

Hydrogeologische, chemische und Isotopen-Untersuchungen der Grubenwässer des Ibbenbürener Steinkohlenreviers

Mit 28 Abbildungen, 1 Tabellenanhang

Von ROLF BÄSSLER *), Ibbenbüren

Zusammenfassung

Vergleichende hydrogeologische, chemische und Isotopen-Untersuchungen des oberflächennahen und tiefen Grundwassers im Ibbenbürener Steinkohlenrevier führen zu Aussagen über Gesetzmäßigkeiten des Stoffbestandes, über Genese, Art und Auftreten der Wässer in der Lagerstätte sowie über die Herkunft der Versalzung des tiefen Grundwassers. Für vergleichende Betrachtungen werden Mineral- und Formationswässer NW-Deutschlands herangezogen.

Grundlage für die hydrogeologische Problematik dieser Arbeit bilden die bekannten geologischen Verhältnisse der Ibbenbürener Karbonscholle. Ergänzend dazu werden erstmals neue Ausarbeitungen zur Geologie und Tektonik dieser Lagerstätte und ihres Vorlandes sowie zur Salzverbreitung in ihrer weiteren Umgebung vorgelegt.

Neben hydrogeologischen Auswertungen sind insgesamt 1100 Wasseruntersuchungen zur Hydrogeochemie, zur Schwefel-Isotopen-Verteilung und zur altersmäßigen Gliederung der Wässer auf Grund von ^3H - und ^{14}C -Isotopen-Bestimmungen durchgeführt worden. Sie führen zu folgendem Ergebnis:

In weiten Gebieten des durch starke Wasserzuflüsse belasteten Bergbaureviers ist das übliche oberflächennahe Grundwasser noch vorhanden. Mit steigender Zuflutstiefe in der Lagerstätte nimmt der Salzgehalt der Grubenwässer zu. Die Grenze Süßwasser/Salzwasser (chemisch bei 1000 mg/l Cl) liegt im Ibbenbürener Karbon bei — 100 m NN. Sie ist gebietsweise durch Bergbaueinfluß verändert und liegt dort zwischen — 180 m und — 300 m NN.

In der Ibbenbürener Karbonscholle sind drei Arten von Grundwasser zu unterscheiden:

1. Gering mineralisiertes, meteorisch beeinflußtes Wasser der oberflächennahen Grundwasserleiter und Grubenbaue mit mittleren Verweilzeiten von einigen

*) Anschrift des Autors: Dr. ROLF BÄSSLER, Preußag, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren, 453 Ibbenbüren, Osnabrücker Straße 112.

Jahrtausenden. Diese Wässer gehören dem Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-HCO₃-Typ an. Meteorologische Einflüsse lassen sich in tektonischen Störungszonen bis — 400 m NN Tiefe nachweisen.

2. Gleichaltes, aber sekundär durch Bergbaueinfluß auf Grund von Sulfid-Oxydation verändertes Grundwasser vom Ca-Mg-SO₄-Typ.
3. Stark mineralisiertes tiefes Grundwasser, das ³H- und ¹⁴C-freie Porenwasser der Karbonsedimente, das ein fossiles Grundwasser ist. Es gehört dem Na-Ca-(Mg)-Cl-Typ bzw. dem Na-Cl-Typ an und hat ¹⁴C-Modell-Wasseralter von über 30 000 Jahren. Diese Wässer bilden den Hauptteil der stark versalzenen Grubenwässer der tiefen Lagerstättenbereiche.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen keine eindeutige Aussage darüber zu, ob es sich bei dem tiefen Grundwasser des Ibbenbürener Karbons um diagenetisch verändertes fossiles Meerwasser handelt, oder ob später hinzutretende andere Salzlösungen Bedeutung haben. Im Gegensatz zur bisherigen Auffassung wird festgestellt, daß die stark versalzenen Grubenwässer der Lagerstätte heute keine Zufuhr durch Auslaugung von Salzlagerstätten aus dem Vorland erhalten.

Abstract

Comparative hydrogeological, chemical and isotope investigations of the surface-near and deep groundwaters in the Ibbenbüren coal area result in dates on the regularity of chemical compositions, on the genesis, kind and location of the waters in the deposit and on the origin of the oversalting of the deep groundwater. Mineral and formation waters in NW Germany have been used for comparative consideration.

The basis of the hydrogeological problems of this paper are the known geological conditions of the Ibbenbüren Carboniferous Formation. In addition to that new analyses of the geology and tectonics of this deposit and its foreland and of the occurrence of salt in its former environment are presented here for the first time.

Apart from hydrogeological investigations about 1100 water-analyses of the hydrogeochemistry, of the sulphur-isotope-distribution and of the age-determination of the waters on the basis of ³H and ¹⁴C-isotope-analysis have been carried out. They have led to the following results:

In vast districts of the coal-mining area stressed through strong inflows of water the usual surface-near groundwater is still extant. The salt-content of the mine drainage water increases according to the profundity in the deposit. The fresh water/salt water line of demarcation (chemically at 1000 mg/l Cl) is at — 100 m NN in the Ibbenbüren Carboniferous Formation. It has been altered by the coal-mining influence in some districts and reaches as far as — 180 m to — 300 m NN.

The Ibbenbüren Carboniferous Formation has 3 different kinds of groundwater:

- 1) Slightly mineralized and meteorically influenced water of the surface-near aquifer and coal-mines of a medium age of some milleniums. These waters

belong to the Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-HCO₃ type. Meteoric influences can be proved in fault zones up to — 400 m NN.

- 2) Groundwater of the Ca-Mg-SO₄ type of the same age but changed through a coal-mining influence on account of sulfid oxidation.
- 3) Strongly mineralized deep groundwater, the ³H- and ¹⁴C-free interstitial water of the carboniferous sediments, which is a fossil groundwater. It belongs to the Na-Ca-(Mg)-Cl type or to the Na-Cl type and has the age of more than 30 000 years. These waters are the main part of the strongly salted mine drainage water of the deep deposits.

The present results of investigation do not admit a clear answer to the question whether the deep groundwater of the Ibbenbüren Carboniferous is unexceptionally fossil sea-water which was changed in the diagenesis or whether other salt-solutions of later periods were of importance as well.

Contrary to the hitherto existing conception it can be taken for granted that the strongly salted mine-waters of the deposit do not get any supply through the lixiviation of salt-deposits from the environing districts today.

Résumé

Des recherches comparées hydrogéologiques, chimiques, et d'isotopes de l'eau souterraine, proche de surface et profonde, dans le Houiller d'Ibbenbüren permettent des conclusions concernant les normes de la substance, la genèse, l'espèce, et l'apparition des eaux dans le gisement, ainsi que l'origine de la salinité de l'eau souterraine profonde. Pour des considérations comparées on s'est servi des eaux minérales et des eaux de formation de l'Allemagne de Nord-Ouest.

Ce sont les conditions géologiques du terrain carbonifère d'Ibbenbüren qui font la base pour les problèmes hydrogéologiques de cet ouvrage. Ces recherches sont complétées des élaborations nouvelles concernant la géologie et la tectonique de ce gisement et de sa partie avancée, et concernant la divulgation du sel dans ses environs.

À côté des analyses hydrogéologiques, on a fait environ 1100 analyses d'eau à l'égard de l'hydrochimie, de la répartition soufre-isotopes, et de la structure des âges des eaux, sur la base des déterminations d'isotopes ³H et ¹⁴C. Elles ont donné le résultat suivant:

Dans la plupart de la région du Houiller, chargé des affluents très forts, il y a encore l'ordinaire eau souterraine. Le teneur en sel des eaux d'infiltration augmente suivant la profondeur des affluents dans le gisement. Dans le Houiller d'Ibbenbüren la limite eau douce/eau salée (chimique à 1000 mg/l Cl) se trouve à — 100 m NN. Selon les différentes parties du gisement, elle est modifiée par des influences des mines, et s'y trouve entre — 180 m et — 300 m NN.

Dans le Houiller d'Ibbenbüren on distingue trois sortes d'eau souterraine:

1. L'eau peu minéralisée et météoriquement influencée des aquifères proches de surface et des exploitations avec des durées et rétention moyennes de quelques millénaires. Ces eaux appartiennent au type Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-

HCO_3^- . Des influences météorologiques se laissent déceler dans des zones tectoniques jusqu'à une profondeur de — 400 m NN.

2. L'eau souterraine du type Ca-Mg-SO_4^- , qui a le même âge, mais qui a subi une modification secondaire par l'influence des mines à cause d'oxydation de sulfure.
3. L'eau souterraine profonde fort minéralisée, l'eau interstitielle sans tritium et sans ^{14}C des sédiments carbonifères, qui est une eau souterraine innée. Elle appartient au type Na-Ca-(Mg)-Cl ou bien au type Na-Cl ; elle a un âge modèle de plus de 30 000 ans. Ces eaux forment la principale partie des eaux d'infiltration fort salées des gisements profonds.

Les résultats présents ne permettent pas une réponse définitive à la question s'il s'agit dans le cas de l'eau souterraine profonde du Houiller d'Ibbenbüren exclusivement d'une eau de mer fossile et modifiée pendant la diagenèse, ou bien si encore d'autres solutions salines qui se sont ajoutées plus tard, si elles aussi ont une importance.

Au contraire de la conception qu'on a soutenue jusqu'à présent on peut constater avec grande assurance que les eaux d'infiltration fort salées du gisement ne reçoivent aujourd'hui plus d'apports par le lessivage des gisements salins de la partie avancée.

Inhalt

1. Einführung
2. Untersuchungsmaterial und Begriffsabgrenzung
3. Zur Geologie des Untersuchungsgebietes
 - 3.1. Geologischer Überblick
 - 3.2. Ibbenbürener Karbonscholle
 - 3.3. Die Lagerstätte und ihre Beziehungen zum geologischen Bau des Vorlandes
4. Hydrologie und Grundwasserführung
 - 4.1. Hydrologisch-topographischer Überblick
 - 4.2. Grundwasserführung
 - 4.3. Grubenwasserverhältnisse
5. Hydrochemie
 - 5.1. Untersuchungsmaterial
 - 5.2. Untersuchungsergebnisse
 - 5.3. Deutung und Zusammenfassung der hydrochemischen Befunde
6. Schwefel-Isotopen-Verhältnisse der Ibbenbürener Grubenwässer und einiger Mineral- und Formationswässer NW-Deutschlands
 - 6.1. Grundlage der Schwefel-Isotopen-Analyse
 - 6.2. Problemstellung und Voraussetzungen
 - 6.3. Probenmaterial und Präparation
 - 6.4. Ergebnisse
7. ^{14}C - und ^3H -Konzentrations-Bestimmungen zur altersmäßigen Gliederung der Ibbenbürener Grubenwässer
 - 7.1. Voraussetzung und Modellvorstellung der ^{14}C -Methode
 - 7.2. Probenmaterial
 - 7.3. Ergebnisse
8. Schriften
9. Anhang (Tabellen)

1. Einführung

Seit den Anfängen bergmännischer Erschließung von Lagerstätten hat die Frage nach Auftreten, Art und Herkunft von Grubenwasser immer wieder im Mittelpunkt praxisnaher Überlegungen und wissenschaftlicher Untersuchungen gestanden (KARSTEN 1826, HUYSSEN 1855, HAYN 1887 u. a.). Der Begriff Grubenwasser umfaßt zugleich oberflächennahes Grundwasser (Süßwasser) und mineralisiertes tiefes Grundwasser (Salzwasser).

Unterhalb des Grundwasserspiegels wird der Kluft- und Porenraum der Gesteine vollständig von wässrigen Lösungen eingenommen. Ausnahmeerscheinungen bilden gelegentlich Konzentrationen von Erdöl und Gas. Das im oberflächennahen Bereich der Gesteine vorhandene Grundwasser zeichnet sich durch

eine meist geringe Mineralisation aus. Es nimmt am meteorologischen Zyklus teil und ist dadurch direkten Beobachtungen leicht zugänglich. Demgegenüber ist unser Wissen über das tiefe Grundwasser wesentlich geringer, weil natürliche Austritte von Mineralwasser, Zuflüsse in Bohrungen und Bergbauaufschlüssen nur gelegentlich Untersuchungsmöglichkeiten bieten.

Der gegenwärtige Stand der Grundwasserforschung läßt ein zunehmendes Interesse an Untersuchungen des versalzenen tiefen Grundwassers erkennen. In neueren Arbeiten über Lagerstättenwässer des Erdöls, über Mineral- und Grubenwässer wird überwiegend die Auffassung vertreten, daß der Kluft- und Porenraum tiefer Sedimentbereiche in fast allen Gebieten der Erde von Salzlösungen verschiedener Konzentration erfüllt ist. Dabei zeigt sich, daß diese Salzwässer auch unabhängig von Kohlenwasserstofflagerstätten und der Verbreitung von Salzlagern vorkommen. Formationsgebundenes Süßwasser bildet demgegenüber eine Ausnahme.

Salzhaltige Gruben-, Mineral- und Formationswässer sind auch in NW-Deutschland Ausdruck einer allgemein verbreiteten Mineralisation des tiefen Grundwassers. Verschiedene Autoren weisen auf weitreichende und regionale Zusammenhänge der Tiefenwässer dieses Gebietes hin (BAECKER 1953, WAGER 1954, KELLER 1956, SEMMLER 1960, FRICKE 1961 und MICHEL 1963).

Die vorliegenden Untersuchungen der Grubenwässer des Ibbenbürener Steinkohlenreviers hatten das Ziel, Fragen der Gesetzmäßigkeit des Stoffbestandes, der Genese, Art und des Auftretens der Wässer in der Lagerstätte sowie über die Herkunft der Versalzung zu beantworten. Sie sind gleichzeitig ein Beitrag zu der allgemeinen hydrologischen Problematik der Entstehung und Herkunft des mineralisierten tiefen Grundwassers und dessen Beziehung zu nicht versalzenem oberflächennahen Grundwasser. Bei der Problemstellung dieser Arbeit sind vor allem die Untersuchungen der Tiefenwässer des Ruhrkarbons und Münsterlandes berücksichtigt worden. Nach der bekannten älteren Auffassung (KUKUK 1938, HELLWIG 1939, FRICKE 1952, 1961, SEMMLER 1953/54, 1960) ist der hohe Salzgehalt der Wässer durch Auslaugung von Zechsteinsalzen im Norden zu erklären. Neue Arbeiten von ENGELHARDT (1960), MICHEL (1964) und PUCHELT (1964) ergeben demgegenüber, daß die Entstehung des tiefen Grundwassers in diesem Gebiet im wesentlichen auf Porenlösungen der Karbonsedimente (fossiles Meerwasser) zurückzuführen ist.

Als Untersuchungsobjekt bot die Ibbenbürener Karbonscholle mit ihren Grubenwässern besonders günstige Voraussetzungen. Sie bestanden darin, daß hier, im Gegensatz zu anderen Arbeitsgebieten, nur eine verhältnismäßig kleine, geologisch und bergmännisch vollkommen erschlossene und gegen das Vorland scharf abgegrenzte hydrologische Einheit ohne Deckgebirge vorhanden ist. Die starke Belastung dieser Lagerstätte durch Grubenwässer unterstreicht außerdem die praktische Bedeutung solcher Untersuchungen.

Um mögliche, über den Bereich dieses Karbonhorstes in das Vorland der Nordwestfälisch-Lippischen Schwelle hinausreichende hydrologische und hydrochemische Zusammenhänge erkennen zu können, wurden Mineral- und Formationswässer NW-Deutschlands mit in die Untersuchung einbezogen. Der geologisch-tektonische Bau der Ibbenbürener Karbonscholle (EBERT 1954) gibt die Grundlage für diese Arbeit. Über neue Ausarbeitungen zur Geologie des Vorlandes dieser Steinkohlenlagerstätte wird berichtet.

Dieser Arbeit liegen ca. 1000 Wasseranalysen und 100 Isotopen-Bestimmungen zugrunde. Die Untersuchungen erstrecken sich über den Zeitraum von 1962 bis 1969. Neben hydrogeologischen Auswertungen wurde der Gesamtstoffbestand der Wässer einschließlich der Spurenelemente erfaßt. Ergänzend dazu konnten ^{14}C -Altersdatierungen (BRINKMANN, MÜNNICH & VOGEL 1959) und Schwefel-Isotopenbestimmungen (PUCHELT & NIELSEN 1967) an diesen Wässern durchgeführt werden.

Diese Arbeit ist die im wesentlichen unveränderte Fassung einer Dissertation, die der Verfasser 1969 an der Technischen Universität Braunschweig vorlegte. Die Anregungen zu diesen Untersuchungen gab der damalige Direktor des Geologischen Institutes, Herr Professor Dr. G. Keller, dem an dieser Stelle noch einmal besonderer Dank ausgesprochen werden soll.

Für die Erlaubnis zur Durchführung und großzügige Förderung dieser Arbeit ist der Direktion der Preußag AG, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren, zu danken. Weiterhin dankt der Verfasser der Preußag AG, Erdöl und Erdgas, für die gewährte Einsicht in zahlreiche Unterlagen sowie allen Bäderverwaltungen, Salinen und Bergwerksgesellschaften, die Probematerial zur Verfügung gestellt haben.

Ein besonderes Anliegen ist es dem Verfasser, seinen Dank den Leitern des Zentrallabors der Bleihütte Oker, Herrn Dipl.-Chem. Dreyer, bis 1968, und Herrn Dr. Wunderlich, für die Unterstützung bei den chemischen Analysen zu sagen. Ergänzende Wasseruntersuchungen sind im chemischen Labor der Preußag AG, Erdöl und Erdgas, von Herrn Dr. Grewe und im chemischen Labor des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen von Herrn Dr. Werner durchgeführt worden. Weiterhin ist dem Leiter des Zentrallabors für die Geochemie der Isotope in Göttingen, Herrn Dr. Nielsen, für Schwefel-Isotopen-Bestimmungen und dem Leiter des ^{14}C -/ ^3H -Laboratoriums im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover, Herrn Dr. M. A. Geyh, für die Durchführung und Diskussion der Kohlenstoff-Isotopen- und Tritium-Bestimmungen zu danken.

2. Untersuchungsmaterial und Begriffsabgrenzung

Die Steinkohlenlagerstätte des Schafberges bei Ibbenbüren wird von der Preußag AG, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren, ausgebeutet. Im Vergleich zu anderen Kohlebergbaurevierein nimmt diese Lagerstätte mit 55 km² Ausdehnung eine verhältnismäßig kleine Fläche ein. Besondere Aufmerksamkeit beanspruchen die außergewöhnlich großen Wasserzuflüsse der Grubenbetriebe, die den Ibbenbürener Bergbau belasten.

Leistungssteigerung und Ausweitung haben in den vergangenen 6 Jahren vor allem in größerer Teufe neue Aufschlüsse geschaffen. Wertvolle Unterlagen über den geologischen Bau des Vorlandes ergaben Bohrungen und geophysikalische Messungen der Erdölindustrie.

Das vorhandene und für Auswertungen geeignete hydrologische Untersuchungsmaterial der Ibbenbürener Bergwerksbetriebe beschränkte sich auf Messungen der Gesamtgrubenwassermenge und chemische Kurzanalysen. Im Rahmen vorliegender Arbeit wurden alle Grubenwasserzuflüsse unter Tage chemisch untersucht. Die Zusammensetzung einzelner Wasserzutrittsstellen ist über längere Zeiträume beobachtet worden.

Probenahme, Temperatur- und Druckmessungen konnten einwandfrei durchgeführt werden. Dagegen sind Wassermengenmessungen unter Tage kritisch zu betrachten. Im praktischen Betrieb wird die Wassermenge meist noch über die Pumpenleistung berechnet, was zu beträchtlichen Fehleinschätzungen führen kann. Herkömmliche und leicht zu handhabende Wassermengenzähler können wegen des Feststoffanteils und chemischen Inhaltes der Wässer nicht eingesetzt werden. Mengenmeßeinrichtungen mit größerem Platzbedarf (Überfall- oder Venturi-messungen) sind bei der Vielzahl von Meßstellen nicht diskutabel.

Eine zuverlässige und praktisch einsetzbare Mengenmessung ist die magnetische Durchflußmessung. Sie wird im Westfeld des Ibbenbürener Steinkohlenreviers angewendet, konnte aber wegen der hohen Anschaffungskosten in anderen Grubenrevieren noch nicht eingesetzt werden.

Dieser Arbeit liegen zahlreiche chemische Wasseruntersuchungen zugrunde. Es sind zwei verschiedene Untersuchungsarten zu unterscheiden:

1. Die chemische Betriebsanalyse, die bei über 900 Grubenwasserproben angewendet und im Werkslabor Ibbenbüren durchgeführt wurde. Sie umfaßt folgende Bestimmungen: pH-Wert, Gesamt- und Karbonathärte, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , CaO , MgO , Fe^{2+} und Ba^{2+} .

2. Vollanalysen von ca. 80 Wasserproben, die den Gesamtstoffbestand des Wassers einschließlich der Spurenelemente erfassen. Untersucht wurden neben Ibbenbürener Grubenwasser Formations- und Mineralwasser. Über die Einzelbestimmungen dieser Analysen wird im Abschnitt Hydrochemie berichtet. Die chemischen Vollanalysen sind im Zentrallabor der Bleihütte Oker durchgeführt worden.

Die Ergebnisse der Wasseruntersuchungen werden als Ionenwerte in Milligramm/Liter (mg/l), Milligrammäquivalente (mval) und Äquivalentprozente (mval%) wiedergegeben.

Äquivalentprozente ergeben sich, wenn man die Äquivalentzahlen der Kationen und Anionen je gleich 100 setzt und aus den absoluten Zahlen die Äquivalentprozente für Kationen und Anionen berechnet (ENGELHARDT 1960).

In Anlehnung an die Balneologie (FRESENIUS 1965/68) werden Grundwassertypen nach folgendem Prinzip unterschieden: Die Ionen werden in der Reihenfolge Kation-Anion nach ihrer Häufigkeit aufgeführt. Für die Einteilung sind nur die Ionen mit einem mval%-Anteil von über 20% bedeutsam. Um eine nähere Charakterisierung zu ermöglichen, werden mval%-Gehalte von 20 bis 10% in Klammern dazugefügt (vgl. MICHEL 1963).

Die Grenze Süßwasser/Salzwasser wird bei einem Chloridgehalt von ± 1000 mg/l gezogen. Die Größenordnung erschien zweckmäßig, um anthropogene und biogene Einflüsse auszuschalten. Außerdem ergeben sich dadurch Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Untersuchungen (MICHEL 1963).

Für die Kennzeichnung der stark mineralisierten Lösungen des tieferen Untergrundes werden die Bezeichnungen Formationswasser, Tiefenwasser sowie tiefes Grundwasser (WAGER 1954, MICHEL 1963) benutzt.

Unter dem Begriff „fossiles Wasser“ wird in dieser Arbeit Grundwasser verstanden, das glazial oder präglazial in den Untergrund eingedrungen ist. Bei der Diskussion von ^{14}C -Altersbestimmungen an Ruhrkarbonwässern nehmen JACOBSHAGEN und MÜNNICH (1964) an, daß während des letzten Stadiums der Würm-Eiszeit keine nennenswerte Grundwasserbildung stattgefunden hat. Das bedeutet,

daß fossiles Wasser im Sinne einer ^{14}C -Altersgliederung vor dem Spätglazial, d. h. vor mehr als 24 000 Jahren, dem meteorologischen Kreislauf entzogen sein muß.

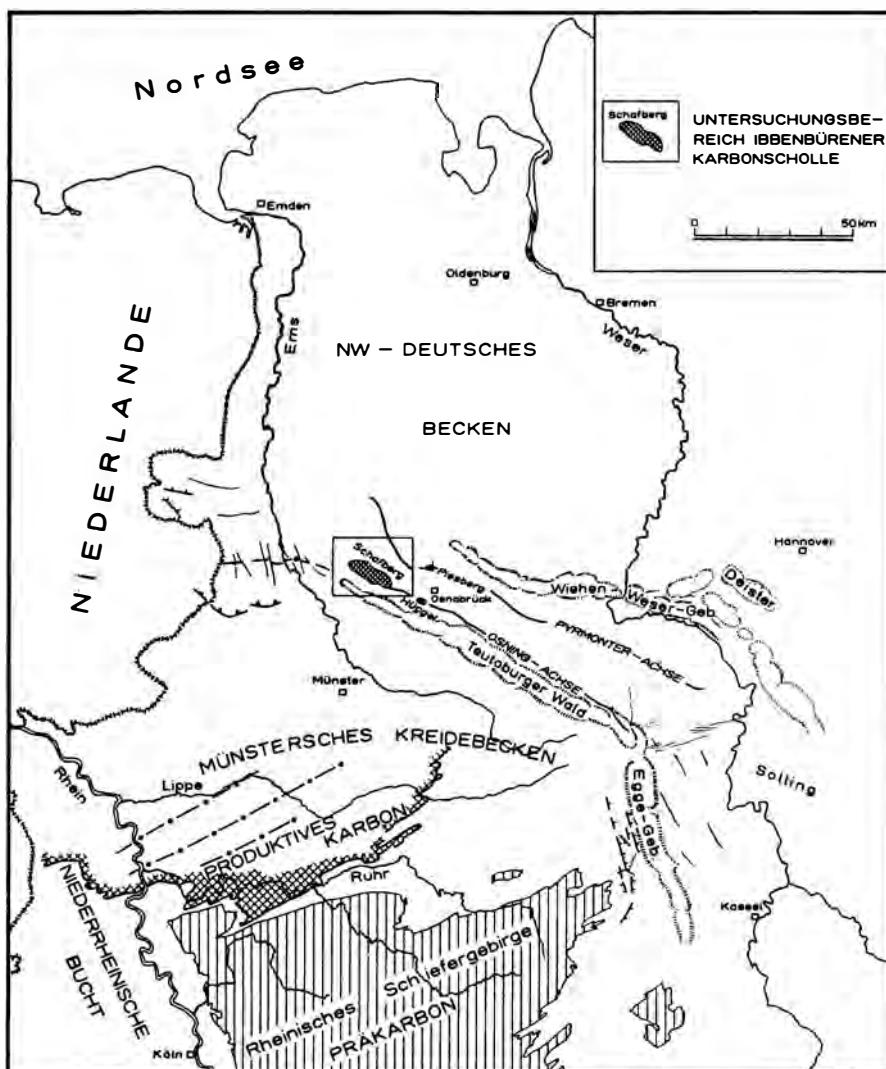


Abb. 1. Übersichtskarte und Lage des Untersuchungsgebietes.

3. Zur Geologie des Untersuchungsgebietes

3.1. Geologischer Überblick

Zwischen dem Nordwestdeutschen Becken und dem Münsterschen Kreidebecken schiebt sich die Nordwestfälisch-Lippische Schwelle (HAACK 1924) weit in

das nordwestdeutsche Tiefland vor. Ihr eigenständiger geologischer Bau wird durch das inselartige Auftreten von Paläozoikum besonders betont. Am Südrand des Münsterschen Beckens taucht das produktive Karbon des Ruhrreviers unter die Kreide nach N ab. Es tritt bei Osnabrück in drei isolierten Vorkommen noch einmal zutage. Neben den kleineren Karbonlagerstätten Hüggel und Piesberg bildet das Steinkohlenvorkommen des Schafberges das nordwestlichste zutage ausgehende deutsche Paläozoikum. Es liegt inmitten mesozoischer Schichten des Teutoburger Waldes und des Wiehengebirges (Abb. 1).

Die drei Karbonaufbrüche sind an die hercynisch streichenden Hauptachsen der Nordwestfälisch-Lippischen Schwelle gebunden. Das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit umfaßt die als Schafberg oder Ibbenbürener Karbonscholle bezeichnete Steinkohlenlagerstätte und ihr Vorland (Abb. 1).

3.2. Ibbenbürener Karbonscholle

Gegenüber dem Quartär und Mesozoikum des Vorlandes ist das Ibbenbürener Paläozoikum geologisch sowie morphologisch scharf abgegrenzt. Es bildet unmittelbar nördlich von Ibbenbüren einen in hercynischer Richtung gestreckten Bergrücken (Abb. 2).

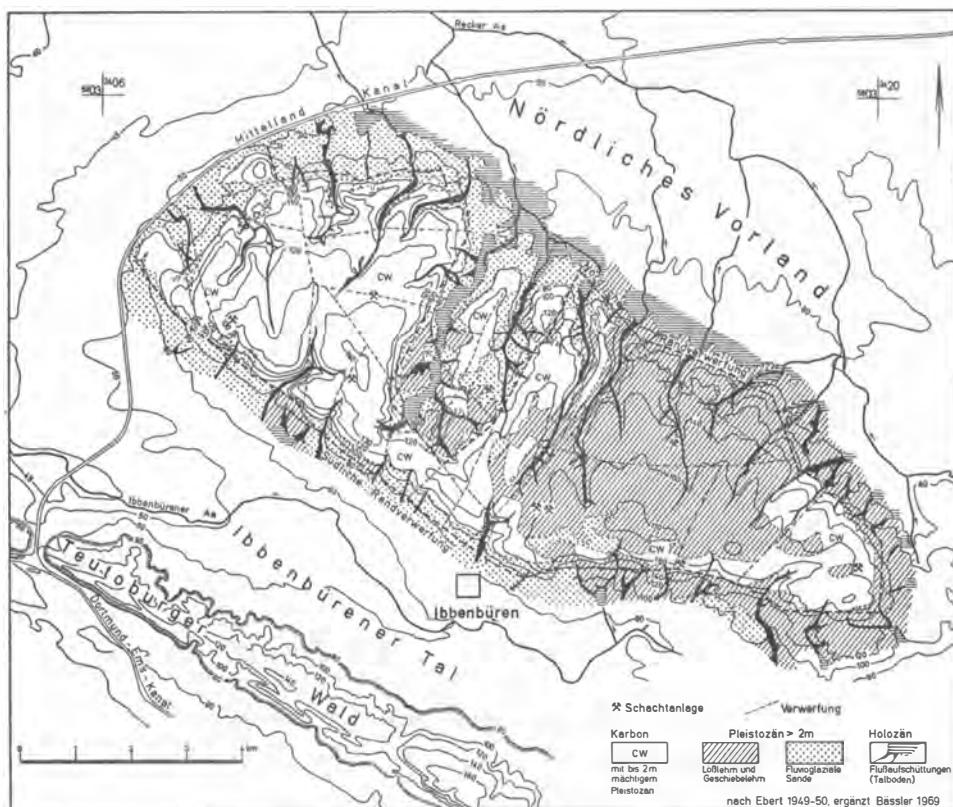


Abb. 2. Geologische Karte der Ibbenbürener Karbonscholle und Morphologie des Vorlandes.

Der Schafberg hat eine Längserstreckung von 14 km und eine Breite von 4 bis 5 km. In seinem Westteil tritt flözführendes Karbon direkt zutage. Randzonen und Ostteil der Karbonscholle werden von einer ± mächtigen pleistozänen Deckschicht überzogen.

Das Ibbenbürener Karbon wird als ein Teil vom Nordflügel des Osning aufgefaßt (EBERT 1954). Wie KELLER (1953) nachweisen konnte, verläuft die Osningachse am Südrand der Scholle, ohne sie wesentlich zu beeinflussen. Begrenzt wird das Karbonvorkommen von Randstörungen mit Verwurfsbeträgen bis 2000 m. Sie verlaufen z. T. im Karbon, verwerfen aber meist je nach Intensität gegen Zechstein, Trias und Jura des Vorlandes und begrenzen damit die Struktur der Karbonscholle.

Allgemein anerkannt ist heute die Auffassung, daß der Schafberg ein Horst ist (KELLER 1953, EBERT 1954). Auch neue Beobachtungen bestätigen diese Deutung. Die Auswertung zahlreicher Erkundungsbohrlöcher ergibt, daß die südliche Randverwerfung bis in eine Tiefe von 500 m mit 80° nach dem Vorland hin einfällt.

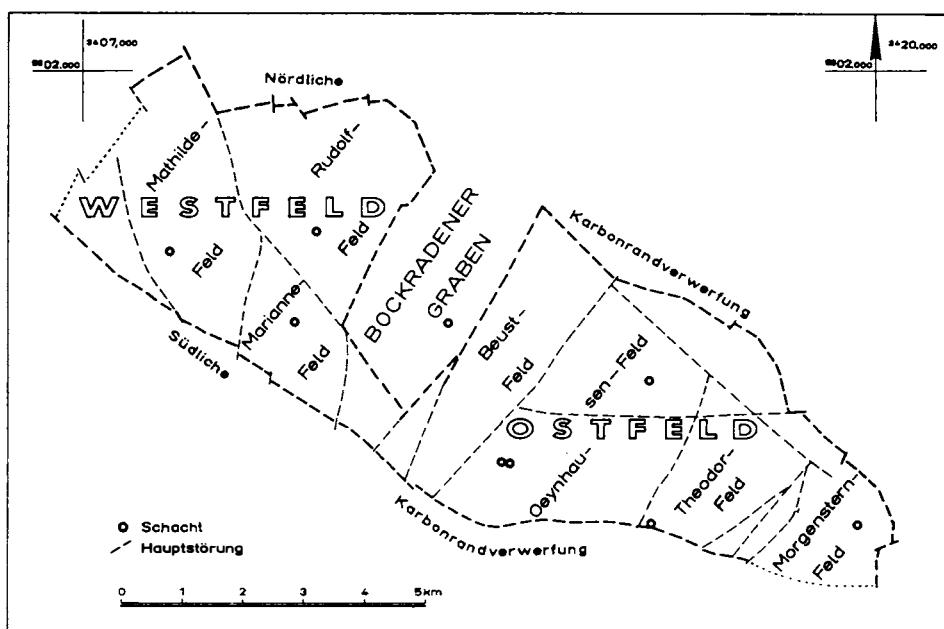


Abb. 3. Strukturplan der Ibbenbürener Karbonscholle.

Durch mächtige Querverwerfungen erhält die Struktur des Schafberges eine ganz markante Gliederung in einzelne Teilschollen (Abb. 3). Das bedeutendste Querelement ist der Bockradener Graben, dessen Nordteil besonders tief eingesunken ist. In ihm sind noch Ablagerungen des Deckgebirges erhalten geblieben. Die Begrenzungsstörungen des Bockradener Grabens haben Verwurfsbeträge von 210 bis 500 m.

Der Bockradener Graben teilt die Steinkohlenlagerstätte in ein Westfeld und ein Ostfeld. Innerhalb dieser Feldesteile haben sich dem Verlauf größerer Querverwerfungen folgend verschiedene Baufelder ergeben (Abb. 3). Diese Querverwerfungen versetzen das Karbon um Beträge zwischen 20 bis 200 m.

Die im Generalstreichen der Struktur vorwiegend hercynisch verlaufenden Schichten des Oberkarbons fallen mit 3 bis 25° nach N ein.

Abb. 4 gibt eine schematische Übersicht zur Stratigraphie und Lithologie der auf der Ibbenbürener Karbonscholle erhaltenen Schichtenfolge.

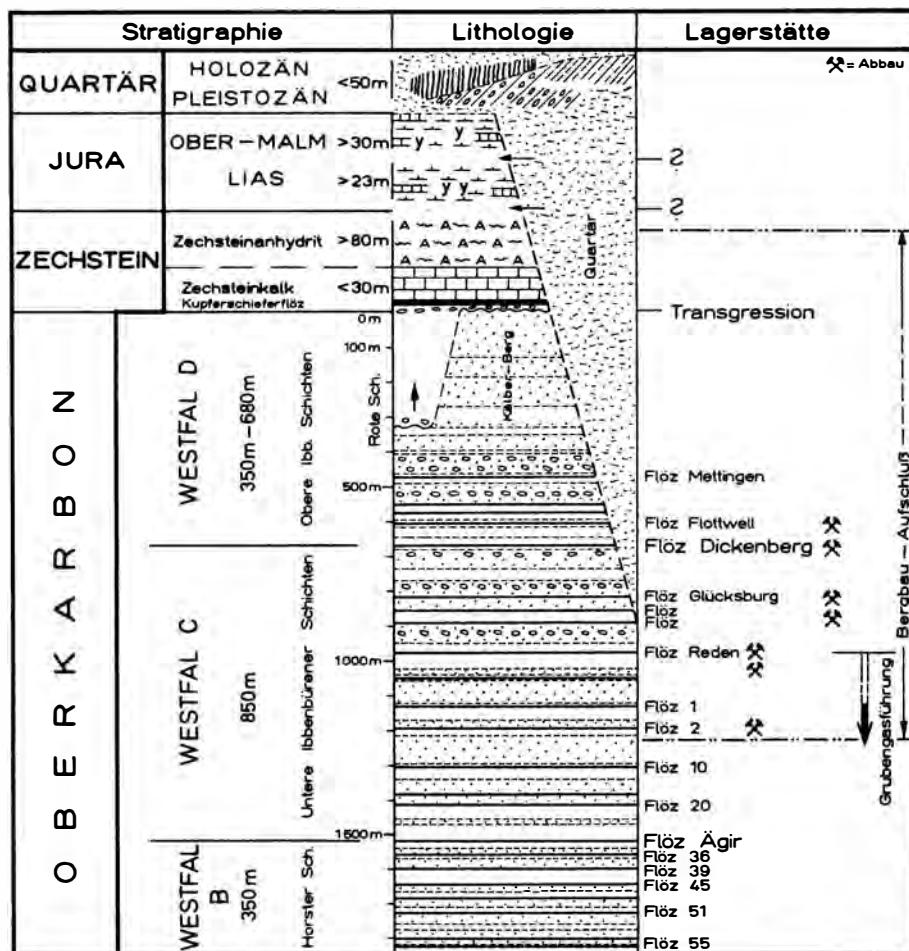


Abb. 4. Schichtenaufbau und lagerstättengeologische Daten im Untersuchungsgebiet.

Die stratigraphische Gliederung des Ibbenbürener Karbons erfolgte durch GOTTHAN u. HAACK (1924/25) und BODE (1926). Innerhalb der 1800 m mächtigen Schichtenfolge lässt sich eine 400 m mächtige flözfreie rote Sedimentserie von normalem, grauen flözführenden Oberkarbon abtrennen.

Nach neuen Untersuchungen enthält das Ibbenbürener Karbon 81 Flöze, von denen bergmännisch 7 abgebaut wurden bzw. noch in Abbau stehen. Flöz Glücksburg und Flöz 2 werden wegen ihrer charakteristischen Ausbildung als Leitflöze verwendet. Von 1800 m Oberkarbon sind 900 m bergmännisch aufgeschlossen. Die Schichtenfolge besteht aus 70% Sandstein mit Konglomerat und 30% Schieferton mit Kohleflözen.

Die Sandsteine sind überwiegend aus Quarz, untergeordnet aus Quarzit und Lyditkörnchen aufgebaut. Feldspäte treten stark zurück. Der Karbonatgehalt ist sehr gering. Das Bindemittel ist vorwiegend quarzitisch, untergeordnet serizitisch mit ± stark tonigem Anteil.

Ein besonderes Kennzeichen des Ibbenbürener Karbons ist die hohe Inkohlung seiner Flöze. Im Anthrazitbereich des tieferen Teils der Lagerstätte hat die Grubengasführung außergewöhnlich zugenommen.

Diskordant auf dem Karbon liegt Zechstein mit einem sehr mächtigen Karbonatfuß. Die Vererzung innerhalb der Zechsteinkalke im Gebiet der südöstlichen Randverwerfung hat zu einem ausgedehnten Erzbergbau im vergangenen Jahrhundert geführt. Im Bockradener Graben ist durch bergmännische Aufschlußarbeiten Zechsteinanhydrit nachgewiesen worden (Abb. 4).

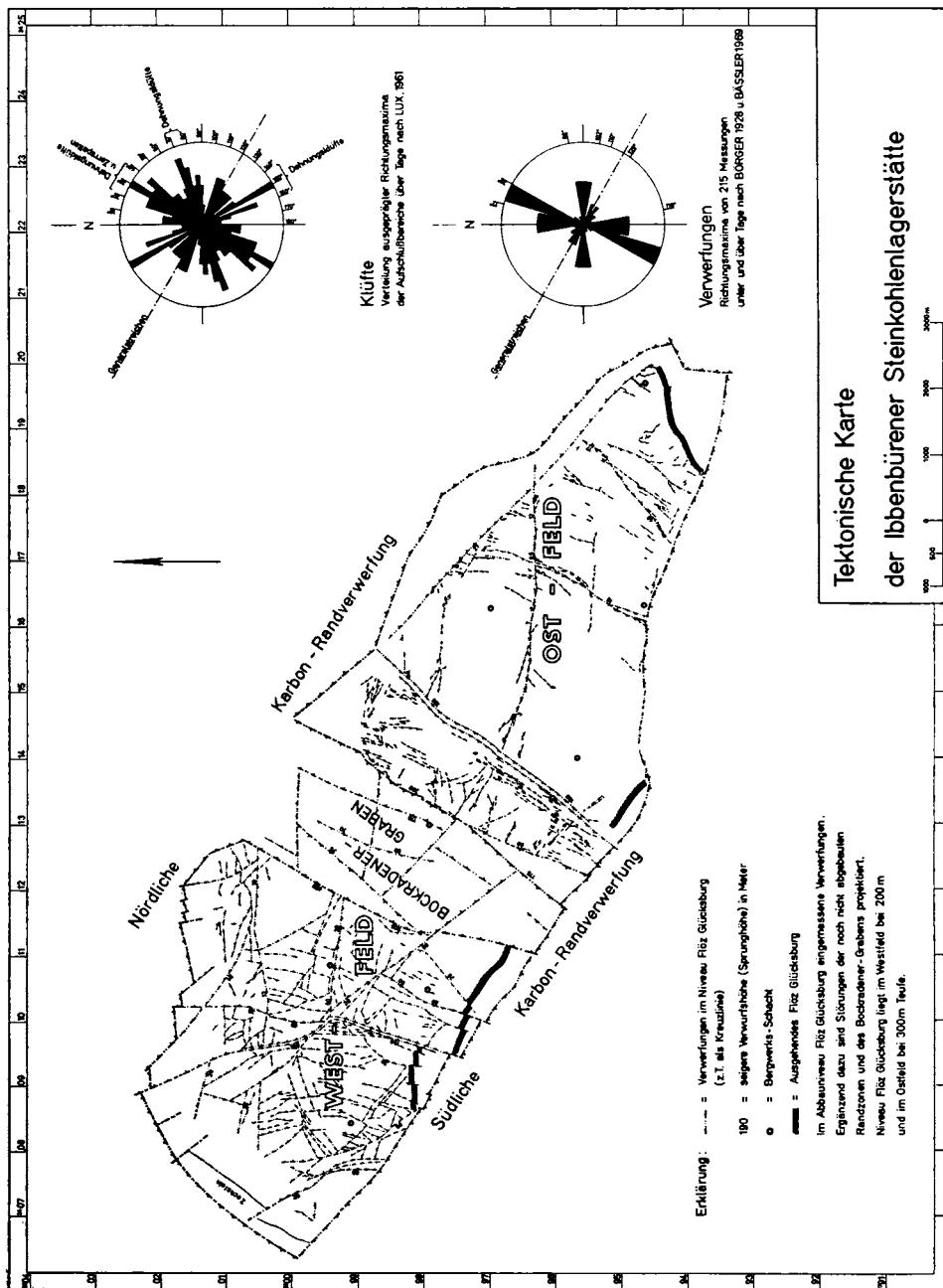
Im Hangenden der Zechsteinablagerungen haben sich im Bockradener Graben noch jüngere Sedimente nachweisen lassen. Neben Tonschiefer und Mergel des Lias wurde Obermalm und Wealden gefunden (BÄSSLER 1968). Auf die besondere Problematik dieser Ergebnisse sei nur am Rande hingewiesen, zumal eine endgültige Ausdeutung der Befunde noch nicht vorliegt.

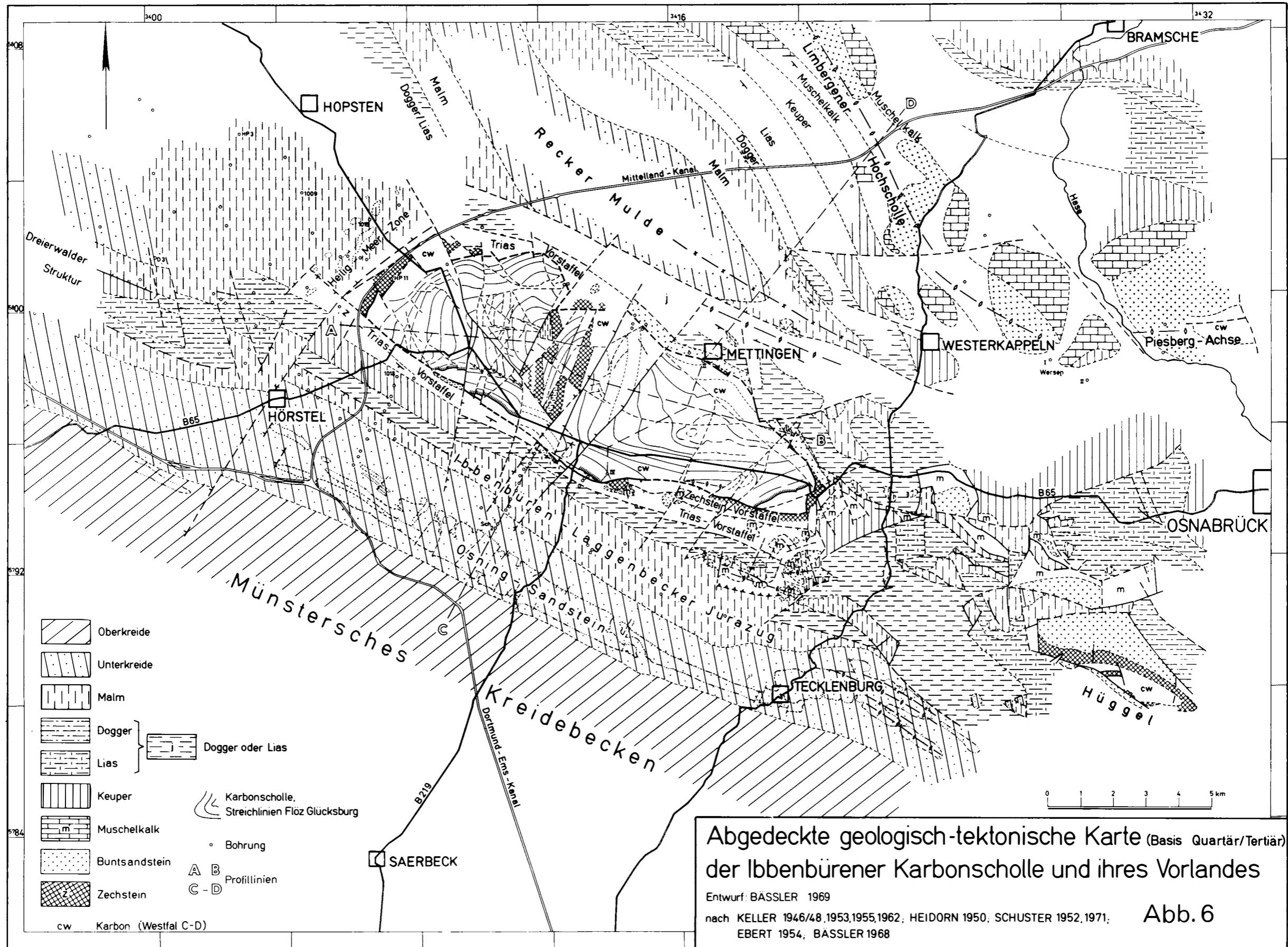
Für die Grundwasserführung des Ibbenbürener Karbons haben die tektonischen Verhältnisse eine hervorragende Bedeutung. Die südliche Karbonrandverwerfung führt wegen ihrer 2 bis 10 m mächtigen tonigen Ausfüllung weder oberflächennah noch in größerer Tiefe nennenswerte Wassermengen. Demgegenüber zeigen die Querverwerfungen in ihrem Verlauf offene Spalten und Schlottensysteme. Man muß allerdings hervorheben, daß mit zunehmender Tiefe eine bemerkenswerte Verdichtung des Gesteinsverbandes einsetzt.

Im oberflächennahen Bereich von Querstörungen geht die Zertrümmerung der Sandsteinpakete häufig so weit, daß nur noch loses Haufwerk von Gesteinsbruchstücken nebeneinander liegt. Hier sind ausgezeichnete Wanderwege für Grundwasser gegeben, die besonders auch dann Bedeutung erlangen, wenn Querverwerfungen die Karbonrandstörung durchsetzen.

Die tektonische Beanspruchung des Westteils der Lagerstätte ist bedeutend intensiver gewesen als die des Ostfeldes. Abb. 5 zeigt diesen Unterschied anhand einer tektonischen Karte. Dargestellt sind alle geologischen Störungen, die bei dem großflächigen Abbau von Flöz Glücksburg in + 120 bis — 300 m NN Teufe aufgetreten und erkannt worden sind. Die nicht abgebauten Randzonen der Lagerstätte und der Bockradener Graben mußten unberücksichtigt bleiben.

Um die bevorzugten Kluft- und Störungsrichtungen noch einmal hervorzuheben, wurde das tektonische Inventar zusammenfassend ausgewertet und in zwei Kluftrosen dargestellt. Bei den Störungen zeigt sich die überragende Bedeutung der NNE—SSW verlaufenden Querstörungen gegenüber den streichenden Störungen. Ein dementsprechendes Verteilungsbild ergeben auch die Kluftmessungen. Richtungsmaxima ausgeprägter Dehnungsklüfte liegen bei 30°, 75° und 150°.





Durch die quartäre Bedeckung ist die Beobachtungsmöglichkeit an der Karbonoberfläche stark eingeschränkt. Man muß mit Sicherheit damit rechnen, daß die Störungshäufigkeit dort noch wesentlich ausgeprägter als im Niveau von Flöz Glücksburg (Abb. 5) ist.

Neue tektonische Aufnahmen zeigen, daß die im oberflächennahen Bereich ausgeprägte Zerrungstektonik ab 500 m Teufe stark zurücktritt. Anzahl sowie Verwurfsbetrag der Verwerfungen nehmen ab. In 600 bis 700 m Tiefe treten neben Abschiebungen bereits tektonische Pressungserscheinungen auf. Störzonen mit Überschiebungsbeträgen von 1 bis 3 m sind zu beobachten. Diese Erscheinungsformen werden nicht als Folge einer Pressungstektonik gedeutet. Die Beobachtungen sprechen dafür, daß es sich um örtliche Ausgleichsbewegungen handelt.

Über die altersmäßige Zuordnung der Tektonik des Schafberges haben BÖRGER (1928), EBERT (1954) und LUX (1961) berichtet. Nach ersten syngenetischen Bewegungen während des Karbons hat die asturische Faltungsphase vorherrschend hercynische und latent erzgebirgische Strukturen geschaffen. Es gibt Anzeichen einer jungkimmerischen Bewegung, und die Heraushebung und Entstehung der Karbonscholle wird an die Wende Kreide/Tertiär gelegt.

3.3. Die Lagerstätte und ihre Beziehung zum geologischen Bau des Vorlandes

Es liegt nahe, daß bei kleinen und tektonisch stark beanspruchten Lagerstätten hydrogeologische Einflüsse aus der Umgebung wirksam werden können. Die praktischen Erfahrungen des Bergbaues am Piesberg und Schafberg haben dafür schon zahlreiche Beispiele erbracht. HELLWIG (1939) berichtet von bergbaubedingter Grundwasserabsenkung, die am Piesberg bis 11 km in das Vorland hineinreicht. Andererseits wird die Salzwasserführung des Karbons von verschiedenen Autoren durch Zuflüsse aus dem Vorland erklärt (HELLWIG 1939, SEMMLER 1953, 1954).

Eine zusammenfassende Darstellung der Geologie des Ibbenbürener Raumes zwischen Osnabrück und Rheine liegt nicht vor. Obwohl Oberflächenaufschlüsse im Vorland des Schafberges schon im 19. Jahrhundert beschrieben worden sind (HEINE 1861/62), konnten die geologischen Zusammenhänge dieses Gebietes bis vor etwa 20 Jahren noch nicht aufgeklärt werden (vgl. geotekt. Karte NW-Deutschland, 1948).

Durch erdölgeologische Prospektionsarbeiten und geologische Kartierungsaktivität ist seit 1950 zusätzlich umfangreiches Beobachtungsmaterial zusammengekommen. Auf Grund dieser Unterlagen können wir heute in großen Zügen den geologischen Aufbau im Vorland des Schafberges rekonstruieren.

Für vorliegende Arbeit ist eine abgedeckte geologisch-tektonische Karte des Ibbenbürener Raumes entworfen worden, die alle erreichbaren neuen Unterlagen berücksichtigt (Abb. 6).

Grundlage für die Geologie des Ibbenbürener Karbonhorstes bildet die Ausarbeitung von EBERT (1954). Neue Untersuchungsbefunde haben eine Überarbeitung der Hauptstörungszonen und Randgebiete notwendig gemacht. Eine geolo-

gische Neukartierung des Bockradener Grabens hat darüber hinaus zu neuen Ergebnissen geführt. Zur Erläuterung der Lagerungsverhältnisse sind Flöz Höhenlinien von Flöz Glücksburg dargestellt.

In SE der Karbonscholle hat KELLER (1953) Untersuchungen über den Einfluß der Osningtektonik angestellt und eine Gliederung in Karbon, Zechsteinvorstaffle und Triasvorstaffle vorgenommen. Diese durch Verwerfungen voneinander getrennten Vorstaffles werden noch mit zur Struktur der Karbonscholle gerechnet. Das südliche Vorland des Schafberges wird von Jura- und Kreideablagerungen eingenommen. Über geologische Probleme im nordwestlichen Teutoburger Wald hat KELLER (1946—1948, 1952, 1953, 1955, 1962, 1964) berichtet.

Von Ergebnissen neuer Bohraufschlüsse im SW und W der Karbonscholle gibt SCHUSTER (1952 u. 1971) eine Zusammenfassung.

Über das nördliche Vorland liegen Stellungnahmen von HEIDORN (1950) vor. Dieses Gebiet ist von BREYER (1971) außerdem mit in eine gravimetrisch-seismische Ausarbeitung über den Bereich des Bramscher Massivs einbezogen worden.

Die von KELLER (1953) im SE des Schafberges beschriebenen Vorstaffles begleiten die Randverwerfungen der gesamten Karbonscholle. Sie ergeben eine Randzone und bilden ein Mosaik kompliziert gebauter und gegeneinander verkippter Einzelschollen. Im SE sind die Vorstaffles deutlich ausgebildet. In anderen Bereichen sind sie teilweise an Verwerfungen unterdrückt, so daß im W und N des Schafberges Buntsandstein oder auch Jura direkt an die Karbonrandverwerfung grenzen. Im Bereich des Vorlandes nehmen vor allem Jura- und Kreideschichten große Areale ein.

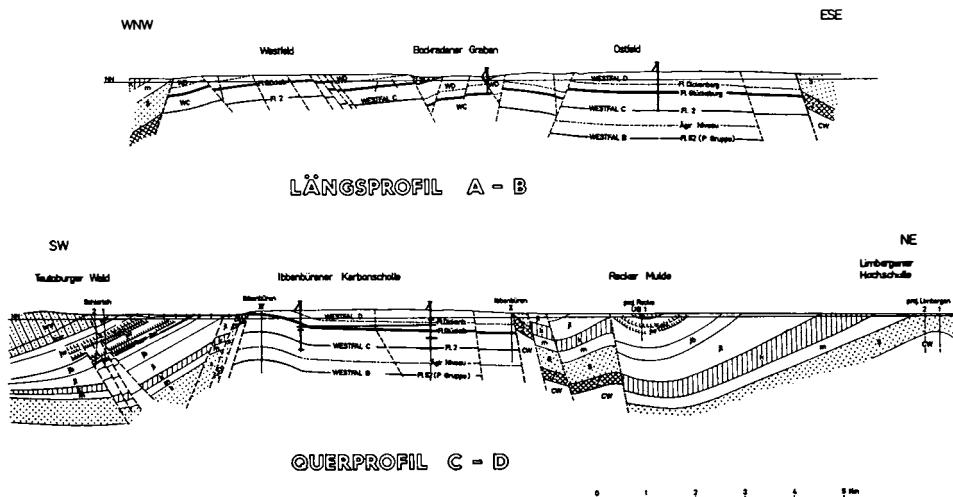


Abb. 7. Geologische Profile durch das Steinkohlevorkommen von Ibbenbüren und sein Vorland (Entwurf BÄSSLER 1969 nach Markscheiderei Ibbenbüren, BÄSSLER 1968 und SCHUSTER 1971).

Zur Erläuterung der Lagerungsverhältnisse sind in Abb. 7 geologische Profile gegeben. In Anlehnung an KELLER (1946—1948) und HEIDORN (1950) lassen sich von N nach S folgende Strukturen unterscheiden:

1. Piesbergachse und im N als Fortsetzung die Limberger Hochscholle,
2. Recker Kreide/Jura-Mulde,
3. Karbonscholle mit randlichen Vorstappeln,
4. Ibbenbüren-Laggenbecker Jurazug,
5. Sandsteinketten der Unterkreide/Osning,
6. Kalkzug der Oberkreide und Münstersches Kreidebecken.

Hydrogeologisch sehr wichtig ist, daß sich die Querstörungen der Karbonscholle in das Vorland hinein fortsetzen. Bereits UNTERBERG (1905) konnte zeigen, daß die Querverwerfungen des Knüppeschen Grabens die Karbonrandverwerfung durchsetzen und in das südliche Vorland hineinlaufen. Für die Störungen des Bockradener Grabens muß nach neueren Bohrergebnissen ebenfalls angenommen werden, daß sie sich bis in das Ibbenbürener Tal hinein fortsetzen. Dasselbe Verhalten zeigen andere Störungen des Ost- und Westfeldes, vor allem der Mathilde-Sprung. Eine Auswertung reflexionsseismischer Messungen, die von der Prakla 1961 ausgeführt wurden, deutet darauf hin, daß die Struktur des Bockradener Grabens sich im Untergrund des nördlichen Vorlandes weiter fortsetzt.

Die Bohrungen Schierloh 1 und 2 (südlich von Ibbenbüren) haben im Obermalm mehrere zusammen über 100 m mächtige Salzfolgen nachgewiesen. SCHUSTER (1952) konnte zeigen, daß die Senkungszone des Heiligen Meeres ebenfalls durch Salz- und Gipsablauungen des Obermalm und nicht durch solche des Zechsteins (LOTZE 1957) entstanden ist. Dieser Befund ist im Hinblick auf die Deutung der NW-Fortsetzung der Schafberg-Struktur von Bedeutung.

Die mit den Schierloh-Bohrungen nachgewiesene Salzführung im Obermalm hat im Ibbenbürener Tal und weiter im W offenbar größere Verbreitung. Das läßt sich aus den Quartärmächtigkeiten ablesen, die auf parallel zur Schafberg-Begrenzung verlaufende Subrosionszonen hindeuten (SCHUSTER 1952, 1971). Die mächtige Wealdenfolge in der Bohrung Recke UB 1 läßt vermuten, daß auch im N des Schafberges Malmsalz verbreitet ist. Es ist also damit zu rechnen, daß verhältnismäßig mächtige Malmsalze den gesamten Westteil der Karbonscholle umgeben (Abb. 8). Salzablagerungen anderer Formationen sind in direktem Kontakt mit der Lagerstätte des Schafberges bisher nicht nachgewiesen. Sie setzen erst in größerer Entfernung von ihr ein.

In Abb. 8 sind die Verbreitungsgrenzen von Salzfolgen der verschiedenen Formationen dargestellt. Es zeigt sich, daß die Salze des Obermalm der Karbonscholle am nächsten liegen. Röt- und Zechsteinsalz setzt in 4–5 km Entfernung westlich des Schafberges ein. Über den Verlauf der Zechsteinsalzgrenze nördlich von Osnabrück wird man sicher verschiedene Auffassungen vertreten können. Es erscheint aber auf Grund neuer Bohrunterlagen ziemlich gesichert, daß sie nicht weit über die Wersen-Bohrungen nach S vorstoßt. Weder im Ibbenbürener Gebiet selbst noch in der weiteren Umgebung ergeben sich Anhaltspunkte für die Vorstellung einer Osnabrücker Salzstraße im Zechstein (HEIDORN 1950).

Über die Ausbildung der Schichtenfolge des Vorlandes ist wenig bekannt. Hydrologisch wichtig ist der untere Zechsteinkalk im Bereich der Randzonen des Schafberges. Hier können ebenso wie in zusammenhängenden Muschelkalk-Arealen erhebliche Wassermengen gespeichert werden. Buntsandstein und Keuper sind überwiegend tonig ausgebildet. Die durch Bohrungen bei Ibbenbüren besonders mächtig nachgewiesenen Juraablagerungen kommen wegen ihrer tonigen Abfolge als Wasserreservoir nicht in Betracht.

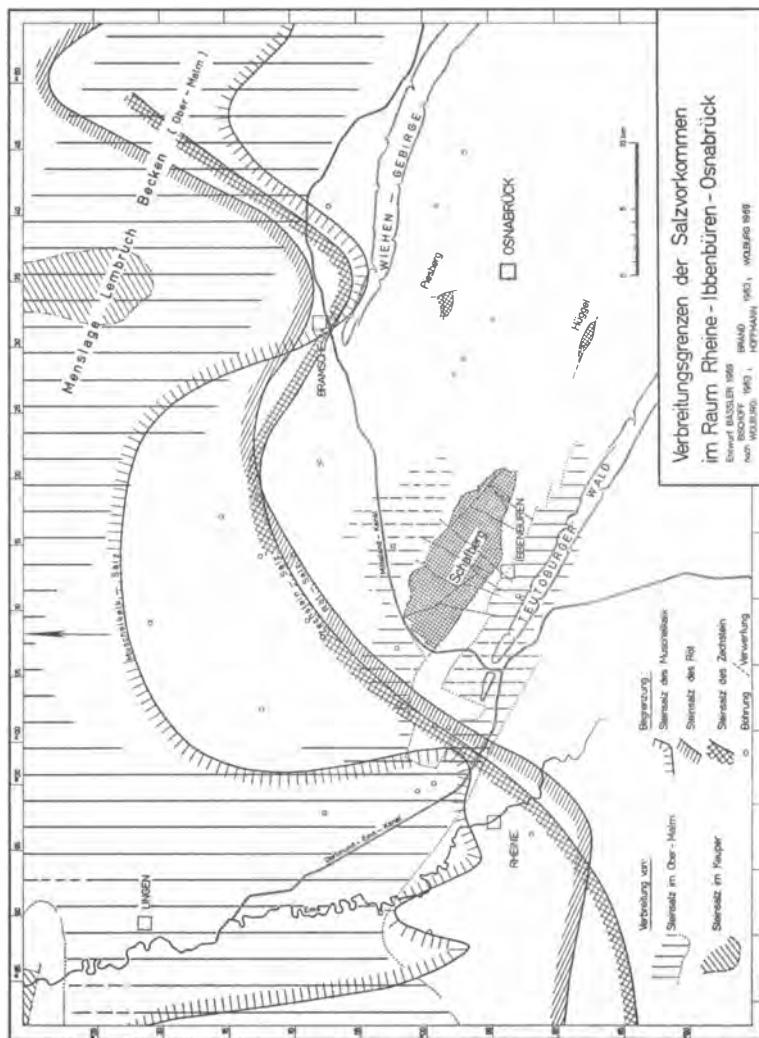


Abb. 8

An Bohrungsmaterial aus dem Gebiet Hörstel/Hopsten zeigte sich, daß Dogger β auf Lias transgrediert. Es ist möglich, daß solche primären Schichtausfälle — oder doch zumindest Mächtigkeitsreduktionen — im Ibbenbürener Raum weiter verbreitet sind, als bisher angenommen wurde.

Die Zechsteinausbildung bei Ibbenbüren läßt vermuten, daß die im Präzechstein angenommene Osnabrücker Schwelle auch während der Zechsteinzeit weiter bestanden hat. Zechsteinsalze sind unmittelbar am Schafberg nicht zur Ablagerung gekommen. WOLBURG (1969) vertritt die Auffassung, daß bei Ibbenbüren auch während der Trias eine submarine Schwellenposition gegeben war. Erst im Jura

und ganz besonders ausgeprägt im Malm findet eine starke Einsenkung und Differenzierung des Sedimentationsraumes statt. Diese ausgeprägte Gliederung des Untergrundes führte dazu, daß mächtige Ablagerungen des Malm und Wealden unmittelbar an den Schafberg grenzen.

4. Hydrologie und Grundwasserführung

4.1. Hydrologisch-topographischer Überblick

Die Kohle- und Erzlagerstätten des Osnabrücker Berglandes sind durch ungewöhnlich große Grubenwasserzuflüsse belastet. Bergbau und Hydrogeologie haben sich seit Jahrhunderten mit diesem Problem immer wieder auseinander setzen müssen.

Der Kohleabbau im Karbon des Piesberges wurde wegen der starken Wasserbelastung dieser Lagerstätte 1898 eingestellt.

In der bedeutendsten Lagerstätte dieses Gebietes, der Ibbenbürener Karbonscholle, hat sich trotz mancherlei Erschwernisse der Steinkohlenabbau wirtschaftlich gestaltet und weiterentwickelt. Zur Zeit werden zwei Betriebsanlagen mit acht Einzelschächten und einer Jahresförderung von 2,4 Mill. t v. F. (Tonnen verwertbare Förderung) betrieben.

Die bergmännisch-technischen und hydrogeologischen Probleme der Ibbenbürener Grubenwässer sind seit Jahrzehnten Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Spezielle Untersuchungen über Grubenwasser sind von HELLWIG (1939), SEMMLER (1953/54) und HABERKAMP (1960) durchgeführt worden. KÖTTER & MAUSOLF (1962) untersuchten die fast ausschließlich von oberflächennahem Grundwasser beeinflußten Grubenwässer des Westfeldes. Die Hydrogeologie des Grundwassers und die damit zusammenhängenden Auswirkungen des Bergbaues in Teilen des Schafberges und seiner Umgebung sind von KELLER (1949, 1956, 1957), BODE (1954), SIEBERT (1960), SEMMLER, Waltr. (1965) und OBERMANN (1968) bearbeitet worden.

Die Topographie des Untersuchungsgebietes zeigt eine ausgeprägte Gliederung, die dem geologischen Unterbau entspricht. Durch die Widerstandsfähigkeit der Karbongesteine hebt sich der Schafberg als Hochscholle gegenüber dem 70 m tiefer gelegenen Vorland ab. Er ist im S, W und N durch eine ausgeprägte Geländestufe gegenüber seiner Umgebung abgesetzt und erreicht eine durchschnittliche Höhe von + 120 bis + 140 m NN (vgl. Abb. 2).

Das Ibbenbürener Tal im S des Schafberges ist ebenso wie das westliche und nördliche Vorland ein nur wenig gegliedertes Flachland. Es erreicht Höhen von + 40 bis + 60 m NN und greift nach E ansteigend weit in das Osnabrücker Bergland hinein.

Die Ibbenbürener Talsenke wird im S durch den schmalen Höhenzug des Teutoburger Waldes vom Münsterland getrennt.

Das Gewässernetz der Ems entwässert das hier beschriebene Gebiet. Im S des Schafberges fließt die Ibbenbürener Aa, im N die Recker Aa nach NW ab.

Die Wasserscheide der flach nach NW gekippten Bergplatte verläuft im S des Schafberges. Nach S entwässern kurze Wasserläufe mit starkem Gefälle, während ihn nach N langgezogene Talauen mit temporärer Wasserführung durchziehen.

4.2. Grundwasseraufteilung

Die hydrologischen Verhältnisse im Bereich der Steinkohlenlagerstätte sind durch den jahrhundertealten Bergbau nachhaltig beeinflußt worden. Obwohl große Grubenwassermengen anfallen, sind Auswirkungen einer zusammenhängenden und totalen Grundwasserentziehung an der Oberfläche allerdings nicht zu beobachten. Es sind immer verhältnismäßig kleine Gebiete, in denen Grundwassersabsenkungen stattgefunden haben. Nach KELLER (1956) können Auswirkungen bergbaubedingter Wasserentziehung selbst bei klüftigem Grundwasserleiter schon nach kurzer Entfernung auslaufen.

Ein bemerkenswerter Unterschied der Grundwasseraufteilung ist zwischen dem Ost- und Westteil der Lagerstätte zu beobachten. Wasserentziehungsschäden treten überwiegend im Westfeld auf. Die Ursache dafür liegt im Unterschied der Quartärbedeckung. Während im Westfeld nur dünne Sand- bzw. Lößlehmlagen verbreitet sind, wird das Ostfeld von einer zusammenhängenden Lößlehmdcke und z. T. von Geschiebelehm überdeckt (vgl. Abb. 2). Das Quartär erreicht auf dem Schafberg Mächtigkeiten bis zu 10 m, im Bokradener Graben über 30 m. In Randbereichen des Schafberges und im Vorland sind gelegentlich Quartärlagerungen von über 100 m erbohrt worden (Subrosionszonen).

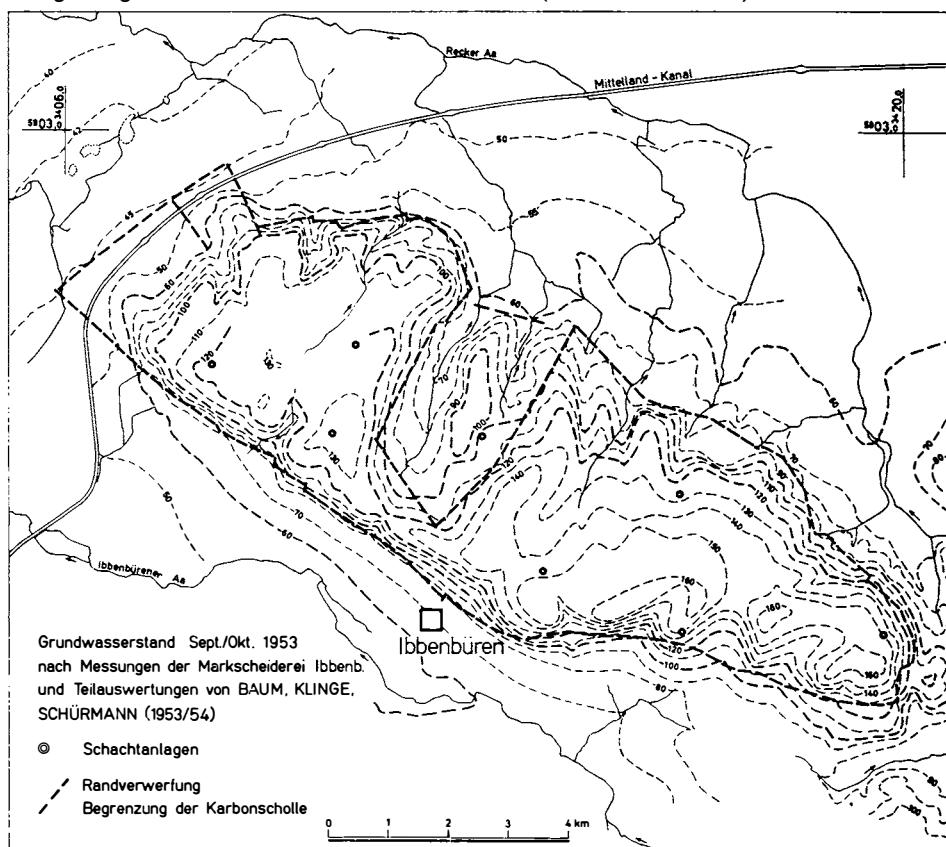


Abb. 9. Grundwasser-Höhengleichenkarte des Schafberges.

Unbeeinflußtes Grundwasser ist dort noch erhalten, wo mächtigere Löß- und Geschiebelehmlagen ein Absickern in die Grubenbaue verhindern. In Abb. 9 ist eine Auswertung von Grundwasserspiegelmessungen aus dem Jahre 1953 wiedergegeben. Auf diese Zeit mußte zurückgegriffen werden, weil in den letzten Jahren zahlreiche Beobachtungsbrunnen ausgefallen sind. Die Grundwasserhöhenkarte gibt den Verlauf des Grundwasserspiegels nur schematisch wieder. Wie schon KÖTTER (1962) für das Westfeld annahm, muß man von der Vorstellung ausgehen, daß es sich um ein über den Grubenbauern schwebendes Grundwasser handelt.

Der Verlauf des dargestellten Grundwasserspiegels zeigt der Morphologie entsprechend eine kuppelförmige Wölbung. Er schmiegt sich mit stärkerem Gefälle dem Randgebiet des Bergrückens an. In ungestörten Gebieten ist ein Übergang in den freien Grundwasserspiegel des Vorlandes möglich.

Die in Abb. 9 dargestellten Grundwasserverhältnisse sind in der Natur sicher wesentlich vielgestaltiger und komplizierter. Infolge der verschiedenartigen Ausbildung innerhalb der pleistozänen Deckschichten und auch des unterlagernden Karbon ist anzunehmen, daß mehrere und voneinander getrennte Grundwasserstockwerke vorhanden sind. Die in einigen Gebieten sicher nachgewiesene Grundwasserabsenkung kommt bei der generalisierenden Darstellung in Abb. 9 nicht zum Ausdruck.

Die Grundwasserhöhenkarte führt uns sehr deutlich vor Augen, daß über weite Bereiche des Grubenfeldes noch Grundwasser vorhanden ist. Die Höhe des Grundwasserspiegels im Boden wird sich zumindest bei nahegelegenen Grubenbauern gegenüber dem ursprünglichen Zustand immer verändert haben. Verständlich wird die Tatsache, daß im W des Schafberges die Bachläufe kaum noch Wasser in das Vorland abführen. Die geringmächtigen quartären Deckschichten dieses Gebietes haben einer Wasserentziehung des Grubengebäudes keinen großen Widerstand entgegengesetzt.

Die Bachläufe des Ostfeldes führen über dem Lößlehm demgegenüber vor allem während der Naßperioden noch Wasser. Zahlreiche Quellen entspringen am Nordrande des Schafberges. Sie zeugen davon, daß ihr Einzugsgebiet über den Grubenbauern zumindest teilweise noch intakt ist.

Der Grundwasserspiegel im Vorland liegt sehr oberflächennah und ist nur in einer schmalen Zone in unmittelbarer Nähe des Westfeldes und Bockradener Grabens durch den Bergbau verändert. In größerer Entfernung vom Schafberg sind keine Grundwasserabsenkungen nachgewiesen, die mit den Grubenwasserzuflüssen in Zusammenhang gebracht werden können. Bemerkenswert ist die von GRABERT (1951/52) und KÖTTER (1958) beschriebene Versalzung in einigen Gebieten der weiteren Umgebung von Ibbenbüren (vgl. auch KELLER 1956).

4.3. Grubenwasserverhältnisse

Ein Vergleich der Grubenwasserförderung verschiedener Steinkohlenreviere (Steinkohlenbergbauverein 1966)* unterstreicht die Bedeutung, die dem Grubenwasser des Ibbenbürener Bergbaues zukommt:

* Wasserstatistik für den Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik (ohne Bayern) zur Zusatzerhebung zum Industriebericht 1966.

	Grubenwasserförderung		
	Mill. m³/1965	m³/min	m³/tv. F.
Ruhr-Revier	136	260	1,2
Saar-Revier	30	57	2,1
Aachener Revier	19	37	2,4
Ibbenbürener Revier	26	50	11,8
1966—1968	30	57	12,5
Piesberg 1897	18	48	ca. 100,0
n. HELLWIG (1939)			

Berücksichtigt man die Ausdehnung der Lagerstättenreviere und die Jahresförderung, so ist der Ibbenbürener Steinkohlenbergbau heute am stärksten durch Grubenwasserzuflüsse belastet.

Wasserzuflüsse erstrecken sich über das gesamte Grubengebäude der Ibbenbürener Steinkohlenbergwerke. Es ist deshalb notwendig, daß in jedem Abbau niveau Grubenwässer angenommen und über eine Zentralwasserhaltung nach über Tage abgeleitet werden. Aus den Einzelzuflüssen entsteht dadurch ein Mischwasser. Diese Zusammenfassung ist auf Grund der chemischen Zusammensetzung der Einzelzuflüsse möglich.

Hauptwasserhaltung unter Tage sowie Ableitung der Grubenwässer über Tage sind in Abb. 10 dargestellt. Diese Darstellung vermittelt auch ein Bild über die Ausdehnung der abgebauten Flächen. Von schmalen Randzonen abgesehen, erfaßt der Abbau heute bereits die gesamte Fläche der Lagerstätte. Gelegentlich mußten schmale Gebiete vor den Randverwerfungen stehenbleiben, weil das Schichteinfallen stark zunahm oder andere Verwerfungen den Abbau begrenzten.

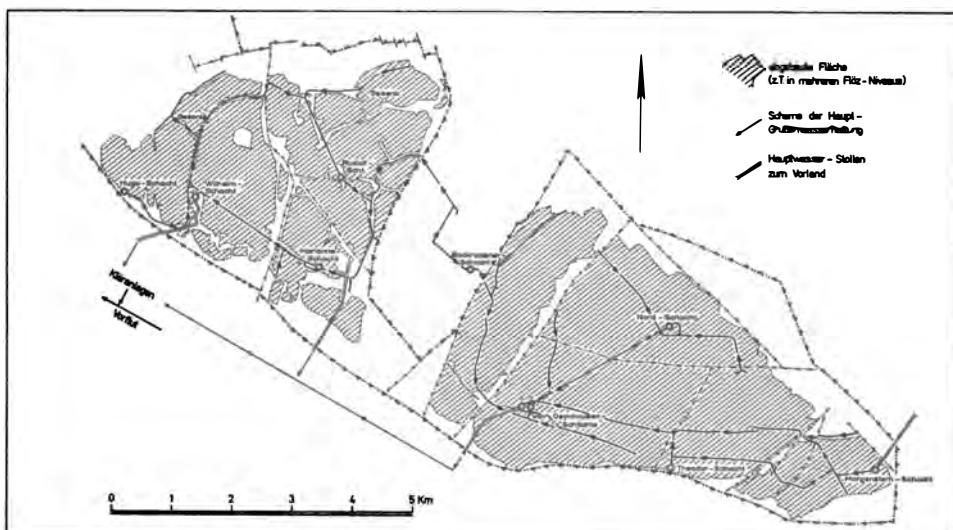


Abb. 10. Ausdehnung der Abbauflächen im Ibbenbürener Steinkohlenrevier mit schematischer Darstellung der Grubenwasserhaltung.

Zum Verständnis dieser Ausführungen folgen einige Angaben zum Ibbenbürener Bergbau. Der ursprünglich von über Tage ausgehende Kohleabbau wird heute im Westfeld in einer Tiefe von — 170 m NN und im Ostfeld bei — 650 m NN betrieben. Der Bockradener Graben wurde noch nicht unterbaut. Eine Verbindungsstrecke zwischen Ost- und Westfeld hat dieses Gebiet in jüngster Zeit aufgeschlossen. Für eine hydrogeologische Untersuchung des Grubenwassers bietet das Ostfeld infolge seiner größeren Aufschlußtiefe die günstigeren Voraussetzungen.

Wegen des flachen Einfallens der Schichten und der großen Flözabstände wird die Aus- und Vorrichtung im wesentlichen in den Flözen vorgenommen. Die Abbaufront wandert im Einfallen von S nach N bei streichender Abbaurichtung flächenhaft vor.

Im Westfeld sind bisher zwei Flözniveaus übereinander abgebaut worden. Das Ostfeld besitzt dagegen fünf über mehr oder weniger große Flächen ausgedehnte Abbauniveaus.

Die Grubenwasserzuflüsse unterscheiden sich in ihrer Menge, ihrem Chemismus und in der Dauerenergiebigkeit. Es sind zeitlich begrenzte Zuflußmengen bis zu 12 m³/min und Dauerzuflüsse von wenigen Litern bis zu 3 m³/min aufgetreten.

Nach den bisherigen Erfahrungen besteht hier eine Abhängigkeit zwischen Grubenwassermenge und Niederschlagsverhältnissen. Im Westfeld sind diese Auswirkungen deutlicher spürbar als im Ostfeld. Auf den oberen Sohlen fließen Süwwässer zu und dazu treten in verschiedenen Abbaubereichen noch stark säurehaltige Wässer.

Besonders große Wassermengen sind immer dann aufgetreten, wenn Verwerfungszonen durchfahren werden mußten oder unbeabsichtigt angeschlagen wurden. 1894 und 1938 sind dadurch Wassereinbrüche erfolgt, die die Existenz des Ibbenbürener Steinkohlenbergbaues bedroht haben.

Mit zunehmender Tiefe der Grubenbaue des Ostfeldes traten immer stärker salzhaltige Wässer auf. Beobachtet wurde außerdem, daß Wasserzuflüsse der oberen Abbaue in tiefer gelegene Aufschlüsse mitwanderten.

Diese praktischen Erfahrungen sind Ausdruck von physikalischen und chemischen Prozessen der im Karbon gespeicherten oder sich bewegenden Grundwässer. Die Wasserzuflüsse der Steinkohlenlagerstätte des Schafberges sind vorwiegend an Sandsteinhorizonte gebunden. Das hängt mit der Porosität und dem tektonischen Verhalten dieser Gesteine zusammen. Abb. 11 enthält eine Auswertung zahlreicher Meßdaten über diese Einflußgrößen. Tongesteine sind wegen ihrer geringen hydrologischen Bedeutung nicht berücksichtigt.

Von der Karbonoberfläche her ist mit zunehmender Tiefe eine steile Abnahme tektonischer Erscheinungsformen zu beobachten. In 700 bis 800 m Teufe treten Pressungserscheinungen auf. Außerdem schalten sich hier einige mächtigere Ton-schieferbänke in die überwiegend sandige Sedimentabfolge ein.

Es ist verständlich, daß die oberflächennah stark zerklüfteten und von Grundwasser erfüllten Gesteinsbänke bei einer bergmännischen Erschließung große Wassermengen abgeben können. Ein schützendes Deckgebirge ist nicht vorhanden, so daß von der Oberfläche her ständig Niederschlagswasser nachströmen kann. Ausgezeichnete Bewegungsbahnen dafür bieten die nur unvollständig ausgefüllten Störungszonen des Schafberges. Durch einen Färbeversuch konnte SEMMLER (1953) solche Verbindungen nachweisen.

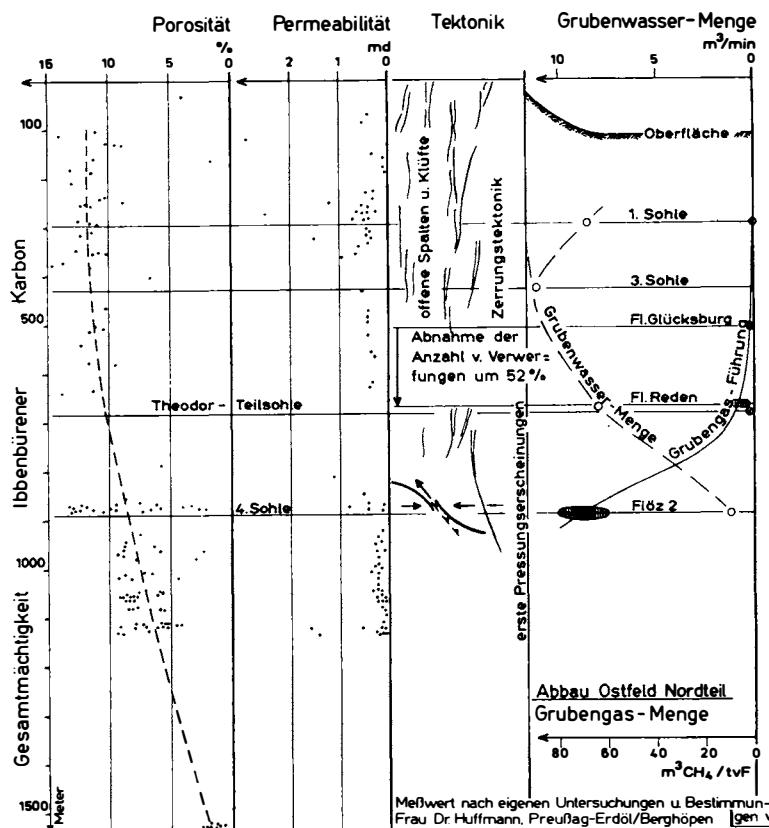


Abb. 11. Gesteinsphysikalische und tektonische Daten der Sandsteine des Ibbenbürener Karbon und Angaben über das Verhalten ihrer Porenfüllung.

Mit zunehmender Tiefe verdichtet sich der Gesteinsverband. Dabei ist vorzusehen, daß der Einfluß von Oberflächenwasser zurücktritt und im Bereich der 4. Sohle bei 900 m Tiefe überhaupt keine Bedeutung mehr hat. Die Grubenwasserzuflussmenge nimmt in dieser Tiefe stark ab, gleichzeitig steigt die Grubengasführung ungewöhnlich an.

Mit dem Zurücktreten der tektonischen Einflüsse gewinnt das nutzbare Porenvolumen der Karbonsandsteine für die Grubenwasserführung an Bedeutung. Die Porosität der Sandsteine liegt in dem durch Bergbau aufgeschlossenen Bereich zwischen 10 und 15 %. Mit zunehmender Versenkungstiefe geht die Porosität zurück und erreicht bei 1550 m Werte von 2 bis 3 %. Diese Abhängigkeit zwischen Porosität und Bedeckungstiefe gilt allgemein. Nur hängt die diagenetische Veränderung des Porenraumes noch von zu vielen anderen Faktoren ab, als daß sich allgemeingültige Beziehungen ableiten lassen.

Im bergmännisch aufgeschlossenen Teil der Lagerstätte können bei einer durchschnittlichen Porosität von 12 % durchaus nennenswerte Wassermengen enthalten sein. Ihre Beweglichkeit hängt im festen Gesteinsverband aber von der

Durchlässigkeit ab. Die Permeabilität der Ibbenbürener Karbonsandsteine liegt aber meist unter 1 Millidarcy (Abb. 11). Sie reicht nicht aus, um bei Neuaufschlüssen unter Tage die Entwässerung einer Sandsteinlage zu ermöglichen. Solche Beobachtungen sind natürlich nur dort durchführbar, wo tektonische Einflüsse auszuschließen sind.

In einigen Abbaurevieren unterhalb 400 m (Flöz Theodor, Flöz 2) setzen Wasserzuflüsse erst dann ein, wenn großflächiger Abbau betrieben wird. Diese Zuflüsse sind auf schmale Zonen beschränkt, die parallel zur Abbaufront und etwa 2 bis 3 m hinter ihr verlaufen. Während des Vorrückens der Abbaufront treten immer wieder neue Wasserzutrittsstellen auf, und die weiter zurückliegenden Bereiche trocknen langsam aus. Auf diese Weise wandern die Wasserzuflusszonen hinter einem Streb her.

Diese Beobachtungen zeigen, daß das im Sandstein über dem Flöz gespeicherte Porenwasser offenbar ausfließen konnte. Durch die natürliche Permeabilität war keine merkbare Wasserbewegung möglich. Erst nachdem der Bruchbau das Gefüge der Hangendschichten zerstört und „Drainagekanäle“ geschaffen hatte, konnte das im Sandstein vorhandene Wasser dem Druckgefälle folgend auslaufen. Daß es sich hier nicht um Wässer aus einem oberen Aufschluß der Lagerstätte gehandelt hat, zeigt das Versiegen der Zutrittsstellen nach einer bestimmten Zeit.

Die gegenseitige Abhängigkeit von Zuflussmenge und Abbau wird noch deutlicher, wenn die Jahresmittelwerte der Gesamtgrubenwassermenge in Beziehung zu der jeweiligen Aufschlußteufe gesetzt werden (Abb. 12).

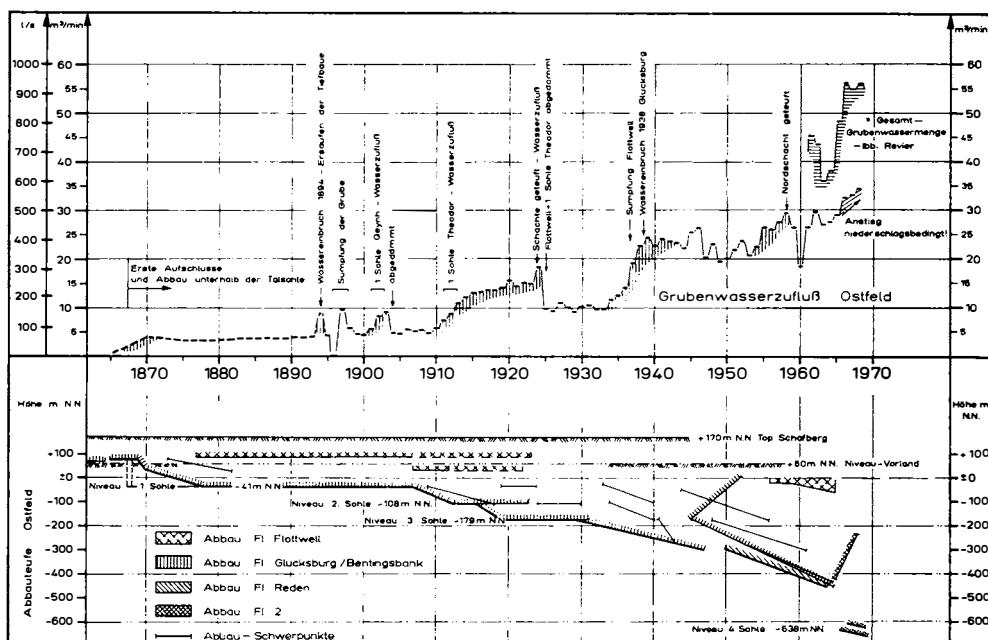


Abb. 12. Entwicklung der Grubenwasser-Zuflussmenge in Abhängigkeit von der Zunahme der Abbauteufe seit Beginn des Tiefenbaues im Ostfeld des Steinkohlenreviers.

Um 1865 hatte am Schafberg der Tiefbau in größerem Umfange eingesetzt. Seit dieser Zeit sind 4 Abbausohlen aufgeschlossen worden, und die Grubenwassermenge des Ostfeldes hat von 2 auf 35 m³/min zugenommen. Ein besonders auffälliger Anstieg der Grubenwassermenge tritt immer dann ein, wenn die Aufschlußarbeiten für eine neue Tiefbausohle beginnen.

Die Grubenwasserzuflußmenge wird also in erster Linie dadurch bestimmt, daß die neu erschlossenen Gesteinskomplexe aus ihrem Kluft- und Porenraum beträchtliche Wassermengen abgeben. Nachdem die neue Tiefbausohle aufgeschlossen ist, erfolgt ein Rückgang der Zuflußmenge. Abb. 12 zeigt in mehreren Wiederholungen alle Phasen dieser Entwicklung. Daneben sind besondere Ereignisse erläutert, die die Grubenwassermenge ebenfalls nachhaltig beeinflußt haben.

In den ersten Jahrzehnten des Ibbenbürener Bergbaues wird das Grubenwasser wohl ausschließlich vom Niederschlag beeinflußt gewesen sein. Seit 1920 treten im Ostfeld Salzwasserzuflüsse auf, und der Einfluß anderer Faktoren (Porenwasser, Vorlandwasser) tritt immer mehr in den Vordergrund.

Zu dem gleichen Ergebnis führt eine Betrachtung der Mengenmessung von Grubenwasser und Niederschlag in Abhängigkeit von der Zuflußtiefe unter Tage. Diese Auswertung bezieht sich auf die Jahre von 1959 bis 1968 (Abb. 13). Der Verlauf der Grubenwasserzuflußkurven in 200 und 350 m Tiefe zeigt eine ausgeprägte Niederschlagsabhängigkeit an. Die Trockenperioden der Jahre 1959/60 und 1963/64 sind deutlich ausgeprägt. In diesen Trockenzeiten reagiert die Zuflußmenge unter Tage unmittelbar auf größere Niederschläge. In Übereinstimmung mit betrieblichen Beobachtungen machen sich erhöhte Niederschlagsmengen nach 15 bis 30 Tagen in der Grubenwasserhaltung bemerkbar.

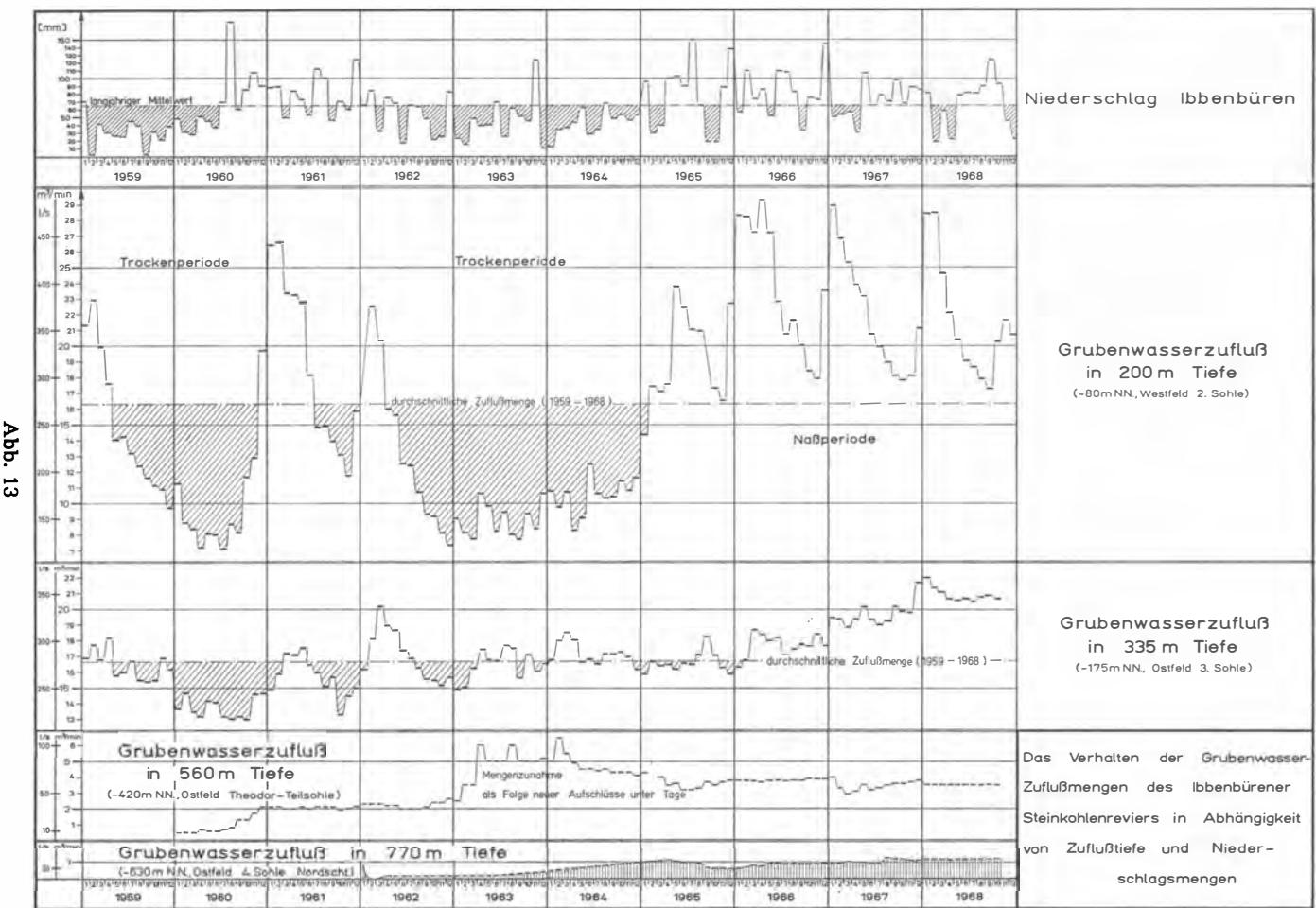
Während der Naßperiode der Jahre 1965 bis 1968 tritt vor allem die Vegetationszeit mit einem ausgeprägten Minimum in den Grubenwasserkurven im Oktober/November hervor.

Mit zunehmender Tiefe werden die Zuflußmengen unabhängiger von den meteorologischen Einflüssen. Dem Kurvenverlauf nach zu urteilen, sind in 770 m Tiefe überhaupt keine Oberflächeneinflüsse mehr vorhanden.

Die Bewertung der Wasserführung des Karbon und die hydrologische Betrachtung der Grubenwassermengen haben zusammenfassend zu folgenden Befunden geführt: Die Grubenwassermenge des Ibbenbürener Steinkohlenreviers wird in erster Linie von Zuflüssen bestimmt, die aus den im Karbongestein gespeicherten Wassermengen hergeleitet werden.

Im oberflächennahen Lagerstättenbereich der Quartärbedeckung und Karbonsedimente findet eine Regeneration des dort befindlichen „süßen“ Grundwassers durch eindringendes Niederschlagswasser statt. Die damit zusammenhängenden Schwankungen der Grubenwassermenge sind beträchtlich.

Im tieferen Teil der Lagerstätte tritt der niederschlags- und witterungsbedingte Einfluß stark zurück. Es gibt zahlreiche Beobachtungen, die dafür sprechen, daß im tektonisch unbeeinflußten Lagerstättenbereich nur das im Karbonsandstein eingeschlossene Porenwasser Bedeutung hat. In Anlehnung an die Auffassung von HELLWIG (1939) und SEMMLER (1953) ist demgegenüber aber auch daran zu denken, daß die durch Ablaugung an Salzlagern stark mineralisierten Tiefenwässer aus dem Vorland in die Karbonscholle eindringen.



5. Hydrochemie

5.1. Untersuchungsmaterial

Die vorangestellten hydrogeologischen Betrachtungen über die Ibbenbürener Grubenwässer haben zu Erkenntnissen geführt, die durch hydrochemische Befunde zu bestätigen und zu ergänzen sind. Aus diesem Grunde muß eine hydrochemische Analyse der oberflächennahen und tiefen Grundwässer des Ibbenbürener Karbons und einiger Vergleichswässer aus dem Vorland erfolgen. Die Probenahme wurde in der Ibbenbürener Lagerstätte von der Oberfläche (+ 148 m NN) ausgehend über alle erreichbaren Grubenaufschlüsse bis zu einer Tiefe von — 850 m NN durchgeführt (hydrochemisches Teufenprofil). Hervorragendes Interesse besteht, die Herkunft der Grubenwassermenge zu klären und den hydrogeologischen sowie hydrochemischen Einfluß des Vorlandes zu erkennen.

Die hydrochemischen Auswertungen dieser Arbeit stützen sich vor allem auf Wasseruntersuchungen, die neben den Hauptbestandteilen auch die Spurenelemente erfassen. Außerdem sind die in Abschnitt 2 beschriebenen chemischen Kurzanalysen (Betriebsanalysen) für Auswertungszwecke mit verwendet worden. Das gesamte Untersuchungsmaterial umfaßt etwa 1000 Wasserproben. Die Probepunkte und die Ergebnisse der Betriebsanalysen sind im Rahmen dieser Arbeit nicht aufgeführt, weil sie wegen ihrer Unvollständigkeit nur für spezielle Auswertungen mit herangezogen werden konnten.

Unmittelbar nach der Probenahme wurden bei den chemischen Vollanalysen Entnahmetemperatur, pH-Wert, spezifische Leitfähigkeit und Abdampfrückstand bei 105°C bestimmt. Die am Probeort randvoll gefüllten 10-Liter-Polyäthylenflaschen sind im Zentrallabor der Bleihütte Oker auf folgende Bestandteile untersucht worden: Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ und Cs^+ unvollständig, Mg^{++} , Ca^{++} , Sr^{++} , Ba^{++} , Mn^{++} , Cu^{++} , Fe^{++} , Zn^{++} , Al^{+++} , Sn^{++++} , Pb^{++} , Cl^- , Br^- , J^- , $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{--}$ und SO_4^{--} .

Grundlage für die chemischen Bestimmungen bildete im wesentlichen folgende Literatur: Deutsche Einheitsverfahren der Wasseruntersuchung, 3. Auflage, Verlag Chemie GmbH, Weinheim (1960), Einheitsverfahren der physikalischen und chemischen Wasseruntersuchung, Verlag Chemie GmbH, Weinheim (1960), BOLTZ (1958), HÖLL (1968).

Angaben über Herkunft und Analysenergebnisse der untersuchten Wässer sind vollständig in den Zahlentafeln der Tabelle I enthalten. Zur Erleichterung des regionalen Überblicks sind die Wässer aus dem Ibbenbürener Karbon und dem Vorland in Reihenfolge steigender Probenummern getrennt zusammengestellt worden. Die Lage der Probepunkte geht aus Abb. 14 für die Ibbenbürener Steinkohlenlagerstätte und aus Abb. 15 für die Wässer aus der weiteren Umgebung NW-Deutschlands hervor.

5.2. Untersuchungsergebnisse

In den Grund- und Grubenwässern des Ibbenbürener Karbons kommen als Hauptbestandteile folgende Ionen vor: Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{--} und HCO_3^- . Da es sich um oberflächennahe und tiefe Grundwässer handelt, ist das Verteilungsbild der einzelnen Ionen sehr variabel.

Abb. 14

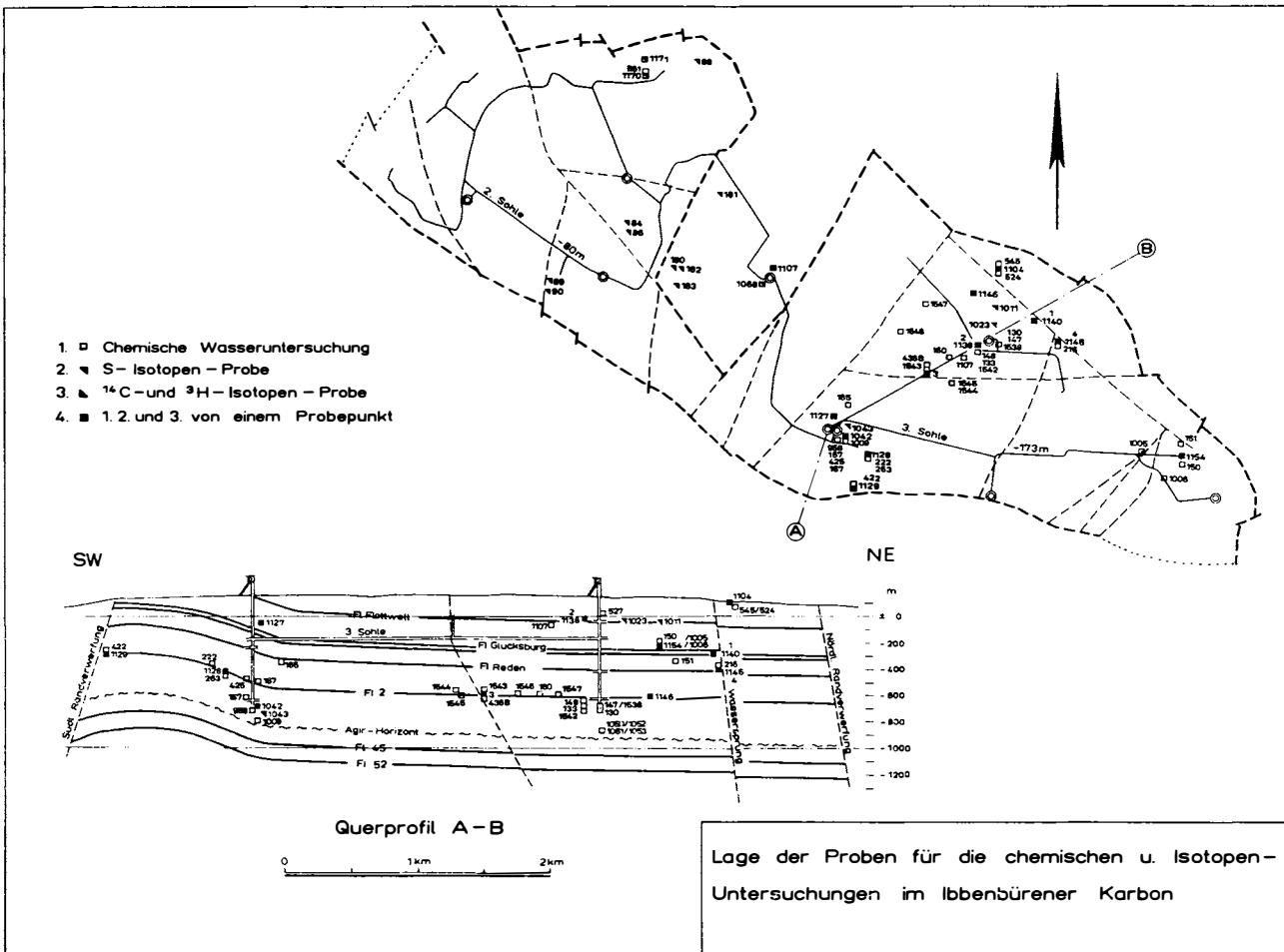
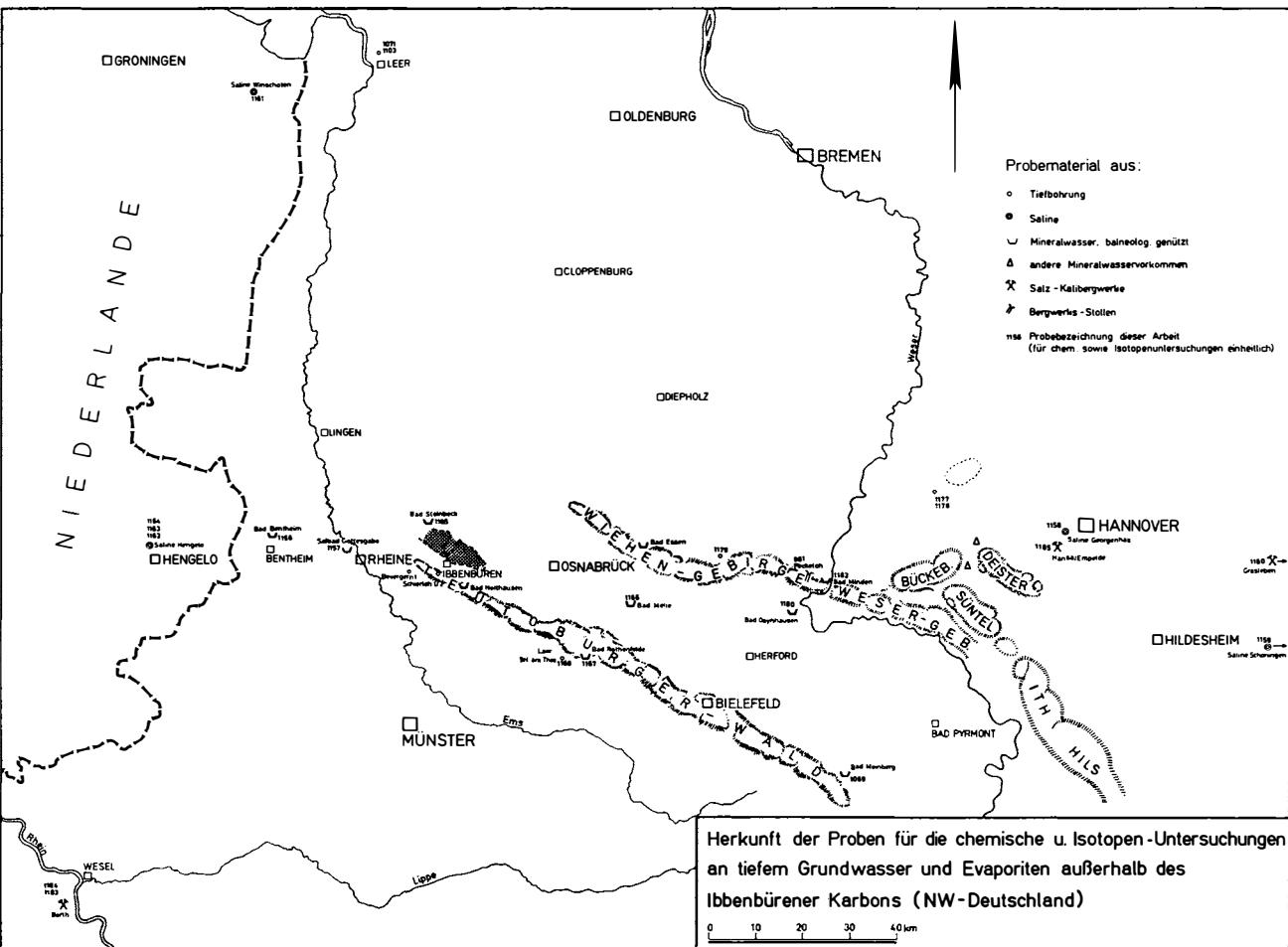


Abb. 15



Die Kationen-Verteilung im Konzentrationsdreieck ermöglicht eine hydrochemische Abgrenzung verschiedener Gruppen von Grundwasser. Die Gruppe 1 der Abb. 16 (Ibbenbürener Karbon, dargestellt sind Äquivalentprozente) umfaßt das oberflächennahe Grundwasser der quartären Deckschichten und des Karbons. Die Grubenwässer bis — 80 m NN Tiefe sind darin eingeschlossen. Kalzium ist vorherrschendes Kation mit etwa 50 mval%.

Die ausschließlich an Verwerfungszenen gebundenen Wässer im mittleren Aufschlußbereich der Lagerstätte bilden die Gruppe 2. Der Natrium-Anteil überwiegt Kalzium gewichtsmäßig (mg/l) sowie prozentual (mval%). Ein typisches Kennzeichen dieser Gruppe sind auffallende Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung.

Die Grubenwässer unterhalb — 300 m NN lassen sich zu der Gruppe 3 zusammenfassen. Natrium dominiert und nimmt wie Kalzium mit der Tiefe zu. Es ist bemerkenswert, daß einige Wässer dieser Gruppe eine Sonderstellung einnehmen. Der prozentuale Anteil Natrium geht auf Kosten von Kalzium etwas zurück, und diese Wässer sind auf den NE- und S-Teil der Lagerstätte beschränkt.

Die durch offene Kreise dargestellten Probepunkte liegen in einer entsprechenden Tiefe wie die Wässer der Gruppe 2. Sie übernehmen eine vermittelnde Position. Innerhalb der Gruppe 3 nehmen Kalzium und Magnesium mit zunehmender Tiefe prozentual ab. Besondere Gesetzmäßigkeiten über ihr Verhalten konnten nicht festgestellt werden. Die in Gruppe 3 zusammengefaßten Wässer werden als tiefes Grundwasser (Formationswasser) des Ibbenbürener Karbons angesprochen. Damit soll zunächst keine Aussage über die Genese und Herkunft verknüpft werden.

Der Kationenverteilung der Ibbenbürener Grubenwässer ist in Abb. 16 eine Auswertung verschiedener Vorlandwässer gegenübergestellt. Daraus geht hervor, daß die Mineral- und Formationswässer der verschiedensten Herkunftsgebiete NW-Deutschlands (vgl. Abb. 15) nur einen schmalen Bereich im Konzentrationsdreieck einnehmen. Die größte Besetzungsichte der Kationenverhältnisse entspricht etwa dem Bereich der in Gruppe 3 zusammengefaßten Karbonwässer.

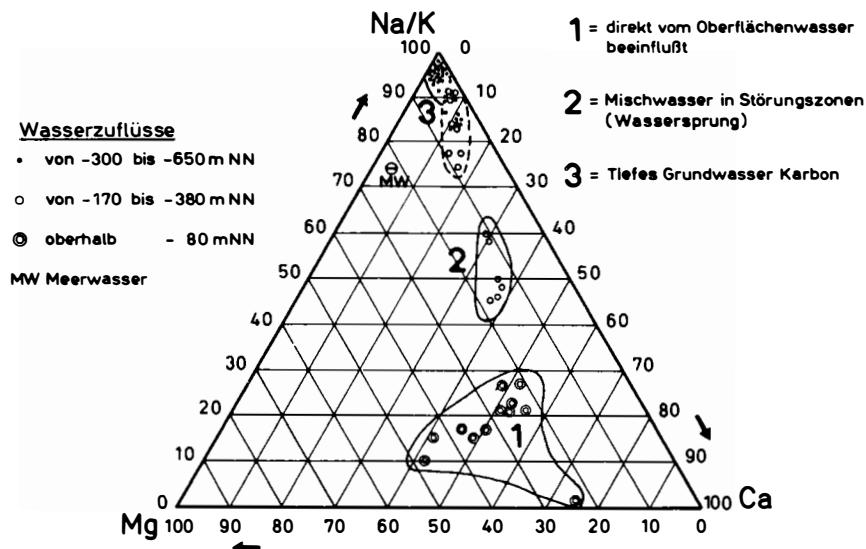
Die Kationenverteilung sowie der allgemeine Chemismus der Proben Peckeloh, Bad Bentheim und vor allem Bad Steinbeck deuten an, daß stark meteorisch beeinflußte Wässer vorliegen. Ergänzende Bemerkungen zu den Schwefelwässern Bentheim und Steinbeck folgen in Kapitel 7.

Nachfolgend werden die als Nebenbestandteile bestimmten Kationen besprochen:

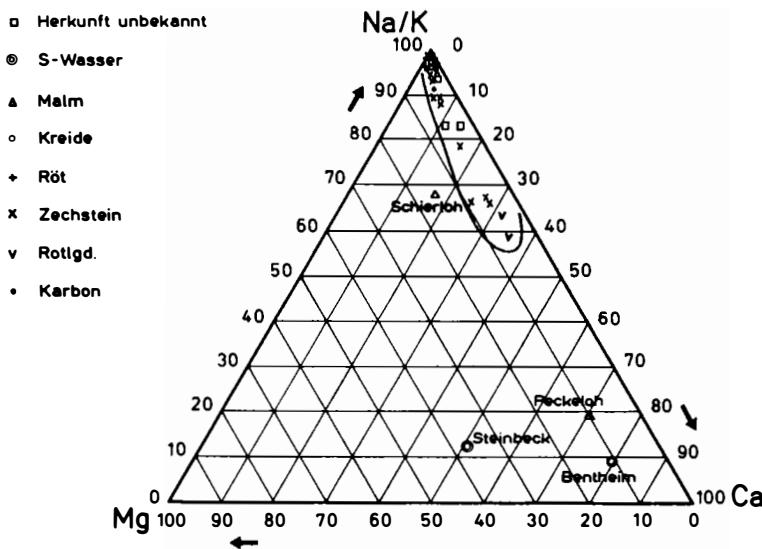
Lithium wurde in fast allen Grubenwasserproben nachgewiesen. Der Maximalgehalt liegt bei 22 mg/l. Die oberflächennahen Grundwässer enthalten noch meßbare Lithiummengen unter 0,50 mg/l. Der Lithiumgehalt steigt mit zunehmendem Gesamtionengehalt des Wassers. Eine Abhängigkeit von der Zuflüttiefe ergibt sich jedoch nicht. Die Lithiumgehalte des Ibbenbürener Grubenwassers in 750 m Tiefe entsprechen denen der Mineralwässer von Bad Oeynhausen, Laer und Bad Rothenfelde. Außergewöhnlich hohe Lithiummengen von 163 mg/l enthalten die Formationswässer des Rotliegenden (Tabelle I, Probe 1071 und 1103).

Über Rubidium und Caesium können keine Aussagen gemacht werden, weil diese Bestimmungen nur an wenigen Proben durchgeführt wurden.

Grubenwasser Ibbenbüren (Karbon)



Mineral- und Formationswässer NW-Deutschl.



Kationenverteilung (mval %)

Abb. 16

Für die Strontiumgehalte besteht weder ein erkennbarer Zusammenhang mit der Tiefe noch mit dem Mineralisationsgrad der Wässer. Die Strontiumgehalte der tiefen Grundwässer des Karbons liegen im Durchschnitt bei 25 mg/l. Das entspricht auch den Strontiumgehalten der untersuchten Vorlandwässer.

Ein Grubenwasserzufluß des Ostfeldes enthält 506 mg/l Strontium bei Anwesenheit von 2558 mg/l Sulfat. Abgesehen von den außergewöhnlich hohen Strontiummengen der Formationswässer des Rotliegenden (Probe 1071 und 1103) enthält nur das Mineralwasser von Bad Minden vergleichbare Strontiummengen.

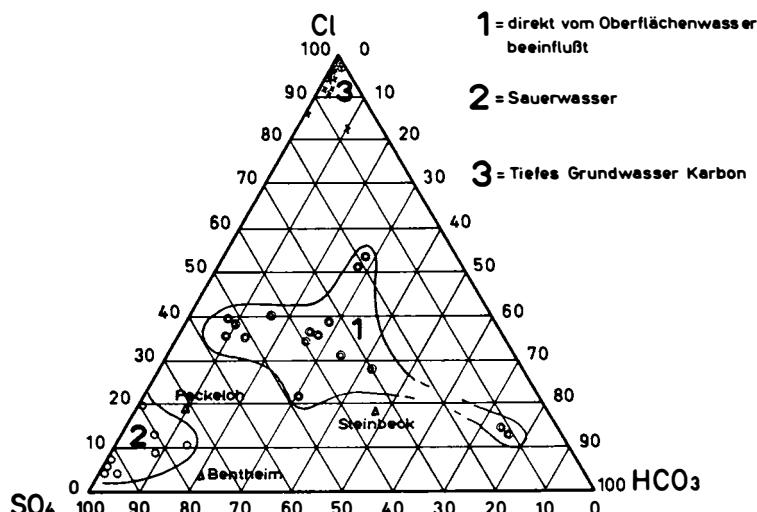
Barium tritt unterhalb — 550 m NN im Grubenwasser bei Abwesenheit von Sulfat auf. Es sind Maximalgehalte von 136 mg/l Barium bestimmt worden. Bemerkenswert ist, daß der Bariumgehalt einer Zuflußstelle stark schwanken kann und gelegentlich sogar bariumfreies und schwach sulfathaltiges Wasser liefert.

Hydrochemisch kommt den Mangan- und Eisengehalten der Wässer keine große Bedeutung zu. Sie sollen deshalb nicht in diese Beobachtung mit einbezogen werden.

Die Metallionen Kupfer, Zink, Zinn, Blei und außerdem Aluminium sind bestimmt worden, weil zu hoffen war, daß sich gewisse geochemische Rückschlüsse in Verbindung mit der Vererzung der Karbonrandzonen ergeben würden. Eine diesbezügliche Auswertung hat jedoch zu keinem deutbaren Ergebnis geführt.

Die Anionen-Verteilung der Ibbenbürener Grubenwässer geht aus Abb. 17 hervor. Die Darstellung im Konzentrationsdreieck führt auch hier wieder zu Gruppierungen hydrochemisch zu unterscheidender Grundwässer.

Grubenwasser Ibbenbüren (Karbon)



Anionenverteilung (mval %)

Abb. 17

Die Gruppe 1 erfaßt wie bei den Kationen oberflächennahe Grund- und Grubenwässer. Das Sulfat überwiegt prozentual gegenüber Chlorid. Hydrogenkarbonat tritt in dem Bereich, in dem Karbon oberflächennah verbreitet ist, zurück. Dagegen überwiegt es im Bockradener Graben, wo kalkig-mergelige Ablagerungen des Zechsteins, Lias, Serpulit und Wealden verbreitet sind (Abb. 17, Proben zwischen 70 und 80 mva^{1/0}).

Gruppe 2 verkörpert ein sekundär aus normalem Grundwasser (Gruppe 1) entstandenes und stark säurehaltiges Grubenwasser, über das später noch berichtet wird.

In Gruppe 3 der Anionenverteilung sind alle Grubenwässer unter — 80 m NN vereinigt. Eine Differenzierung zwischen Grubenwasser der tieferen Aufschlußzone und dem aus Verwerfungszonen — wie sie bei der Kationenverteilung (Abb. 16) möglich war — ist hier nicht gegeben.

Unter den Anionen des tiefen Grundwassers dominiert eindeutig Chlorid. Da sich ein ähnliches Bild bei den Mineral- und Formationswässern ergibt, wurde auf eine graphische Darstellung verzichtet. Zu Vergleichszwecken sind die Proben Peckeloh, Steinbeck und Bentheim in Abb. 17 eingetragen worden.

Untersucht man die Abhängigkeit der Anionen von der Zuflußtiefe, so ergibt sich für Chlorid die auch aus anderen Gebieten bekannte Tatsache, daß die Cl-Gehalte mit zunehmender Tiefe ansteigen (Abb. 18).

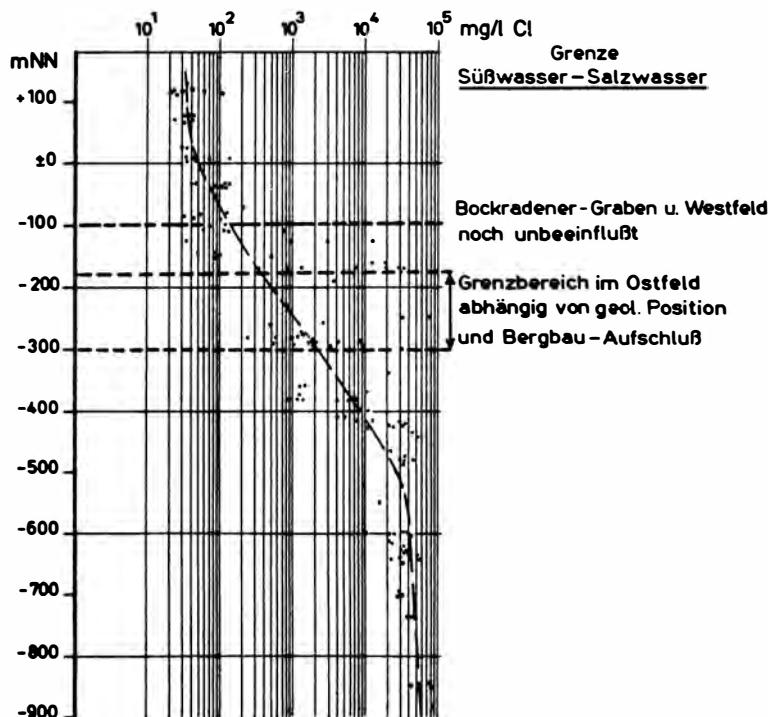


Abb. 18. Abhängigkeit zwischen Chloridgehalt und Zuflußtiefe der Grubenwässer.

Die Grenze Süßwasser/Salzwasser liegt im Ibbenbürener Karbon, von geringen Schwankungen abgesehen, bei — 100 m NN (Grenzziehung bei $\pm 1000 \text{ mg/l}$ Chlorid). Durch den bis in große Teufen vorgedrungenen Kohleabbau des Ostfeldes ist die Grenze Süßwasser/Salzwasser in diesem Gebiet verändert worden. An zahlreichen Einzelzuflüssen ist nachzuweisen, daß im Laufe der Zeit eine Veränderung der ursprünglich salzhaltigen Wässer stattgefunden hat. Durch nachströmendes meteorisches Wasser ist der Chloridgehalt deutlich zurückgegangen. Die Grenze Süßwasser/Salzwasser ist in diesen Gebieten sehr starken Schwankungen unterworfen.

Der Zusammenhang zwischen Sulfatgehalt und Zuflußtiefe der Grubenwässer wird in Abb. 19 gezeigt. Die oberflächennahen Grund- und Grubenwässer enthalten gewichtsmäßig nur geringe Mengen Sulfat. Eine erste und sehr ausgeprägte Sulfatzunahme findet in Abaugebieten statt, in denen eine Oxydation von Sulfid eintreten kann.

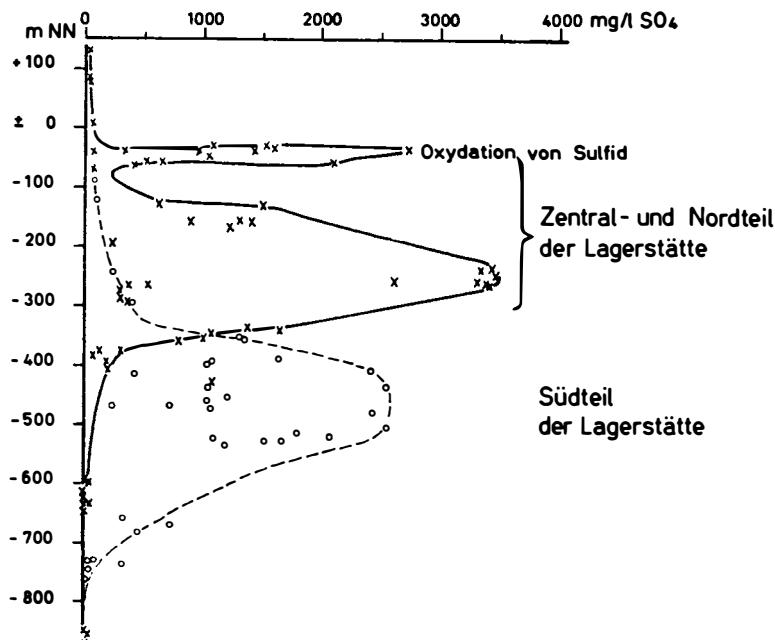


Abb. 19. Abhängigkeit zwischen Sulfatgehalt und Zuflußtiefe der Grubenwässer.

Der Sulfatgehalt aller tieferen Grubenwasserzuflüsse ist sehr starken Schwankungen unterworfen. Er erreicht Werte bis zu 3500 mg/l SO_4 . Mit zunehmender Tiefe ist aber die eindeutige Tendenz einer Sulfatabnahme festzustellen. Unterhalb — 750 m NN fehlt SO_4^{--} vollständig.

Das Verschwinden von Sulfat in größerer Tiefe wird von SCHOELLER (1956) u. a. auf die Tätigkeit sulfatreduzierender Bakterien in anaerobem Milieu zurückgeführt. Je nach Umweltbedingungen konnten verschiedene Bakterienarten nach-

gewiesen werden wie *Sporovibrio desulfuricans*, *Sporovibrio desulfuricans* var. *aestuarii*, *Sporovibrio desulfuricans* var. *thermodesulfuricans* und *Sporovibrio rubentschickii* (n. MATTHESS 1961).

Abb. 19 zeigt aber noch eine Besonderheit, die sicher indirekt von den Lageungsverhältnissen in der Karbonscholle abhängig ist. Es fällt auf, daß Sulfationen in dem tektonisch stärker aufgelockerten Südteil der Lagerstätte in größerer Tiefe vorkommen als in dem flachgelagerten und kompakteren nördlichen Lagerstättensbereich. Damit verbunden ist das bereits besprochene Auftreten von Bariumionen, die im N bei — 600 m NN und im S der Lagerstätte erst bei — 800 m NN nachzuweisen sind.

Für die Grubenwasserhaltung stellt die Oxydation der in Flöz und Nebengestein enthaltenen Sulfide (meist Schwefelkies) ein besonderes Problem dar. Das schwach mineralisierte Grubenwasser der oberflächennahen Grubenbaue (Gruppe 1 der Abb. 17) wird dadurch zu stark säurehaltigem Wasser (Gruppe 2 der Abb. 17) verändert. KÖTTER & MAUSOLF (1962) haben sich in ihrer Arbeit über die Hydrogeologie des Westteils der Ibbenbürener Karbonscholle fast ausschließlich mit diesem Problem befaßt und die chemischen Zusammenhänge erläutert. Diese „Sauerwässer“ treten natürlich nicht nur im Westteil der Lagerstätte auf, sondern überall dort, wo der Bergbau die Voraussetzungen für diese Umwandlungsprozesse schafft (Bruchbau, gute Bewetterung) und wo die natürlichen Voraussetzungen gegeben sind. Eigene Untersuchungen zeigen, daß im Abbauniveau von Flöz Flottwell die Veränderung der Wasserzuflüsse 18 bis 21 Monate nach dem Abbau eintritt (Abb. 20). Nach neueren Berichten spielen bei diesen Umwandlungsprozessen chemische, elektrochemische und bakteriologische Faktoren eine Rolle (MUKHERJEE 1968). Eine aktive Beteiligung bei der Oxydation wird nach HUTCHINSON et al. (in MUKHERJEE 1968) folgenden Mikroorganismen zugesprochen: *Thiobacillus thio-oxidans*, *Thiobacillus ferro-oxidans*, *Thiobacillus concretiorus*, *Ferrobacillus ferro-oxidans*, *Ferrobacillus sulfo-oxidans*.

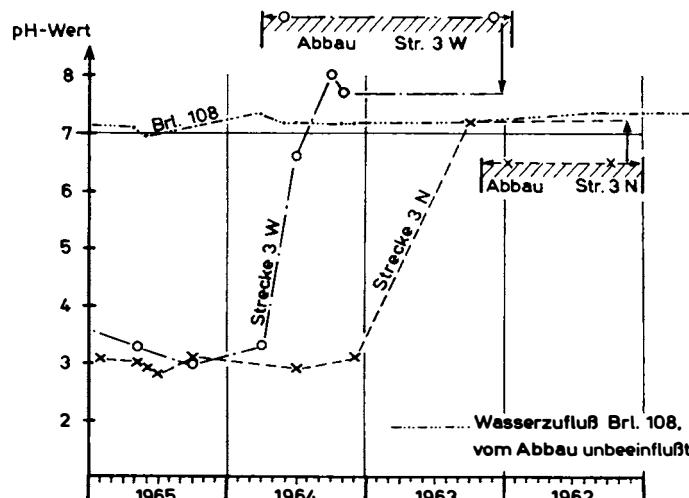


Abb. 20. Veränderung des pH-Wertes im Grubenwasser durch Oxydation von Schwefelkies im Nebengestein der Kohlenflöze während und nach der Abbauphase.

Im Grubenfeld der Ibbenbürener Steinkohlenbergwerke treten die stark säurehaltigen Wässer im Bereich der obersten Abbausohle Flöz Buchholz/Flottwell auf. Der pH-Wert kann bis 1,7 absinken. Ähnliche Erscheinungen sind aus Zechen des südlichen Ruhrgebietes sowie aus englischen und amerikanischen Steinkohlenrevieren bekannt.

Der Bromidgehalt im Grubenwasser erreicht maximal 40 mg/l. Die Jodidwerte liegen alle unter 5 mg/l. Für Chlorid, Bromid und Jodid ergeben weder die Analysen der Grubenwässer noch diejenigen der Formationswässer einen einfachen und deutbaren Zusammenhang.

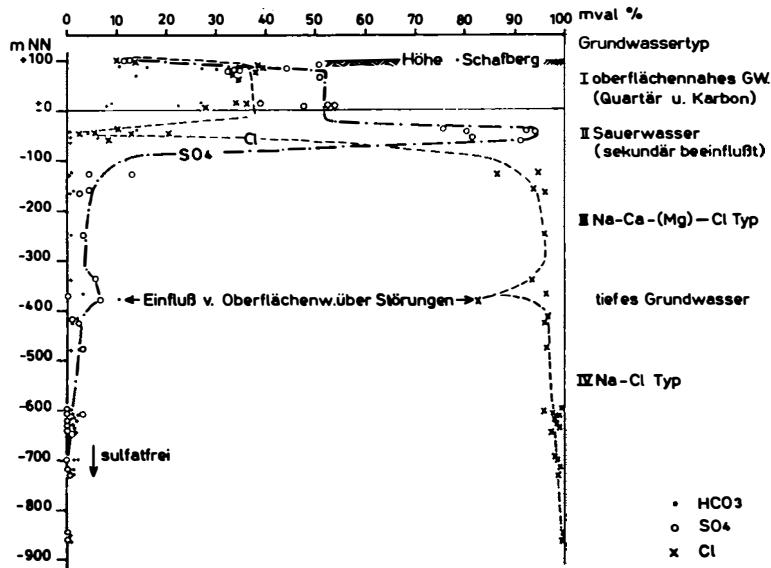


Abb. 21. Anionenverteilung in Abhängigkeit von der Tiefe der Wasserzuflüsse.

In Abb. 21 ist das Verteilungsbild der Anionen im Grubenwasser noch einmal zusammenfassend dargestellt. Unterhalb — 100 m NN ist Chlorid das vorherrschende Anion. In diesem Bereich sind unter Berücksichtigung der Kationenverhältnisse zwei Grundwassertypen zu unterscheiden: Der Na-Ca-(Mg)-Cl-Typ zwischen — 170 m NN und — 420 m NN. Im tieferen Teil der Lagerstätte ist ausschließlich der Na-Cl-Typ vertreten.

Für das stark mineralisierte tiefe Grundwasser des Ibbenbürener Karbons ist abschließend die Frage zu diskutieren, ob sich hydrochemische Anhaltspunkte zum Problem der Herkunft des versalzenen Tiefenwassers ergeben.

In Abb. 22 sind Untersuchungsergebnisse von 2 Wassereinbruchstellen in Flöz 2 (— 420 m NN) dargestellt. Die Wasserzuflüsse liegen 750 m auseinander. Auf Grund von Wasseranalysen und Zuflussmessungen ist eine gegenseitige Beeinflussung nachzuweisen. Nach erfolgtem Wassereinbruch im Januar und Februar 1964 nahm die Mineralisation des Wassers über einen Zeitraum von

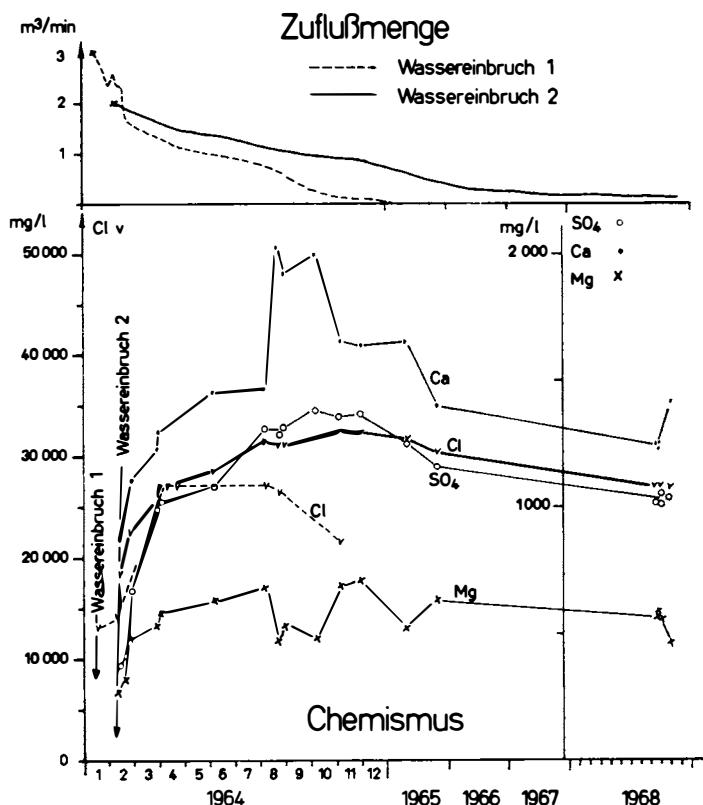


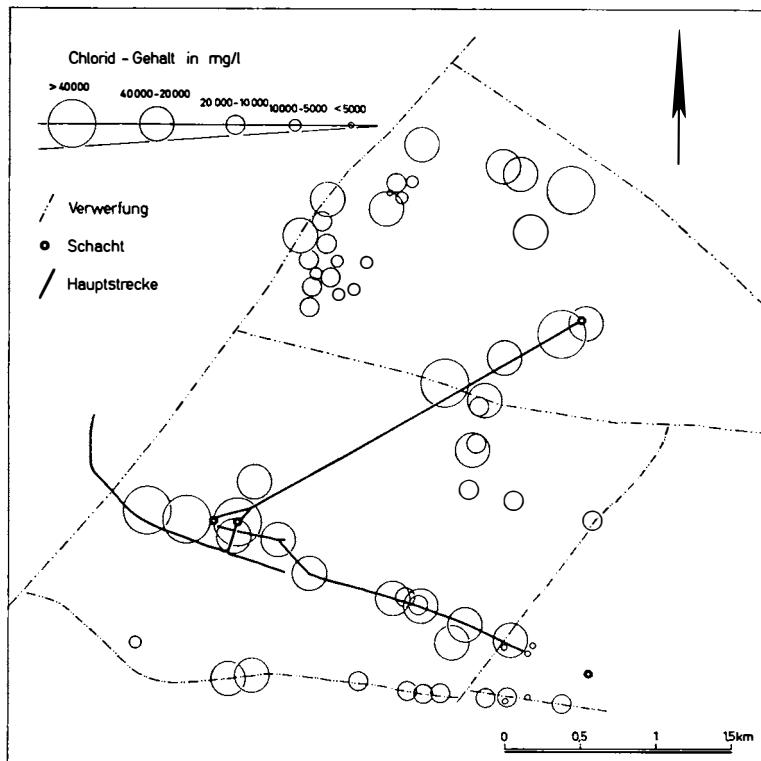
Abb. 22. Chemische und Mengen-Veränderungen von zwei Grubenwasserzuflüssen im Abbaubereich Flöz 2 in 580 m Tiefe.

9 Monaten zu. Seit 1965 ist eine fortlaufende mengenmäßige Abnahme der Ca-, Mg-, Cl- und SO_4 -Ionen festzustellen. Parallel dazu verläuft der Rückgang der Wasserzuflussmenge von ursprünglich 4 bis 5 m^3/min auf 0,03 m^3/min .

Es ist ein bemerkenswertes Ergebnis, daß die Wasserzuflüsse im Abbau-niveau Flöz 2 (—300 m NN bis —650 m NN) außerordentlich stark schwankende Mineralisationsgrade aufweisen. In Abb. 23 ist der Chloridgehalt der Wasserzuflüsse aus diesem Niveau wiedergegeben. An dieser Darstellung ist wichtig, daß Chloridgehalte von 40 000 mg/l neben solchen von 5000 mg/l auftreten. Dementsprechend verhält sich auch die Gesamtmineralisation, wobei betont werden muß, daß die einzelnen Ionen stark schwanken können. Weiterhin muß hervorgehoben werden, daß im Bereich der Hauptstörungen nicht die höchsten Chloridgehalte auftreten.

Die Gesamtzuflussmenge dieser Grubenwässer ist gering. In Verbindung mit Abbaueinwirkungen lassen sich typische Anzeichen einer Sandsteinentwässerung im Hangenden des Abbauflözes erkennen.

Aus diesen Beobachtungen wird geschlossen, daß es sich bei diesen Grubenwässern nicht um versalzenes Tiefenwasser handeln kann, das aus dem Vorland in die Karbonscholle eindringt.



Sandsteins eingebaut worden sind. In diesem Sandstein sind außerdem zahlreiche Serizitaggregate als Zersetzungprodukte von Feldspäten enthalten. Es besteht die Möglichkeit, daß z. B. der Lithiumgehalt des Wassers neben organischem Ursprung auch damit im Zusammenhang steht.

5.3. Deutung und Zusammenfassung der hydrochemischen Befunde

Innerhalb des Ibbenbürener Karbons können 4 Grundwassertypen unterschieden werden (Abb. 24).

- I. Das oberflächennahe Grundwasser im Quartär und Karbon gehört dem Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-HCO₃-Typ an.
- II. Auf Grund bergbaubedingter Einflüsse wird der Typ I durch Oxydation von Sulfid zu einem Ca-Mg-SO₄-Typ verändert.

Das tiefe Grundwasser des Karbons gehört

- III. dem Na-Ca-(Mg)-Cl-Typ an, der
- IV. zum Na-Cl-Typ des tieferen Teils der Lagerstätte überleitet.

Abb. 24 zeigt anhand der Linien gleicher Chloridgehalte, daß in großflächig zusammenhängenden Abaugebieten der Chloridgehalt der Wässer im Laufe der Zeit zurückgeht. Das wird auf nachfließendes weniger mineralisiertes Wasser aus oberflächennäheren Sedimentbereichen zurückgeführt. Sulfatfreies und bariumhaltiges tiefes Grundwasser tritt unterhalb — 550 m NN auf.

Der Einfluß von meteorischem Wasser läßt sich durch die hydrochemische Zusammensetzung der Grubenwässer oberflächennaher Bereiche bestätigen.

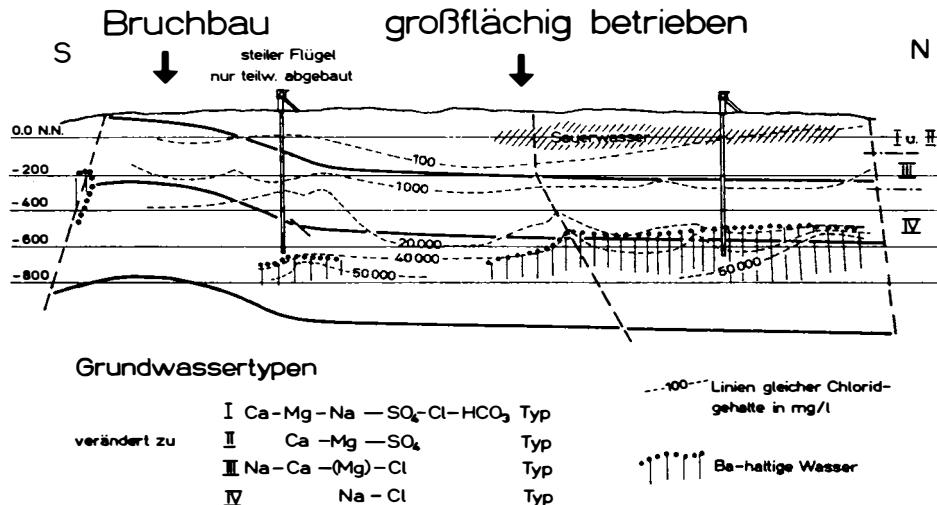


Abb. 24. Grundwassertypenprofil durch die Ibbenbürener Karbonscholle.

Die Bildung von säurehaltigem Grubenwasser ist auf die Oxydation der im Karbonsediment enthaltenen Sulfide zurückzuführen. Das tiefe versalzene Grundwasser erreicht im Ibbenbürener Karbon Salzgehalte von 146 g/l NaCl.

Eine absolut zuverlässige Aussage über Genese und Herkunft des tiefen Grundwassers wird man aus hydrochemischen Befunden allein nicht erwarten dürfen. Die vorliegenden Untersuchungen ergeben aber zahlreiche Anhaltspunkte dafür, daß es sich bei dem salzhaltigen Grubenwasser der Ibbenbürener Steinkohlenlagerstätte um Formationswasser des Karbons handelt. Sie bestätigen damit die vorangestellten hydrogeologischen Beobachtungen.

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Mineralisation von Grubenwasser und dem Stoffbestand des im Sediment eingeschlossenen fossilen Meerwassers — wie ihn PUCHELT (1964) für Ruhrkarbonwässer annimmt — kommt als Modellvorstellung für Ibbenbürener schon aus paläogeographischen Erwägungen nicht in Betracht. Vieles spricht auch dafür, daß die komplizierten, diagenetischen Veränderungen im Sediment unterschiedlicher Ablagerungsräume mit Hilfe der herkömmlichen Untersuchungsmethoden nicht ausreichend erfaßt werden können.

Auf Grund der vorliegenden hydrochemischen Befunde ist nicht auszuschließen, daß in einigen wenigen Bereichen der Ibbenbürener Lagerstätte (Schacht Oeynhausen, Abhauen 24) auch stark mineralisierte Vorlandwässer in die Kar-

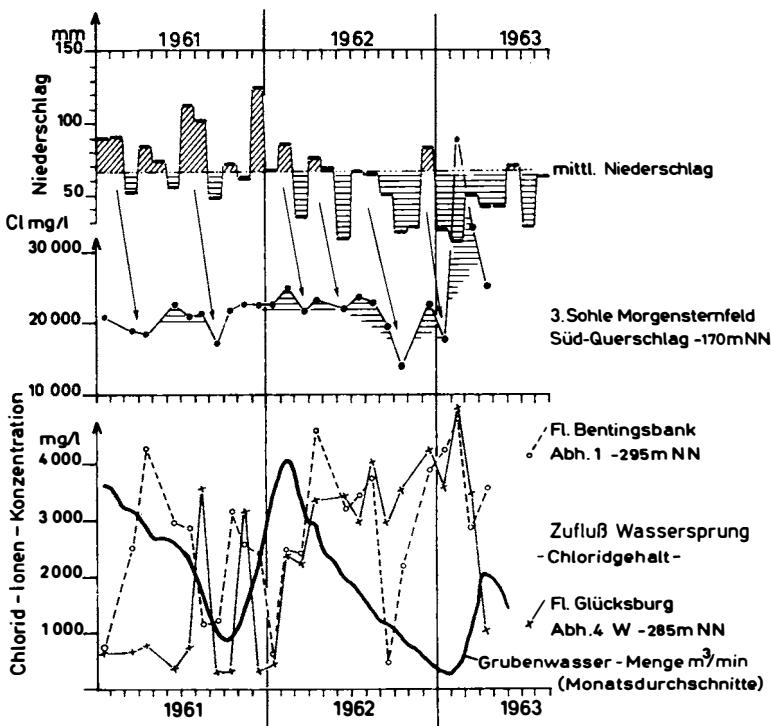


Abb. 25. Zusammenhang zwischen Niederslagsmenge und Chlorid-Ionen-Konzentration im Grubenwasser.

bonscholle eindringen. In diesem Zusammenhang müßte an eine Aussöhlung von Salzlagerstätten des Vorlandes der Karbonscholle gedacht werden. KUKUK (1938), FRICKE (1952/61) und SEMMLER (1960) machen entsprechende Prozesse für die Versalzung der Tiefenwässer des Ruhrkarbon verantwortlich. HELLWIG (1939) und SEMMLER (1953) haben auch schon für das Ibbenbürener Karbon auf diese Möglichkeit hingewiesen. Zur Klärung dieser Frage und zur Kontrolle der bisher gefundenen Ergebnisse wurden Isotopenuntersuchungen durchgeführt.

Es ist abschließend noch darauf hinzuweisen, daß die Wasseranalyse immer nur einen Augenblickszustand in der Zusammensetzung des betreffenden Wassers wiedergibt. Dieser einfache Sachverhalt sollte bei der Bewertung einmalig untersuchter Wasserzuflüsse zur Vorsicht mahnen.

In Abb. 25 werden die Auswirkungen der Niederschlagsverhältnisse auf den Chemismus einiger Grubenwässer gezeigt. Niederschlagsreiche Zeiten verursachen nach einer angemessenen Verzögerung ein Absinken der Chloridgehalte. Der Rückgang der Grubenwassermenge ist mit einem Anstieg der Mineralisation verbunden. Im tiefsten Aufschlußbereich der Ibbenbürener Gruben treten ebenfalls hydrochemische Schwankungen auf, die sicher nicht meteorologisch beeinflußt sind. Über die Ursachen solcher Veränderungen bestehen keine Vorstellungen.

6. Schwefel-Isotopen-Verhältnisse der Ibbenbürener Grubenwässer und einiger Mineral- und Formationswässer NW-Deutschlands

6.1. Grundlage der Schwefel-Isotopen-Analyse

In der Natur treten vier stabile Schwefelisotope auf. Für die Messungen interessieren hiervon ^{32}S und ^{34}S mit etwa 95,00 % und 4,22 % mittlerer Häufigkeit. Die Forschung der vergangenen 20 Jahre hat gezeigt, daß das Häufigkeitsverhältnis dieser Isotope auf der Erde in gewissen Grenzen schwanken kann und daß sich daraus unter bestimmten Voraussetzungen genetische Schlußfolgerungen ergeben können.

Massenspektrometrisch bestimmt wird das Häufigkeitsverhältnis $R = \frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}}$. Dieser Quotient wird auf den genau definierten Wert eines Standards bezogen und als $\delta^{34}\text{S}$ gemäß Gleichung

$$\delta^{34}\text{S} (\%) = 1000 \cdot \frac{\frac{^{34}\text{S}/^{32}\text{S} \text{ Probe}}{^{34}\text{S}/^{32}\text{S} \text{ Standard}} - 1}{\frac{^{34}\text{S}/^{32}\text{S} \text{ Standard}}{^{34}\text{S}/^{32}\text{S} \text{ Standard}}}$$

wiedergegeben.

Es wird angenommen, daß der irdische Mittelwert des S-Isotopen-Verhältnisses dem des Schwefels aus der Troilitphase des Meteoriten vom Cañon Diablo entspricht (MACNAMARA & THODE 1950). Dieser dient mit einem $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ -Verhältnis von 22,22 und dem entsprechenden $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von $\pm 0\%$ als Bezugsstandard.

Der Schwefel des exogenen Kreislaufes verteilt sich im wesentlichen auf einen „leichten“ ^{32}S -reichen Anteil im Sulfid der tonigen Sedimente der Erde und einem „schweren“ ^{34}S -reichen Anteil im Meerwassersulfat. Das gelöste Sulfat der Weltmeere hat einen verhältnismäßig einheitlichen $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von + 20 %. Das heißt, daß hier gegenüber dem irdischen Mittelwert ^{34}S um 20 % angereichert ist, während

in tonigen Sedimenten ein Defizit an ^{34}S von —15‰ angenommen werden muß. Wesentlichste Ursache für die Schwankungen der Häufigkeitsverhältnisse für Schwefelisotope ist die bakterielle Sulfatreaktion (JENSEN 1962). Infolge eines kinetischen Fraktionierungseffektes wird das leichte Isotop ^{32}S bevorzugt aus dem Meerwassersulfat reduziert und im Sediment angereichert.

Soweit die Evaporitsulfate ohne merkliche Beeinflussung des S-Isotopen-Verhältnisses aus Meerwasser entstanden sind, spiegeln ihre $\delta^{34}\text{S}$ -Werte die Entwicklung der marinen $\delta^{34}\text{S}$ -Werte in der Erdgeschichte wider. Untersuchungen über die S-Isotopen-Verhältnisse an evaporitischen Sulfaten der verschiedenen geologischen Formationen (AULT & KULP 1959, THODE & MONSTER 1964, HOLSER et al. 1966, NIELSEN & RIEKE 1964, NIELSEN 1965) führten zu dem Ergebnis, daß der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert des Meerwassers in der geologischen Vergangenheit erhebliche Veränderungen erfahren hat (Abb. 26).

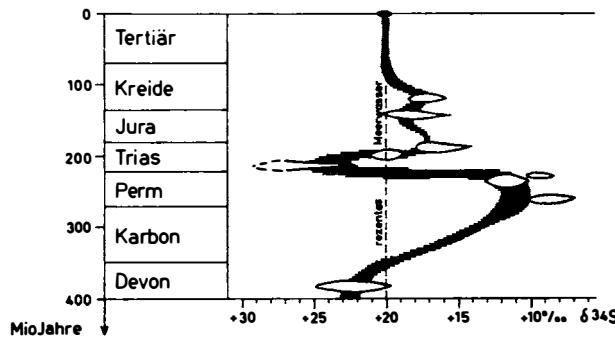


Abb. 26. $\delta^{34}\text{S}$ -Werte vom Sulfat des Meerwassers im Verlaufe der Erdgeschichte (nach NIELSEN 1965 u. a.)

Diese Messungen wurden sämtlich an großräumig auftretenden evaporitischen Sulfaten vorgenommen, in denen der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert der Weltmeere geologischer Zeiten einigermaßen unverfälscht fixiert ist. Dieser charakteristische Verlauf der Evaporit-Meßwerte erlaubt eine altersmäßige Zuordnung oder genetische Deutung unbekannter Proben. Die Aussagen sind allerdings nur unter bestimmten Voraussetzungen eindeutig.

In dem nordwestdeutschen Raum sind die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte des Zechsteins besonders gut bekannt. Aber auch die anderen Formationen mit Salinarhorizonten (Röt, Muschelkalk, Keuper, Malm) sind isotopisch ausreichend untersucht.

6.2. Problemstellung und Voraussetzungen

Zur Klärung von Fragen der Schwefelbilanz während der Sedimentverfestigung, der Typisierung, Entstehung und Herkunft von tiefem Grundwasser sind S-Isotopen-Analysen vor allem erst in jüngster Zeit herangezogen worden. Untersucht wurden Formationswässer aus Kanada und Deutschland (THODE et al. 1958, MÜLLER et al. 1966) sowie Grubenwässer aus dem Ruhrkarbon (PUCHELT & NIELSEN 1967).

Im Rahmen dieser Arbeit werden erstmals S-Isotopen-Untersuchungen der oberflächennahen und tiefen Grundwässer des Ibbenbürener Steinkohlenreviers und einiger Mineralwässer des angrenzenden nordwestdeutschen Raumes vorgelegt. Ergänzend dazu sind einige ihrer Herkunft nach genau definierte Formationswässer und Evaporite des Zechsteins, Röt und Malm analysiert worden. Zur Ergänzung der Ibbenbürener Meßwerte wurden einige $\delta^{34}\text{S}$ -Werte schwefelhaltiger Kluftminerale aus dem Ibbenbürener Karbon angegeben.

Den Untersuchungen lag der Gedanke zugrunde, aus der Verteilung der S-Isotopen-Verhältnisse weitere Hinweise auf Entstehung und Herkunft des Grubenwassers der Ibbenbürener Steinkohlenlagerstätte zu erhalten. Vor allem drängte sich wegen der nahegelegenen Salinarkörper des Zechstein, Röt und Malm die Frage auf, ob Auslaugungssolen dieser Formationen heute in die Karbonscholle eindringen und an den Grubenwasserzuflüssen beteiligt sind. Die vorausgegangenen Untersuchungen dieser Arbeit haben entgegengesetzt zu der bisherigen Auffassung dafür keine Argumente geliefert. Sie haben vielmehr Anhaltspunkte dafür ergeben, daß unterhalb 600 m eine enge hydrogeologische und hydrochemische Beziehung zwischen Grubenwasser und dem Karbonsediment als Wasserspeicher besteht.

MÜLLER, NIELSEN & RICKE (1966) konnten zeigen, daß das S-Isotopen-Verhältnis der Formationswässer aus Sedimentfolgen mit mächtigen Salinarablagerungen entscheidend durch die Evaporit-Sulfate der eigenen Formation beeinflußt wird. Der Streubereich der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte ist dort klein, und der Mittelwert aus den Formationswässern liegt nahe bei demjenigen der entsprechenden Evaporite (Perm, Malm). Das gilt auch dort, wo die Wässer in keinem unmittelbaren Kontakt zum Evaporit stehen.

Die aufwärtsgerichtete Kompaktionsströmung in Verbindung mit horizontaler Wanderung der Porenlösungen in den Sedimentationsbecken bringt laufend neue Wassermassen mit den Evaporiten in Berührung. Diese Wässer enthielten ursprünglich nur den relativ geringen Sulfatgehalt des Ozeanwassers. Von diesem geht normalerweise ein Teil schon im Frühstadium der Diagenese durch bakterielle Reduktion verloren. Die Wässer können also relativ große Sulfatmengen — insbesondere die leichter löslichen Ca-Sulfate — aus dem Sediment herauslösen. Dieser neu zugeführte Sulfatanteil überwiegt dann mengenmäßig so sehr gegenüber dem primären Anteil, daß damit auch das S-Isotopen-Verhältnis weitgehend demjenigen der Evaporite angeglichen wird (MÜLLER et al. 1966).

Im Gegensatz hierzu ist in Formationen ohne Salinarbildung (Karbon, Dogger) der Zusammenhang zwischen $\delta^{34}\text{S}$ -Wert des Formationswassers und dem zugehörigen Meerwasserwert nur schwer oder überhaupt nicht erkennbar (MÜLLER et al. 1966). Die Meßwerte verteilen sich über einen wesentlich größeren Meßbereich, weil die Einflüsse der bakteriellen Sulfatreduktion einerseits und auch die der Oxydation von Sulfiden andererseits den Isotopenbestand des Ausgangssulfates im Sediment grundlegend verändern können.

Im Ibbenbürener Karbon ist mit primären Unterschieden im Salzgehalt und im S-Isotopen-Verhältnis der ursprünglichen Porenlösungen zu rechnen. Es wird angenommen, daß marine, brackische sowie limnische Bildungsbedingungen im Ibbenbürener Raum gegeben waren. Inwieweit eine Homogenisierung innerhalb der Porenlösungen im Verlauf der Diagenese eintreten kann, ist schwer abzu-

schätzen. Sicher wird aber dieses Ausgangssulfat ebenso wie das Mengenverhältnis der Hauptionen während der Diagenese und Kompaktion charakteristisch verändert werden.

Durch bakterielle Sulfatreduktion entsteht aus dem gelösten Sulfat isotopisch leichter Schwefelwasserstoff, der im Mineralinhalt der Kluft- und Gangfüllungen durch zuwandernde Kationen fixiert wird oder der entweicht. Es ist schon davon berichtet worden, daß im Ibbenbürener Karbon Schwefelwasserstoffgase unterhalb — 420 m NN auftreten. Das im Formationswasser verbleibende Sulfat wird durch diesen Entzug des leichten Schwefels isotopisch schwerer.

Demgegenüber entsteht vor allem als Folge der bergbaulichen Einflüsse durch Sauerstoffzufuhr und Oxydation der isotopisch leichten Sulfide in den Klüften und Begleitschichten der Flöze neues Sulfat. Das ist seiner Herkunft entsprechend ebenfalls isotopisch leicht.

Die Einflüsse solcher Prozesse in sulfatfreien Formationen ergeben ein außerordentlich kompliziertes Bild der Isotopenverteilung in ihrem Grundwasser. Sie werden allerdings überspielt, wenn dem relativ kleinen, primären Sulfatgehalt der Sedimente das übermächtige und sehr einheitliche Reservoir von Evaporiten einer Formation mit Salinarbildung gegenübersteht.

6.3. Probematerial und Präparation

Insgesamt wurden 58 Schwefel-Isotopen-Untersuchungen durchgeführt. Davon 34 an Wasserproben, 14 an Evaporiten und 10 an sulfidischen Erzen und Baryt. Die Probenahme erfolgte durch den Verfasser. Bezeichnung und Herkunft der Proben gehen aus Tabelle III hervor.

Der Sulfatanteil der Wässer wurde nach der Entnahme durch Zusatz von Bariumionen als BaSO_4 ausgefällt und dann im Zentrallaboratorium für die Geochemie der Isotope, Göttingen, weiterverarbeitet. Über die chemische Vorbereitung bis zur Gewinnung des Meßgases SO_2 (s. RICKE 1964).

Das Schwefel-Isotopen-Verhältnis wurde mit einem Atlas CH_4 -Massenspektrometer gemessen. Der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert einer Probe gibt an, um wieviel ‰ der Gehalt an „schwerem“ ^{34}S höher ($+ \delta$) oder niedriger ($- \delta$) ist als im Meteoritenstandard.

6.4. Ergebnisse

Probematerial und $\delta^{34}\text{S}$ -Werte sind in Tabelle III aufgeführt und in Abb. 27 graphisch ausgewertet. Hier sind für jede Formation mit Salinarhorizonten die zugehörigen und gesicherten Streubereiche der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte angegeben (NIELSEN, persönl. Mitteilung). Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Evaporite des Zechstein, Röt und Malm liegen exakt innerhalb der Variationsbereiche.

Eine geologische Bedeutung haben die $\delta^{34}\text{S}$ -Meßwerte von Gips und Anhydrit aus dem Bockradener Graben, die einerseits dem Zechsteinwert, andererseits dem Malmwert entsprechen. Sie bestätigen damit den geologischen Befund, daß neben Zechstein noch Weißjura in diesem Gebiet erhalten ist (BÄSSLER 1968).

Eine gute Übereinstimmung mit dem Evaporitwert der entsprechenden Formation zeigen die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der untersuchten Tiefenwässer (Abb. 27). Zwischen zwei Arten von Wasserproben muß unterschieden werden: 1. Wässer, deren Herkunft bekannt war, und 2. Wässer, über deren Genese und Abstammung nur Vermutungen angestellt werden konnten.

Die Proben 961, 1159, 1163, 1158 und 1185 von Wasser bekannten Ursprungs sollten als Vergleichsmaterial dienen. Ihre Meßergebnisse entsprechen den von MÜLLER et al. (1966) aufgestellten Beziehungen zwischen Formationswasser und Evaporitsulfat.

Über die Herkunft der in dieser Arbeit untersuchten Mineralwässer konnten DIENEMANN & FRICKE (1961) auf Grund geologischer und hydrologischer Erwägungen mehr oder weniger genau spezifizierte Angaben machen. Die Schwefel-Isotopen-Analysen ergeben für das im Wasser gelöste Sulfat zusätzliche und genau meßbare Anhaltspunkte über die Genese dieser Wässer. Man wird unter Berücksichtigung der Hydrochemie bei manchen Wässern auch davon ausgehen können, daß Sulfat- und Salzgehalt gleicher Herkunft sind.

Die Meßergebnisse zeigen, daß folgende Mineralwässer ihren Sulfatgehalt aus dem Zechstein beziehen (Abb. 27): Bad Oeynhausen/Jordansprudel, Bad Rothenfelde/Wittekindssprudel, Laer/Bohrloch am Thie, Solbad Minden und Solbad Gottesgabe/Rheine.

Bei den drei erstgenannten Mineralwässern werden die bestehenden Auffassungen (DIENEMANN & FRICKE 1961) bestätigt.

Das Solbad Minden erhält Mineralwasser aus dem Schacht Böhlhorst am Nordfuß des Wiehengebirges. Die hochprozentige Sole wird nach DIENEMANN & FRICKE (1961) auf Serpulit oder Münster Mergel zurückgeführt. Der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert des Schwefels weist dagegen eindeutig auf Zechsteinsulfat hin. Dafür spricht auch die chemische Zusammensetzung des Wassers (Tabelle I Probe 1182) und der hohe CO_2 -Gehalt, der auf eine Mineralwasserzufuhr aus größerer Tiefe hindeutet, in der das Zechsteinsalinär liegt.

Die wenige Kilometer westlich davon gelegene Salzquelle im Peckeloh-Stollen erhält dagegen ihre Mineralisation aus dem Münster Mergel. Dieser geologisch gefestigte Vorstellung entspricht der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von 16,3 ‰.

Das Solbad Gottesgabe bezieht das Mineralwasser aus der Bohrung Salzbergen II. Nach WOHLBURG steht die Versalzung des Wassers mit dem erbohrten Rötsalinär in Beziehung. Der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert des Wassers entspricht dagegen dem des Zechsteinsalinars. Eine Klärung dieser Frage muß späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, weil die geologischen Verhältnisse dieser Struktur recht kompliziert sind.

Bei dem Schwefelwasser von Bad Bentheim wird die Auffassung von DIENEMANN & FRICKE (1961) bestätigt, daß der Münster Mergel für die Mineralisation verantwortlich ist. Der sehr niedrige $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von dem Schwefelwasser Bad Steinbeck deutet auf intensive bakterielle Sulfatreduktion eines gering sulfathaltigen Grundwassers hin.

Die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Mineralwässer von Bad Melle und Bad Meinberg können nicht ohne Kenntnis der genaueren hydrogeologischen Situation interpretiert werden.

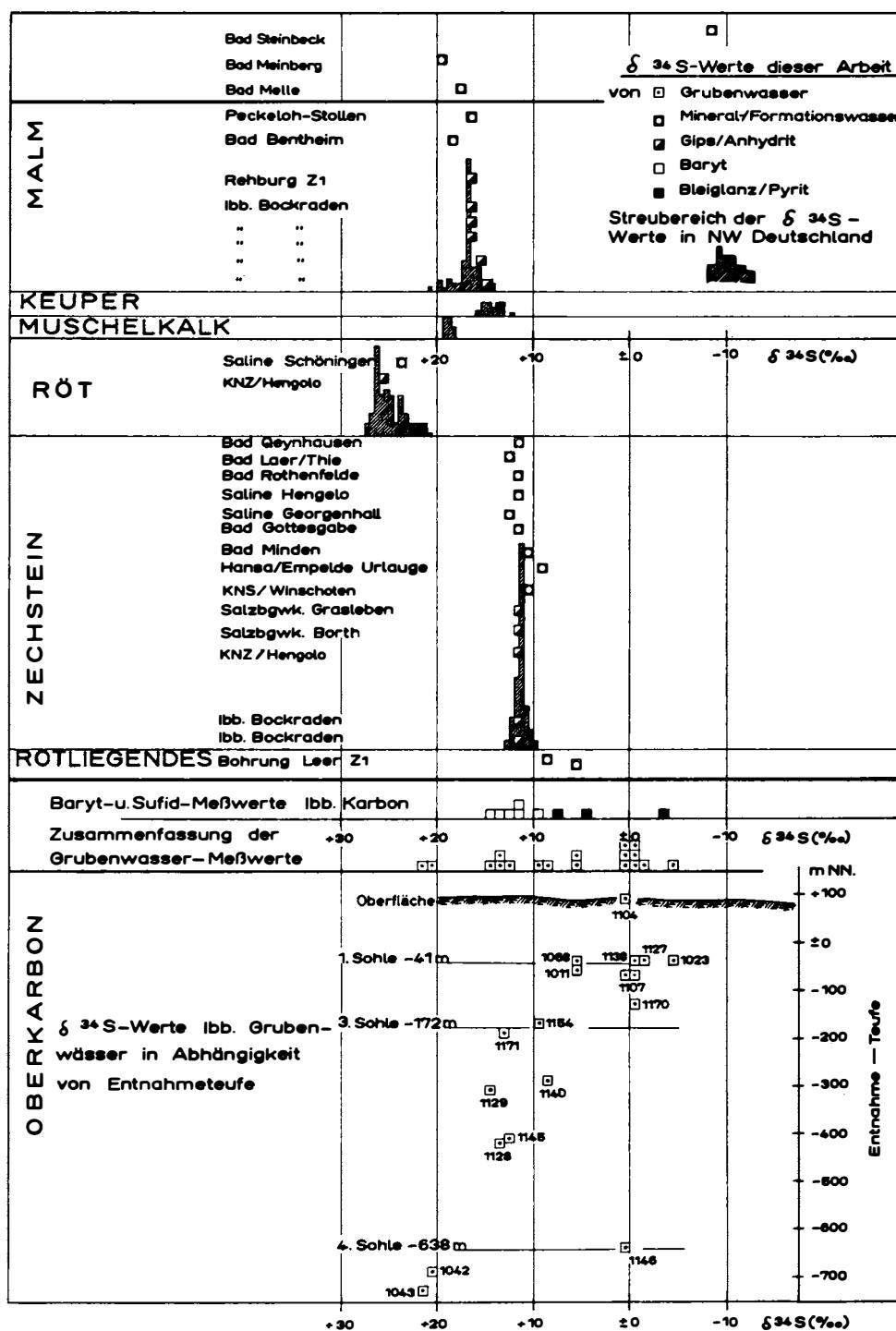


Abb. 27. Übersicht, Deutung und Zuordnung der gemessenen δ³⁴S-Meßwerte.

Die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Ibbenbürener Grubenwässer streuen von —4,1 bis +21,2 ‰. Der Variationsbereich beträgt 25 ‰.

Abb. 27 zeigt, daß die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte mit zunehmender Tiefe in der Lagerstätte (mit Ausnahme der Nr. 1146) ansteigen.

Alle Wässer mit $\delta^{34}\text{S}$ -Werten unter +8 ‰ lassen sich nicht direkt von Evaporitsulfaten bestimmter Formationen ableiten. Zu ihrer Erklärung müssen sekundäre Prozesse angenommen werden. Das Schwefel-Isotopen-Verhältnis dieser Grubenwässer hat durch die Oxydation der isotopisch leichten Sulfide aus den Begleitschichten der Flöze Sulfatzufuhr erhalten. Der ursprünglich im Wasser vorhandene $\delta^{34}\text{S}$ -Wert wird durch die sekundäre Sulfatzuführung zur leichten Seite hin verschoben. Dafür spricht auch, daß die relativ niedrigen Meßwerte auf die obere Zone der Lagerstätte beschränkt sind. Die besonders stark sauren Wässer ergeben die niedrigsten $\delta^{34}\text{S}$ -Werte.

Nach der Position der Probenahmepunkte erscheint eine anthropogene Beeinflussung der Schwefel-Isotopen-Verhältnisse nur bei der oberflächennahen Probe 1104 möglich zu sein.

Alle Grubenwässer mit $\delta^{34}\text{S}$ -Werten von über +8 ‰ kann man theoretisch mit Evaporitsulfaten jüngerer Formationen in Zusammenhang bringen. Dafür kämen in erster Linie Malmevaporite und dann die weiter entfernten Salinarabfolgen von Röt und Zechstein in Frage.

Das differenzierte Verteilungsbild der $\delta^{34}\text{S}$ -Meßwerte zeigt aber im Gegenteil, daß die Ibbenbürener Grubenwässer nachweisbare Anteile isotopisch homogener Auslaugungssolen der nahegelegenen Salzlagerstätten des Vorlandes heute nicht enthalten. Die kontinuierliche Zunahme der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte mit der Tiefe kann vielmehr auf Anreicherung von schwerem ^{34}S im Restsulfat der Porenlösungen als Folge bakterieller Sulfatreduktion gedeutet werden. Das Ergebnis der Schwefel-Isotopen-Untersuchung widerspricht also der Auffassung, nach der das versalzene tiefe Grundwasser des Karbons stetigen Nachschub aus dem Verbreitungsgebiet der Salzlager erhält. Das Ergebnis ist deshalb besonders bemerkenswert, weil die für das großräumige Münstersche Becken und Ruhrrevier entwickelte Vorstellung einer Solewanderung offenbar schon für den verhältnismäßig kleinen und den Salzlagern nahegelegenen Ibbenbürener Karbonkomplex nicht aufrecht erhalten werden kann.

7. ^{14}C - und ^3H -Konzentrations-Bestimmungen zur altersmäßigen Gliederung der Ibbenbürener Grubenwässer

7.1. Voraussetzung und Modellvorstellung der ^{14}C -Methode

Die vorhergehenden hydrogeologischen und hydrochemischen Untersuchungen führten zu der Auffassung, daß in dem Grubenwasser der Ibbenbürener Karbonscholle Anteile von zwei unterscheidbaren Grundwasserarten enthalten sind:

1. Sauerstoffreiches, mineralarmes Grundwasser, das über die oberflächennahen Bodenschichten Zufluß von Niederslagswasser erhält und auf kurzem Wege in die Grubenbaue gelangt.

2. Stark mineralisiertes tiefes Grundwasser, das unterhalb 500—600 m Tiefe enge hydrogeologische und hydrochemische Beziehungen zu dem Karbonsediment als Wasserspeicher erkennen läßt.

Nach den Ergebnissen der Schwefel-Isotopen-Bestimmung an versalzenem, tiefem Grundwasser sind keine Anhaltspunkte dafür vorhanden, daß Ablaugungssole aus dem Vorland in die Karbonscholle eindringen. Mit ^{14}C - und ^3H -Analysen sollte nun ergründet werden, ob die bisherigen Untersuchungsbefunde sich auch durch isotopenphysikalische Werte stützen lassen.

Es wurde von der begründeten Erfahrung ausgegangen, daß der Einfluß der verschiedenartigen Wässer teufenabhängig ist. Für eine Altersgliederung ergab sich daraus folgende Arbeitshypothese: Von rezentem Oberflächenwasser ausgehend sind mit zunehmender Tiefe höhere Wasseralter zu erwarten, die eine altersmäßige Gliederung verschiedener Grundwasserkörper ermöglichen sollten. Hauptziel der Untersuchung war es, zusammengehörige Wässer als solche zu erkennen und eine Bestätigung für das Vorhandensein echter Porenlösungen zu erhalten, die an rezenten Austauschvorgängen mit dem oberflächennahen Grundwasser nicht mehr beteiligt sind.

Die Altersbestimmung von Grundwasser nach der ^{14}C -Methode beruht auf dem Zerfall des Radiokohlenstoffs mit einer Halbwertszeit von 5570 Jahren. Die von MÜNNICH (1957) entwickelte Modellvorstellung besagt, daß Regenwasser nach seinem Einsickern in die obersten Bodenschichten den Radiokohlenstoff zusammen mit rezentem biogenen Kohlendioxyd aufnimmt, kalkaggressiv wird und dadurch auf dem Wege zum Grundwasserleiter fossilen ^{14}C -freien Bodenkalk auflöst. Die ^{14}C -Konzentration von der im Grundwasser gelösten Kohlensäure wird also infolge Kalkauflösung und Bildung von Bikarbonat kleiner sein als die der Luftkohlensäure. Untersuchungen darüber haben auf Grund einer verbesserten Modellvorstellung von WENDT et al. (1967) und neueren Arbeiten von GEYH (1970) zu einer ^{14}C -Konzentration rezenten Grundwässer geführt, die zwischen 70 und 85 % modern liegt.

Wird Grundwasser mit dem Eindringen in tiefere Erdschichten dem CO_2 -Zyklus der Biosphäre entzogen und sind keine Störprozesse wie Austausch oder Vermischung vorhanden, so verringert sich der ^{14}C -Gehalt von diesem Zeitpunkt ab gesetzmäßig durch radioaktiven Zerfall und erlaubt dann die Bestimmung eines ^{14}C -Alters von Grundwasser.

Als Folge der dauernden Wasserentnahme durch den Bergbau handelt es sich im vorliegenden Falle um einen stark gestörten Grundwasserkörper. Allein durch den Versickerungsmechanismus haben wir mit laufender Vermischung verschiedener alter Sickerwässer in den Poren und Porenhaltwasser zu rechnen, was schließlich dazu führen wird, daß kein definiertes Alter, sondern eine mittlere Verweilzeit angegeben werden kann. Es wäre bei den hier besprochenen Wässern auch denkbar, daß nach Einsickerung des Wassers in den Untergrund fossiles, aber biogenes CO_2 aus der Kohle zutritt und zu einer schwer meßbaren ^{14}C -Alterserhöhung führen kann.

Eine ^{14}C -Analyse von im Wetterstrom unter Tage gebildeter Kalksinter zeigte, daß das aus der Karbonsteinkohle stammende CO_2 zu einer beträchtlichen ^{14}C -Alterung führen kann. Erste ^{14}C -Altersbestimmungen an Grundwässern (BRINKMANN, MÜNNICH & VOGEL 1959/60), deren hydrogeologische Verhältnisse gut

bekannt waren, haben dagegen zu plausiblen Ergebnissen geführt. JACOBSHAGEN & MÜNNICH (1964) untersuchten vier Grubenwässer aus dem Ruhrkarbon. Sie erhielten trotz des hydrogeologisch unterschiedlichen Charakters der Proben ähnliche ^{14}C -Modell-Wasseralter. Der Einfluß von magmatischer oder Kalk-Kohlensäure und Inkohlungs-Kohlensäure wurde in diesem Zusammenhang ausführlich diskutiert.

Für die Beurteilung besonders junger oder mit jungem Wasser vermischter alter Grundwässer ist die Tritium-Analyse geeignet. Diese Wasseraltersbestimmung macht sich den Umstand zunutze, daß das sogenannte natürliche, durch kosmische Höhenstrahlung erzeugte Tritium (Halbwertzeit 12,3 Jahre) mit gewöhnlichen Meßapparaten nur schwer nachzuweisen ist. Dagegen ist die seit 1953 künstlich durch Kernwaffenexperimente erzeugte Menge Tritium so groß, daß seine Bestimmung leicht möglich ist. Der Nachweis von Tritium im Grundwasser besagt also, daß nach 1953 versickertes Wasser vorliegt oder beteiligt sein muß.

7.2. Probematerial

An Grubenwässern des Ibbenbürener Steinkohlenreviers wurden 15 ^{14}C - und 11 ^3H -Analysen durchgeführt. Das Probematerial wurde der Arbeitshypothese entsprechend in einem hydrogeologisch vorgezeichneten Teufenprofil durch den gesamten Aufschlußbereich der Lagerstätte entnommen (Abb. 14).

Außer Methangas bei den Proben 3 und 5 sind keine anderen Quellgase nachgewiesen worden. Die Temperatur der Proben zum Zeitpunkt der Entnahme lag zwischen + 5,2 und + 23°C, bei der Probe Nr. 1103 bei + 30°C. Wasserleiter sind ausschließlich Sandsteine des Oberkarbons, bei Probe Nr. 1103 Sandsteine des Rotliegenden. Von allen ^{14}C -Probennahmepunkten liegen Wasseranalysen und Schwefel-Isotopen-Untersuchungen vor. Die Proben sind in den entsprechenden Kapiteln dieser Arbeit unter der gleichen Probebezeichnung aufgeführt.

Die Probennahme erfolgte nach der vom wasserchemischen Labor der Bundesanstalt für Bodenforschung/Hannover (Dr. Fauth) entwickelten Methode durch den Verfasser. Bei den Proben 1 bis 5 gemeinsam mit Herrn Dr. Fauth. Für die ^{14}C -Analysen wurden je nach Bikarbonatgehalt 20- bis 60-l-Behälter mit Wasser gefüllt. Für die Tritium-Bestimmungen haben wir 3-l-Glasflaschen mit Gummikorken verwendet. Bei sehr geringen Zuflußmengen mußten unter Tage besondere Vorkehrungen getroffen werden, um eine Verfälschung der Isotopengehalte durch Zutritt von Grubenwetter zu verhindern.

Die Ausfällung der gelösten Kohlensäure durch Zusatz von Bariumchlorid und Barytlauge und das Abziehen des Niederschlages wurden direkt am Probeort unter Tage durchgeführt. Die ^{14}C - und ^3H -Isotopen-Bestimmungen führte das $^{14}\text{C}/^3\text{H}$ -Laboratorium des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung/Hannover aus. Hierfür sowie für die gemeinsame Diskussion der Ergebnisse ist dem Leiter dieses Labors, Herrn Dr. M. A. Geyh, zu danken.

Die ^{14}C -Modell-Wasseralter wurden unter der Annahme berechnet, daß die ^{14}C -Konzentration von in rezenten Wässern gelöster Kohlensäure bei 85 % modern liegt. Korrekturen, die die Wasserhärte berücksichtigen, sind nicht vorgenommen worden, weil dadurch die Interpretierbarkeit der ^{14}C -Modell-Wasseralter nicht erhöht worden wäre.

7.3. Ergebnisse

Die Auswertung der ^{14}C - und ^3H -Meßwerte zeigt, daß die untersuchten Grundwässer den hydrochemischen Unterschieden entsprechend stark differenzierte Modell-Wasseralter aufweisen (Tabelle II). Von rezentem Oberflächenwasser und oberflächennahem Grundwasser der Probe 1104 ausgehend, nehmen die ^{14}C -Modell-Wasseralter mit steigender Entnahmetiefe bis zum ^{14}C -freien Tiefenwasser zu. Die gleiche Tendenz zeigt die Abnahme des Tritiumgehaltes mit zunehmender Tiefe (Abb. 28). Überträgt man die Modell-Wasseralter ihrer Entnahmeposition entsprechend in ein schematisches Lagerstättenprofil, so ergeben sich folgende Zusammenhänge (Abb. 28): Die ^{14}C -Modell-Wasseralter der Proben bis —80 m NN

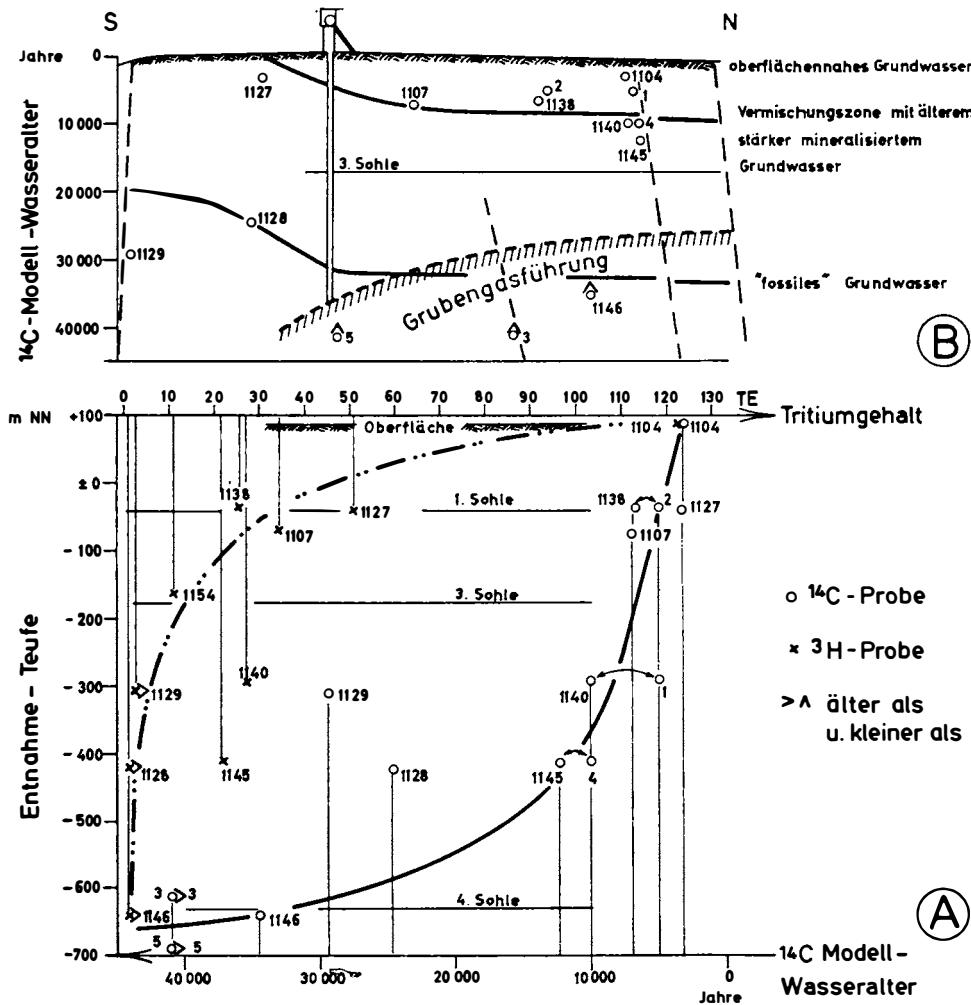


Abb. 28. Altersmäßige Einordnung der Ibbenbürener Grubenwässer nach ^{14}C -Modell-Wasseralter und Tritiumgehalt in Abhängigkeit von der Zuflußtiefe.

liegen unter 8000 Jahren. Diese Altersdatierung entspricht den Grundwässern Mitteleuropas, die sich mit Sicherheit durch meteorische Einflüsse regenerieren. Der Tritiumgehalt vorliegender Proben deutet darauf hin, daß sich das Grundwasser aus zwei verschiedenen Komponenten zusammensetzt: aus dem normalen Grundwasser des Wasserleiters und rezentem, rasch versickerndem Niederschlagswasser.

Besondere Verhältnisse liegen im Bereich einer Störungszone bis — 400 m NN bei den Proben 1, 4, 1140 und 1145 mit Modell-Wasseraltern bis 13 000 Jahren vor. Auch hier ist mit einer Vermischung sehr alter Grundwässer und rezenter Niederschlagswässer zu rechnen, was auch den hydrologischen und hydrochemischen Befunden entspricht. Paralleluntersuchungen von Proben aus der Störungszone ergaben Altersunterschiede von 6300 und 3700 Jahren. Das läßt auf unterschiedliche Zumischungsraten von rezentem Wasser von einem Faktor 2 schließen (Tabelle II). Durch Abbaueinwirkungen des Bergbaues ist der obere Teil der Störung entwässert worden. Ihre heutige Wasserführung zeigt bis — 400 m NN Tiefe noch meteorologische Einflüsse.

Den jungen oberflächennahen Grundwässern und Mischwässern stehen drei ^{14}C - und ^3H -freie Proben aus über — 600 m NN Teufe gegenüber. Für diese Wässer ergibt sich ein Modell-Wasseralter von über 34 000 Jahren. Sie stehen nicht mit dem heutigen meteorischen Kreislauf in Verbindung und sind als fossile Wässer anzusprechen. Dieses Ergebnis wird durch die hydrochemischen Befunde der gleichen Proben gestützt, nach denen es sich um Porenlösungen der Karbonsedimente handelt.

Es ist ziemlich sicher, daß die hohen Wasseralter der Proben 1128 und 1129 durch eine Zumischung von wenigen Prozent rezentem Wasser zu einem fossilen vorgetäuscht werden. Die Probe 1103 stammt aus einer Tiefbohrung NW-Deutschlands und ist als einzige für die Altersdatierung außerhalb des Ibbenbürener Karbons entnommen worden. Auf Grund der Altersbestimmung ist anzunehmen, daß dieses Formationswasser aus dem Rotliegenden durch Zumischung von Spülungsfiltrat isotopisch beeinflußt ist.

Die bisherige Interpretation der isotopenphysikalischen Werte erfolgte unter Heranziehung hydrochemischer und hydrogeologischer Überlegungen. Aus den Isotopenwerten allein, vor allem bei den im Bereich der Grubengasführung gelegenen Proben, könnte man ableiten, daß nur einige Jahrtausende alte Wässer vorliegen, deren ^{14}C -Gehalt durch Inkohlungs-Kohlensäure bis unter die Meßgrenze verdünnt worden ist. Eine endgültige Diskussion des Einflusses von Inkohlungs-Kohlensäure muß zurückgestellt werden, bis die vorgesehenen ^{13}C - und Sauerstoff-Isotopen-Bestimmungen vorliegen. Der Einfluß von magmatischer Kohlensäure auf die ^{14}C -Gehalte ist im Bereich der Ibbenbürener Steinkohlenlagerstätte gering zu bewerten. CO_2 -Austritte sind in dieser Lagerstätte bisher nicht beobachtet worden.

Zusammenfassend ergibt sich, daß die ^{14}C - und ^3H -Untersuchungsbefunde die von den vorhergehenden Ergebnissen abgeleitete Arbeitshypothese bestätigen. Das hydrogeologisch und hydrochemisch abzugrenzende Grundwasser der oberflächennahen Grundwasserleiter entspricht dem hier gefundenen Grundwasser mit Modell-Wasseraltern bis 8000 Jahren. In Störungszonen bis — 400 m NN Tiefe treten Wässer auf, die eine unterschiedlich hohe Zumischungsrate von Ober-

flächenwasser aufweisen. Die Auffassung, daß es sich bei dem stark salzhaltigen tiefen Grundwasser des Ibbenbürener Karbon um Porenlösungen handelt, wird durch das hohe Alter dieser Wässer gestützt. Sie sind als fossiles Wasser gedeutet worden.

8. Schriften

- AULT, W. U., & J. L. KULP: Isotope geochemistry of sulphur. — Geochim. et Cosmochim. Acta, **16**, 201—235, Oxford usw. 1959.
- BAECKER, P.: Solevorkommen und Grubenwässer im Raum Westfalen. — Vom Wasser, **20**, 209—251, Weinheim 1954.
- BÄSSLER, R.: Möglichkeiten der Trinkwassergewinnung unter Tage. — Vortrag, gehalten anlässlich der Vortragsveranstaltung Bergbau u. Wasserwirtschaft/Steinkohlenbergbauverein, Essen 1967.
- Hydrologie und Grundwassernutzung im zentralen Bereich des Schafberges bei Ibbenbüren/Westfalen. — Beih. Ber. Naturh. Ges. 5, Keller Festschrift, 93—108, Hannover 1968.
- Hydrogeologische, chemische und Isotopen-Untersuchungen der Grubenwässer des Ibbenbürener Steinkohlenreviers. — Dissertation, Braunschweig, 85 S., 21 Abb., 7 Anl., 3 Tab., 1969, unveröffentlicht.
- BAUM, H.: Untersuchung der Grundwasserverhältnisse im Westfeld der Ibbenbürener Karbonplatte. — Geol. Meldearbeit, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren, 1953, unveröffentlicht.
- BISCHOFF, G., & J. WOLBURG: Zur Entwicklung des Obermalm im Emsland. — Erdöl-Zeitschr., **10**, 445—472, Wien 1963.
- BODE, H.: Paläobotanisch-stratigraphische Studien im Ibbenbürener Karbon. — Abh. preuß. geol. L.-A., N. F., **106**, Berlin 1926.
- Gutachten über die geologischen und hydrologischen Verhältnisse des Kreises Tecklenburg. — Geol. Landesamt Nordrh.-Westf., Krefeld 1954.
- BOLTZ, F.: Colorimetric Determination of Nonmetals. — Interscience Publishers 34—36 u. 196—230, INC., New York and LTD., London 1958.
- BÖRGER, H.: Untersuchung der tektonischen Verhältnisse von der Umgebung von Ibbenbüren unter besonderer Berücksichtigung der Gesteinsklüfte. — Jb. preuß. geol. L.-A., **49**, 801—804, Berlin 1928.
- BRAITSCH, O.: Entstehung und Stoffbestand der Salzlagerstätten. — Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen. **3**, Springer-Verlag, Berlin — Göttingen — Heidelberg 1962.
- BRAND, E., & K. HOFFMANN: Stratigraphie und Fazies des nordwestdeutschen Jura und Bildungsbedingungen seiner Erdöllagerstätten. — Erdöl u. Kohle, Sonderband **6**, Welt-Erdöl-Kongreß, 437—450, Hamburg 1963.
- BREYER, FR.: Abgedeckte geologische Karte aus dem Bereich des Bramscher Massives nach gravimetrischen und seismischen Messungen. — Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. **18**, Krefeld 1971.

- BRINKMANN, R., K. O. MÜNNICH & J. C. VOGEL: ¹⁴C-Altersbestimmung von Grundwasser. — *Naturwiss.*, **46/1**, 10—12, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1959.
- Anwendung der ¹⁴C-Methode auf Bodenbildung und Grundwasserkreislauf. — *Geol. Rdsch.*, **49/1**, 244—253, Stuttgart 1960.
- CARLE, W.: Stockwerke und Wanderwege von Mineralwässern in Franken. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **106**, 118—130, Hannover 1955.
- DEGENS, E. T.: Geochemie der Sedimente. — Ferdinand-Enke-Verlag, Stuttgart 1968.
- DE SITTER, L. U.: Diagenesis of oil-field brines. — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **31/11**, 2030—2040, 1947.
- DIENEMANN, W., & K. FRICKE: Mineral- und Heilwässer, Peloide und Heilbäder in Niedersachsen und seinen Nachbargebieten. — Veröffentlichungen des Niedersächs. Instituts für Landeskunde, Univ. Göttingen, Reihe A, I Natur, Wirtschaft, Siedlung u. Planung, **5**, 4765, Göttingen, Hannover 1961.
- EBERT, A.: Geologie der Ibbenbürener Karbonscholle. — *Beih. Geol. Jb.* **14**, Hannover 1954.
- ENGELHARDT, W. v.: Der Porenraum der Sedimente. — Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen, **2**, Springer-Verlag, Berlin — Göttingen — Heidelberg 1960.
- FRESENIUS, W.: Einführung in die Chemie und Charakteristik der Heilwässer und Moore. — Deutscher Bäderkalender, 35—49, Verlag L. Flöttmann/Gütersloh, Ausgabe 1965—1968.
- FRICKE, K.: Herkunft des Salz- und Kohlensäuregehalts der Mineralwässer im weiteren Ruhrgebiet. — *Bergbau-Rundschau*, **4**, 147—152, Herne 1952.
- Tiefenwasser, Solequellen und Solewanderung im Bereich des Münsterschen Beckens. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **113**, 37—41, Hannover 1961.
- GEYH, M. A.: ¹⁴C- und ³H-Analysen an Wasserproben im Rahmen hydrogeologischer Untersuchungen. — Niedersächsisches Landesamt f. Bodenf., Bericht Nr. 9, 1969.
- Die ¹⁴C-Konzentration von Bodenkalk und Folgerungen für die physikalische Altersbestimmung an Grundwässern. — Vortrag IAEA, Isotopes in Hydrology, Wien 1970.
- GEYH, M. A., & J. WENDT: Results of water sample dating by means of the Model of MÜNNICH and VOGEL. — Proc. VI. Int. Conf. Radiocarbon and Tritium-Dating, 597—603, Pulmann/Washington 1965.
- GORRELL, M. A.: Classification of formation waters based on sodium chloride content. — *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **42**, 2513, Tulsa 1958.
- GOTHAN, W., & W. HAACK: Ruhrkarbon und Osnabrücker Karbon. — *Glückauf* **60**, 535—541, Essen 1924.
- Ruhrkarbon und Osnabrücker Karbon. — *Glückauf* **61**, 777—779, Essen 1925.
- GRABERT, W.: Versalzungerscheinungen am Westausläufer des Teutoburger Waldes bei Bevergern/Westf. — *Decheniana*, **105/106**, 51—56, Bonn 1952.
- HAACK, W.: Die nordwestfälisch-lippische Schwelle. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **76**, 33—52, Hannover 1924.
- HARRASSOWITZ, H.: Über Wanderungen von Mineralwasser. — *Geol. Rdsch.*, **25**, 144, Berlin 1934.
- Wasseranalysen. — *Z. prakt. Geol.*, **52**, 45—52, Halle 1944.
- HAYN, P.: Der Ursprung der Grubenwässer. — Granz u. Gerlach, Freiburg 1887.
- HEIDORN, F.: Über die Entwicklung der Zechsteinformation, insbesondere ihrer Karbonathorizonte im Osnabrück-Bentheimer Raum. — Gutachten PREUSSAG/Erdöl- und Bohrverwaltung, Berkholz/Peine 1950, unveröffentlicht.

- Schichtenfolge, Gebirgsbau und Erdölmöglichkeiten im westlichen Teil des Mutungsgebietes Osnabrück. — Gutachten PREUSSAG/Erdöl- und Bohrverwaltung, Berk höpen/Peine 1950, unveröffentlicht.
- HEINE, Th.: Geognostische Untersuchungen der Umgebung von Ibbenbüren. — Z. deutsch. geol. Ges., **13**, 149—242, Berlin 1861 und Verh. nat. Ver. preuß. Rheinl. u. Westf., 107—211, Bonn 1862.
- HELLWIG, F.: Die Wasserführung des Schafberges und seiner Kohlenbergwerke. — Manuskript, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren, 57. S., 1939, unveröffentlicht.
- Vergleich der Grubenwasserverhältnisse des Piesberges und Schafberges. — Manuskript, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren, 21. S., 1939, unveröffentlicht.
- HERBST, G.: Die Grubenwässer im Steinkohlenrevier von Aachen-Erkelenz. — Z. deutsch. geol. Ges., **116**, 70—75, Hannover 1964.
- HERRMANN, A. G.: Über das Vorkommen einiger Spurenelemente in Salzlösungen aus dem deutschen Zechstein. — Kali und Steinsalz, **7**, 209—220, Essen 1961.
- HÖLL, K.: „Wasser“. — Verlag Walter de Cruyter & Co., Berlin 1968.
- HOLSTER, W. T., & J. KAPLAN: Isotope geochemistry of sedimentary sulfates. — Chem. Geol. **1**, 93—135, 1966.
- HUYSEN, A.: Die Solequellen des westfälischen Kreidegebirges, ihr Vorkommen und mutmaßlicher Ursprung. — Z. deutsch. geol. Ges. **7**, 17—252 und 567—654, Stuttgart 1855.
- JACOBSHAGEN, V., & K. O. MÜNNICH: ^{14}C -Altersbestimmung und andere Isotopen-Untersuchungen an Thermalsolen des Ruhrkarbons. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **9**, 561—568, Stuttgart 1964.
- JENSEN, M. L.: Biogeochemistry of sulfur isotopes. — Proc. Nat. Science Found., Symp. April 1962, New Haven, Conn.
- JUNG, W., & K. LIEBISCH: Die Grubenhydrogeologie in der Mansfelder Mulde. — Z. angew. Geol., **12**, 511—521, Berlin 1966.
- KARSTEN: Bemerkungen zu Solevorkommen und Vorstellungen über die Herkunft der Salzlösungen (Archiv 1826) — zitiert in KUKUK, P.: Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. — Verlag Julius Springer, 706 S., Berlin 1938
- KEGEL, K.: Berg- und Aufbereitungstechnik. — Bd. III, Teil I, Bergmännische Wasserwirtschaft, Verlag Wilhelm Knapp, Halle 1950.
- KELLER, G.: Bericht über die geologische Aufnahme auf Blatt Tecklenburg. — Manuskript, Ibbenbüren 1946—1948, unveröffentlicht.
- Geohydrologisches Gutachten über die Veränderungen der Grundwasserverhältnisse in Uffeln-Dorflage. — Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren, 1949, unveröffentlicht.
- Die stratigraphisch-fazielle Entwicklung der marinen Unterkreide im nordwestlichen Teutoburger Wald. — Z. deutsch. geol. Ges., 1952, **104**, 474—498, Hannover 1953.
- Der Schafberg bei Ibbenbüren und sein Verhältnis zur Osningstektonik. — Geotek. Forsch., **9/10**, 100—115, Stuttgart 1953.
- Die Ausbildung des Wealden am Nordwestende des Teutoburger Waldes. — Neues Jb. Geol. Paläont., Mh., **2**, 59—69, Stuttgart 1955.
- Stellungnahme zu den geohydrologischen Verhältnissen auf dem Schafberg bei Ibbenbüren und in seinem Vorland. — Manuskript, Ibbenbüren 1956, unveröffentlicht.
- Grundwasserversetzungen im saxonischen Faltungsfeld Niedersachsens. — Geotekton. Symposium H. Stille, 425—440, Stuttgart 1956.

- Gutachten über die Frage der Wasserentziehung auf den Grünländereien des Hofes Berghaus-Lampe. — Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren 1957, unveröffentlicht.
- Die Hydrogeologie der Hagenbachquelle in der Vorzone des Hüggels bei Osnabrück. — Z. deutsch. geol. Ges., **113**, 61—68, Hannover 1961.
- Mitteilung über die Geologie der Margarethen-Egge bei Tecklenburg in Westf. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **7**, 348—358, Stuttgart 1962.
- Das Oxford-Vorkommen des Knollmanns-Berges bei Hörstel (Westfalen). — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **10**, 608—613, Stuttgart 1964.
- Einige Aufgaben der angewandten Hydrogeologie. — Z. deutsch. geol. Ges., **115**, 617—630, Hannover 1966.
- Zur Geologie des Piesberges bei Osnabrück. — Z. deutsch. geol. Ges., **117**, 743—748, Hannover 1968.

KLINGE, U.: Untersuchung der Grundwasserverhältnisse im Ostfeld der Ibbenbürener Karbonplatte. — Geol. Meldearbeit, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren 1953, unveröffentlicht.

KÖTTER, K.: Die Chloridgehalte des oberen Emsgebietes und ihre Beziehungen zur Hydrogeologie. — Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums NRW, Nr. **491**, 193 S., Westdeutscher Verlag/Köln und Opladen 1958.

KÖTTER, K., & F. MAUSOLF: Hydrogeologie des Westteils der Ibbenbürener Karbonscholle. — Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. **999**, 113 S., Westdeutscher Verlag/Köln und Opladen 1962.

KÜHN, R.: Chemische Gesichtspunkte zur Frage der Herkunft der Solen im Ruhrgebiet. — Z. deutsch. geol. Ges., **116**, 254—255, Hannover 1964.

— Beitrag zur geochemischen Beurteilung der Wiesbadener Thermen nach den Gehalten an Br, Rb und Cs. — Kali und Steinsalz, H. **6**, 204—207, Essen 1965.

KUKUK, P.: Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. — Verlag Julius Springer, 706 S., Berlin 1938.

LÖCTERS, H.: Paläogeographie, Tektonik und Erdölvorkommen im Emsland. — Z. deutsch. geol. Ges., 1950, **102**, 8—42, Hannover 1951.

LÖHNERT, E.: Die Beschaffenheit des tieferen Grundwassers und die Grenze Salzwasser/Süßwasser im Staatsgebiet von Hamburg. — Geol. Mitt., **6**, 29—36, Aachen 1965.

LOTZE, FR.: Steinsalz und Kalisalze, I. — 2. Aufl., 465 S., 37 Abb., 226 Textabb., Gebr. Bornträger, Berlin 1957.

— Zur Geologie der Senkungszone des Heiligen Meeres (Kreis Tecklenburg). — Abh. des Landesmuseums f. Naturkunde zu Münster/Westfalen, 18. Jg., H. **1**, 3—36, 1957.

LUX, G.: Tektonik der Ibbenbürener Karbonscholle. — Dissertation Münster, 127 S., 1961, unveröffentlicht.

MACNAMARA, J., & H. THODE: Comparison of the isotopic composition of terrestrial and meteoritic sulfur. — Phys. Rev. **78**, 307—308, 1950.

MATTHES, G.: Die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **35**, 85 S., Wiesbaden 1961.

MEENTS, W. F., A. H. BELL, O. W. REES & W. G. TILBURY: Illinois Oil-Field-Brines. Their geologic occurrence and chemical composition. — Illinois Petroleum No. **66**, 38 S., Urbana, Illinois 1952.

MEINHOLD, R.: Fortschritte in der geochemischen Erkundung auf Kohlenwasserstoffe. — Z. f. angew. Geol., **11**, H. 11, Hydrogeochemie, 597—599, Berlin 1965.

- MEMPEL, G.: Alter und Herkunft der Blei-Zink-Erz-Vorkommen in Sedimenten, speziell im Zechstein NW-Deutschlands. — Vortrag Frühjahrstagung D.G.G., Osnabrück, Juni 1962.
- MICHEL, G.: Untersuchungen über die Tiefenlage der Grenze Süßwasser — Salzwasser im nördlichen Rheinland und anschließenden Teilen Westfalens, zugleich ein Beitrag zur Hydrogeologie und Chemie des tiefen Grundwassers. — Festschrift Berichte d. Landes Nordrh.-Westf., 1239, 131 S., 12 Abb., 8 Anlagen. Westdeutscher Verlag/ Köln und Opladen 1963.
- Betrachtungen zur Hydrochemie des tiefen Grundwassers im Ruhrgebiet. — Z. deutsch. geol. Ges., 116, 161—166, Hannover 1964.
- MICHEL, G., & K.-H. RÜLLER: Hydrochemische Untersuchungen des Grubenwassers der Zechen der Hüttenwerk Oberhausen AG. — Bergbau-Archiv 4, 21—27, Essen 1964.
- MÜLLER, G., H. NIELSEN & W. RICKE: Schwefel-Isotopen-Verhältnisse in Formationswässern und Evaporiten Nord- und Süddeutschlands. — Chem. Geol., 1, 211—220, 1966.
- MÜNNICH, K. O.: Messungen des ^{14}C -Gehaltes von hartem Grundwasser. — Naturwiss., 44, 32 S., 1957.
- Die ^{14}C -Methode. — Geol. Rdsch., 49, 237—244, Stuttgart 1959.
- MUKHERJEE, K. P.: Origin and disposal of acidic waters from collieries and waste coal heaps. — J. Mines, Metals, Fuels, 16, Nr. 3, 83—84 und 89, 1968.
- NIELSEN, H.: Schwefelisotope im marinen Kreislauf und das $\delta^{34}\text{S}$ der früheren Meere. — Geol. Rdsch., 55, 160—172, Stuttgart 1965.
- NIELSEN, H., & W. RICKE: Schwefel-Isotopen-Verhältnisse von Evaporiten aus Deutschland. Ein Beitrag zur Kenntnis von $\delta^{34}\text{S}$ im Meerwasser-Sulfat. — Geochim. et Cosmochim., Acta 28, 577—591, Oxford usw. 1964.
- OBERMANN, D.: Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks, 1:10 000, Blatt Mettingen. — Herausgegeben von der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Bochum 1968.
- PATTEISKY, K.: Die thermalen Solen des Ruhrgebiets und ihre juvenilen Quellgase. — Glückauf 90, 1334—1348 und 1508—1519, Essen 1954.
- PUCHELT, H.: Zur Geochemie des Grubenwassers im Ruhrgebiet. — Z. deutsch. geol. Ges., 116, 167—203, Hannover 1964.
- Zur Geochemie des Bariums im exogenen Zyklus. — Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathem.-Naturwiss. Klasse, Springer-Verlag, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1967.
- PUCHELT, H., & H. NIELSEN: Untersuchungen über die Verteilung der Schwefelisotope in den Grubenwässern des Ruhrreviers. — Glückauf Forschungshefte, 6, 1—8, Essen 1967.
- RICKE, W.: Präparation von Schwefeldioxid zur massenspektrometrischen Bestimmung des Schwefel-Isotopen-Verhältnisses $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ in natürlichen Schwefelverbindungen. — Z. analyt. Chem., 199, H. 6, 401—413, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1964.
- SCHNEIDER, H.: Geohydrologie Nordwestfalens. — 2645 S., 32 Tab., 10 Taf., Verlag Rudolf Schmidt, Berlin 1964.
- SCHOELLER, H.: Géochimie des eaux souterraines, Application eaux des gisements de pétrole. — Zusammendruck aus Rev. Inst. Franc. Pétrole et tun. Comb. Liquides, 10, 213 S., Paris 1955.
- SCHOTT, W.: Zur Paläogeographie des nordwestdeutschen Malm. — Erdöl und Tektonik in Nordwestdeutschland, 129—135, 1949.

- SCHRÄBER, D.: Zur Kenntnis der Sole im Zwickau-Oelsnitzer Steinkohlenrevier. — *Z. angew. Geol.*, **14**, H. 8, 431—439, Berlin 1968.
- SCHÜRMANN, E.: Die Grundwasserverhältnisse im westlichen und nordwestlichen Vorland des Schafberges. — *Geol. Meldearbeit, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren*, 1954, unveröffentlicht.
- SCHUSTER, A.: Ergebnisse neuerer Bohrungen im Raum Ibbenbüren/Iburg. — Vortrag Frühjahrstagg. D. G. G., Osnabrück, Juni 1962.
- Die westliche Umrandung der Ibbenbürener Karbonscholle. — *Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf.*, **18**, Krefeld 1971.
- SCHWILLE, Fr.: Natriumhydrogenkarbonat- und Natriumchlorid-Wässer im tieferen Untergrund des Mainzer Beckens. — *Notizbl. hess. L.-Amt f. Bodenforsch.* **81**, 314—335, Wiesbaden 1953.
- Ionenumtausch und der Chemismus von Grund- und Mineralwässern. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **106**, 1—201, Hannover 1955.
- SEMMLER, W.: Die chemische Beschaffenheit der Grubenwässer im saar-lothringischen Karbon. — *3ème Congrès de Strat. et des Géol. du Carbonifère*, 567—570, Heerlen 1951.
- Gutachten über die Wasserverhältnisse im Felde der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren. — Wasserwirtschaftsstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum 1953.
- Gutachten über die außergewöhnliche Belastung der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren durch die Wasserzuflüsse und ihre Kosten sowie Vorschläge über eine Neufestsetzung des Einheitswertes des Steinkohlevorkommens. — Wasserwirtschaftsstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Essen 1954.
- Die Wasserwirtschaft des Ruhrbergbaus im Jahre 1953. — *Glückauf*, H. **23/24**, 649 bis 651, Essen 1955.
- Die Herkunft der Grubenwasserzuflüsse im Ruhrgebiet. — *Glückauf*, H. **8**, 502—511, Essen 1960.
- Hydrogeologie in Bergaugebieten. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **116**, 38—54, Hanover 1964.
- SEMMLER, Waltraud: Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks, 1 : 10 000, Blatt Recke. — Herausgegeben von der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum 1965.
- SIEBERT: Gutachten über die Wasserversorgung des Kreises Tecklenburg. — *Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.*, Krefeld 1960.
- SREBRODOLJSKIJ, B. I., & G. M. WDOWTSCHENKO: Über Strontium in den Grundwässern in der Umgebung der Schwefel-Lagerstätte Rasdoljskoje (Ukraine). — *Geochim.* 1129 bis 1132, 1966.
- THIEMANN, A.: Schriftliche Mitteilung über Kurzprofile von 5 Flachbohrungen im Rahmen der geologischen Kartierung Blatt Tecklenburg. — *Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.*, Krefeld 1968.
- THODE, H. G., & J. MONSTER: S-Isotopenverhältnisse in Evaporiten und in den früheren Ozeanen. — In: *Chemie der Erdkruste*, II, 589—600, (russ.) Moskau 1964.
- THODE, H. G., J. MONSTER & H. B. DUNFORD: Sulfur isotope geochemistry. — *Geochim. et Cosmochim. Acta* **25**, 159—174, Oxford usw. 1961.
- UNTERBERG: Sind die Störungen des Steinkohlengebirges bei Ibbenbüren in dem den Schafberg umlagernden Zechstein wiederzuerkennen? — *Geol. Meldearbeit, Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren*, 1905, unveröffentlicht.

- VOGEL, J. C., & D. EHHALT: The use of the carbon isotopes in groundwater studies. — Radioisotopes in hydrology, IAEA, Vienna 1963, 383—395, Wien 1963.
- WAGER, R.: Zum Chemismus tieferer Grundwässer in einem Teil NW-Deutschlands. — Publication 37 de l'Assoc. Intern. d'Hydrol. (Assemblée générale de Rome, tome II), Extrait, 131—137, Rome 1954.
- Chemismus (Versalzung) des tieferen Grundwassers und seine Beziehungen zu den Oberflächengewässern. — Dtsch. gewässerkdl. Mitt., 2, 31—33, 1958.
- WAGER, R., W. RICHTER & H. FLATHE: Zur Grundwasserversalzung in Nordwestdeutschland. — Geol. Jb., 74, 629—642, Hannover 1957.
- WALLHÄUSER, K. H., & H. PUCHELT: Schwefelreduzierende Bakterien in Schwefel- und Grubenwässern Deutschlands und Österreichs. — Contr. Mineral. and Petrol, 13, 12—30, 1966.
- WENDT, J., W. STAHL, M. A. GEYH & F. FAUTH: Isotopes in Hydrology. — IAEA, 321, Wien 1967.
- WILLERT, H.: Zur Geologie der Eisenerzvorkommen im Weser-/Wiehen-Gebirge. — Glückauf, H. 41/42, 685—692, Essen 1948.
- WOLBURG, J.: Die epirogenetischen Phasen der Muschelkalk- und Keuperentwicklung in NW-Deutschland, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein. — Geotek. Forschungen, 32, 1—65, Stuttgart 1969.
- ZUL'FUGARLY, D. J.: Verbreitung der Spurenelemente in Kaustobiolithen, Organismen, Sedimentgesteinen und Schichtwässern. — 296 S., 32 Tab., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1964.

9. Anhang (Tabellen)

T a b e l l e I - 1

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)														
Probe-Nr.	130			133			147			148				
	Entnahmedatum	25. 4. 1962	Probenehmer	Bässler	Labor	ZL Oker	Entnahmedatum	Bässler	Labor	ZL Oker	Entnahmedatum	Bässler		
Herkunft	Fl.2,N.-Feld,4.Sohle,Nord-		Tiefe m NN	633	Sohacht-Keller		Fl.2,N.-Feld,4.Sohle,anetg.		Fl.2,N.-Feld,4.Sohle,Nord-		Fl.2,N.-Feld,anstg.Querschl.n.Fl.2			
Temperatur °C	-			-627			Querschl.n.Fl.2	-	Sohacht-Keller	-	4.Sohle	-		
pH-Wert	8,0						8,1		8,0		8,0			
Abdampfr. (105°)														
Kationen	mg/l	mvval/l	mvval %	mg/l	mvval/l	mvval %	mg/l	mvval/l	mvval %	mg/l	mvval/l	mvval %		
Li	-			21 159,76*	920,39	95,8	22 368,35*	972,96	95,8	21 404,37*	931,03	95,8		
Na	21	159,76*	920,39	95,8			22	368,35*	972,96	95,8	22	137,99	962,94	95,6
K	-						21	404,37*	931,03	95,8	22	137,99	962,94	95,6
Rb	-						22	137,99	962,94	95,6	-	-	-	-
Cs	-						22	137,99	962,94	95,6	-	-	-	-
Mg	249,68	20,49	2,1	266,99	21,96	2,2	244,32	20,10	2,1	273,99	22,54	2,2		
Ca	361,35	18,03	1,9	385,44	19,23	1,9	385,44	19,23	2,0	413,60	20,64	2,1		
Sr	-													
Ba	106,90	1,56	0,2	85,90	1,25	0,1	77,90	1,12	0,1	75,00	1,06	0,1		
Mn	-													
Fe	0,10			0,07			0,07			0,08				
Cu	-													
Zn	-													
Al	-													
Sn	-													
Pb	-													
Summe	21 877,19	960,47	100,0	23 106,75	1 015,40	100,0	22 111,20	971,48	100,0	22 898,66	1 007,18	100,0		
Anionen														
F	-													
Cl	33 400,00	942,17	98,1	35 457,00	1 000,19	98,5	33 684,00	950,18	97,8	35 102,00	990,18	98,3		
Br	-													
J	-													
HCO ₃	1 117,58	18,30	1,9	928,87	15,21	1,5	1 300,70	21,30	2,2	1 038,00	17,00	1,7		
CO ₃	-													
SO ₄	4,00			4,00			4,00			4,00				
Summe	34 517,62	960,47	100,0	36 385,91	1 015,40	100,0	34 984,74	971,48	100,0	36 144,00	1 007,18	100,0		
Typ	Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl				

UNTERSUCHUNGEN DER IBBENBURENER GRUBENWÄSSER

Tabelle I - 2

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)

Probe-Nr.	150			151			157			160		
	Entnahmedatum	Bässler	ZL Oker	Entnahmedatum	Bässler	ZL Oker	Entnahmedatum	Bässler	ZL Oker	Entnahmedatum	Bässler	ZL Oker
Entnahmestelle	Pl. Glücksburg, 3. Sohle, Morgenstern-Feld, 24. Berg	Pl. Glücksburg, 3. Sohle, Morgenstern-Feld, Abh. 24					4. Sohle, Schacht Oeynhausen Standrohr, Ortebrust Süd			Pl. 2, N.-Feld, Bdstr. Süden		
Tiefe in NN	-130	-251					-638			-615		
Temperatur °C	-	-		-	-		-			-		
pH-Wert	7,5			7,3			7,5			8,1		
Abdampfr. (105°)	-			-			-			-		
Kationen	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %
Li ⁺	0,75*	0,11	0,1	22,0	3,17	0,1	-	809,04	90,3	14 500,00	630,71	95,9
Na ⁺	1 676,00	72,88	74,1	46 090,00*	2 004,77	90,3	18 600,00	5,78	0,7	-	-	-
K ⁺	-	-	-	-	-	-	226,00	-	-	-	-	-
Rb ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg ²⁺	109,10	8,97	9,1	751,40	61,81	2,8	503,00	41,38	4,6	226,00	18,59	2,8
Ca ²⁺	317,10	15,82	16,1	2 898,80	144,65	6,5	713,00	35,57	4,0	131,00	6,54	1,0
Sr ²⁺	23,00	0,52	0,6	260,00	5,93	0,3	174,00	3,97	0,4	56,00	1,28	0,2
Be ²⁺	2,00	0,03	-	2,00	0,03	-	1,00	0,01	-	6,00	0,09	-
Mn ²⁺	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-
Fe ²⁺	0,08	-	-	0,32	0,01	-	3,64	0,13	-	22,36	0,80	0,1
Cu ²⁺	0,02	-	-	0,04	-	-	0,01	-	-	0,05	-	-
Zn ²⁺	-	-	-	0,05	-	-	0,70	0,02	-	0,02	-	-
Al ³⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-
Sn ²⁺	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	0,05	-	-
Pb ²⁺	0,05	-	-	0,26	-	-	0,05	-	-	-	-	-
Summe	2 128,10	98,33	100,0	50 024,78	2 220,37	100,0	20 221,43	895,90	100,0	14 941,51	658,01	100,0
Anionen												
F ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ⁻	3 014,00	85,02	86,5	75 346,00	2 125,42	96,0	30 850,00	870,24	97,2	22 694,00	640,17	97,3
Br ⁻	-	-	-	2,2	0,02	-	40,00	0,50	-	32,00	0,40	-
J ⁻	-	-	-	-	-	-	0,04	-	-	0,11	0,01	-
HCO ₃ ⁻	24,40	0,40	0,4	1 007,65	16,50	0,7	922,20	15,10	1,7	1 062,61	17,40	2,6
CO ₃ ²⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₄ ²⁻	620,00	12,91	13,1	3 457,00	71,98	3,3	456,00	9,49	1,1	2,0	0,04	-
Summe	3 658,40	98,33	100,0	79 812,85	2 213,92	100,0	31 816,80	895,33	100,0	23 790,72	658,02	100,0
Typ	Na - (Ca) - Cl-(SO ₄)			Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl		

Tabelle I - 3

R. BASSLER

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)

Probe-Nr.	165			167			216			222		
	Entnahme-Datum	24. 11. 1962		1. 12. 1962	Bassler	ZL Oker	1. 2. 1964	Bassler	ZL Oker	3. 2. 1964	Bassler	ZL Oker
Herkunft	Pl. Theodor, Str. 1 Süden aus			-480m-Sohle, Schacht Oeynhausen			1. Reden, Str. 5 Osten, Bohr.			Pl. 2, S.-Feld, Grundstrecke		
Teufe m NN	-343	Str. 1 W., Mittelfeld		-608	aus Bohrloch 101		-380	Wassersprung	20	-420	Wassereinbruch I	
Temperatur °C	-			-			-			23,5		
pH-Wert	7,7			6,8			7,6			7,4		
Abdampfr. (105°)	-			-			2 170			26 950		
Kationen	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %
Li	**						0,15	0,02		3,50	0,50	0,1
Na	11 100,00	482,82	77,7	29 520,00	1 284,04	86,5	340,00	14,79	46,1	8 400,00	365,30	88,6
K	155,00	3,96	0,6	0,50	0,01		0,00	0,20	0,6	52,00	1,33	0,3
Rb	**			**			0,00	0,00		0,00		
Ca	-			-			-			-		
Mg	586,00	48,21	7,8	834,00	68,61	4,6	59,10	4,86	15,1	195,00	16,04	3,9
Ca	1 603,00	79,99	12,9	2 397,00	119,61	8,1	245,7	12,11	37,7	577,00	28,79	7,0
Si	288,00	6,57	1,0	506,00	11,54	0,8	2,00	0,05	0,2	10,00	0,23	0,1
Be	1,00	0,01		1,0	0,01		0,60			0,60		
Mn	0,01			0,09			0,66	0,02	0,1	0,02		
Fe	1,04	0,04		15,34	0,55		1,35	0,05	0,2	0,06		1
Cu	0,01			0,02			0,01			0,01		
Zn	0,02			0,02			0,02			0,02		
Al							0,06	0,01		0,13	0,01	
Sn	0,01			0,22			0,01			0,01		
Pb	0,08			0,07			0,01			0,01		
Summe	13 734,17	621,60	100,0	33 274,26	1 484,37	100,0	654,60	32,11	100,0	9 238,35	412,20	100,0
Anionen												
F												
Cl	20 567,00	580,17	93,6	49 644,00	1 400,39	95,2	922,00	26,01	82,9	14 184,00	400,11	97,2
Br	20,00	0,25		19,20	0,24		0,40			5,40	0,07	
J	0,04			0,05			0,05			0,05		
HCO ₃	262,60	4,30	0,7	1 087,00	17,80	1,2	195,00	3,19	10,2	415,00	6,80	1,6
CO ₃	-			-			0,00			0,00		
SO ₄	1 684,00	35,06	5,7	2 558,00	53,26	3,6	104,00	2,17	6,9	233,00	4,85	1,2
Summe	22 533,64	619,78	100,0	53 308,25	1 471,69	100,0	1 221,40	31,37	100,0	14 837,45	411,83	100,0
Typ	Na - (Ca) - Cl			Na - Cl			Na - Ca - (Mg) - Cl - (HCO ₃)			Na - Cl		

UNTERSUCHUNGEN DER IBBENBURENER GRUBENWÄSSER

Tabelle I - 4

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)

Probe-Nr.	263			422			425			436 B		
	Entnahme-Datum	22. 2. 1964	BBmeler	25. 1. 1965	BBmeler	ZL Oker	12. 2. 1965	BBmeler	ZL Oker	4. 2. 1965	BBmeler	ZL Oker
Herkunft	Fl. 2, Süd-Feld, Grundstrecke			Fl. 2, S.-Feld, Bohrung 111			Fl. 2, S.-Feld, Grundstrecke W			Fl. 2, N-Feld, Bdstr. n. Süden		
Teufe m NN	-423	Wassereinbruch II		-366	Süd-Randverwerfung		-478	Bohrloch Ortsbrust		-600	O-W-Sprung(m. CH ₄)	
Temperatur °C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH-Wert	7,2			19 360	7,6		70 902	7,2		67 549	7,9	
Abdampfr. (105°)	41 780											
Kationen	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %
Li	4,20	0,60	0,1	3,30	0,48	0,1	7,60	1,10	0,1	24 277,21*	1 055,99	96,2
Na	12 200,00	530,67	83,8	6 900,00	300,13	92,8	21 100,00	917,79	85,1	-	-	-
K	96,00	2,46	0,4	71,00	1,82	0,6	170,00	4,35	0,4	0,00	-	-
Rb	0,00	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	334,00	27,48	4,3	76,00	6,25	2,0	463,00	38,09	3,5	300,00	24,60	2,3
Ca	1 429,00	71,31	11,3	218,00	10,88	3,4	2 317,00	115,62	10,7	293,90	14,62	1,3
Sr	28,00	0,64	0,1	5,0	0,11	0,2	57,5	1,31	0,2	-	-	-
Ba	0,50	-	-	24,4	0,36	0,1	1,00	0,01	-	136,00	1,98	0,2
Mn	0,28	0,01	-	0,02	-	-	0,32	0,01	-	-	-	-
Fe	3,46	0,12	-	2,24	0,08	-	11,65	0,42	-	13,00	0,47	-
Cu	0,01	-	-	0,01	-	-	0,05	-	-	-	-	-
Zn	0,01	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	-	-	-
Al	0,07	0,01	-	0,19	0,02	-	0,71	-	-	-	-	-
Sn	0,01	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-	-	-	-
Pb	0,01	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	-	-	-
Summe	14 104,10	633,30	100,0	7 300,27	320,13	100,0	24 128,94	1 078,70	100,0	25 019,21	1 097,66	100,0
Anionen												
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	21 631,00	610,18	96,4	10 891,00	307,22	96,7	36 603,00	1 032,52	95,9	38 648,00	1 090,00	99,3
Br	8,80	0,11	-	5,90	0,07	-	11,30	0,14	-	-	-	-
J	0,05	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	-	-	-
RCO ₃	445,00	7,29	1,2	647,00	10,59	3,3	555,00	9,09	0,9	464,10	7,60	0,7
CO ₃	0,00	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-	-	-	-
SO ₄	712,00	14,82	2,4	2,00	0,04	-	1 660,00	34,56	3,2	3,00	0,06	-
Summe	22 807,20	632,68	100,0	11 545,95	317,92	100,0	38 829,35	1 076,31	100,0	39 115,10	1 097,66	100,0
Typ	Na - (Ca) - Cl			Na - Cl			Na - (Ca) - Cl			Na - Cl		

Tabelle I - 5

R. BÄSSLER

F4201027-169827
F4201027-120865F

Ibbenbürener Karbon (Gruben- und Oberflächenwasser)												
Probe-Nr.	524			527			545			561		
Entnahme-Datum	27. 3. 1965			8. 4. 1965			24. 4. 1965			29. 4. 1965		
Probenehmer	Bäßler			Bäßler			Bäßler			Bäßler		
Labo	ZL Oker			ZL Oker			ZL Oker			ZL Oker		
Herkunft	Köllbach-Quelle, Brunnenstube			Nordschacht, Pumpenkammer II			Köllbachthal, Brunnen Lange- meier I (L 110)			Pl. Buchholz, Grundstrecke Norden - 130 Abh. n. Strecke I N		
Teufe m NN	+ 89			+ 8			-			-		
Temperatur °C	-			-			-			-		
pH-Wert	8,7			7,2			6,8			6,8		
Abdampfr. (105°)	185			308			253			29 250		
Kationen	mg/l	nval/l	nval %	mg/l	nval/l	nval %	mg/l	nval/l	nval %	mg/l	nval/l	nval %
Li	0,50	0,07	2,7	0,50	0,07	1,7	0,50	0,07	2,2	2,50	0,36	0,1
Na	6,00	0,26	10,0	20,00	0,87	21,1	10,8	0,47	14,9	7 400,00	321,88	77,7
K	5,00	0,13	5,0	1,80	0,05	1,2	1,40	0,04	1,3	46,00	1,18	0,3
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	9,80	0,81	31,2	10,90	0,90	21,8	14,10	1,16	36,8	309,00	25,42	6,1
Ca	22,00	1,10	42,3	42,00	2,10	50,9	26,00	1,30	41,3	1 287,00	64,22	15,5
Sr	1,00	0,02	0,8	1,00	0,02	0,5	1,00	0,02	0,6	21,00	0,48	0,1
Ba	1,00	0,01	0,4	1,00	0,01	0,2	1,00	0,01	0,3	1,00	0,01	-
Mn	0,05	-	-	0,23	0,01	0,2	0,01	-	-	0,43	0,02	-
Fe	2,10	0,08	3,0	2,40	0,09	2,2	1,30	0,05	1,6	21,30	0,76	0,2
Cu	0,01	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-
Zn	0,01	-	-	0,20	0,01	0,2	0,85	0,03	1,0	0,01	-	-
Al	1,05	0,12	4,6	0,01	-	-	0,01	-	-	0,03	-	-
Sn	0,01	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-
Pb	0,02	-	-	0,02	-	-	0,017	-	-	0,025	-	-
Summe	48,55	2,60	100,0	80,08	4,13	100,0	55,01	3,15	100,0	9 088,36	414,33	100,0
Anionen												
F'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl'	31,00	0,87	33,1	40,00	1,13	28,3	42,00	1,19	30,4	13 850,00	390,13	94,7
Br'	3,60	0,05	1,9	2,20	0,03	0,7	4,80	0,06	1,9	5,60	0,07	-
J'	0,05	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-
HCO ₃ '	48,80	0,79	30,0	54,90	0,90	22,6	51,90	0,85	27,4	216,60	3,55	0,9
CO ₃ '	0,00	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-
SO ₄ '	44,00	0,92	35,0	93,00	1,93	48,4	48,00	1,00	32,3	879,40	18,31	4,4
Summe	127,45	2,63	100,0	190,15	3,99	100,0	146,75	3,10	100,0	14 931,65	412,06	100,0
Typ	Ca - Mg - Na - SO ₄ - Cl - HCO ₃			Ca - Mg - Na - SO ₄ - Cl - HCO ₃			Ca - Mg - (Na) - Cl - SO ₄ - HCO ₃			Na - (Ca) - Cl		

UNTERSUCHUNGEN DER IBBENBURENER GRUBENWÄSSER

Tabelle I - 6

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)

Probe-Nr.	958			1005			1006			1009		
	Entnahme-Datum	27. 4. 1966		1. 4. 1966	Dr. Michel/Büsseler	Chem. Labor GLA Krefeld	1. 4. 1966	Dr. Michel/Büsseler	Chem. Labor GLA Krefeld	15. 6. 1966	Büsseler	ZL Oker
Probenehmer	Büsseler											
Labo r	ZL Oker											
Herkunft	4. Sohle, Schacht Oeynhausen			Fl. Glückenburg, 3. Sohle, Morgen-			3. Sohle, Morgensternfeld, Tropf-			4. Sohle Oeynhausen, Bohrung 105 A		
Teufe m NN	-697	Bohrloch 102		-164	Morgensternfeld, Mischwasser		-168	Tropf-wasser-Zufluss		-735		
Temperatur °C	22,5			14,0			-			-		
pH-Wert	7,6			6,6			6,9			7,2		
Abdampfr. (105°)	55 444			-			-			74 715		
Kationen	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %
Li	9,00	1,30	0,2							12,00	1,73	0,2
Na	19 460,00	846,46	93,8	12 450,00*	541,54	91,3	18 606,50*	809,35	89,5	27 500,00	1 196,17	96,1
K	175,00	4,48	0,5	-			-			202,50	5,18	0,4
Rb	**			-			-			**		
Cs	**			-			-			**		
Mg	270,00	22,21	2,5	96,00	7,90	1,3	372,00	30,60	3,4	135,00	11,10	0,9
Ca	54,1,00	26,99	3,0	867,00	43,26	7,3	1 284,00	64,07	7,1	579,00	28,89	2,3
Sr	17,00	0,39		20,00	0,45	0,1	24,00	0,55		17,00	0,39	
Be	5,00	0,07		0,00			0,00			5,00	0,07	
Mo	0,01			0,02			0,02			0,01		
Fe	4,80	0,17	0,05	0,05			0,50	0,02		26,00	0,93	0,1
Cu	0,11			-			-			0,02		
Zn	0,03			-			-			0,17		0,01
Al	0,10			-			-			0,10		
Sn	0,01			-			-			0,01		
Pb	0,03			-			-			0,06		
Summe	20 482,09	902,07	100,0	13 433,25	593,15	100,0	20 287,02	904,57	100,0	28 476,87	1 244,47	100,0
Anionen												
F	-											
Cl	31 202,00	880,17	97,8	19 820,00	559,10	94,3	30 848,00	870,18	96,3	43 612,00	1 228,51	98,8
Br	3,50	0,04		10,00	0,13		10,00	0,13		14,00	0,18	
J	0,05			-			-			0,05		
HCO ₃	823,50	13,48	1,5	415,00	6,80	1,1	519,00	8,50	0,9	854,00	13,98	1,1
CO ₃	0,00			-			-			0,00		
SO ₄	315,00	6,56	0,7	1 300,00	27,07	4,6	1 227,00	25,55	2,8	72,00	1,50	0,1
Summe	32 344,05	900,25	100,0	21 548,00	593,15	100,0	32 604,00	904,36	100,0	44 552,05	1 244,17	100,0
Typ	Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl		

T a b e l l e I - 7

R. BÄSSLER

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)

Probe-Nr.	1042			1043			1050			1051		
	Entnahme-Datum	2. 11. 1966	Bässler	2. 11. 1966	Bässler	ZL Oker	4. 1967	Bässler	Chem. Labor, Preußag Bkh.	4. 1967	Bässler	Chem. Labor, Preußag Bkh.
Probenehmer		Chem. Labor GLA Krefeld										
Labor												
Herkunft	4. Schle, Schacht Oeynhausen			4. Schle, Schacht Oeynhausen			4. Schle, Nordschacht, UB 150			4. Schle, Nordschacht, UB 150		
Teufe m NN	-697	Bohrloch 102		-735	Bohrloch 105		-860			-850		
Temperatur °C	-			-			-			-		
pH-Wert	6,3			6,7			7,0			7,0		
Abdampfr. (105°)	54 950			87 360			150 420			156 660		
Kationen	mg/l	μval/l	μval %	mg/l	μval/l	μval %	mg/l	μval/l	μval %	mg/l	μval/l	μval %
Li	9,00	1,30	0,1	16,00	2,30	0,2	17,30	2,49	0,1	14,50	2,09	0,1
Na	20 200,00	878,64	95,6	32 500,00	1 413,66	93,8	54 800,00	2 383,64	95,4	55 000,00	2 391,30	95,6
K	130,00	3,32	0,4	65,00	1,66	0,1	300,00	7,67	0,3	290,00	7,42	0,3
Rb	-			0,10			-			-		
Cs	-			0,50			-			-		
Mg	32,10	2,65	0,3	678,00	55,77	3,7	428,70	36,08	1,4	503,70	41,42	1,7
Ca	564,80	28,23	3,1	676,00	33,73	2,2	1 362,70	68,14	2,7	1 122,20	56,11	2,2
Sr	15,00	0,34	0,5	19,00	0,43		-			-		
Ba	340,00	4,95	0,5	6,80	0,10		-			0,00		
Mn	-			0,06			0,00			0,70	0,03	
Fe	3,50	0,13		3,70	0,13		0,30	0,01		-		
Cu	-			0,01			-			-		
Zn	-			0,03			-			-		
Al	-			-			2,80	0,31		3,20	0,36	
Sn	-			-			-			-		
Pb	-			0,01			-			-		
Summe	21 294,40	919,56	100,0	33 965,21	1 507,78	100,0	56 948,80	2 499,84	100,0	56 966,30	2 500,50	100,0
Anionen												
F	-			-			-			-		
Cl	31 900,00	899,86	97,9	52 400,00	1 478,14	98,9	87 756,10	2 475,00	99,8	88 750,00	2 503,03	99,9
Br	10,00	0,13		13,80	0,17		0,00	0,00		0,00		
J	0,50			0,50			0,00			0,00		
HCO ₃ ⁻	1 142,00	18,70	2,1	1 020,00	16,70	1,1	256,20	4,20	0,2	183,00	3,00	0,1
CO ₃ ²⁻	-			-			0,00			0,00		
SO ₄ ²⁻	0,71	0,01		0,10			86,30	1,80		0,00		
Summe	33 053,21	918,70	100,0	53 434,40	1 495,01	100,0	88 098,60	2 481,00	100,0	88 933,00	2 506,00	100,0
Typ	Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl		

UNTERSUCHUNGEN DER IBBENBURENER GRUBENWÄSSER

275

Tabelle I - 8

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser, Oberflächenwasser)

Probe-Nr.	1052			1053			1104			1107		
	Entnahme-Datum	4. 1967	Entnahme-Datum	5. 1967	Entnahme-Datum	3. 10. 1968	Entnahme-Datum	3. 10. 1968	Entnahme-Datum	3. 10. 1968	Entnahme-Datum	3. 10. 1968
Probennehmer	Büsseler	Probennehmer	Büsseler	Probennehmer	Büsseler	Probennehmer	Büsseler	Probennehmer	Büsseler	Probennehmer	Büsseler	Probennehmer
Labor	Chem. Labor PreuSag,	Labor	Chem. Labor PreuSag Bkh.	Labor	ZL Oker	Labor	ZL Oker	Labor	ZL Oker	Labor	ZL Oker	Labor
Herkunft	4.Sohle,Nordschacht,UB 150		4.Sohle Nordschacht,UB 150		Köllbach-Quelle,Brunnenstube		Schacht	Bockraden,Hauptwasser-				
Teufe m NN	-850	mit Spülung vermischte	-880	-	+89	11,2	-73	Zufluszone (Trinkw.)				
Temperatur °C	-							12,5				
pH-Wert	7,2		6,7		6,3		7,5					
Abdampfr. (105°)	98 800		146 960		168		750					
Kationen	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %
Li	0,80	1,41	0,1	20,00	2,88	0,1	0,20	0,03	0,9	0,20	0,03	0,3
Na	30 000,00	1 310,04	92,7	57 500,00	2 500,00	95,0	13,50	0,59	17,1	53,60	2,33	20,6
K	240,00	61,39	4,4	290,00	7,42	0,5	1,20	0,05	0,8	2,00	0,05	0,4
Rb	-	-	-	-	-	-	0,10	-	-	0,10	-	-
Cs	-	-	-	-	-	-	0,50	-	-	0,50	-	-
Mg	175,30	14,42	1,0	334,40	27,50	1,0	13,10	1,08	31,2	31,3	2,57	22,7
Ca	480,90	24,04	1,7	1 729,20	86,46	3,3	34,50	1,72	49,7	126,3	6,30	55,7
Sr	13,00	0,29	-	51,00	1,16	0,1	0,10	-	-	0,10	-	-
Ba	0,60	0,01	-	176,00	2,56	0,1	0,40	-	-	0,40	-	-
Mn	0,00	-	-	0,00	-	-	0,08	-	-	0,19	0,01	0,1
Fe	10,00	0,54	0,1	1,70	0,09	-	0,20	0,01	0,3	0,60	0,02	0,2
Cu	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	0,03	-	-
Al	3,70	0,41	-	3,00	0,33	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	6,00	0,33	-	NH ₄	37,00	2,05	0,1	0,01	-	0,01	-	-
Summe	30 939,30	1 412,88	100,0	60 142,30	2 630,45	100,0	63,93	3,46	100,0	215,34	11,31	100,0
Anionen												
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	49 700,00	1 400,00	99,3	93 074,60	2 625,00	99,8	39,00	1,10	35,4	205,00	5,78	53,0
Br	0,00	0,00	-	0,00	-	-	0,50	-	-	0,50	-	-
J	0,00	-	-	0,00	-	-	0,50	-	-	0,50	-	-
RCO ₃	329,40	5,40	0,4	256,20	4,20	0,2	37,25	0,61	19,6	189,00	3,09	28,3
CO ₃ ²⁻	0,00	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-
SO ₄ ²⁻	221,10	4,60	0,3	0,00	-	-	55,50	1,16	37,3	98,00	2,04	18,7
Summe	50 250,50	1 410,00	100,0	93 330,80	2 629,20	100,0	NO ₃	14,60	0,24	7,7	-	-
Typ	Na - Cl			Na - Cl			Ca - Mg - (Na) - SO ₄ -Cl-(RCO ₃)			Ca - Mg - Na - Cl - HCO ₃ - (SO ₄)		

T a b e l l e I - 9

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)												
Probe-Nr.	1127			1128			1129			1138		
Entnahme-Datum	4. 10. 1968			4. 10. 1968			4. 10. 1968			8. 10. 1968		
Probennehmer	Bässler			Bässler			Bässler			Bässler		
Labor	ZL Oker			ZL Oker			ZL Oker			ZL Oker		
Herkunft	1. Sohle, Schacht Oeynhausen			Fl. 2, Süd-Feld, Grundstrecke, -422 Wassereinbruch II			Fl. 2, Süd-Feld, Strecke 4 W -305 Bohrung 143, Süd-Randstr.			Fl. Flottwell, Maschinensohle -37 Bohrl. zum Nordsohach		
Teufe m NN	-41	(Trinkw.)		22,5			21,5			11,0		
Temperatur °C	12,5											
pH-Wert	7,0			6,6			6,6			7,0		
Abdampfr. (105°)	387			49 060			58 560			280		
Kationen	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %
Li ⁺	0,20	0,03	0,4	5,20	0,75	0,1	5,00	0,72	0,1	0,20	0,03	0,7
Na ⁺	40,00	1,74	20,5	15 500,00	674,21	84,3	18 500,00	804,70	83,2	18,50	0,80	16,9
K ⁺	0,80	0,02	0,2	58,00	1,48	0,2	86,00	2,20	0,2	0,80	0,02	0,4
Rb ⁺	0,10			0,10			0,10			0,10		
Cs ⁺	0,50			0,50			0,50			0,50		
Mg ²⁺	24,90	2,05	24,2	437,20	35,96	4,5	497,00	40,88	4,2	18,30	1,50	31,7
Ca ²⁺	90,70	4,53	53,4	1 727,40	86,20	10,8	2 319,00	115,72	12,0	41,80	2,09	44,2
Sr ²⁺	0,10			27,00	0,62	0,1	39,00	0,89	0,1	0,10		
Ba ²⁺	0,40			0,40			0,40			0,40		
Mn ²⁺	0,53	0,02	0,2	0,89	0,03		1,28	0,05		0,48	0,02	0,4
Fe ²⁺	2,50	0,09	1,1	6,90	0,25		12,2	0,44	0,1	7,40	0,27	5,7
Cu ²⁺	0,01			0,01			0,01			0,01		
Zn ²⁺	0,04			0,01			0,01			0,01		
Al ³⁺	-			-			-			-		
Sn ⁴⁺	-			-			-			-		
Pb ²⁺	0,01			0,01			0,01			0,01		
Summe	160,79	8,48	100,0	17 763,62	799,50	100,0	21 460,51	965,60	100,0	88,61	4,73	100,0
Anionen												
F ⁻	-			-			-			-		
Cl ⁻	146,00	4,12	50,7	26 240,00	740,20	96,0	31 914,00	900,25	96,0	45,00	1,26	27,8
Br ⁻	0,50			11,20	0,14		14,30	0,18		0,50		
J ⁻	0,50			0,50			0,50			0,50		
HCO ₃ ⁻	140,00	2,29	28,2	488,00	7,99	1,0	555,00	9,09	1,0	116,00	1,90	42,0
CO ₃ ²⁻	0,00			0,00			0,00			0,00		
SO ₄ ²⁻	82,30	1,71	21,1	1 076,00	22,4	2,9	1 347,00	28,04	3,0	66,00	1,37	30,2
Summe	369,30	8,12	100,0	27 815,70	770,73	100,0	33 830,80	937,56	100,0	162,66	4,53	100,0
Typ	Ca - Mg - Na - Cl - HCO ₃ - SO ₄			Na - (Ca) - Cl			Na - (Ca) - Cl			Ca - Mg - (Na) - HCO ₃ - SO ₄ - Cl		

Tabelle I - 10

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)

Probe-Nr.	1140			1145			1146			1154		
	Entnahme-Datum	Büsseler	ZL Oker	Entnahme-Datum	Büsseler	ZL Oker	Entnahme-Datum	Büsseler	ZL Oker	Entnahme-Datum	Poertge, Gilke, Keller, Rudel,	ZL Oker
Herkunft	Fl.Bentingsbank, Abh.1, Bohr.			Fl.Reden, Str.5 Osten, Bohr.			Fl.2, N-Feld, Str.7 W bei 565 m			3.Schule, Fl.Glückesburg, Morgenster-		
Teufe m NN	-293	zum Wassersprung		-413	zum Wassersprung		-643	Tropf wasser am Streb		-163	Feld, vor Ort, am 24. Berg	
Temperatur °C	14,2			16,1			-			-		
pH-Wert	6,6			6,9			7,8			6,4		
Abdampfr. (105°)	7 410			8 965			41 690			27 980		
Kationen	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %
Li	0,40	0,06		0,60	0,09	0,1	6,00	0,86	0,1	3,20	0,46	0,1
Na	1 200,00	52,20	48,2	1 900,00	82,64	59,9	15 000,00	652,46	95,3	8 000,00	347,98	83,3
K	7,20	0,18	0,2	10,00	0,26	0,2	26,00	0,66	0,1	28,00	0,72	0,2
Rb	0,10			0,10			0,10			0,10		
Cs	0,50			0,50			0,50			0,50		
Mg	175,50	14,44	13,3	195,40	16,07	11,6	222,00	18,26	2,7	265,30	21,82	5,2
Ca	821,90	41,01	37,8	775,40	38,69	28,0	246,00	12,28	1,8	849,00	42,37	10,1
Sr	3,00	0,07	0,1	5,60	0,13	0,1	4,40	0,10		10,00	0,22	0,1
Ba	0,40			0,40			20,00	0,29		0,40		
Mn	2,23	0,08	0,1	2,15	0,08		0,12			1,24	0,06	
Fe	9,80	0,55	0,5	5,10	0,11	0,1	1,20	0,05		14,00	4,08	1,0
Cu	0,01			0,01			0,01			0,01		
Zn	0,01			0,01			0,03			0,03		
Al	-			-			-			-		
Sn	-			-			-			-		
Pb	0,01			0,01			0,01			0,13		
Summe	2 221,06	108,39	100,0	2 893,28	138,07	100,0	15 526,67	684,96	100,0	9 272,21	417,79	100,0
Anionen												
F	-			-			-			-		
Cl	3 475,00	98,03	90,9	4 360,00	122,99	92,5	23 404,00	660,20	98,5	14 008,00	395,15	94,3
Br	1,90	0,02		2,50	0,03		2,50	0,03		8,10	0,10	
J	0,50			0,50			0,50			0,50		
HCO ₃ ⁻	152,00	2,49	2,3	226,00	3,70	2,8	604,00	9,89	1,5	305,00	4,99	1,2
CO ₃ ²⁻	0,00			0,00			0,00			0,00		
SO ₄ ²⁻	352,00	7,32	6,8	299,00	6,23	4,7	0,80	0,02		897,00	18,68	4,5
Summe	3 981,40	107,86	100,0	4 888,00	132,95	100,0	24 011,80	670,14	100,0	15 218,60	418,92	100,0
Typ	Na - Ca - (Mg) - Cl			Na - Ca - (Mg) - Cl			Na - Cl			Na - (Ca) - Cl		

T a b e l l e I - 11

Ibbenbürener Karbon (Grubenwasser)

Probe-Nr.	1171			1538			1546			1547								
	Entnahmee-Datum	12. 12. 1968	Probennehmer	Kramer, Bässler	Labo	Chem. Labor, Preußenk. Bkh.	Entnahmee-Datum	22. 4. 1965	Probennehmer	Bässler	Labo	ZL Oker	Entnahmee-Datum	22. 4. 1965	Probennehmer	Bässler	Labo	ZL Oker
Herkunft	Fl. Buchholz, Rudolf-Feld, Str.			Pl. 2, Nord-Feld, 4. Sohle,			Pl. 2, Nord-Feld, 4. Sohle,			Pl. 2, Nord-Feld, Str. 2 Süden			Pl. 2, Nord-Feld, Str. 2 Norden					
Teufe m NN	-190	2 N, Salzwasserszufluss		-633	Nordsohacht-Keller		23,4			-605 (Rev. 181)			-615 (Rev. 182)					
Temperatur °C	-																	
pH-Wert	6,8			62 260	7,1		18 140	8,0		43 920	7,7							
Abdampfr. (105°)	7 114																	
Kationen	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %
Li ⁺	0,10	0,01		22 10,60	1,53	0,2	6 3,90	0,56	0,2	16 7,10	1,02	0,2						
Na ⁺	1 180,00	51,32	45,5	22 000,00	956,94	95,2	6 700,00	291,43	96,3	16 000,00	692,95	95,6						
K ⁺	33,00	0,84	0,8	109,00	2,79	0,3	25,00	0,64	0,2	103,00	2,63	0,4						
Rb ⁺	-			-			-			-								
Cs ⁺	-			-			-			-								
Mg ²⁺	228,60	18,80	16,7	286,00	23,53	2,3	67,00	5,51	1,8	184,00	15,14	2,1						
Ca ²⁺	829,70	41,40	36,7	386,00	19,26	1,9	86,00	4,29	1,4	222,40	11,09	1,5						
Sr ²⁺	6,60	0,20	0,2	18,00	0,41		7,00	0,16	0,1	12,00	0,27							
Be ²⁺	1,00			1,00	0,01		1,00	0,01		1,00	0,01							
Mn ²⁺	0,00			0,04			0,01			0,40	0,01							
Fe ²⁺	0,50	0,02		16,00	0,57	0,1	0,16	0,01		58,50	2,10	0,2						
Cu ²⁺	-			0,01			0,01			0,01								
Zn ²⁺	-			0,05			0,01			0,12								
Al ³⁺	1,00	0,11	0,1	0,37	0,04		0,02			1,60	0,18							
Si ⁴⁺	-			0,01			0,01			0,01								
Pb ²⁺	-			0,02			0,02			0,10								
Summe	2 282,50	112,70	100,0	22 827,10	1 005,08	100,0	6 890,14	302,61	100,0	16 590,24	728,40	100,0						
Anionen																		
F ⁻																		
Cl ⁻	3 705,30	104,50	92,8	35 000,00	987,31	98,2	10460,00	295,06	97,0	25 000,00	705,22	98,0						
Br ⁻	Spuren			5,20	0,07		6,60	0,08		6,00	0,08							
J ⁻	Spuren			0,05			0,05			0,05								
HCO ₃ ⁻	207,40	3,40	3,0	1 098,00	17,98	1,8	549,00	8,99	3,0	817,40	13,38	1,9						
CO ₃ ²⁻	0,00			0,00			0,00			0,00								
SO ₄ ²⁻	226,00	4,70	4,2	1,00	0,02		1,00	0,02		33,00	0,69	0,1						
Summe	4 138,70	112,60	100,0	36 104,25	1 005,38	100,0	17 906,79	304,15	100,0	25 856,45	719,37	100,0						
TYP	Na - Ca - (Mg) - Cl			Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl								

UNTERSUCHUNGEN DER IBBENBURENER GRUBENWASSER

Tabelle I - 12

Ibbenbürener Karbon

Probe-Nr.	1542			1543			1544			1545		
	Entnahmedatum	22. 4. 1965	Büsseler	22. 4. 1965	Büsseler	22. 4. 1965	Büsseler	22. 4. 1965	Büsseler	22. 4. 1965	Büsseler	22. 4. 1965
Probenehmer		ZL Oker		ZL Oker		ZL Oker		ZL Oker		ZL Oker		ZL Oker
Herkunft	Pl.2,Nordfeld,4.Sohle,aust.Qu.		Pl.2,N.-Feld,Bdstr.Süd,O-W-Spr.		Pl.2,N.-Feld,Str.1 Ost,Hangd.		Pl.2,N.-Feld,Str.1 Ost,aus Sohle					
Tiefe m NH	-627		-600		-606		-606					
Temperatur °C	24,2											
pH-Wert	7,2	7,4	68 835	7,4	36 970	7,6	37 170	7,7				
Abdampfr. (105°)												
	mg/l	nval/l	nval %	mg/l	nval/l	nval %	mg/l	nval/l	nval %	mg/l	nval/l	nval %
Li	10,6	1,53	0,1	12	1,73	0,2	7,2	1,04	0,2	7,9	1,14	0,2
Na	26 000	1 130,93	95,6	24 500	1 065,68	95,5	13 450	585,04	95,5	13 250	575,47	95,4
K	127,	3,25	0,3	119	3,04	0,3	61	1,56	0,3	122	3,12	0,5
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	310	25,50	2,2	304	25,01	2,2	173	14,23	2,3	173	14,23	2,4
Ca	425	21,21	1,8	411	20,50	1,8	200,4	10	1,6	176,4	8,80	1,5
Sr	23,5	0,54		18	0,41		12	0,27		10	0,22	
Ba	1	0,01		1	0,01		1	0,01		1	0,01	
Mn	0,01			0,01			0,01			0,05		
Fe	2,1	0,08		1,1	0,04		4,4	0,16		4,3	0,15	
Cu	0,01			0,01			0,01			0,01		
Zn	0,02			0,01			0,05			0,13		
Al	0,15			0,04			0,01			0,48	0,05	
Sn	0,01			0,01			0,01			0,01		
Pb	0,02			0,01			0,01			0,02		
Summe	26 899,40	1 183,05 = 100,0%		25 366,19	1 116,42 = 100,0%		13 908,70	612,31 = 100,0 %		13 725,30	603,19 = 100,0 %	
F	=			-			-			-		
Cl	41 370	1 167	98,7	39 000	1 100,14	98,5	21 278	600,23	97,7	20 923	590,20	98,0
Br	4,8	0,06		5,6	0,07		7,8	0,10		7,0	0,09	
J	0,05			0,05			0,05			0,05		
HCO ₃ ⁻	933,3	15,28	1,3	1 010	16,54	1,5	866,2	14,18	2,3	683,98	11,20	1,9
CO ₃ ²⁻	0			0			0			0		
SO ₄ ²⁻	1	0,02		1	0,02		1			50	1,04	0,1
Summe	42 309,15	1 182,36 = 100,0%		40 016,65	1 116,77 = 100,0%		22 153,05	614,51 = 100,0 %		21 664,03	602,54 = 100,0 %	
Typ	Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl		

Tabelle I - 13

R. BÄSSLER

20201027-162822Z
F4/32171/2D9BC5F

Nordwest-Deutschland (Mineral- und Formationswasser)

Probe-Nr.	342			961			1071			1103		
	Entnahme-Datum	14. 6. 1964	Bässler	18. 5. 1966	Bässler	ZL Oker	13. 9. 1968	Bässler	ZL Oker	22. 9. 1968	Bässler	ZL Oker
Herkunft	"Solquelle" Netteln, Krs. Soest			Peckeloh-Stollen b. Dötzen, Salzquelle			Bohrung Leer Z 1 4648 (Rtg.)			Bohrung Leer Z 1 4824 (Rtg.)		
Tiefe m unter GG	220	art.austret.Tiefenw.		-			17,6			30,0		
Temperatur °C	-			3 151	7,6		251 180	5,0		254 460	5,6	
pH-Wert	7,2											
Abdampfr. (105°)	85 798											
Kationen	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %
Li	11,40	1,64	0,1	0,10	0,01		145,00	20,90	0,5	163,00	23,49	0,6
Na	29 800,00	1 296,22	91,8	200,00	6,70	19,0	59 000,00	2 566,33	63,1	56 000,00	2 435,84	59,1
K	550,00	14,06	1,0	2,40	0,06	0,1	1 390,00	35,55	0,9	1 320,00	33,66	0,8
Rb	0,00			-			5,00	0,06		5,00	0,06	
Cs	-			-			10,00	0,08		10,00	0,08	
Mg	255,00	20,98	1,5	56,40	4,64	10,1	1 266,00	104,15	2,6	1 584,00	130,31	3,2
Ca	1 543,00	76,09	5,4	645,00	32,18	70,1	26 003,00	1 297,55	31,9	28 826,00	1 438,40	34,9
Sr	80,00	1,82	0,2	5,00	0,11	0,3	1 040,00	23,71	0,6	1 220,00	27,82	0,7
Ba	1,00	0,01		5,00	0,07	0,2	15,60	0,23		14,00	0,20	
Mn	0,18	0,01		0,01			137,00	4,99	0,1	160,00	5,82	0,1
Fe	14,66	0,53		1,98	0,07	0,2	320,00	11,46	0,3	573,00	20,52	0,5
Cu	1,24	0,04		0,16	0,01		0,013			0,021		
Zn	0,20	0,01		0,06			83,00	2,54		120,00	3,67	0,1
Al	0,38	0,04		0,10	0,01		-			-		
Sn	0,01			0,01			17,00	0,16		34,00	0,33	
Pb	0,05			0,02								
Summe	32 257,12	1 411,45	100,0	916,24	45,88	100,0	89 431,61	4 067,71	100,0	90 029,02	4 120,30	100,0
Anionen												
F'	-			-			-			-		
Cl'	47 888,00	1 350,86	95,8	319,00	9,00	19,9	143 615,00	4 051,20	99,4	145 386,00	4 100,00	99,5
Br'	12,70	0,16		0,28			1 260,00	15,77	0,4	1 360,00	17,01	0,4
J'	0,05			0,05			7,50	0,06		7,00	0,05	
HCO ₃ '	1 710,00	28,00	2,0	280,60	4,59	10,1	36,40	0,60		61,00	1,00	
CO ₃ '	-			0,00			0,00			0,00		
SO ₄ "	1 520,00	31,65	2,2	1 521,00	31,67	70,0	482,00	10,04	0,2	202,00	4,20	0,1
Summe	51 130,75	1 410,67	100,0	2 120,93	45,26	100,0	145 400,90	4 077,67	100,0	147 016,00	4 122,26	100,0
Typ	Na - Cl	Ca - (Na)-(Mg) - SO ₄ -(Cl)-(HCO ₃)		Na - Ca - Cl			Na - Ca - Cl			Na - Ca - Cl		

UNTERSUCHUNGEN DER IBBENBURENER GRUBENWÄSSER

Tabelle I - 14

Nordwest-Deutschland (Mineral- und Formationswasser)												
Probe-Nr.	1156			1157			1158			1159		
Entnahmedatum	23. 11. 1968			23. 11. 1968			2. 12. 1968			3. 12. 1968		
Probenehmer	Büsseler			Büsseler			Chem. Labor, PreuSag, Bkh.			Büsseler		
Labor	ZL Oker			ZL Oker			ZL Oker			ZL Oker		
Herkunft	Bad Bentheim, Schwefelquelle			Solbad Gottsgräbe/Rheine			Saline Georgenthal Garben u.			Saline Schöningen (Rohsole)		
Teufe m unter GG	50			340 - 360			40			400 - 500		
Temperatur °C	10,7			11			12			-		
pH-Wert	6,8			5,7			6,7			6,9		
Abdampfr. (105°)	2 390			316 650			17 778			315 600		
Kationen	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %
Li ⁺	0,20	0,03	0,1	0,20	0,03	0,2	0,10	0,02	0,20	0,20	0,03	0,2
Na ⁺	70,00	3,04	9,5	125 000,00	5 437,15	98,4	5 200,00	226,19	79,6	122 000,00	5 306,66	97,2
K ⁺	1,60	0,04	0,1	4,80	0,12	0,1	118,00	3,02	1,1	77,00	1,97	0,10
Rb ⁺	0,10	-	-	0,10	-	-	-	-	-	0,50	-	-
Cs ⁺	0,50	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg ²⁺	35,00	2,88	9,0	90,40	7,44	0,2	99,70	8,20	2,9	852,00	70,08	1,3
Ca ²⁺	515,00	25,70	80,3	1 583,30	79,01	1,4	901,20	44,97	15,8	1 638,00	81,74	1,5
Sr ²⁺	10,70	0,24	0,8	18,70	0,43	-	10,00	0,23	0,1	44,80	1,28	0,40
Ba ²⁺	0,40	-	-	0,40	-	-	1,00	-	-	-	-	-
Mn ²⁺	0,24	0,01	0,1	0,62	0,02	-	1,40	0,05	1,13	1,20	0,04	-
Fe ²⁺	0,25	0,01	0,1	8,00	0,29	-	35,00	1,25	0,5	-	-	-
Cu ²⁺	1,17	0,04	0,1	0,18	0,01	-	-	-	-	0,03	-	-
Zn ²⁺	0,21	0,01	-	1,66	0,05	-	-	-	-	0,01	-	-
Al ³⁺	-	-	-	-	-	-	0,80	0,09	-	-	-	-
Sn ⁴⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb ²⁺	0,01	-	-	0,012	-	-	-	-	-	0,01	-	-
Summe	635,38	32,00	100,0	126 708,87	5 524,55	100,0	6 367,20	284,02	100,0	192 581,00	5 461,80	100,0
Anionen												
F ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ⁻	40,00	1,13	3,5	193 000,00	5 444,29	98,6	8 297,00	234,00	82,2	188 000,00	5 303,24	98,3
Br ⁻	0,10	-	-	12,40	0,16	-	0,40	0,01	-	65,40	0,82	0,50
J ⁻	0,50	-	-	0,50	-	-	0,20	-	-	-	-	-
HCO ₃ ²⁻	391,00	6,44	19,5	366,00	6,00	0,1	103,70	1,70	0,6	794,80	13,00	0,2
CO ₃ ²⁻	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-
SO ₄ ²⁻	1 211,00	25,21	77,0	3 520,00	73,29	1,3	2 354,00	49,01	17,2	3 787,00	78,85	1,5
Summe	1 643,00	32,74	100,0	196 898,90	5 523,74	100,0	10 755,30	284,72	100,0	192 646,90	5 395,91	100,0
TYP	Ca - SO ₄ - (HCO ₃)			Na - Cl			Na - (Ca) - Cl - (SO ₄)			Na - Cl		

Tabelle I - 15

R. BÄSSLER

20201027-1928Z/2008CE5F
F4/32/71/2

Nordwest-Deutschland (Mineral- und Permeationswasser)

Probe-Nr.	1161			1162			1165			1166		
	Entnahme-Datum	12. 1968	Wassmann/KBZ	Entnahme-Datum	12. 1968	Wassmann/KBZ	Entnahme-Datum	12. 1968	Bässler	Entnahme-Datum	11.12.1968	Bässler
Probenehmer									ZL Oker			ZL Oker
Labors			Chem. Labor GLA Krefeld			Chem. Labor Preußag BKH						
Herkunft	KNZ Delfzijl/Minschoten			KNZ Hengelo			Bad Steinbeck (Schwefelquelle)			Bad Nelle (Trinkquelle)		
Teufe m unter GG	1400	Rohsole		ca. 1000			8	13,5		96	8,5	
Temperatur °C	-			-								
pH-Wert	6,7			6,4			406	7,4		25 740	6,3	
Abdampfr. (105°)	314 600			245 700								
Kationen	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %	mg/l	mvat/l	mvat %
Li	0,50	0,07		95	0,20	0,02	0,20	0,03	0,4	8 600,00	0,40	0,06
Na	128 800,00	5 602,44	98,2	95 500,00	4 154,00	99,2	22,00	0,96	12,8	374,08	84,2	0,2
K	940,00	24,04	0,4	120,00	3,07	0,1	0,80	0,02	0,3	29,00	0,740	0,2
Rb	-			-			0,10			0,10		
Cs	-			-			0,50			0,50		
Mg	404,00	33,23	0,6	14,60	1,20		32,00	2,63	35,0	214,00	17,60	4,0
Ca	929,00	46,36	0,8	544,70	27,18	0,6	77,00	3,84	51,1	1 016,00	50,70	11,4
Sr	20,00	0,46		30,70	0,70		0,10			17,60	0,40	0,1
Ba	-			2,00			0,40			0,40		
Mn	-			0,00			0,06			0,07		
Fe	49,00	1,76		4,80	0,17		0,90	0,03	0,4	17,40	0,62	0,1
Cu	-			-			0,03			1,28		
Zn	-			-			0,01			0,01		
Al	-			14,00	1,56	0,1	-			-		
Sn	-			-			0,01			0,02		
Pb	-			-								
Summe	131 142,50	5 708,36	100,0	96 231,00	4 187,90	100,0	134,11	7,51	100,0	9 896,78	444,24	100,0
Anionen												
P	-			-			-			-		
Cl	209 000,00	5 895,63	98,4	147 501,10	4 159,50	99,3	50,00	1,41	18,7	12 500,00	352,61	79,5
Br	47,00	0,59		0,20			0,40			1,60	0,03	
J	12,00	0,09		1,30	0,01		0,50			0,50		
HCO ₃ ⁻	336,00	5,50	0,1	73,20	1,20		220,00	3,60	47,7	1 099,00	18,00	4,1
CO ₃ ²⁻	-			0,00			-			-		
SO ₄ ²⁻	4 360,00	90,78	1,5	1 371,30	28,55	0,7	122,00*	2,53	33,6	3 500,00	72,87	16,4
Summe	213 755,00	5 992,59	100,0	148 947,10	4 189,26	100,0	392,90	7,54	100,0	18 601,10	443,51	100,0
Typ	Na - Cl			Na - Cl			Ca - Mg -(Na)-HCO ₃ -SO ₄ -(Cl)			Na - (Ca) - Cl - (SO ₄)		

UNTERSUCHUNGEN DER IBBENBÜRENER GRUBENWASSER

T a b e l l e I - 1 6

Nordwest-Deutschland (Mineral- und Formationswasser)

Probe-Nr.	1167			1168			1181			1182		
	Entnahme-Datum	11.12.1968	Probenehmer	Büsseler	Labor	ZL Oker	Entnahme-Datum	18.12.1968	Probenehmer	Büsseler	Labor	ZL Oker
Herkunft	Bad Rothenfelde/Wittekindssprudel			Bad Leer, Bohrloch am Thie			Bad Oeynhausen, Neusolebohrung		Solbad Minden (Schacht Büllhorst)			
Teufe m unter GG	181			11,5			150	-	300			
Temperatur °C	15									13,1		
pH-Wert	5,9			6,2			6,2		110 280			
Abdampfpr. (105°)	60 380			71 410			76 880					
Kationen	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %	mg/l	mval/l	mval %
Li	3,10	0,45		5,50	0,79		4,20	0,60		2,40	0,30	
Na	20 750,00	902,57	89,3	25 500,00	1 109,18	90,0	25 700,00	1 117,88	89,4	27 000,00	1 174,42	66,2
K	72,00	1,84	0,2	85,00	2,17	0,2	67,00	1,71	0,1	120,00	3,07	0,2
Rb	0,10			0,10			0,10			-		
Cs	0,50			0,50			0,50			-		
Mg	284,00	23,36	2,3	336,00	27,64	2,2	677,00	55,69	4,5	1 580,80	130,00	7,3
Ca	1 622,00	80,94	8,0	1 871,00	92,76	7,5	1 473,00	73,50	5,9	8 814,40	439,84	24,8
Sr	21,40	0,49	0,1	39,00	0,89	0,1	28,80	0,65		270,00	6,16	0,4
Ba	0,40			0,40			0,40			2,00		
Mn	0,44	0,02		0,30	0,01		0,65	0,02		12,10	0,44	
Fe	15,20	0,54	0,1	14,80	0,53		28,00	1,00	0,1	424,50	15,20	0,9
Cu	4,20	0,13		0,03			0,07			-		
Zn	0,01			0,01			0,01			30,00	3,34	0,2
Al	-			-			-			-		
Sn	-			-			-			-		
Pb	0,02			0,01			0,01			-		
Summe	22 773,37	1 010,34	100,0	27 852,64	1 233,97	100,0	27 979,74	1 251,05	100,0	38 256,20	1 772,77	100,0
Anionen												
F	-			-			-			-		
Cl	33 300,00	939,35	91,6	41 000,00	1 156,56	92,6	41 500,00	1 170,66	93,6	61 695,20	1 739,80	98,1
Br	4,20	0,05		12,60	0,16		12,60	0,16		76,90	0,96	0,1
J	0,50			0,50			0,50			3,80	0,03	
HCO ₃ ⁻	2 046,00	33,50	3,3	2 217,00	36,30	2,9	1 979,00	32,40	2,6	597,80	9,80	0,5
CO ₃ ²⁻	-			-			-			0,00		
SO ₄ ²⁻	2 500,00	52,05	5,1	2 695,00	56,11	4,5	2 268,00	47,22	3,8	1 101,00	22,92	1,3
Summe	37 850,70	1 024,95	100,0	45 925,10	1 249,15	100,0	45 760,10	1 250,44	100,0	63 474,70	1 773,51	100,0
Typ	Na - Cl			Na - Cl			Na - Cl			Na - Ca - Cl		

Tabelle II

Proben- und Meßwertverzeichnis der ^{14}C - und Tritiumuntersuchungen an Ibbenbürener Grubenwässern

$^{14}\text{C} / ^3\text{H}$ Labor Nr. Hannover	interne Probe Nr. Bässler	Ort der Probenahme	Teufe m NN	^{14}C % modern	^{14}C -Modell-* Wasseralter (Jahre)	^3H -Aktivität TE**
1650 W	1	Pl. Bentingsbank, Abh. 1	- 293	43,2 \pm 1,2	3 700	-
1651 W	2	Pl. Flottwell, Bohrl. Maschinenschle	- 37	38,3 \pm 1,6	3 700	-
1652 W	3	Pl. 2, Bdstr. Süden, O-W-Sprung	- 604	1,8 \pm 0,5	> 40 000	-
1653 W	4	Pl. Reden, Str. 5 Osten, Wassersprung	- 413	25,9 \pm 1,2	8 700	-
1654 W	5	4. Sohle, Schacht Oeynhausen, UB 102	- 697	14,1 \pm 0,8	> 40 000	-
2550 W	1103	Bohrung Leer Z 1	- 4824	7,0 \pm 0,5	20 110 \pm 575	< 2,3
2543 W	1104	Köllbach-Quelle / Schafberg	+ 89	57,2 \pm 3,4	3 170 \pm 475	124,0 \pm 4,1
2545 W	1107	Schacht Bookraden, Hauptwasserszufluss	- 73	35,4 \pm 0,8	6 990 \pm 170	34,9 \pm 2,1
2544 W	1127	1. Sohle, Schacht Oeynhausen	- 41	57,9 \pm 4,9	3 060 \pm 680	50,7 \pm 1,5
2542 W	1128	Pl. 2, Grundstr. Süden, Wassereinbr. II	- 422	3,8 \pm 0,3	24 870 \pm 580	< 2,3
2549 W	1129	Pl. 2, Str. 4. Westen, UB 143	- 305	2,2 \pm 0,7	29 430 \pm 2430	< 3,1
2546 W	1138	Pl. Flottwell, Bohrl. Maschinenschle	- 37	37,2 \pm 1,2	6 635 \pm 260	25,5 \pm 2,1
2551 W	1140	Pl. Bentingsbank, Abh. 1	- 293	23,9 \pm 2,5	9 970 \pm 830	27,0 \pm 2,1
2548 W	1145	Pl. Reden, Str. 5 Osten, Wassersprung	- 413	18,1 \pm 1,6	12 420 \pm 700	21,7 \pm 1,1
2547 W	1146	Pl. 2, N-Feld, Str. 7 Westen	- 641	< 1,2	> 34 560	< 2,0
208	1154	Pl. Glücksburg, 3. Sohle, Morgensternfeld	- 163	-		11,4 \pm 1,3

R. BÄSSLER

* Die ^{14}C -Modell-Wasseralter wurden unter der Annahme ermittelt, daß die ^{14}C -Konzentration der in rezentem Wasser gelösten Kohlensäure bei 85 % modern liegt.

** TE = Tritiumeinheit, 1 TE = 1 Tritium-Atom pro 10^{18} Wasserstoff-Atome

T a b e l l e III - 1

Probe- und Meßwertverzeichnis der Schwefel-Isotopen-Untersuchungen

I. Ibbenbürener Karbonscholle

Interne Probe-Bez. Bässler	Ort der Probenahme	Teufe m NN	Formation	Probematerial	$\delta^{34}\text{S}$ -Werte (‰)
83	Zeche Hektor, Stollenschle, Z.-Kalk	-	Zechstein	Baryt	9,2
84	Westfeld, Rudolffeld, Strecke 2 S	-	Karbon	a) Baryt	11,6
85	Westfeld, Rudolffeld, Strecke 2 S	-	Karbon	b) Bleiglans	-3,6
86	Westfeld, Rudolffeld, Strecke 2 S	-	Karbon	Baryt	11,9
87	Westfeld, Rudolffeld, Strecke 2 S	-	Karbon	Baryt	12,1
88	Martensberg/Schafberg	+ 90	Karbon	Schwefelkies	4,7
89	Westfeld, 2. Sohle Südfeld, Mathildesprung Schwefelkies-Belag	- 77	Karbon	Baryt	13,8
				Baryt	14,9
				Pyrit	7,6
180	Bohrung II	- 75		Gips	15,4
182	Westfeld, Untersuchungsbohrung 48, Querschlag I	-	Zechstein	Gips	11,6
183	Westfeld, Untersuchungsbohrung 48, Querschlag I	-	Zechstein	Gips	11,4
1011	Ostfeld Flottwell, Strecke 4, Bohrloch 108	-	Karbon	Grubenwasser	5,1
1023	Ostfeld Flottwell, Zufl. Abh. 1	- 47	Karbon	Grubenwasser	- 4,1
1042	Ostfeld, 4. Sohle, Untersuchungsbohrung 102	- 697	Karbon	Grubenwasser	20,2
1043	Ostfeld, 4. Sohle, Untersuchungsbohrung 105	- 735	Karbon	Grubenwasser	21,2
1068	Schacht Bockraden	- 44	Karbon	Grubenwasser	5,3
1104	Köllbach-Quelle	+ 89	Quartär	Quellwasser	0,8
1107	Schacht Bockraden	- 73	Karbon	Grubenwasser	- 0,2
1127	Ostfeld, 1. Sohle Oeynhausen	- 41	Karbon	Grubenwasser	(0,1)
				Grubenwasser	- 1,3
1128	Ostfeld, Flöz 2, Südfeld	- 422	Karbon	Grubenwasser	13,9
1129	Flöz 2, Strecke 4 Westen, Untersuchungsbohrung 143	- 305	Karbon	Grubenwasser	14,6
1138	Flöz 2 Flottwell, Maschinenschle	- 37	Karbon	Grubenwasser	- 0,8
1140	Flöz Bentingsbank, Abh. 1	- 293	Karbon	Grubenwasser	8,2
1145	Ostfeld, Flöz Reden, Strecke 5 Osten	- 413	Karbon	Grubenwasser	12,2
1146	Ostfeld, Flöz 2, Nordfeld, Strecke 7 Westen	- 643	Karbon	Grubenwasser	0,6
1154	3. Sohle, Glücksburg, Morgensternfeld vor Ort	- 163	Karbon	Grubenwasser	9,6
1170	Westfeld 2 Sohle, Flöz Buchholz, Strecke 1 Norden	- 130	Karbon	Grubenwasser	- 0,2
1171	Westfeld 2 Sohle, Flöz Buchholz, Strecke 2 Norden	- 190	Karbon	Grubenwasser	13,1
1188	Bockraden, Untersuchungsbohrung 1079	- 59		Gips	16,8

T a b e l l e III - 2

Interne Probe-Bez. Bässler	Ort der Probenahme	Teufe m NN	Formation	Probematerial	$\delta^{34}\text{S}$ -Werte (‰)
1189	Bockraden, Untersuchungsbohrung 1079	- 40		Gips	17,0
1190	Bookraden, Untersuchungsbohrung 1052	- 54		Gips	16,8
1192	Bockraden, Untersuchungsbohrung 1054	- 24		Gips	14,9

II. Nord-West-Deutschland

961	Peckelohstollen/Dützen bei Minden	+ 58	Oberalm	Grubenwasser	16,3	
1069	Bad Meinberg, neue Mineralwasserbohrung			Mineralwasser	19,7	
1071	Bohrung Leer Z 1	-4880	Rotlg.	Formationswasser	8,5	
1103	Bohrung Leer Z 1	-4790	Rotlg.	Formationswasser	5,6	
1156	Bad Bentheim, Schwefelquelle			Mineralwasser	18,1	
1157	Solbad Gottesgabe/Rheine, Bohrung Salzbergen 2			Mineralwasser	10,9	
1158	Saline Georgshall/Badenstedt I		Zechstein	Rohsole	12,5	
1159	Saline Schöningen			Röt	23,5	
1160	Salzbergwerk Grasleben			Zechstein	Anhydrit	11,2
1161	Saline Winschoten, KNS Niederlande			Zechstein	Rohsole	10,1
1163	Saline Hengelo, KNZ Niederlande			Zechstein	Anhydrit	11,7
1164	Saline Hengelo, KNZ Niederlande			Röt	Anhydrit	25,7
1165	Schwefelbad Steinbeck bei Ibbenbüren				Mineralwasser	- 8,7
1166	Bad Melle				Mineralwasser	17,1
1167	Bad Rothenfelde, Wittekindsprudel				Mineralwasser	11,7
1168	Bad Laer, Bohrung am Thie				Mineralwasser	12,2
1178	Bohrung Rehberg, Z 1		Oberalm	Anhydrit	16,4	
1180	Bad Oeynhausen, Jordansprudel				Mineralwasser	11,8
1182	Bad Minden, Schacht Bölkhorst				Mineralwasser	10,6
1183	Salzbergwerke Borth/Niederrhein.		Zechstein	Gips	11,3	
1185	Kaliwerke Hanse/Emselde		Zechstein	Urlauge	9,0	

R. BÄSSLER