus<br>Scht. Konrad 2 Teufenabh. von $^3\text{H}$ und $^{14}\text{C}$ |         |         |
|   | Datum | Name   | Maßstab |         |
| bearb.  | 3/86  |  |         | Abb. 12 |
| gez.  | 3/86  |  |         |         |
|  Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tieflagerung |       |  |         |         |



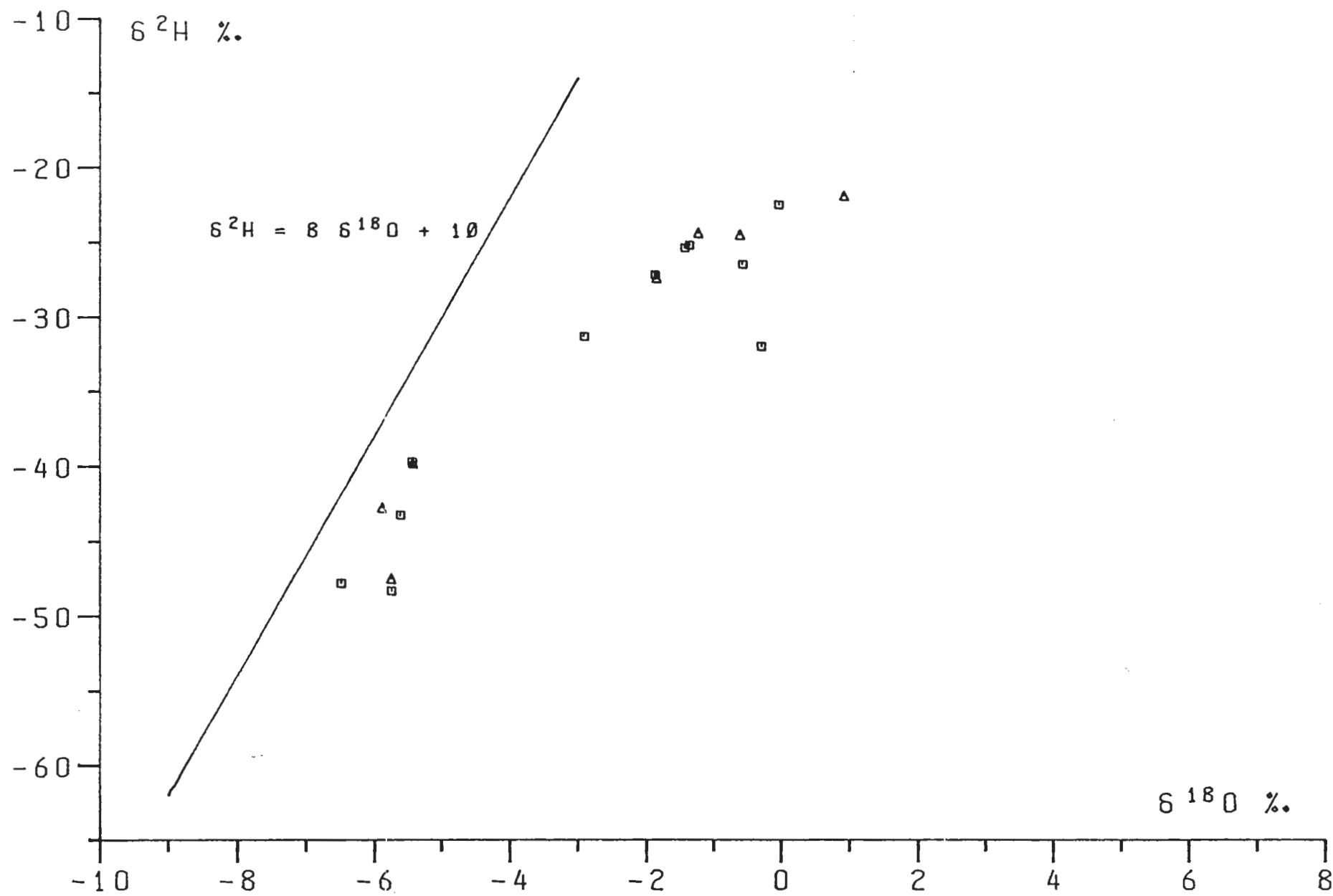


|                                   |       |   |         |
|-----------------------------------|-------|---|---------|
| Projekt:                          |       |   |         |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter |       |   |         |
| Leistungskatalog                  |       | Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7   |         |
| Bemerkung:                        |       | Objekt Chem. Analysen u. Altersbest.<br>an tiefen Grundwässern                                    |         |
|                                   |       | Einzelheit Bohrung z. Erh. d. Schachtausbaus<br>$^{14}\text{C}$ - $\delta^{13}\text{C}$ -Relation |         |
| bearb.                            | Datum | Name  | Maßstab |
| gez.                              | 3/86  |   |         |
|                                   |       |   | Abb. 13 |
|                                   |       |   |         |



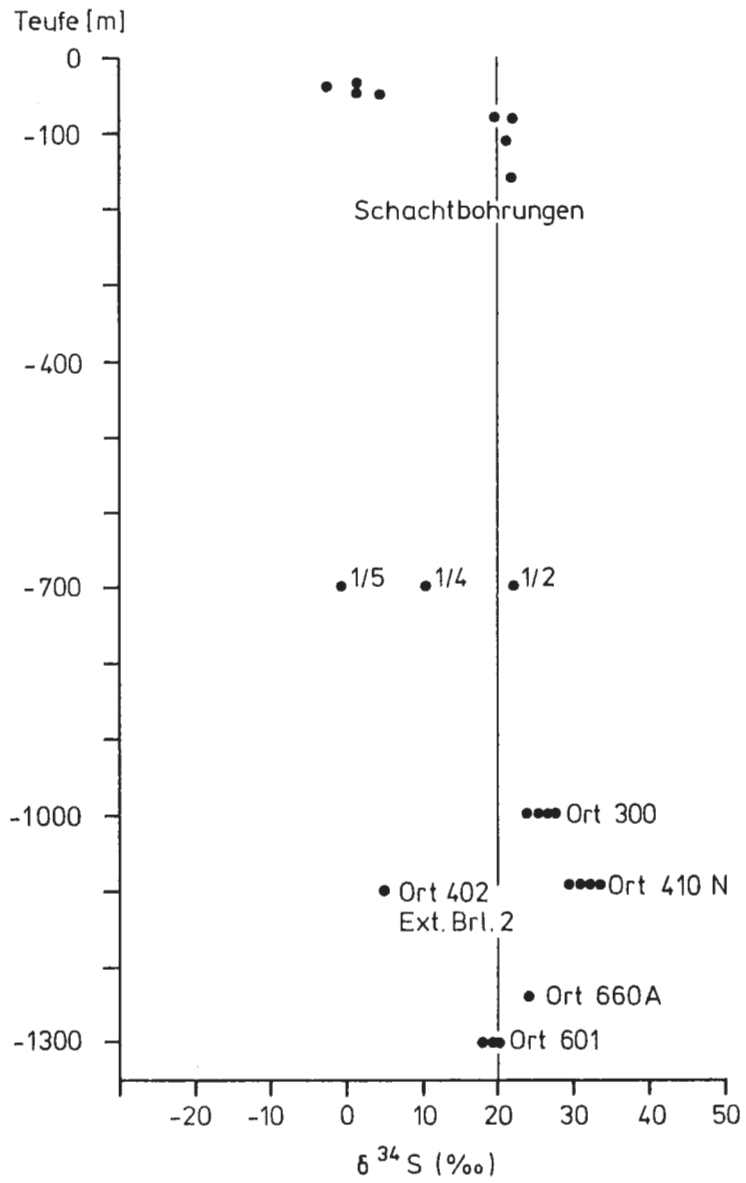
- \* Während des Auffahrungsprogramms angeschlagene Klüfte
- o Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus


|  |       |      |   |  |
|--|-------|------|---|--|
| Projekt:   |       |      |   |  |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter  |       |      |   |  |
| Leistungskatalog   |       |      |   |  |
| Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7  |       |      |   |  |
| Bemerkung  |       |      | Objekt: Chem. Analysen u. Altersbest.<br>an tiefen Grundwässern               |  |
|  |       |      | Einheit: $\delta^{2H}$ - $\delta^{18O}$ Relation<br>und „Niederschlagsgerade“ |  |
|  | Datum | Name | Maßstab   |  |
| bearb  | 3/86  |      |   |  |
| gez  | 3/86  |      |   |  |
| Abb. 14  |       |      |   |  |
| gsf Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tiefenergiephysik |       |      |   |  |



- Pumpensümpfe
- △ Träufelrinnen Schacht Konrad 2

|  |       |  |         |         |
|--|-------|--|---------|---------|
| Projekt:   |       |  |         |         |
| Schachanlage Konrad<br>Salzgitter  |       |  |         |         |
| Leistungskatalog   |       |  |         |         |
| Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7  |       |  |         |         |
| Bemerkung  |       | Objekt: Chem. Analysen u. Altersbest.<br>an tiefen Grundwässern              |         |         |
|  |       | Einheit: $\delta^{2H} - \delta^{18O}$ -Relation<br>und „Niederschlagsgerade“ |         |         |
|  | Datum | Name   | Maßstab |         |
| bearb  | 3/86  |  |         | Abb. 15 |
| gez  | 3/86  |  |         |         |
| Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tiefenergiephysik |       |  |         |         |



|  |       |   |         |      |
|--|-------|---|---------|------|
| Projekt:   |       |   |         |      |
| Schachtanlage Konrad<br>Salzgitter   |       |   |         |      |
| Leistungskatalog:  |       |   |         |      |
| Teilaufgabe Nr. 2219.05<br>Arbeitspaket Nr. 7  |       |   |         |      |
| Bemerkung  |       | Objekt: Chem. Analysen u. Altersbest.<br>an tiefen Grundwässern |         |      |
|  |       | Einzelheit<br>Teufenabhängigkeit von $\delta^{34}\text{S}$      |         |      |
|  | Datum | Verfasser   | Maßstab | Abb. |
| bearb.   | 3/86  |   |         | 16   |
| gez.   | 3/86  |   |         |      |
|  Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München<br>Institut für Tiefenerforschung |       |   |         |      |







