Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen

Der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen

GLA

Wolfgang Schlüter

Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen

Band 26

Der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen

Mit Beiträgen von

M. A. Geyh · W. Knauff · H. R. Langguth

Th. Leichtle · G. Michel · H. Nielsen

A. Sander · A. Scherp · U. Schwartz

1/78

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen

Krefeld 1977

Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen	26	S. I-VIII, 1-269	79 Abb.	19 Tab.	10 Taf.	Krefeld 1977

Für die Herausgabe verantwortlich:
Dipl.-Ing. E. Reiche
Präsident des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen

Für die Redaktion verantwortlich:
Dipl.-Geol. H. D. Hilden

Vertrieb:
Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

---

Gesamtherstellung: Joh. van Acken, Krefeld

ISSN 0071 – 8009

Vorwort

Seit seinem Bestehen hat sich der Geologische Staatsdienst der Mineral-, Thermal- und Heilwässer als besonderer Bestandteile der Erdkruste angenommen. So scheint es auch selbstverständlich, daß in dem weit über Deutschlands Grenzen hinaus bekannten „Deutschen Bäderbuch" – es erschien vor genau 70 Jahren – den geologischen Teil der königlich preußische Landesgeologe Professor Dr. KONRAD KEILHACK verfaßt hat.

Diese „Heilquellen-Tradition" der Preußischen Geologischen Landesanstalt im nordrhein-westfälischen Landesteil, verbunden vor allem mit den Namen W. AHRENS, R. BÄRTLING, F. BEYSCHLAG, W. DIENEMANN, W. HAACK, K. KEILHACK, W. KOERT, A. LEPPLA und A. MESTWERDT, wurde seit 1950 in Nordrhein-Westfalen intensiv und folgerichtig fortgesetzt.

Von dem Leiter der damaligen Landesstelle Nordrhein-Westfalen des Amtes für Bodenforschung, WILHELM AHRENS, ist KARL FRICKE mit dem Aufgabengebiet Mineral- und Heilquellen beauftragt worden. Es ist nicht zu übersehen, er hat sehr viel daraus gemacht. Bis 1975 wurden ca. 60 Mineralwasserbohrungen angesetzt, betreut und deren Ergebnisse in zahlreichen Veröffentlichungen mitgeteilt. Dieser „Bohrboom" war die Folge eines großen Nachholbedarfes und der Tatsache, daß im Laufe der Jahre der Sektor „Gesundheitspolitik" verstärkte Beachtung fand. Expandierende Sozialversicherungsträger und tatkräftige Kurdirektoren widmeten sich gemeinsam der verstärkten Betreuung von Sozialkuren. Die meisten Kurorte gingen zum ganzjährigen Kurbetrieb über.

Dieser Band ist KARL FRICKE gewidmet. Bei seiner nimmermüden Aktivität blieb er nicht innerhalb der Landesgrenzen, sondern erwarb sich Anerkennung und Mitspracherecht in der nationalen und internationalen Balneologie. Seiner besonderen Verdienste wegen wurde er von der Société Internationale de Technique Hydrothermale (SITH) durch die Verleihung der Goldmedaille des Bäderwesens „Prix du Thermalisme" (21. 10. 1974) und vom Bundespräsidenten durch die Verleihung des Bundesverdienstkreuzes 1. Klasse (22. 7. 1976) geehrt.

Der Nachholbedarf an Mineralwasser ist nunmehr gedeckt. Neuerschließungen zielen vor allem auf Thermalwasser zur Nutzung der geothermischen Energie, erfordern deshalb große Tiefen und geraten somit auch in geologisches Neuland. So wurden in den letzten drei Jahren Bohrtiefen von über 1000 m dreimal erreicht, in Bad Oeynhausen (1034 m), in Bad Meinberg (1110 m) und in Köln (1027 m).

Der vorliegende Band behandelt die Tiefbohrung VII in Bad Oeynhausen, die am 25. August 1973 vom Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, WERNER FIGGEN, auf den Namen Alexander-von-Humboldt-Sprudel getauft worden ist. Bereits vor 100 Jahren bestanden zwischen dem Staatsbad und der Königlich Preußischen Geologischen Landesanstalt fruchtbare Beziehungen. Das gute Verhältnis von Staatsbad zu Staatlichem Geologischem Dienst hat sich, nicht zuletzt durch den persönlichen Einsatz von KARL FRICKE, bis heute erhalten.

Die Geschichte der Soleerschließung von Bad Oeynhausen, die einer gewissen Spannung und Dramatik nicht entbehrt, wird in der einleitenden Arbeit dargestellt

(MICHEL). Gleichzeitig wird eine Bestandsaufnahme des gesamten Solevorkommens gegeben.

In der zusammenfassenden Darstellung der Resultate der Bohrung „Alexander-von-Humboldt-Sprudel" (MICHEL) werden auch die freundschaftlichen Beziehungen ALEXANDERS VON HUMBOLDT zum Gründer des Bades mitgeteilt sowie der Anlaß und die Durchführung der Thermalsolebohrung näher erörtert.

Die geologischen Ergebnisse der Tiefbohrung werden teilweise in den regionalgeologischen Rahmen gestellt. So gelang es, die Schichtenfolge des oberen Mittelkeupers der Bohrung mit zahlreichen Übertageaufschlüssen im Weserbergland zu korrelieren (SANDER). Mit dieser Untersuchung konnte eine Kenntnislücke in der Stratigraphie des Keupers geschlossen werden. Es entstand daraus ein grundlegender Beitrag zur Keuper-Stratigraphie und -paläogeographie.

Eisenglanzvererzungen im Buntsandstein regten dazu an, deren Genese nachzugehen (SCHERP). Die Mobilisierung, der Transport und die Kristallisation konnten ursächlich mit der Sole in Verbindung gebracht werden.

Der mikropaläozoologische Inhalt der Lias-Schichten wurde monographisch bearbeitet und mit dem der 1961 erbohrten Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle verglichen (KNAUFF).

Die übrigen Schichten des Keupers und die angetroffenen Gesteine des Muschelkalks sind im Rahmen der geologischen Gesamtübersicht behandelt worden (MICHEL).

Eine Fülle von hydrologischem und hydrochemischem Datenmaterial wurde gemeinsam mit dem Lehrgebiet für Hydrogeologie der Technischen Hochschule Aachen (LANGGUTH, LEICHTLE) und dem Staatlichen Quellenamt in Bad Ems (SCHWARTZ) erarbeitet.

Es war in Nordrhein-Westfalen erstmalig möglich, an einer Mineralwassertiefbohrung solch umfangreiche Messungen und Beobachtungen anzustellen. Sie erbrachten gewisse Rückschlüsse auf die Genese und die Hydrodynamik des Gesamtsolevorkommens.

Der größere geologische Rahmen wird durch zwei isotopenchemische Arbeiten abgesteckt, die gemeinsam mit dem Geochemischen Institut der Universität Göttingen (NIELSEN) und dem ^{14}C-Labor des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (GEYH) ausgeführt worden sind.

Insgesamt wurden bedeutsame Erkenntnisse zur Genese und Verbreitung der Mineralwässer im „Heilgarten Nordrhein-Westfalens", wie Ostwestfalen in Bäderkreisen genannt wird, gewonnen. Die Zusammenhänge zwischen Zechstein-Salz, Sole und Erdfallaktivitäten werden aufgezeigt.

ECKART REICHE

Krefeld, im August 1977

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Vorwort (E. Reiche) III

G. Michel: Das Solevorkommen von Bad Oeynhausen 1

Vorbemerkungen S. 2. Chronik von Bad Oeynhausen S. 3. Zeittafel S. 3. Heute S. 6. Zur Geschichte der Soleerschließung S. 7. Die Soleerschließung bis 1830 und die Saline Neusalzwerk S. 7. Die Erschließung des Oeynhausen-Sprudels (1830 – 1845) S. 11. Die Entwicklung zum modernen Heilbad (1845 – 1975) S. 14. Die Heilquellen S. 17. Genutzte Heilquellen S. 17. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle S. 20. Oeynhausen-Sprudel (Thermalsprudel I) S. 21. Kaiser-Wilhelm-Sprudel (Thermalsprudel IV) S. 22. Morsbach-Sprudel (Thermalsprudel V) S. 22. Jordan-Sprudel (Thermalsprudel VI) S. 23. Alexander-von-Humboldt-Sprudel (Thermalsprudel VII) S. 26. Wittekind-Brunnen S. 26. Aufgegebene Heilquellen S. 27. Thermalsprudel II S. 27. Thermalsprudel III S. 28. Bülow-Brunnen S. 28. Heilquellenschutz S. 28. Geologisch-hydrogeologischer Rahmen S. 29. Biographische Notizen S. 32.

G. Michel: Der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen . . . 45

Name S. 46. Anlaß S. 48. Planung und Durchführung S. 50. Planung S. 50. Beteiligte S. 52. Durchführung und Ausbau S. 52. Geologische Ergebnisse S. 56. Hydrogeologische Ergebnisse S. 58. Gegenseitige Beeinflussung der Solebohrungen S. 59. Zur Herkunft der Sole S. 60.

G. Michel: Die Schichtenfolge der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen 63

Vorbemerkungen S. 64. Probenentnahme und -bearbeitung S. 65. Geophysikalische Bohrlochmessungen S. 65. Schichtenverzeichnis S. 67. Ergänzende Bemerkungen zur Muschelkalk – Keuper-Abfolge S. 73. Muschelkalk (69 m) und Unterer Keuper (31 m) S. 73. Mittlerer Keuper (302 m) S. 77. Rhät (90 m) S. 79.

W. Knauff: Der Lias in den Bohrungen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle und Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen 81

Vorbemerkungen S. 81. Allgemeine geologische Verhältnisse S. 81. Gesteinsausbildung und Probenbearbeitung S. 82. Mikrofauna und Stratigraphie S. 83. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle S. 83. Alexander-von-Humboldt-Sprudel S. 85. Wertung der Ergebnisse S. 86.

A. Sander: Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes 89

Einleitung S. 89. Ausbildung und Gliederung des höheren Teiles des Mittleren Keupers in Übertageaufschlüssen des Weserberglandes S. 90. Charakteristische Merkmale der stratigraphischen Einheiten S. 90. Definitionen und Kriterien für die Grenzen zwischen den einzelnen stratigraphischen Einheiten S. 93. Feinstratigraphische Gliederung und lithologische Ausbildung S. 94. Geologische Einstufung des Bohrprofils S. 97. Geophysikalische Bohrlochmessungen S. 101. Rückschlüsse auf synsedimentäre epirogene Bewegungen S. 102. Aufschlüsse S. 103. Wertung S. 107.

Seite

A. Scherp: Eisenglanzvererzungen im Buntsandstein der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel 109

Einleitung S. 110. Buntsandstein S. 110. Petrographie des Unteren Buntsandsteins S. 111. Anhydrit-Eisenglanzvererzung S. 112. Zur Genese der Vererzung S. 113. Herkunft des Anhydrits S. 113. Herkunft und möglicher Transport des Eisens S. 115. Entstehung der Anhydrit-Eisenglanznester S. 117.

Th. Leichtle: Spezielle hydrologische Untersuchungen in Bad Oeynhausen während der Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels . . 125

Einführung S. 127. Ergebnisse der wöchentlichen Messungen S. 127. Grundwassermeßstellen S. 127. Wittekind-Brunnen S. 131. Bülow-Brunnen und Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle S. 131. Solebohrungen I, IV und V S. 134. Solebohrung VI (Jordan-Sprudel) S. 135. Einsatz einer Danaide an der Solebohrung IV S. 136. Diskussion der Beziehungen zwischen oberflächennahen und tiefen Wässern am Beispiel des Wittekind-Brunnens S. 141. Ausblick S. 143.

H. R. Langguth und Th. Leichtle, mit einem Beitrag von U. Schwartz: Spezielle Messungen zur Ergiebigkeit und chemischen Beschaffenheit des Alexander-von-Humboldt-Sprudels 145

Einleitung S. 146. Übersicht über die durchgeführten Messungen S. 146. Messungen des freien Auslaufes während der Bohrarbeiten S. 148. Bohrtiefe 736 – 800 m S. 148. Bohrtiefen 899 m und 954 m S. 149. Messungen nach Beendigung der Bohrarbeiten S. 152. Freier Auslauf aus Ringraum und Gestängerohr (1. Doppelrohrversuch) S. 152. Auslauf aus dem Gestängerohr (Preventerversuch) S. 154. Freier Auslauf aus Ringraum und Gestängerohr (2. Doppelrohrversuch) S. 157. Ermittlung der Ergiebigkeitslinie (U. Schwartz) S. 160.

H. R. Langguth und G. Michel: Hydrochemische Untersuchungen am Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen 165

Vorbemerkungen S. 166. Angaben zur Entnahme der Proben S. 167. Ergebnisse der Analysen S. 174. Bewertung und Deutung S. 178.

G. Michel und H. Nielsen: Schwefel-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten ostwestfälischer Mineralwässer 185

Problematik S. 186. Grundlagen der Untersuchungsmethode S. 187. Probenahme und Meßtechnik S. 191. Befunde und Deutung S. 191. Ostteil des Münsterschen Beckens S. 200. Egge, Borgentreicher Keuper-Mulde und Brakeler Muschelkalk-Schwelle S. 203. Teutoburger Wald zwischen Detmold und Bielefeld S. 206. Westteil des lippischen Berglandes S. 207. Heilquellengebiet von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen S. 211. Geologie S. 211. Diskussion der Ergebnisse S. 212. Nördliches Vorland des Wiehengebirges S. 218. Bilanz S. 220.

Mebus A. Geyh und G. Michel: Zur Isotopenchemie von Mineralwässern und sonstigen Grundwässern im Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen 229

Problematik S. 230. Methodik S. 232. Radiokohlenstoff-Methode S. 232. Tritium-Methode S. 233. $\delta^{13}C$-Bestimmung S. 233. $\delta^{34}S$-Bestimmung S. 234. Geologischer Bau S. 234. Hydrogeologische Einheiten S. 236. Übersicht S. 236. Hiddenhausen S. 238. Hydrogeologische Situation S. 238. Ergebnisse und Interpretation S. 238. Wüsten S. 240. Hydrogeologische Situation S. 240. Ergebnisse und Interpretation S. 240. Löhne – Bad Oeynhausen – Vlotho S. 242. Hydrogeologische Situation S. 242. Ergebnisse und Interpretation S. 243. Bad Salzuflen – Lemgo S. 248. Hydrogeologische Situation S. 248. Ergebnisse und Interpretation S. 249. Konsequenz S. 250.

Personen- und Autorenregister 253

Orts- und Sachregister 256

Verzeichnis der Tabellen und Tafeln in der Anlage 269

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 1–43, 13 Abb., 5 Tab., 2 Taf.	Krefeld, Nov. 1977

Das Solevorkommen von Bad Oeynhausen

Von Gert Michel *

Thermal-water (brine), history, protection-zone, origin, aquifer, Northwest-German Mesozoic Hills (Bad Oeynhausen)

K u r z f a s s u n g : Bad Oeynhausen im Regierungsbezirk Detmold ist das einzige Staatsbad des Landes Nordrhein-Westfalen, hervorgegangen aus der um 1750 errichteten Saline. Die wechselhafte Geschichte der Soleerschließung wird erzählt; dabei werden die Verdienste Carls von Oeynhausen (1795–1865) besonders gewürdigt.

Detaillierte Beschreibungen der sieben heute genutzten Heilquellen sowie von drei aufgegebenen Mineralwasserbohrungen schließen sich an. Die wichtigsten Daten gibt die Tabelle 3 wieder. Die geologisch-hydrologischen Gegebenheiten werden nur kurz aufgezeigt, weil hierüber neue Literatur vorliegt. Der Lösungsinhalt der Sole stammt aus dem Zechstein. Mineralwasserleiter sind Gesteine des Mittleren Buntsandsteins und des Muschelkalks.

[The brines of Bad Oeynhausen]

A b s t r a c t : Bad Oeynhausen – situated in the administrative district of Detmold – is the sole «Staatsbad» of the Land Northrhine-Westphalia. It originated from salt-works, which were founded about 1750. An account of the varying history of the exploitation of brines is given. The merits of Carl von Oeynhausen (1795–1865) are honorably mentioned.

In 1976 seven medicinal springs were utilised and three springs were abandoned. These ten medicinal springs are described in detail. In table 3 you can find their most significant data.

The geological and hydrological situation is shown only in an abstract because there are newer investigations. The salt-layers in the formation of Zechstein are the origin of the brines. Aquifers of the brines are fissured sandstones of Bunter Sandstone and limestones of Muschelkalk.

[Les saumures de Bad Oeynhausen]

R é s u m é : La station balnèaire de Bad Oeynhausen, située dans le district de Detmold, est le seul «Staatsbad» en Rhénanie-Westfalie. Elle est née d'une saline construite en 1750 environ. Cette publication donne un abrégé de l'histoire changeante de l'exploitation de l'eau sursalée qui rend particulièrement hommage aux mérites de Carl von Oeynhausen (1795–1865).

Ensuite on trouvera les déscriptions détaillées de sept sources thérapeutiques utilisées en 1976 ainsi que celles de trois forages abandonnés d'eau minerale. Les données les plus importantes sont présentées dans le tableau 3. A cause de l'existance de la nouvelle littérature spéciale, les conditions géologiques et hydrogéologiques ne sont abordées que d'une manière brève. Le contenant en matières dissoutes dans l'èau sursalée provient du Zechstein. Les roches du Buntsandstein moyen et du Muschelkalk constituent des aquifères.

---

* Anschrift des Autors: Dr. G. Michel, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

1. Vorbemerkungen

Die Existenz des Bades Oeynhausen basiert auf einem geologischen Irrtum. Steinsalzlager wurden vermutet und gesucht, aber gefunden wurde eine relativ schwache Sole. Dieser Sole verdankt Bad Oeynhausen seinen Ruf als Heilbad, seinen Namen aber CARL VON OEYNHAUSEN, dem Finder und ersten Erbohrer der Sole.

Nach einem Erlaß des Ministers für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten vom 3. September 1848 wurde die Benennung im Amtsblatt der Regierung Minden vom 22. September 1848 bekannt gemacht:

„Des Königs Majestät[1] haben geruht, der Badeanstalt zu Neusalzwerk durch Allerhöchste Ordre vom 25. August d. J. den Namen: „Bad Oeynhausen" beizulegen. Minden den 9. September 1848."

Inzwischen feierte am 25. August 1973 das einzige Staatsbad des Landes Nordrhein-Westfalen „seinen 125jährigen Namenstag in stolzer Freude über das Erreichte und in berechtigter Hoffnung auf eine gute Zukunft" (Kurdirektor ALFONS W. DOLE anläßlich der 125-Jahrfeier). Am gleichen Tag wurde der 1973 erbohrte Thermalsprudel VII von dem Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, WERNER FIGGEN, auf den Namen „Alexander-von-Humboldt-Sprudel" getauft. Es ist in Bad Oeynhausen das siebte über 600 m tiefe Bohrloch, aber das erste, das die 1000-m-Grenze überschritten hat.

Die Thermalsoleversorgung des Bades stützt sich heute hauptsächlich auf den Jordan-Sprudel und den Alexander-von-Humboldt-Sprudel. Die anderen Mineralquellen[2] sind aufgegeben oder haben nur noch untergeordnete Bedeutung. Sie leiden alle – auch der Jordan-Sprudel – an „Arteriosklerose": Gipsinkrustationen verengen den Bohrlochquerschnitt und die ursprüngliche Schüttung nimmt rapide ab. Aufwältigen der Bohrlöcher durch Fräswerkzeuge bringt nur vorübergehend eine kurzfristige Besserung. Darüber hinaus werden durch die ständigen Eingriffe vorwiegend die hölzernen Verrohrungen beschädigt und Süßwasserzutritte führen zu einer Konzentrations- und Temperaturabnahme der Sole.

In gewissen Abständen – abhängig von der Bäderkonjunktur – sind daher aufwendige Bohrungen notwendig, so zuletzt 1972/1973.

Der mit der Erschließung einer neuen Mineralquelle betraute Geologe kann sehr dankbar sein, wenn er sich auf gute Arbeit von Vorgängern verlassen kann. Und dies ist hier der Fall. CARL VON OEYNHAUSEN hinterließ zuverlässige Aufzeichnungen. Weitere berühmte Namen sind mit den Anfängen von Bad Oeynhausen verbunden: LEOPOLD VON BUCH, CARL JOHANN BERNHARD KARSTEN, HEINRICH VON DECHEN und ALEXANDER VON HUMBOLDT. Später sind es ADOLF MORSBACH, der als Bergmann Präsident des Deutschen Bäderverbandes war, und der Geologe ADOLF MESTWERDT, dessen sorgfältige und gewissenhafte Bearbeitungen unseren ganzen Respekt verdienen. (Nähere biographische Angaben zu diesen Persönlichkeiten s. Kapitel 6).

---

[1] König FRIEDRICH WILHELM IV. von Preußen

[2] „Mineralquelle" wird als Sammelbegriff verwendet für „mineralisiertes Grundwasser" (im Sinne der Hydrogeologie). Quelle ist hier nicht nur der natürliche Grundwasseraustritt, sondern auch – historisch und der Gewohnheit nach – die Bohrung, aus der Mineralwasser gefördert wird.

Die erste Thermalsolebohrung in Bad Oeynhausen – der heutige Oeynhausen-Sprudel – ist in die Geschichte der Tiefbohrtechnik eingegangen. VON OEYNHAUSEN gab trotz immer neuer Schwierigkeiten nicht auf. Er verbesserte ständig seinen „Bohrapparat" und führte die sogenannte Rutschschere ein, er kämpfte gegen Bürokratismus und Hinterlistigkeiten der Grundeigentümer. Seine Bohrarbeiter brauchten 15 Jahre, um das fast 700 m tiefe Bohrloch ohne Maschinenkraft abzuteufen. Es war damals das tiefste Bohrloch Europas. VON HUMBOLDT (1845: 416) schreibt hierzu im ersten Band seines „Kosmos":

„Die größte relative Tiefe, welche die Menschen bisher erreicht haben, ist vielleicht das Bohrloch zu Neu-Salzwerk bei Preußisch Minden; sie betrug im Juni 1844 genau 1873½ Par. Fuß (607,4 m), die absolute Tiefe war 2094½ Fuß (680 m). Die Temperatur des Wassers im Tiefsten stieg damals auf 32°,7 cent., was bei der Annahme von 9°,6 mittlerer Luftwärme eine Wärmezunahme von 1° auf 29,6 m giebt."

Drei Jahre später wurde diese Bohrtiefe durch die Bohrung Mondorf (s. Tab. 1) übertroffen.

Die artesische Bohrung Grenelle bei Paris (Tab. 1) stellt nach HOFFMANN (1959) „eine auch nicht annähernd wieder erreichte Spitzenleistung dar, bei der die Kosten keine Rolle gespielt haben".

VON HUMBOLDT (1858: 35–37) vergleicht die Wassertemperaturen der Bohrung Grenelle (27,75° C) mit der Bohrung Neusalzwerk (32,8° C) und nennt geothermische Tiefenstufen von 32,3 m bzw. 30 m.

Tabelle 1

Die tiefsten Bohrungen in Europa bis 1850 (abgeändert nach HOFFMANN 1959)

Bohrung	Zeit	Dauer (Jahre)	Teufe (m)	Gestänge-gewicht (kg/m)	Kosten (DM)	Bohr-verfahren
Grenelle (Paris)	1836–1843	7	550	20–39	800 000	starres Gestänge
Neusalzwerk	1830–1845	15	696,4	5	210 000	Rutsch-schere
Mondorf (Luxemburg)	1843–1848	5	730	0,6 (Holz)	54 000	Freifall

2. Chronik von Bad Oeynhausen

2.1. Zeittafel[3]

Um 1750	Errichtung der Saline, Aufbau einer Salzindustrie
1751	Massow'scher Brunnen gefaßt
1753	Bau des Stauwehrs und des sogenannten Cocturkanals am Siel. Der Cocturkanal erhielt seinen Namen nach dem Coctur-Hof, jenem Gebäudekomplex an der Mindener Straße, in dem die von den Gradierwerken kommende hochprozentige Sole in Kochsalz verarbei-

[3] abgeändert und wesentlich ergänzt nach: Der Jordansprudel, 1973: 36–37

tet wurde. Hier ging der letzte Arbeitsgang, die letzte „Tour" vonstatten. Die Sole wurde gesiedet oder gekocht; kochen heißt auf Plattdeutsch koken (nach TYEDMERS 1962).

1760 Vollendung der Gradier- und Siedegebäude, Entstehung des Ortes Neusalzwerk

1764 Rappards Brunnen erbohrt

1769 Friedrich-Wilhelm-Brunnen erbohrt

1806 Bülow-Brunnen erbohrt

1830–1845 Erbohren des ersten Thermalsprudels (= Oeynhausen-Sprudel) durch CARL VON OEYNHAUSEN

1839 (13. August) Verabreichung des ersten Wannenbades mit Thermalwasser

1840 50 000 kg Steinsalz gradiert und gesotten

1845 erste Saison des Bades Neusalzwerk unter preußischer Regie

1847 (24. Mai) Verwaltung des Solbades wird vom Staat übernommen
LIESENHOFF (1895: 56) schreibt hierzu:

„Auf den gemeinschaftlichen Bericht der betheiligten Ressortminister, nämlich des Ministers der Medicinalangelegenheiten, des Ministers des Innern und des Finanzministers geruhte FRIEDRICH WILHELM IV. am 24. Mai 1847 huldreichst zu bestimmen: „Das Soolbad bei Neusalzwerk soll bleibend als eine gemeinnützige Anstalt unter unmittelbarer Leitung des Staates eingerichtet und die Verwaltung desselben nach vorheriger Feststellung des Hauptanlageplanes durch ein zweckentsprechendes Statut regulirt werden." VON OEYNHAUSEN hatte die Ehre gehabt, vorher dem Könige einen ¾stündigen Vortrag in dieser Angelegenheit halten zu dürfen: „Wenn Majestät", so schreibt er an den Salinendirector BOVET, „das Bad sehen, so bin ich sicher, daß es Seinen Beifall erlangen werde."

(15. Oktober) Eröffnung der Köln–Mindener Eisenbahn

1848 (25. August) König FRIEDRICH WILHELM IV. bestimmt:
„Ich will Meiner schon früher erklärten Absicht gemäß der Badeanstalt in Neusalzwerk den Namen „Bad Oeynhausen" beilegen".

1851 erstes Kurhaus

1853 Anlage des Kurparkes durch PETER JOSEPH LENNE

1854–1857 Bau des Badehauses I (Geh. Oberbaurat BUSSE)

1857–1862 Erschließung des Thermalsprudels II

1859 (26. April) Gründung der Stadt Bad Oeynhausen durch Königliche Kabinettsorder

1865–1869 Erschließung des Thermalsprudels III

1880 Errichtung der ersten Wandelhalle

1883–1885 Entstehung des Badehauses IV

1886 Bau des Badehauses III

1896–1898 Erschließung des Thermalsprudels IV (Kaiser-Wilhelm-Sprudel)

1899–1900 Errichtung des Badehauses II, Erwerb des Sielgeländes

1905–1906 Erschließung des Thermalsprudels V (Morsbach-Sprudel)

1905–1908 Bau des Kurhauses durch Landesbauinspektor SCHRAMMEN, der Kurverwaltung, des Sielrestaurants sowie der ersten Institute und des ersten Inhalatoriums

1913–1917 Bau des Kurtheaters

1924 (1. April) Badeverwaltung und Saline gehen an die „Preußische Bergwerks- und Hütten AG" (Preussag) über

1926 (27. Juni) Neue Wandel- und Trinkhalle
(24. Juli) Thermalsprudel VI (Jordan-Sprudel) wird fündig

1928 Stillegung der Saline

1929–1930 Bau des Kurmittelhauses

1932 Einrichtung des Balneologischen Instituts im Badehaus IV;
Abriß der Gradierwerke

1937 Bad Oeynhausen wird wieder preußisches Staatsbad

1945 (3. April) Einmarsch der amerikanischen Truppen
(12. Mai) Räumung der Stadt durch die Zivilbevölkerung und Einrichtung des Hauptquartiers der britischen Besatzungsmacht

1946 Staatsbad des Landes Nordrhein-Westfalen

1952 (22. September) Wiedereröffnung des Badehauses I

1954 (Herbst) Freigabe des Staatsbades durch die Besatzungsmacht, Wiederaufbau der Kuranlagen und -einrichtungen

Kurdirektor Dr. med. habil. H. O. SCHMID schrieb über die Besatzungszeit im Kuranzeiger des Staatsbades Oeynhausen 1953 unter anderem:

„... Mit dem allgemeinen Niedergang nach dem zweiten Weltkrieg mußte nicht nur auch unser Bad die Segel streichen, sein Schiff wurde darüber hinaus durch eine achtjährige Besatzungszeit so schwer havariert, daß viele seinen völligen Untergang kommen sahen. Auch der Jordansprudel – 1926 erbohrt und als größte Thermalsolequelle der Erde zum Wahrzeichen Bad Oeynhausens geworden – hatte seine siegreiche Kraft eingebüßt . . . Die trostlose Lage des Bades war bekannt. Sie war gekennzeichnet durch Sperrzonen, Stacheldraht, Brand und Verfall."

1955 (6. Februar) Wiedereröffnung des Kurtheaters

1959–1960 Neue Solquelle (Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle) erbohrt

1960 (28. Juni) Einweihung Neubau Badehaus II

1966 (16.–21. Oktober) 62. Deutscher Bädertag in Bad Oeynhausen

1968 Aufwältigung des Oeynhausen-Sprudels

1970 (16. Juli) Einweihung des Thermalsole-Bewegungszentrums

1973 (27. Juni) Thermalsprudel VII (Alexander-von-Humboldt-Sprudel) wird fündig
(25. August) 125-Jahrfeier des Bades (FRICKE 1973). Taufe des Thermalsprudels VII auf den Namen „Alexander-von-Humboldt-Sprudel" und der Neuen Solquelle auf den Namen „Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle"

1975 (7. November) Eröffnung des Thermalsole-Bewegungszentrums II

2.2. Heute

„Oeynhausen – ein königliches Bad auch heute noch: Die Gunst FRIEDRICH WILHELM IV. hat nicht nur die von Anbeginn großzügige Planung ermöglicht, sondern auch den Bauten einen Hauch seines musischen Geistes mitgeteilt, der sich an KARL FRIEDRICH SCHINKEL geschult hatte. Es ist, als ob dies Vermächtnis OEYNHAUSEN auch später davor bewahrt habe, in den Wandlungen der Mode und Geschmack Maß und Mitte zu verlieren. In der Vielheit der Baustile, eingeschlossen auch unserer Gegenwart, bleibt eine Note der Ruhe und Vornehmheit, die alles zusammenfaßt. — Sie färbt noch außerhalb des Kurviertels auf Privat- und Behördenbauten, Villen und Wohnhäuser der ‚Stadt ohne Stufen' ab." (KÜHLING 1960).

Es ist hier nicht angezeigt, Bad Oeynhausen als Ort und als Heilbad vorzustellen. WERNER BERGENGRUEN (1956), AGNES MIEGEL (1962), RUDOLF PÖRTNER (1962), CHARLOTTE VON SAIL (1962) und andere haben dies auf berufenere Art getan.

Nur einige Fakten sollen noch genannt werden; im übrigen wird auf den Deutschen Bäderkalender (1975) und die Angaben von QUINDERS (1967) verwiesen. Das Staatsbad des Landes Nordrhein-Westfalen (Abb. 1) liegt an der Porta Westfalica (Werbeslogan: „Das große Bad an der großen Pforte") in den Tälern von Weser und Werre, südlich vom Wiehen- und Wesergebirge und östlich vom Ravensberger Hügelland. Es hat etwa 15 000 Einwohner. Die Gäste-Bettenzahl beträgt 5200. 1972 wurden 65 000 Kurgäste gezählt.

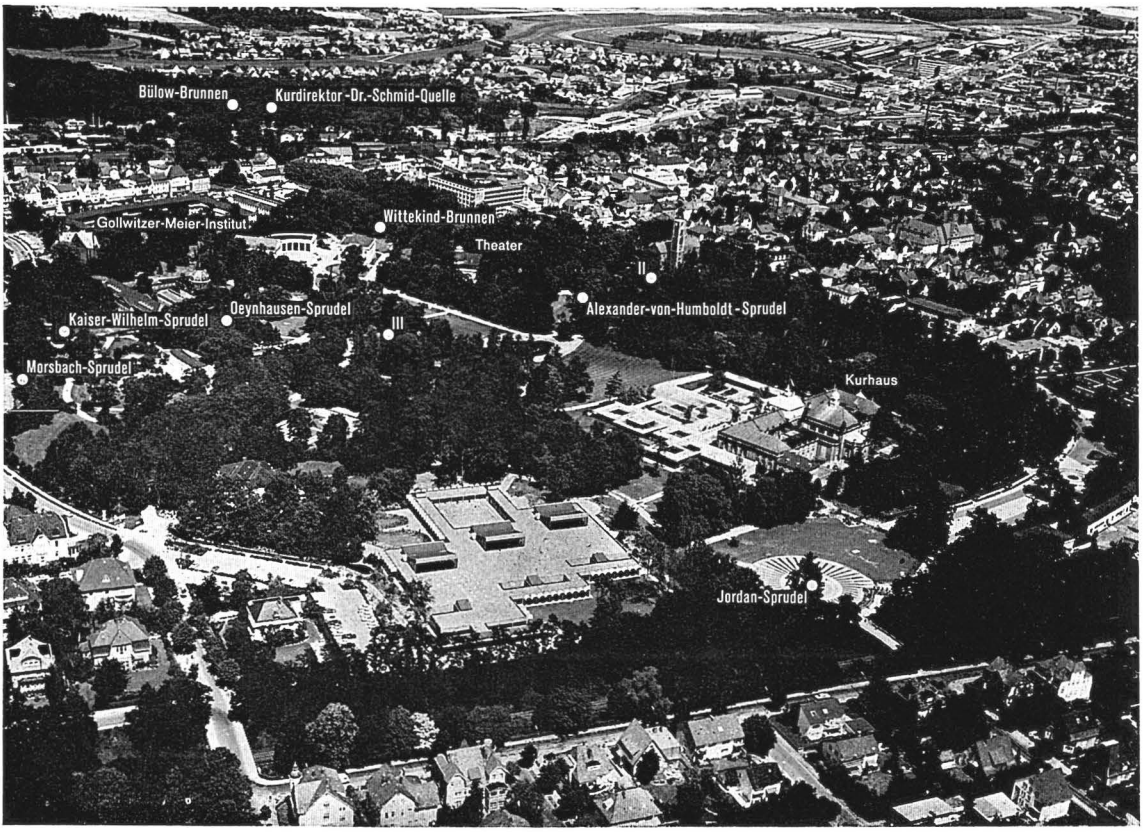


Abb. 1. Bad Oeynhausen, Blick von Süden. Luftbild vom 7. 7. 1971 (Stuttgart-Luftbild Elsäßer & Co., freigegeben durch den Reg.-Präs. Detmold – 38 227).

3. Zur Geschichte der Soleerschließung

3.1. Die Soleerschließung bis 1830 und die Saline Neusalzwerk

Die Geschichte der Soleerschließung und damit auch der Saline Neusalzwerk beginnt mit dem Jahre 1746. Aus diesem Jahre ist die Entdeckung einer 4%igen Solquelle auf der sogenannten „Sültemeiers Wiese" verbürgt. Hier wurde dann 1751 auch der Massow'sche Brunnen gefaßt. Im Werretal war das Auftreten der Sole in geringer Tiefe jedoch sicher auch schon früher bekannt.

Die älteste Beschreibung der ersten Bohrversuche und der technischen Einrichtungen der Saline Neusalzwerk, welche erstmals 1753 Siedesalz produzierte, stammt aus dem Jahre 1809 von dem Landbaumeister im Weser-Department Franz Ernst Theodor Funk. Paul Baehr (1909), der Chronist von Bad Oeynhausen, gibt für die Jahre 1746 bis 1830 insgesamt 25 Sole-Untersuchungsbohrungen an, beschreibt deren ungefähre Lage und ihre Ergebnisse. Die Standorte einiger dieser längst aufgegebenen Bohrlöcher sind aus dem Lageplan von Funk (1809) ersichtlich (Abb. 2). Dabei fehlt leider der Massow'sche Brunnen.

Eine Übersicht über die ältesten Solebohrungen wird in Tabelle 2 gegeben. Bis zum Jahre 1800 sind der Friedrich-Wilhelm- und der Rappards Brunnen genutzt worden. Funk (1809: 6) schreibt über den weiteren Verlauf:

„1799 wurde in Schulzens Wiese das Bohrloch Nr. 1 gemacht, weil der Salinen-Bauinspektor Alisch und Brunnenmeister Fricke schon seit mehreren Jahren eine hochlöthige Soolquelle, die zu Tage ausfloß, entdeckt hatten. Dieser Versuch fiel so glücklich aus, daß man, da dasselbe 252 Fuß tief und 3 Zoll im Durchmesser war, 9½ löthige Soole zwey Kubikfuß pro Minute erhielt. Von dieser Zeit an sind bis im Jahre 1806 immerwährende ganz vergebliche Bohrversuche nach Angabe des Kriegsraths und Salinendirektors Meyer gemacht ..." (s. Abbildung 2, nördlich der Werre bei h und i).

Tabelle 2

Die ältesten Solebohrungen in Bad Oeynhausen (nach Baehr 1909, Funk 1809, Liesenhoff 1895)

Name	Datum	Tiefe (m)	Sole-konzentration (%)	Bezeichnung in Abbildung 2
Massow'scher Brunnen	1751	?		
Rappards Brunnen	1764	14	8	b
Friedrich-Wilhelm-Brunnen	1769	30	9	a
Bohrloch 10 (= Bohrloch 1 in Schulzens Wiese)	1799	80	10	c
Bülow-Brunnen (von 1810—1813 König-Napoleon-Brunnen)	1806	79	9	d

Die Erschließung des Bülow-Brunnens (Abb. 2 bei d), der erst 1962 stillgelegt wurde (Abb. 3), schildert Funk (1809: 6) wie folgt:

„Ein zweyter Versuch bey d (Abbildung 2) (welcher im Sommer 1806 angestellt wurde), fiel außerordentlich erwünscht aus, indem ein Bohrloch von 3 Zoll im Durchmesser 240 Fuß

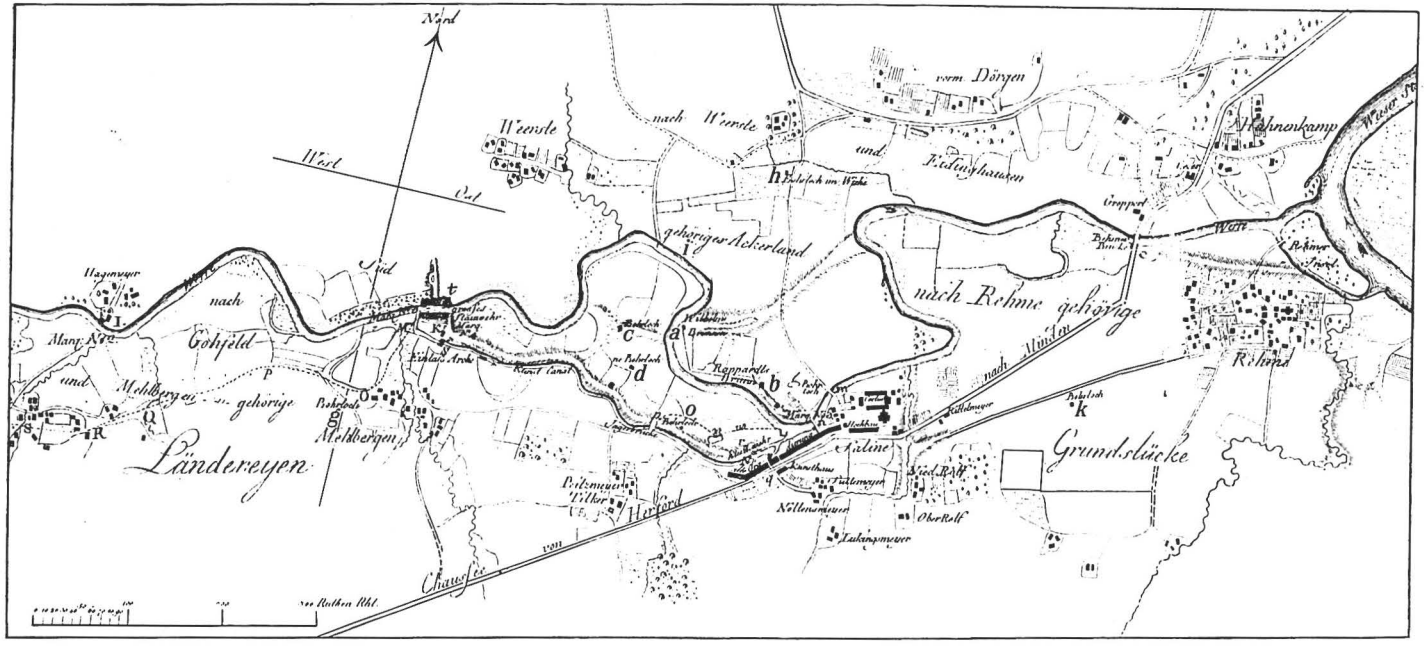


Abb. 2. Das Werretal zwischen Mehlbergen und Rehme um 1800 (aus FUNK 1809). Lage der Saline Neusalzwerk, der Sole-Untersuchungsbohrungen (a – o) und der damals vorhandenen vier Solebrunnen: Friedrich-Wilhelm-Brunnen (a), Rappards Brunnen (b), Bohrloch in Schulzens Wiese Nr. 1 (c), Bülow-Brunnen (d).

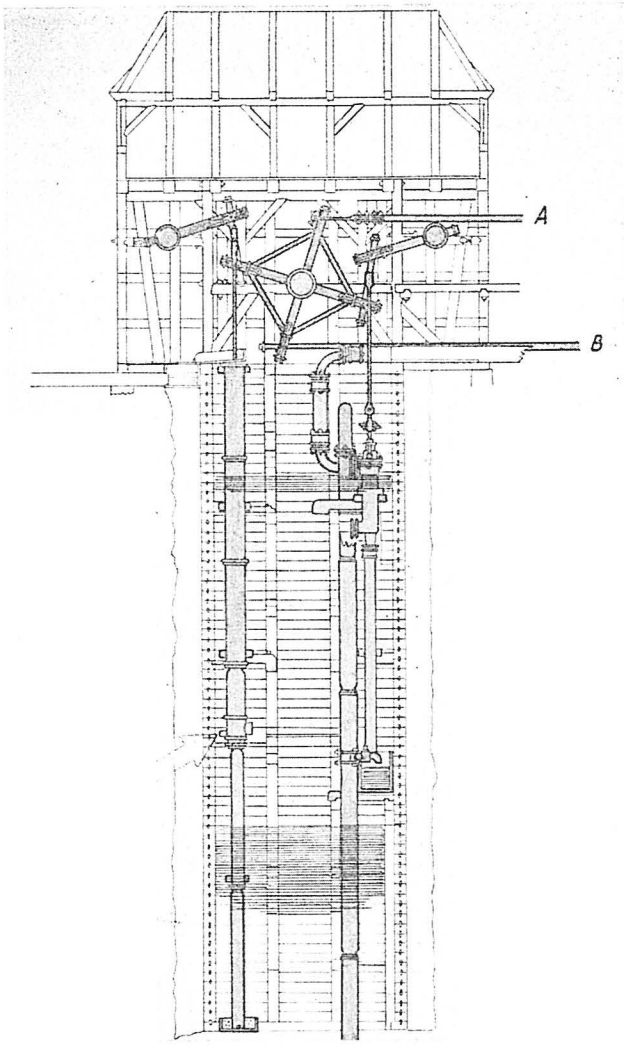


Abb. 3. Ehemalige Pumpanlage des Bülow-Brunnens
(aus TYEDMERS 1962)

tief abgesenkt, in 15 bis 17 Secunden einen Kubikfuß, oder pro Minute 3,529 bis 4 Kubikfuß 9,5 löthige Soole gab. Durch Absenkung der Bohrlöcher Nr. 1 und Nr. 2" (Abbildung 2 bei c und d) „hat die Neusalzwerker Saline die größte Verbesserung erhalten, seitdem sie existiert."

Es handelte sich um kalte Solen. G. BISCHOF (1847: 97—104), Professor der Chemie und Technologie in Bonn, der Neusalzwerk im Frühjahr 1844 besuchte, führt dies auf Einflüsse von der Werre (?) zurück. Seine Temperaturangaben sind nicht mit heutigen Messungen vergleichbar. Festzuhalten bleibt nur, daß die Temperaturen dieser Solen aus den relativ flachen Fassungen jahreszeitlich stark schwankten. Hier noch ein Zitat, das sehr modern anmutet (BISCHOF 1847: 102):

„Auf den Salinen finden wir häufig mehr oder weniger vollständige Register von Temperatur-Beobachtungen. Gewöhnlich sind sie in den Registraturen vergraben. Es ist meist

mühsam, sich durch solche lange Zahlenreihen hindurchzuarbeiten; aber die Mühe möchte, in den meisten Fällen, belohnt werden. In unserer Zeit, wo überall großartige Unternehmungen auftauchen, wo Gelegenheit zu Beobachtungen herbeigeführt wird, welche sich der Einzelne nicht verschaffen kann, sollte der Naturforscher sich stets die Frage aufwerfen, ob nicht die Wissenschaft daraus Nutzen ziehen könne."

Ein eindrucksvolles Bild von den ersten zwei Jahrzehnten der Saline Neusalzwerk vermittelt im Rahmen der preußischen Salzpolitik die umfangreiche Dissertation von WIEMERS (1915), die mir dankenswerterweise von Dr. OTTO BRINKMANN, dem Herausgeber des Kuranzeigers „Der Jordansprudel" zugänglich gemacht wurde. WIEMERS konnte eine „Überfülle von Aktenmaterial" auswerten und schildert unter anderem sehr anschaulich die Querelen der Verantwortlichen und die Schwierigkeiten des Salzwesens im allgemeinen.

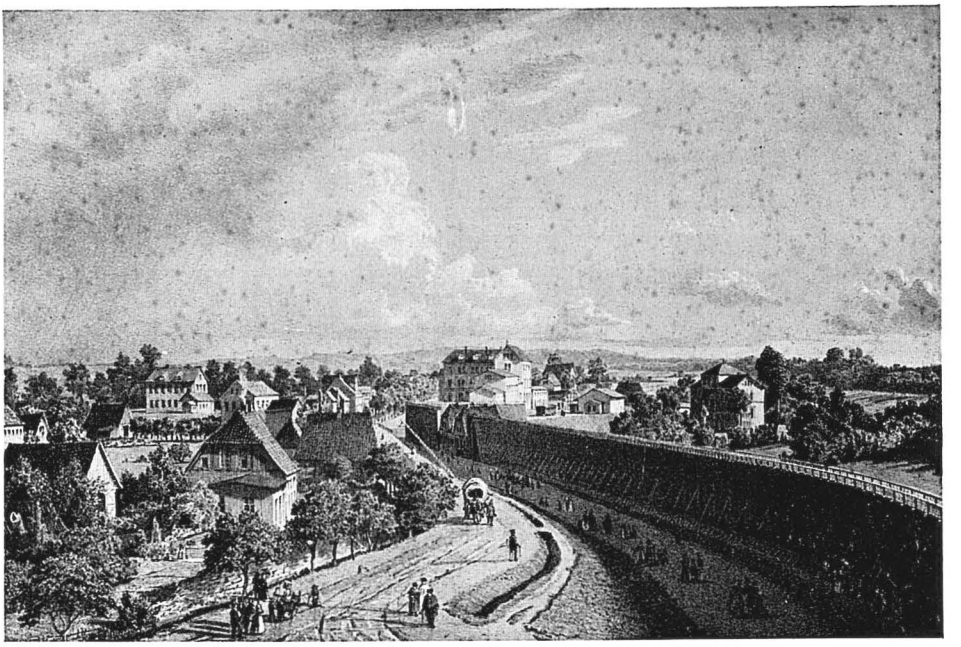


Abb. 4. Das Gradierwerk um 1845. Alter Stich im Kurhaus Bad Oeynhausen (Klischee Dr. O. BRINKMANN, Bad Oeynhausen).

Bis zum Jahre 1835 erreichte in Neusalzwerk (Abb. 4) die jährliche Salzproduktion etwa 3000 t, im Jahre 1840 etwa 5000 t (MORSBACH 1900). Von dieser Menge wurden in den fünfziger Jahren mehr als die Hälfte über Lippstadt und Wesel auf der Lippe und dem Rhein nach Köln verschifft; mit dem Rest wurde das nördliche Westfalen versorgt. Auch soll Anfang des 19. Jahrhunderts ein Teil des Salzes auf der Weser nach Bremen und Ostfriesland verfrachtet worden sein. Neben der Saline war eine chemische Fabrik entstanden, wo aus den Salinenrückständen Glaubersalz, Soda, Chlorkalk, Bittersalz und Brom hergestellt worden sind (nach LIESENHOFF 1895: 26).

Zu Anfang des 19. Jahrhunderts wurde im damaligen Königreich Preußen nach Inbesitznahme der bis dahin Kursächsischen Salinen etwa 40% des gesamten deutschen Siedesalzes gewonnen. Schönebeck als die größte Staatssaline erzeugte rund 24 000 t Salz im Jahr. An zweiter und dritter Stelle folgten die staatlichen Salinen Dürrenberg und Halle mit je 10 000 t Siedesalz im Jahr (nach HOFFMANN 1959: 372).

3.2. Die Erschließung des Oeynhausen-Sprudels (1830–1845)

Aus wirtschaftlichen Gründen entstand in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts das Projekt, die Betriebe der kleinen Salinen in Preußen zu vergrößern. Die preußischen Salinen waren durchweg auf mehr oder weniger konzentrierte Solen angewiesen. Steinsalzlager waren damals in Preußen noch nicht entdeckt, während man in Süddeutschland und England bereits große Salzlagerstätten kannte und abbaute. Da jedoch das Steinsalz für viele technische Betriebe ein unentbehrliches Rohprodukt geworden war, mußte es zu hohen Preisen nach Preußen eingeführt werden und drohte den preußischen Salinen eine nicht unbedenkliche Konkurrenz zu bereiten. Es mußte deshalb der „Preußischen Central-Bergverwaltung" darauf ankommen, möglichst bald in Preußen Steinsalzlagerstätten zu finden, aufzuschließen und abzubauen (nach MORSBACH 1900).

1825 wurde VON OEYNHAUSEN, der 1824 auf „die geographische Aehnlichkeit des Steinsalz führenden Gebirges in Lothringen und im südlichen Deutschland mit einigen Gegenden auf beiden Ufern der Weser" hingewiesen hatte, von seiner Dienststelle, der Preußischen Oberberghauptmannschaft in Berlin, beauftragt, ein Gutachten über die Salzhöffigkeit in Westfalen zu erstellen. Er gab für Bohrversuche zwei Bereiche an, nämlich die Gegend von Rheine und den Raum südlich Vlotho. Sein Fazit:

„Es ist daher auch begründete Hoffnung vorhanden, daß bedeutende Steinsalzmassen im Innern der hiesigen Gebirge liegen müssen, und wenn dies wirklich der Fall ist, so dürfen dieselben nur in den untersten und tiefsten Schichten der Keuperformation gesucht werden" . . . (LIESENHOFF 1895: 28).

Auf einer Expertenkonferenz in Berlin Ende 1825, an der FR. HOFFMANN, CHR. SAMUEL WEISS, LEOPOLD VON BUCH, C. J. B. KARSTEN und H. VON DECHEN teilnahmen, wurde dem Gebiet südlich von Neusalzwerk für eine Bohrung der Vorzug gegeben. Die Meinungen gingen lediglich in der Frage auseinander, ob das Steinsalz in den Keuper-Schichten oder erst im Muschelkalk zu erwarten sei. Um jedoch ganz sicher zu gehen und die vermuteten Lagerungsverhältnisse zu überprüfen, wurde 1829/30 im Kirchsiek (zwischen Vlotho und Rehme) eine 70 m tiefe Bohrung niedergebracht, die jedoch im Keuper weder Gips noch Sole antraf.

Dieses Ergebnis überzeugte zwar nicht; trotzdem wagte man sich an die Tiefbohrung in Neusalzwerk. Der Bohrpunkt wurde mit Oberberghauptmann GERHARD abgestimmt und am 14. April 1830 begannen die Bohrarbeiten, die VON OEYNHAUSEN in den ersten Wochen persönlich leitete. Aus dem Abteufen der Tiefbohrung wurde ein großes technisches Abenteuer.

So schreibt z. B. am 29. 11. 1838 VON DECHEN an seinen Freund:

„Lieber OEYNHAUSEN, Du bist und bleibst doch drum mein alter OEYNHAUSEN, dem ich so viel verdanke. . . . Ich halte immer noch fest bei dem Neusalzwerker Bohrloch, obgleich mir innerlich doch auch bisweilen eine gewisse Bangigkeit eintritt, wo wir denn enden werden . . ." (aus dem Archiv des Freiherrn FALK VON OEYNHAUSEN, Akte 447).

LIESENHOFF (1895) und TYEDMERS (1962) beschreiben sehr anschaulich den Verlauf der Bohrarbeiten mit allen Tücken des Objekts. Auf beide Arbeiten soll ausdrücklich hingewiesen werden, ohne sie zu zerpflücken. Die Bohranlage – der Bohrturm war 40 m hoch, und die Bohrgestänge waren 6 m lang – ist in Abbildung 5 dargestellt. In seiner Geschichte der Tiefbohrtechnik widmet HOFFMANN (1959) den Verdiensten CARLS VON OEYNHAUSEN einen besonderen Abschnitt.

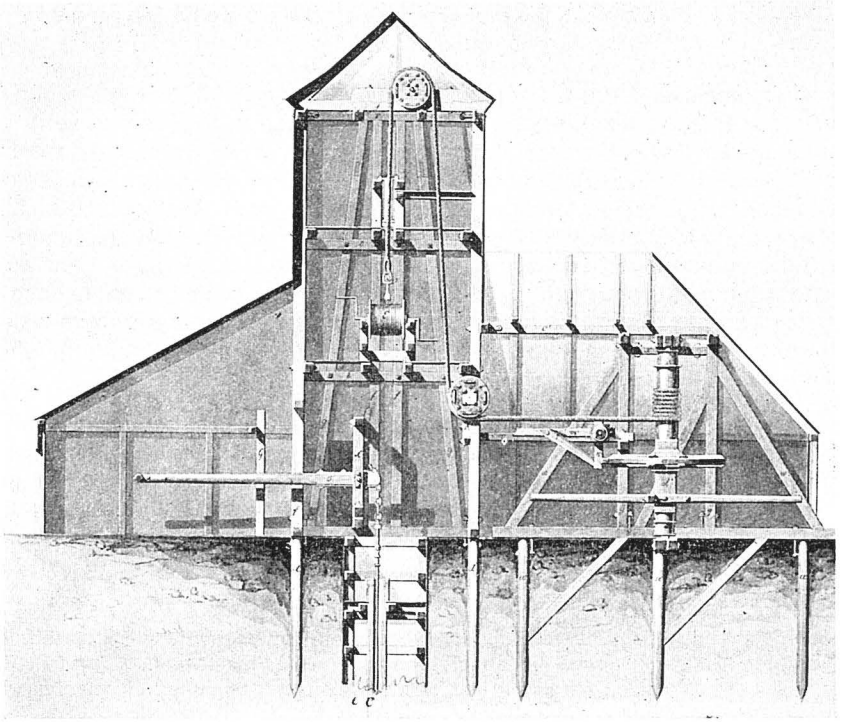


Abb. 5. Bohrgerät, mit welchem der Oeynhausen-Sprudel erbohrt wurde (Original Archiv Technische Leitung des Bades Oeynhausen)

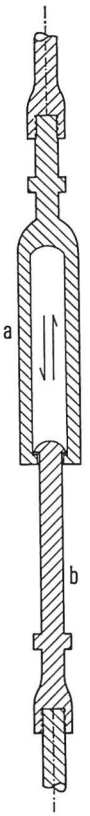
In den ersten neun Monaten wurden 180 m gebohrt. Dabei traten zehn Gestängebrüche, sämtlich im Gewinde, auf. Für die nächsten 7 m brauchte man wegen des starken Nachfalls schon drei Monate Zeit. Zwischen 187 m und 210 m gab es 38 Gestängebrüche. Der Versuch, mit dem Seil[4] und einem zur Beschwerung des Meißels angebrachten Bohrklotz („Rammbär") zu bohren, mißlang. Rammbär und Meißel verklemmten im Bohrloch. Erst sechs Monate später war es wieder frei.

Ab 230 m Tiefe wurde wieder mit Gestänge gebohrt. Zur Vermeidung von Gestängebrüchen wurde ein bewegliches Wechselstück, die sogenannte Rutschschere, eingesetzt (Abb. 6). Das Gerät glich den Rückschlag des aufstoßenden Meißels aus. Das zurückfedernde untere Gestängeteil (b) schob sich in diesem Gerät (a) aufwärts – es rutschte – ohne die Kraft auf die oberen Bohrstangen zu übertragen. Diese wurden daher nicht mehr wie bisher auf Stauchung beansprucht, sondern nur noch auf Zug. Dadurch konnten der Querschnitt des oberen Gestängeteils und damit auch das Gewicht desselben erheblich reduziert werden. Mit dieser sinnvollen Konstruktion hatte also VON OEYNHAUSEN die Vorteile des Seiles mit denen des steifen Gestänges vereinigt. Anfänglich war die Rutschschere 170 m tief eingehängt, später dann 240 m tief. Der erstmalige Einsatz erfolgte am 8. Juli 1834. HOFFMANN (1959) nennt diesen Tag den „Geburtstag unserer neuzeitlichen Tiefbohrtechnik".

---

[4] Die Methode des Seilbohrens hatten französische Missionare erst einige Jahre vorher aus China, wo sie seit altersher verwendet worden ist, nach Europa mitgebracht. In Deutschland fand sie zuerst im Saargebiet Verwendung (HOFFMANN 1959: 375).

Abb. 6. Prinzip der Rutschschere (nach LIESENHOFF 1895 und TYEDMERS 1962)



In der Literatur wird VON OEYNHAUSEN als der Erfinder der Rutschschere bezeichnet. Er selbst hat über den Einsatz dieses Gerätes nichts berichtet. Die Idee und die Ausführung der Rutschschere soll von CARL FRIEDRICH ALTHANS stammen, der bei derselben Behörde wie VON OEYNHAUSEN tätig war. Es liegt nahe, daß in einer Zusammenarbeit zwischen beiden diese wesentliche technische Verbesserung entstanden ist (HOFFMANN 1959).

Bis Ende des Jahres 1838 hatte die Bohrung nach erneuter Verrohrung eine Tiefe von 425 m erreicht und auch Sole angetroffen, bei 500 m Tiefe im Jahre 1840 auch Kohlensäure. VON OEYNHAUSEN hoffte, doch noch Steinsalz zu finden und ließ die Bohrung weiter vertiefen. Wegen einer schwierigen Fangarbeit entschloß er sich, das Bohrloch von 97,5 mm auf 110,5 mm Durchmesser zu erweitern. 1843 war endlich eine Tiefe von 670 m erreicht und am 30. November 1845 wurde die Bohrung bei der Tiefe von 696,4 m eingestellt. Das ganze Unternehmen hatte 210 000 Mark gekostet.

Nachfall, Einbau von eisernen Rohrtouren, die bereits nach sechs Monaten korrodiert waren, Aufbohren und erneute Gestängebrüche beschäftigten VON OEYNHAUSEN noch bis 1854. Schließlich versperrte ein Gestängebruch, bei dem Bohrklotz, Meißel und 25 m Bohrgestänge von 800 kg Gewicht im Bohrloch verblieben, das Bohrloch bis zur Tiefe von 565 m. Gegen den Willen VON OEYNHAUSENS wurden die Fangarbeiten 1855 eingestellt.

Nach Beendigung der Bohrarbeiten betrug die Schüttung 1,669 m³/Minute Mineralwasser mit einer Temperatur von 33,15° C und einer Konzentration von 4,5 %. Außerdem war diese Thermalsole reich an freier Kohlensäure. VON HUMBOLDT (1858: 36) faßt die Ergebnisse wie folgt zusammen:

„Die Soolquelle, welche mit vieler Kohlensäure geschwängert ausbricht, ist also 1926 Fuß unter der Meeresfläche gelegen: eine relative Tiefe, die vielleicht die größte ist, welche die Menschen je im Innern der Erde erreicht haben."

Zu den vielen technischen Schwierigkeiten kamen noch die menschlich allzu menschlichen, wie Neid, Mißgunst und Quertreibereien aller Art.

So ist zum Beispiel der öffentliche Streit mit dem Colonen MEYER, der bis heute nichts von seiner Aktualität eingebüßt hat, sogar in die Literatur eingegangen. Allein VON OEYNHAUSEN (1848) sah sich veranlaßt, viel zu viel seiner kostbaren Zeit mit diesem Nonsens zu verbringen und ein 50 Seiten langes Opus zu seiner Rechtfertigung zu verfassen.

Der Tatbestand ist kurz wiedergegeben. Die Tiefbohrung lag auf dem Gelände des Colonen MEYER sen. Dieses wurde vorerst nur gepachtet und das Ergebnis des Bohrversuchs abgewartet. Das erbohrte und artesisch ausfließende Wasser wurde zunehmend salziger und wärmer. Es wurde in die Werre geleitet, ein Graben dafür extra angelegt. Unterhaltung dieses Grabens und Vegetationsschäden wurden den Anliegern besonders vergütet, so auch dem Colonen MEYER.

1839 stellte der Bohrmeister FUNTE neben der Bohrkaue eine Badewanne auf. Dort badeten seine Leute im Thermalwasser. Das brachte den Colonen MEYER auf die Idee, es auch so zu machen. VON OEYNHAUSEN stimmte zu – vorbehaltlich des Widerrufs und „ohne Autorisation der Bergbehörde". Aus dieser einen Wanne wurden bald neun Wannen. Der kleine Badebetrieb erfreute sich regen Zuspruchs durch

Gäste. Es wurde endlich Zeit, daß sich die Salinenverwaltung absicherte und vom Colonen MEYER (dieses Mal MEYER jun.) ausdrücklich bestätigen ließ, „daß die ausfließenden Bohrlochswasser Eigenthum der Saline sind, . . . daß er die etwaige Benutzung derselben auch außer der Verwendung zur Salzfabrication, sei es zu welchem Zwecke es immer wolle, der Saline niemals wehren könne noch werde . . ." (VON OEYNHAUSEN 1848: 6, 38). Inzwischen hatten auch noch drei weitere Bauern Badewannen aufgestellt und verdienten so doppelt an der über ihre Grundstücke geleiteten Sole.

Andererseits erwog das Preußische Finanzministerium, eine „Badeanstalt für landesherrliche Rechnung" zu gründen. In Unna war nämlich inzwischen eine hochprozentige Sole erbohrt worden, und die Hoffnungen auf einen Steinsalzfund in Rehme waren stark gesunken. So begann der Staat mit Grundstückskäufen inclusive der primitiven Badehäuser der Colonen PEITSMEYER, TILKEMEYER, OTTENSMEYER und zwar auf VON OEYNHAUSENS Namen. Trotz großzügiger Angebote verkaufte MEYER jun. nicht. Er kündigte das Pachtverhältnis auf. Ein schriftlicher Pachtvertrag war versäumt worden. Eine Eintragung im Hypothekenbuch lag nicht vor. Er hatte gedacht, daß ihm das Bohrloch und die Sole so von allein zufielen und daß nur er allein zu dem Bohrloch Zutritt hätte. Daraufhin sah sich das Finanzministerium gezwungen, ein „Expropriations-Verfahren" (Enteignungsverfahren) einzuleiten. Begründung: Das Bohren oder Schürfen ist ein Bergbau. Es ist eine Lagerstätte aufgeschlossen worden, nämlich ein „Salzsoolengebirge" („Salz in liquider Form"). Es gehe den MEYER gar nichts an, wozu man das Wasser gebrauche. Dieses sei eine Salzquelle und als solche ein sogenanntes Regal.

Dagegen ging der MEYER mit Wort und Tat vor. Es kam zwischen den Parteien mehrfach zu sehr erregten Auftritten (einschließlich Prügeleien, Steinewerfen und Inhaftierung!). Anfänglich gelang es VON OEYNHAUSEN, durch gütliches Zureden MEYER zu beschwichtigen. Dann aber ließ sich der Colon MEYER von KINDERMANN (1846), einem „Winkeladvokaten", zu einem Rechtsstreit verführen. Der Staat gewann den Prozeß. Am 30. Juni 1845 erteilte der Landrat des Kreises Herford die seitens des „Geheimen Bergraths VON OEYNHAUSEN beantragte polizeiliche Concession zur Errichtung einer Badeanstalt in Melbergen".

3.3. Die Entwicklung zum modernen Heilbad (1845–1975)

1845 war die erste Badesaison. Es gab drei Badehäuser mit 46 Wannen. In der Saison 1846 zählte man 777 Badegäste; es wurden etwa 18 000 Bäder abgegeben. Die erste medizinische Werbeschrift über das Bad erschien 1847, verfaßt von dem Badearzt Dr. VON MOELLER. VON OEYNHAUSEN beschreibt darin detailliert die Solebohrung I und ihre Erschließung. „Der ausgebreitete Ruf, den das Soolbad bei Neusalzwerk in der zweijährigen Zeit seines Bestehens erlangt hat, macht eine öffentliche Mittheilung über die Beschaffenheit und den Gebrauch desselben zum dringenden Bedürfnis" (VON OEYNHAUSEN in VON MOELLER 1847).

Die Geschichte des Bades bis 1909 bringt BAEHR (1909) in mosaikartiger Feinarbeit in seiner Bad Oeynhausener Chronik, die 1967 unverändert nachgedruckt wurde und somit gut zugänglich ist.

Vier weitere Solebohrungen sind bis Anfang dieses Jahrhunderts noch abgeteuft worden. Einerseits stieg der Solebedarf ständig an, andererseits nahm die Ergiebigkeit der Solebohrung I, des Oeynhausen-Sprudels, wegen Inkrustation ab. 1871 war das Bohrloch bis 250 m Tiefe vollständig zugewachsen. 25 Jahre lang wurde an dem Bohrloch fast ständig gearbeitet (MORSBACH 1900, TYEDMERS 1954). Der Erfolg war wenig überzeugend. 1895 flossen nur wieder 30 m³/h frei aus.

Die Bohrungen II und III waren von Anfang an Mißerfolge. Sie erreichten wegen technischer Schwierigkeiten nicht die notwendigen Tiefen und hatten nur geringe Ergiebigkeiten. In den Jahren 1871 bis 1895, als die Nutzung der Solebohrung I praktisch ausfiel, wurde jedoch der Badebetrieb ausschließlich aus dem Bohrloch III versorgt; damalige Ergiebigkeit: 15 m^3/h. Später wurden beide Bohrlöcher verschlossen und nicht mehr genutzt. Einzelheiten schildert der damalige Salinen- und Kurdirektor FREYTAG (1876, 1877, 1878). GRAEFF (1875) gibt keine neuen Gesichtspunkte.

Die Bohrungen IV und V verliefen glücklicher. Der Kaiser-Wilhelm-Sprudel war 1898 abgeteuft. Die Ergiebigkeit betrug 96 m^3/h. Hierzu Kurdirektor MORSBACH (1900: 35): „In der Nacht vom 7. auf den 8. Juli war die große Quelle auf Bohrloch IV erschlossen worden — und damit hatte alle Not ein Ende!"

Seine Freude darüber dauerte nicht lange. Die Ergiebigkeit auch dieser Bohrung ließ rasch nach. So wurde 1905/06 die Solebohrung V, die heute noch MORSBACHS Namen trägt (Abb. 7), abgeteuft. Die Schüttung betrug ca. 120 m^3/h, die Temperatur 33,5° C. 1944 wurde dieses Bohrloch aufgewältigt und auf 768 m vertieft. Die Schüttung lag bei 60 m^3/h.

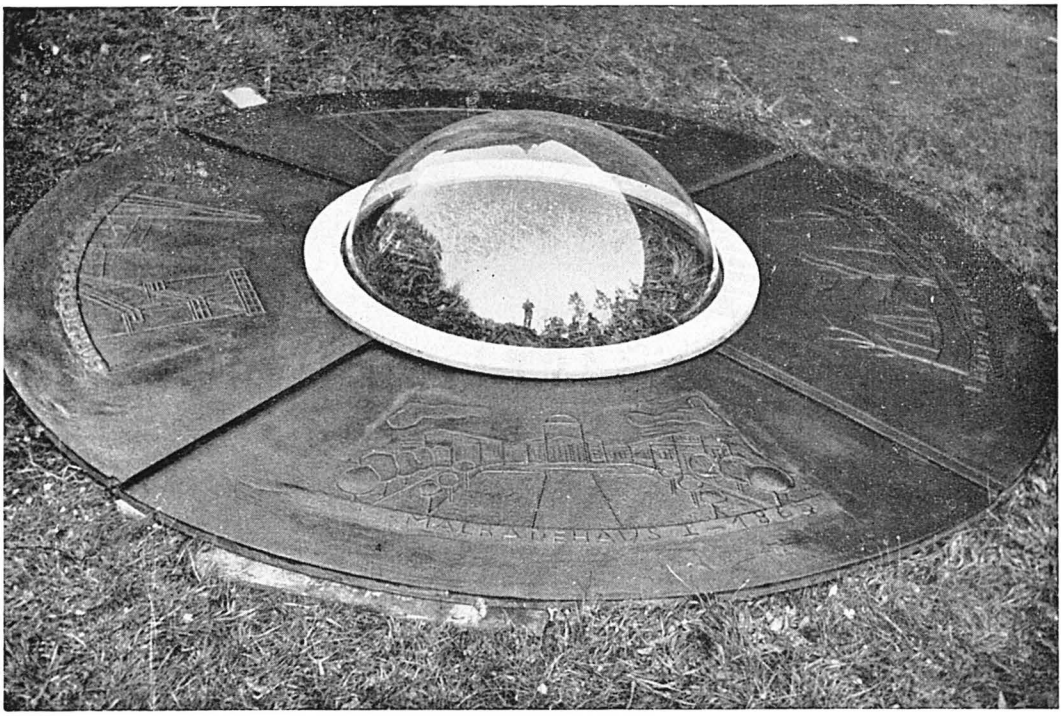


Abb. 7. Morsbach-Sprudel. Abdeckung aus Eisenguß (Klischee Dr. O. BRINKMANN, Bad Oeynhausen).

Die Bedeutung des Bades als Heilbad stieg ständig. 1855 gab es 2145 Gäste (48 000 Bäder), 1907 waren es 16 450 Gäste und 235 000 verabreichte Bäder (BAEHR 1909). Ärztliche Werbeschriften und balneologische Arbeiten aus dieser Zeit gibt es viele. Hingewiesen werden soll nur auf die Abhandlung von ALFTER (1855) und auf eine Schrift des „Vereins zur Hebung und Verschönerung von Bad Oeynhausen" aus dem Jahre 1906.

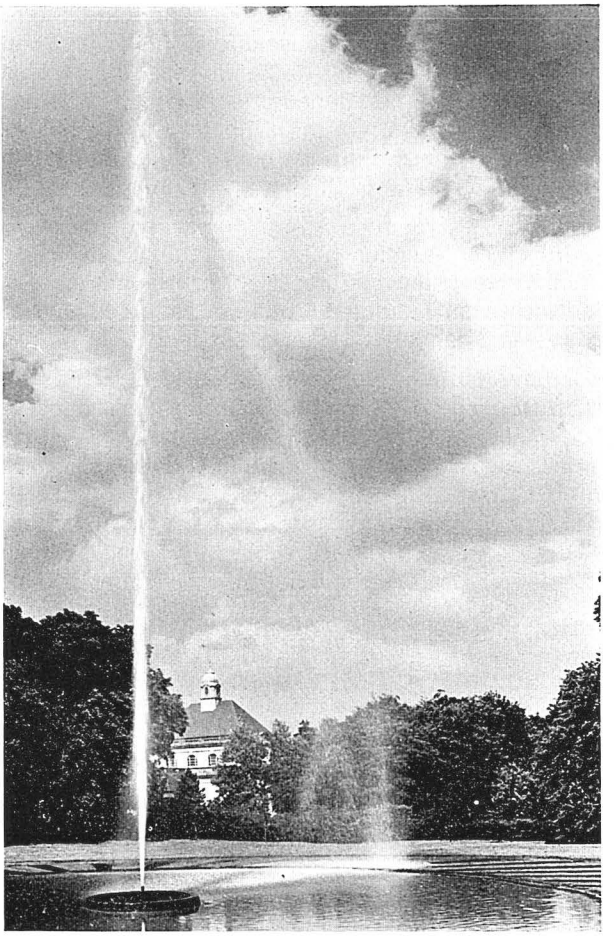


Abb. 8. Jordan-Sprudel

Auch den Morsbach-Sprudel befiel die „Oeynhausener Quellen-Krankheit", er verkrustete (s. LANGGUTH & MICHEL 1977). Deshalb wurde prophylaktisch unter der Leitung von Kurdirektor A. JORDAN, der von Hause aus Bergmann war, Mitte der zwanziger Jahre die 725 m tiefe Solebohrung VI niedergebracht. Die geologische Beratung hatte der Landesgeologe Prof. Dr. A. MESTWERDT. Der Erfolg war einmalig: Mit einer Schüttung von 420 m^3/h bei einer Temperatur von 36° C und einem Druck von 7,2 atü war die größte kohlensäurereiche Thermalsolquelle der Erde erschlossen worden. Sie wurde auf den Namen „Jordan" getauft, und Bad Oeynhausen hatte sein Wahrzeichen (Abb. 8).

Die Kosten für die Erschließung betrugen 340 000 Reichsmark. Bereits in den ersten zehn Betriebsjahren mußten für die Erhaltung, d. h. Reinigung, des Jordan-Sprudels rund 100 000 Reichsmark ausgegeben werden! Diese ständigen Unkosten sind in der Folgezeit geblieben (TYEDMERS 1962). Die oft vertretene Auffassung, daß die Sole das Staatsbad nichts koste, stimmt also nicht. Wie der technische Leiter des Staatsbades, Ing. (grad.) THEO QUINDERS, mir freundlicherweise mitteilte,

werden bei den in Abständen von zwei bis vier Jahren durchzuführenden Reinigungen jeweils bis zu 14 Tonnen Gipskristalle ausgebohrt.

Etwa 150 Jahre lang deckte das Heilbad seinen Bedarf an einer sehr hochprozentigen Sole aus dem Bülow-Brunnen in den Sielanlagen. Dieser wurde 1960 durch die Neue Solquelle (Fricke et al. 1961), seit 1973 Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle genannt, ersetzt.

Die vorerst letzte Bohrung (Tiefe 1034 m) ist der 1973 abgeteufte Alexander-von-Humboldt-Sprudel (Michel 1975). Seine Ergebnisse haben zu dem vorliegenden Band 26 der „Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen" geradezu herausgefordert.

Zum Schluß soll der 6 m tiefe Wittekind-Brunnen nicht unerwähnt bleiben. Zwar kann sein Natrium-Calcium-Chlorid-Wasser durchaus nicht als wohlschmeckend bezeichnet werden; trotzdem ist er bei Ärzten und Patienten wegen seiner Stoffwechselwirkung seit genau 100 Jahren sehr beliebt.

4. Die Heilquellen

4.1. Genutze Heilquellen

Die Lage der genutzten Heilquellen ist aus Abbildung 1 ersichtlich. Einen Überblick vermittelt Tabelle 3.

Allen Solebohrungen Bad Oeynhausens ist eines gemeinsam: Die anfangs große Schüttung läßt verhältnismäßig schnell nach als eine Folge von Gipsinkrustationen im Bohrloch (Abb. 9). Nach dem Ausschaben steigt die Schüttung erneut an, erreicht aber nie wieder die ursprüngliche Höhe und fällt auch bald wieder ab. Die Konzentration bleibt solange unverändert, wie kein Süßwasser zutreten kann, d. h. solange

Tabelle 3

Übersicht über die genutzten Heilquellen von Bad Oeynhausen

Name	Tiefe (m)	Temperatur (° C)	Konzentration (‰)	Mineralwassertyp
Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle	184	13	8,3	Fe- und CO_2-haltige Sole
Oeynhausen-Sprudel (I)	696	30,8	2,9	Fe- und CO_2-haltige Thermalsole
Kaiser-Wilhelm-Sprudel (IV)	684	30,4	3,6	Fe- und CO_2-haltige Thermalsole
Morsbach-Sprudel (V)	765	33,5	4	Fe- und CO_2-haltige Thermalsole
Jordan-Sprudel (VI)	725	35,1	2,5	Fe- und CO_2-haltige Thermalsole
Alexander-von-Humboldt-Sprudel (VII)	1035	36,5	2	Fe- und CO_2-haltige Thermalsole (nach Höll, s. Tab. 4) Fe- und SO_4-haltige Thermalsole (nach Fresenius, s. S. 30)
Wittekind-Brunnen	6	11,1	0,9	Na-Ca-Cl-Wasser

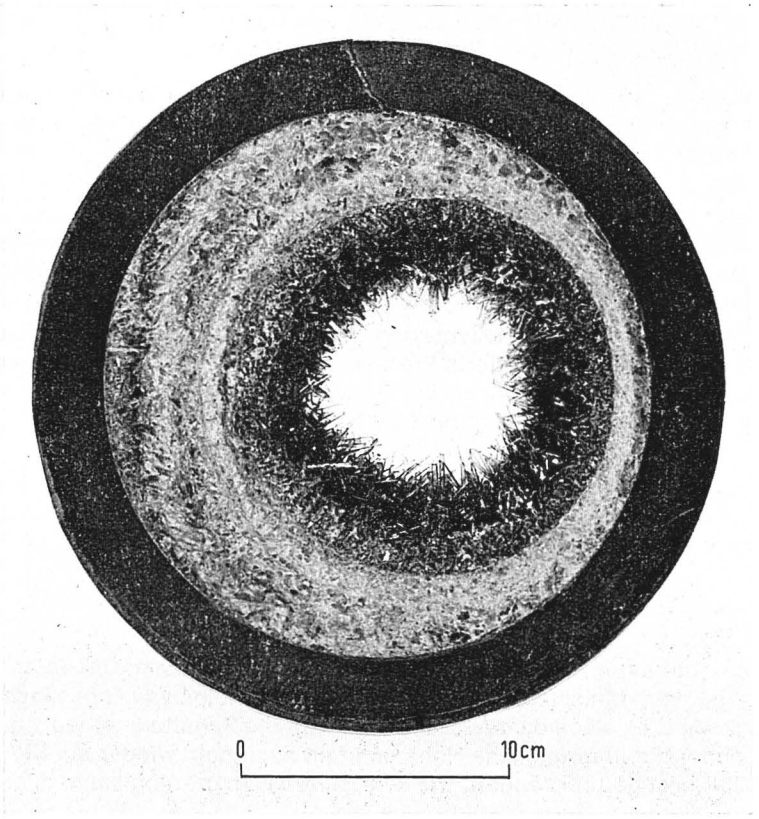


Abb. 9. Gipskristalle in einem Asbestzementrohr

die Holzverrohrungen noch intakt sind. Das langjährige Schüttungsverhalten der Solebohrungen ist aus Abbildung 10 ersichtlich. Ihren Mineralwassertyp — schwach konzentrierte Thermalsolen — haben sie jedoch nicht verändert. Anders verhält es sich beim Wittekind-Brunnen. Er war einst die stärkste Calcium-Chlorid-Quelle der Erde (HARRASSOWITZ 1935). Zwischen 1939 und 1959 ist die Konzentration von ca. 26 g/kg auf 9 g/kg zurückgegangen, und es änderte sich der hydrochemische Typ: Es entstand ein Natrium-Calcium-Chlorid-Wasser. Diese Typveränderung ist wahrscheinlich auf eine in den fünfziger Jahren erfolgte Grundwasserabsenkung bei Baumaßnahmen zurückzuführen.

Die neuesten kleinen Heilwasseranalysen der 1975 in Bad Oeynhausen genutzten Mineralwässer, angefertigt von Prof. Dr. K. HÖLL, Laboratorium für Wasseruntersuchungen, Hannover, sind in der Tabelle 4 (in der Anlage) gegenübergestellt. Es wird darauf verwiesen.

Im folgenden werden die 1975 genutzten Heilquellen stichwortartig charakterisiert, und zwar in folgender Reihenfolge: Erläuterung des Namens, Literaturhinweise, Lage, Tiefe, Zeitdauer der Erschließungs- bzw. Fassungsarbeiten, geologische Position, Art der Fassung und technische Besonderheiten, Leistung bzw. Ergiebigkeit, Temperatur, hydrologische Verhältnisse und Beobachtungen, Hinweise auf chemische Analysen und hydrochemischen Typ, sowie Konzentration und Nutzung.

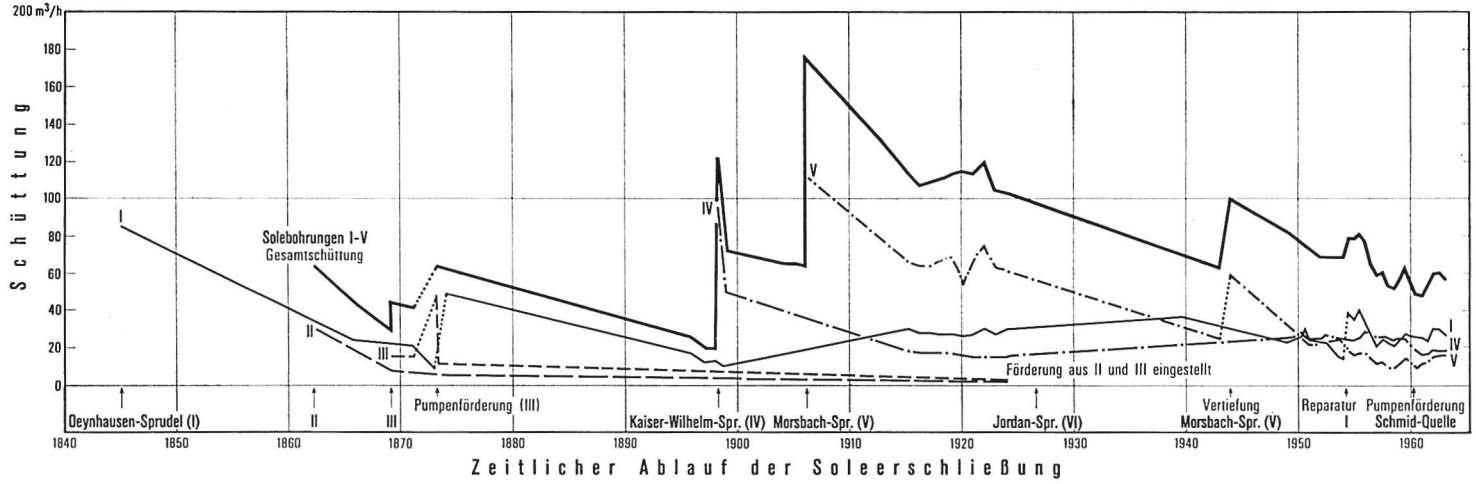


Abb. 10. Schüttungen der Solebohrungen von 1840 bis 1963
(Entwurf Dr. O. DEUTLOFF, Krefeld)

Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle

Name: Dr. med. habil. HANS OTTO SCHMID (s. Taf. 1 und Kap. 6)
Diese Solebohrung wurde früher Neue Solquelle, Bülow-Brunnen II oder Neuer Bülow-Brunnen genannt. Die Taufe auf den jetzigen Namen erfolgte am 25. 8. 1973 durch den Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen W. FIGGEN.

Literatur: FRICKE & KÖHLER & TYEDMERS (1961), KNAUFF (1977)

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 85 970, H 86 070; in den Sielanlagen zwischen der Werre und der Bahnlinie, 48 m über NN

Tiefe: 184,4 m

Abgeteuft: 1959–1960

Geologische Position: Die Bohrung steht im Bereich der Oeynhausener Quellenspalte, einer Verwerfung von großer hydrogeologischer Bedeutung. Bis hundert Meter wurden in verschiedenen Teufen Ruschelzonen und hydrothermale Quarze angetroffen, die – gemeinsam mit relativ hohen Ergiebigkeiten – eindeutig die Störungszone belegen (DIENEMANN & FRICKE 1961: 168). Bis 11,7 m Tiefe stehen pleistozäne Sande und Kiese an. Darunter folgen bis etwa 160 m dunkle Tonsteine und Lias β, α_3 und α_2; bis zur Endteufe dunkle Tonsteine, welche in den Lias α_1 einzustufen sind (KNAUFF 1977). Einzelne Sandsteinbänke sprechen dafür, daß ab etwa 173 m bereits Rhät-Schichten angebohrt wurden.

Fassung: Die Bohrung (419 mm) ist von der Endteufe bis 150 m unter Gelände wieder mit Kies verfüllt worden. Zwischen 30 und 150 m sind 250 mm-OBO-Filter eingebaut, darüber vollwandige OBO-Rohre. Die Bohrung ist von 2 bis 28 m Tiefe durch Zementierung abgedichtet.

Ergiebigkeit: Vom 2.–13. Mai 1960 wurde ein 266-stündiger Pumpversuch durchgeführt. Die Leistung betrug 40 m³/h bei einer Absenkung des Solespiegels von 1,9 auf 9,6 m unter Gelände. 1973 wurden aus der Bohrung ca. 90 000 m³ Sole gefördert.

Temperatur: Die Temperatur der Sole schwankt etwa zwischen 12° und 14° C. Sie lag z. B. während des Pumpversuches im Mai 1960 zwischen 13,2° und 13,8° C. Am 26. April 1969 betrug sie 14,1° C.

Hydrogeologie: In vier verschiedenen Bohrtiefen wurden Zwischenpumpversuche durchgeführt. Die höchsten und konzentriertesten Solezuflüsse erfolgten zwischen 47 und 80 m Tiefe: In einem 80-stündigen Pumpversuch bei einer Absenkung von 1,9 auf 9,8 m unter Gelände wurden 18 m³/h einer 8,6%igen Sole gefördert. Die Schichten unterhalb 95 m Tiefe zeigten bei leicht abnehmender Solekonzentration eine ungleich geringere Ergiebigkeit.

Chemische Analysen: 16. 8. 1961 (K. HÖLL, Hannover, s. TYEDMERS 1962), 26. 4. 1969 (K. HÖLL, Hannover, s. Tab. 4 in der Anlage)

Hydrochemischer Typ: eisen- und kohlensäurehaltige Sole

Konzentration: 8%

Nutzung: Solebäder

Oeynhausen-Sprudel (Thermalsprudel I)

Name: Carl Ludwig August Freiherr von Oeynhausen (s. Taf. 1 und Kap. 6)

Literatur: von Oeynhausen (1848), von Moeller (1847), von Humboldt (1845, 1858, 1889), Liesenhoff (1895), Freytag (1876, 1877, 1878), Morsbach (1900), Tyedmers (1954, 1962), Hoffmann (1959), Köhnen (1965)

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 85 920, H 85 250; im Kurpark neben dem Badehaus IV, 70,5 m über NN

Tiefe: 696,4 m

Abgeteuft: 14. April 1830 bis 30. November 1845

Geologische Position: Die Bohrung steht im Bereich des Oeynhausener Quellensattels. Als Mineralwasserleiter wird der Kalkstein des Unteren Muschelkalks angegeben (Mestwerdt 1919).

Fassung: Die Erbohrung des Thermalsprudels I ist ein Meilenstein in der Geschichte der Tiefbohrtechnik (Hoffmann 1959). Die besonderen Verdienste von Oeynhausens an der Entwicklung der Tiefbohrgeräte werden eingehend von Tyedmers (1954, 1962) beschrieben und mit vielen Abbildungen belegt. Da das Bohrloch schon sehr bald und immer wieder inkrustierte (Fricke 1972) und damit auch rapide in der Schüttung nachließ, mußte es öfters mit Fräsern ausgeschabt werden. 1953 gelang es noch, das Bohrloch bis 566 m Tiefe mit einem Durchmesser von 135 mm freizulegen.

1895 war das Bohrloch noch bis 603 m Tiefe mit ausgebohrten Eichenstämmen verrohrt. Der untere Teil des Bohrloches war damals schon verstürzt. Abgebrochenes Gestänge war ebenfalls im Bohrloch verblieben.

Ergiebigkeit: 1845 flossen etwa 100 m^3/h Sole artesisch aus. Bereits wenige Jahre nach Beendigung der Bohrarbeiten ließ die Schüttung nach. Nach der ersten Aufwältigung, die 25 Jahre dauerte, betrug 1895 die Ergiebigkeit noch 30 m^3/h. Diese Menge wurde auch 1953 wieder erreicht. 1970 konnten noch etwa 20 m^3/h entnommen werden.

Höchste gemessene Temperatur: 33,3° C (1895)

Hydrogeologie: Einige hydrogeologische Beobachtungen, die während des Abteufens gemacht wurden, sind überliefert:

bis 140 m Tiefe im Lias geringe Süßwasserzuflüsse
bei 150 m Tiefe im Rhät Zufluß einer gering konzentrierten Sole mit erhöhter Temperatur
bei 516 m Tiefe im Hauptdolomit des Unteren Keupers Zuflüsse von 18 m^3/h mit 26,25° C
bei 522 m Tiefe Steigerung auf 33 m^3/h
bei 612 m Tiefe im Unteren Muschelkalk 80 m^3/h und 31,25° C
bei 678 m Tiefe ca. 110 m^3/h

Bei der Endteufe von 696 m flossen schließlich etwa 100 m^3/h 4,5%ige Sole mit 33,13° C aus.

Chemische Analysen: um 1840 (Brandes, Bad Salzuflen, s. Witting 1843 : 56), 1895 (R. Finkener, Berlin, s. Verein zur Hebung und Verschönerung von Bad Oeynhausen 1906 und Deutsches Bäderbuch 1907), 4. 7. 1939 (Preuß. L.-Anst. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, s. Dienemann & Fricke 1961), 24. 4. 1969 (K. Höll, Hannover, s. Tab. 4 in der Anlage)

Hydrochemischer Typ: eisen- und kohlensäurehaltige Thermalsole

Konzentration: 4%

Nutzung: Solebäder, Trinkkur

Kaiser-Wilhelm-Sprudel (Thermalsprudel IV)

Name: Kaiser WILHELM I. (s. Kap. 6)

Literatur: LEICHTLE (1974, 1977), MORSBACH (1900), MESTWERDT 1919)

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 85 850, H 85 210; im Kurpark am Rosengarten, 73 m über NN

Tiefe: 684 m

Abgeteuft: November 1896 bis Juli 1898

Geologische Position: Die Bohrung steht an der Südflanke des Oeynhausener Quellensattels. Mineralwasserleiter ist der Kalkstein des Unteren Muschelkalks (MESTWERDT 1919)

Fassung: Holzverrohrung; erhebliche Schwierigkeiten beim Abteufen durch „hartes" Gestein, Gestängebrüche, Nachfall usw.; heutiger Zustand der Verrohrung nicht bekannt; starke Gipsinkrustation

Ergiebigkeit: 1898 96 m³/h artesischer Auslauf
1899 50 m³/h artesischer Auslauf
1973 5 m³/h artesischer Auslauf

Höchste gemessene Temperatur: 33,4° C (1895)

Hydrogeologie: In verschiedenen Tiefen floß während des Abteufens Sole zu, so an den Grenzen Mittlerer/Unterer Keuper bei 508 m, Unterer Keuper/Oberer Muschelkalk bei 545 m und Oberer/Mittlerer Muschelkalk bei 587 m (25 m³/h). Im Unteren Muschelkalk erhöhten sich die Werte erheblich. Bei Endteufe betrug die Schüttung 96 m³/h.

Chemische Analysen: 1899 (R. FINKENER, Berlin, s. Verein zur Hebung und Verschönerung von Bad Oeynhausen 1906; Deutsches Bäderbuch 1907), 7. 2. 1930 (Preuß. L.-Anst. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, s. DIENEMANN & FRICKE 1961), 28. 10. 1959 (K. HÖLL, Hannover, s. DIENEMANN & FRICKE 1961), 26. 4. 1969 (K. HÖLL, Hannover, s. Tab. 4 in der Anlage)

Hydrochemischer Typ: eisen- und kohlensäurehaltige Thermalsole

Konzentration: 3,5%

Nutzung: Solebäder

Morsbach-Sprudel (Thermalsprudel V)

Name: ADOLPH MORSBACH (s. Taf. 1 und Kap. 6)

Literatur: MESTWERDT (1919), TYEDMERS (1962)

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 85 840, H 85 170; Kurpark am Westkorso, 73 m über NN

Tiefe: 1906: 713,8 m
1944: 768,69 m

Abgeteuft: 1905 bis 1906; vertieft 1944

Geologische Position: Die Bohrung steht im Bereich der Südflanke des Oeynhausener Quellensattels. Mineralwasserleiter ist der Muschelkalk.

Fassung: Holzverrohrung bis 76,35 m Tiefe 240 mm Innendurchmesser, bis 708 m Tiefe 225 mm Innendurchmesser, bis Endteufe ohne Ausbau

Ergiebigkeit: 1906 114 m^3/h (bei 713 m Tiefe)
1943 24 m^3/h
1944 60 m^3/h (nach Vertiefung)
1969 10 m^3/h

Höchste gemessene Temperatur: 35° C (1944)

Hydrogeologie: Bereits in 85,5 m Tiefe floß aus dem Lias eine 4%ige Sole zu. Ein hydraulischer Zusammenhang zum Thermalsprudel I bestand bereits in dieser Tiefe. Der Ausfluß versiegte, wenn der Thermalsprudel I geöffnet wurde. Auch im Steinmergelkeuper (245,5 m) trat nur dann ein Ausfluß auf (9,6 m^3/h), wenn Sprudel I geschlossen wurde. In den weiteren Teufen wurden folgende Zuflüsse gemessen (nach Dienemann & Fricke 1961):

bei 298 m	(Mittlerer Keuper)	12 m^3/h
bei 494 m	(Mittlerer Keuper)	17 m^3/h
bei 535 m	(Oberer Muschelkalk)	17 m^3/h
bei 610 m	(Mittlerer Muschelkalk)	14 m^3/h
bei 718,8 m	(Unterer Muschelkalk)	114 m^3/h

Chemische Analysen: 20. 11. 1924 (Preuß. L.-Anst. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, s. Dienemann & Fricke 1961), 19. 7. 1956 (Institut Fresenius, Taunusstein, s. Tyedmers 1962), 26. 4. 1969 (K. Höll, Hannover, s. Tab. 4 in der Anlage)

Hydrochemischer Typ: eisen- und kohlensäurehaltige Thermalsole

Konzentration: 4,3%

Nutzung: Solebäder

J o r d a n - S p r u d e l (Thermalsprudel VI)

Name: Albert Jordan (s. Taf. 1 und Kap. 6)

Literatur: Dienemann (1939), Dienemann & Fricke (1961)

Lage: TK 25, Blatt 3818 Herford-Ost, R 86 130, H 84 890; Kurpark am Südkorso, 80 m über NN

Tiefe: 725 m

Abgeteuft: November 1924 bis Juli 1926

Geologische Position: Die Bohrung steht an der Südwestflanke des Oeynhausener Quellensattels. Mineralwasserleiter ist der Mittlere Buntsandstein (geologisches Profil bei Dienemann & Fricke 1961: 164).

Fassung: Die Bohrung VI wurde mit einem größeren Durchmesser als bisher niedergebracht. Das obere Standrohr hatte einen Durchmesser von 705 mm. Dann wurde mit einem Meißeldurchmesser von 670 mm weitergebohrt und bei 58 m wegen starkem Nachfall ein zweites Schutzrohr (645 mm ⌀) eingefahren. Bis 224 m wurde mit 610 mm ⌀ gebohrt. Zur Absperrung der Süßwasserzuflüsse in 70, 90 und 195 m Tiefe (bis 360 m^3/h) wurden Sand und Zement eingepumpt. Insgesamt wurden 100 t Zement eingebracht, die dann wieder durchbohrt wurden und zwar bis 247 m mit einer Meißelbreite von 610 mm. Nach Einbau einer neuen Rohrtour wurde bis 524 m mit 490-mm-Meißel weitergebohrt. In dieser Teufe wurde mit dem Durchmesser abgesetzt, um einen Halt für die spätere Holzverkleidung zu erhalten und mit 385 mm ⌀ weitergebohrt. Zur Abstützung des starken Nachfalls wurde von 536 – 556 m ein Kupferrohr von 315 mm ⌀ eingebaut und bis 562 m

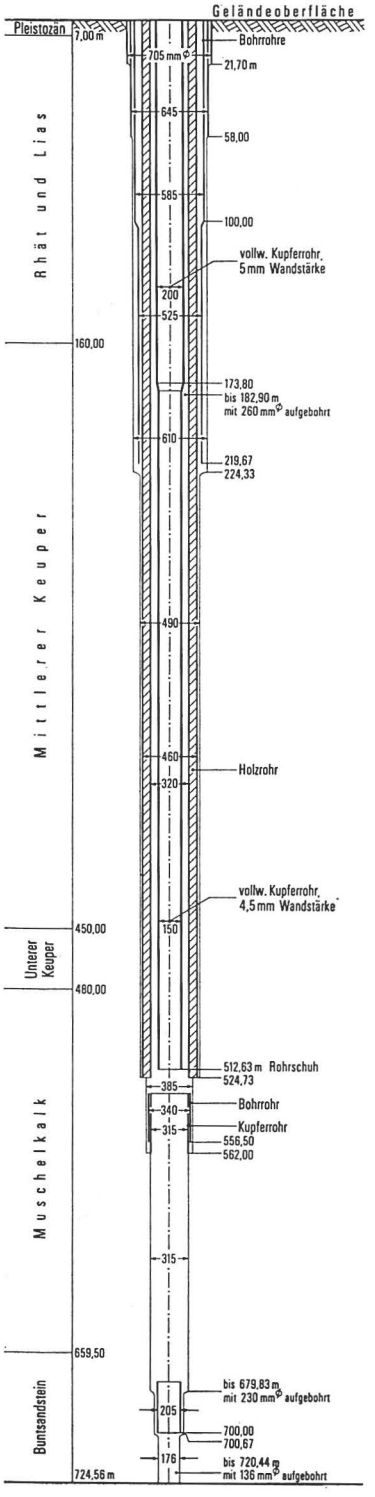


Abb. 11. Jordan-Sprudel. Ausbau des Bohrloches und Schichtenfolge.

mit einem Meißeldurchmesser von 315 mm weitergebohrt. Die weiteren Durchmesser bis zur Endteufe waren: bis 700,67 m Tiefe = 185 mm, bis 724,56 m Tiefe = 157 mm. Zum Einbau einer verlorenen Rohrfahrt von 25,9 m Länge bei 205 mm ⌀ wurde das Bohrloch von 700,67 m Tiefe an entsprechend erweitert. Die Holzverrohrung mit einem inneren Durchmesser von 320 mm und einem äußeren von 460 mm wurde bis 524 m Tiefe eingebaut. Der Zwischenraum Holzrohre/eiserne Schutzrohre wurde zementiert (nach DIENEMANN & FRICKE 1961: 172).

An den Holzrohren bilden sich in relativ kurzen Zeiträumen Gipskristalle. Damit kommt es zu Querschnittsverengungen und rapidem Nachlassen der Schüttung. In den ersten 25 Jahren wurde der Jordan-Sprudel in Abständen von zwei bis vier Jahren von einer Spezialfirma gereinigt. Die Rohrtouren verkrusteten im Laufe der Jahre wesentlich schneller und wurden seit 1960 jährlich von Arbeitskräften des Staatsbades ausgekratzt und gereinigt. Die Kosten pro Reinigung betrugen etwa 32 000 DM, der Zeitaufwand etwa 8 Wochen. Die Nutzung der Thermalsole erfolgte während dieser Zeit provisorisch unter erheblichem technischem Aufwand.

1972 wurde das Bohrloch erneut von der Firma H. Anger's Söhne bis 720,44 m Tiefe aufgewältigt, und zwar betrugen die Fräsdurchmesser bis 182,9 m 260 mm, bis 679,83 m 230 mm und bis 720,44 m 136 mm. Bis 512,63 m Tiefe wurden vollwandige Kupferrohre eingebaut, und zwar bis 173,8 m mit einem Durchmesser von 200 mm, im unteren Abschnitt von 150 mm Durchmesser (Abb. 11). Auch diese Rohrtour zeigte bald die typischen Inkrustationserscheinungen und wurde im Frühjahr 1976 schon zum zweitenmal ausgeschabt.

Ergiebigkeit: 1926: 420 m^3/h Thermalsole, Steighöhe 52 m; Förderung 1973 500 000 m^3.

Höchste gemessene Temperaturen: 36° C (1926); 35,1° C (4. 2. 1930); 35,7° C (26. 4. 1969)

Hydrogeologie: Im Lias wurde Süßwasser erschlossen, und zwar bei 39 m 1,2 m^3/h, bei 70 m 1 m^3/h, bei 98 m 1,2 m^3/h und im Steinmergelkeuper bei 154 m ca. 360 m^3/h (!). Die erste Sole (2,3%) wurde im Unteren Gipskeuper (km1) bei 430 m Teufe mit 6 m^3/h angetroffen. In den weiteren Teufen wurden folgende Zuflüsse gemessen (nach DIENEMANN & FRICKE 1961 : 167):

bei 443 m	(Mittlerer Keuper)	6 m^3/h 4%ige Sole
bei 533 m	(Unterer Keuper)	12 m^3/h 4%ige Sole
bei 639 m	(Muschelkalk)	40 m^3/h 4%ige Sole
bei 697 m	(Oberer Buntsandstein)	64 m^3/h Sole
bei 725 m	(Mittlerer Buntsandstein)	420 m^3/h 2%ige Sole

Als die Kluft bei 725 m angebohrt wurde und 420 m^3 Sole frei ausliefen, ging die Schüttung der Bohrungen I, IV und V insgesamt um ca. 18 m^3/h zurück.

Chemische Analysen: 4. 2. 1930 (Preuß. L.-Anst. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, s. DIENEMANN & FRICKE 1961), 28. 10. 1959 (K. HÖLL, Hannover, s. DIENEMANN & FRICKE 1961), 26. 4. 1969 (K. HÖLL, Hannover, s. Tab. 4 in der Anlage)

Hydrochemischer Typ: eisen- und kohlensäurehaltige Thermalsole

Konzentration: 2,5%

Nutzung: Bewegungsbad und Solebäder

Alexander-von-Humboldt-Sprudel (Thermalsprudel VII)

Name: ALEXANDER VON HUMBOLDT (s. Taf. 2 und Kap. 6)

Literatur: LEICHTLE (1974), MICHEL (1975), Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26** (1977)

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200; im Kurpark südlich des Theaters, 71 m über NN

Tiefe: 1034 m

Abgeteuft: Oktober 1972 bis Juli 1973

Geologische Position: Die Bohrung steht im Oeynhausener Quellensattel. Mineralwasserleiter ist der Mittlere Buntsandstein. Das geologische Profil ist eingehend bearbeitet von MICHEL (1977 b), KNAUFF (1977), SANDER (1977) und SCHERP (1977).

Fassung: Stahlrohre NW 273 mm ϕ bis 673,4 m Tiefe einzementiert; Hagusta-Rohre NW 160 mm ϕ bis 632,4 m Tiefe mit Führungskörben eingebaut und mit Packer gegen die Stahlrohre NW 273 mm ϕ abgedichtet; bis 1034 m Bohrloch NW 244,5 mm ϕ unausgebaut (MICHEL 1977 a).

Ergiebigkeit: 200 m³/h bei freiem Auslauf, Schließdruck 8 bar

Temperatur: am 30. 7. 1973 (Firma Schlumberger) auf Bohrlochsohle 44° C, am Auslauf 36,8° C

Hydrogeologische Beobachtungen: vergl. LANGGUTH & LEICHTLE (1977)

Chemische Analysen: 10. 9. 1973 (K. HÖLL, Hannover, s. Tab. 4 in der Anlage), 17. 12. 1974 (Institut Fresenius, Taunusstein, s. LANGGUTH & MICHEL 1977)

Hydrochemischer Typ: „eisen- und sulfathaltige Thermalsole" bzw. „eisenhaltige Natrium-Chlorid-Sulfat-Therme" (nach Fresenius)

Konzentration: 2,3‰

Nutzung: seit Sommer 1974 für Bewegungsbad und Solebäder

Wittekind-Brunnen

Name: WITTEKIND (andere Schreibweise für WIDUKIND) (s. Kap. 6)

Literatur: HARRASSOWITZ (1935)

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 070, H 35 460; Nordostteil des Kurparks, zwischen Badehaus I und Kurverwaltung, 64 m über NN

Tiefe: 6 m

Gefaßt: wahrscheinlich 1876; später saniert und neu gefaßt

Geologische Position: Geschiebelehm über Lias-Tonstein

Fassung: Brunnenschacht aus Betonringen

Leistung: 0,04 m³/h. Von Oktober 1972 bis September 1973 – also in 12 Monaten – wurden lediglich 130 m³ für Trinkkuren gepumpt.

Temperatur: schwankt jahreszeitlich; sie betrug z. B. 11,1° C am 21. November 1921 und 15,3° C am 26. April 1969

Hydrogeologie: Der Brunnen soll im Jahre 1876 auf der Suche nach Süßwasser gefunden worden sein. Es handelte sich nach HARRASSOWITZ (1935) und MESTWERDT (unveröff. Notiz 1936) um die stärkste Calcium-Chlorid-Quelle Deutschlands. Später ging die Konzentration zurück, auch der hydrochemische Typ änderte sich (Tab. 5). Im Deutschen Bäderbuch (1907) wird dieser Brunnen noch nicht genannt. Er wird erst seit etwa 1925 für Trinkkuren genutzt.

Chemische Analysen: 21. 11. 1924 (Preuß. L.-Anst. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, s. HARRASSOWITZ 1935), 7. 6. 1939 (Medizinaluntersuchungsstelle Bad Oeynhausen), 2. 12. 1959 (K. HÖLL, Hannover, s. DIENEMANN & FRICKE 1961), 26. 4. 1969 (K. HÖLL, s. Tab. 4 in der Anlage); Änderung des hydrochemischen Typs zwischen 1924 und 1969 (vergl. Tab. 5)

Hydrochemischer Typ: Natrium-Calcium-Chlorid-Wasser

Konzentration: 0,9%

Nutzung: Trinkkuren

Tabelle 5

Chemische Analysenergebnisse (Hauptbestandteile) vom Wittekind-Brunnen

Analysen-Nr.	1		2		3		4	
Entnahmedatum	21. 11. 1924		7. 6. 1939		2. 12. 1959		26. 4. 1969	
	mg/kg	mval %	mg/kg	mval %	mg/kg	mval %	mg/kg	mval %
K^+	79	0,5	76	0,4	7	0,1	4	0,1
Na^+	1866	18,1	2027	18,6	1860	48,9	1715	49,0
Ca^{2+}	5993	66,6	6204	66,3	1458	43,7	1268	41,6
Mg^{2+}	804	14,8	837	14,7	146	7,3	171	9,3
Cl^-	15120	94,9	15412	94,0	5017	85,3	4432	82,2
SO_4^{2-}	934	4,3	1200	5,4	904	10,6	900	12,3
HCO_3^-	215	0,8	185	0,6	412	4,1	503	5,5
gelöste feste Bestandteile	25058		25972		10074		9015	
freies CO_2	129		?		237		387	
Mineralwassertyp	Ca–Cl		Ca–Cl		Na–Ca–Cl		Na–Ca–Cl	

4.2. Aufgegebene Heilquellen

Im folgenden werden die wichtigsten Daten der drei aufgegebenen Solebohrungen genannt:

Thermalsprudel II

Literatur: FREYTAG (1876, 1877, 1878), LIESENHOFF (1895), MORSBACH (1900), MESTWERDT (1919)

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 265, H 85 265; an der Ostseite des Kurparks in der Nähe der heutigen evangelischen Kirche, 330 m östlich Thermalsprudel I

Tiefe: 654,93 m

Abgeteuft: 1857 bis 1862

Mineralwasserleiter: Muschelkalk

Ergiebigkeit: 7,5 m^3/h

Temperatur: 24,2° C

Thermalsprudel III

Literatur: s. Thermalsprudel II

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 050, H 85 210

Tiefe: 626,76 m

Abgeteuft: 1865 bis 1869

Mineralwasserleiter: Unterer Muschelkalk

Ergiebigkeit: 15 m^3/h

Temperatur: 27,5° C

Bülow-Brunnen

Name: HANS Graf VON BÜLOW (s. Kap. 8)

Literatur: FUNK (1809), BISCHOF (1847), TYEDMERS (1962)

Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 85 830, H 86 130; in den Sielanlagen zwischen Werre und Bahnlinie (s. Abb. 2)

Tiefe: 79 m (andere Angaben: 100 m)

Abgeteuft: 1806

Mineralwasserleiter: Klüfte im Lias-Tonstein

Ergiebigkeit: keine Angaben

Temperatur: 16,3° C

Chemische Analysen: 4. 7. 1939 (Preuß. L.-Anst. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, s. DIENEMANN & FRICKE 1961), 2. 12. 1960 (K. HÖLL, Hannover, s. DIENEMANN & FRICKE 1961)

Konzentration: 9‰

Nutzung: Salzgewinnung, Badesole

4.3. Heilquellenschutz

Zum Schutze der Mineralquellen des Bades Oeynhausen war bereits durch Polizeiverordnung des Königlichen Oberbergamtes vom 19. 11. 1902 (Amtsblatt S. 405) sowie durch Polizeiverordnung des Regierungspräsidenten in Minden vom 3. August 1903 (Amtsblatt S. 267) ein Schutzbezirk ausgewiesen worden. Nach Inkrafttreten des Quellenschutzgesetzes vom 14. Mai 1908 (GS. S. 105) hatten die genannten Polizeiverordnungen ihre Wirksamkeit verloren.

Im Jahre 1909 wurden die Mineralquellen als gemeinnützig anerkannt.

Durch Verordnung des Regierungspräsidenten Minden – IP 6956 – vom 27. Oktober 1910 und des Königlichen Oberbergamtes Dortmund – I 14643 – vom

10. November 1910 wurde ein neuer Schutzbezirk für die „Mineral- und Thermalquellen des Königlichen Bades Oeynhausen" festgesetzt (Amtsblatt für den Reg.-Bez. Minden 1910, Nr. 47).

Diese Verordnung wurde am 1. September 1974 aufgehoben, weil am gleichen Tage die neue ordnungsbehördliche Verordnung (Az: 64–1 85 2409/B1) zur Festsetzung eines gemeinsamen Quellenschutzgebietes „Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen" für die staatlich anerkannten Heilquellen von Bad Oeynhausen, Kreis Minden-Lübbecke, und Bad Salzuflen, Kreis Lippe – Quellenschutzgebietsverordnung Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen – vom 16. Juli 1974 in Kraft trat, und zwar aufgrund der §§ 24, 25 und 26 des Wassergesetzes für das Land Nordrhein-Westfalen (Landeswassergesetz – LWG –) vom 22. Mai 1962 (GV.NW. S. 235/SGV.NW. 77) in der derzeit gültigen Fassung in Verbindung mit § 19 des Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG –) vom 27. Juli 1957 (BGBl. I S. 1110) sowie der §§ 27, 29–37 des Gesetzes über Aufbau und Befugnisse der Ordnungsbehörden – OBG –) vom 28. Oktober 1969 (GV.NW. S. 732/SGV.NW. 2060) im Einvernehmen mit dem Landesoberbergamt Nordrhein-Westfalen in Dortmund. Diese ordnungsbehördliche Verordnung wurde im Amtsblatt für den Regierungsbezirk Detmold veröffentlicht (159; Nr. 34: 286–292, 1 Kt. 1 : 50 000, Detmold, 26. August 1974).

5. Geologisch-hydrogeologischer Rahmen

Die Vorstellungen über den geologischen Bau der Umgebung von Bad Oeynhausen gehen auf Mestwerdt (1915, 1919) zurück. Sie sind recht plausibel und Schichtenfolgen aller späteren Tiefbohrungen lassen sich darin einpassen: Die Sattelstruktur des Oeynhausener Quellensattels – etwa parallel des Hauptzuges der Piesberg – Pyrmonter Achse verlaufend – ist durch streichende Verwerfungen scheibenförmig zerlegt. Dies erklärt auch den Mineralwasserreichtum der an sich kaum grundwasserführenden Lias-Schichten (Typ Wittekind-Brunnen).

Die markanteste Verwerfung ist die Oeynhausener Quellenspalte, welche in Vlotho aufgeschlossen ist (Mestwerdt 1915). Die Sprunghöhe beträgt dort mindestens 80 m. In der 184 m tiefen Bohrung der Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle wurde relativ oberflächennah in den Lias-Tonsteinen eine Störungszone durchfahren, welche als die Oeynhausener Störungszone angesehen wird (Fricke & Köhler & Tyedmers 1961). Aufgrund dieser Vorstellungen und der Beobachtungen beim Abteufen des Alexander-von-Humboldt-Sprudels wurde ein schematischer Schnitt entworfen (Abb. 12), der von dem bisherigen Standardschnitt (Mestwerdt 1919, Dienemann 1939, Dienemann & Fricke 1961) in Richtung und Deutung etwas abweicht.

Es ist andererseits auch nicht auszuschließen, daß die Solezufuhr an Querstörungen gebunden ist, die – wie der Vlothoer Horst – der Süd – Nord-Richtung folgen. Diesem Gedankengang ist bisher noch nicht nachgegangen worden; er wird aber in die späteren Diskussionen eingehen müssen.

Auf eine ältere referierende Zusammenschau über die Mineralwasservorkommen von Bad Oeynhausen, Bad Salzuflen und Bad Pyrmont von Frebold (1929) wird lediglich aus historischem Interesse hingewiesen.

Der weitere hydrogeologische Rahmen der Mineralwasserprovinz Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen ist vor allem durch die umfassenden Untersuchungen Deutloffs (1974) abgesteckt (Abb. 13). Es erübrigt sich, hier auf Einzelheiten einzugehen. Seine Arbeit bedarf eines eingehenden Studiums. 1969 war vorab schon

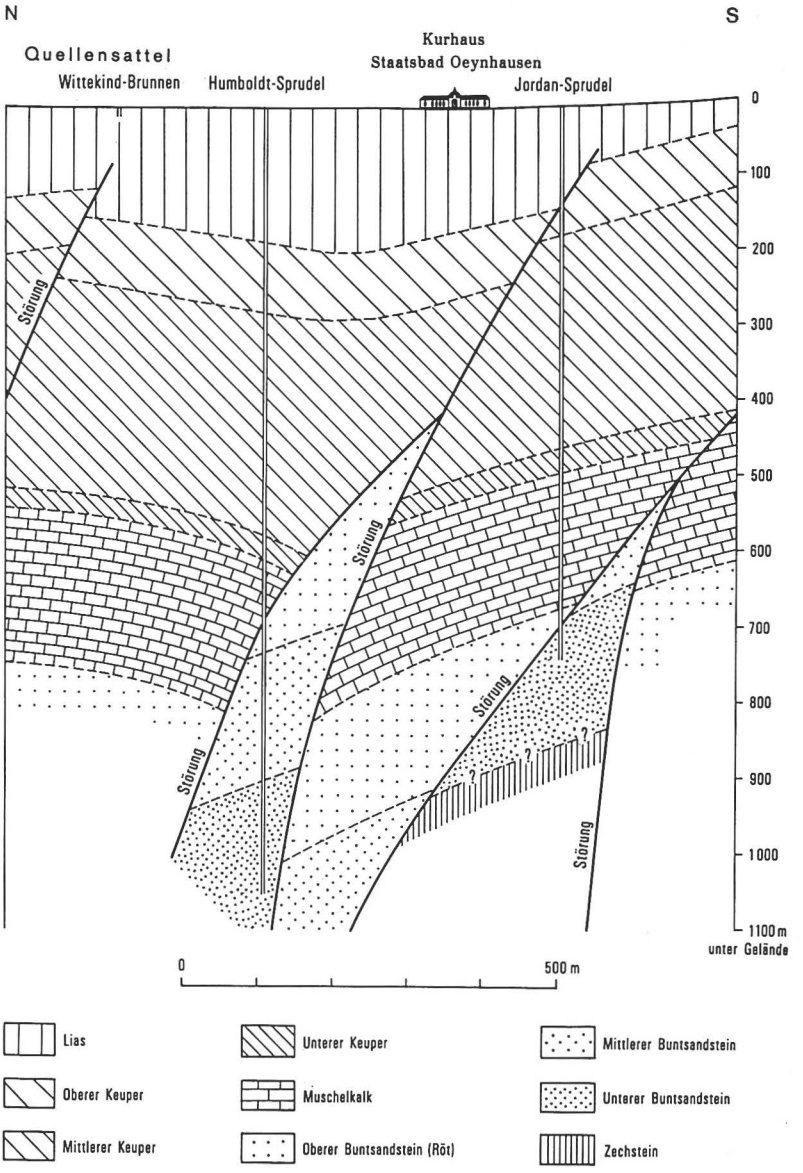


Abb. 12. Geologischer Schnitt durch den Untergrund von Bad Oeynhausen

eine Studie über den Wasserhaushalt der Mineralwässer dieses Raumes erschienen (DEUTLOFF & KARRENBERG 1969). Das Problem einer rezenten Soleneubildung durch Auslaugung von Zechstein-Salzen konnte jedoch dabei nicht geklärt werden. Zu berücksichtigen ist dabei, daß seit vielen Jahren die natürlichen Vorgänge künstlich beschleunigt und verstärkt werden. Andererseits kann jedoch die Zuordnung der Sole zum Zechstein-Salinar als gesichert angesehen werden (MICHEL & NIELSEN 1977). Das Lösungsmittel Wasser ist sehr alt (GEYH & MICHEL 1977). Bei der „jungfräulichen" Sole des Alexander-von-Humboldt-Sprudels wurde die von der Methode gegebene Grenze von 30 000 bis 35 000 Jahren vor heute erreicht.

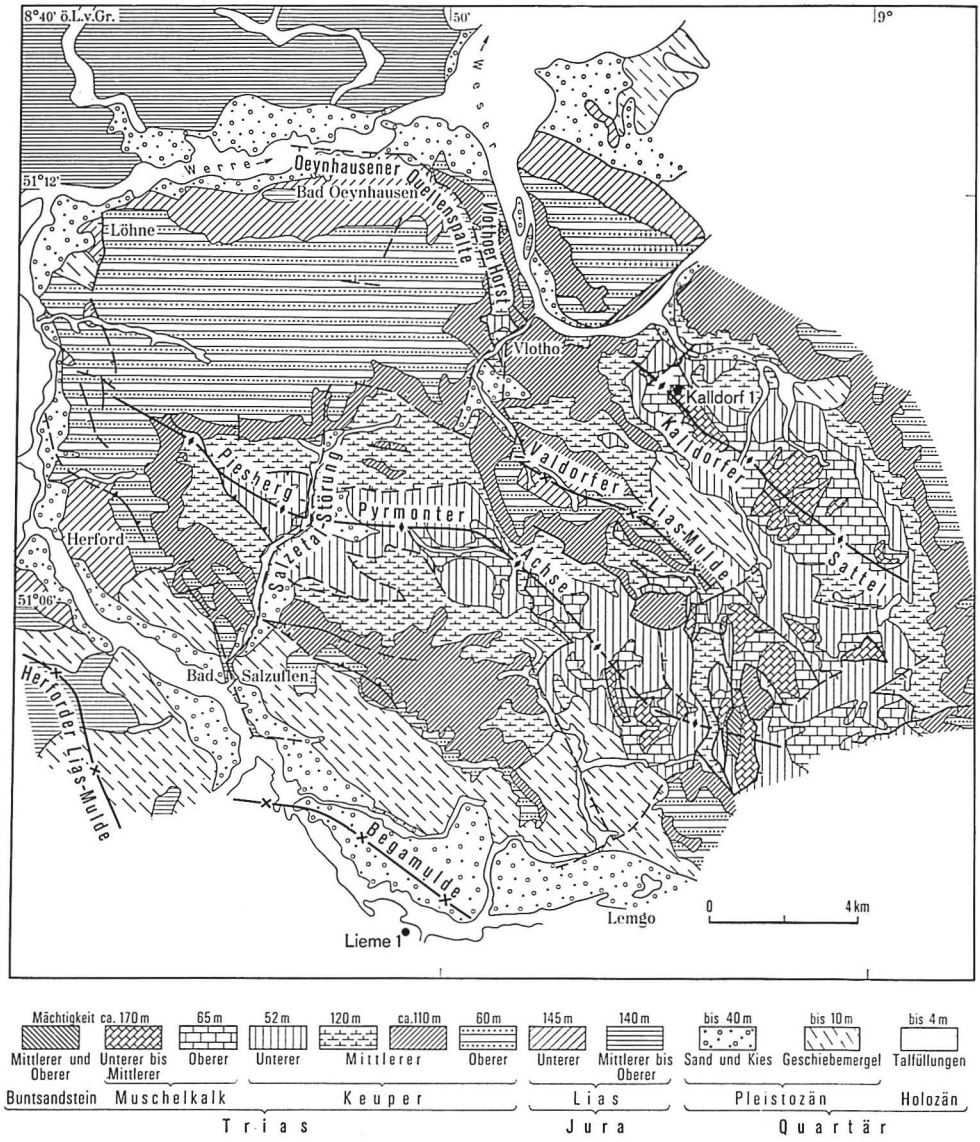


Abb. 13. Geologische Übersichtskarte (nach DEUTLOFF & KARRENBERG 1969 : Abb. 1)

Zusammenfassend wird aus der Sicht des Balneogeologen festgehalten: Die geologischen Beobachtungen ermöglichen die Konstruktion eines Profils, welches in Abbildung 12 wiedergegeben ist. Der Lösungsinhalt der Sole stammt aus dem Zechstein. Die gelöste freie Kohlensäure wird als postvulkanische Erscheinung der tertiären magmatischen Aktivität zugerechnet. Das Lösungsmittel Wasser ist zwar alt, dürfte aber trotzdem am Wasserkreislauf teilnehmen und nicht juvenil sein. Die Temperatur der Sole ist von der geothermischen Tiefenstufe abhängig. Wärmeanomalien sind nicht bekannt. Mineralwasserleiter sind die Gesteinspartien des Mittleren Buntsandsteins und des Muschelkalks. Aufstiegsbahnen sind tiefreichende Verwerfungs- und Kluftzonen, am bedeutsamsten die Oeynhausener

Quellenspalte und die sie begleitenden Nebenspalten. Über die Größe der nutzbaren Solereserve und über die Grenzen des Vorkommens wissen wir trotz der vielen Untersuchungen aber doch noch recht wenig.

6. Biographische Notizen

Diese Notizen sind durchaus subjektiv und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Aufgezählt sind Persönlichkeiten, die eine enge Beziehung zu Bad Oeynhausen bzw. zum Alexander-von-Humboldt-Sprudel haben. Wenn nicht besonders vermerkt, sind die Lebensdaten der Brockhaus Enzyklopädie (1966–1976) entnommen und teilweise ergänzt worden nach POGGENDORF (1863–1904).

ALTHANS, CARL FRIEDRICH, 1788–1864, Oberbergrat, Leiter der Sayner Hütte bei Koblenz, für das gesamte Maschinenwesen der staatlichen Werke im Oberbergamtsbezirk Bonn verantwortlich.
ALTHANS hat sich durch zahlreiche Neuerungen und Erfindungen in der Technik einen Namen gemacht. Er hat unter anderem auch ein eigenes Seilbohrgerät entwickelt und mit ihm verschiedene Bohrungen erfolgreich niedergebracht. Bei der 165 m tiefen Bohrung Ehrenbreitstein (1837–1838 wurde von ihm erstmals ein Eisenbandseil anstelle des Hanfseils verwandt (HOFFMANN 1959).

BRONGNIART, ALEXANDRE, 5. 2. 1770 – 7. 10. 1847, französischer Mineraloge, Geologe und Paläontologe, Ingénieur-en-chef des Mines, wurde 1800 Direktor der Porzellanfabrik in Sèvres, seit 1822 Professor der Mineralogie am Musée d'historie naturelle in Paris, führte VON OEYNHAUSEN in die Problematik des französischen Salzbergbaus ein.

BUCH, LEOPOLD VON, Freiherr von Gelmersdorf, 26. 4. 1774 – 4. 3. 1853, deutscher Geologe und Privatgelehrter, Vertreter der vulkanischen Erhebungstheorie; Herausgeber der ersten „geognostischen Karte Deutschlands" (1826); Zusammenarbeit mit ALEXANDER VON HUMBOLDT. Er gilt als bedeutendster Geologe seiner Zeit.

BÜLOW, HANS, Graf VON, 14. 7. 1774 – 11. 8. 1825, 1805 Präsident der Kriegs- und Domänenkammer Magdeburg, 1808 – 1811 Finanzminister des Königs JEROME von Westfalen, 1813 – 1817 preußischer Finanzminister.

CORDIER, PIERRE LOUIS ANTOINE, 31. 3. 1777 – 30. 3. 1861, wurde 1797 Bergingenieur, beteiligte sich unter DOLOMIEU an der ägyptischen Expedition, wurde 1819 als Nachfolger von FAUJAS DE SAINT-FOND Professor der Geologie am Pflanzengarten und unter der Restauration Pair von Frankreich, seit 1822 Mitglied der Academie der Wissenschaften zu Paris. Nach ihm wurde der Cordierit benannt. Im Jahr 1823 Begegnung mit VON OEYNHAUSEN in Paris.

DECHEN, ERNST HEINRICH KARL VON, 24. 3. 1800 – 15. 2. 1889, deutscher Geologe und Mineraloge, seit 1834 Professor an der Bergakademie Berlin, 1841 – 1864 Berghauptmann und Oberbergamtsdirektor in Bonn, Herausgeber der ersten zusammenfassenden geologischen Karten Westdeutschlands, die er z. T. selbst aufgenommen hat. Freund und Schwager von CARL VON OEYNHAUSEN, auch sein Reisebegleiter.

FRIEDRICH WILHELM IV., König von Preußen, 15. 10. 1795 – 2. 1. 1861, regierte von 1840 – 1858; wegen Erkrankung übernahm ab 1848 der spätere WILHELM I. die Regentschaft.

GOLLWITZER-MEIER, KLOTHILDE, 20. 10. 1894 – 2. 3. 1954; Prof. Dr. med., promovierte 1919 in München, habilitierte sich 1924 in Greifswald für Innere Medizin, 1928 a. o. Prof. in Frankfurt a. M., leitete ab 1932 das Balneologische Institut Bad Oeynhausen, Abteilung an der Universität Hamburg. Das Nachfolgeinstitut – ein Kardiologisches Zentrum – ist nach ihr benannt.

HOFFMANN, FRIEDRICH, 6. 6. 1797 – 6. 2. 1836, lehrte in Halle (seit 1824) und Berlin (seit 1833) physikalische Geographie und Vulkanologie; geologische Forschungsreise nach Italien incl. Sizilien 1829 – 1833. Er schrieb unter anderem über die geologischen Verhältnisse des Harzes, Unteritaliens, Siziliens (vergl. ZITTEL 1899: 494, Fußnote) und Ostwestfalens.

HUMBOLDT, ALEXANDER Freiherr VON, 14. 9. 1769 – 6. 5. 1859, deutscher Naturforscher. Biographie von MEYER-AIBICH (1967). Dort umfangreiche Literatur.

> „Innerhalb der deutschen Geistesgeschichte bleibt er der größte Naturforscher der Goethe-Zeit und zugleich der letzte Universalgelehrte auf dem Felde der Naturwissenschaften, der ihre derzeitigen Ergebnisse nicht nur in ihren allgemeinen Gedanken und Theorien, sondern auch bis zu ihren letzten Einzelheiten herab noch vollkommen beherrscht hat" (MEYER-AIBICH 1967: 7).

HUMBOLDT war mit VON OEYNHAUSEN befreundet und nahm regen Anteil an der Erbohrung des Thermalsprudels I (vergl. HUMBOLDT 1845: 416).

HUMBOLDT, WILHELM Freiherr VON, 22. 6. 1767 – 8. 5. 1835, Philosoph, Sprachforscher, Kulturpolitiker, Staatsmann, Bruder von ALEXANDER Freiherr VON HUMBOLDT; 1801 – 1808 preußischer Gesandter in Rom, 1809 – 1810 Leiter des Kultur- und Unterrichtswesens im preußischen Innenministerium; konzipierte die Berliner Universität (gegründet 1810) und das neuhumanistische Gymnasium; Biographie von PETER BERGLAR (1970), dort umfangreiches Schrifttumsverzeichnis.

JORDAN, ALBERT, 30. 10. 1865 – 5. 9. 1934, Oberbergrat, Salinendirektor der Preussag und Direktor des Bades und Salzamtes zu Bad Oeynhausen 1923 bis 1931. Während seiner Amtszeit wurde der Jordan-Sprudel erbohrt.

KARSTEN, CARL JOHANN BERNHARD, 26. 11. 1782 – 22. 8. 1853, deutscher Mineraloge, ab 1819 Geheimer Oberbergrat im Berliner Innenministerium und mit der Oberleitung des preußischen Hüttenwesens betraut. KARSTEN errichtete auf der Gleiwitzer Hütte die erste deutsche Anlage zur Steinkohlenteergewinnung.

Kur- und Salinendirektoren in Bad Oeynhausen:

bis 1861	Bergrat BISCHOF
1861–1874	Bergrat MODEL
1874–1875	Bergassessor GRAEFF
1875–1894	Bergassessor AUGUST FREYTAG
1894–1922	Geheimer Oberbergrat ADOLPH MORSBACH
1923–1931	Oberbergrat ALBERT JORDAN
1931–1936	Bergrat HANS VON HINÜBER
1937–1939	Dr. HEINRICH DE HAAN
1939–1946	WILHELM WENDT
1946–1950	Dr. WALTER KRONHEIM
1952–1963	Dr. med. habil. HANS OTTO SCHMID
1963–1972	Ltd. Regierungsdirektor LEONHARD KÖHNEN
seit 1972	ALFONS W. DOLE

LENNE, PETER JOSEPH, 29. 9. 1789 – 23. 1. 1866, Gartendirektor und Generaldirektor der königlich preußischen Gärten, schuf Parkanlagen im englischen Stil für die meisten preußischen Schlösser, unter anderem Sanssouci in Potsdam, Charlottenburg und Tiergarten in Berlin.

MASSOW, VALENTIN VON, von 1742 bis 1763 Kammerpräsident der Mindenschen und Cleveschen Kammer in Minden. Er bemühte sich mit besonderem Eifer um die Errichtung der Saline Neusalzwerk (WIEMERS 1915: 76). Nach ihm wurde der erste durch den sächsischen Bergmeister JOH. GEORG BIELKE 1750 gegrabene Brunnen benannt.

MESTWERDT, ADOLF, 18. 1. 1880 – 16. 9. 1956, Prof. Dr. phil.; promovierte 1904 bei A. VON KOENEN mit der Arbeit: „Der Teutoburger Wald zwischen Borgholzhausen und Hilter". Von 1905 bis 1944 war er Geologe an der Preußischen Geologischen Landesanstalt in Berlin. Er hat sehr viel zur Erforschung der Geologie und Hydrogeologie Ostwestfalens beigetragen und sich vor allem der Heilquellen angenommen. Auf seine Untersuchungen gehen unter anderem die Erschließung des Jordan-Sprudels in Bad Oeynhausen (1926) und des Thermalsprudels II in Bad Salzuflen (1927) zurück. Seinen Nachruf im Geologischen Jahrbuch verfaßte DIETZ (1958).

MORSBACH, ADOLPH, 21. 4. 1859 – 1. 12. 1922, Geheimer Oberbergrat, Kurdirektor von Bad Oeynhausen 1894 – 1922. Unter seiner Leitung wurden die Thermalsprudel IV und V erbohrt und von 1906 bis 1908 das große Kurhaus erbaut. Er war von 1911 bis 1924 Präsident des 1892 in Leipzig gegründeten Allgemeinen Deutschen Bäderverbandes. Würdigung durch RÜTTEN (1959).

OEYNHAUSEN, CARL LUDWIG AUGUST Freiherr VON, 4. 2. 1795 – 1. 2. 1865, Königlicher Berghauptmann, Gründer des Bades Oeynhausen. Unter seiner Leitung wurde von 1830 bis 1845 der Oeynhausen-Sprudel erbohrt. Würdigung durch LIESENHOFF (1895) und KÖHNEN (1965).

CARL VON OEYNHAUSEN (es wurde auch die Schreibweise „KARL" benutzt) hat sich selbst des Freiherrntitels nicht bedient, auch ist ihm gegenüber dieser Titel von anderer Seite im Schriftverkehr niemals angewendet worden. „Jedoch ist nach einer Mitteilung des Königlichen Geheimen Regierungsraths, Major a. D. VON OEYNHAUSEN durch Cabinetsordre des Königs WILHELM I. anerkannt, daß die Familie VON OEYNHAUSEN zur Führung dieses Titels berechtigt ist" (LIESENHOFF 1895: 5).

RAPPARD. Die Salinistenfamilie RAPPARD spielte im 18. Jahrhundert im damaligen Preußen für die Salzgewinnung eine nicht unwesentliche Rolle.

HEINRICH WILHELM RAPPARD (gest. 1747) war Kammerdirektor des Salzwesens in Cleve (1734 – 1747). Seine beiden Söhne, der clevesche Kriegsrat JOHANN BERTRAM RAPPARD und der mindensche Kriegsrat KONRAD GERHARD RAPPARD waren Salzkommissäre in Neusalzwerk und hatten große Differenzen mit VON MASSOW. Der sogenannte Rappard'sche Brunnen ist unter der Leitung von KONRAD GERHARD RAPPARD erbohrt worden.

Bekannt sind noch die Salzkommissäre FRIEDRICH RAPPARD in Breslau und ALEXANDER RAPPARD in Minden (1766). Später erscheint noch unter Freiherr VOM STEIN ein Mitglied der Familie auf der Saline in Unna (nach WIEMERS 1915: 77–81).

SCHMID, HANS OTTO, Dr. med. habil., 1907–1963, Kurdirektor von Bad Oeynhausen 1952–1963, in seiner Amtszeit unter anderem Bau des Jordan-Sprudelbades und Ausbau des Gollwitzer-Meier-Institutes, Wiederaufbau des Badehauses II; Nachruf von NAVE & RÜTTEN (1963).

TYEDMERS, LÜBBO, 11. 2. 1902 – 15. 10. 1964, leitender Betriebsingenieur des Staatsbades Oeynhausen von 1946 – 1962. Er hat sich um die Erhaltung der Heilquellen von Bad Oeynhausen und um die Bädertechnik im allgemeinen besondere Verdienste erworben. Eine Würdigung zu seinem 60. Geburtstag gab SCHAEFER (1962). Seinen Nachruf verfaßte der langjährige Vorsitzende der Arbeitsgemeinschaft für naturwissenschaftliche und technische Grundlagen der Balneologie im Deutschen Bäderverband Dr. CARL GENSER aus Bad Kissingen (s. GENSER 1964).

WEISS, CHRISTIAN SAMUEL, 26. 2. 1780 – 1. 10. 1856, Kristallograph, Professor in Leipzig, ab 1810 in Berlin, Übersetzer des vierbändigen Traité de Mineralogie von R. J. HAÜY. Unbefriedigend von wesentlichen Ansichten des französischen Forschers kam er zu eigenen Auffassungen: Rationalitätsgesetz, Weiß'sche Symbole, Flächensymbole.

WILHELM I., 1797–1888, deutscher Kaiser von 1871 bis 1888. Er war als Kronprinz im Juni 1865 und vom 7. 6. bis 8. 7. 1869 Kurgast in Bad Oeynhausen.

WITTEKIND, Führer der Sachsen im Kampf gegen KARL DEN GROSSEN, ließ sich 785 taufen; Grabstätte in Enger, Kreis Herford.

7. Schriftenverzeichnis

ALFTER, J. A. L. (1855): Die Curmittel zu Oeynhausen (Rehme) physiologisch und therapeutisch dargestellt. – VIII u. 143 S.; Minden (Keiser).

BAEHR, P. (1909): Chronik von Bad Oeynhausen. – 292 S., 67 Abb., 2 Kt.; Bad Oeynhausen (Stadt Bad Oeynhausen). – [Unveränd. Nachdr. 1967]

BERGENGRUEN, W. (1956): Die Stadt ohne Stufen. – In: Badekur des Herzens. Ein Reiseverführer: 54–58; Zürich (Verlag der Arche).

BERGLAR, P. (1970): WILHELM VON HUMBOLDT. – Rowohlts Monographien, **161:** 186 S., zahlr. Abb.; Reinbek b. Hamburg.

BISCHOF, G. (1847): Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. – **1:** 352 S., 22 Abb., 2 Taf.; Bonn (Marcus).

DEUTLOFF, O. (1974): Die Hydrogeologie des nordwestlichen Weserberglandes in der Umgebung von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 111–194, 12 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

DEUTLOFF, O., & KARRENBERG, H. (1969): Zum Wasserhaushalt der Mineralwässer im Raum Bad Salzuflen – Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **16:** 577–594, 4 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

Deutscher Bäderkalender (1975): Hrsg. Deutscher Bäderverband e. V. Bonn. – 569 S., zahlr. Abb., 1 Kt.; Gütersloh (Flöttmann).

Deutsches Bäderbuch (1907): [Bearb. unter Mitwirkung des Kaiserlichen Gesundheitsamtes von F. HIMSTEDT et al.]. – CIV u. 535 S., 13 Taf., 3 Kt.; Leipzig (Weber).

DIENEMANN, W. (1939): Erläuterungen zu den Blättern 3716 Melle, 3717 Quernheim, 3718 Oeynhausen. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000: 145 S., 6 Abb., 13 Tab., 1 Taf.; Berlin.

DIENEMANN, W., & FRICKE, K. (1961), mit Beitr. von HARRE, W., & SCHMIDT-BERGER, R., & SCHNEIDER, S.: Mineral- und Heilwässer, Peloide und Heilbäder in Niedersachsen und seinen Nachbargebieten. – Schr. wirtschaftswiss. Ges. Stud. Niedersachsen, N. F., **5** (5): 476 S., 52 Abb., 24 Tab., 197 Anal.; Göttingen (Niedersächs. Inst. Landeskde.).

DIETZ, C. (1958): ADOLF MESTWERDT †. – Geol. Jb., **73:** XIII–XIX; Hannover.

Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen (1977): Der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – **26:** 269 S., 79 Abb., 19 Tab., 10 Taf.; Krefeld.

FREBOLD, G. (1929): Oeynhausen, Salzuflen und Pyrmont. Ein Überblick über Bau und Bildungsweise der bedeutendsten heimischen Mineralquellen. – Corr.-Bl. Jb. geogr. Ges., **1929:** 25–54, 12 Abb., 12 Tab.; Hannover.

FREYTAG, A. (1876): Bad Oeynhausen (Rehme) in Westfalen. – 66 S., 5 Abb.; Leipzig (Engelhardt).

– (1877): Über die gegenwärtigen Quellenverhältnisse des Bades Oeynhausen. – Verh. naturhist. Ver. preuss. Rheinld. u. Westf., **34,** Corr.-Bl.: 46–51; Bonn.

– (1878): Das fiskalische Bad Oeynhausen und seine Quellen. – Z. Berg-, Hütten- u. Salinen-Wesen im preuss. Staate, **26:** 275–289; Berlin.

FRICKE, K. (1972): Ergiebigkeitsabnahme bei Thermalwasserquellen infolge von Kristallbildung (Verkrustung) im schadhaften Bohrloch – erläutert am Beispiel von Bad Oeynhausen. – Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **23:** 363–366, 4 Abb., 1 Tab.; Köln.

– (1970): 1848–1973, 125 Jahre Staatsbad Oeynhausen – 100 Jahre Geologischer Staatsdienst in Westfalen und den Rheinlanden. – Heilbad u. Kurort, **25:** 270–274, 2 Abb.; Gütersloh.

FRICKE, K., & KÖHLER, H., & TYEDMERS, L. (1961): Die neue Solebohrung des Staatsbades Bad Oeynhausen. – Heilbad u. Kurort, **13:** 226–228, 2 Abb.; Gütersloh.

FUNK, F. E. T. (1809): Beyträge zur allgemeinen Wasser-Baukunst oder ausführliche Maschinen-Berechnungen und andere hydraulische Untersuchungen mit besonderer Anwendung auf die Saline Neusalzwerk im Weser-Departement, Distrikt Bielefeld, des Königreichs Westphalen. Beschreibung der Saline Neusalzwerk im Königreich Westphalen, Department der Weser, District Bielefeld, nebst Vorschlägen zu deren Verbesserung in mechanischer und hydraulischer Hinsicht mit specieller Anwendung. – **2:** XVI + 154 S., 16 Tab., 2 Taf.; Lemgo (Meyer).

GENSER, C. (1964): Ing. LÜBBO TYEDMERS zum Gedächtnis. – Heilbad und Kurort, **16:** 298, 1 Abb.; Gütersloh.

GEYH, M. A., & MICHEL, G. (1977): Zur Isotopenchemie von Mineralwässern und sonstigen Grundwässern im Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 229–252, 9 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

GRAEFF (1875): Ueber die Quellen des Bades Oeynhausen. – Verh. naturhist. Ver. preuss. Rheinld. u. Westf., **32,** Corr.-Bl.: 52–55; Bonn.

HARRASSOWITZ, H. (1935): Die deutschen Chlor-Calcium-Quellen. – Z. Kali u. Steinsalz, **29:** 75–80; Halle/Saale.

HOFFMANN, D. (1959): 150 Jahre Tiefbohrungen in Deutschland. – Erdoel, **75:** 361–412, 28 Abb.; Wien, Hamburg.

HUMBOLDT, A. VON (1845/1858): Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. – **1:** 493 S.; **4:** 690 S.; Stuttgart, Tübingen (Cotta'sche Buchhdlg.).

– (1889): Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. – **1:** 349 S.; **4:** 575 S.; Stuttgart (Cotta'sche Buchhdlg.). – [Neuauflage]

KINDERMANN, C. (1846): Das Bohrloch und das Mineral- und Soolbad zu Neusalzwerk. Eine Schrift zum Schutz und Trutz für die Heiligkeit des Privateigentums. – 27 S.; Herford (Menkhoff).

KNAUFF, W. (1977): Der Lias in den Bohrungen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle und Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 81–88, 1 Abb., 1 Taf.; Krefeld.

KÖHNEN, L. (1965): CARL AUGUST LUDWIG Freiherr VON OEYNHAUSEN – Weg und Werk aus badestädtischer Sicht. – Kuranzeiger, Sonderausg.: 8–14 u. 18, 9 Abb.; Bad Oeynhausen.

KÜHLING, K. (1960): Im Heilgarten Deutschlands, Bäderfahrt zwischen Teutoburger Wald und Wiehengebirge. – Merian, **13** (2): 55–59; Hamburg (Hoffmann u. Campe).

LANGGUTH, H. R., & MICHEL, G. (1977): Hydrochemische Untersuchungen am Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 165–183, 6 Abb., 5 Tab.; Krefeld.

LANGGUTH, H. R., & LEICHTLE, TH. (1977), mit einem Beitr. von SCHWARTZ, U.: Spezielle Messungen zur Ergiebigkeit und chemischen Beschaffenheit des Alexander-von-Humboldt-Sprudels. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 145–163, 14 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

LEICHTLE, TH. (1974): Hydrogeologische Untersuchungen im Rahmen der Sole-Bohrung VII in Bad Oeynhausen. – Dipl.-Arb. Techn. Hochsch. Aachen: 109 S., 33 Abb., 2 Tab., 4 Anl.; Aachen.

– (1977): Spezielle hydrologische Untersuchungen in Bad Oeynhausen während der Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 125–144, 9 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

LIESENHOFF, A. (1895): Freiherr KARL VON OEYNHAUSEN. Ein Lebensbild. Festschrift zur Feier des fünfzigjährigen Bestehens des Königl. Bades Oeynhausen am 30. Juni 1895. – 65 S., 12 Abb.; Berlin (Ernst).

MESTWERDT, A. (1915): Die geologischen Verhältnisse der Heilquellen von Bad Oeynhausen. – Verh. naturhist. Ver. preuss. Rheinlde. u. Westf., **72:** 97–117, 3 Abb.; Bonn.

– (1919): Die Bäder Oeynhausen und Salzuflen. – Jb. preuß. geol. L.-Anst., **37** (2): 64–131, 7 Abb., 2 Taf.; Berlin. – [Vorausdr. 1917]

MEYER-AIBICH, A. (1967): ALEXANDER VON HUMBOLDT. – Rowohlts Monographien, **131**: 187 S., zahlr. Abb.; Reinbek b. Hamburg.

MICHEL, G. (1975): Die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen. – Heilbad u. Kurort, **27**: 65–68, 6 Abb.; Gütersloh.

– (1977 a): Der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 45–62, 7 Abb.; Krefeld.

– (1977b): Die Schichtenfolge der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 63–80, 2 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

MICHEL, G., & NIELSEN, H. (1977): Schwefel-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten ostwestfälischer Mineralwässer. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 185–227, 16 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

MIEGEL, A. (1962): Liebe über alle Grenzen – Liebes Bad Oeynhausen. – Jordansprudel, **1962**, Sonderheft „Das Staatsbad grüßt Berlin"; Bad Oeynhausen. – [Ohne Seitenangabe]

MOELLER, FR. W. VON (1847), unter Mitarb. von OEYNHAUSEN, C. VON: Das Königliche Soolbad bei Neusalzwerk ohnweit Preußisch Minden in seinen medicinischen Wirkungen. – 52 S.; Berlin (Nicolai'sche Buchhdlg.).

MORSBACH, A. (1900): Die Oeynhauser Thermalquellen. – Verh. naturhist. Ver. preuss. Rheinlde., Westf. u. Reg.-Bez. Osnabrück, **57:** 12–36; Bonn.

NAVE, G., & RÜTTEN, E. (1963): In memoriam Kurdirektor Dr. med. habil. SCHMID – Bad Oeynhausen. – Heilbad u. Kurort, **15**: 326, 1 Abb.; Gütersloh.

OEYNHAUSEN, C. VON (1824): Ueber die geognostische Aehnlichkeit des Steinsalz führenden Gebirges in Lothringen und im südlichen Deutschland mit einigen Gegenden auf beiden Ufern der Weser. – Arch. Bergb. u. Hüttenwes. (Karsten's Archiv), **8:** 52–84; Berlin.

– (1848): Denkschrift betreffend die Salzbohr-Arbeiten der Königl. Saline Neusalzwerk auf dem Kolonate des C. MEYER, Bauerschaft Mellbergen Nr. 16, und die dagegen von dem Grundbesitzer erhobenen Beschwerden. – 50 S.; Berlin (Hayn).

POGGENDORF, J. C. (1863–1904): Biographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften. 4 Bände. – **1**: 1583 S.; Leipzig (J. A. Barth) 1863; **2:** 1467 S.; Leipzig (J. A. Barth) 1863; **3:** 1496 S.; Leipzig (J. A. Barth) 1898; **4**: 1718 S.; Leipzig (J. A. Barth) 1904.

PÖRTNER, R. (1962): Ein (Wahl-)Berliner lobt sein Heimatbad. – Jordansprudel, **1962,** Sonderheft „Das Staatsbad grüßt Berlin"; Bad Oeynhausen. – [Ohne Seitenangabe]

QUINDERS, T. (1967): Heilquellen und Kurmitteleinrichtungen im Staatsbad Oeynhausen. – Schr.-R. dt. Bäderverb., **25**: 91–96; Baden-Baden.

RÜTTEN, E. (1959): Geheimer Bergrat ADOLF MORSBACH. – Heilbad u. Kurort, **11**: 91, 1 Abb.; Gütersloh.

SAIL, CH. VON (1962): Brücke der Freundschaft. – Jordansprudel, **1962**, Sonderheft „Das Staatsbad grüßt Berlin"; Bad Oeynhausen. – [Ohne Seitenangabe]

SANDER, A. (1977): Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 89–108, 1 Abb., 1 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

SCHAEFER, H. (1962): Ing. LÜBBO TYEDMERS – Bad Oeynhausen – 60 Jahre. – Heilbad und Kurort, **14:** 59, 1 Abb.; Gütersloh.

SCHERP, A. (1977): Eisenglanzvererzungen im Buntsandstein der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 109–123, 1 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

SCHMID, H. O. (1953): Staatsbad Oeynhausen im Wiederaufbau. – Jordansprudel, **1** (1): 5–7, 1 Abb.; Bad Oeynhausen.

TYEDMERS, L. (1954): Das Bohrloch I in Bad Oeynhausen und seine Aufwältigungen. – Heilbad u. Kurort, **6**: 16–18, 7 Abb.; Gütersloh.

– (1962): Aus Geschichte und Technik der Heilquellen von Bad Oeynhausen. – 68 S., 42 Abb.; Bad Oeynhausen (Verlag Jordansprudel).

Verein zur Hebung und Verschönerung von Bad Oeynhausen (1906): Die Heilmittel und Indicationen des Thermalsol- und Solbades Oeynhausen. – 44 S., 9 Abb.; Bad Oeynhausen (Schulte).

WIEMERS, F. (1915): Das Salzwesen an der Ems und Weser unter Brandenburg-Preußen. – Diss. Univ. Münster: 169 S.; Münster (Buschmann).

WITTING, E. (1843): Naturhistorisch-chemische Darstellung der Mineralquellen im Regierungsbezirk Minden. – Westph. Prov. Bl., **3** (2): 3–57; Minden (Bruns).

ZITTEL, A. (1899): Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts. – 868 S.; München, Leipzig (R. Oldenbourg). – [Unveränd. Nachdr. 1965 durch Johnson Reprint Corporation, London, New York]

Eingang des Manuskriptes: 5. 4. 1976

Tafel 1

oben links: CARL LUDWIG AUGUST Freiherr VON OEYNHAUSEN (1795 – 1865), Gemälde von HUMMEL (1866) nach einer Fotographie (Gemäldesammlung FALK Freiherr VON OEYNHAUSEN, Grevenburg bei Sommersell, Kreis Höxter)

oben rechts: Kurdirektor ADOLPH MORSBACH (1859 – 1922) (Bildarchiv der Kurverwaltung Bad Oeynhausen)

unten links: Kurdirektor ALBERT JORDAN (1865 – 1934) (Bildarchiv der Kurverwaltung Bad Oeynhausen)

unten rechts: Kurdirektor Dr. med. habil. HANS OTTO SCHMID (1907 – 1963) (Bildarchiv der Kurverwaltung Bad Oeynhausen)

Tafel 1

Tafel 2

ALEXANDER VON HUMBOLDT (1769 – 1859).
Stich von J. J. FREIDHOF (1808) nach dem Gemälde von F. G. WEITSCH.
(Alexander-von-Humboldt-Sammlung HANNO BECK, Bonn-Bad Godesberg).

Tafel 2

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 45–62, 7 Abb.	Krefeld, Nov. 1977

Der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen

Von Gert Michel *

Drilling, thermal-water (brine), discharge, origin, stratigraphy, Northwest-German Mesozoic Hills (Bad Oeynhausen)

Kurzfassung: Der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen ist die siebte Thermalsolebohrung im Kurparkgelände (Lage auf der Topographischen Karte 1 : 25 000, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200). Die Tiefe beträgt 1034 m.

Die Bohrung wurde nach Alexander von Humboldt (1769–1859) benannt. Seine Kontakte zum Gründer des Bades, Carl von Oeynhausen (1795–1865) werden aufgezeigt und belegt. Veranlassung für die Neubohrung war der ständige Rückgang der Schüttung der vorhandenen Tiefbohrungen. Dafür kommen drei Ursachen in Frage: Inkrustation der Solebohrungen durch Kristallisation von Gips, Großentnahmen im Einzugsgebiet und die Möglichkeit, daß der Gesamtvorrat an Sole allmählich nachläßt.

Folgende geologische Schichten wurden angetroffen:

0 –	10 m	Pleistozän
–	175 m	Lias
–	598 m	Keuper
–	667 m	Muschelkalk
(bei	667 m	Störung)
–	1034 m	Buntsandstein

Die wichtigsten hydrogeologischen Ergebnisse: Schüttung ca. 200 m³/h, Hauptzuflüsse zwischen 740 und 790 m Tiefe aus klüftigen Partien des Mittleren Buntsandsteins. Es handelt sich um eine eisen- und sulfathaltige Thermalsole mit einem Gehalt von ca. 3500 mg/kg Sulfat und ca. 900 mg/kg gelöster freier Kohlensäure. Die Temperatur beträgt 36,5° C.

Die Entnahme aus der neuen Solebohrung wirkt sich auf die Schließdrücke der vorhandenen Solebohrungen aus. Quantitative und qualitative Beeinträchtigungen konnten jedoch nicht festgestellt werden.

Abschließend werden zur Herkunft der Sole einige neue Gesichtspunkte aufgezeigt.

[The Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen]

Abstract: The thermal boring "Alexander-von-Humboldt-Sprudel" in Bad Oeynhausen, situated in the eastern part of Westphalia, is the seventh boring of thermal brine in the park of the spa (situation on the topographic map 1 : 25 000, sheet number 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200). The depth of the boring is 1034 metres.

The thermal boring is named after Alexander von Humboldt (1769–1859). His relations to the founder of the spa, Carl von Oeynhausen (1795–1865), are described and evidenced.

The motive for the new boring was the permanent decrease of the productiveness of the existing borings of brine. There are three possible reasons for this decrease: The cristallisation of gypsum in the boreholes, large hydraulic discharges in the intake area and the possibility of gradual decrease of the reserves of brine.

---

* Anschrift des Autors: Dr. G. Michel, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

The following geological strata were found:

0 –	10 m	Pleistocene
–	175 m	Lias
–	598 m	Keuper
–	667 m	Muschelkalk
(in	667 m	fault)
–	1034 m	Bunter Sandstone

The essential hydrogeological results are: well capacity approximately 200 m³/h, with main inflows at a depth between 740 and 790 m, namely from fissured rocks of Middle Bunter Sandstone. The mineral water is a ferruginous thermal brine with about 3500 ppm sulphate and about 900 ppm free carbonic acid. The temperature is 36,5° C.

The pressures of the existing borings have decreased due to the drawing of brine from the "Alexander-von-Humboldt-Sprudel".

Quantitative and qualitative interactions however were not found. Finally some new aspects of the origin of the brine are discussed.

[L'Alexander-von-Humboldt-Sprudel à Bad Oeynhausen]

Résumé: «L'Alexander-von-Humboldt-Sprudel» à Bad Oeynhausen est le septième forage effectué dans le parc de la station balnéaire ayant rencontré des eaux salées thermales (position sur la carte topographique à l'échelle de 1 : 25 000, feuille 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200). Le forage a atteint une profondeur de 1034 m.

Le forage porte le nom d'ALEXANDER VON HUMBOLDT (1769–1859). Ses relations avec le fondateur de la station balnéaire, CARL VON OEYNHAUSEN (1795–1865) sont présentées et prouvées dans le texte suivant. Le tarissement continuel des débits des forages précédents a motivé l'exécution de ce nouveau forage. Les trois causes pour ce tarissement pourraient être: l'incrustation des trous de forage par du gypsum cristallisé, les prélèvements énormes dans le bassin versant et la diminution possible du réservoir total d'eau salée.

Le profil géologique se compose de:

0 –	10 m	Pléistocène
–	175 m	Lias
–	598 m	Keuper
–	667 m	Muschelkalk
(à	667 m	faille)
–	1034 m	Grès bigarré

Les résultats hydrogéologique les plus importants du forage sont: un débit d'environ 200 m³/h, et des arrivées principaux d'eaux salées à une profondeur de 740 et 790 m dans des roches fissurées du Grès bigarré moyen; il s'agit d'eaux salées thermales ferrugineuses et sulfatiques ayant une concentration d'environ 3500 ppm de sulfate et 900 ppm d'acide carbonique libre et ayant une température de 36,5° C.

Le prélèvement effectué dans ce nouveau forage a fait diminuer les pressions de fermeture dans les forages précédents d'eau salée. Cependant, on n'a pas pû observer des influences quantitatives et qualitatives sur les autres forages.

Dans le chapitre final on présentera quelques aspects nouveaux concernant l'origine de l'eau salée.

1. Name

ALEXANDER VON HUMBOLDT (1769–1859) fand sich mit der Weisheit des Alters und nicht ohne Ironie damit ab, „ein Gegenstand der öffentlichen Neugier" geworden zu sein, eine eigene „Seemacht" und ein „eigenes Flußgebiet" zu haben und geehrt zu werden in Benennungen von „Höfen und Bergen und wilden Ländern, von Schiffen, die manchmal gestrandet sind, von neu entdeckten stacheligen Bäumen" (OPPITZ 1969: 278).

OPPITZ (1969) hat über 1000 Namen aus Geographie, Wirtschaft, Naturwissenschaften, Wissenschaftseinrichtungen, Vereinigungen, Schulen und Hochschulen gesammelt, die den Namen HUMBOLDT tragen. Es gibt allerdings kaum Benennungen nach WILHELM VON HUMBOLDT (1767—1835), sondern meist nach ALEXANDER oder nach beiden Brüdern.

Es gab bisher nur eine Quelle auf der Erde, die ihren Namen von Alexander von Humboldt ableitet: der „Humboldt Geyser" beim Rancho Las Comanjilla in Mexiko (OPPITZ 1969: 294). 114 Jahre nach seinem Tode wurde am 25. August 1973 in Bad Oeynhausen die erfolgreich niedergebrachte Thermalsolebohrung VII auf seinen vollständigen Namen getauft: Alexander-von-Humboldt-Sprudel.

Vorher war, wie nach der Geburt eines Kindes, nach einem treffenden Namen gesucht worden. „Siebenschläfer-Sprudel" – die Bohrung war am Siebenschläfertag, dem 27. Juni 1973, fündig geworden – oder „Dole-Sole" waren nicht diskutabel beziehungsweise erheiterten nur den Freundeskreis des Kurdirektors. A. DOLE wollte mit der neuen Heilquelle einen Bezug zu CARL VON OEYNHAUSEN (1795—1865) finden. Dessen Name war jedoch schon zweifach vergeben: für die Badestadt selbst und für den Thermalsprudel I.

Der 26 Jahre ältere ALEXANDER VON HUMBOLDT hatte die bohrtechnische Ausdauer seines Freundes CARL VON OEYNHAUSEN (1795—1865) mit dem ihm eigenen Wissensdurst verfolgt und auch darüber in seinem „Kosmos" berichtet (VON HUMBOLDT 1845: 416; 1858: 36), zum Teil „nach handschriftlichen Resultaten von dem Berghauptmann VON OEYNHAUSEN" (VON HUMBOLDT 1858: 165).

Die beiden Forscher hatten sich bereits 1823 in Paris kennengelernt, wo A. VON HUMBOLDT von 1808 bis 1827 lebte und wirkte. C. VON OEYNHAUSEN hatte für einige Wochen seine Reise zum Studium des Bergbaus in Belgien und Frankreich unterbrochen, um sich in Paris über den Stand des französischen Salzbergbaus zu unterrichten (LIESENHOFF 1895: 12).

A. VON HUMBOLDT, der 1792/93 ebenfalls halurgische Forschungen im Salzkammergut und in Galizien betrieben hatte (ZITTEL 1899: 96) und dessen Spezialgebiet im Minenwesen der Salzbergbau war, unterstützte ihn und vermittelte den Kontakt zu französischen Gelehrten, wie z. B. BRONGNIART und CORDIER.

Er gab C. VON OEYNHAUSEN sicherlich auch Anregungen und ermunterte ihn, in Preußen nach Steinsalz zu suchen. Das Ergebnis war die Entdeckung der Sole in Bad Oeynhausen (MICHEL 1977 a).

ALEXANDER VON HUMBOLDT war der größte Naturforscher der Goethe-Zeit und der letzte Universalgelehrte überhaupt.

„Bei ihm ist die Naturwissenschaft eine Erfahrungswissenschaft, aber die empirischen Gedankengänge sind bei ihm von einer schöpferischen Phantasie beflügelt. Er verstand wie kein anderer vor ihm, überall die „Einheit in der Vielheit" zu erkennen und dabei eine ungeheure Masse von Tatsachen in eine so geistvolle Verbindung zueinander zu bringen, daß er schließlich den gesamten „Kosmos" zu überblicken vermochte" (MERTENS 1959: 11).

Selbst JOHANN WOLFGANG VON GOETHE war tief beeindruckt von ihm. GOETHE zu ECKERMANN am 11. Dezember 1826:

„ALEXANDER VON HUMBOLDT ist diesen Morgen einige Stunden bei mir gewesen. Was ist das für ein Mann! Ich kenne ihn so lange und doch bin ich von neuem über ihn in Erstaunen. Man kann sagen, er hat an Kenntnissen und lebendigem Wissen nicht seinesgleichen. Und eine Vielseitigkeit, wie sie mir gleichfalls noch nicht vorgekommen ist! Wohin man rührt, er ist überall zu Hause und überschüttet uns mit geistigen Schätzen. Er gleicht einem Brunnen mit vielen Röhren, wo man überall nur Gefäße unterzuhalten braucht und wo es

Abb. 1. ALEXANDER VON HUMBOLDT (1769 – 1859) nach einer Zeichnung von SAMUEL FRIEDRICH DIEZ

uns immer erquicklich und unerschöpflich entgegenströmt. Er wird einige Tage hier bleiben und ich fühle schon, es wird mir sein, als hätte ich Jahre verlebt." (ECKERMANN 1836/48).

Sein Name verpflichtet uns und muß zugleich Ansporn sein, die Heilquellen von Bad Oeynhausen zu pflegen und zu erforschen. Die Abbildung 1 zeigt A. VON HUMBOLDT nach einer Zeichnung von SAMUEL FRIEDRICH DIEZ. Das Bild stammt aus der Alexander-von-Humboldt-Sammlung HANNO BECK[1].

2. Anlaß

Der Bedarf des Staatsbades an Sole steigt ständig, die Thermalsprudel aber lassen in ihrer Schüttung nach. Dieses kann zurückgeführt werden auf:

- die Inkrustation der Solebohrungen durch Kristallisation von Gips
- den seit 1970 unbeabsichtigten Auslauf von jährlich ca. 1 Million Kubikmeter Calcium – Sulfat-Wasser aus der Erdfall-Quelle von Seebruch
- eine Erschöpfung des gesamten Solevorkommens

---

[1] Herrn Prof. Dr. HANNO BECK, Bonn-Bad Godesberg, Humboldt-Gesellschaft, verdanke ich Vorlage und Druckerlaubnis.

Die Minderung der Quellenergiebigkeit durch Gipsinkrustation belastet das Bad seit seinem Bestehen. Die Quellen – gemeint sind die Tiefbohrungen – wachsen durch Gipskristalle zu und müssen deshalb in immer kürzeren Abständen aufgebohrt bzw. ausgeschabt werden. Als Werkzeuge dienen Spiral- und Bürstenbohrer. Über die damit verbundenen technischen Schwierigkeiten berichten TYEDMERS (1962) und FRICKE (1972). Jede Aufwältigung verringert die Lebensdauer einer Bohrung, da Beschädigungen an den Holzverrohrungen nicht vermeidbar sind. Zumindest werden die Holzrohre an ihrer Innenoberfläche aufgerauht und somit die Bildung neuer Kristallkeime begünstigt.

Aber auch an relativ glatten Oberflächen, wie sie z. B. Kupferrohre aufweisen, setzen sich die Gipskristalle ab. So zeigte die im Juli 1972 in den Jordan-Sprudel eingebaute Kupferverrohrung bis 250 m Tiefe eine Sinterkruste bis zu 15 mm Stärke (Kalibermessung durch Fa. Schlumberger vom 31. 7. 1973). Als Folge davon fiel die Ergiebigkeit des Jordan-Sprudels in 14 Monaten von 204 m^3/h auf 78 m^3/h ab. Der Jordan-Sprudel ist inzwischen schon zweimal wieder ausgebürstet worden (1974 und 1976). Vom Staatlichen Quellenamt in Bad Ems wird das Inkrustationsproblem mit großer Akribie verfolgt. Die Beobachtungen darüber sind in mehreren Berichten festgehalten.

Die Ursache der Inkrustation liegt in der Übersättigung an Sulfaten der relativ schwach konzentrierten Sole. Bereits die geringfügigste Änderung der hydrodynamischen und thermischen Verhältnisse führt zu einer Ausfällung der Sulfate. Deshalb dürfte diesem Problem vor allem durch fördertechnische Maßnahmen begegnet werden können. Es soll hier jedoch den in dieser Richtung laufenden Untersuchungen von Dipl.-Geol. TH. LEICHTLE, Aachen, nicht vorgegriffen werden. Sollte die Inkrustationsfrage in absehbarer Zeit nicht gelöst werden, wird auch die neue Quelle mit dem stolzen Namen von dieser „Krankheit" nicht verschont bleiben.

Als zweite Möglichkeit des Schüttungsrückganges der Soletiefbohrungen sind Entnahmen von Süß- und Mineralwasser im mutmaßlichen Einzugsgebiet südlich von Bad Oeynhausen nicht auszuschließen. Durch ^{14}C-Untersuchungen ist bewiesen, daß die verdünnende Süßwasserkomponente der Sole aus südöstlicher Richtung zufließt (GEYH & MICHEL 1977: 247). In diesem Zuflußbereich erfolgen tatsächlich seit einigen Jahren zwei größere Entnahmen: Bohrung Flachsiek, aus welcher die Trinkwasserversorgung von Bad Oeynhausen aufrecht erhalten wird (Entnahme ca. 0,4 Mio. m^3/a) und die Erdfall-Quelle in Seebruch (DEUTLOFF & HAGELSKAMP & MICHEL 1974), aus welcher ca. 1 Mio. m^3/a Ca-SO_4-Wasser ungenutzt abfließen. Dieser Wert liegt in der Größenordnung der Soleförderung von Bad Oeynhausen.

Schwefel-Isotopenuntersuchungen haben gezeigt, daß die Sulfate des Sulfatwassers der Erdfall-Quelle in Seebruch aus dem Zechstein stammen. Sie haben also die gleiche Herkunft wie die Sulfate der Solen von Bad Oeynhausen und von Bad Salzuflen (MICHEL & NIELSEN 1977: 212).

Zu diesem verblüffenden Ergebnis kommt eine weitere Beobachtung hydrologischer Art hinzu, die Berging. U. SCHWARTZ, Staatliches Quellenamt Bad Ems, durch minuziöse Auswertung der Druckmessungen an den Bad Oeynhausener Solebohrungen machte (Abb. 2). Leider lagen keine Messungen aus der Zeit des Erdfall-Ereignisses im Juni und Juli 1970 vor. Nachbrüche im Untergrund, nachgewiesen durch auffällige Senkungen an der Oberfläche und Konzentrationsänderungen des Wasserchemismus, erfolgten im September 1970 (DEUTLOFF & HAGELSKAMP & MICHEL 1974: 38). Im gleichen Monat traten in den Bad Oeynhausener Solebohrungen bemerkenswerte Druckschwankungen auf. Während der Teilverfüllung des Erdfalls „Moortrichter" im Januar 1971 konnten in den Bad Oeyn-

hausener Tiefbohrungen Druckerhöhungen beobachtet werden. Der Erdfall in der Drewel'schen Wiese entstand im Mai 1971, wahrscheinlich als Folge der Teilverfüllung des Erdfalls „Moortrichter" (DEUTLOFF & HAGELSKAMP & MICHEL 1974: 35). Im gleichen Monat wurde eine Druckerhöhung in den Tiefbohrungen I, IV und V festgestellt. Eine Wertung dieser Beobachtungen wurde nicht vorgenommen.

Schließlich noch eine Bemerkung zu der Bohrung Flachsiek. Ihr Sulfatgehalt ist zu gering, um daraus ein brauchbares Schwefel-Isotopenergebnis zu erhalten. Die benachbarten Sulfatwässer aus Brunnen ähnlicher Tiefe (50—70 m) haben die Herkunft der Sulfate aus dem Keuper wahrscheinlich gemacht (MICHEL & NIELSEN 1977: 216). Damit dürften diese Wässer einem relativ oberflächennahen Grundwasserkreislauf angehören und in keinem Zusammenhang mit denen der Bad Oeynhausener Tiefbrunnen stehen.

Die dritte Möglichkeit, daß sich eine Erschöpfung des gesamten Solevorkommens abzeichnet, ist bisher nicht belegt, und zwar weder durch die quantitativen hydrogeologischen Untersuchungen DEUTLOFFS (1974 und DEUTLOFF & KARRENBERG 1969) noch durch die Isotopenuntersuchungen, deren Ergebnisse im vorliegenden Band 26 der Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen mitgeteilt werden (GEYH & MICHEL 1977, MICHEL & NIELSEN 1977). Aber gerade hier soll weiter geforscht werden, da nach wie vor unklar ist, inwieweit das tiefe Grundwasser in die Grundwasserbilanzierung einbezogen werden sollte und müßte. Gemeint ist in unserem Falle die Sole.

3. Planung und Durchführung

3.1. Planung

Die ständigen pessimistischen Prognosen seitens des Staatlichen Quellenamtes Bad Ems und des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen, Krefeld, über die Aufrechterhaltung der Soleversorgung bestärkten das Staatsbad in seiner lange gehegten Absicht, eine weitere Tiefbohrung auf Thermalsole niederzubringen. War doch der Jordan-Sprudel fast 50 Jahre alt!

Am 21. März 1972 fand deshalb in Bad Oeynhausen eine Besprechung zwischen Vertretern der Kurverwaltung Bad Oeynhausen, dem Staatshochbauamt Bielefeld, dem Staatlichen Quellenamt Bad Ems und dem Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen statt, auf der beschlossen wurde, möglichst bald mit der siebten Tiefbohrung zu beginnen. Die Neubohrung wurde als „Reservebohrung" geplant. Sie sollte nach Fündigwerden zusammen mit dem Jordan-Sprudel die Soleversorgung des Bades sicherstellen, wenn eine oder mehrere der alten Solebohrungen I, IV und V wegen ihres labilen Fassungszustandes ausfielen. Wesentlichste Forderung war: der 725 m tiefe Jordan-Sprudel, die ergiebigste Bohrung und gleichzeitig das Symbol des Bades, durfte auf keinen Fall beeinflußt werden.

Gleichzeitig wünschte man sich eine Badesole mit folgenden Eigenschaften:
- Konzentration von etwa 3%
- möglichst hohe Temperatur
- möglichst hoher Kohlensäuregehalt
- möglichst große Menge (mindestens 100 m³/h)

Alle diese Wünsche gingen in Erfüllung!

Eine zweite Besprechung, vor allem über die technische Durchführung der Bohrung, fand am 10. Mai 1972 beim Staatlichen Quellenamt in Bad Ems statt. Am 25. Mai 1972 wurde im Kurpark, südlich des Theaters, zwischen den aufgegebenen

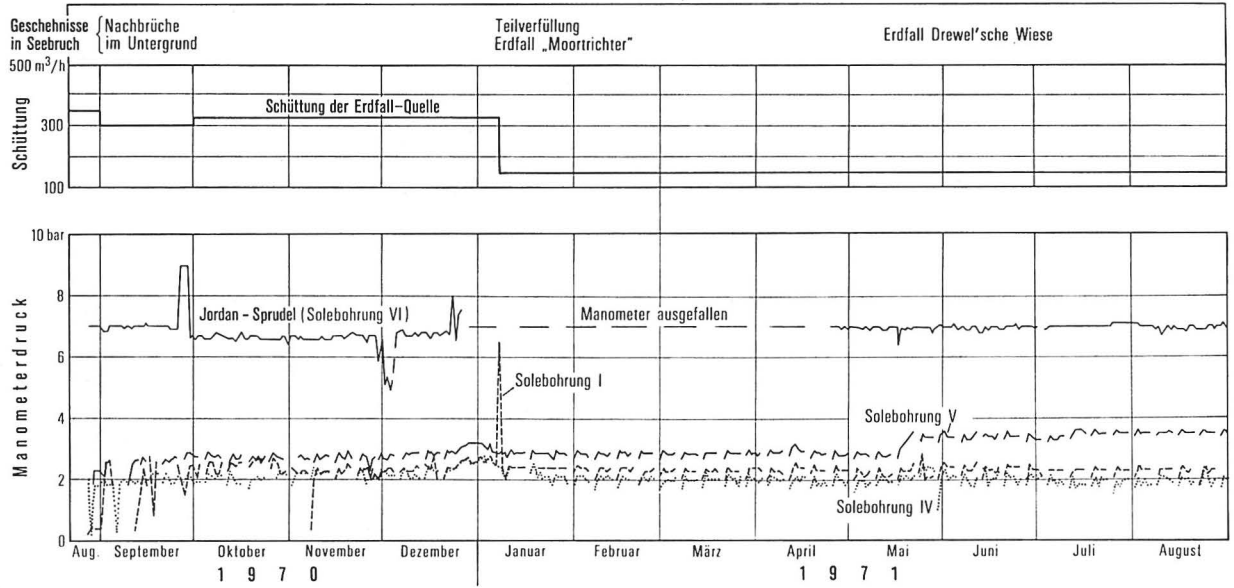


Abb. 2. Beeinflussung der Solebohrungen in Bad Oeynhausen durch die Erdfall-Quelle in Seebruch, abgeleitet aus den Manometerdrücken (Berging. U. SCHWARTZ, Bad Ems)

Solebohrungen II und III der Bohrpunkt festgelegt (Lage TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200). Das endgültige Gutachten des Geologischen Landesamtes lag am 29. Mai 1972 vor. Die voraussichtliche Bohrtiefe wurde mit 1 000 m angegeben. Die Vorhersage in bezug auf die Schichtenfolge und die Soleführung bestätigte sich sehr genau, verfügten wir doch über relativ gute Aufzeichnungen von MESTWERDT (1919, 1941).

Den Zuschlag zum Bohren erhielt die Fa. H. Anger's Söhne, Hessisch Lichtenau. Die Genehmigung nach § 25, Abs. 1, in Verbindung mit § 26, Abs. 3, des Landeswassergesetzes vom 22. Mai 1962 (GV. NW. 1962, S. 235) wurde von der Oberen Wasserbehörde, dem Regierungspräsidenten Detmold, am 11. August 1972 erteilt.

Mit der Einrichtung der Bohrstelle seitens der Bohrfirma wurde am 2. Oktober 1972 begonnen, nachdem vorher bereits vom Staatsbad der sogenannte Bohrkeller gebaut und Abflußleitungen verlegt worden waren. Die eigentlichen Bohrarbeiten begannen am 18. Oktober 1972. Die Endteufe von 1034 m war schließlich am 26. Juli 1973 erreicht.

3.2. Beteiligte

An der Durchführung der Bohrung und Auswertung ihrer Ergebnisse waren viele beteiligt. Es war ein gutes Team von Kurdirektor und Geologen, von Technikern und Bohrleuten. Jeder trug aus seinem speziellen Fachgebiet und mit seinem Können zum gemeinsamen Gelingen bei.

Die technische Beratung erfolgte durch das Staatliche Quellenamt Bad Ems. Der technische Leiter des Staatsbades, Ing. (grad.) TH. QUINDERS, war stets mit Rat und Tat zur Stelle, sei es, wenn besondere Messungen gewünscht wurden oder Maßnahmen gegen Maschinenlärm zu treffen waren. Die Verantwortlichen der Bohrfirma, Dipl.-Ing. H. ANGER und Dipl.-Ing. U. FISCHER haben keine Mühe und keinen Einsatz gescheut, die Bohrarbeiten erfolgreich zu beenden. Die Zusammenarbeit mit den Bohrmeistern H. SIEVERLING und H. HEIN und ihren Bohrmannschaften verlief kameradschaftlich und sehr erfreulich.

Die geologische Beratung und Auswertung lag beim Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen. Die spezielle Bearbeitung der Schichtenfolge des oberen Mittelkeupers führte SANDER (1977) durch.

Insgesamt wurden von der Fa. Schlumberger 25 geophysikalische Bohrlochmessungen durchgeführt. Ausführende waren die Ingenieure PATERAK und HERTLEIN, Betreuer Dipl.-Geophys. H. JUNK und Dipl.-Ing. J. DRAXLER.

Hydrogeologische und hydrochemische Fragen wurden gemeinsam vom Geologischen Landesamt und dem Lehrgebiet für Hydrogeologie der Technischen Hochschule Aachen bearbeitet.

Schließlich ist noch Kurdirektor A. W. DOLE und seinem damaligen Stellvertreter W. BROERMANN für ihr Verständnis und ihr Wohlwollen zu danken. Sie haben den Fachleuten in ihren Entscheidungen sehr viel freie Hand gelassen, und das ist leider nicht immer und überall so!

3.3. Durchführung und Ausbau

Das Bohrgerät bestand aus einem Salzgitter-Klappmast vom Typ MSG B 60/30, 32 m Höhe, 70 t Kronenlast (Abb. 3). Bis 145 m Tiefe wurde im Lufthebeverfahren mit einem Stufenmeißel von 510 mm Durchmesser gebohrt. Das Bohrloch wurde mit dem gleichen Verfahren bis 137,3 m Tiefe auf einen Durchmesser von 920 mm er-

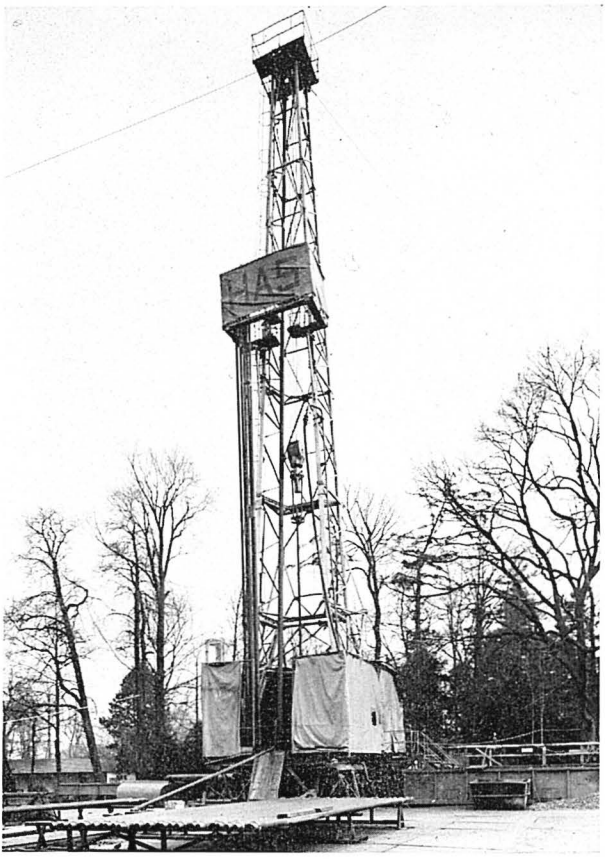


Abb. 3. Bohrgerät für die Soletiefbohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel

weitert. Darin wurden bis 135,4 m Tiefe Stahlrohre von 762 mm Durchmesser einzementiert. Danach wurde bis zur Endteufe mit Spülung gebohrt.

Ab Rohrschuh des 762 mm-Rohres wurde bis 234,4 m mit einem Durchmesser von 609 mm vertieft. In 222 Stunden wurden dabei 89,4 m gebohrt. Das entspricht einer Bohrleistung von ca. 40 cm je Stunde. Der Meißelverschleiß hielt sich in Grenzen. Mit dem ersten Rollenmeißel konnten in 191 Bohrstunden immerhin 76,2 m bewältigt werden.

Ab Teufe 234,4 m nahmen quarzitische Lagen immer mehr zu, um schließlich in den kompakten Rhät-Quarzit überzugehen. Die Bohrbarkeit wurde sehr schlecht, und aus Kostengründen mußte der Bohrdurchmesser auf 444,5 mm (17½ Zoll) reduziert werden. Nach Einsatz eines Stufenmeißels, mit dem der Übergang von Bohrdurchmesser 609 mm auf 444,5 mm zentriert gebohrt wurde, sind bis zur Tiefe von 268,85 m sieben Rollenmeißel (à DM 3 800,—) verbraucht worden. Der Negativrekord wurde zwischen 234,7 und 234,8 m erreicht. Für diese 10 Zentimeter wurde ein Meißel verbraucht; das entspräche Meißelkosten von DM 38 000,— je Bohrmeter (nach einem Bericht des Staatlichen Quellenamtes Bad Ems vom 28. 2. 1973). Dies war die unglücklichste und teuerste Epoche der Bohrung. Ein anderer

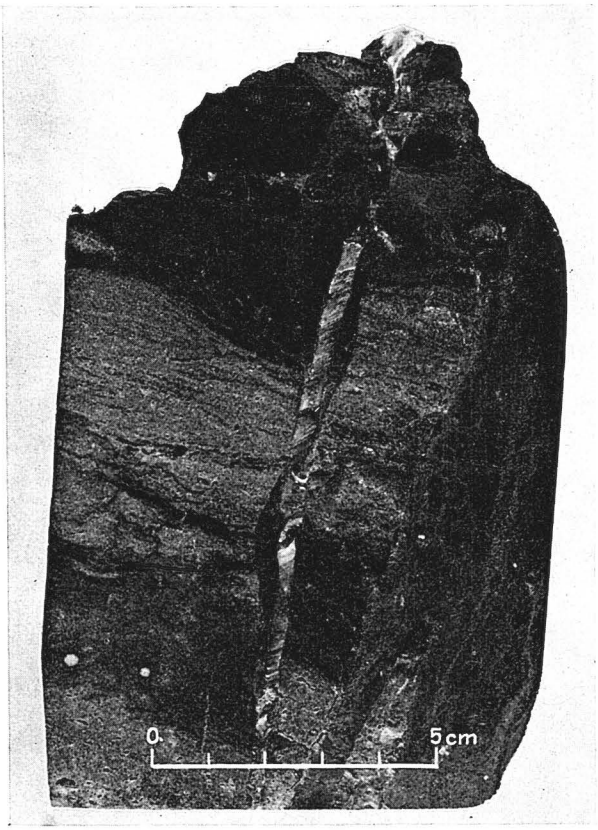


Abb. 4. Schluffstein aus der Solling-Folge des Mittleren Buntsandsteins. Die fast saigeren Klüfte sind mit Marienglas verheilt. (Bohrkern aus 720 m Tiefe).

Meißeltyp war in der Kürze der Zeit nicht zu beschaffen. Auch konnte mit einer derartigen Zähigkeit und Härte des Rhät-Quarzits nicht gerechnet werden.

Die Teufe von 289,3 m war nach drei weiteren Bohrtagen erreicht. Rohre mit einem Durchmesser von 508 mm konnten jedoch wegen der Querschnittsverengung nur bis 232,5 m eingebaut und zementiert werden.

In einer Bohrzeit von nur 19 Tagen wurde der nächste Abschnitt bis 550,6 m mit einem Durchmesser von 455 mm gebohrt. Eine Rohrtour von 339 mm Durchmesser wurde bis 550,2 m eingefahren und einzementiert.

Am 14. Mai 1973 war die Bohrung 603 m tief, stand im Oberen Muschelkalk und lief erstmalig über (Analyse bei LANGGUTH & MICHEL 1977: Tab. 1).

Am 25. Mai 1973 war die Tiefe von 722,5 m erreicht. Bis 719 m Tiefe betrug der Bohrdurchmesser 311 mm. Aus dem Bereich zwischen 719 und 722,5 m lag ein Bohrkern mit einem Durchmesser von 149 mm vor. Es handelt sich um einen rotbraunen Schluffstein, dessen bis zu 5 mm breite, vorwiegend senkrechte Klüfte mit Marienglas verheilt sind (Abb. 4). Aufgrund der Inkrustationserfahrungen konnte diese Calciumsulfat-Ausfüllung als ein Kriterium dafür angesehen werden, daß zur Tiefe hin bald auch offene, soleführende Klüfte angetroffen würden.

Deshalb mußte sofort die vierte und letzte Verrohrung (273 mm Durchmesser) eingebaut werden, und zwar mindestens bis 670 m Tiefe. In der Tiefe von ca. 667 m war nämlich eine große Verwerfung zwischen Muschelkalk und Röt durchfahren worden, und mögliche Zuflüsse aus dem Muschelkalk sollten in jedem Falle abgesperrt werden. Der Einbau dieser Rohrtour erwies sich deshalb als sehr schwierig, weil in einigen Muschelkalk-Horizonten im Bohrloch bereits Querschnittsverengungen eingetreten waren. So konnte die 273er Rohrtour nur bis 673,4 m Tiefe eingebracht werden. Diese Rohrtour wurde anschließend zementiert.

Am 26. Juni 1973 wurde weitergebohrt mit einem Durchmesser von 244,5 mm. Am 27. Juni 1973, also am Siebenschläfertag, war eine Tiefe von 767, 6 m erreicht worden, und die Bohrung wurde fündig. Die klüftige Strecke zwischen 736 und 740 m war in einer Stunde gebohrt worden. Der freie Soleauslauf betrug:

bei	736 m Tiefe	1 m³/h
bei	740 m Tiefe	13 m³/h
bei	743 m Tiefe	25 m³/h
bei	747 m Tiefe	60 m³/h
bei	754 m Tiefe	117 m³/h
bei	767 m Tiefe	117 m³/h

Am 29. Juni war das Bohrloch 802 m tief, und es flossen 206 m³/h Sole frei aus. Die Soletemperatur betrug 36° C. Nach Schließen des Preventers stellte sich in wenigen Minuten am Brunnenkopf ein Druck von 5 bar ein, der bald bis 8 bar anstieg.

Von diesem Erfolg berauscht, wurde beschlossen, noch bis etwa 1000 m Tiefe zu bohren; vor allem deshalb, um eine etwas höhere Temperatur zu erhalten.

Am 26. Juli wurde die Bohrung in 1034 m Tiefe eingestellt. Die Zuflußmenge hatte sich nur wenig, und zwar auf 218 m³/h erhöht, die Temperatur auf 36,4° C.

In den Monaten August und September 1973 wurden am Bohrloch spezielle Ergiebigkeitsmessungen (Langguth & Leichtle 1977) und hydrochemische Untersuchungen (Langguth & Michel 1977) durchgeführt.

Der Endausbau der Bohrung verzögerte sich bis Februar 1974, weil folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen waren (Bericht Staatliches Quellenamt Bad Ems vom 17. 8. 1973):

- die Wahl des Ausbaumaterials im Hinblick auf seine Korrosionsbeständigkeit, seine statischen, mechanischen und hydraulischen Eigenschaften und natürlich auch seine Kosten
- die Möglichkeiten der technischen Durchführung des Einbaus in das Bohrloch
- Möglichkeiten des späteren Auswechselns der Verrohrung nach Inbetriebnahme der Bohrung, falls Inkrustationen eintreten sollten
- die strömungstechnischen Gegebenheiten
- das Inkrustationsproblem
- die Regulierung der Ergiebigkeit
- die Wirkung des Mechanismus gasführender Quellen
- die Ausbaukosten und sonstigen späteren Unterhaltungskosten

Nach Abwägung aller Kriterien und Möglichkeiten wurden bis 652 m Tiefe mit Hartgummi überzogene Stahlrohre der Firma Hagusta eingebaut. Bei dem Innendurchmesser von 160 mm stellt sich eine Strömungsgeschwindigkeit von 3 m/s ein.

Ursprünglich bestanden Bedenken gegen die Hagusta-Rohre, weil bei mechanischer Entfernung der Inkrustationen die Rohrgummierung zerstört wird. Da die Rohre erfahrungsgemäß im oberen Bohrlochabschnitt schneller inkrustieren als im unteren Bereich, ist eine Überwachung leicht möglich. Im Falle einer Inkrustation sollen dann die 5 m langen Rohre auseinandergeschraubt und ausgebaut werden. Nach den Erfahrungen des Staatsbades können dann die Gipskrusten auf chemischem Wege mit 2–5%iger Salzsäure entfernt werden (nach Bericht des Staatlichen Quellenamtes Bad Ems vom 6. 11. 1973).

In der Abbildung 5 sind der endgültige Ausbau und die geologische Schichtenfolge dargestellt.

4. Geologische Ergebnisse

Folgende Schichten wurden angetroffen (MICHEL 1977 b):

0 –	10 m	Pleistozän
–	175 m	Lias
–	598 m	Keuper
ca. –	667 m	Muschelkalk
(bei	667 m	Störung)
–	1034 m	Buntsandstein

Die Lias-Schichten (165 m) bearbeitete mikropaläozoologisch KNAUFF (1977). Er verglich die gefundene Fauna mit den Befunden aus der etwa 1 km nördlich gelegenen Solebohrung Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle.

Die Rhät-Abfolge paßt in das vorgegebene Normalprofil (67 m). Sie ist lediglich etwas mächtiger (90 m) als dieses.

Steinmergelkeuper (71 m) und Rote Wand (28 m) wurden von SANDER (1977) sehr genau untersucht. Ihm gelang die Korrelation der in der Bohrung angetroffenen Schichtenfolge mit Übertageaufschlüssen des nordwestlichen Weserberglandes.

Der Schilfsandstein ist 27 m mächtig und besteht überwiegend aus Feinsandstein und Schluffstein. Er war in den Spülproben gut zu erkennen und war damit für die Schnellbegutachtung an der Bohrstelle so eine Art „Leithorizont".

Es gelang, die 177 m mächtige Abfolge des Gipskeupers zu untergliedern, und zwar in Anlehnung an das publizierte Standardprofil.

Eine Untergliederung des Unteren Keupers (30 m) bzw. Einpassung in das ostwestfälische Normalprofil war kaum möglich.

Die angetroffenen Schichten des Muschelkalks (69 m) gehören dem Oberen und Mittleren Muschelkalk an. Sämtliche Proben sind fossilleer. Trochiten wurden auch nicht gefunden. Zur näheren Ansprache wurden neun Proben von H. GRÜNHAGEN, Geologisches Landesamt Nordrh.-Westf., petrographisch untersucht. Der Untere Muschelkalk fehlt.

Die Grenze zum Buntsandstein ist eine Störungszone, und zwar treffen Mittlerer Muschelkalk und Röt aneinander, d. h. die Sprunghöhe der Verwerfung beträgt mindestens 200 m.

Der Stoffbestand und die Genese der Anhydrit-Eisenglanzvererzung im Buntsandstein wird mit der vor und zur Zeit der Vererzung zirkulierenden Sole in Verbindung gebracht, wobei das Eisen aus dem Buntsandstein selbst stammen dürfte (SCHERP 1977).

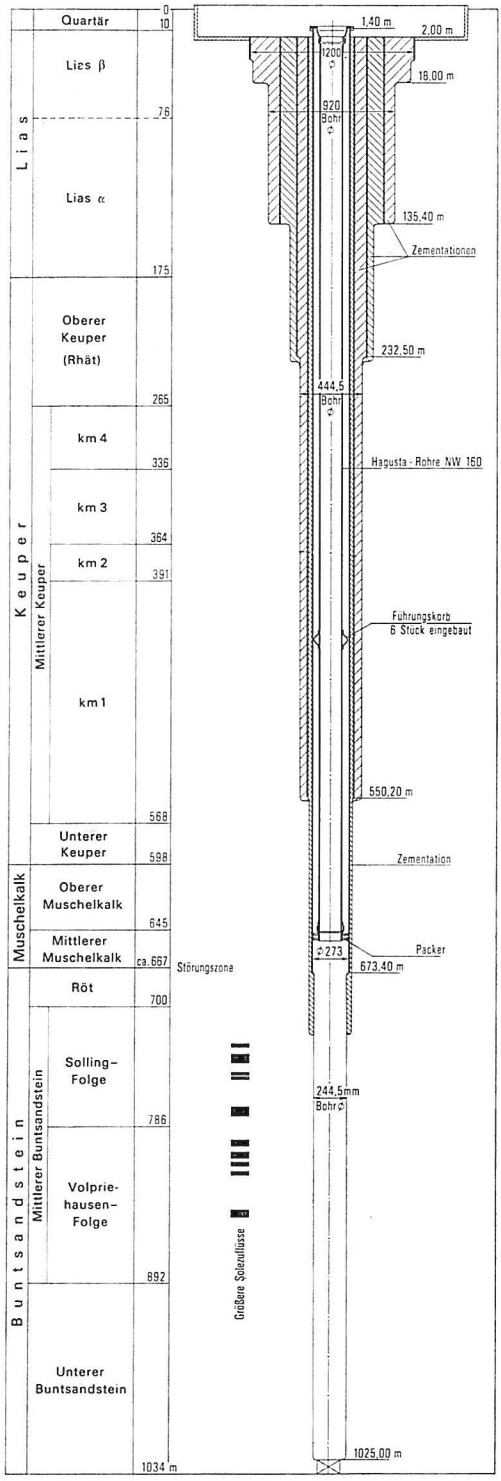


Abb. 5. Ausbau der Bohrung und geologische Schichtenfolge (geringfügig abgeändert nach MICHEL 1975 und 1976: Abb. 4)

5. Hydrogeologische Ergebnisse

Die hydrogeologischen Erkenntnisse, die an der Bohrung während und vor allem nach Abschluß der Bohrarbeiten gewonnen wurden, sind sehr mannigfaltig und zum Teil faszinierend, so z. B. die fast zufällige Entdeckung des Zuflusses einer mehr als 10%igen Sole in 894 m Tiefe! Damit konnte die bisherige Annahme, daß eine Mischsole vorliegt, untermauert werden.

Die vielen Beobachtungen und Meßergebnisse sollen hier nicht wiederholt werden, da sie an anderer Stelle ausführlich dargelegt sind (LANGGUTH & LEICHTLE 1977, LANGGUTH & MICHEL 1977).

Folgendes ist jedoch festzuhalten:

- Nach Erreichen der Endteufe flossen stündlich 218 m^3 Sole aus dem Bohrloch frei aus.
- Die Hauptmenge der Sole fließt zwischen 740 und 790 m Tiefe zu. Davon entfallen auf den besonders klüftigen Bereich zwischen 740 und 754 m etwa 100 m^3/h.
- Der Schließdruck beträgt 8 bar.
- Die Ergiebigkeitslinie wurde durch Stauversuche ermittelt. Dabei lagen die Ergiebigkeiten zwischen 63,3 l/s und 71,4 l/s, entsprechend zwischen 226 m^3/h und 255 m^3/h.
- Die Fließgeschwindigkeit im Quellschlot erreichte danach 1,3–1,4 m/s.

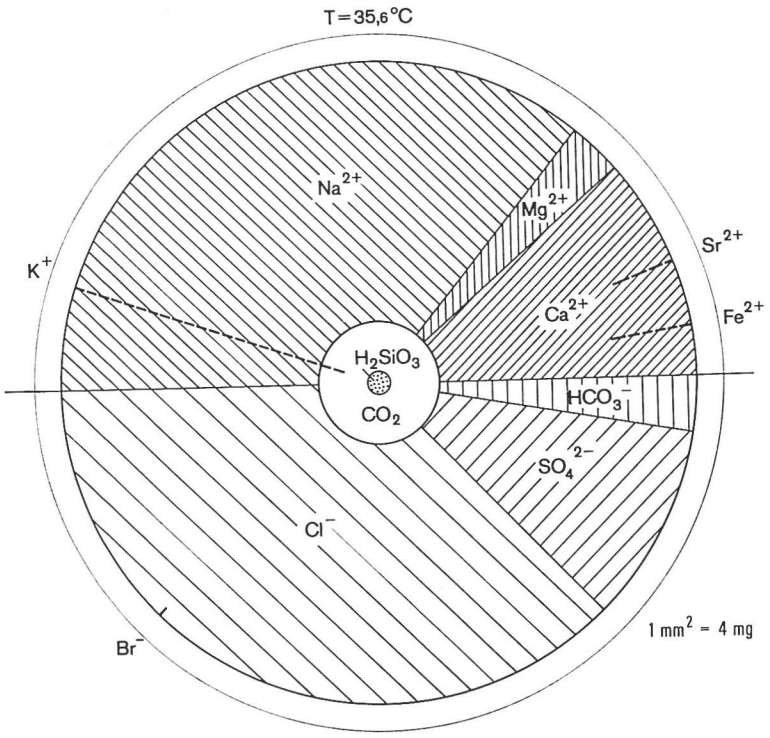


Abb. 6. Die große Heilwasseranalyse als Udluft-Diagramm (Institut Fresenius, 17. 12. 1974)

- Es handelt sich um eine Mischsole. Nur so ist die Übersättigung an Sulfaten erklärlich und damit auch die Inkrustation.
- Nach der balneologischen Nomenklatur liegt eine 2,3%ige „eisen- und sulfathaltige Thermalsole" oder eine „eisenhaltige Natrium-Chlorid-Sulfat-Therme" vor. Die große Heilwasseranalyse (Institut Fresenius, Taunusstein) vom 17. 12. 1974 wird als Udluft-Diagramm wiedergegeben (Abb. 6).
- Quantitative Untersuchungen ergaben, daß der Gehalt an freiem gelösten Kohlendioxid gewissen Schwankungen unterworfen ist. Während der Bohrarbeiten und auch noch danach wurden Werte von 1 500 mg/kg und mehr gemessen. Im April 1975 wurde ein Mittelwert von 886 mg gelöstes freies Kohlendioxid in 1 kg Sole ermittelt (Institut Fresenius).
- Qualitative Untersuchungen des Quellgases erfolgten ebenfalls durch das Institut Fresenius. Danach enthielt die Gasprobe vom 6. 9. 1973 96,8 Vol% CO_2 und 3,2 Vol% N.
- Die Soletemperatur auf der Bohrlochsohle beträgt 44° C (Messung der Firma Schlumberger vom 30. 7. 1973), die Auslauftemperatur 36,5° C. Unter anderen Entnahmebedingungen wurden auch 35,6° C gemessen.

6. Gegenseitige Beeinflussung der Solebohrungen

Mit besonderer Sorgfalt und über das bisherige Maß hinaus wurden von Oktober 1972 bis September 1973 die vorhandenen Solebohrungen beobachtet und gemessen, um eventuelle Beeinträchtigungen durch die Bohrung VII sofort zu erkennen. Die quantitativen und qualitativen Messungen erledigte Leichtle (1974, 1977).

Die Auswertung der piezometrischen Druckmessungen nahm Berging. U. Schwartz vor (Abb. 7). Ihm danke ich vielmals dafür, daß er mir seine Ergebnisse zur Veröffentlichung überließ.

Die Gefahr, die vorhandenen Solebohrungen, vor allem den Jordan-Sprudel, durch die neue Bohrung quantitativ zu beeinträchtigen, hing wie das Damokles-Schwert über allen Verantwortlichen. Was nützten die beschwichtigenden Worte

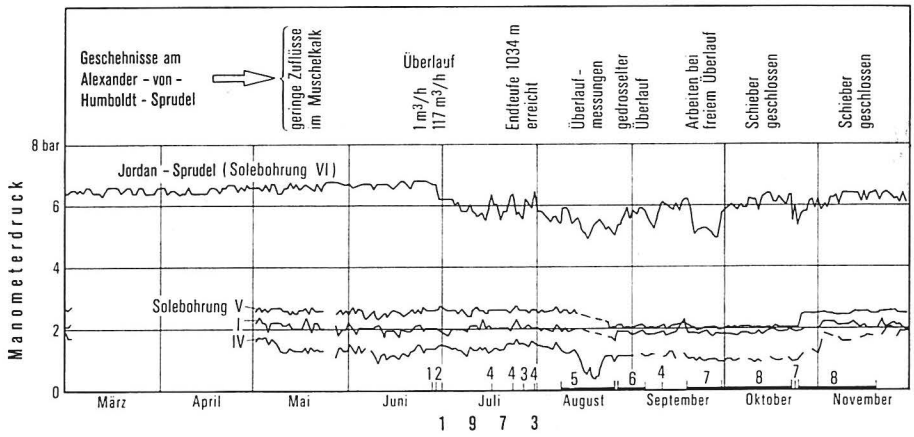


Abb. 7. Manometermessungen an den Bad Oeynhausener Solebohrungen im Sommer 1973. Eine Beeinflussung durch den neu erschlossenen Alexander-von-Humboldt-Sprudel ist deutlich zu erkennen (Berging. U. Schwartz, Bad Ems).

des Balneogeologen – besonders er kannte die Tücken des Objekts. Und wenn wir dem Jordan-Sprudel die Sole abgegraben hätten, dann wäre der Zweck der Neubohrung sicherlich verfehlt gewesen.

Im einzelnen wurden an den Solebohrungen wöchentlich gemessen und beobachtet: die Schüttung, der Chloridgehalt und der Gehalt an freier Kohlensäure. An neun Grundwassermeßstellen und drei Bohrbrunnen im Einzugsgebiet wurden die Grundwasserstände bzw. -drücke registriert.

Obwohl in dem Beobachtungszeitraum eines ganzen Jahres ca. 800 000 m³ Sole gefördert wurden – auf den Jordan-Sprudel entfielen allein 500 000 m³ – konnten keine gegenseitigen Beeinträchtigungen festgestellt werden. Mit dem Einsatz einer Danaide an der Solebohrung IV konnten zwar Einflüsse der bisherigen Solebohrungen untereinander quantitativ erfaßt werden, aber keine Einwirkungen durch die Neubohrung.

Die sehr gewissenhafte Auswertung der Druckmessungen an den Solebohrungen I, IV, V und VI durch U. SCHWARTZ zeigt aber doch sehr eindrucksvoll einen Zusammenhang zu der Neubohrung auf (Abb. 7). Bereits die ersten Zuflüsse im Alexander-von-Humboldt-Sprudel bei 736 m lassen einen Druckabfall erkennen (1), welcher zunimmt, als am 28. 6. 1973 117 m³/h Sole ausfließen (2). Eine weitere Abnahme der Drücke erfolgt bis zum Erreichen der Endteufe von 1034 m (3), weil der Auslauf nicht gedrosselt werden kann. Im Juli wird der Schieber an der Neubohrung mehrmals geschlossen, und es ist wiederholt ein Druckanstieg zu verzeichnen (4). Die Überlaufversuche bei verschiedener Stauhöhe bedingen einen erneuten Druckabfall (5). Mengenmessungen bei gedrosseltem Überlauf führen zu einem geringen Druckanstieg (6).

Arbeiten und Messungen am offenen Bohrloch und bei freiem Überlauf haben im September einen erneuten Druckabfall zur Folge, vor allem am Jordan-Sprudel (7). Im Oktober und November 1973 bauen sich die Drücke an den Solebohrungen wieder auf (8), weil der Schieber des Alexander-von-Humboldt-Sprudels geschlossen ist.

7. Zur Herkunft der Sole

Eine Schüttung von über 200 m³/h aus einer tiefen Bohrung ohne merkliche quantitative Beeinflussung bereits vorhandener Tiefbohrungen ist ein bemerkenswertes Ergebnis. Selbst wenn man weiß, daß diese Ergiebigkeit auf eine überschaubare Größe zurückgehen wird, muß selbst dem Wissenden ein gewisser Zweifel ankommen, wie lange dies gutgehen wird.

Selbst wenn es nun als gesichert gelten kann, daß die Mineralisation der Sole aus dem Zechstein stammt (MICHEL & NIELSEN 1977), bleibt nach wie vor die Frage offen, woher das verdünnende Wasser stammt. Bei einer derartig auffällig gering konzentrierten Sole kann man gar nicht umhin, das Lösungsmittel Wasser dem rezenten Wasserkreislauf zuzuordnen. Das Einzugsgebiet dieser Verdünnungskomponente dürfte im Süden und Südosten liegen. Nach dort hin ist auch die Oeynhausener Quellenspalte zu verfolgen.

Nicht so recht in diese Konzeption paßt die höher konzentrierte Sole (8,5‰) der nur 184 m tiefen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle. Auch sie steht mit den Zechstein-Schichten in hydraulischer Verbindung.

Der Zechstein ist aber in der näheren Umgebung von Bad Oeynhausen bisher nirgends erbohrt worden. Andererseits zeigen die Schwefel-Isotopenwerte der

11%igen Mindener Sole auch Zechstein-Herkunft an. Sollte die konzentrierte Sole doch aus dem Norden zufließen? Welche Rolle spielen dabei die Porta Westfalica (eine ? tiefe Zerrüttungszone) und das relativ breite Werretal? Die Gebirgsauflast ist abgetragen, und der Soleaufstieg wird dadurch begünstigt. Eine offene Frage.

Das ^{14}C-Modellalter von 30 000 Jahren vor heute ist ein mehr oder weniger fiktiver Wert, denn es ist nur zu gut bekannt, daß bei Anwesenheit von magmatischer Kohlensäure die Interpretation erschwert ist (GEYH & MICHEL 1977: 244).

Unklar ist weiterhin, ob die Subrosionsvorgänge noch heute andauern. Die rezente Erdfallaktivität in Seebruch spricht zwar dafür, ist aber kein zwingender Beweis.

So bleibt die Selbstverständlichkeit der Regeneration, die jeder Süßwasserquelle und jedem Süßwasservorkommen zugestanden wird und die auch erhalten werden muß, für die Solequellen offen. Und dies ist die Unsicherheit, mit der wir leben müssen.

8. Schriftenverzeichnis

DEUTLOFF, O. (1974): Die Hydrogeologie des nordwestlichen Weserberglandes in der Umgebung von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 111–194, 12 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

DEUTLOFF, O., & HAGELSKAMP, H., & MICHEL, G. (1974): Über die Erdfall-Quelle von Bad Seebruch in Vlotho, Ostwestfalen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 27–46, 6 Abb., 1 Tab.; Krefeld. – [Vorausdr. 1973]

DEUTLOFF, O., & KARRENBERG, H. (1969): Zum Wasserhaushalt der Mineralwässer im Raum Bad Salzuflen – Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **16:** 577–594, 4 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

ECKERMANN, J. P. (1836/48): Gespräche mit Goethe; Leipzig (Brockhaus). – [Goldmanns Gelbe Taschenbücher, **950/951:** 415 S.; München; ohne Jahresangabe]

FRICKE, K. (1972): Ergiebigkeitsabnahme bei Thermalwasserquellen infolge von Kristallbildung (Verkrustung) im schadhaften Bohrloch – erläutert am Beispiel von Bad Oeynhausen. – Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **23:** 363–366, 4 Abb., 1 Tab.; Köln.

GEYH, M. A., & MICHEL, G. (1977): Zur Isotopenchemie von Mineralwässern und sonstigen Grundwässern im Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 229–252, 9 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

HUMBOLDT, A. VON (1845/1858): Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. – **1:** 493 S.; **4:** 690 S.; Stuttgart, Tübingen (Cotta'sche Buchhdlg.).

KNAUFF, W. (1977): Der Lias in den Bohrungen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle und Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 81–88, 1 Abb., 1 Taf.; Krefeld.

LANGGUTH, H. R., & LEICHTLE, TH. (1977), mit einem Beitr. von SCHWARTZ, U.: Spezielle Messungen zur Ergiebigkeit und chemischen Beschaffenheit des Alexander-von-Humboldt-Sprudels. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 145–163, 14 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

LANGGUTH, H. R., & MICHEL, G. (1977): Hydrochemische Untersuchungen am Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 165–183, 6 Abb., 5 Tab.; Krefeld.

LEICHTLE, TH. (1974): Hydrogeologische Untersuchungen im Rahmen der Sole-Bohrung VII in Bad Oeynhausen. – Dipl.-Arb. Techn. Hochsch. Aachen: 109 S., 33 Abb., 2 Tab., 4 Anl.; Aachen.

– (1977): Spezielle hydrologische Untersuchungen in Bad Oeynhausen während der Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 125–144, 9 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

LIESENHOFF, A. (1895): Freiherr KARL VON OEYNHAUSEN. Ein Lebensbild. Festschrift zur Feier des fünfzigjährigen Bestehens des Königl. Bades Oeynhausen am 30. Juni 1895. – 65 S., 12 Abb.; Berlin (Ernst).

MERTENS, R. (1959): ALEXANDER VON HUMBOLDT und Frankfurt am Main. – Aufsätze u. Red. senckenb. naturforsch. Ges., **10:** 1–16, 2 Abb.; Frankfurt.

MESTWERDT, A. (1919): Die Bäder Oeynhausen und Salzuflen. – Jb. preuß. geol. L.-Anst., **37** (2): 64–131, 7 Abb., 2 Taf.; Berlin. – [Vorausdr. 1917]

– (1941): Die Mineralquellen des nordwestdeutschen Berglandes nach ihrer Eigenart, Entstehung und räumlichen Verteilung. – Der Balneologe, **8:** 225–232, 1 Kt.; Berlin.

MICHEL, G. (1975): Die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen. – Heilbad u. Kurort, **27:** 65–68, 6 Abb.; Gütersloh.

– (1976): Die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen. – Schr.-R. dt. Bäderverb. e. V., **36:** 104–112, 6 Abb.; Gütersloh. – [Vortr. X. Internat. Kongr. d. Internat. Ges. f. Bädertechn., 20.–24. Okt. 1974 in Bad Salzuflen]

– (1977 a): Das Solevorkommen von Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 1–43, 13 Abb., 5 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

– (1977 b): Die Schichtenfolge der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 63–80, 2 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

MICHEL, G., & NIELSEN, H. (1977): Schwefel-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten ostwestfälischer Mineralwässer. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 185–227, 16 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

OPPITZ, U.-D. (1969): Der Name der Brüder HUMBOLDT in aller Welt. – In: PFEIFFER, H. [Hrsg.]: ALEXANDER V. HUMBOLDT – Werk und Weltgeltung: 227–429; München (Piper).

SANDER, A. (1977): Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 89–108, 1 Abb., 1 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

SCHERP, A. (1977): Eisenglanzvererzungen im Buntsandstein der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 109–123, 1 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

TYEDMERS, L. (1962): Aus Geschichte und Technik der Heilquellen von Bad Oeynhausen. – 68 S., 42 Abb.; Bad Oeynhausen (Verlag Jordansprudel).

ZITTEL, A. (1899): Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts. – 868 S.; München, Leipzig (R. Oldenbourg). – [Unveränd. Nachdr. 1965 durch Johnson Reprint Corporation, London, New York]

Eingang des Manuskriptes: 21. 12. 1976

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 63–80, 2 Abb., 2 Tab.	Krefeld, Nov. 1977

Die Schichtenfolge der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen

Von Gert Michel *

Borehole survey, thermal water (brine), stratigraphy, Northwest-German Mesozoic Hills (Bad Oeynhausen)

K u r z f a s s u n g : Die geologische Schichtenfolge der 1034 m tiefen Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen umfaßt:

0 –	10 m	Pleistozän
–	175 m	Lias
–	598 m	Keuper
–	667 m	Muschelkalk
(bei	667 m	Störung)
–	1034 m	Buntsandstein

Eine Störung mit einer Sprunghöhe von mindestens 200 m liegt zwischen den oberen Partien des Mittleren Muschelkalks und dem Oberen Buntsandstein (Röt 1). Eine kleinere Störung ist noch im Oberen Muschelkalk zu vermuten, da der Trochitenkalk nicht gefunden wurde.

Die Schichten des Lias, des oberen Mittelkeupers und des Buntsandsteins sind Gegenstand von Spezialarbeiten (Knauff 1977, Sander 1977, Scherp 1977). Deshalb werden lediglich über die Schichten des unteren Mittelkeupers sowie des Oberen und Mittleren Muschelkalks spezielle Daten mitgeteilt. Unterer Muschelkalk fehlt.

[The succession of formations of the mineral water boring Alexander-von-Humboldt-Sprudel]

A b s t r a c t : The succession of formations of the Alexander-von-Humboldt-Sprudel, a mineral water boring, is described. The artesian well has a depth of 1034 metres. The following formations were found:

0 –	10 m	Pleistocene
–	175 m	Lias
–	598 m	Keuper
–	667 m	Muschelkalk
(in	667 m	fault)
–	1034 m	Bunter Sandstone

A fault with a vertical distance of about 200 m exists between the upper strata of the Middle Muschelkalk and the Upper Bunter Sandstone. A smaller fault is assumed in the layers of the Upper Muschelkalk, because the "Trochitenkalk" was not found.

The strata of Lias and the upper parts of Middle Keuper and of the Bunter Sandstone are objects of special treatises (Knauff 1977, Sander 1977, Scherp 1977). Therefore only the results of more special investigations of the layers of lower Middle Keuper and Upper and Middle Muschelkalk are given. Lower Muschelkalk is missing.

---

* Anschrift des Autors: Dr. G. Michel, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

[Le profil des couches dans le forage d'eau minérale de l'Alexander-von-Humboldt-Sprudel]

Résumé: Le profil géologique et stratigraphique dans le forage d'eau minérale de l'Alexander-von-Humboldt-Sprudel à Bad Oeynhausen, profond de 1034 m, se compose de:

0 –	10 m	Pléistocène
–	175 m	Lias
–	598 m	Keuper
–	667 m	Muschelkalk
(à	667 m	faille)
–	1034 m	Grès bigarré

Une faille, ayant un rejet de 200 m au moins, est localisée entre les parties supérieures du Muschelkalk moyen et le Grès bigarré supérieur. A cause de la lacune du calcaire à Trochites, l'existence d'une petit faille, localisée dans le Muschelkalk supérieur, est probable.

Les couches du Lias, du Keuper moyen supérieur et du Grès bigarré font l'objet des publications spéciales (KNAUFF 1977, SANDER 1977, SCHERP 1977). Pour cette raison, cette publication ne traite plus précisement que les couches du Keuper moyen inférieur et du Muschelkalk supérieur et moyen. Le Muschelkalk inférieur manque.

1. Vorbemerkungen

Beim Abteufen einer tiefen Bohrung auf der Suche nach einem Mineral, in diesem Falle nach einem flüssigen Mineral, nämlich einer Sole, werden selbstverständlich auch neue geologische Erkenntnisse gewonnen. Immer wieder meinen daher manche Auftraggeber, der Geologe müßte für seine verantwortungsvolle Tätigkeit noch Geld mitbringen, statt dafür honoriert zu werden. Ähnlich wäre es, wenn einem erfolgreich Operierten der Chirurg, der ihm das Leben gerettet hat, für seine in dessen Bauch- oder Brustraum gewonnenen Erkenntnisse noch eine Summe zuzahlen würde.

In Bad Oeynhausen war dies bei der Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels nicht der Fall, und es trifft diese Präambel auch keinesfalls zu, aber „aus gegebener Veranlassung" mußte es leider einmal deutlich gesagt werden. Viel Verständnis für die schwierige Situation des Geologen, der ja auch noch nicht „unten" gewesen ist, und Vertrauen in sein Verantwortungsbewußtsein seitens des Kurdirektors ALFONS W. DOLE förderten die Entscheidungsfreude des Geologen und damit den zügigen Ablauf der Bohrarbeiten. Das gute Ergebnis der Bohrung war somit kein Lohn der Angst.

Die 1034 m tiefe Thermalsolebohrung VII in Bad Oeynhausen, der Alexander-von-Humboldt-Sprudel (Lage: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200) durchörterte folgende Schichten:

0 –	10 m	Pleistozän
–	175 m	Lias
–	598 m	Keuper
–	667 m	Muschelkalk
(bei	667 m	Störung)
–	1034 m	Buntsandstein

Bei der feldgeologischen Bearbeitung der Spülproben unterstützte mich Dipl.-Geol. TH. LEICHTLE, Aachen, der während der ganzen Bohrzeit täglich mindestens einmal die Bohrstelle aufsuchte. Für eine eingehende Bearbeitung des oberen Mittelkeupers konnte nach Fertigstellung der Bohrung A. SANDER (1977) gewonnen

werden, der bis 1963 über 200 Oberflächenaufschlüsse in dieser Schichtenfolge aufgenommen hatte.

Vom Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen haben sich Dr. H.-D. DAHM, Dr. H. GRÜNHAGEN, Dr. W. KNAUFF, Dr. A. SCHERP und Dr. H. WERNER an den Untersuchungen beteiligt.

Anläßlich des 10. internationalen Kongresses der Société Internationale de Technique Hydrothermale (SITH) vom 20.—24. Oktober 1974 in Bad Salzuflen wurde über die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels berichtet (MICHEL 1975). Dabei ist auch die Schichtenfolge kurz beschrieben worden mit dem nachdrücklichen Hinweis, daß bei minuziöser Bearbeitung geringfügige Änderungen der stratigraphischen Einstufung der Schichten noch möglich sind.

So wurde nunmehr den Grenzen aus den geophysikalischen Bohrlochmessungen gegenüber den Spülproben-„Grenzen" der Vorzug gegeben. Danach liegt die Grenze zwischen Oberem Buntsandstein (Röt) und Mittlerem Buntsandstein bereits bei 700 m und nicht bei 712 m.

Innerhalb der Keuper-Abfolge hat SANDER (1977) die Grenze zwischen Steinmergelkeuper und Roter Wand nach anderen Kriterien festgelegt als dies der Praktiker zu tun pflegt (vergl. S. 78). So hat sich auch hier eine Änderung ergeben.

2. Probenentnahme und -bearbeitung

Gebohrt wurde bis 145 m Tiefe im Lufthebeverfahren, bis 1034 m im Rotaryverfahren mit Spülzusätzen. Es wurden Rollenmeißel verschiedenen Typs eingesetzt, ab 813 m Warzenmeißel. Entsprechend waren die Bohrproben bis 145 m Tiefe großstückig, bis zur Endteufe je nach Gesteinshärte und Verschleiß des Meißels kleinstückig bis mehlig. Kerne mit einem Durchmesser von 86 mm wurden auf folgenden Strecken gebohrt:

719—722,5 m; 802—803,6 m; 875,5—882 m; 1025—1034 m

Die Spülproben wurden an Ort und Stelle gewaschen, gesiebt und makroskopisch beschrieben und nach Möglichkeit auch sofort stratigraphisch eingestuft. Die Farbangaben beziehen sich auf erdfeuchten Zustand. Die Proben werden im Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen aufbewahrt.

Die Lias-Proben sind im mikropaläozoologischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen aufbereitet und untersucht worden (KNAUFF 1977). Sedimentpetrographische Untersuchungen führte H. GRÜNHAGEN durch. Die quantitativen Bestimmungen des Carbonatgehaltes erfolgten durch H. WERNER.

Die spezielle petrographische und erzmikroskopische Bearbeitung der Eisenglanz-Anhydrit-Paragenese im Buntsandstein erfolgte durch SCHERP (1977). Die spezielle Untersuchung der Buntsandstein-Schichten lag in den Händen von H.-D. DAHM. Seine Ergebnisse werden an anderer Stelle veröffentlicht.

3. Geophysikalische Bohrlochmessungen

Jeweils vor dem Einbau der Verrohrungen und bei Endteufe wurden von der Firma Schlumberger insgesamt 25 geophysikalische Bohrlochmessungen durchgeführt. Einen Überblick über die angewendeten verschiedenen Verfahren gibt Tabelle 1. Ausführende waren N. PATERAK und J. HERTLEIN, Betreuer Dipl.-Geo-

Tabelle 1

Geophysikalische Bohrlochmessungen in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen (durchgeführt 1972/1973)

Meßmethode	GRL	ES	IES	MLL-ML	BGT	TTC	CBL	HRT		CFM	GM	CDR
Datum der Messungen / Bohrlochtiefe (m)	Gamma-Ray-Log	Electriclog	Induction-Electrical-Log	Microlaterolog — Microlog	Dual-Kaliber	Thru Tubing Kaliber	Cement-Bond-Log	High Resolution Thermometer	Dichte	Continuous Flowmeter	Gradiomanometer	Bohrloch-Abweichung
11. 12. 1972 145	+	+						+				
20. 2. 1973 289,3	+	+			+			+				+
26. 3. 1973 550,6	+	+		+				+				
22. 5. 1973 712,4	+		+	+		+		+				
30. 7. 1973 1034,0	+			+			+	+	+	+	+	+

phys. H. JUNK und Dipl.-Ing. J. DRAXLER von der Schlumberger-Zweigniederlassung Hannover.

Für die endgültige Gliederung und Abgrenzung der Schichtenfolge konnten die Ergebnisse folgender Messungen mit ausgewertet werden: Gamma-Ray-Log (GRL), Electriclog (ES), Induction-Electrical-Log (IES) und Microlaterolog – Microlog (MLL – ML).

Die anderen angewendeten Methoden waren vor allem für technische und hydrogeologische Fragen von Wichtigkeit und werden in anderen Aufsätzen dieses Bandes berücksichtigt.

Auf das Ergebnis der Abweichmessungen vom 30. 7. 1973 wird jedoch noch aufmerksam gemacht: Zwischen 700 und 1025 m betrug bei einem Gesamtazimut von 78° die Gesamtabweichung 72,30 m. Das entspricht einem Teufenverlust von 8,36 m!

4. Schichtenverzeichnis

Einen Überblick über die Schichtenfolge gibt Abbildung 1. Erbohrt wurde:

0– 10 m Quartär (10 m)

– 7 m Schluff, feinsandig, gelbbraun
– 9 m Kies (Tonstein, Sandstein, keine nordischen Anteile), tonig, schluffig, mittelgrau
– 10 m Tonsteinbruchstücke, Schluff und Ton, dunkelgrau (Verwitterungszone des darunter folgenden Lias)

10– 175 m Lias (165 m)
(mikropaläozoologische Bearbeitung: KNAUFF 1977)

10– 76 m Lias β (66 m)

– 26 m Ton- bis Schluffstein, mittelgrau, dünnschichtig, fest, schwach carbonathaltig, feinverteilt Pyrit
– 35 m Tonstein, dunkelgrau, fest mit mürben Zwischenlagen, carbonathaltig, dunkelgrau, zwischen 32 und 34 m Kalkgeoden
– 46 m Tonstein, schwarz, feinschichtig, lagenweise mürbe, unregelmäßiger Bruch, glatte Schichtflächen, carbonathaltig
– 48 m Tonstein, schwarz, feinschichtig, mürbe, carbonathaltig, feinverteilt Pyrit
– 53 m Mergelstein, schwarz
– 66 m Tonstein, dunkelgrau bis schwarz, lagenweise sehr carbonathaltig, feinverteilt Pyrit, Kalkspat und Marienglas auf Klüften
– 76 m Tonstein, dunkelgrau bis schwarz, fest, unregelmäßiger Bruch, schwach carbonathaltig, bei 69 m stärker carbonathaltig, feinverteilt Pyrit

76– 175 m Lias α (99 m)

– 96 m Tonstein, dunkelgrau bis schwarz, feinschichtig, glatte Schichtflächen, schwach carbonathaltig, mittelfest bis fest, zwischen 93 und 95 m weich, pyrithaltig, auf Klüften Kalkspatkristalle

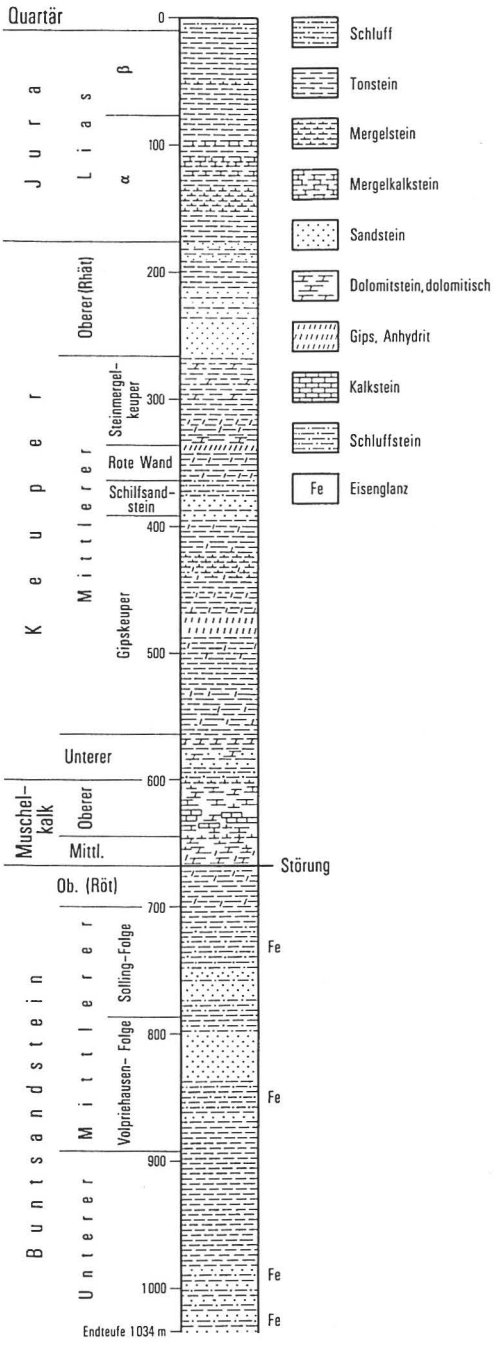


Abb. 1. Schichtenfolge der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel

– 99 m Mergelkalkstein, dunkelgrau bis schwarz
– 111 m Tonstein, dunkelgrau bis schwarz, carbonathaltig
– 117 m Mergelkalkstein, dunkelgrau bis schwarz
–118,5 m Tonstein, dunkelgrau bis schwarz, sehr schwach carbonathaltig
– 120 m Mergelkalkstein, dunkelgrau bis schwarz
– 135 m Tonstein, dunkelgrau bis schwarz, feinschichtig
– 154 m Mergelstein, schwarz
– 175 m Tonstein, schwarz, feinschichtig, carbonathaltig, Kalksteinbänkchen bei 157 m

175– 265 m Rhät (90 m)

175– 190 m Glimmersandstein (15 m)

– 190 m Tonstein, schwarz, in dünner Wechsellagerung mit mittelgrauem muskowitführendem quarzitischem Feinsandstein, Haarrisse mit Kalkspat verheilt

190– 237 m Rhätschiefer-Gruppe (47 m)

– 213 m Tonstein, schwarz, weich bis mittelfest, carbonatfrei, feinschichtig, millimeterdünne Lagen, glatte Schichtflächen, pyritführend, ab 205 m idiomorphe Pyritkristalle, auf Klüften Kalkspat
– 230 m Tonstein, schwarz, splittriger Bruch, mit millimeterdünnen hellgrauen Lagen von quarzitischem Feinsandstein, nicht carbonathaltig
– 237 m wie bis 230 m, aber Zunahme der Lagen von quarzitischem Feinsandstein in Menge und Mächtigkeit

237– 265 m Basalquarzit-Gruppe (28 m)

– 243 m quarzitischer Sandstein, hellgrau, felsitisch, dicht, scharfkantiger Bruch; wechsellagernd mit schwarzem Tonstein
– 255 m quarzitischer Sandstein, hellgrau, felsitisch, dicht, splittriger Bruch; vereinzelt Tonsteinlagen, schwarz
– 265 m quarzitischer Sandstein, hellgrau bis weiß, sehr hart, z. T. mikrokristallin, felsitisch, zuckerkörnig, sehr vereinzelt Tonsteinlagen, schwarz

265– 567 m Mittlerer Keuper (302 m)

265– 336 m Steinmergelkeuper (km4) (71 m)

(detaillierte Bearbeitung: SANDER 1977)

265– 294 m Oberer Steinmergelkeuper (km4β) (29 m)

– 267 m Tonstein, steinmergelartig, dunkelgrau, dicht, splittriger Bruch, scharfkantig, vereinzelt Quarzitlagen
– 268 m Tonstein, Steinmergel, mittelgrau, schwach carbonathaltig, splittrig, scherbiger Bruch, vereinzelt idiomorphe Pyritkristalle
– 274 m Steinmergel, mittelgrau-schwachviolett, splittrig, scherbiger Bruch, carbonathaltig, vereinzelt idiomorpher Pyrit
– 285 m Steinmergel, dunkelgrau und hellgrau-schwachviolett, dicht, scherbig, splittriger Bruch, vereinzelt Kalkspat als Kluftfüllung, idiomorphe Pyritkristalle

— 294 m Steinmergel, grüngrau und schwachviolett, splittrig, hakiger Bruch, idiomorphe Pyritkristalle im Millimeterbereich; von 289—291 m sekundäre Gipskristalle

294— 336 m Unterer Steinmergelkeuper (km4α) (42 m)

— 305 m Steinmergel, grüngrau und schwachviolett, splittrig, hakiger Bruch, scharfkantig; sekundäre Gipskristalle

— 313 m Tonstein, mittelgrau bis schwachviolett, steinmergelartig fest, splittrig, hakiger Bruch, scharfkantig, pyrithaltig

— 316 m Tonstein, mittelgrau bis schwachviolett, mit wenig weißem dichtem, zwischen den Fingern zerreibbarem Gips, vereinzelt Pyrit

— 317 m Tonstein, dunkelgrau, relativ weich, mit wenig Gips

— 320 m Tonstein, dunkelrotbraun-violettrot und dunkelgrüngrau, mit zunehmendem Gipsgehalt

— 327 m Tonstein, mittelgrüngrau bis grau und lagenweise violettrot, bis zu 50% Gips- und Anhydritanteil, dicht, weiß

— 330 m Tonstein, schmutziggrau, dunkel, relativ weich, schluffig, unregelmäßiger Bruch; von 328—329 m stärker tonig und weichbröcklig; vereinzelt idiomorphe Pyritkristalle

— 331 m Tonstein, steinmergelartig, mittelgrüngrau, dicht, unregelmäßiger Bruch, sehr wenig Gips, vereinzelt idiomorphe Pyritkristalle

— 333 m Tonstein, schmutziggrau, dunkel, schluffig, relativ weich, feinstglimmrig, unregelmäßiger Bruch, einzelne Pyritkristalle

— 336 m Tonstein, steinmergelartig, mittelgrüngrau, dicht, splittrig, hakiger Bruch, mit Gips und einzelnen idiomorphen Pyritkristallen

336— 364 m Rote Wand (km3) (28 m)
(detaillierte Bearbeitung: SANDER 1977)

— 343 m Tonstein, blaßrot, relativ weich, mit grüngrauen Lagen, unregelmäßiger Bruch; bis 340 m starker Gips- und Anhydritanteil, von 339 bis 340 m auffallend viele Stücke von steinmergelartigem Tonstein, grüngrau und dunkelviolett; von 336—337 m weicher, erdig-krümeliger Tonstein, blaßrot

— 348 m Tonstein, ziegelrot, relativ weich, mit einzelnen grüngrauen Lagen und Gips

— 349 m Tonstein, grauviolett, z. T. violettrot und grünlich geflammt, relativ weich, z. T. steinmergelartig

— 355 m Tonstein, rotbraun-schwachviolett, mit wenigen grüngrauen Lagen und Gips

— 364 m Tonstein, rotbraun, relativ weich, mit wenigen grüngrauen Einschaltungen und etwas Gips

364— 391 m Schilfsandstein (km2) (27 m)

— 375 m Schluffstein, rostrot, schwach muskowitführend (Bohrgut feinkörnig, feinblättrig unter 1 mm)

— 382 m quarzitischer Feinsandstein, violettrot, grüngrau, tonig, mürbe, feritisches Bindemittel, muskowitführend

— 391 m Wechsellagerung von violettrotem quarzitischem Feinsandstein und grüngrauem Tonstein (Bohrgut sehr feinkörnig)

391– 567 m Gipskeuper (km1) (176 m)

– 397 m Tonstein, violettrot, grüngrau in Wechsellagerung, sehr schwach muskowitführend, wenig gips- und anhydritführend, schwach carbonathaltig
– 405 m Tonstein, grüngrau, carbonathaltig
– 425 m Tonstein, grüngrau, steinmergelartig, carbonathaltig mit wenig Gips
– 432 m Mergelstein, braunrot, wenig grüngrau, vereinzelt wenig Gips
– 435 m Mergelstein, grüngrau, wenig braunrot, vereinzelt wenig Gips
– 436 m wie 435 m, bloß überwiegt braunrot, Gipszunahme
– 440 m Mergelstein, grüngrau; Gips, weiß
– 442 m Mergelstein, grüngrau und braunrot, mit Gips
– 448 m Ton bis Tonstein, vorwiegend braunrot, wenig grüngrau, schwach carbonathaltig
– 456 m Tonstein, bis 450 m vorwiegend braunrot, dann grüngrau, vereinzelt wenig Gips, carbonathaltig
– 470 m Tonstein, grüngrau, wechsellagernd mit weißem und hellgrauem Gips
– 485 m Anhydrit, weiß bis grau, zuckerkörnig, mit Tonstein, grau
– 497 m Tonstein, grüngrau, mit Anhydrit, weiß bis hellgrau
– 503 m Tonstein, grüngrau, vereinzelt Anhydrit und Gips
– 510 m Tonstein, braunrot, wenig grüngrau, schwach carbonathaltig
– 516 m Tonstein, braunrot und grüngrau, nicht carbonathaltig, splittriger Bruch
– 529 m Tonstein, braunrot, nicht carbonathaltig, vereinzelt wenig Gips
– 550 m Tonstein, braunrot und grüngrau, vereinzelt wenig Gips, nicht carbonathaltig
– 567 m Tonstein, violettrot, schwach carbonathaltig, gipsführend bis 557 m, ab 558 m vereinzelt hydrothermaler weißer Quarz

567– 598 m Unterer Keuper (31 m)

– 571 m Feinsandstein, graugrün, z. T. quarzitisch, sehr dicht, muskowitführend
– 574 m dolomitischer Tonstein, grüngrau, bei 573 m idiomorphe Quarzkristalle bis 3 mm als Drusen- oder Kluftfüllung
– 577 m Tonstein und Feinsandstein, grüngrau
– 578 m Dolomitstein, grüngrau
– 584 m dolomitischer Tonstein, grüngrau, wechsellagernd mit Feinsandstein
– 598 m Schluffstein bis dolomitischer Tonstein, grüngrau und dunkelgrau

598– 645 m Oberer Muschelkalk (47 m)

– 601 m Mergelstein, dunkelgrau, mit wenig hydrothermalem weißem Quarz
– 645 m dolomitischer Mergelstein, dunkelgrau, dicht, weißer Kalkspat zwischen 620 und 635 m, dann abnehmend

645– 667 m Mittlerer Muschelkalk (22 m)

– 655 m Mergel- bis Dolomitstein, hellgrau (Probe 646–647 m: Carbonatgehalt 78 Gew.%, davon ca. 62% Dolomit und 16% Calcit)
– 666 m Dolomitstein, hellgrau, mit Anhydrit, dunkelgrau; nach Gamma-Ray-Log überwiegt der Anhydrit; selten Hornstein (vergl. Probe 11; S. 76)
– 667 m Dolomitstein, hellgrau, mit wenig Anhydrit, dunkelgrau

Störung

667– 700 m Röt (33 m)

– 678 m Tonstein, hellgrüngrau, sehr carbonathaltig, gipsführend

– 683 m Tonstein, hellgrüngrau bis hellviolettrot, gipsführend (Bohrgut sehr fein)

– 692 m Tonstein bis Schluffstein, violettrot, splittrig, muskowitführend, Gipskristalle (wahrscheinlich auf Klüften)

– 697 m Anhydrit, grau, mit Schluffstein, hellgrüngrau, Kalkspat (wahrscheinlich auf Klüften)

– 700 m Schluffstein, hellgrüngrau, nicht carbonathaltig

700– 892 m Mittlerer Buntsandstein (192 m)

– 712 m Tonstein, rostrot, schwach carbonathaltig

– 719 m Schluffstein, rostrot, und wenig hell- und dunkelgrau, schwach carbonathaltig, einzelne Partien sehr carbonathaltig

–722,5 m (Kernstrecke) Schluffstein, rot, mit Einlagerungen von schichtparallelen, etwa 5 cm mächtigen hellgrauen Linsen, bestehend aus schwach kalcitischem, dolomitischem, feldspatreichem, quarzitischem Schluffstein; Marienglas auf vertikalen und schrägen Klüften

Die Matrix des roten Schluffsteins ist durch feinkörnigen Hämatit tiefrot gefärbt und mikroskopisch kaum aufzulösen. Das Röntgenbeugungsdiagramm ergab für die Matrix Illit, Chlorit, feinkristallinen Quarz und mikritischen bis mikrosparitischen Calcit.

Der hohe Feldspatgehalt der linsenförmigen Einlagerungen ist nur zum geringsten Teil detritischer Herkunft; in erster Linie handelt es sich vielmehr um Neubildungen von Tiefalbit. Muskowite treten nur sehr untergeordnet auf (GRÜNHAGEN).

– 729 m Ton- und Schluffstein, rostrot, wahrscheinlich feinschichtig; weißer Gips, z. T. als Marienglas (auf Klüften)

– 751 m Schluffstein, violettrot, auf Schichtflächen stark muskowitführend, Gips, z. T. als Marienglas (auf Klüften), Carbonatführung auf Kluftbestegen, zwischen 738 und 745 m Eisenglanzkristalle

– 753 m Feinsandstein, vorwiegend violettrot, lagenweise rostrot, muskowitführend

– 758 m Ton- und Schluffstein, rostrot

– 769 m Feinsandstein, Schluffstein, rostrot, feinschichtig

– 784 m Schluffstein, violettrot und rostrot, feinschichtig

– 787 m Tonstein, graugrün und grauviolett; wenig Quarz, weiß bis hellgrau (es könnte sich auch um dünne Quarzitlagen handeln)

– 795 m Schluffstein, rostrot

– 802 m Sandstein, quarzitisch, teilweise porös, violettrot; Poren teilweise mit Kalkspat gefüllt, grobstückiges Bohrgut, Kalkspat und Quarz (auf Kluftflächen)

–803,6 m (Kernstrecke) Feinsandstein, geklüftet, violettrot, sehr zerklüftet

– 815 m Feinsandstein, schwach carbonathaltig, violettrot; wechselnd mit Tonstein, rostrot, schwach carbonathaltig

– 833 m Feinsandstein, hellviolettrot bis hellgraurot, karbonatisches Bindemittel (zwischen 826 und 833 m durch Nachfall verunreinigt)

– 840 m Bohrgut, sehr fein zermahlen, petrographisch nicht ansprechbar

– 864 m Ton- und Schluffstein, braunrot, nicht carbonathaltig, teilweise Eisenglanzkristalle

– 870 m	Ton- und Feinsandstein, carbonathaltig, braunrot
–875,5 m	Tonstein, carbonathaltig, braunrot, lagenweise graugrün
– 882 m	(Kernstrecke) Tonstein, sehr dicht, braunrot
– 892 m	keine Proben
892–1034 m	Unterer Buntsandstein (142 m)
– 899 m	keine Proben
– 912 m	Tonstein, braunrot, wechsellagernd mit Feinsandstein
– 956 m	Bohrgut, sehr fein zermahlen, petrographisch nicht ansprechbar, wahrscheinlich braunroter Tonstein
– 960 m	keine Proben
– 973 m	Tonstein, violett, vereinzelt graugrün, sehr wenig Gips als Marienglas (auf Klüften)
– 979 m	Tonstein, violettrot und braunrot, vereinzelt Gips (auf Klüften)
–1025 m	vorwiegend Tonstein, vereinzelt Schluff- und Feinsandstein, schwach carbonathaltig, braunrot, vereinzelt etwas Gips (auf Klüften), vereinzelt Eisenglanzkristalle
–1034 m	(Kernstrecke) Tonstein, rotbraun, schluffbändrig oder -streifig; Lagen von hellrötlichem, mehr oder weniger quarzitischem Schluffstein und Feinsandstein, Eisenglanz- und Anhydritnester (vergl. Scherp 1977)

5. Ergänzende Bemerkungen zur Muschelkalk – Keuper-Abfolge

5.1. Muschelkalk (69 m) und Unterer Keuper (31 m)

Im Gegensatz zu den bisherigen sechs Tiefbohrungen in Bad Oeynhausen fehlt in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel der Untere Muschelkalk. Auch fehlen mindestens 30 m Mittlerer Muschelkalk und der Trochitenkalk, welcher übrigens aus keiner der älteren Bohrungen beschrieben ist. Mestwerdt (1919) gibt deshalb zwischen Oberem und Mittlerem Muschelkalk eine flach einfallende Störung an. Aus den Spülproben und den Bohrlochmessungen ergeben sich jedoch für diesen Abschnitt keine besonderen Hinweise auf eine Verwerfung. Die Hauptverwerfung weist eine Sprunghöhe von mindestens 200 m auf und liegt im Teufenbereich 667 – 672 m zwischen Mittlerem Muschelkalk und Röt.

Zur näheren petrographischen Charakterisierung der erbohrten Carbonatgesteine wurden zwei Proben aus dem Unteren Keuper und neun Proben aus dem Muschelkalk untersucht.

Ein Teil der Gesteinsfragmente, aus denen jede Probe besteht, wurde in Araldit eingebettet, ein Dünnschliff davon angefertigt und dieser untersucht. Ergänzt wurde die Dünnschliffbestimmung durch röntgendiffraktometrische Übersichtsaufnahmen. Die quantitative Ermittlung des Carbonatgehaltes basiert auf CO_2-Bestimmungen und der Abschätzung des Dolomit-Calcit-Verhältnisses aus Röntgenbeugungsaufnahmen. Die Verteilung von Dolomit und Calcit wurde in mit salzsaurer Alizarin-S-Lösung angefärbten Anschliffen ermittelt.

Da jede Probe aus Fragmenten mehrerer verschiedener Gesteine besteht, die nicht einzeln untersucht wurden, konnte der Carbonatgehalt nur pauschal ermittelt werden. So blieb es daher offen, wie sich der Carbonatgehalt auf die einzelnen Gesteine verteilt. Die Gesteinsansprache ist daher mit geringen Unsicherheiten behaftet.

Die sedimentpetrographischen Untersuchungen erbrachten folgende Ergebnisse (Untersuchungen H. GRÜNHAGEN und H. WERNER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen):

Probe 1 (579—580 m)

Gesteinsfragmente: vorwiegend, z. T. schwach schluffige Mikrite sowie Mikrosparite bis Sparite (Kristallgrößen von 10—30 µm); untergeordnet tonige, z. T. schwach hämatitische Schluffsteine, Tonsteine und tonig-schluffige Feinsandsteine

Die mikrosparitisch bis sparitisch ausgebildeten Dolomitsteine führen einen merklichen Anteil authigenen Albits. Die Carbonatgesteine dürften angesichts des relativ geringen Gesamtcarbonatgehaltes erhebliche Mengen an Nichtcarbonaten (Quarz, Illit, Chlorit) führen und demgemäß als tonig bis stark tonig zu bezeichnen sein.

Probe 2 (589—590 m)

Carbonatgehalt: 31 Gew.%, davon ca. 30% Dolomit und 1% Calcit

Gesteinsfragmente: vorwiegend, z. T. schwach schluffige Mikrite, Mikrosparite bis Sparite (Kristallgrößen von 10—30 µm) und dolomitische siltkörnige Quarzite; untergeordnet Dolosparite (um 30 µm), dolomitische Sandsteine und z. T. schwach dolomitische Tonsteine

Wie bei Probe 1 dürften bei dem relativ geringen Gesamtcarbonatgehalt die Carbonatgesteine als tonig bis stark tonig zu bezeichnen sein.

Probe 3 (599—600 m)

Carbonatgehalt: 48 Gew.%, davon ca. 43% Dolomit und 5% Calcit

Gesteinsfragmente: vorwiegend Sparite, ± tonig-schluffige Mikrosparite sowie Tonsteine, untergeordnet z. T. schwach schluffige Mikrite, spärlich dolomitische Sandsteine und tonige, z. T. ebenfalls dolomitische Schluffsteine

Die Mikrosparite führen z. T. authigenen Albit. Als weitere Nichtcarbonate wurden röntgenographisch wie bei den vorhergehenden Proben Quarz, Illit und Chlorit nachgewiesen, deren Anteil auch in den Carbonatgesteinen so hoch sein dürfte, daß diese als tonig bis stark tonig zu bezeichnen sind. Calcit tritt in mikritischer Ausbildung als Bestandteil einiger (Dolo)Mikrite auf.

Probe 4 (609—610 m)

Carbonatgehalt: 51 Gew.%, davon 31% Dolomit und 20% Calcit

Gesteinsfragmente: ganz überwiegend, z. T. schwach schluffige Mikrite bis Mikrosparite, z. T. mit authigenem Quarz, spärlich Sparite mit authigenem Albit und z. T. schluffige Tonsteine

Der mikritisch ausgebildete Calcit ist Bestandteil einer Reihe von Mikriten bis Mikrospariten. Entsprechend dem hohen Gehalt an Nichtcarbonaten — außer authigenem Albit und Quarz noch detritischer Quarz, Illit und Chlorit — sind wohl alle Carbonatgesteine als tonig bis stark tonig zu bezeichnen.

Probe 5 (616—617 m)

Carbonatgehalt: 65 Gew.%, davon ca. 33% Dolomit und 32% Calcit

Gesteinsfragmente: ganz überwiegend, z. T. schwach schluffige Mikrite bis Mikrosparite, z. T. mit authigenem Quarz; spärlich Sparite mit authigenem Albit

Calcit in mikritischer Ausbildung ist Bestandteil vieler Mikrite bis Mikrosparite. Aufgrund des erheblichen Nichtcarbonatgehaltes — qualitative Zusammensetzung wie bei Probe 4 — sind die Carbonatgesteine als tonig bis stark tonig zu bezeichnen.

Probe 6 (628—629 m)

Carbonatgehalt: 74 Gew.%, davon ca. 37% Dolomit und 37% Calcit

Gesteinsfragmente: fast ausschließlich, z. T. schwach schluffige Mikrite bis Mikrosparite, die bereichsweise auch zu Spariten rekristallisiert sein können, z. T. mit authigenem Albit und Quarz; spärlich karbonatische Tongesteine

Der größtenteils mikritisch, nur ganz gelegentlich sparitisch ausgebildete Calcit ist Bestandteil vieler Fragmente. Die Nichtcarbonate sind die gleichen wie in den vorhergehenden Proben. Ihrem Anteil von pauschal 26 Gew.% entsprechend sind die Carbonatgesteine größtenteils als tonig zu klassifizieren.

Probe 7 (634—635 m)

Carbonatgehalt: 75 Gew.%, davon ca. 35% Dolomit und 40% Calcit

Gesteinsfragmente: fast ausschließlich, z. T. schwach schluffige Mikrite, Mikrosparite und Sparite, z. T. mit authigenem Albit und Quarz; spärlich, z. T. schluffige Tonsteine und tonige Feinsandsteine

Der Calcit liegt stets als Mikrit vor und ist am Aufbau der meisten Fragmente beteiligt. Der Anteil der Nichtcarbonate — wie in allen vorhergehenden Proben außer Albit und Quarz nur Illit und Chlorit — liegt in einem Bereich, der die Charakterisierung der Carbonatgesteine als „tonig" erfordert.

Probe 8 (640—641 m)

Carbonatgehalt: 84 Gew.%, davon ca. 34% Dolomit und 50% Calcit

Gesteinsfragmente: fast ausschließlich, z. T. schwach schluffige Mikrite, Mikrosparite und Sparite, z. T. mit authigenem Albit und Quarz; spärlich schluffige Tonsteine

Der Calcit liegt stets als Mikrit vor und ist am Aufbau der meisten Fragmente beteiligt. Hinsichtlich Art und Menge der Nichtcarbonate gilt das gleiche wie bei Probe 7.

Probe 9 (646—647 m)

Carbonatgehalt: 78 Gew.%, davon ca. 62% Dolomit und 16% Calcit

Gesteinsfragmente: fast ausschließlich, z. T. schwach schluffige Mikrite, Mikrosparite, z. T. bereichsweise zu Sparit rekristallisiert, gelegentlich mit authigenem Albit, der auf kleinen Trümern auch mit Quarz vergesellschaftet ist; spärlich karbonatische, schluffkörnige Quarzite

Der mikritisch ausgebildete Calcit ist an der Zusammensetzung einer Reihe von Carbonatgesteinen beteiligt. Der Anteil der Nichtcarbonate — außer Quarz und Albit die Tonminerale Albit und Chlorit — kennzeichnet die Carbonatgesteine als tonig.

Probe 10 (654—655 m)

Carbonatgehalt: 76 Gew.%, davon ca. 68% Dolomit und 8% Calcit

Gesteinsfragmente: fast ausschließlich, z. T. schwach schluffige Mikrite, Mikrosparite, z. T. bereichsweise zu Sparit rekristallisiert, gelegentlich mit authigenem Quarz, ein Fragment mit einzelnen Pellets

Der überwiegend mikritisch, z. T. aber auch sparitisch ausgebildete Calcit ist Bestandteil einzelner Fragmente. Hinsichtlich Anteil und Menge der Nichtcarbonate sowie der daraus resultierenden Benennung der Carbonatgesteine gilt das gleiche wie bei Probe 7.

Probe 11 (662—663 m)

Carbonatgehalt: 72 Gew.%, davon ca. 48% Dolomit und 24% Calcit

Gesteinsfragmente: fast ausschließlich, z. T. schwach schluffige Mikrite bis Mikrosparite, z. T. bereichsweise zu Sparit rekristallisiert, gelegentlich mit authigenem Quarz und Albit; auf kleinen Trümern Anhydrit mit Quarz vergesellschaftet; einzelne Fragmente mit Pellets; selten Hornsteine

Einzelne Fragmente führen mikritisch ausgebildeten Calcit. Aufgrund des Nichtcarbonatgehaltes müssen neben tonigen auch stark tonige Carbonatgesteine vertreten sein. Die Nichtcarbonate sind, abgesehen von dem Anhydrit, die gleichen wie in allen vorhergehenden Proben.

Unter Berücksichtigung der eingangs genannten, durch die Untersuchungsmethodik bedingten Einschränkungen ergeben sich einige allgemeine Schlußfolgerungen:

Die Proben sind völlig fossilleer.

Die Carbonatgesteine enthalten — mit Ausnahme der Proben 10 und 11, in denen pelletführende Gesteinsfragmente vorkommen — auch keine anderen sogenannten Allocheme (z. B. Intraklasten, Ooide). Vielmehr handelt es sich stets um Mikrite oder deren Rekristallisationsprodukte (Mikrosparite, Sparite).

Das vorherrschende Carbonatmineral ist mit Ausnahme der Proben 6, 7 und 8 frühdiagenetischer Dolomitstein; aber auch in diesen drei Proben ist Dolomitstein ein wesentlicher Bestandteil.

Sehr reine Carbonatgesteine scheinen weitgehend zu fehlen; der Nichtcarbonatanteil bewegt sich zwischen 16 Gew.% (Probe 8) und 69 Gew.% (Probe 2). Dies schließt natürlich nicht aus, daß an der Zusammensetzung einer Probe sehr reine Carbonatgesteine beteiligt sein können, wenn dafür auch entsprechende carbonatärmere vertreten sind.

Die Abbildung 2 zeigt die Zunahme des Carbonatgehaltes vom Unteren Keuper bis zur Grenze Oberer/Mittlerer Muschelkalk. Im Mittleren Muschelkalk nimmt dieser zugunsten von Ton und Anhydrit wieder ab. Im Unteren Keuper liegt das Carbonat als Dolomit vor, im Oberen Muschelkalk je etwa zur Hälfte als Calcit und Dolomit und im Mittleren Muschelkalk überwiegt der Dolomit.

Auch Hinweise auf das Bildungsmilieu der Gesteinsfolge sind gegeben. Das Vorherrschen frühdiagenetischen Dolomitsteins wie auch die Anhydriteinschaltungen sprechen für mehr oder weniger salinare Bedingungen. Der zum Teil recht hohe Tongehalt zeigt andererseits, daß gleichzeitig erhebliche Mengen von feinem Detritus angeliefert und abgelagert worden sind.

Die feinstratigraphische Untergliederung bereitet trotz dieser genauen Untersuchungen Schwierigkeiten, zumal das Einfallen der Schichten nicht bekannt ist und in diesem tektonisch sehr gestörten Gebiet schon auf kürzeste Entfernung hin stark wechseln dürfte. Auch ist mit keilförmigen Gesteinsschollen zu rechnen (MESTWERDT 1919: 85).

Die dolomitischen Mergelsteine des Oberen Muschelkalks sind den Ceratiten-Schichten zuzuordnen. Auffällig ist das völlige Fehlen von Fossilresten. Der etwas erhöhte Calcitgehalt von 50 Gew.% der Probe 8 könnte als ein Hinweis auf den Übergang zum Trochitenkalk angesehen werden. Bei dieser Deutung ist die Annahme einer Störung zwischen Mittlerem/Oberem Muschelkalk jedoch unumgänglich.

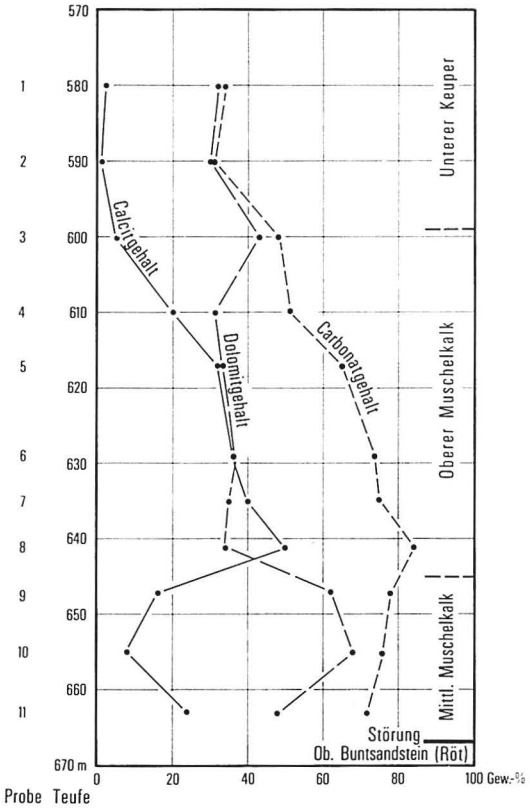


Abb. 2. Carbonatgehalte der Abfolge Unterer Keuper – Muschelkalk

Die klassische Gliederung des in Ostwestfalen etwa 45 m mächtigen Unteren Keupers (s. DUCHROW 1968 b: 656), von dem in der Bohrung nur 31 m angetroffen wurden, ist nicht möglich. Die Grenzdolomitregion fehlt, wahrscheinlich auch der Hauptlettenkohlensandstein. Kohlige Substanz wurde nicht gefunden. Durchweg grüngrau gefärbte Feinsandsteine und dolomitische Tonsteine überwiegen. Bunte Farben fehlen. Es wird angenommen, daß es sich um die Unteren Lettenkohlen-Schichten handelt, wobei die Schichten zwischen 577 und 584 m als Hauptdolomit angesprochen werden können.

5.2. Mittlerer Keuper (302 m)

Die Abfolge des Mittleren Keupers ist sehr wahrscheinlich tektonisch nicht gestört und lediglich flachwellig verbogen.

Diese Feststellung stützt sich auf Vergleiche mit dem von DUCHROW (1968 a, b) unter Einbeziehung aller bisherigen Arbeiten aufgestellten Standardprofil sowie mit den Daten der vorhandenen sechs Tiefbohrungen.

DUCHROW (1968 b: 650) gibt als Mächtigkeit für den gesamten Mittleren Keuper ca. 260 m an. Für die Solebohrungen I bis VI nennt DIENEMANN (1939) für den Mittleren Keuper Mächtigkeiten, die zwischen 253 und 322 m liegen. In der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel beträgt die Mächtigkeit 302 m.

Auch die Mächtigkeiten der vier stratigraphischen Gruppen des Mittleren Keupers stimmen mit den aus Übertageaufschlüssen bekannten Mächtigkeiten weit-

gehend überein. Lediglich die unterste Gruppe, der Gipskeuper (km1), ist in der Bohrung wegen der höheren Gips- und Anhydriteinschaltungen etwa 50 m mächtiger.

In einer Bohrung bei Blomberg (TK 25, Blatt 4020 Blomberg, R 07 680, H 57 840) ist bei flacher Lagerung der Gipskeuper mächtiger als 220 m!

Hier der Vergleich:

	Standardprofil	Alexander-von-Humboldt-Sprudel
km4	ca. 80 m	71 m
km3	28– 30 m	28 m
km2	20– 25 m	27 m
km1	125–130 m	176 m

Es wird nun der Versuch unternommen, die 176 m mächtige Schichtenfolge des Gipskeupers (km1) zu untergliedern (Tab. 2), wobei die von DUCHROW (1968 b) angegebenen Kriterien zugrunde gelegt werden. In der 1110 m tiefen Bohrung Bad Meinberg (TK 25, Blatt 4119 Horn-Bad Meinberg, R 99 650, H 51 450), die im Gipskeuper ansetzt, konnte KLOSTERMANN (1975) die DUCHROW'sche Gliederung ebenfalls bestätigen.

Der Schilfsandstein (km2) wurde nicht näher untersucht. Es wird auf die Beschreibung im Schichtenverzeichnis verwiesen (Literatur bei ROSENFELD 1968).

Tabelle 2

Untergliederung der Schichten des Gipskeupers (km1) in Anlehnung an das Standardprofil (DUCHROW 1968 b) und Vergleich mit der Tiefbohrung Bad Meinberg (KLOSTERMANN 1975)

stratigraphische Zone	Tiefe im Alexander-von-Humboldt-Sprudel (m)	Mächtigkeit (m) Alexander-von-Humboldt-Sprudel	Tiefbohrung Bad Meinberg	Standardprofil
Wiehenberg-Schichten	391–435	44		ca. 37
Hummerser Schichten	–442	7		ca. 8
Mönchsberg-Schichten	–456	14		10,5–14
Vördener Schichten	–503	47	>10	ca. 25
Elbrinxer Schichten	–550	47	31	32–35
Löwendorfer Schichten	–567	17	15	ca. 13

Die in der Bohrung angetroffenen Schichten der Roten Wand (km3) und des Steinmergelkeupers (km4) korrelierte SANDER (1977) mit Übertageaufschlüssen. In diesem Zusammenhang ist lediglich auf eine Abweichung zur ursprünglichen Einstufung (MICHEL 1975) einzugehen. Die Tonsteine zwischen 313 und 336 m gehören nach SANDER (1977: 99) bereits zum Steinmergelkeuper, obwohl sie reichlich Gips enthalten. In Grundwasserbohrungen läßt der Praktiker mit der Gipsführung die Rote Wand beginnen, unabhängig von der Farbe! Nichts war somit naheliegender, die Grenze Steinmergelkeuper/Rote Wand bereits bei 313 m zu sehen, zumal zwischen 320 und 327 m das Bohrgut bis zu 50% aus Gips und Anhydrit besteht. Auch WOLBURG (1969: 32) vertritt die Meinung, daß die Stufe des Steinmergelkeupers normalerweise keine Lager von Anhydrit und Gips enthält, höchstens stellenweise eingestreute Knötchen davon. Aber: „Eine Ausnahme machen wenige Profile aus typischen Senkengebieten, wo auch in höheren Schichten Gips- bzw. Anhydrit-Einlagerungen auftreten".

SANDER (1977) läßt den Steinmergelkeuper mit dem charakteristischen grüngrauen gipsführenden „steinmergelartigen" Tonstein beginnen, welcher von einem dunkelgrauen schluffigen Tonstein überlagert wird und der sich gegen den weicheren roten Tonstein der Roten Wand im Liegenden abhebt.

Spezielle petrographische Untersuchungen des Gesteinstyps, der der Stufe den Namen gibt, wurden nicht ausgeführt. Als „Steinmergel" werden in der Praxis sowohl feste, dichte, grobscherbig und muschelig brechende „Mergel" bezeichnet als auch die in ihnen eingelagerten harten, häufig mehr oder weniger kieseligen Bänke (KÜHL 1956). In der Mehrzahl handelt es sich — bei einem breiten Schwankungsbereich des Carbonatgehaltes — um dolomitische Tonsteine, dolomitische Mergelsteine bis Dolomitmergelsteine. Auf gesteinsgenetische und damit zusammenhängende paläogeographische Fragen wird nicht eingegangen (vergl. WOLBURG 1969).

5.3. Rhät (90 m)

Die Abfolge des Rhäts paßt gut in den von THIERMANN (1959) und DUCHROW (1968 b) gegebenen Rahmen. Lediglich die Mächtigkeit von 90 m ist gegenüber dem Normalprofil von 63 m relativ hoch. Aber auch aus der Solebohrung V (Morsbach-Sprudel) sind 89 m Rhät bekannt. In den anderen Solebohrungen beträgt die Mächtigkeit des Rhäts 80 m, im Jordan-Sprudel aber nur 30 m! Dies dürfte aber tektonisch bedingt sein.

Das Gliederungsprinzip in Unter-, Mittel- und Oberrhät, von SCHICKOR (1969) eingeführt, war hier nicht zu erkennen. Es verwundert, daß sich SCHICKOR nicht mit den Untersuchungen von DUCHROW (1968 a, b) auseinandersetzt, diesen nicht einmal zitiert.

In diesem Zusammenhang sei noch auf die bohrtechnischen Schwierigkeiten verwiesen, die der 28 m mächtige, teilweise felsitische Basalquarzit mit sich brachte: Die Bohrarbeiten dauerten 14 Tage. Verbraucht wurden ein Stufenmeißel (609/444,5 mm) und sieben Rollenmeißel (444,5 mm).

Schriftenverzeichnis

DIENEMANN, W. (1939): Erläuterungen zu den Blättern 3716 Melle, 3717 Quernheim, 3718 Oeynhausen. — Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000: 145 S., 6 Abb., 13 Tab., 1 Taf.; Berlin.

DUCHROW, H. (1968 a), unter Mitarb. von FEHLAU, K. P., & KESSLER, G., & LORENZ, W., & PARIKH, R., & SCHMIDT, C., & SCHOLZ, R.: Stratigraphie und Lithologie des Keupers im Lippischen Berglande. — Z. dt. geol. Ges., **117:** 371–387, 12 Abb.; Hannover.

— (1968 b): Zur Keuper-Stratigraphie in Südostlippe (Trias, Nordwestdeutschland). — Z. dt. geol. Ges., **117:** 620–662, 4 Abb., 1 Tab.; Hannover.

KNAUFF, W. (1977): Der Lias in den Bohrungen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle und Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 81–88, 1 Abb., 1 Taf.; Krefeld.

KÜHL, K. W. (1956): Stratigraphisch-fazielle Untersuchungen im Mittleren Keuper zwischen Weser und Osning. — Diss. Techn. Hochsch. Braunschweig: 199 S., 34 Abb., 2 Taf.; Braunschweig. — [Veröff. Kurzfassung: 64 S.; Braunschweig 1957]

KLOSTERMANN, J. (1975): Die Geologie in der Umgebung von Bad Meinberg mit besonderer Berücksichtigung der Feinstratigraphie des Unteren und Mittleren Keupers. – Dipl.-Arb. Univ. Münster: 245 S., 11 Taf.; Münster. – [Unveröff.]

MESTWERDT, A. (1919): Die Bäder Oeynhausen und Salzuflen. – Jb. preuß. geol. L.-Anst., **37** (2): 64–131, 7 Abb., 2 Taf.; Berlin. – [Vorausdr. 1917]

MICHEL, G. (1975): Die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen. – Heilbad u. Kurort, **27**: 65–68, 6 Abb.; Gütersloh.

ROSENFELD, U. (1968): Beobachtungen zur Stratigraphie des Schilfsandsteins im ost-lippischen Bergland (Lithostratigraphische Untersuchungen in Sandstein-Folgen III). – Geol. Rdsch., **57**: 402–424, 9 Abb.; Stuttgart.

SANDER, A. (1977): Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 89–108, 1 Abb., 1 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

SCHERP, A. (1977): Eisenglanzvererzungen im Buntsandstein der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 109–123, 1 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

SCHICKOR, G. (1969): Zur Paläogeographie und Sedimentologie des Räts zwischen Osning und Weser (Westfalen). – Geotekt. Forsch., **32**: 66–97, 18 Abb.; Stuttgart.

THIERMANN, A. (1959): Geologische Untersuchungen im Mittleren und Oberen Keuper östlich der Herforder Mulde. – Dipl.-Arb. Univ. Hamburg: 99 S., 15 Abb., 1 Taf., 3 Beil.; Hamburg. – [Unveröff.]

WOLBURG, J. (1969): Die epirogenetischen Phasen der Muschelkalk- und Keuper-Entwicklung Nordwest-Deutschlands, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein. – Geotekt. Forsch., **32:** 1–65, 32 Abb.; Stuttgart.

Eingang des Manuskriptes: 20. 7. 1976

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 81–88, 1 Abb., 1 Taf.	Krefeld, Nov. 1977

Der Lias in den Bohrungen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle und Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen

Von Wolfgang Knauff *

Lias (Hettangium, Sinemurium), fauna, drilling, Northwest-German Mesozoic Hills (Bad Oeynhausen)

Kurzfassung: In den Sole-Erschließungsbohrungen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle (1960) und Alexander-von-Humboldt-Sprudel (1973) des Staatsbades Oeynhausen wurde Unterer Lias durchörtert. Die offenbar wegen zirkulierender kohlensäurehaltiger Sole nicht sehr gut erhaltene Mikrofauna läßt gleichwohl eine feinstratigraphische Gliederung in Unteres Sinemurium, Oberes und Unteres Hettangium zu.

Abstract: In the above-mentioned boreholes Lower Lias has been recognized. The badly preserved microfauna nevertheless allowed to differentiate Lower Sinemurium, Upper and Lower Hettangium.

Résumé: Il était possible de préciser des parties supérieures dans les deux sondages comme Lias inferieur. Les microfaunes ne sont pas bien préservées, mais on peut differer trois assemblages: Sinemurien inférieur, Hettangien superieur et Hettangien inférieur.

1. Vorbemerkungen

Bad Oeynhausen liegt an der Nordflanke der Piesberg–Pyrmonter Achse. Deshalb ist, sieht man einmal von Verwerfungen in dem durch saxonische Tektonik so stark beanspruchten Untergrund ab, in Bohrungen zwischen Wiehengebirge und Osning in diesem Bereich Lias immer zu erwarten. So haben denn auch zwei Bohrungen, die das Staatsbad Oeynhausen zur Sicherung der Versorgung mit Sole abteufen ließ, Schichten des Unteren Lias durchörtert (Abb. 1). Es handelt sich um die 1960 niedergebrachte Bohrung „Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle" (bis 1973 als „Neue Solebohrung" bezeichnet; vergl. Fricke & Köhler & Tyedmers 1961) und um den 1973 erbohrten „Alexander-von-Humboldt-Sprudel".

Zu den hydrogeologischen Fragen, die speziell diese Bohrungen betreffen, haben Fricke & Köhler & Tyedmers (1961) und Michel (1975) Stellung genommen; in größerem Rahmen untersuchte Deutloff (1974) die Hydrogeologie des Raumes Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen.

2. Allgemeine geologische Verhältnisse

Beide Bohrungen liegen in der Südostecke der Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25 000, Blatt Oeynhausen (1938). Auf

* Anschrift des Autors: Dr. W. Knauff, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

diesem Blattgebiet steht Unterer Lias nicht unmittelbar an, ist aber unter holozäner bzw. pleistozäner Bedeckung in geringer Teufe zu erwarten. Etwa 1 km östlich des Ansatzpunktes des Alexander-von-Humboldt-Sprudels ist auf der geologischen Karte eine kleine Fläche als Lias α_3 dargestellt; etwa 2 km östlich eine größere Fläche als Lias α_1, die nordöstlich von einer Störung begrenzt wird. Diese Aufschlüsse sind heute an keiner Stelle mehr zu sehen. Die Gesamtmächtigkeiten des Unteren Lias werden in der geologischen Karte wie folgt angegeben:

Lias β_2–γ_1	80–100 m
Lias β_1	40 m
Lias α_3	60 m
Lias α_2	20 m
Lias α_1	25 m

BURRE (1926) gibt für das südwestlich anschließende Blatt 3817 Herford-West folgende Werte an:

Lias β	35 m
Lias α_3	60 m
Lias α_2	25 m
Lias α_1	15 m

Für den Lias α sind die Mächtigkeitsangaben beider Blätter ähnlich; im Lias β differieren sie erheblich.

3. Gesteinsausbildung und Probenbearbeitung

Die Schichtenfolge besteht aus dünnschichtigen, bröckeligen, graublauen bis schwärzlichen, auf Schichtflächen zum Teil rostfarbenen Tonsteinen, gelegentlich auch mergelig, örtlich mit Toneisensteingeoden. Feinverteilter Pyrit bzw. Rogenpyrit findet sich fast stets in der abgeschlämmten Restfraktion. Es wurden im Mittel je Probe 600 g mit H_2O_2 aufbereitet. Die aus den Spülproben ausgelesenen Mikrofaunen werden in der mikropaläozoologischen Sammlung des Geologischen

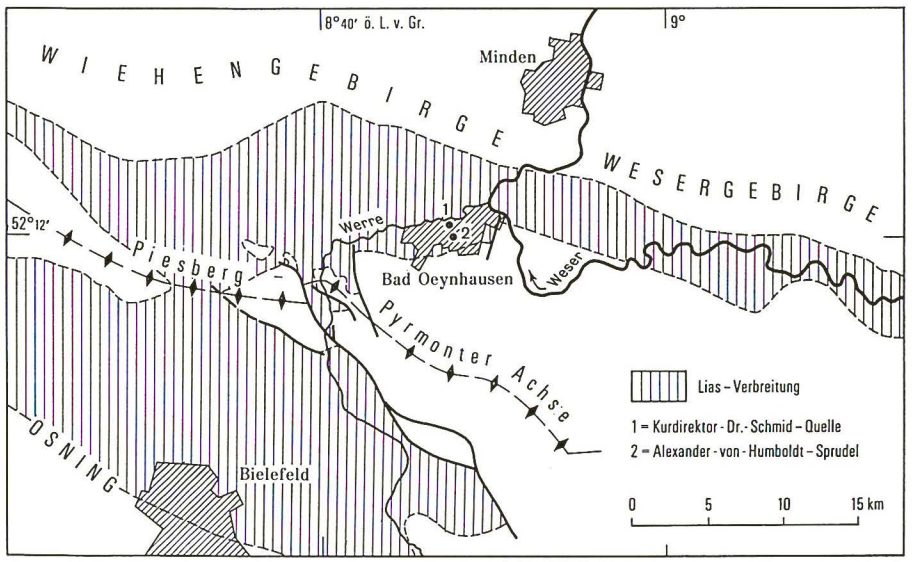


Abb. 1. Lage der Bohrungen

Landesamtes Nordrhein-Westfalen, Krefeld, aufbewahrt unter folgenden Nummern:
Bohrung Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle:
1152, 1157–78, 1210, 1342–48, 1361–62, 1409–12
Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel:
7595–7730, 7746–7775

Einige typische Leitformen aus beiden Bohrungen sind auf Tafel 1, Figur 1–9 dargestellt. Hinsichtlich der taxonomischen Zuordnung und stratigraphischen Einstufung habe ich mich bei den Ostracoden auf DREXLER (1958) und KLINGLER & NEUWEILER (1959) gestützt; bei den Foraminiferen folge ich BARTENSTEIN & BRAND (1937).

4. Mikrofauna und Stratigraphie

4.1. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle

TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 85 780, H 85 950

Kurzprofil:

0– 3 m Pleistozän
–184 m Jura

Mikrofaunistischer Befund:

0– 5 m fossilleer
– 6 m *Ammodiscus incertus* (ORBIGNY), *Glomospira gordialis* (JONES & PARKER), *Nodosaria prima* ORBIGNY, *Dentalina matutina* ORBIGNY, *Frondicularia brizaeformis* BORNEMANN, *Lenticulina (Astac.) vetusta* (ORBIGNY), *Lenticulina (Lent.) varians* (BORNEMANN), *Procytheridea triebeli* KLINGLER & NEUWEILER
– 9 m fossilarm; verschiedene Mesogastropoden und Lamellibranchiaten, stark pyritisiert, sonst: *Ammodiscus incertus* (ORBIGNY), *Lenticulina (Lent.) münsteri* (ROEMER), *Trochammina nana* (BRADY)
– 12 m ziemlich reiche, auffällig kleinwüchsige Fauna: *Ammodiscus incertus* (ORBIGNY), *Glomospira gordialis* (JONES & PARKER), *Cornuspira orbicula* (TERQUEM & BERTHELIN), *Nodosaria dispar* FRANKE, *Nodosaria columnaris* FRANKE, *Dentalina arbuscula* TERQUEM, *Dentalina communis* ORBIGNY, *Lingulina tenera tenera* (BORNEMANN), *Lingulina tenera pupa* (TERQUEM), *Frondicularia major* (BORNEMANN), *Frondicularia sulcata* (BORNEMANN), *Frondicularia dubia* (BORNEMANN), *Lenticulina (Marginulinopsis)* sp., *Lenticulina (Plan.) crepidula* (FICHTEL & MOLL), *Vaginulina anceps* (TERQUEM), *Trochammina nana* (BRADY); wenige glattschalige Ostracoden indet., Mesogastropoden und Lamellibranchiaten, alle stark pyritisiert
– 15 m sehr fossilarm; *Trochammina nana* (BRADY), *Lingulina tenera tenera* (BORNEMANN), Mesogastropoden
– 17 m wie Probe 15 m
– 20 m im wesentlichen wie Probe 12 m, Rogenpyrit
– 23 m im wesentlichen wie Probe 12 m, etwas ärmer
– 25 m wie Probe 15 m
– 27 m wie Probe 15 m
– 30 m wie Probe 15 m, sehr kleinwüchsige Formen
– 32 m glattschalige Ostracoden nehmen zu; Mesogastropoden; an Foraminiferen wichtig: *Lenticulina (Lent.) inaequistriata* (TERQUEM)

– 35 m	im wesentlichen wie Probe 12 m; auch hier *Lenticulina (Lent.) inaequistriata* (TERQUEM) und *Trochammina nana* (BRADY), Rogenpyrit
– 37 m	Zurücktreten der Foraminiferen *Nodosaria nitidana* BRAND, *Lenticulina (Lent.) inaequistriata* (TERQUEM), *Lenticulina (Astac.) exarata* (TERQUEM), *Trochammina nana* (BRADY); Ostracoden nehmen zu: *Ogmoconcha hagenowi* (DREXLER), ? *Bythocypris* cf. *elongata* (TATE & BLAKE), *Bairdia* cf. *hilda* JONES
– 39 m	fossilärmer, weiteres Zurücktreten der Foraminiferen, sonst wie Probe 37 m
– 41 m	wie Probe 37 m
– 44 m	wie Probe 37 m; erstmalig *Involutina liasina* (JONES)
– 45 m	wie Probe 37 m
– 50 m	stark pyritisierte Formen: *Frondicularia brizaeformis* (BORNEMANN), *Nodosaria nitidana* (BRAND), *Lingulina tenera tenera* BORNEMANN, *Trochammina nana* (BRADY), *Ogmoconcha hagenowi* (DREXLER), *Bythocypris fabaeformis* DREXLER; viele Mesogastropoden und Lamellibranchiaten
– 60 m	nur noch vereinzelt typische Foraminiferen; Ostracoden wie Probe 50 m
– 70 m	wie Probe 50 m
– 75 m	wie Probe 50 m
– 80 m	wie Probe 50 m
– 90 m	einzelne *Lenticulina (Lent.) inaequistriata* (TERQUEM), sonst fast reine Ostracodenfauna: *Ogmoconcha hagenowi* (DREXLER), *Bairdia crassa* DREXLER, ? *Bythocypris* cf. *elongata* (TATE & BLAKE)
–100 m	wie Probe 90 m, *Involutina liasina* (JONES) in großen Exemplaren
–110 m	wie Probe 90 m, dazu Mesogastropoden und Lamellibranchiaten
–120 m	arme Ostracodenfauna, überwiegend *Ogmoconcha hagenowi* (DREXLER), einige Mesogastropoden; Rogenpyrit
–130 m	im wesentlichen wie Probe 120 m
–140 m	fast nur Lamellibranchiaten, stark pyritisiert; einige Mesogastropoden und Ostracoden, u. a. *Bairdia* cf. *hilda* JONES
–150 m	wie Probe 120 m
–160 m	wie Probe 90 m
–170 m	fossilleer, nur Pyritkristalle und Quarzbrocken
–179 m	wie Probe 170 m
–184 m	fossilarm; einzelne Ostracoden: *Ogmoconchella aspinata* (DREXLER), *Ogmoconcha hagenowi* (DREXLER), Seeigel-Stacheln, Mesogastropoden; viel Rogenpyrit als Kristallaggregat, Quarzbrocken

Stratigraphischer Befund:

Die Bohrung steht im tieferen Lias β (Oberes Sinemurium). Hierauf verweist das Vorkommen von einzelnen *Procytheridea triebeli* KLINGLER & NEUWEILER (9 m). In 32 m Teufe erscheint *Lenticulina (Lent.) inaequistriata* (TERQUEM), die als Leitform für Lias α_2 und α_3 gilt. Da etwas tiefer, bei 37 m, *Lenticulina (Astac.) exarata* (TERQUEM) gefunden worden ist, sind wir hier, da *L. exarata* den Bereich Lias α_3 kennzeichnet, im Unteren Sinemurium. In 45 m Teufe findet sich *Bythocypris* cf. *elongata* (TATE & BLAKE), ein Ostracod, der nur im Lias α_3 auftritt: ein weiterer Beleg. Mit der Zunahme der Teufe treten die Foraminiferen zurück und die glattschaligen Ostracoden nehmen zu. Ab 100 m erscheint *Ogmoconchella aspinata* (DREXLER) zahlreich, neben *Ogmoconcha hagenowi* (DREXLER); wir befinden uns

im Lias α_2 (Oberes Hettangium). Ab 160 m Teufe werden die Proben trotz des anzunehmenden Nachfalls deutlich fossilärmer; ab hier wird Lias α_1 (Unteres Hettangium) angenommen. In den tiefsten Proben erscheinen Quarzitbröckchen, die den Oberen Keuper ankündigen. Danach ergibt sich folgende Gliederung:

0– 3 m		Pleistozän
– etwa	30 m	Oberes Sinemurium (Lias β)
– etwa	100 m	Unteres Sinemurium (Lias α_3)
– etwa	160 m	Oberes Hettangium (Lias α_2)
– etwa	184 m	Unteres Hettangium (Lias α_1)

Auffällig ist bei allen Formen der schlechte Erhaltungszustand der Mikrofossilien selbst in größerer Teufe, obwohl in benachbarten Räumen, z. B. Detmold, Mikrofauna aus demselben stratigraphischen Bereich erheblich besser erhalten ist (KNAUFF 1972). Es steht dies sicher mit den hier im Untergrunde zirkulierenden kohlensäurehaltigen Solen in Zusammenhang.

4.2. Alexander-von-Humboldt-Sprudel

TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200

Kurzprofil:

0– 10 m	Pleistozän
– 175 m	Jura
–1034 m	Trias

Mikrofaunistischer Befund:

(Probennahme und Bearbeitung in Abständen von 3 m)

Die Mikrofaunen sind im wesentlichen die gleichen wie in der Bohrung Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle; auch der Erhaltungszustand ist gleich schlecht. An weiteren Formen konnte beobachtet werden:

bei 23 m	*Procytheridea* cf. *vulgaris* KLINGLER & NEUWEILER
bei 78 m	*Procytheridea* cf. *reticulata* KLINGLER & NEUWEILER
ab 81 m – 145 m	zahlreich: *Ogmoconchella aspinata* (DREXLER), *Ogmoconcha hagenowi* DREXLER, *Trochammina nana* (BRADY) Form a BARTENSTEIN & BRAND
ab 146 m	deutliche Verarmung, trotz Nachfalls

Stratigraphischer Befund:

Der Abschnitt bis etwa 78 m Teufe muß wegen der Procytherideen in den tieferen Teil des Lias β (Oberes Sinemurium) gestellt werden. Die ab 81 m einsetzende Mikrofauna mit zahllosen glatten Ogmoconchen und Ogmoconchellen, mit *Lenticulina (Lent.) inaequistriata* (TERQUEM), die bis etwa 145 m Teufe durchhält, gehört in den Lias α_3 (Unteres Sinemurium). Auch *Trochammina nana* (BRADY) Form a BARTENSTEIN & BRAND ist ein Beleg für diese Einstufung. Unterhalb wird die Zuordnung schwierig. Die Proben verarmen deutlich und sind andererseits durch Nachfall verfälscht. Deshalb muß diese Schichtenfolge als Lias α_1 und α_2 (Hettangium) zusammengefaßt werden. Danach ergibt sich folgende Gliederung:

0– 10 m		Pleistozän
– etwa	76 m	Oberes Sinemurium (Lias β)
– etwa	145 m	Unteres Sinemurium (Lias α_3)
– etwa	175 m	Hettangium (Lias α_2 und α_1)

5. Wertung der Ergebnisse

Wenn man die in beiden Bohrungen angetroffenen Mächtigkeiten des Unteren Lias vergleicht mit denen, die sich sonst bei der geologischen Kartierung in diesem Raum ergeben haben (BURRE 1926, DIENEMANN 1939), dann läßt sich daraus schließen, daß das in der Südostecke des Blattes Oeynhausen mit 5° gemessene Westsüdwesteinfallen der Schichten wenig weiter westlich, im Bereich der beiden hier untersuchten Bohrungen, steiler sein muß: Kippungen im Rahmen jüngerer Bewegungen, die auf kurze Entfernung ihr Einfallen ändern, treten auf.

6. Schriften- und Kartenverzeichnis

BARTENSTEIN, H., & BRAND, E. (1937): Mikropaläontologische Untersuchungen zur Stratigraphie des nordwestdeutschen Lias und Doggers. – Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., **439**: 1–224; Frankfurt.

BURRE, O. (1926): Erläuterungen zu Blatt 3817 Herford-West. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000: 44 S., 5 Abb.; Berlin.

DEUTLOFF, O. (1974): Die Hydrogeologie des nordwestlichen Weserberglandes in der Umgebung von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20**: 111–194, 12 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

DIENEMANN, W. (1939), m. Beitr. von MÜCKENHAUSEN, W.: Erläuterungen zu den Blättern 3716 Melle, 3717 Quernheim, 3718 Oeynhausen. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000: 145 S., 6 Abb., 13 Tab., 1 Taf.; Berlin.

DREXLER, E. (1958): Foraminiferen und Ostracoden aus dem Lias alpha von Siebeldingen/Pfalz. – Geol. Jb., **75:** 475–554, 25 Abb., 8 Taf.; Hannover.

FRICKE, K., & KÖHLER, H., & TYEDMERS, L. (1961): Die neue Solebohrung des Staatsbades Bad Oeynhausen. – Heilbad und Kurort, **13**: 226–228, 2 Abb.; Gütersloh.

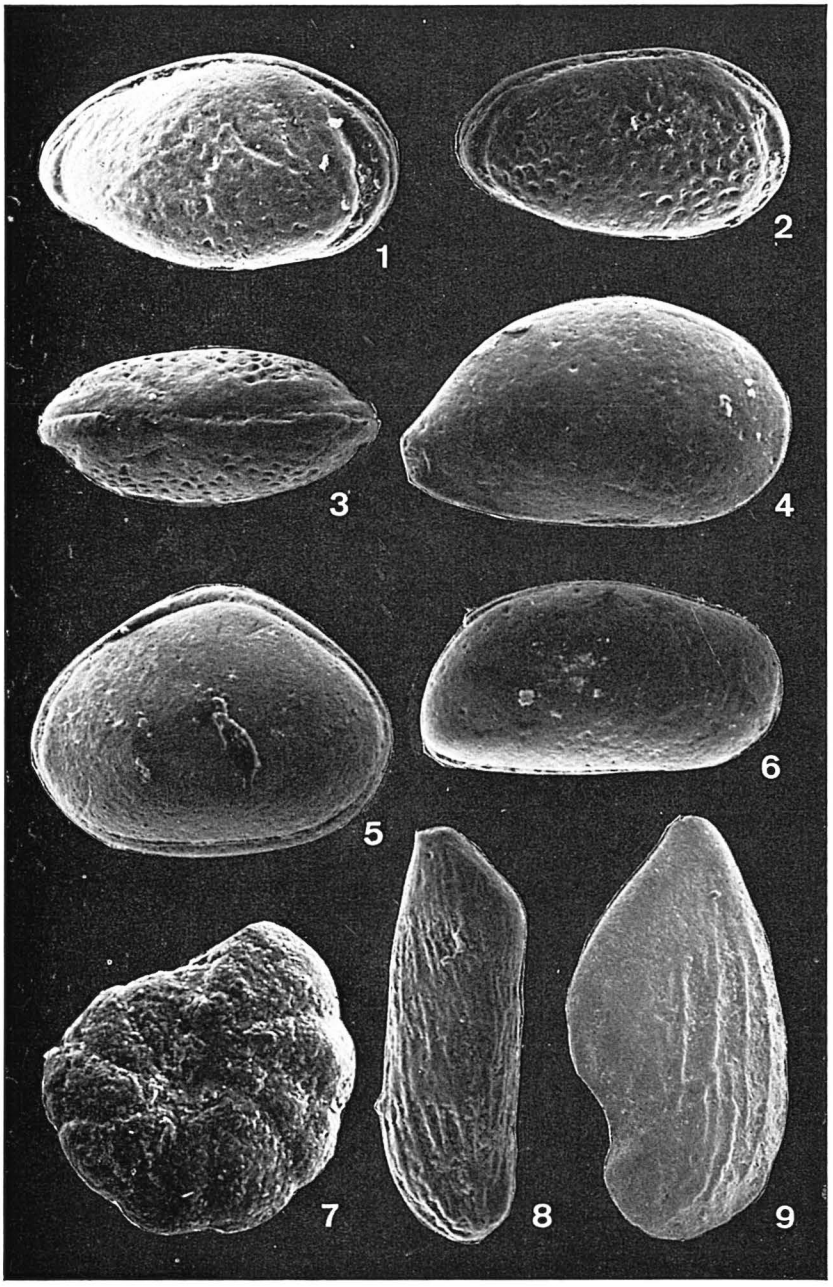
KLINGLER, W., & NEUWEILER, F. (1959): Leitende Ostracoden aus dem deutschen Lias beta. – Geol. Jb., **76:** 373–410, 1 Abb., 6 Taf.; Hannover.

KNAUFF, W. (1972): Ergebnisse mikropaläozoologischer Untersuchung an drei Grundwasser-Erkundungsbohrungen im Raum NE Detmold, TK 25 Detmold 4019. – Ber. Arch. Geol. L.-Amt Nordrh.-West.: 9 S.; Krefeld.

MICHEL, G. (1975): Die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen. – Heilbad und Kurort, **27**: 65–68, 6 Abb.; Gütersloh.

Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25 000. – Hrsg. Preuß. Geol. L.-Anst.; Berlin.
Blatt Oeynhausen (1938), Bearb. KOERT, W., & STACH, E., mit Ergänzungen von DIENEMANN, W.

Eingang des Manuskriptes: 2. 6. 1976



Tafel 1

Tafel 1

Vergrößerungen Fig. 1 – 6 = 50 x, Fig. 7 + 8 = 60 x, Fig. 9 = 40 x

Ostracoden:

Fig. 1 *Procytheridea* cf. *vulgaris* KLINGLER & NEUWEILER 1959
rechte Seite
Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel, Teufe 23 m,
Lias β_1 (Oberes Sinemurium, tieferer Teil)
Labor-Nr. 7608

Fig. 2 *Procytheridea* cf. *reticulata* KLINGLER & NEUWEILER 1959
rechte Seite
Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel, Teufe 78 m,
Lias β_1, Grenze zum Lias α_3 (Oberes Sinemurium, tiefster Teil)
Labor-Nr. 7659

Fig. 3 wie Fig. 2, dorsal

Fig. 4 *Bairdia* cf. *hilda* JONES 1884
rechte Seite
Bohrung Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle, Teufe 45 m,
Lias α_3 (Unteres Sinemurium)
Labor-Nr. 1159

Fig. 5 *Ogmoconcha hagenowi* DREXLER 1959
rechte Seite
Bohrung Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle, Teufe 45 m,
Lias α_3 (Unteres Sinemurium)
Labor-Nr. 1159

Fig. 6 *Bythocypris* cf. *elongata* (TATE & BLAKE 1876)
rechte Seite
Bohrung Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle, Teufe 45 m,
Lias α_3 (Unteres Sinemurium)
Labor-Nr. 1159

Foraminiferen:

Fig. 7 *Trochammina nana* (BRADY 1881) Form a BARTENSTEIN & BRAND 1937
Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel, Teufe 81 m,
Lias α_3 (Unteres Sinemurium)
Labor-Nr. 7666

Fig. 8 *Lenticulina (Astac.) exarata* (TERQUEM 1866)
Bohrung Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle, Teufe 45 m,
Lias α_3 (Unteres Sinemurium)
Labor-Nr. 1159

Fig. 9 *Lenticulina (Lent.) inaequistriata* (TERQUEM 1864)
Bohrung Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle, Teufe 110 m,
Lias α_2 (Oberes Hettangium)
Labor-Nr. 1344

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. | 26 | S. 89–108, 1 Abb., 1 Tab., 4 Taf. | Krefeld, Nov. 1977

Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes

Von Alfred Sander *

Keuper (Rote Wand, Steinmergelkeuper), stratigraphy, petrography, palaeogeography, well-log, North-West German Mesozoic Hills

Kurzfassung: In der 1034 m tiefen Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen wurde der höhere Teil des Mittleren Keupers in einer Mächtigkeit von 99 m angetroffen. Eine detaillierte Untergliederung in elf stratigraphische Einheiten war möglich, und zwar durch den feinstratigraphischen Vergleich mit 215 Übertageaufschlüssen aus dem Weserbergland. Die Aufschlüsse sind als Säulenprofile dargestellt, jeweils für die Rote Wand, den Unteren Steinmergelkeuper und Oberen Steinmergelkeuper.

Rückschlüsse auf die paläogeographische Situation werden gezogen. In der westfälisch-lippischen Keuper-Senke fanden leichte synsedimentäre epirogene Bewegungen statt.

[Rote Wand and Steinmergelkeuper (Middle Keuper) in the mineral well «Alexander-von-Humboldt-Sprudel» compared with exposures of the Weser mountain country]

Abstract: When drilling the 1034 m deep mineral well «Alexander-von-Humboldt-Sprudel» at Bad Oeynhausen, the superior Middle Keuper was encountered in a thickness of 99 m. The precise stratigraphic comparison with 215 surficial outcrops from the Weser mountain country permitted a detailed subdivision into eleven stratigraphic units. The outcrops are graphically represented in geological columns, namely for „Rote Wand", inferior „Steinmergelkeuper", and superior „Steinmergelkeuper", respectively.

Further, conclusions are drawn with regard to the palaeogeographic situation. There were slight synsedimentary epirogenetic movements in the Keuper depression of Westphalia-Lippe.

[Rote Wand et Steinmergelkeuper (Keuper Moyen) dans le forage «Alexander-von-Humboldt-Sprudel» en comparaison avec des affleurements dans le pays montagneux de la Weser]

Résumé: Dans le forage «Alexander-von-Humboldt-Sprudel» à Bad Oeynhausen d'une profondeur de 1034 m, on a rencontré le Keuper Moyen supérieur ayant une puissance de 99 m. La comparaison stratigraphique précise avec 215 affleurements dans les pays montagneux de la Weser a permis un classement détaillé en onze sous-zones. On a représenté les affleurements dans des profils en colonnes et à savoir on trouve le «Rote Wand», le «Steinmergelkeuper» inférieur et de «Steinmergelkeuper» supérieur sur le tableaus.

Par la suite, on a tiré des conclusions sur la situation paléogéographique. Dans la dépression keupérienne de Westphalie-Lippe, il y a eu de légers mouvements synsédimentaires épirogènes.

1. Einleitung

Die 1034 m tiefe Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen (Michel 1975) hat von 265–364 m unter Gelände den höheren Teil des Mittleren

* Anschrift des Autors: A. Sander, Wasserversorgung Beckum GmbH, Hammer Str. 42, 4720 Beckum

Keupers in vollständiger Mächtigkeit durchteuft (Lage der Bohrung: TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200).

Trotz ihrer randlichen Lage zu dem lippisch-osnabrücker Keuper-Komplex zeigt sie sowohl in ihrer lithologischen Ausbildung als auch in den Mächtigkeiten der einzelnen Horizonte völlige Übereinstimmung mit der Mittelkeuper-Gliederung dieses Raumes (KÜHL 1956; SANDER 1963 a, b; DUCHROW 1968 a, b). Die Ergebnisse feinstratigraphischer Untersuchungen in Übertageaufschlüssen des lippischen Keuper-Gebietes und seiner nordwestlichen Fortsetzung (Abb. 1) ermöglichen die sichere stratigraphische Einstufung der Spülproben und die Untergliederung des behandelten Bohrprofilabschnittes nach dem für die Übertageaufschlüsse aufgestellten Gliederungsschema. Wertvolle Hilfe geben hierbei die Aufzeichnungen von geophysikalischen Bohrlochmessungen. Aus Mächtigkeitsvergleichen des Bohrprofils mit benachbarten Profilen lassen sich Schlußfolgerungen auf tektonische Bewegungsvorgänge des Sedimentationsuntergrundes während einzelner Sedimentationsphasen ziehen.

Im Raum zwischen Osnabrück – Vlotho – Hameln – Holzminden – Horn – Detmold – Herford wurden feinstratigraphische Aufnahmen und Feinkorrelierungen an insgesamt 215 Übertageaufschlüssen vorgenommen (s. Tafel 1 in der Anlage).

Im Kapitel 6. ist die genaue Lage der wichtigsten Übertageaufschlüsse sowie der Bohrungen Alexander-von-Humboldt-Sprudel, Lemgo-Waldfrieden und Falkenhagen 1/73 zusammengestellt. Eine Darstellung als Säulenprofile, verbunden mit einer feinstratigraphischen Konnektierung, findet sich auf den Tafeln 2–4 (in der Anlage).

Der höhere Teil des Mittleren Keupers im Weserbergland besteht aus vorwiegend bunten, lithologisch wenig differenzierten, tonig-karbonatischen Sedimenten, die durch häufige Einschaltung von Gipsresiduenlagen gekennzeichnet sind. Eine ausführliche Beschreibung dieser Bildungen haben KÜHL (1956) und DUCHROW (1968 b) gegeben. Die Gesteinsklassifizierung in dieser Arbeit erfolgt nach KÜHL (1956).

An einer Anzahl von Gesteinsproben führte Dr. H. WERNER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Carbonatbestimmungen durch. Die Anregung zum Druck dieser Arbeit gab Dr. G. MICHEL, der mich auch unterstützte.

2. Ausbildung und Gliederung des höheren Teiles des Mittleren Keupers in Übertageaufschlüssen des Weserberglandes

Der höhere Teil des Mittleren Keupers wird unterteilt in Rote Wand (km3) und Steinmergelkeuper (km4). Beide Schichtengruppen lassen sich in eine untere und eine obere Folge gliedern, diese wieder in Horizonte.

2.1. Charakteristische Merkmale der stratigraphischen Einheiten

Rote Wand (km3) (vergl. Tafel 2):

leuchtend rote Gesteinsfarbe; tonige Ausbildung; schwach karbonatischer (dolomitischer) Tonstein; Einlagerungen zahlreicher, grusiger bis mäßig fester Gipsresiduenlagen und kleiner zuckeriger Kalkknötchen; grobe durch Gipsauslaugung entstandene Einsturzbrekzien

Untere Rote Wand (km3α):

einförmige, massige Ausbildung; vorwiegend grusige Gipsresiduenlagen in relativ weitem Abstand; feinfleckiger Tonstein an der Basis

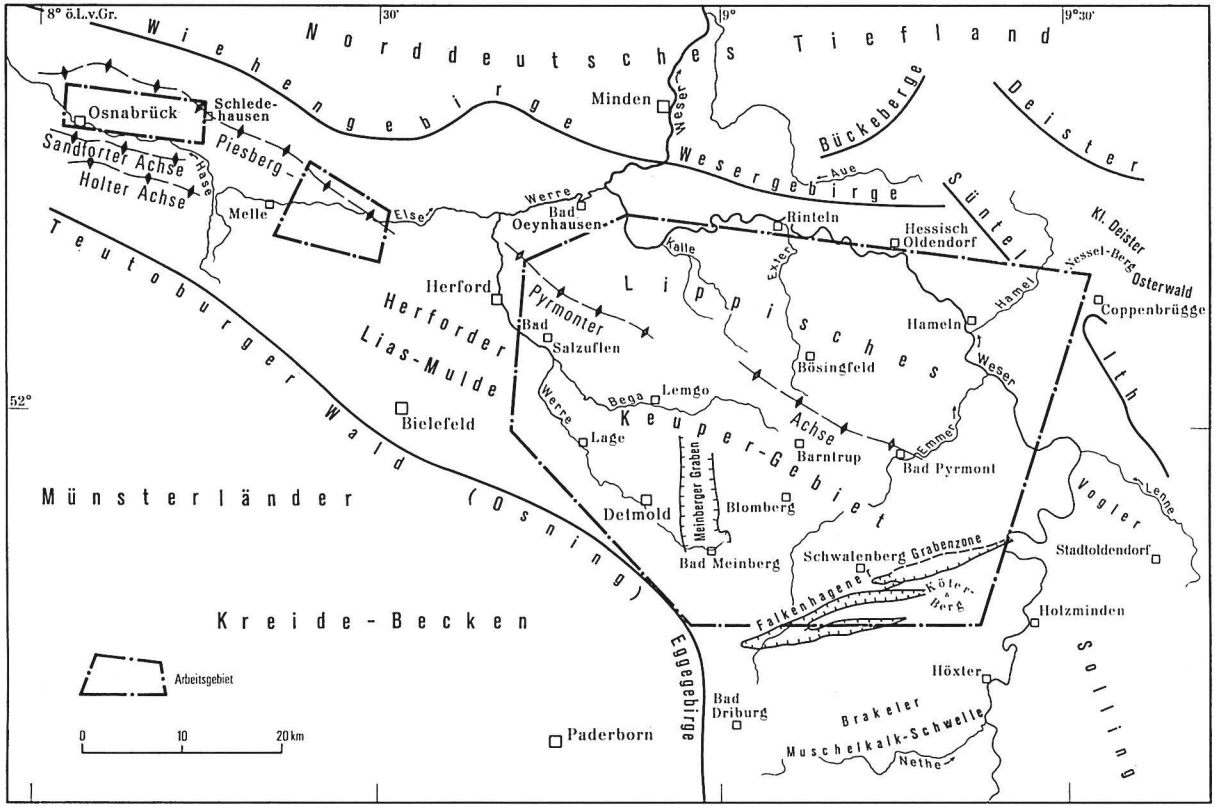


Abb. 1. Lage der Arbeitsgebiete

Obere Rote Wand (km3β):

schichtiger Aufbau; grusige, nach oben zunehmend auch mäßig feste, kalzitische, feinbrekziöse Gipsresiduenlagen in dichter Folge; kleine zuckerige Kalkmandeln verstreut oder lagig verdichtet; grobe Einsturzbrekzien in bestimmten stratigraphischen Niveaus; grauviolette Tonsteinlagen in der unteren Hälfte; Lagen von dunkelrotem, steinmergelartigem Tonstein; grüngrauer Horizont mit harten Steinmergelbänkchen an der Basis

Steinmergelkeuper (km4):

bunte (grüngraue, rotbraune, violettrote, grauviolette) und graue Farben; vorherrschend stärker karbonatische Ausbildung in Form von festen, muschlig brechenden Steinmergeln, sehr harten, dolomitischen Steinmergelbänkchen und „steinmergelartigen" Tonsteinen; kristallinisch-feste, kalzitische Gipsresiduenknollen und -lagen sowie Mollusken- und Wirbeltierreste in verschiedenen stratigraphischen Niveaus

Als Steinmergel im engeren Sinne werden sensu KÜHL (1956) nur die harten, tonig-dolomitischen bis -kalkigen Bänkchen (dolomitischer Mergelstein bis toniger/kalkiger Dolomitstein) verstanden. Als „Steinmergel" im weiteren Sinne gelten alle festen, scherbig oder splittrig brechenden Tonmergelsteine (dolomitischer Tonmergelstein bis dolomitischer Mergelstein), als „steinmergelartig" alle äußerlich dem „Steinmergel" ähnlichen Tonsteine.

GRUPE (1911) hat schon einen Unteren (bunten) und einen Oberen (grauen) Steinmergelkeuper unterschieden; er führt jedoch keine Kriterien für eine exakte gegenseitige Abgrenzung dieser beiden Folgen an.

Unterer (bunter) Steinmergelkeuper (km4α) (vergl. Tafel 3):

bunte Farben; unten vorwiegend tonige, gipsresiduenreiche, schichtige Ausbildung; oben massige, carbonatreichere „Steinmergel" mit einzelnen kieselig-dolomitischen Bänkchen und kristallinisch-festen kalzitischen Gipsresiduenlagen; an der Basis grüngrauer „steinmergelartiger" Tonstein mit dicht aufeinander folgenden kristallinischen Gipsresiduenlagen

BÜCHNER & SERAPHIM (1973) vertreten die Ansicht, daß diese vorwiegend aus Quarz und Kalkspat bestehenden Gebilde („Quarz-Calcit-Aggregate") nicht auf Gipsauslaugung und spätere Hohlraumfüllung zurückzuführen sind, sondern „durch die Anwesenheit und Wirkung heißer wäßriger Lösungen und oberflächenferne Aufheizung des Gesteins entstanden sein könnten". Obschon verschiedene Überlegungen für diese Annahme sprechen, unter anderem auch die Verschiedenartigkeit dieser Gebilde von den übrigen Gipsresiduen auf eine andere Entstehung hindeuten könnte, muß den Angaben der Verfasser doch in einigen Punkten widersprochen werden:

Gipsabscheidung ist im Unteren Steinmergelkeuper mindestens in gleichem Umfange wie in der Oberen Roten Wand erfolgt, und zwar im gesamten Weserbergland (vergl. Tafel 2 und 3). Die Bohrungen Alexander-von-Humboldt-Sprudel, Kaiser-Wilhelm-Sprudel und Bohrloch II in Bad Oeynhausen haben im Unteren Steinmergelkeuper Horizonte mit stärkerer Gipsführung angetroffen. Die Gipsresiduen der Übertageaufschlüsse sind oft mehrere Dezimeter mächtig, feinbrekziös, dabei aber in stärkerem Maße kalzitisch verfestigt.

Die sogenannten „Quarz-Calcit-Aggregate" treten bezeichnenderweise nur in jenen Schichtabschnitten des Steinmergelkeupers auf, die typischen „Steinmergel"-Charakter besitzen, das heißt, die sich durch höheren Carbonat- und Kieselsäuregehalt auszeichnen.

In manchen Aufschlüssen erreichen die „Quarz-Calcit-Aggregate" im tieferen Teil des Oberen Steinmergelkeupers mehrere Dezimeter Mächtigkeit. In dem von BÜCHNER & SERAPHIM (1973) zitierten Aufschluß südlich Forsthaus Dobbelstein (TK 25, Blatt 3821 Hessisch Oldendorf) sind Aggregate bis zu 3 dm Stärke und 1,5 m Länge zu beobachten; ihr rinnenförmiges Vorgreifen in das Liegende und ihr seitliches Ausspitzen deuten auf syngenetische Anlage (Gipsabscheidung) hin.

In der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel wurden im Grenzbereich Unterer/Oberer Steinmergelkeuper, in dem nur die typischen „Quarz-Calcit-Aggregate" auftreten, geringmächtige Gipseinlagerungen angetroffen.

Oberer (grauer) Steinmergelkeuper (km4β) (vergl. Tafel 4):

graue Farben; betont schichtiger Aufbau; stärker karbonatische Entwicklung; graue „Steinmergel" in häufigem Wechsel mit harten dolomitischen Steinmergelbänkchen und dünnen Tonsteinlagen (Sequenz Tonstein – „Steinmergel" – Steinmergelbank in rhythmischer Wiederholung): im unteren Teil kristallinisch feste, kalzitische Gipsresiduenknollen und -lagen; in Steinmergelbänkchen gelegentlich Mollusken- und Wirbeltierreste

In wenigen Gebieten – zwischen Herford und Vlotho, im nördlichen und mittleren Extertal, zwischen Extertal und Osterkalle und bei Osnabrück-Schledehausen – werden die typischen bunten Farben aus dem oberen Teil des Unteren (bunten) Steinmergelkeupers durch einförmige Graufärbung des Gesteins verdrängt. Umgekehrt nimmt der obere Teil des Oberen (grauen) Steinmergelkeupers östlich der Weser und bei Bad Meinberg-Horn bunte (blaßrote, violettrote und grauviolette) Farben an. Im Raum Osnabrück-Schledehausen verliert auch die Rote Wand teilweise ihre typisch leuchtend rote Farbe und nimmt dort eine blaßrote oder fahlgelbe Tönung an (vergl. JUBITZ 1952, HAACK 1930, HAACK & DIENEMANN 1930). Verfährt man nach den Gesichtspunkten der stratigraphischen Einteilung WOLBURGS (1969: 26, 30 ff), so müßte ein Teil des Unteren Steinmergelkeupers (km4α_{1+2}), wahrscheinlich auch noch der rotbraune „steinmergelartige" Tonstein an der Basis des Horizontes km4α_3 (zusammen 20–35 m), der Roten Wand zugerechnet werden. Dies widerspräche zwar der bisher für die lippisch-osnabrücker Vorkommen des Mittleren Keupers allgemein angewandten lokalstratigraphischen Einteilung, deren wesentlichen Zügen ich mit Rücksicht auf in der Literatur fest eingebürgerte und in der Praxis seit langem verwendete Begriffe und Vorstellungen ebenfalls gefolgt bin, würde jedoch der lithofaziellen Verwandtschaft jetzt voneinander abgetrennter stratigraphischer Schichteneinheiten besser gerecht werden.

2.2. Definitionen und Kriterien für die Grenzen zwischen den einzelnen stratigraphischen Einheiten

Rhät/ Steinmergelkeuper (ko/km4)	sensu THIERMANN (1959), vergl. SCHICKOR (1969): Ende der fahlgelbgrauen „Steinmergel"- und dolomitischen Tonsteinfazies; Einsetzen dunklerer sandiger und schwarzer milder Tonsteine mit sandig-quarzitischen Bänkchen, meist mit einer Basalquarzitbank und/oder tonigem Basalkonglomerat
Oberer/Unterer Steinmergelkeuper (km4β/km4α)	Obergrenze von zwei bis vier kristallinisch-festen, flachen Residualknauernlagen unmittelbar unter dem Hangenden der massigen, bunten „Steinmergel"-Entwicklung; Einsetzen rhythmischer Schichtung mit harten dolomitischen Steinmergelbänkchen; graue Farben

Steinmergelkeuper/ Rote Wand (km4/km3)	Einsetzen eines meist grüngrauen, seltener bunten, „steinmergelartigen" Tonsteins mit festen kristallinischen Residualknauernlagen (in Abständen von 15–20 cm) über weicherem, leuchtend rotem Tonstein
Obere/Untere Rote Wand (km3β/km3α)	vergl. DUCHROW (1968 a, b): Basis eines auffallenden, grüngrauen Tonsteinhorizontes mit harten Steinmergelbänkchen
Rote Wand/Schilfsandstein (km3/km2)	sensu KÜHL (1956): schlagartiges Aussetzen der Sandführung bei gleichzeitigem Einsetzen eines feingefleckten Tonsteins

Bei den Grenzen km3α_1/α_2, km4α_1/α_2 und km4α_2/α_3 handelt es sich um Faziesgrenzen mit nicht eindeutig synchronem Verlauf. Die Angaben der Schichtmächtigkeiten beziehen sich nur auf das lippische Keuper-Gebiet einschließlich seiner östlichen Randbereiche, das heißt auf Gebiete mit vollständiger Schichtenentwicklung.

2.3. Feinstratigraphische Gliederung und lithologische Ausbildung

Hangendes: Rhät (ko) (ca. 63 m)

Hauptsandstein (THIERMANN 1959): dickbankiger oder massiger hellgrauer Quarzit mit blättrigem schwarzem Tonstein

Pyritsandstein (THIERMANN 1959): dunkelgrauer, gelb- und grüngrauer Tonstein, bröcklig oder schichtig, z. T. steinmergelartig, mit Einlagerung gelb- und schmutziggrüngrauer Schluff- und Feinsandsteinbänkchen, z. T. quarzitisch, und feinkonglomeratischer, sandig-dolomitischer „bonebed"-Lagen mit Wirbeltier- und Pflanzenresten, Fischschuppen und -zähnchen; Basis meist als hellgraue oder schmutziggrüngraue, feinkörnige, oft schluffig-tonige Quarzitbank ausgebildet; bis 5 m mächtig

Steinmergelkeuper (km4) (ca. 70–95 m)

Oberer (grauer) Steinmergelkeuper (km4β) (21–48 m)

km4β_4 (Übergangsschichten) (3,5–8 m)

Oberer Abschnitt (3,5–7,5 m): dolomitischer Tonstein mit Calcithaarrissen, graugelb und schmutziggrüngrau, z. T. „steinmergelartig"; bröckliger, krummschaliger-plattiger und stengeliger Zerfall; Einlagerung einzelner, z. T. feinkonglomeratischer, toniger Schluffsandsteinbänkchen und kalkig-sandiger Steinmergelbänkchen und -linsen

Unterer Abschnitt, Kreienberg-Bank (DUCHROW 1968) (0,1–0,5 m): schmutziggrüngrauer flasrig-verkneteter Tonstein und toniger Schluffstein mit quarzitisch-sandigen Partien, meist feinkonglomeratisch; häufig auch nur zäher quarzitischer Sandstein (rascher seitlicher Fazieswechsel); bonebed-artige Einlagerungen: Knochenfragmente, Fischschuppen, Fischzähnchen (*Saurichthys* sp., *Hybodus* sp., *Acrodus* sp.)

km4β_3 (6–18,5 m)

hell- und dunkelgrauer „Steinmergel" mit festen Steinmergelbänkchen und dünnen Tonsteinlagen; durchsetzt von Calcithaarrissen; ohne Gipsresiduen

Oberer Abschnitt (4,5–13,5 m): grauer, verwittert knochenfarbiger „Steinmergel" mit festen, gelegentlich Stromatolithen führenden Steinmergelbänkchen und dünnen, feinblättrigen Tonsteinlagen; z. T. krummschaliger Zerfall

Mittlerer Abschnitt (0,2—1,5 m): feinbankiger dunkelgrauer „Steinmergel", z. T. sandstreifig, feinbankig, mit auffallend glatten, geraden Schichtflächen; einzelne festere Steinmergelbänke, ebenfalls geradflächig, und millimeterdicke feinblättrige Tonsteinzwischenlagen

Unterer Abschnitt (1,5—3,5 m): grauer „Steinmergel", an der Basis bis zu 0,15 m oliv- bis grüngrauer, feinschichtig-blättriger Tonstein

km4β_2 (11—14 m)

Oberer Abschnitt, Dohlenberg-Bank (0,3—0,5 m): grüngrauer bis olivgrauer, wellig-blättriger, milder Tonstein mit an- und abschwellenden festen, z. T. knorpeligen Steinmergelbänkchen; oberste Steinmergelbank (Dohlenberg-Bank, KÜHL 1956) teils tonig-dolomitisch, teils kalkig, feinkonglomeratisch, mit Fischschuppen, Fischzähnchen (*Saurichthys* sp.) und Muschelsteinkernen (*Anoplophora* cf. *montisfluvii* ZELL., *Myophoriopis keuperina* QUENSTEDT), stellenweise Muschelpflaster

Mittlerer Abschnitt (10—12,5 m): enge Wechselfolge von meist dunkelgrauem, häufig sandstreifigem „Steinmergel", festeren Steinmergelbänkchen und Lagen von dunkel- oder grüngrauem, glattschiefrigem, mildem Tonstein; unregelmäßig eingelagert zentimeterdicke, kristallinisch-feste, kalzitische Residualknollen und -fladen; Steinmergelbänkchen lokal feinkonglomeratisch und fossilführend (Fischschuppen, schlecht erhaltene Bivalven- und Gastropodensteinkerne)

Unterer Abschnitt, Beller Horizont (SANDER 1963 b) (0,8—1,0 m): zweifache Sequenz von mildem, schiefrig-blättrigem schwarzem Tonstein über schwarzen bis dunkelgrauen, steinmergelartigen Tonstein zu dunkelgrauem „Steinmergel"; als Abschluß der unteren Sequenz in der Mitte des Beller Horizontes eine 20—30 cm mächtige Partie fester grauer Steinmergelbänkchen

km4β_1 (5—8 m)

hell- und dunkelgrauer, z. T. grünstichiger „Steinmergel" mit harten, lokal feinkonglomeratischen und fossilführenden Steinmergelbänkchen (Fischschuppen, Estherien, schlecht erhaltene Bivalven- und Gastropodensteinkerne), dünnen Tonsteinlagen und festen kristallinischen Residualknollenlagen, gelegentlich auch tonig-schmierigen Residuallagen

Unterer (bunter) Steinmergelkeuper (km4α) (39—48 m)

km4α_3 (17—31 m)

massiger, grobscherbig brechender, bunter „Steinmergel" — lebhaft graugrün, violettrot, grauviolett und braunrot — mit 2—3 sehr harten, zähen, kieseligen Steinmergelbänkchen (z. T. feinkonglomeratisch), die von graugrünen und grauen, schiefrig-blättrigen oder bröckligen Tonsteinlagen begleitet werden; direkt unter der Hangendgrenze 3—4 (selten nur 1—2) feste, kristallinische Residualknollenlagen („Hangende Residuallagen"), eine einzelne Lage der gleichen Ausbildung 2—4,5 m unterhalb der Hangendgrenze; in den unteren 8—12 m grobscherbig brechender, einheitlich rotbrauner steinmergelartiger Tonstein, z. T. schluffig und feinstglimmrig

km4α_2 (11—18 m)

braunroter und hellgrüngrauer, untergeordnet dunkelgrauer Tonstein, grobbröcklig zerfallend, mit zahlreichen Residuallagen (dickere, tonig-kalkige Tonsteinbrekzienknollenlagen vorwiegend im oberen Teil, sonst hellgrüngraue und weiße grusige, sandig-kalkige und schmierige tonig-kalkige Residuallagen)

km4α_1 (4–6 m)

Oberer Abschnitt (1,5–3 m): dunkelgrauer, hell gefleckter und geflammter, schluffiger Tonstein, feinstglimmerig, bröcklig zerfallend, mit einzelnen sehr festen brotlaibförmigen Steinmergelknollen

Unterer Abschnitt (1–3 m): hellgrüngrauer steinmergelartiger Tonstein, grobbröcklig, in 10–20 cm Abstand von feinbrekziösen, kristallinisch festen, kalzitischen Residualknollenlagen durchzogen

Rote Wand (km3) (25–28 m)

Obere Rote Wand (km3β) (7,5–17 m)

km3β_3 (3–9,5 m)

mäßig fester, ziegelroter Tonstein, grobbröcklig, untergeordnet weicher, erdig-krümeliger Tonstein und festerer, steinmergelartiger, dunkelroter Tonstein, grobscherbig; mit zahlreichen grüngrauen tonig-sandig-karbonatischen Residuallagen (teils grusig, teils mäßig fest und brekziös) und kleinen zuckerigen Kalkspatmandeln, die das Gestein stellenweise regellos durchschwärmen, sich gelegentlich zu Lagen verdichten und seitlich rasch in Residuallagen übergehen; häufig grobe Einsturzbrekzien in zwei verschiedenen Niveaus – Horizont C dicht unter der Hangendgrenze (bis zu 3,5 m mächtig), Horizont B ca. 1 m über der Liegendgrenze (bis zu 2 m mächtig)

km3β_2 (4–8 m)

mäßig fester, ziegelroter Tonstein, grobbröcklig; selten weicher, erdig-krümeliger Tonstein und festerer, grobscherbig brechender, steinmergelartiger Tonstein; mit mehreren grusigen bis mäßig festen Residuallagen und vereinzelt zuckerigen Kalkspatmandeln; lokal Einsturzbrekzien – Horizont A ca. 1 m unter der Hangendgrenze (bis zu 1 m mächtig); auffallend fünf 2–4 dm mächtige bunte, vorwiegend grauviolette, untergeordnet graugrüne, violettrote und rotbraune Tonsteinlagen, z. T. bröckliger, z. T. feinplattiger, mäßig fester bis steinmergelartiger Tonstein mit millimeter- bis zentimeterstarken, grusigen und kristallinisch-festen, sandig-tonig-karbonatischen Residualbändchen und -platten; Lage V unmittelbar unter der Hangendgrenze, I–IV in der unteren Hälfte des Horizontes

km3β_1 (1–1,4 m)

Isenberg-Horizont (DUCHROW 1968 a, b): Wechsellagerung überwiegend grüngrauen, seltener bunten Tonsteins, teils dickschiefrig-feinplattig, teils grobbröcklig und steinmergelartig, mit schiefrig-blättrigem, mildem Tonstein und sehr harten grauen Steinmergelbänkchen

Untere Rote Wand (km3α) (16–18 m)

km3α_2 (14–16 m)

sehr einförmiger, massiger, ziegelroter Tonstein, grobbröcklig, mäßig fest, mit hellgrüngrauen, meist grusigen, tonig-sandig-karbonatischen Residuallagen, seltener mäßig festen, feinbrekziösen Residualknollenlagen, in weiten Abständen; vereinzelt wenig mächtige Einschaltungen von rotem, erdig-krümeligem, weichem Tonstein mit wellig verlaufender Ober- und Untergrenze

km3α_1 (1,5–2 m)

Kleinfleckige Basisschichten (KÜHL 1956): feingefleckter und geflammter dunkelrotbrauner und grüngrauer Tonstein; eckige graue, grüngraue und rote Sedimentfetzen und verknetete Schlieren in roter und grüngrauer Grundmasse; einzelne Gipsresiduennester

Liegendes: Schilfsandstein (km2) (20–25 m)

Übergangsschichten (3–8 m)
vorwiegend blaugrüner, vielfach violett geflammter, toniger Schluffstein mit bröcklig-kugeligem Zerfall, seltener violettrot, fahlgelb oder rotbraun; gelegentlich auch dick-schiefrig-feinplattiger Zerfall; eingelagert wenig mächtige, seitlich rasch auskeilende tonige, meist plattig aufspaltende Feinsandsteinlagen von gelblicher Farbe; stellenweise Pflanzenreste
darunter: dickbankiger und massiger Sandstein

3. Geologische Einstufung des Bohrprofils

Die Mehrzahl der stratigraphisch wichtigen Grenzen ist anhand des Bohrgutes eindeutig bestimmbar. Einige für die geologische Einstufung relevante „Leitbänke", wie Kreienberg-Bank, Dohlenberg-Bank, Beller Horizont, die kieseligen Steinmergelbänkchen des Unteren Steinmergelkeupers und die bunten Tonsteinlagen der Oberen Roten Wand hingegen lassen sich wegen ihrer geringen Mächtigkeit und ihrer geringen lithologischen Differenzierung vom übrigen Gestein aus den in Meterabständen entnommenen Spülproben überhaupt nicht oder nur mit Vorbehalt identifizieren. Der feinstratigraphische Vergleich mit Profilen aus Übertageaufschlüssen der Vlothoer Gegend ermöglicht jedoch die indirekte Bestimmung ihrer stratigraphischen Lage durch sicher erkennbare Bezugshorizonte des Bohrprofils. Von großem Wert sind hierbei auch die Bohrlochdiagramme, die sich bei dieser indirekten Bestimmungsmethode auch in lithologisch wenig differenzierten Gesteinsschichten von geringer Mächtigkeit als brauchbares und verhältnismäßig sicheres Hilfsmittel erweisen. Die Einstufung des Bohrprofils zeigt Tabelle 1.

In 265 m Tiefe gibt sich die Grenze vom Oberen zum Mittleren Keuper in dem plötzlichen Wechsel von der vorwiegend quarzitischen zur Tonstein-Steinmergelfazies deutlich zu erkennen. Der darunter erbohrte dunkelgraue, steinmergelartige Tonstein mit einzelnen quarzitischen Einlagerungen (265–267 m) ist charakteristisch für die „Übergangsschichten" ($km4\beta_4$) des Oberen Steinmergelkeupers. Er findet sich in gleicher Mächtigkeit und äquivalenter Ausbildung (Tonstein und Siltstein) in dem Straßenanschnitt von Bonneberg (Tafel 4, Aufschluß Nr. 24) unter einer mächtigeren Basalquarzitbank des Rhäts. Auch die Tonstein-Steinmergelausbildung zwischen 267 und 268 m muß ihrem Habitus und ihrer Mächtigkeit nach noch den Übergangsschichten zugerechnet werden (s. Tafel 4), obwohl bei makroskopischer Betrachtung des Bohrgutes keine Anzeichen für das Vorhandensein der an ihrer Basis zu erwartenden Kreienberg-Bank festzustellen sind. Das Einsetzen der echten „Steinmergel-Fazies" im Liegenden des oben angegebenen Bohrabschnittes und ein auffallender Ausschlag an den Bohrlochdiagrammen (vergl. Kapitel 4.) können jedoch als hinreichend sicherer Beweis gewertet werden, daß die Basis der Übergangsschichten in 268 m Tiefe durchfahren worden ist.

Von 268 bis 294 m ist das Bohrgut als einförmiger harter „Steinmergel" mit typisch muschlig-scherbigem Bruch ausgebildet. Das Bohrgut unterscheidet sich in den Bohrabschnitten 268–274 m, 274–285 m und 285–294 m nur durch wechselnde Gesteinsfarben, die sich grob gesehen identisch erweisen mit den Horizonten $km4\beta_3$, $km4\beta_2$ und $km4\beta_1$ des Steinmergelkeupers und die für diese Horizonte typischen vorherrschenden Farbmerkmale zeigen. Der Farbwechsel vollzieht sich allerdings nicht unmittelbar an den stratigraphischen Grenzen, wie die Profildarstellung der Tiefbohrung B I, B II und Aufschluß Nr. 24 erkennen lassen.

Die zuverlässigsten stratigraphischen Marken des oberen Steinmergelkeupers, Dohlenberg-Bank und Beller Horizont, sind ebensowenig wie die Kreienberg-Bank

Tabelle 1

Schichtenverzeichnis und geologische Einstufung des höheren Teils des Mittleren Keupers der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel

stratigraphische Einstufung				Teufe (m unter Gel.)	Beschreibung
Rhät (ko)			265	Hangendes	Quarzit, hellgrau-weiß, sehr hart, z. T. mikrokristallin, zuckerkörnig, z. T. felsitisch, vereinzelt Tonsteinlagen
Mittlerer Keuper (km)	Steinmergelkeuper (km4)	Oberer Steinmergelkeuper (km4β) 29 m	km4β_4	265 – 267	Tonstein, steinmergelartig, dunkelgrau, dicht, splittriger Bruch, scharfkantig, vereinzelt Quarzitlagen
			268	267 – 268	Tonstein-Steinmergel, mittelgrau, schwach carbonathaltig, splittrig, scherbiger Bruch, vereinzelt idiomorphe Pyritkristalle
			km4β_3	268 – 274	Steinmergel, mittelgrau-schwachviolett, splittrig, scherbiger Bruch, carbonathaltig, vereinzelt idiomorpher Pyrit
			275	274 – 285	Steinmergel, dunkelgrau und hellgrau-schwachviolett, dicht, scherbig, splittriger Bruch, vereinzelt Kalkspat als Kluftfüllung, idiomorphe Pyritkristalle
			km4β_2		
			288	285 – 294	Steinmergel, grüngrau und schwachviolett, splittrig, hakiger Bruch, idiomorphe Pyritkristalle im Millimeterbereich; von 289 – 291 m stark gipshaltig
			km4β_1		
			294		
		Unterer Steinmergelkeuper (km4α) 42 m	km4α_3	294 – 305	Steinmergel, grüngrau und schwachviolett, splittrig, hakiger Bruch, scharfkantig; von 294 – 295 m gipshaltig
			313	305 – 313	Tonstein, mittelgrau bis schwachviolett, steinmergelartig fest, splittrig, hakiger Bruch, scharfkantig, pyrithaltig
			km4α_2	313 – 316	Tonstein, mittelgrau bis schwachviolett, mit wenig weißem dichtem, zwischen den Fingern zerreibbarem Gips, vereinzelt Pyrit
				316 – 317	Tonstein, dunkelgrau, relativ weich, mit wenig Gips
				317 – 320	Tonstein, dunkelrotbraun-violettrot und dunkelgrüngrau, mit zunehmendem Gipsgehalt
				320 – 327	Tonstein, mittelgrüngrau bis grau und lagenweise violettrot, bis zu 50 % Gips- und Anhydritanteil, dicht, weiß
				327 – 330	Tonstein, schmutziggrau, dunkel, relativ weich, schluffig, unregelmäßiger Bruch; von 328 – 329 m stärker tonig und weichbröcklig; vereinzelt idiomorphe Pyritkristalle
				330 – 331	Tonstein, steinmergelartig, mittelgrüngrau, dicht, unregelmäßiger Bruch, sehr wenig Gips, vereinzelt idiomorphe Pyritkristalle
			331		
			km4α_1	331 – 333	Tonstein, schmutziggrau, dunkel, schluffig, relativ weich, feinstglimmrig, unregelmäßiger Bruch, einzelne Pyritkristalle
				333 – 336	Tonstein, steinmergelartig, mittelgrüngrau, dicht, splittrig, hakiger Bruch, mit Gips und einzelnen idiomorphen Pyritkristallen
			336		
	Rote Wand (km3)	Obere Rote Wand (km3β) 13 m	km3β_3	336 – 343	Tonstein, blaßrot, relativ weich, mit grüngrauen Lagen, unregelmäßiger Bruch; bis 340 m starker Gips- und Anhydritanteil; von 339 – 340 m auffallend viele Stücke von steinmergelartigem Tonstein, grüngrau und dunkelviolettrot; von 336 – 337 m weicher, erdig-krümeliger Tonstein, blaßrot
			339		
			km3β_2		
			348	343 – 348	Tonstein, ziegelrot, relativ weich, mit einzelnen grüngrauen Lagen und Gips
			km3β_1	348 – 349	Tonstein, grauviolett, z. T. violettrot und grünlich geflammt, relativ weich, z. T. steinmergelartig
			349		
		Untere Rote Wand (km3α) 15 m	km3α_{1+2}	349 – 355	Tonstein, rotbraun-schwachviolett, mit wenigen grüngrauen Lagen und Gips
				355 – 364	Tonstein, rotbraun, relativ weich, mit wenigen grüngrauen Einschaltungen und etwas Gips
			364		
	Schilfsandstein (km2)	Übergangsschichten 375		364 – 375	Schluffstein, blaßrotbraun, schwach muskowitführend (Bohrgut feinkörnig, feinblättrig unter 1 mm)
				Liegendes	Quarzfeinsandstein, violettrot, grüngrau, tonig, ferritisches Bindemittel, muskowitführend

in den Spülproben zu identifizieren. Da aber die Grenze Oberer/Unterer Steinmergelkeuper im Bohrprofil klar fixiert werden kann (s. S. 91), zeigt die Korrelierung des letzteren mit dem Übertageaufschluß von Bonneberg (Tafel 4, Aufschluß Nr. 24), daß Ober- und Untergrenze des dunkelgrauen Gesteinspaketes aus dem mittleren Teil des Oberen Steinmergelkeupers (km4β) in beiden Profilen ihre stratigraphische Position beibehalten. Hieraus kann, ausgehend vom Bonneberger Aufschluß, die Lage der beiden Leithorizonte ziemlich exakt gefolgert werden: sie ergibt sich für die Dohlenberg-Bank bei 275 m und für den Beller Horizont bei 288 m Bohrtiefe.

Zwischen 294 und 295 m zeigen sich an der Obergrenze eines mächtigeren Paketes grauen, im frischen Zustand grün-grauen und schwach violetten typischen „Steinmergels" Gipseinlagerungen, die den „Hangenden Residuallagen" des Horizontes km4α aus den Übertageaufschlüssen entsprechen und definitionsmäßig (SANDER 1963 b) den Abschluß des Unteren Steinmergelkeupers gegen das Hangende bilden (Grenze km4α/β). Darunter gleicht die lithologische Entwicklung vollkommen der in zahlreichen Mergelgruben erschlossenen Ausbildung massiger, kaum gegliederter bunter Steinmergel. Hinweise auf die in Tagesaufschlüssen zu beobachtenden kieseligen Steinmergelbänkchen wurden im Bohrgut nicht gefunden. Der von 305—313 m durchteufte graue, schwach violette, „steinmergelartige" Tonstein entspricht der übertage ebenfalls massig entwickelten rotbraunen Tonsteinserie aus dem unteren Teil des Horizontes km4α_3 (s. Tafel 3).

Der Bohrabschnitt 313—336 m gleicht in der nun einsetzenden tonigen Ausbildung, der verstärkten Gipsführung und dem vertikalen Farbwechsel der typischen Entwicklung des tieferen Unteren Steinmergelkeupers (km4α_{1-2}), wie sie in den Profilen 25 und 57 (Winterberg südlich Vlotho und Berenkämpen südwestlich Valdorf) und anderen Aufschlüssen des lippischen Keuper-Gebietes zum Ausdruck kommt (s. Tafel 3). Zunehmende Zahl und Mächtigkeit der Gipsresiduenlagen mit Einlagerung gröberen Tonsteinbrekzienmaterials deuten auch übertage auf das ursprüngliche Vorhandensein eng aufeinanderfolgender und vergleichsweise mächtigerer Gipslager im Horizont km4α_2 hin. Die unteren 5 m dieses Bohrabschnittes (331—336 m) zeigen den für den Horizont km4α_1 charakteristischen dunkelgrauen schluffigen Tonstein mit dem unterlagernden grüngrauen, gipsführenden, „steinmergelartigen" Tonstein, der die Basis des Steinmergelkeupers bildet und sich gegen den weicheren roten Tonstein der Roten Wand in seinem Liegenden auffallend abhebt. Die Unterteilung des Unteren Steinmergelkeupers in die Horizonte km4α_{1-3} ist im Bohrprofil an dem lithologischen Wechsel vom „steinmergelartig" festen zum weicheren, gipsführenden Tonstein (km4α_3/α_2) bzw. vom grüngrauen, gipsführenden zum dunkelgrauen, schluffigen Tonstein (km4α_2/α_1) zu erkennen. Darüber hinaus ist zum Teil noch eine weitergehende lithologische Unterteilung der Bohrproben und Schichtparallelisierung mit dem Profil des Übertageaufschlusses vom Winterberg südlich Vlotho möglich (vergl. Tafel 3, Tiefbohrung I u. Aufschluß Nr. 25).

In 336 m Tiefe zeigt der scharfe Wechsel von grüngrauem, „steinmergelartigem" Tonstein mit Gipseinlagerungen zu relativ weichem, blaßrotem Tonstein die Grenze Steinmergelkeuper/Rote Wand an. Bis 343 m wurde blaßroter Tonstein mit einzelnen grüngrauen Lagen und starkem Gipsanteil (zwischen 336 und 340 m) erbohrt. In der aus 339—340 m Tiefe entnommenen Spülprobe sind auffallend viele grüngraue und dunkelviolette Tonsteinbröckchen enthalten. Sie werden nach Farbe und stratigraphischer Lage im Bohrprofil vermutlich aus der an der Grenze zwischen den Horizonten km3β_2 und km3β_3 verlaufenden obersten bunten Tonsteinlage (V) des km3β_2 stammen. Etwas dunklere ziegelrote und vereinzelt grün-

graue Farbtöne zeigen von 343–348 m den unteren Teil des Horizontes km3β_2 an, der im südlichen und östlichen Teil des lippischen Keuper-Gebietes und bei Osnabrück die tieferen bunten Tonsteinlagen (I–IV) einschließt (s. Tafel 2). In diesem Bohrabschnitt kommt auch gelegentlich etwas Gips vor (vergl. Tafel 2, Nr. 31, Profil des Straßenanschnittes von Röhr östlich Vlotho, Brekzienbildung). Die plötzliche Farbabstufung von blaßrot zu dunklerem ziegelrot bei 343 m scheint sich an der Oberkante der bunten Tonsteinlage IV zu vollziehen.

Zwischen 348 und 349 m unter Bohransatzpunkt bestehen die Spülproben aus einem grauvioletten, zum Teil dunkelviolett und grünlich geflammten Tonstein. Ein Vergleich mit dem Profil von Röhr (Tafel 2, Aufschluß Nr. 31) verrät sofort, daß es sich hierbei nach lithologischer Ausbildung, Gesteinsfarbe, Schichtmächtigkeit und stratigraphischer Position um Gestein des Horizontes km3β_1 handelt, dessen typische grüngraue „steinmergelartige" Fazies mit Einschaltung zäher grauer Steinmergelbänkchen bei Vlotho und Bad Oeynhausen wie auch schon in der Bohrung „Waldfrieden" bei Lemgo zugunsten einer bunten, fast rein tonigen Entwicklung zurücktritt.

Der ab 349 m angetroffene violettstichige, tief rotbraune Tonstein mit gelegentlichen Einschaltungen von grüngrauem Tonstein, Gips und Anhydrit geht in 364 m Tiefe mit scharfer Grenze zu Ende und wird von rostrotem Schluffstein (Übergangsschichten der Roten Wand) unterlagert. Erst in 384 m Bohrtiefe setzt die eigentliche Sandsteinentwicklung des Schilfsandsteins ein. Die „kleinfleckigen Basisschichten" der Roten Wand (km3) sind in dem vorhandenen Bohrgut makroskopisch nicht erkennbar (im Gegensatz zur Bohrung „Waldfrieden", wo sie in einigen größeren Bröckchen des Bohrmaterials einwandfrei nachzuweisen waren).

Das Auftreten von Gips und Anhydrit in verschiedenen Abschnitten des Bohrprofils deckt sich mit den in Übertageaufschlüssen in großer Zahl vorkommenden „Gipsresiduenlagen" und den aus dem oberen Drittel der Roten Wand bekannten Einsturzbrekzien, die auf spät- bis postdiagenetische Auslaugung geringmächtiger Gips- und Anhydritlager schließen lassen. Verstärkt schalten sich sulfatische Ablagerungen in der Bohrung zwischen 320 und 327 m ein, wo das Bohrgut bis zu etwa 50 % aus Gips- und Anhydritanteilen besteht. Etwa in gleicher stratigraphischer Lage kommt im Bohrloch II der ehemaligen Königlichen Saline Oeynhausen ein fast 4 m mächtiges Gipslager vor. KLUTH (1894) stellt dieses Lager an die Obergrenze der Roten Wand. Nach seinen Mächtigkeitsangaben für die Mergelsteine der Roten Wand und der von ihm beschriebenen Steinmergelkeuperhorizonte beginnt es aber mit Sicherheit erst an der Basis des Horizontes km4α_2 etwa 5 m oberhalb der Roten Wand. Zwei weitere, je 60 cm mächtige Gipslager, die KLUTH (1894) vom Klus-Berg bei Vlotho „über roten und unter grünen Mergeln" beschreibt, dürften dagegen entsprechend seiner Auffassung und nach NAUMANN (1922) im obersten Teil der Roten Wand unmittelbar unter der Grenze zum Steinmergelkeuper anstehen. Die in Übertageaufschlüssen in diesem stratigraphischen Niveau vielerorts zu beobachtenden mächtigeren Einsturzbrekzien sprechen für die Richtigkeit dieser Annahme.

Wie die Schichtenkonnektierung auf den Tafeln 2 bis 4 zeigt, fügen sich die Schichtmächtigkeiten der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in die aus Einzelprofilen von Übertageaufschlüssen und anderen Tiefbohrungen zusammengesetzten Profilschnitte durch die Vorkommen von Mittlerem Keuper des Weserberglandes lückenlos ein. Abgesehen davon, daß die Horizontmächtigkeiten teilweise etwas reduziert sind – dies trifft besonders für die Obere Rote Wand und den Oberen Steinmergelkeuper zu – weisen sie keine besonderen Abweichun-

gen gegenüber den Nachbarprofilen auf. Insbesondere fehlen hier noch ausgesprochene Sedimentationslücken, wie sie in den westlich anschließenden Profilen zu finden sind.

4. Geophysikalische Bohrlochmessungen

Verschiedene Bohrlochmessungen (Gamma Ray Log, Microlog, Microlaterolog, Kalibermessung), die an der Tiefbohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel durchgeführt wurden, ermöglichen eine Überprüfung der teils auf direktem Wege durch Bohrgutbestimmung, teils auf indirektem Wege durch Schichtenvergleich mit Übertageaufschlüssen erreichten geologischen Einstufung des Bohrprofils und einiger für die Einstufung besonders wichtiger stratigraphischer Niveaus. Die wesentlichen lithologischen Unterschiede kommen am besten in der Aufzeichnung der natürlichen Gammastrahlungsintensität zum Ausdruck. Sie bietet gegenüber den Diagrammen der anderen, das Schichtprofil stärker auflösenden Meßverfahren (Micro- und Microlaterolog) den Vorteil besserer Übersichtlichkeit. Die Kalibermessung ist vielfach ausdruckslos; sie zeigt z. B. im gesamten Bereich der Roten Wand und im unteren Drittel des Unteren Steinmergelkeupers keine Veränderungen an.

Die Gesamttendenz des Kurvenverlaufes der Gammastrahlungs- und Widerstandsmessungen demonstriert vom Hangenden (Rhät) zum Liegenden (Schilfsandstein) den allmählichen Übergang von der carbonatreicheren zur schwach karbonatischen, tonigen Entwicklung. Charakteristische kleinfazielle Veränderungen (vertikaler Fazieswechsel) und lithologisch im Vergleich zum umgebenden Gestein besonders ausgeprägte, z. T. weniger als dezimeterstarke Lagen und Bänkchen sind in den Diagrammausschlägen meist gut erkennbar. Auf den allgemeinen Kurvenverlauf bezogen zeichnen sich deutlich negative Ausschläge (geringe Gammastrahlungsintensität; kalkiges, sandiges und schluffiges Sediment, Gips) im Bereich folgender Horizonte ab: Kreienberg-Bank, Dohlenberg-Bank, „Gipsgrenz-Lagen" (entspricht den „Hangenden Residuallagen" in Übertageaufschlüssen) an der Grenze km4α/β, einzelne Gipslagen ca. 2 m unter der Grenze km4α/β (vergl. Übertageaufschlüsse auf Tafel 3), untere und obere kieselige Steinmergelbänkchen im mittleren Teil des Horizontes km4α_3, Gips- und Anhydritlager in dem Horizont km4α_2, schluffiger Tonsteinhorizont im oberen Horizont km4α_1 und Tonsteinhorizont mit Gipslagen in den unteren Partien des Horizontes km4α_1 (Basis des Steinmergelkeupers). Durch positive Ausschläge (starke Strahlungsintensität, toniges Sediment) sind das Niveau der im Raume Vlotho – Bad Oeynhausen praktisch vollkommen reduzierten „feinbankigen Steinmergel" ca. 2 m oberhalb der Dohlenberg-Bank (in diesem Niveau sind hier nur noch tonige Lagen vorhanden, vergl. Tafel 4, Aufschluß Nr. 24 u. 58 und andere), der Beller Horizont und die Obergrenze der rotbraunen Tonsteinserie des Horizontes km4α_3 gekennzeichnet. Für den Bereich der Roten Wand ist es nicht möglich, die Ausschläge des Diagramms bestimmten stratigraphischen Merkmalen eindeutig zuzuordnen.

Während die Kalibermessung in größeren Bohrlochabschnitten völlig ausdruckslos ist, liefert sie in dem Bereich zwischen 265 und 323 m doch einige interessante Aufschlüsse. Die Grenze km4β_3/β_4 mit der Kreienberg-Bank, die auch im Micro- und Microlaterolog stark hervortritt, wird in der Kaliberaufzeichnung durch eine plötzliche Änderung des Bohrlochdurchmessers angezeigt. Kalibereinengung zwischen Kreienberg-Bank und Rhät-Grenze bezeichnet den Horizont km4β_4 mit seiner stärker tonigen Ausbildung. Die Dohlenberg-Bank hebt sich im Kaliberdiagramm durch die sie begleitenden Tonsteinlagen hinreichend ab, ebenso eine etwa 1 m unter der Dohlenberg-Bank verlaufende geringmächtige Tonsteinlage. Sehr mar-

kant werden die beiden kieseligen Steinmergelbänkchen des km4α_3 durch einen kurzen positiven Ausschlag des Kalibers angezeigt.

Starken Gesteinsnachfall verrät die Kalibermessung zwischen 312 und 323 m. In diesem Abschnitt befinden sich übereinstimmend nach allen Bohrlochdiagrammen stärkere Gipseinschaltungen, insbesondere in dem Bereich von 319–323 m, wo auch die größte Bohrlocherweiterung eingetreten ist. Nach dem Befund der Spülproben zu urteilen müßte die stärkste Gipsführung zwischen 320 und 327 m liegen, also 4 m tiefer reichen, als nach den Bohrlochmessungen zu erwarten wäre. Obwohl nach den übrigen Bohrlochdiagrammen Gips auch noch zwischen 323 und 327 m Bohrtiefe anzunehmen ist, scheint doch das Bohrgut infolge starken Nachfalls aus dem oberen Bereich eine stärkere Gipsführung vorzutäuschen, als sie in Wirklichkeit in diesem Bohrabschnitt im Untergrund vorhanden ist.

Die Grenzen Rhät/Steinmergelkeuper und Rote Wand/Schilfsandstein sind wegen des Wechsels von der sandigen zur tonig-mergeligen bzw. von der tonigen zur tonig-sandigen Fazies in den Aufzeichnungen aller Bohrlochmessungen durch auffallende Ausschläge markiert. Eine Ausnahme macht die Kalibermessung, deren Diagramm sich aus der Roten Wand über die tonig-sandigen Übergangsschichten unverändert bis zum Beginn der eigentlichen Sandsteinfazies des Schilfsandsteins fortsetzt. Die Grenze Steinmergelkeuper/Rote Wand ist wegen der geringeren lithologischen Unterschiede nicht so deutlich hervorgehoben wie die erwähnten Grenzbereiche, doch wird der Wechsel von dem schwach karbonatischen Tonstein der Roten Wand zu dem mehr steinmergelartigen Tonstein an der Steinmergelkeuper-Basis auch hier augenfällig.

5. Rückschlüsse auf synsedimentäre epirogene Bewegungen

In den Tafeln 2–4 sind die in der Bohrung erkennbaren oder indirekt ermittelten Horizontmächtigkeiten in Profilschnitte eingesetzt, die aus geeigneten, feinstratigraphisch konnektierten Einzelprofilen zusammengesetzt sind. Ihre relativen Mächtigkeitsschwankungen (bezogen auf die Nachbarprofile) sind Ausdruck leichter synsedimentärer epirogener Bewegungen (Schwellen- und Senkenbildung). In der Roten Wand läßt sich in der Bohrung bis zum ausgehenden Horizont km3β_2 der ruhige und ausgeglichene Sedimentationsverlauf erkennen, der in dieser Zeit offenbar die gesamte westfälisch-lippische Keuper-Senke bis hinauf in den Osnabrücker Raum beherrscht hat (die kleinfleckigen Basisschichten KÜHLS, 1956, sind der Ausklang der voraufgegangenen unruhigen Sedimentationsphase des Schilfsandsteins). Eine leichte Mächtigkeitsreduktion im Horizont km3β_3 paßt sich in den Verlauf einer flachen Schwellenregion ein, die vom Begatal bis Osnabrück zu verfolgen ist (Tafel 2).

Im Unteren Steinmergelkeuper liegt das Bad Oeynhausener Gebiet im Zwischenbereich einer von Vlotho nach Süden bis Blomberg und nach Osten bis Hameln und wahrscheinlich noch weiter ostwärts verlaufenden Senke und einer in nordwestlicher Richtung herausgehobenen Schwelle, die in Osnabrück über normal entwickeltem km4α_1-Horizont zum Sedimentationsstillstand und totalen Schichtausfall des km4α_2-Horizontes und vermutlich auch noch des untersten km4α_3-Horizontes führt. Der Obere Steinmergelkeuper bis hinauf zur Dohlenberg-Bank spiegelt im Bohrprofil den in dieser Zeit im gesamten nordwestdeutschen Keuper-Becken erkennbaren ausgeglichenen Sedimentationsablauf wider, der in oft kilometerweit verfolgbaren kleinsten stratigraphischen Einheiten zum Ausdruck kommt (WOLBURG 1969).

Über der Dohlenberg-Bank verraten die deutlich reduzierten Schichtmächtigkeiten erneute Hebungsvorgänge. Die Bad Oeynhausener Bohrung befindet sich nun – wie schon einmal im Unteren Steinmergelkeuper – in einem Übergangsbereich zwischen einem nach Süden und Osten abfallenden Becken mit größeren Mächtigkeiten und einer gegen Westen stärker herausgehobenen Schwelle („Rumpffläche" nach WOLBURG 1969). Dieser Hebungsvorgang zeichnet sich zwischen Bad Oeynhausen und Osnabrück durch eine beträchtliche, nach Westen sich vergrößernde Schichtlücke zwischen Steinmergelkeuper und Rhät ab, die die Rhät-Grenze im Gebiet von Osnabrück bis in den Unteren Steinmergelkeuper absinken läßt. Für die Annahme, daß es sich auch hierbei um einen synsedimentären Bewegungsvorgang handelt, spricht die von Südosten bzw. Osten in westlicher Richtung allmählich fortschreitende „innere" Schichtreduktion in den Horizonten km4β_3 und β_4, die sich an den Profildarstellungen der Tafel 4 detailliert verfolgen läßt.

6. Aufschlüsse

Im Folgenden sind die auf den Tafeln 2–4 dargestellten Aufschlüsse zusammengestellt. Angegeben werden die Bezeichnung des Aufschlusses, Nummer und Name des Blattes der Topographischen Karte 1 : 25 000 sowie die Rechts- und Hochwerte. Eine Übersicht über das gesamte Untersuchungsgebiet mit eingetragenen Aufschlußpunkten vermittelt Tafel 1.

lfd. Nr. d. Bohrung bzw. d. Aufschlusses	Bezeichnung	Blatt	Lage R H
Bohrungen			
B I	Alexander-von-Humboldt-Sprudel, Kurpark Bad Oeynhausen	3718 Bad Oeynhausen	86 160 85 200
B II	„Waldfrieden" im Bornsiekbach-Tal, ca. 2,5 km ostnordöstlich Lemgo	3919 Lemgo	36 910 67 010
B III	„Falkenhagen 1/73", ca. 500 m nordwestlich Falkenhagen	4121 Schwalenberg	20 640 51 180
Übertageaufschlüsse			
1	Bahneinschnitt am Hauptbahnhof, Osnabrück	3714 Osnabrück	35 940 93 800
2	Buer'sche Straße, westlich der Eisenbahnunterführung, Osnabrück	3714 Osnabrück	36 110 94 030
4	Sportplatz am Lüstringer Berg, Lüstringen	3714 Osnabrück	40 830 93 630
7	Aufschluß an der Koh-Mühle, ca. 700 m östlich Gerden (Straße Melle-Enger)	3816 Spenge	57 830 83 820
9	Mergelgrube, ca. 700 m südwestlich Düingdorf, südöstlich Elmsbrink	3716 Melle	60 320 86 500
10	Grube 100 m westlich Pkt. 131,0, Düing-Berg, nordwestlich Düingdorf	3716 Melle	60 500 87 350

lfd. Nr. d. Bohrung bzw. d. Aufschlusses	Bezeichnung	Blatt	Lage R H
11	Mergelgrube am Reitplatz, Bennier Wald, ca. 2 km nordwestlich Bennien	3816 Spenge	61 880 84 280
12	Mergelgrube am Ascher Berg, 800 m südwestlich Groß Aschen, Nordwestteil	3816 Spenge	64 680 82 120
13	Mergelgrube am Ascher Berg, 800 m südwestlich Groß Aschen, Südostteil	3816 Spenge	64 670 82 060
17	Mergelgrube ca. 1,5 km westnordwestlich Exter, ca. 100 m nordwestlich Pkt. 172,5	3818 Herford Ost	83 150 78 700
18	Mergelgrube ca. 500 m nordwestlich Exter am Waldrand 400 m nordöstlich Arnhölter	3818 Herford Ost	84 130 78 860
21	Autobahneinschnitt ca. 1 km nordöstlich Exter an der Autobahnüberführung nördlich Niederholte	3818 Herford Ost	85 820 79 140
24	Straßenanschnitt westlich Vlotho, an der Straße nach Bonneberg	3819 Vlotho	89 140 80 750
25	Mergelgrube am Nordwesthang des Rusch-Berges (Winterberg), südöstlich Vlotho, nordöstlich Günnenbuschen	3819 Vlotho	91 850 80 050
28	Mergelgrube nördlich Uffeln, östlich der Straße Uffeln-Holtrup, ca. 100 m südlich Pkt. 105,1	3819 Vlotho	91 300 84 100
31	Straßenanschnitt an der Straße Vlotho – Veltheim, am Südosthang des Buhn-Berges, südwestlich Borlefzen	3819 Vlotho	93 400 82 260
32	kleine Grube an der Straße Vlotho – Veltheim gegenüber der Abzweigung nach Borlefzen	3819 Vlotho	93 540 82 370
33	Schilfsandsteinbruch bei Röhr, an der Straße Vlotho – Veltheim	3819 Vlotho	94 360 82 970
34	rechter Wesersteilhang an der Straße Vlotho – Veltheim, ca. 400 m südwestlich Haltepunkt Möllbergen	3819 Vlotho	95 000 83 580
36	Straße Uchtdorf – Wennenkamp, ca. 450 m südöstlich des Wirtshauses am östlichen Ortsrand von Uchtdorf	3820 Rinteln	08 000 80 200
43	Mergelgrube an dem Forstweg wenig südlich des westlichen Beginns der Roten Schlucht, ostnordöstlich Fischbeck	3821 Hess. Oldendorf	22 400 79 130
44	Weganschnitt an dem Forstweg am östlichen Ende der Roten Schlucht, ostnordöstlich Fischbeck	3821 Hess. Oldendorf	22 750 79 170
50	Autobahneinschnitt am Oberen Berg östlich Herford, Nordseite, südwestlich der Überführung	3818 Herford Ost	81 470 74 950

lfd. Nr. d. Bohrung bzw. d. Aufschlusses	Bezeichnung	Blatt	Lage R H
57	Mergelgrube an der Straße Valdorf — Berenkämpen, am Südwesthang der Großen Egge, südlich Valdorf	3819 Vlotho	89 720 77 400
58	Mergelgrube im Taleinschnitt zwischen Großem u. Kleinem Seel-Berg, südwestlich Linnenbeeke	3819 Vlotho	91 300 76 340
61	Mergelgrube nördlich des Sportplatzes auf dem Bruns-Berg, nördlich Westorf	3819 Vlotho	94 800 75 500
62	Mergelgrube am Südosthang des Bruns-Berges, ca. 300 m nordöstlich Westorf	3819 Vlotho	94 960 75 040
64	Mergelgrube am Waldrand, ca. 1 km nördlich Laßbruch	3820 Rinteln	03 540 76 600
75	Mergelgrube und Weganschnitt westlich Asemissen an dem Weg nach Jägerborn, ca. 160 m westnordwestlich Pkt. 276,5	3920 Bösingfeld	05 760 69 680
83	Straßenanschnitt am östlichen Steilhang des Exter-Tales in Nalhof (Extertalstraße)	3920 Bösingfeld	07 140 72 900
84	Mergelgrube 150 m südöstlich Vallentrup nördlich Fahrenplatz (Exter-Tal)	3920 Bösingfeld	07 650 72 100
88	Mergelgrube an der Nordwestecke des Mühlen-Berges, ca. 300 m westlich Reine	3921 Aerzen	11 620 68 600
95	Mergelgrube am Wirtshaus „Forellenthal", südwestlich Hemeringen	3821 Hess. Oldendorf	15 120 76 160
98	Mergelgrube an dem Wirtschaftsweg am westlichen Waldrande des Wacholder-Berges, nordöstlich Wehrbergen	3821 Hess. Oldendorf	22 000 77 900
100	linker Steilhang des Wesertales an der Straße Hameln — Hemeringen, ca. 750 m südöstlich Gut Helpensen	3821 Hess. Oldendorf	21 700 75 740
101	Mergelgrube am linken Steilhang des Wesertales, an der Straße Hameln — Hemeringen, ca. 900 m südöstlich Gut Helpensen	3821 Hess. Oldendorf	21 830 75 580
103	Mergelgrube und Steinbruch an der Straße Königsförde — Dehmke, 200 m südlich Uhl-Mühle	3921 Aerzen	18 220 71 460
105	Mergelgrube auf der Westseite des Hahnen-Berges, westlich Herkensen	3822 Hameln	31 730 77 500
106	Mergelgrube an der Nordwestseite des Eich-Berges, südlich Klein Hilligsfeld	3822 Hameln	30 420 75 530
107	Mergelgrube ca. 600 m nordöstlich Voremberg, am südöstlichen Waldrande des Voremberger Waldes	3922 Kirchohsen	31 540 71 230

lfd. Nr. d. Bohrung bzw. d. Aufschlusses	Bezeichnung	Blatt	Lage R H
108	Mergelgrube ca. 1,2 km ostsüdöstlich Voremberg, an der Nordseite der „Hasseburg", 300 m südöstlich Pkt. 196,3	3922 Kirchohsen	32 270 70 650
134	Mergelgrube nordwestlich Humfeld am Waldrand, ca. 500 m südöstlich des Schweine-Berges	3920 Bösingfeld	01 800 66 950
137	Mergelgrube am Waldrand nördlich Altendonop	4020 Blomberg	01 570 62 770
139	Mergelgrube nördlich Kleinenmarpe am nördlichen Ende des Waldstreifens der Höhe 184,2	4019 Detmold	99 370 60 900
140	Mergelgrube nördlich Kleinenmarpe am südwestlichen Ende des Waldstreifens der Höhe 184,2	4019 Detmold	99 540 60 330
143	Mergelgrube nordöstlich Großenmarpe am südwestlichen Waldrand des Püllen-Berges, ca. 300 m westnordwestlich „Vor dem Püllenberge"	4020 Blomberg	02 520 60 960
152	Mergelgrube am Waldrand südlich Rothekuhle südöstlich Hestrup	4020 Blomberg	04 240 59 540
154	Mergelgrube südlich Holstenhöfen, ca. 100 m südöstlich Pkt. 225,2	4020 Blomberg	05 930 58 370
167	Mergelgrube westlich Brüntrup am Südwestende des Tö-Berges	4019 Detmold	98 540 56 270
181	Mergelgrube östlich Blomberg am Südwesthang des Buner-Berges, ca. 500 m südsüdwestlich Pkt. 297,5	4020 Blomberg	08 750 56 350
182	Mergelgrube am Waldrand nördlich Siekhof	4020 Blomberg	09 250 56 000
182a	Mergelgrube an der Waldecke nordöstlich Siekhof, ca. 50 m östlich Pkt. 225,2	4020 Blomberg	09 650 55 950
188	Anschnitt hinter den Häusern (Dohlenberg), Ortsausgang von Schwalenberg nach Rischenau	4121 Schwalenberg	13 710 48 740
191	Mergelgrube südlich Rischenau an der südwestlichen Waldecke des Scharpen-Berges	4121 Schwalenberg	19 700 48 330
194	Mergelgrube am Isen-Berg, nordwestlich Rischenau, am nördlichen Ende des Köller-Grundes	4121 Schwalenberg	18 500 50 850
194	Fahrweg nordwestlich Rischenau, oberhalb des Köller-Grundes (Wegeböschung)	4121 Schwalenberg	18 400 50 900
195	Mergelgrube auf dem Isen-Berg nördlich Rischenau, an dem von Henkenbrink nach Süden führenden Forstweg	4121 Schwalenberg	19 730 51 180

lfd. Nr. d. Bohrung bzw. d. Aufschlusses	Bezeichnung	Blatt	Lage R H
197	Weganschnitt (nordöstliche Blattecke), Forstweg westlich der Hünnicher Mühle	4121 Schwalenberg	22 800 51 580
198	Mergelgrube an der Wegegabel des Forstweges westlich der Hünnicher Mühle (nordöstliche Blattecke)	4121 Schwalenberg	22 800 51 630
200	Weganschnitt, Forstweg am Wesersteilhang, ca. 450 m nördlich Polle	4022 Ottenstein	28 180 52 580
207	Mergelgrube ostnordöstlich Rolfzen, 300 m nordöstlich Pkt. 235,0	4120 Steinheim	11 440 46 530
208	Mergelgrube südsüdöstlich Schwalenberg an der Waldecke 500 m nordwestlich Kreienberg	4121 Schwalenberg	14 540 47 520
214	Mergelgrube am Westhang des Köter-Berges, 300 m südlich des Ortes Köterberg	4121 Schwalenberg	22 180 46 950

7. Wertung

Der höhere Mittelkeuper wird in der Thermalsolebohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in lückenloser Entwicklung – die sogenannte „innere" Reduktion einzelner Schichtglieder in sich bleibt hierbei unberücksichtigt – und vollständiger Mächtigkeit in der aus Übertageaufschlüssen des lippischen Keuper-Gebietes bekannten lithologischen Ausbildung und lithostratigraphischen Gliederung nachgewiesen.

Die stratigraphische Lage geringmächtiger, im Bohrgut makroskopisch nicht erkennbarer „Leithorizonte" kann im feinstratigraphischen Vergleich mit oberirdischen Aufschlüssen mit Hilfe von Bezugshorizonten und Bohrlochdiagrammen exakt bestimmt werden. Das Auftreten von Gips- und Anhydritlagen in der Roten Wand, im Unteren Steinmergelkeuper und im tieferen Teil des Oberen Steinmergelkeupers spricht für die Deutung, daß die übertage in gleichen stratigraphischen Niveaus weit verbreiteten sogenannten „Gipsresiduenlagen" und groben Tonsteinbrekzien als Rückstands- bzw. Umbildungs- und Auslaugungsprodukte unreiner salinarer Absätze aufzufassen sind (Kühl 1956).

Wie zwischen Herford und Vlotho werden auch in Bad Oeynhausen die bunten Farben des Unteren Steinmergelkeupers weitgehend verdrängt. Die Rote Wand behält analog der östlich Vlotho zu beobachtenden Ausbildung ihre typische Rotfärbung bei.

Aus den Horizontmächtigkeiten des Bohrprofils lassen sich durch feinstratigraphischen Vergleich mit anderen bekannten Aufschlußprofilen des lippisch-osnabrücker Mittleren Keupers Tendenz, relatives Ausmaß und zeitlicher Ablauf epirogener Bewegungen des Sedimentationsuntergrundes im Bereich von Bad Oeynhausen ablesen.

8. Schriftenverzeichnis

BÜCHNER, M., & SERAPHIM, TH. (1973): Mineralneubildungen im saxonischen Bruchfaltengebirge des Unteren Weserberglandes, Teil 1: Karbon bis Keuper. – Ber. naturwiss. Ver. Bielefeld, **21:** 17–95, 36 Abb., 1 Tab.; Bielefeld.

DUCHROW, H. (1968 a), unter Mitarb. von FEHLAU, K. P., & KESSLER, G., & LORENZ, W., & PARIKH, R., & SCHMIDT, C., & SCHOLZ, R.: Stratigraphie und Lithologie des Keupers im Lippischen Berglande. – Z. dt. geol. Ges., **117:** 371–387, 12 Abb.; Hannover.

– (1968 b): Zur Keuperstratigraphie in Südostlippe (Trias, Nordwestdeutschland). – Z. dt. geol. Ges., **117**: 620–662, 4 Abb., 1 Tab.; Hannover.

GRUPE, O. (1911): Zur Stratigraphie der Trias im Gebiete des oberen Wesertales. – Jber. niedersächs. geol. Ver., **4:** 1–102, 1 Tab.; Hannover.

HAACK, W. (1930): Erläuterungen zu Blatt Osnabrück. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000: 95 S., 5 Abb., 1 Kt.; Berlin.

HAACK, W., & DIENEMANN, W. (1930): Erläuterungen zu Blatt Schledehausen. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000: 91 S., 1 Abb., 1 Kt.; Berlin.

JUBITZ, K. B. (1952): Zum tektonischen Bau zwischen Osnabrück und Melle i. Hann. – Diss. Univ. Münster; Münster. – [Unveröff.]

KLUTH, R. (1894): Gypskeuper im mittleren Wesergebiet. – Diss. Univ. Göttingen: 47 S.; Göttingen.

KÜHL, K. W. (1956): Stratigraphisch-fazielle Untersuchungen im Mittleren Keuper zwischen Weser und Osning. – Diss. Techn. Univ. Braunschweig: 199 S., 34 Abb., 2 Taf.; Braunschweig. – [Unveröff.]

MICHEL, G. (1975): Die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen. – Heilbad u. Kurort, **27:** 65–68, 6 Abb.; Gütersloh.

NAUMANN, E. (1922): Erläuterungen zu Blatt Vlotho. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. Bundesstaaten 1 : 25 000: 54 S.; Berlin.

– (1927): Erläuterungen zu Blatt Hessisch-Oldendorf. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000: 43 S., 1 Abb., 1 Taf.; Berlin.

SANDER, A. (1963 a): Zur Parallelisierung und stratigraphischen Bedeutung der Fossillagen des lippischen Steinmergelkeupers. – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **117** (Festband LOTZE): 340–345; Stuttgart.

– (1963 b): Richtprofil des km4. – In: ROHDE, P.: Das Störungsfeld der Pyrmonter Achse im Nordteil des Lippischen Berglandes. – Diss. Univ. Münster: 42–44; Münster. – [Unveröff.]

SCHICKOR, G. (1969): Zur Paläogeographie und Sedimentologie des Rhäts zwischen Osning und Weser. – Geotek. Forsch., **32**: 66–97, 18 Abb.; Stuttgart.

THIERMANN, A. (1959): Geologische Untersuchungen im Mittleren und Oberen Keuper östlich der Herforder Liasmulde. – Dipl.-Arb. Univ. Hamburg: 99 S., 15 Abb., 3 Anl.; Hamburg. – [Unveröff.]

WOLBURG, J. (1969): Die epirogenetischen Phasen der Muschelkalk- und Keuper-Entwicklung Nordwest-Deutschlands, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein. – Geotekt. Forsch., **32**: 1–65, 32 Abb., 7 Beil.; Stuttgart.

Eingang des Manuskriptes: 11. 5. 1976

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 109–123, 1 Abb., 1 Tab., 2 Taf.	Krefeld, Nov. 1977

Eisenglanzvererzungen im Buntsandstein der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel

Von Adalbert Scherp *

Haematite (specularite), anhydrite, hydrothermal, Lower Bunter Sandstone, chemical analysis, drilling, Northwest-German Mesozoic Hills (Bad Oeynhausen)

Kurzfassung: Im Unteren Buntsandstein (892–1034 m) der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel treten, vorwiegend in den siltigen Tonsteinen, unregelmäßig verteilt Anhydritnester mit eingesprengten idiomorphen Eisenglanzkristallen auf. Untergeordnet wird auch Eisenglanz auf mit Anhydrit und Calcit verheilten Klüften des Gesteins gefunden.

Die Zusammensetzung der vor und zur Zeit der Vererzung im Unteren Buntsandstein zirkulierenden Sole wird für den Stoffbestand der Anhydrit-Eisenglanzvererzung verantwortlich gemacht. Während aufgrund von Schwefel-Isotopenanalysen das Calciumsulfat ebenso wie ein großer Teil des Natriumchlorids der Sole im wesentlichen aus dem unterlagernden Zechstein abgeleitet wird, muß das Eisen größtenteils aus dem Unteren Buntsandstein selbst stammen. Es wird diskutiert, in welcher Form das Eisen unter den damaligen Druck- und Temperatur- sowie pH- und Eh-Bedingungen und bei der damaligen Zusammensetzung der Sole transportiert worden sein kann. Dabei wird der Bicarbonatführung der Sole und dem CO_2-Anteil – insbesondere vor dem vermehrten Entweichen beim Aufreißen der Quellenspalte zur Tagesoberfläche – eine wichtige Rolle zugesprochen.

[Mineralization of Specularite in the Bunter Sandstone of the borehole «Alexander-von-Humboldt-Sprudel»]

Abstract: In the Lower Bunter Sandstone of the borehole «Alexander-von-Humboldt-Sprudel» at Bad Oeynhausen (892–1034 m) – especially in shaly – silty parts – occur in an irregular way spots of anhydrite with inclusions of idiomorphic hematite. In a minor scale also hematite crystals in anhydrite and calcite coated fissures are found.

The composition of the brines that circulated in the Lower Bunter Sandstone at the time of the mineralization is thought to be a key to the anhydrite-hematite mineralization. After S-isotopes analyses the calciumsulphate and partly the sodiumchloride are derived from the underlying Zechstein-strata. The iron however should come mainly from the Lower Bunter Sandstone itself.

It is discussed in what way the iron could have been transported and deposited under the temperature- and pressure- as well as pH- and Eh-conditions in the brines of that time. The hydrocarbonate part and the CO_2-content of the brines most probably have played an important role in that process and in the deposition of the minerals. Especially so the sudden increasing escape of CO_2 after the piercing through of the fissures to the surface.

[Minéralisation d'oligiste dans le Buntsandstein du forage «Alexander-von-Humboldt-Sprudel»]

Résumé: Dans le Buntsandstein inférieur du forage «Alexander-von-Humboldt-Sprudel» à Bad Oeynhausen (892–1034 m) il y a – spécialement dans les parties argileuses

* Anschrift des Autors: Dr. A. Scherp, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

et silteuses – des taches d'anhydrite, qui sont distribuées irrégulièrement. Ces taches contiennent très souvent des cristaux d'hématite idiomorphes. Parfois on trouve aussi des cristaux d'hématite sur des fissures, qui sont bordées d'anhydrite et de calcite.

La composition des saumures, qui avant et pendant la minéralisation circulaient dans les couches du Buntsandstein inférieur, a été evidemment d'importance déterminante pour la minéralisation d'anhydrite - hématite. D'après les analyses isotopiques du sulfure, le sulfate de calcium et partiellement le chloride du sodium dérivent surtout des couches du Zechstein. Le fer cependant dérive probablement des couches du Buntsandstein inférieur. On discute la mode du transport et de dépôt du fer dans les saumures aux conditions de température, de pression, de pH et Eh. La teneur en hydrocarbonate et CO_2 des saumures, dérivant d'une activité magmatique, a dû joué un rôle important dans ce processus, cela surtout avant et durant les dégagements d'hydrocarbonate et de CO_2, quand ces fissures de sources thermales s'ouvraient jusqu'à la surface. La minéralisation a pris probablement place surtout dans le Crétacé inférieur, pendant l'approfondissement du bassin de Basse-Saxe.

1. Einleitung

Im Jahre 1973 wurde in Bad Oeynhausen (TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200) eine 1034 m tiefe Solequelle erbohrt, die nach Alexander von Humboldt (1769–1859) benannt wurde (s. MICHEL 1975). Die Bohrung wurde – außer in drei Kernen bei 719–722,5 m, 802–803,6 m und 875,5–884,5 m – bis 1025 m als Spülbohrung heruntergebracht. Von 1025 m bis zur Endteufe von 1034 m wurde sie gekernt.

Die Bohrung erschloß unter einer 10 m mächtigen Pleistozän-Bedeckung Gesteine des Lias α und β (175 m mächtig), des Keupers (423 m) – mit zum Teil meterdicken Lagen von Gips und einer Anhydritschicht (MICHEL 1975) – des Muschelkalks (74 m) sowie ab 667 m bis zur Endteufe Gesteine der Buntsandstein-Formation.

2. Buntsandstein

Nach einer vermuteten Störung im Mittleren Muschelkalk bei 667 m folgte zur Teufe hin nachstehendes Profil des Buntsandsteins:

667– 700 m	Oberer Buntsandstein (Röt)	
– 786 m	Solling-Folge	} Mittlerer Buntsandstein
– 892 m	Volpriehausen-Folge	} Mittlerer Buntsandstein
–1034 m	Unterer Buntsandstein	

Während das Röt, das aus Wechsellagerungen von rotbraunen und hellgrüngrauen Ton- und Siltsteinen besteht, noch erzfrei ist, finden sich ab 738 m in der Solling-Folge des Mittleren Buntsandsteins schon erste Spuren von Eisenglanzvererzungen.

Petrographisch unterscheidet sich der Mittlere Buntsandstein nicht wesentlich von dem noch in der Bohrung erfaßten Teil des Unteren Buntsandsteins. Es handelt sich im wesentlichen um rotbraune und violettrote, z. T. carbonathaltige Ton- und Siltsteine, die mit vereinzelten hell- und mittelgrauen Lagen wechseln. Feinsandsteineinschaltungen von wenigen Metern Mächtigkeit sind selten. Der Feldspatgehalt der Siltsteine – darunter viel authigener Albit – ist oft hoch, teilweise bis 25%. Gelegentlich sind Kluftflächen mit Calcit, Anhydrit und blättchenförmigem Gips gefüllt.

Die Eisenglanzführung im Mittleren und Unteren Buntsandstein ist zunächst nur spärlich und offenbar auf Kluftflächen mit Anhydrit und Calcit beschränkt. Ab welcher Teufe erstmalig auch eine Eisenglanzvererzung eingesprengt im Gestein auftritt, kann wegen der angewandten Art des Bohrens – bis 1025 m fast ausschließlich Spülbohrung – nicht gesagt werden. Die stärkste bzw. zumindest eine relativ starke Vererzung tritt jedoch in dem 9 m langen Bohrkern zwischen 1025 m und der Endteufe von 1034 m auf. Diese, dem Unteren Buntsandstein zugerechnete Kernstrecke ist dann auch Gegenstand der näheren Untersuchung.

3. Petrographie des Unteren Buntsandsteins

Im untersuchten Kernabschnitt zwischen 1025 und 1034 m liegt der Untere Buntsandstein als eine Wechselfolge von – durch feinverteilten Hämatit – rotbräunlichem Tonstein bzw. siltigem Tonstein, der meist siltbändrig oder siltstreifig ist, mit Lagen aus hellrötlichen, mehr oder weniger quarzitischen Siltsteinen bzw. zum Teil Feinsandsteinen vor. Die Partien aus Siltstein oder Feinsandstein sind gelegentlich auch wieder tonstreifig. Vorwiegend in den siltigen Tonsteinen bzw. tonigen Siltsteinen treten sehr unregelmäßig verteilt fleckenartige Anhäufungen von Anhydrit mit idiomorphen Eisenglanztäfelchen (Tafel 1, Fig. 1) auf. Diese max. 1–2 cm großen Anhydrit-Eisenglanznester sind in ihrer Form oft etwas der Schichtung angepaßt.

In den Tonsteinen, siltigen Tonsteinen bzw. siltstreifigen Tonsteinen ist bei der mikroskopischen Untersuchung die Matrix durch feinstkörnigen Hämatit der optischen Beobachtung weitgehend entzogen. Sie besteht nach der Röntgenbeugungsanalyse aus Sericit-Illit, Chlorit und kryptokristallinem Quarz sowie – optisch erkennbar – Muskovitblättchen, die bis max. 0,2 mm groß und der Schichtung parallel bzw. subparallel verlaufen sowie geringe Ansammlungen von sparitischem und mikrosparitischem Ankerit-Dolomit. Der Silt- und Feinsandanteil ist meist mehr oder weniger nesterförmig bzw. schlierig im Gestein verteilt.

Die Quarzkörner sind eckig bis kantengerundet und besitzen einen Durchmesser von 0,02–0,15 mm. Sie sind offensichtlich überwiegend detritisch. Nur untergeordnet detritischer Herkunft sind dagegen die Feldspatkörner. Ihr detritischer Anteil wird in den feldspatreichen Partien, die bis zu 20 Vol.% Feldspat führen, kaum mehr als ein Drittel betragen. Dieses Drittel besteht dann aus sauren Plagioklasen und schwach sericitisierten oder karbonatisierten Kalifeldspaten. Der überwiegende Anteil der Feldspate besteht aus subangularen, aber häufig auch teilidiomorphen Albiten mit Tieftemperaturoptik (bestimmt nach der Drei-Interferenzen-Methode von Wright 1968). Schlierige Anhäufungen von Quarz und Feldspat haben gelegentlich lokal auch körnigen Anhydrit als Zement.

Die unregelmäßige Vermengung von mehr oder weniger reinem Tonstein mit Siltsteinnestern oder -schlieren ist häufig als gestörte Schichtung anzusehen und läßt auf Bioturbation schließen. Lagenartige Partien von Siltstein bzw. feinkörnigem Sandstein haben bei Korngrößen von 0,04–0,12 mm ϕ oft nahezu ein quarzitisches Gefüge. Neben Quarz ist auch hier der Feldspatanteil mit max. 25 Vol.% beträchtlich. Hauptsächlich liegt wieder authigener Tieftemperatur-Albit vor, der zum Teil auch die Rolle von Zement spielt. Im wesentlichen aber sind die Quarz- und Feldspatkörner zu einem Korn-an-Korn-Gefüge ausgewachsen. Darüber hinaus liegen in Kontaktzwickeln neben wenig Calcit vorwiegend Ankerit-Dolomit – zum Teil in idiomorpher Rhombenform – und körniger Anhydrit. Auch kleinere Nester von sparitischem Ankerit-Dolomit, Calcit oder Anhydrit kommen partien-

weise vor, insbesondere in der Nähe von vereinzelten Trümchen bzw. mineralisierten Spalten. Dort, wo kleine Ansammlungen von Anhydrit auftreten, stellt sich dieser meist als einheitlich auslöschender Zement dar, der mit den eingeschlossenen Quarzkörnern eine poikilitische Textur bildet. Der Anhydrit verdrängt dabei teilweise die Quarzkörner. Die meist saigeren Trümchen sind – soweit beobachtet – mit Anhydrit und Calcit bzw. nur mit Calcit gefüllt, deren Kristalle senkrecht zum Salband gestreckt sind. Hier und da kommen in den Trümchen auch idiomorphe Eisenglanzkristalle mit tafeligem Habitus vor.

Beim Überwechseln mancher Trümer von quarzitischem Siltstein in Tonstein werden diese vielfach erheblich enger oder keilen gar aus. Diese Beobachtung läßt auf Unterschiede im Gesteinsmaterial bei Bildung der Trümer schließen, die den heute vorliegenden ähnlich sind.

4. Anhydrit-Eisenglanzvererzung

Die Eisenglanzeinsprengungen und Eisenglanz auf Klüftchen vorwiegend des Unteren Buntsandsteins sind von mehreren Stellen Ostwestfalens in der Literatur erwähnt.

BÜCHNER & SERAPHIM (1973) zitierten eine Reihe solcher Fundpunkte. Demnach ist – vorwiegend aus Bohrungen – Eisenglanz auf Klüften und im Gestein eingesprengt aus den Blattgebieten 3718 Bad Oeynhausen, 3818 Herford Ost, 3819 Vlotho, 3918 Bad Salzuflen, 3919 Lemgo und 3921 Aerzen der topographischen Karte 1 : 25 000 (TK 25) bekannt (Abb. 1). Die Vererzungsspuren sind stets – außer

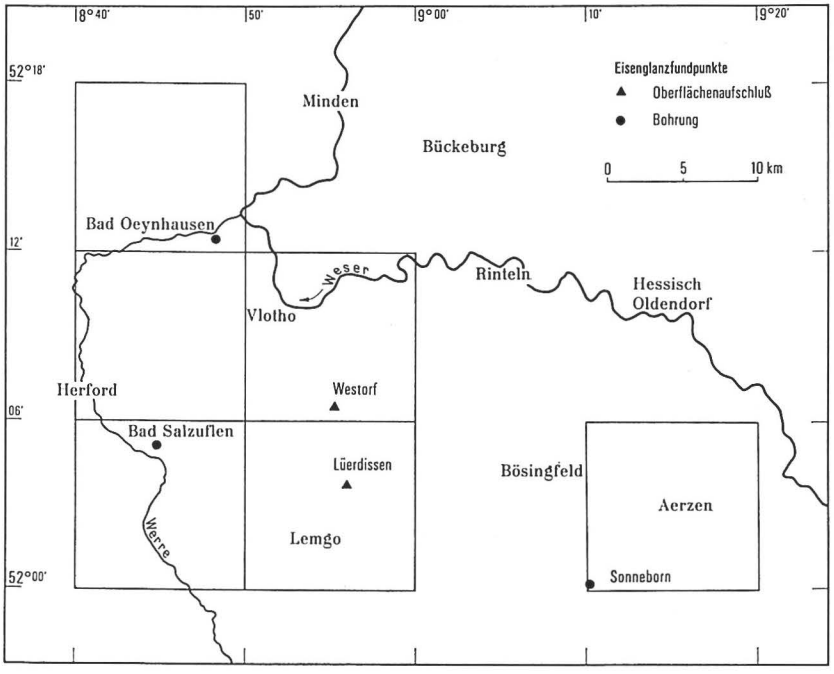


Abb. 1. Bisher bekannte Verbreitung von Eisenglanzvererzungen im Unteren Buntsandstein Ostwestfalens

vielleicht in einem zweifelhaften Fall – aus dem Unteren Buntsandstein angegeben, wobei sie jedoch nach GRUPE (1927) in einer Tiefbohrung beim Ort Sonneborn (Blatt 3921 Aerzen) bis in die Schichten des Oberen Zechsteins hinab verfolgt werden konnten.

In dem untersuchten Teufenbereich der vorliegenden Bohrung liegt der dünntafelige Eisenglanz, stets mit Anhydrit vergesellschaftet, vorwiegend eingesprengt im Gestein, vor. Es sind nesterartige Anhydritansammlungen von wenigen Millimetern bis max. 2 cm ϕ, die zunächst in der wenig ausgeprägten Schichtung etwas gelängt erscheinen (Tafel 1, Fig. 1 u. 2). Sie sind oft seitlich zackig verschränkt mit der Tonsteinmatrix verwachsen. Selten tritt noch etwas Tonsteinmaterial schlierig in der Anhydritansammlung auf.

Die Verteilung der Vererzungsnester im Gestein ist meist sehr unregelmäßig. Manchmal ist ein halber Meter der Kernstrecke erzleer, dann wieder können die Ansammlungen von Anhydrit mit Eisenglanz gehäuft auftreten. Vorzugsweise liegen sie in siltigen bzw. siltstreifigen Tonsteinen. Das direkte Nebengestein der Vererzungsnester ist übrigens niemals gebleicht.

Wie bereits ausgeführt tritt Eisenglanz auch in einigen wenige Millimeter breiten Trümchen von Calcit und Anhydrit auf. Solche Trümchen führen gelegentlich an ihrem Salband einen Belag von Fe-Mg-Chlorit (Diabantit bis Pyknochlor).

Die tafeligen Eisenglanzkristalle in den Anhydritnestern sind in der Regel an deren Randzonen konzentriert. Nicht selten sind es mehr oder weniger büschelige Bildungen die von der Grenzfläche siltiger Tonstein zu Anhydrit in die Anhydritmasse hineinragen (Tafel 2, Fig. 1). Sie sind idiomorph und zwar dünntafelig nach (0001) entwickelt. Die Täfelchen sind max. 3 mm groß und häufig fächerförmig aggregiert (Tafel 2, Fig. 1 u. 2). Auch im mikroskopischen Bereich zeigt sich beim Anhydrit die Andeutung einer Textur. Die xenomorphen bis hypidiomorphen Körner von Anhydrit (0,04–0,3 mm ϕ) sind nämlich oft subparallel der Schichtung orientiert. Nach BRAITSCH (1962) ist dies in dickeren Anhydriteinschaltungen häufig der Fall. In der so entstehenden angenähert hypidiomorph-körnigen Textur von Anhydrit liegen in den größeren Vererzungsnestern außer den idiomorphen Eisenglanzkristallen oft noch 0,03–0,08 mm große Körner von idiomorphem bzw. teilidiomorphem Albit, Spuren von Quarz sowie Carbonataggregate oder Körner in der gleichen Größenordnung. Während der sporadische Calcit mikrosparitisch ausgebildet ist, tritt der vorherrschende Dolomit häufig in idiomorpher Rhombenform auf. Der Albit in den Anhydrit-Eisenglanznestern ist der gleiche Tieftemperatur-Albit (bestimmt nach der Methode von WRIGHT 1968) wie der schon beim Siltanteil des Nebengesteins beschriebene (optische Daten: $n\alpha' = 1{,}529$, 2 Vx = 93–98°, An 0–3).

5. Zur Genese der Vererzung

5.1. Herkunft des Anhydrits

Wie aus der Beschreibung der Erzführung deutlich wird, tritt die idiomorphe Eisenglanzvererzung stets in Zusammenhang mit Anhydrit auf (s. Tafel 1, Fig. 1 u. 2; Tafel 2, Fig. 1). Und zwar nicht nur in den Anhydrit-Eisenglanznestern, sondern auch auf den Klüftchen. Es scheint daher so zu sein, daß das Eisen und der Anhydrit mehr oder weniger gleichzeitig zum Absatz gekommen sind. Auch das Anhydrit-Eisenglanzverwachsungsgefüge weist auf eine mehr oder weniger gleichzeitige Fixierung von Anhydrit und Eisenglanz hin. Die Einschlüsse von Anhydrit im Eisenglanz (s. Tafel 2, Fig. 2) erinnern dabei an die bekannten und thermome-

trisch verwertbaren Chlorideinschlüsse, z. B. in Zinkblenden. Dort werden ja die Erzkomponenten und die Chloride in komplexer Lösung herangeführt. Auch im vorliegenden Fall lagen im Absatzraum komplex zusammengesetzte hydrothermale Lösungen vor, deren ungefähres Abbild in den jetzigen Solen zu sehen ist (s. Tab. 1).

Tabelle 1

Chemische Analyse der Sole des Alexander-von-Humboldt-Sprudel
(Probenahme 10. 9. 1973, Analytiker: K. HÖLL, Hannover)

	mg/kg	mval	mval %
Kationen			
Na^+	7 050,0	306,64	77,46
K^+	52,4	1,340	0,34
NH_4^+	0,55	0,031	0,00
Mg^{2+}	247,46	20,35	5,15
Ca^{2+}	1 341,0	66,916	16,90
Mn^{2+}	0,05	0,002	0,00
Fe^{2+}	16,6	0,595	0,15
Summe	8 708,06	395,874	100,00
Anionen			
Cl^-	10 681,0	301,24	76,11
SO_4^{2-}	3 522,0	73,33	18,53
HCO_3^-	1 292,4	21,21	5,36
Summe	15 495,4	395,78	100,00
undissoziierte Bestandteile:			
H_2SiO_3 meta	40,95		
gelöste feste Stoffe:			
insgesamt	24 244,41		
gasförmige Bestandteile:			
freies CO_2	1 452,0		
freier H_2S	0,000		
Temperatur (° C)	36,4		

Damit ist jedoch noch nicht gesagt, daß der Anhydrit und das Eisen einen gemeinsamen Transportweg hatten, der über den engeren Absatzraum hinausging. Denkbar wäre auch eine Remobilisierung eines schon vorher im Sediment vorhandenen Anhydritanteils.

Ein Indiz für die Bildung des Eisenglanzes aus hydrothermalen Lösungen ist nach RAMDOHR (1955: 740) insbesondere die auch hier vorliegende dünntafelige Entwicklung der Kristalle nach (0001).

Die Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel ist auf die sogenannte Oeynhausener Quellenspalte – eine markante etwa Nord–Süd verlaufende Störung, der mehrere Heilquellen aufsitzen – angesetzt worden und hat eine Parallelspalte dieser Störung auch erreicht (MICHEL 1975). Auch die von DEUTLOFF & HAGELSKAMP & MICHEL (1974) bearbeitete Erdfall-Quelle von Seebruch in Vlotho, deren gelöste Komponenten ebenfalls Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-} und HCO_3^- sind, liegt an dieser Störung und hängt ursächlich mit ihr zusammen. Das Sulfat der dort auf-

gestiegenen Wässer kann nun nach der Schwefel-Isotopenanalyse von H. NIELSEN, Geochemisches Institut Göttingen (s. DEUTLOFF & HAGELSKAMP & MICHEL 1974) dem Zechstein-Salinar zugeordnet werden. Der Anhydrit der hier untersuchten Anhydrit-Eisenglanzvererzung dürfte daher wohl auch überwiegend aus dem Zechstein stammen. Das gleiche gilt für das Natrium und das Chlorid der aufsteigenden Sole. Die Porenwässer des Unteren und Mittleren Buntsandsteins dürften hier im norddeutschen Buntsandstein-Becken nach FÜCHTBAUER (1967) von Anfang an schon natriumreich gewesen sein. Er deutet auch bereits die Möglichkeit an, daß der Anhydrit im Buntsandstein aus Kompaktionswasser des Zechsteins herrührt.

Während des Abteufens der Bohrung und bei Testentnahmen in verschiedenen Teufen wurde festgestellt, daß die Hauptzuflüsse heute zwischen 750 und 850 m aus Klüften des Mittleren Buntsandsteins erfolgen, d. h. schon oberhalb der hier betrachteten Schichten.

Bei den Testentnahmen der Sole in verschiedenen Teufen (s. LANGGUTH & MICHEL 1977) ergab sich unter anderem eine starke Abnahme des Natrium- und Chloridgehaltes mit geringer werdender Teufe und zwar bereits auf der kurzen Distanz von ca. 950 auf ca. 700 m. So war eine Abnahme der Werte für Na^+ von 12 947 mg/kg auf 7 509 mg/kg und für Cl^- von 19 891 mg/kg auf 11 594 mg/kg bei pH-Werten von 7,0 resp. 7,3 festzustellen. Die hydrochemischen Untersuchungen führte Dr. H. WERNER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, durch, dem ich auch für Hinweise und anregende Diskussion danke.

Außer der erwartungsgemäßen Abnahme von Na- und Cl-Ionen bei Verringerung der Teufe ist von den hier in Betracht zu ziehenden Ionen noch bei Hydrogencarbonat eine wesentliche Abnahme zu verzeichnen (von 1269 mg/kg auf 781 mg/kg)

5.2. Herkunft und möglicher Transport des Eisens

Da — wie schon ausgeführt wurde und auch das Vererzungsbild zeigt — $CaSO_4$ und Eisen gemeinsam aus hydrothermalen Lösungen abgesetzt sein müssen, erhebt sich natürlich auch die Frage nach der Herkunft des Eisens. Wegen der Allgegenwärtigkeit des Eisens in Sedimenten und der — relativ gesehen — geringen Erzanreicherung ist es mengenmäßig an sich kein Problem, das Eisen aus tiefer liegenden Sedimenten, insbesondere aus denen des Unteren Buntsandsteins, die ja sehr reich an Eisen sind, abzuleiten. Die Gehalte an Fe_2O_3 und FeO eines siltigen Tonsteins der untersuchten Kernstrecke wurden von H. WERNER mit 5,7 Gew.% bzw. 1,6 Gew.% bestimmt. Der FeO-Anteil dürfte dabei im wesentlichen dem Chlorit und Ankerit zuzuordnen sein. Bemerkenswerterweise findet sich nämlich in den hämatitführenden Tonsteinen und siltigen Tonsteinen des Unteren Buntsandsteins stets auch Chlorit (durchschnittlich 5—8 %).

Die jetzt austretende Sammelsole, die ja auch Sole aus höheren Niveaus als denen des Unteren Buntsandsteins mitenthält, hat bei einer Temperatur von 36,4° C und Atmosphärendruck einen Gehalt an Gesamteisen von 16,6 mg/kg[1] (s. Tab. 1). In einer von Institut Fresenius GmbH, Taunusstein, am 17. 12. 1974 entnommenen Wasserprobe des Alexander-von-Humboldt-Sprudels wurde dagegen von W. SCHNEIDER der Gesamteisengehalt mit 13,5 mg/kg bestimmt. In dieser Probe betrug der Anteil an zweiwertigem Eisen 13,36 mg/kg. Man kann daher sagen, daß heute praktisch alles Eisen der Sole zweiwertig vorliegt.

---

[1] Alles Eisen wurde als zweiwertig angesehen.

Wenn dies auch für die damals bei der Anhydrit-Eisenglanzvererzung vorliegende – sicher konzentriertere – Sole bei den Druck- und Temperaturbedingungen von mindestens 1000 m Teufe galt, muß eine Oxidation von zweiwertigem zu dreiwertigem Eisen erfolgt sein. Die Löslichkeiten von Fe^{2+} können dabei noch höher gewesen sein als jetzt gemessen, denn nach HEM & CROPPER (1959) sind in Wässern, die nicht in Kontakt mit der Luft stehen, Fe^{2+}-Löslichkeiten von mindestens 50 mg/kg möglich bei einem pH-Wert 6, genügend überschüssigem CO_2 und einem Redoxpotential (Eh) von 200 mV. Diese Bedingungen waren mit Sicherheit erreicht. Das Eh war sogar vermutlich wesentlich niedriger, denn nach Mitteilung von W. SCHNEIDER (Institut Fresenius, Taunusstein) wurde an der Quelle ein Redoxpotential von nur + 10 mV gemessen.

Die notwendige Oxidation bei der Bildung des Eisenglanzes könnte eventuell infolge biologischer Oxidation des Eisens durch Eisenbakterien, insbesondere der Familie *Gallionella* erfolgt sein. Die einzelligen *Gallionella*-Bakterien sind weitverbreitet in Flüssen aber auch in thermalen Quellen (THIMANN 1963). *Gallionella*-Bakterien, die bei einem pH-Wert von 5,8–6,6 wachsen, sind autotroph, entnehmen ihren Kohlenstoffbedarf der Kohlensäure und setzen dabei Sauerstoff (O_2) frei. Obwohl diese Bakterien autotroph sind, glaubt man feststellen zu können, daß auch sie kleinere Mengen organischer Substanz benötigen (SCHWEISSFURTH 1966). Diese geringen Mengen können jedoch auch in den tonigen Siltsteinen des Unteren Buntsandstein erwartet werden.

Vielleicht aber hatte die damalige Sole auch einen wesentlich höheren Fe^{3+}-Anteil als heute, so daß zur Bildung des Eisenglanzes aus den Fe-führenden Lösungen keine Oxidation erforderlich war. Dies scheint aus zweierlei Gründen möglich: Bekanntlich ist eine merkliche Löslichkeit von Fe^{3+} bei Zimmertemperatur erst im stärker sauren Bereich, und zwar bei einem pH-Wert < 5 zu erwarten (s. auch HEM & CROPPER 1959). Die vor dem Aufreißen der Oeynhausener Quellenspalte bis hin zur Oberfläche vorhandene höhere Kohlensäurekonzentration, die mit einem hohen CO_2-Druck einherging, bedingte nun möglicherweise einen geringeren pH-Wert als heute (6,1 nach Messungen des Institutes Fresenius am 17. 12. 1974)[2]. Trotz eines gewissen Pufferungseffektes im System der Formationswässer war also aus diesem Grund eine höhere echte Löslichkeit von Fe^{3+} durchaus möglich.

Außerdem hat aber Fe^{3+} in natürlichen Wässern, vor allem in saurem Milieu, eine wesentlich stärkere Tendenz anorganische Komplexverbindungen einzugehen als etwa Fe^{2+}. Vor allem sind es nach HEM & CROPPER (1959) sowie STUMM & LEE (1960) Hydroxokomplexe und Komplexverbindungen mit Fluorid und Phosphat, sowie auch mit Chlorid, Sulfat, Bicarbonat und Carbonat. Wegen der starken Konzentrationen von Chlorid, Sulfat und Carbonat in der ursprünglichen Sole, die die Vererzung bewirkte, ist es also durchaus denkbar, daß vor der Vererzung unter den damaligen Druck- und Temperaturbedingungen Fe^{3+} zu einem Teil auch in Komplexen vorlang. Vielleicht liegt hier sogar der Schlüssel zu der engen Bindung zwischen Eisenglanz und Anhydrit. In diesem Zusammenhang ist die Tatsache interessant, daß Sulfat-Ionen stark zur Koagulierung von positiv geladenen Fe^{3+}-Oxid-Kolloiden, die aus den dreiwertigen Hydroxokomplexen hervorgehen, beitragen (STUMM & LEE 1960).

---

[2] In einem System, wo CO_2 im Überfluß vorhanden ist, und bei einem relativ hohen CO_2-Partialdruck, wird nämlich das Gleichgewicht in der Gleichung: $RCO_3 + H^+ \rightleftarrows HCO_3^- + R^{2+}$ (R = Erdalkalien, Fe^{2+} oder andere zweiwertige Kationen) stark nach links verschoben (HEM 1960).

5.3. Entstehung der Anhydrit-Eisenglanznester

Im nicht-fluviatilen Buntsandstein allgemein und auch im Unteren Buntsandstein wird schon früh, d. h. synsedimentär oder frühdiagenetisch (s. FÜCHTBAUER 1967), etwas $CaSO_4$ – zunächst wohl als Gips – vorhanden gewesen sein. In den zentralen Partien des norddeutschen Buntsandstein-Beckens ist Anhydrit sogar Hauptzementmineral (FÜCHTBAUER 1967). Jedoch sind die beschriebenen Anhydrit-Eisenglanzeinsprengungen – wie schon MESTWERDT (1929) erwähnt – bisher nur im westfälisch-lippischen Weserbergland vorwiegend aus Bohrungen, im Zusammenhang mit sogenannten Kohlensäuerlingen bekannt geworden. Neuerdings beschrieb STADLER (1971) Eisenglanzvererzungen auf Klüften und in Drusen des Buntsandsteins am Piesberg bei Osnabrück und nördlich davon.

In Gebieten, in denen Buntsandstein Anhydrit-führenden Zechstein überlagert, sind und waren wohl auch immer seit Beginn der Diagenese die wesentlichen Hauptionen der Solen: Na^+, Ca^{2+}, Cl^- und SO_4^{2-}. Das HCO_3^--Anion und damit auch die CO_2-Führung der Sole ist jedoch – zumindest in der vorliegenden Menge (s. Tab. 1) – zusätzlich charakteristisch für das Heilquellengebiet Ostwestfalens. Es liegt also nahe, die Anhydrit-Eisenglanzvererzung speziell mit der Bicarbonatführung der Sole bzw. deren CO_2-Anteil in Verbindung zu bringen.

Wie im Kapitel 5.2. dargelegt, darf vor der Vererzung infolge der Anwesenheit von reichlich Kohlensäure und CO_2 mit relativ – d. h. relativ zu heute – niedrigem pH-Wert und mit einer Konzentration von Eisen in den Formationswässern des Unteren Buntsandsteins gerechnet werden, welche die vorgefundene Vererzung ermöglicht hat. Die Bicarbonat- und CO_2-Führung der Sole ist gebietsspezifisch und darf nach FRICKE (1968) auf magmatische Aktivität im Untergrund zurückgeführt werden. Die Verbreitung der Kohlensäure nicht nur auf Klüften, sondern auch in das Nebengestein hinein wird wohl dadurch erklärt werden müssen, daß die Klüfte als Transportwege zunächst noch nicht bis zur Oberfläche durchgingen, sondern sich im Buntsandstein verliefen.

Das gleichzeitige Auftreten von untereinander abhängigen Gleichgewichten der Löslichkeit, der Komplexbildung, der Hydrolyse und möglicherweise auch von Polymerisationsreaktionen beim Eisen – die Hydroxokomplexe des dreiwertigen Eisens zeigen eine starke Tendenz, Polymerisationsreaktionen einzugehen (STUMM & LEE 1960) – machen es nun sehr schwer, die genaue Erscheinungsform des Eisens in der damaligen Sole und den Mechanismus seiner Ausfällung zu rekonstruieren. Unabhängig jedoch von dieser Erscheinungsform des Eisens darf angenommen werden, daß das übermäßige Vorhandensein von CO_2 eine wesentliche Rolle bei der Bildung der Eisenglanzkristalle gehabt hat.

Bei fast ausschließlichem Transport des Eisens in zweiwertiger Form mag es durch *Gallionella*-Bakterien und CO_2 zur biologischen Oxidation des Eisens gekommen sein [$_2Fe(HCO_3)_2 \rightarrow Fe_2O_3 + {}_4CO_2 + H_2O$]. Wenn dagegen die Sole unter den damals vorliegenden Druck-, Temperatur-, pH- und Eh-Bedingungen auch wesentliche Anteile von dreiwertigem Eisen in echter Lösung oder in Komplexen geführt hat, ist zu vermuten, daß starker CO_2-Partialdruck[3] und sein allmähliches Abfallen infolge Druckentlastung beim Aufreißen der Spalten zur Oberfläche durch die damit verbundene pH-Zunahme, auch den Absatz des dreiwerti-

---

[3] Das häufige Auftreten von nahezu idiomorphem Albit in den Anhydrit-Eisenglanzansammlungen und im Nebengestein ließe sich ebenfalls aus der Gegenwart von CO_2 erklären, da diese CO_2-Gegenwart für die Feldspatbildung nach VON STRAATEN (1948) wesentlich zu sein scheint.

gen Eisens bewirkt hat. Die Ausfällung von Eisen aus Fe^{2+} enthaltenden Solen wird durch die pH-Zunahme sowieso begünstigt.

Hier muß auch auf die positive Wirkung von Fremdionen wie Ca und Mg, die ja in ausreichender Menge zur Verfügung standen, bei der Bildung von Hämatit, und zwar schon im schwach sauren Milieu, hingewiesen werden. SCHELLMANN (1959/60) konnte sie bei einer Ausgangssubstanz von Fe^{3+}-Hydroxidgel experimentell nachweisen und auch SCHWERTMANN (1969) sowie BERNER (1970) betonen sie. Das weitgehende Zurücktreten von organischer Substanz im Sediment beschleunigte zudem in diesem gereinigten System noch die Kristallisation und förderte die Bildung von idiomorphen Eisenglanzkristallen, die hier mit nahezu idealem Habitus wuchsen. Ungefähr gleichzeitig wurde aber auch der Anhydrit ausgefällt. Vermutlich hat die Ausfällung der einen Phase durch die damit erfolgte Veränderung im quasi geschlossenen System die Ausfällung der anderen begünstigt.

Eine Ursache der Anhydritausfällung kann die Abnahme der Salinität gewesen sein, wodurch die Löslichkeit des $CaSO_4$ sich verringerte (s. BRAITSCH 1962: 27). Eine Temperaturerhöhung – und damit ebenfalls Abnahme der Löslichkeit von Anhydrit – bei der Absenkung des Niedersächsischen Beckens, die nach BOIGK (1968) hauptsächlich in der Unterkreide erfolgte, eventuell gleichzeitig mit der erwähnten Sole- und Magmaaktivität im Untergrund, erscheint jedoch noch wahrscheinlicher.

Vermutlich haben alle diese Faktoren zusammengewirkt. Dabei ist auch die für möglich gehaltene Remobilisierung eines schon im Sediment vorhandenen Anhydritanteils zu berücksichtigen. Das Alter der Anlage der Oeynhausener Quellenspalte ist als jungkimmerisch anzusehen. Zu dieser Zeit beginnt nach BOIGK (1968) die Absenkung des Niedersächsischen Beckens, die dann die Unterkreide-Zeit überdauerte. Die Vererzung wäre also vermutlich auch in diese Periode zu stellen.

Dabei ist natürlich nicht zu vergessen, daß das jetzige Aufdringen der Sole auf jüngere Bewegungen zurückzuführen ist, da diese Störungszone – schon infolge der Salztektonik im Untergrund – seit jeher immer wieder aktiv geworden ist.

6. Schriftenverzeichnis

BERNER, R. (1970): Iron. – In: WEDEPOHL, K. H. [Hrsg.]: Handbook of Geochemistry. – **2** (2): 26-G-1 – 26-G-8; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

BOIGK, H. (1968): Gedanken zur Entwicklung des Niedersächsischen Tektogens. – Geol. Jb., **85:** 861–900, 11 Abb., 1 Taf.; Hannover.

BRAITSCH, O. (1962): Entstehung und Stoffbestand der Salzlagerstätten. – Mineral. u. Petrograph. in Einzeldarstellungen, **3**: 232 S., 47 Abb.; Berlin, Göttingen, Heidelberg (Springer).

BÜCHNER, M., & SERAPHIM, E. TH. (1973): Mineralneubildungen im saxonischen Bruchfaltengebirge des Unteren Weserberglandes, Teil 1: Karbon bis Keuper. – Ber. naturwiss. Ver. Bielefeld, **21**: 17–95, 36 Abb., 1 Tab.; Bielefeld.

DEUTLOFF, O., & HAGELSKAMP, H., & MICHEL, G. (1974): Über die Erdfall-Quelle von Bad Seebruch in Vlotho, Ostwestfalen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20**: 27–46, 6 Abb., 1 Tab.; Krefeld. – [Vorausdr. 1973]

FRICKE, K. (1968): Zur Entstehung von CO_2-Gas-Lagerstätten. – XXIII. internat. Geol. Congr., **17**: 205–212, 2 Abb.; Prag.

FÜCHTBAUER, H. (1967): Der Einfluß des Ablagerungsmilieus auf die Sandsteindiagenese im Mittleren Buntsandstein. – Sediment. Geol., **1**: 159–179; Amsterdam.

GRUPE, O. (1927): Erläuterungen zu Blatt 2153 Aerzen. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000: 35 S.; Berlin.

HEM, J. D. (1960): Restraints on Dissolved Ferrous Iron Imposed by Bicarbonate, Redox Potential and pH. – Geol. Surv. Water-Supply Pap., **1459** (B): 33–55, 3 Abb., 2 Tab.; Washington.

HEM, J. D., & CROPPER, W. H. (1959): Survey of Ferrous-Ferric chemical Equilibria and Redox Potentials. – Geol. Surv. Water-Supply Pap., **1459** (A): 1–31, 2 Abb., 11 Tab.; Washington.

LANGGUTH, H. R., & MICHEL, G. (1977): Hydrochemische Untersuchungen am Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 165–183, 6 Abb., 5 Tab.; Krefeld.

MESTWERDT, A. (1929): Die Tiefbohrung II in Bad Salzuflen. – Jb. dt. nat. Kom. internat. Bohrkongr., **1929:** 5–32, 3 Abb.; Berlin.

MICHEL, G. (1975): Die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen. – Heilbad u. Kurort, **27**: 65–68, 6 Abb.; Gütersloh.

RAMDOHR, P. (1955): Die Erzmineralien und ihre Verwachsungen. – 875 S.; Berlin (Akademie-Verlag).

SCHELLMANN, W. (1959/60): Experimentelle Untersuchungen über die sedimentäre Bildung von Goethit und Hämatit. – Chemie d. Erde, **20**: 104–135, 6 Abb.; Jena.

SCHWEISSFURTH, R. (1966): Eisen- und Mangan-Mikroben im Wasserwerksbetrieb. – Veröff. d. Abt. und des Lehrstuhls für Wasserchemie der TH Karlsruhe, **1**: 199–217; Karlsruhe.

SCHWERTMANN, U. (1969): Die Bildung von Eisenoxidmineralien. – Fortschr. Mineral., **46** (2): 274–285, 3 Abb.; Stuttgart.

STADLER, G. (1971): Die Vererzung im Bereich des Brahmscher Massivs und seiner Umgebung. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 439–500, 12 Abb., 4 Tab., 3 Taf.; Krefeld.

STRAATEN, L. M. J. U. VON (1948): Note on the occurence of authigenic feldspar in non-metamorphic sediments. – Amer. J. of Sci., **246**: 569–572; New Haven, Conn.

STUMM, W., & LEE, G. F. (1960): The Chemistry of Aqueous Iron. – Schweiz. Z. f. Hydrol., **22:** 295–317.

THIMANN, K. V. (1963): The life of bacteria. – London (Mac Millan). – [Zitiert nach WEDEPOHL, H. H.: Handbook of Geochemistry. – **2** (2): 26-L-2; Berlin, Heidelberg, New York (Springer)].

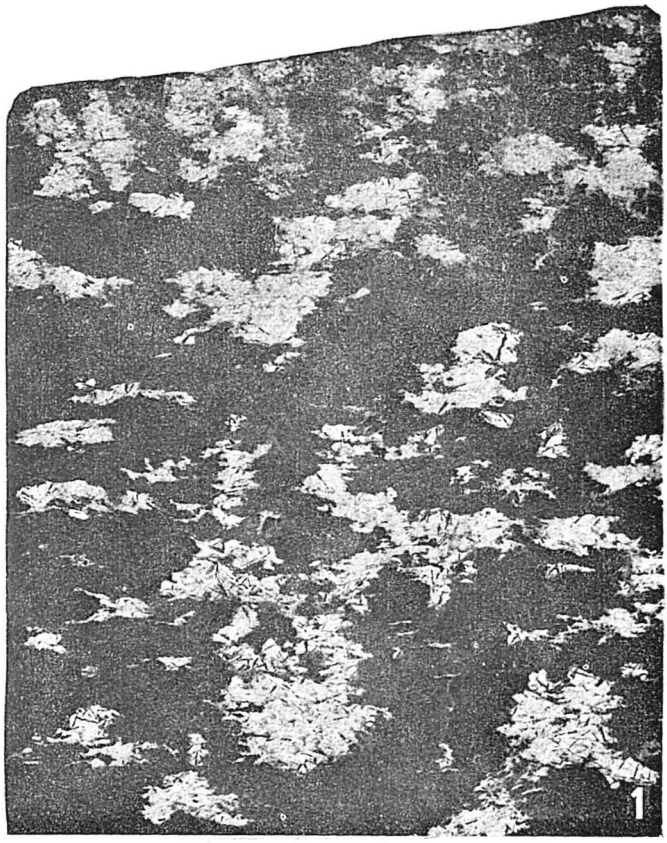
WRIGHT, T. L. (1968): X-ray and optical study of alkali feldspar, II. An X-ray method for determining the composition and structural state from measurements of 2 theta values for three reflections. – Amer. Mineral., **53**: 88–104; Menasha, Wisc.

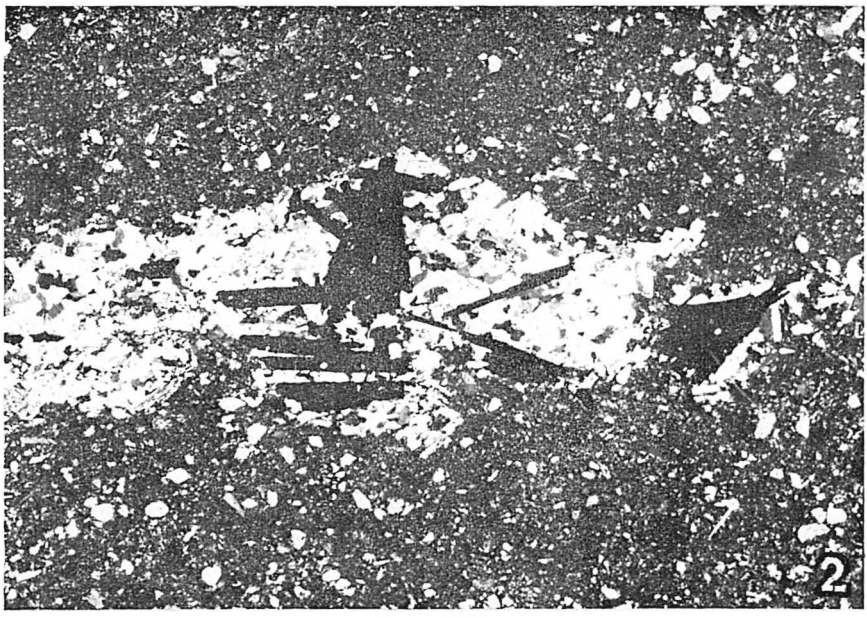
Eingang des Manuskriptes: 1. 12. 1975

Tafel 1

Fig. 1 Toniger Siltstein mit disperser Hämatitführung und nesterförmigen Ansammlungen aus Anhydrit (hellgrau), in denen tafelige Eisenglanzkristalle auftreten
Kernstrecke in 1027,70 – 1027,85 m Teufe (Bohrkern, nat. Größe)

Fig. 2 Kleine flache Linse aus körnigem Anhydrit in siltigem Tonstein parallel zur Schichtung; im Anhydrit tafelige Eisenglanzkristalle (schwarz)
(Dünnschliff, Vergr. 32 x, Nicols +, Labor-Nr. 167/3396)



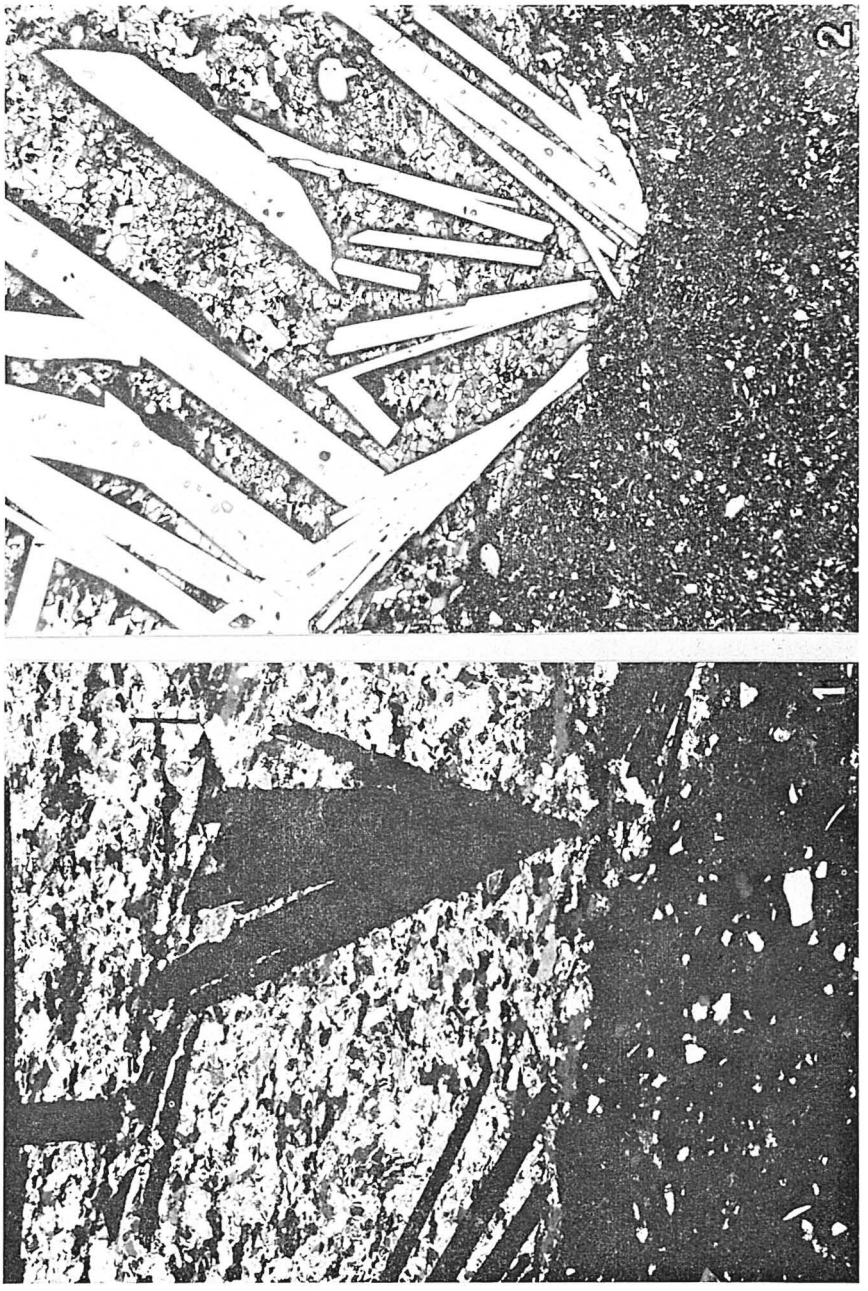


Tafel 1

Tafel 2

Fig. 1 Eisenglanztäfelchen in Fächeranordnung, die an der Grenzfläche siltiger Tonstein (unten) zu körnigem Anhydrit ansetzen; die Anhydritkörner sind etwas in der Schichtung gelängt
(Dünnschliff, Vergr. 32 x, Nicols +, Labor-Nr. 168/3085)

Fig. 2 Tafelige Kristalle von Eisenglanz (weiß) mit Einschlüssen von Anhydrit in körnigem Anhydrit; viele Eisenglanztäfelchen setzen an der Grenzfläche von siltigem Tonstein (unten) zu Anhydrit an
(Anschliff, Vergr. 40 x, ohne Nicols, Labor-Nr. 169/A296)



Tafel 2

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 125–144, 9 Abb., 2 Tab.	Krefeld, Nov. 1977

Spezielle hydrologische Untersuchungen in Bad Oeynhausen während der Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels

Von Thomas Leichtle *

Mineral water, hydrogeological-technology, discharge, conductivity, temperature, hydrochemistry, North-West German Mesozoic Hills (Bad Oeynhausen)

Kurzfassung: Parallel zu den Bohrarbeiten am Alexander-von-Humboldt-Sprudel wurden von November 1972 bis August 1973 hydrogeologische Messungen an 15 benachbarten Grundwassermeßstellen, Brunnen und Solebohrungen in Bad Oeynhausen durchgeführt. Die Meßergebnisse sind hier dargelegt, werden beschrieben und diskutiert. Daraus lassen sich Schlüsse auf die Beschaffenheit des Mineralwasservorkommens ziehen.

Eine spezielle Meßmethode (der Einsatz einer Danaide) erlaubte eine direkte Messung der gegenseitigen Beeinflussung zweier Bohrungen. Die Ergebnisse zeigen unter anderem auch, daß Einzelanalysen relativ wenig aussagen und bei zeitlichem und räumlichem Vergleich sogar zu falschen Interpretationen führen können.

Es werden Vorschläge für weitere hydrogeologische Untersuchungen unterbreitet.

[Special hydrologic investigations in Bad Oeynhausen in the course of sinking the mineral well «Alexander-von-Humboldt-Sprudel»]

Abstract: Parallel to the boring of the Alexander-von-Humboldt-Sprudel from November 1972 to August 1973 observation-measures have been carried out on neighbouring wells as well as on further mineral- and groundwater occurrences nearby.

The results of the measurings are described here. Afterwards some conclusions could be derived about the nature of that important mineral-water occurrence.

By using an "orifice bucket", special measures allowed a direct measurement of the reciprocal influence of two wells. Finally further investigations are proprosed.

[Observations speciales sur les sources minérales voisines pendant l'execution du forage de l'Alexander-von-Humboldt-Sprudel à Bad Oeynhausen]

Résumé: Pendant l'exécution du forage pour l'Alexander-von-Humboldt-Sprudel des observations de contrôle ont été effectuées du mois de novembre 1972 jusqu'au mois d'août 1973 sur les forages d'eau minérale existant dans le voisinage aussi bien que sur des points plus distants dans d'autres aquifères d'eau minérale et douce. Les résultats obtenus sont référés en détail à en déduisant des conclusions sur la nature et la structure de l'aquifère d'eau minérale.

Un dispositif spécial à l'aide d'une danaïde a permis de mesurer directement l'influence réciproque entre deux forages d'eau minérale. Enfin des propositions pour continuer les recherches sont présentées.

---

* Anschrift des Autors: Dipl.-Geologe Th. Leichtle, Lehrgebiet für Hydrogeologie an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Templergraben 55, 5100 Aachen

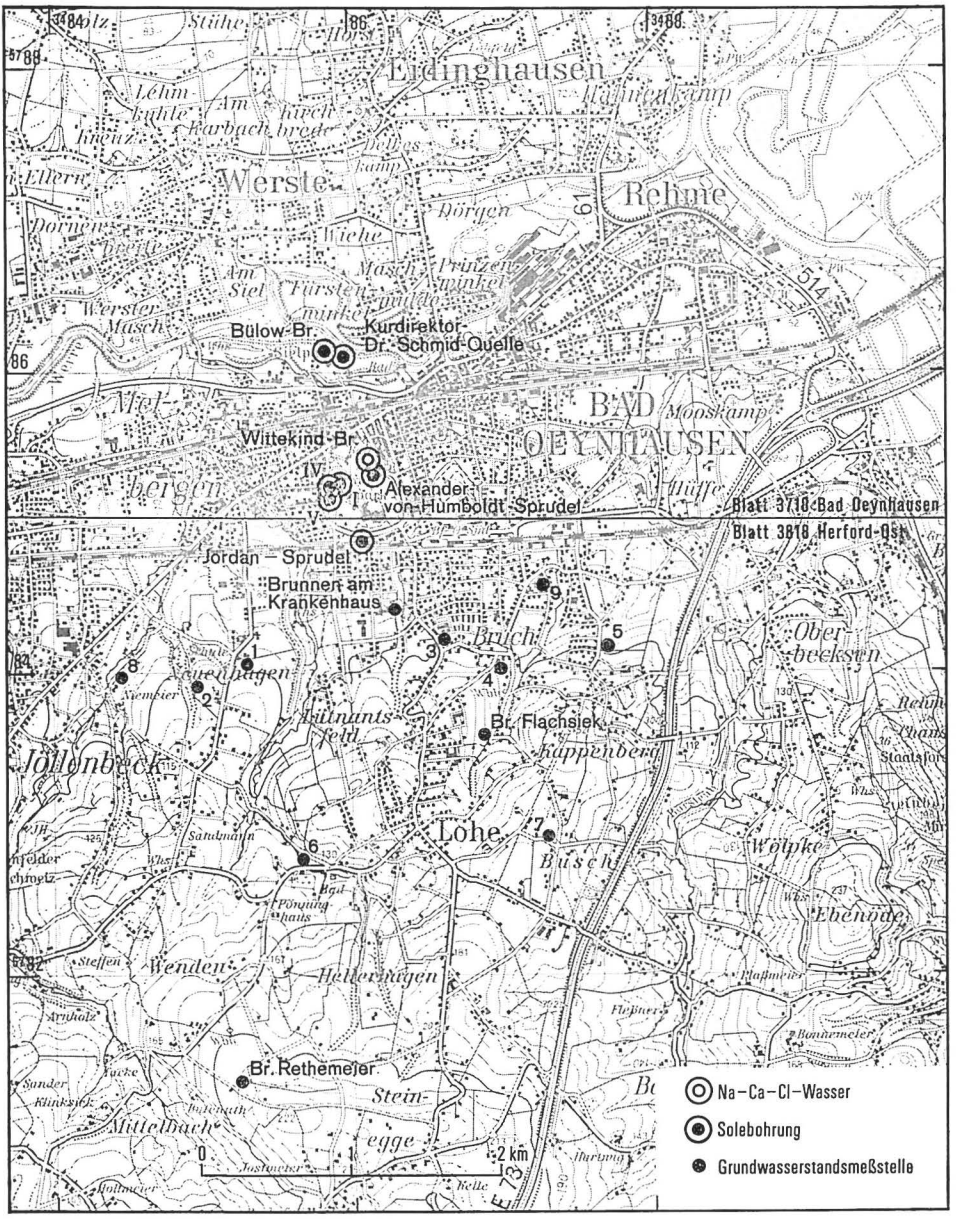


Abb. 1. Lage der Solebohrungen, des Wittekind-Brunnens und der Grundwassermeßstellen südlich von Bad Oeynhausen

1. Einführung

Es war nicht völlig auszuschließen, daß ein so wesentlicher Eingriff in den Mineralwasserhaushalt, wie ihn die Erbohrung einer über 1000 m tiefen Thermalsolebohrung darstellt, die vorhandenen Thermalsolebohrungen beeinflussen könnte.

Deshalb wurden während der Bohrzeit des Alexander-von-Humboldt-Sprudels von November 1972 bis August 1973 auch an den Grundwassermeßstellen südlich von Bad Oeynhausen sowie dem Wittekind-Brunnen, der Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle, den Solebohrungen I, IV und V und der Solebohrung VI (Jordan-Sprudel) Messungen durchgeführt (LEICHTLE 1974). Über die Ergebnisse wird in dieser Arbeit berichtet.

Es konnte an umfangreiche geologische und hydrogeologische Untersuchungen angeknüpft werden (s. MESTWERDT 1915, 1919, 1922; NAUMANN 1922; DIENEMANN 1939; DIENEMANN & FRICKE 1961; DEUTLOFF 1974).

An dieser Stelle danke ich Herrn Kurdirektor A. W. DOLE und dem technischen Leiter des Staatsbades, Herrn TH. QUINDERS, für die mir gewährte freundliche Unterstützung, sowie den Angehörigen des Staatsbades, die mir mit Rat, Tat und Geduld oft zur Seite standen.

2. Ergebnisse der wöchentlichen Messungen

2.1. Grundwassermeßstellen

Auf einem Behördentermin am 26. März 1953 in Bad Oeynhausen wurde vom Regierungspräsidenten in Detmold festgelegt, aus Gründen des Quellenschutzes die laufenden Beobachtungen an den Heilquellen des Staatsbades auf die oberflächennahen Grundwasserleiter auszudehnen. Zu diesem Zwecke sind 1954 südlich von Bad Oeynhausen acht Grundwassermeßstellen eingerichtet worden (Abb. 1). 1975 kam eine weitere hinzu. Sie werden ortsüblich auch als Peilrohre oder Pegelbohrungen bezeichnet. Beobachtet wird bis 67 m Tiefe gespanntes und ungespanntes Grundwasser, welches zum Teil mineralisiert ist.

Über die Tiefe und den Aquifer der Grundwassermeßstellen sowie den Chemismus der in ihnen angetroffenen Grundwässer gibt Tabelle 1 Auskunft.

Wöchentliche Messungen der Grundwasserstände bzw. des Drucks liegen seit 1954 vor. Die vom 9. 4. 1972 bis 10. 12. 1973 durchgeführten Messungen der Grundwasser- bzw. Druckspiegel an den Grundwassermeßstellen sowie dem Bohrbrunnen am Krankenhaus sind in Abbildung 2 dargestellt. Um die Meßergebnisse besser vergleichen zu können, wurde eine normierte Darstellung gewählt. Es handelt sich in Abbildung 2 somit nicht um die maßstäblich verkleinerten Schwankungen der Grundwasserstände (W), sondern um die nach

$$\frac{W_{max} - W}{W_{max} - W_{min}} = W_{norm}$$

normierten Werte. Die Maxima und Minima, sowie die Schwankungsbreite der Wasserstände und die ortsübliche Bezeichnung der einzelnen Grundwassermeßstellen sind in Tabelle 2 angegeben. Diese Darstellung der Meßergebnisse diente vorrangig der Feststellung eines Einflusses durch die Neubohrung des Staatsbades Oeynhausen.

Vorbehaltlich soll festgestellt werden, daß die wöchentlichen Messungen der Grundwasserstände zwar die langfristigen Schwankungen wiedergeben, nicht aber

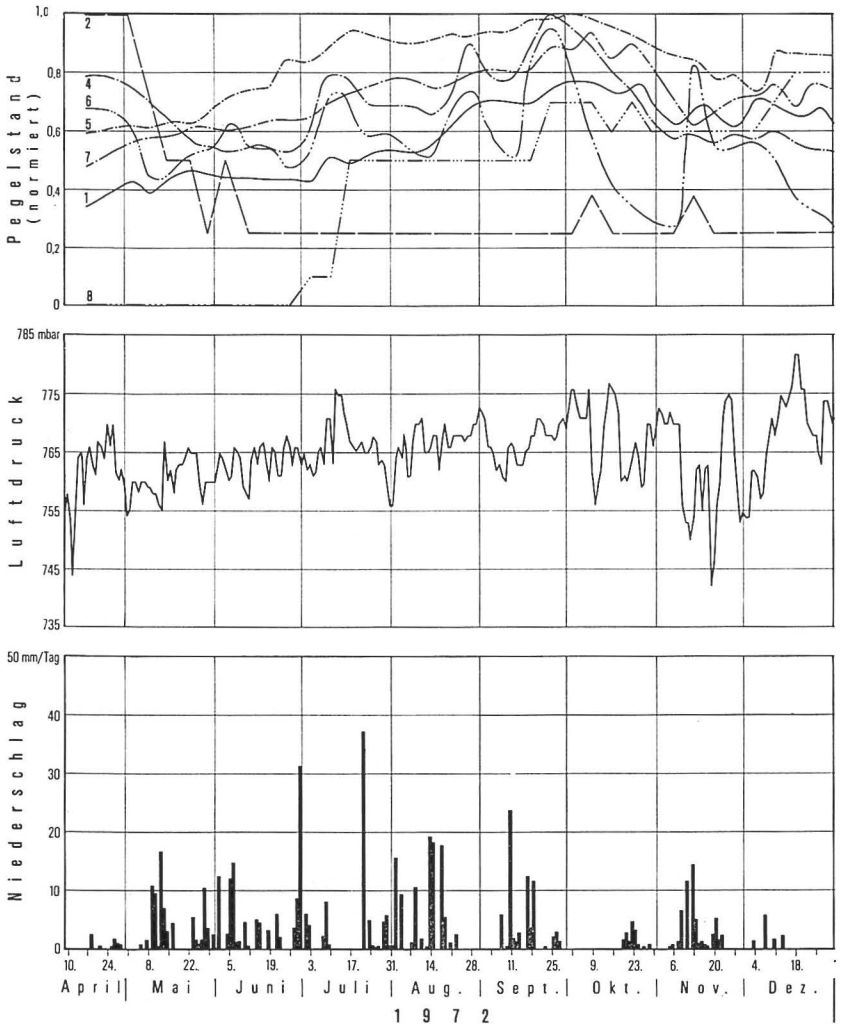
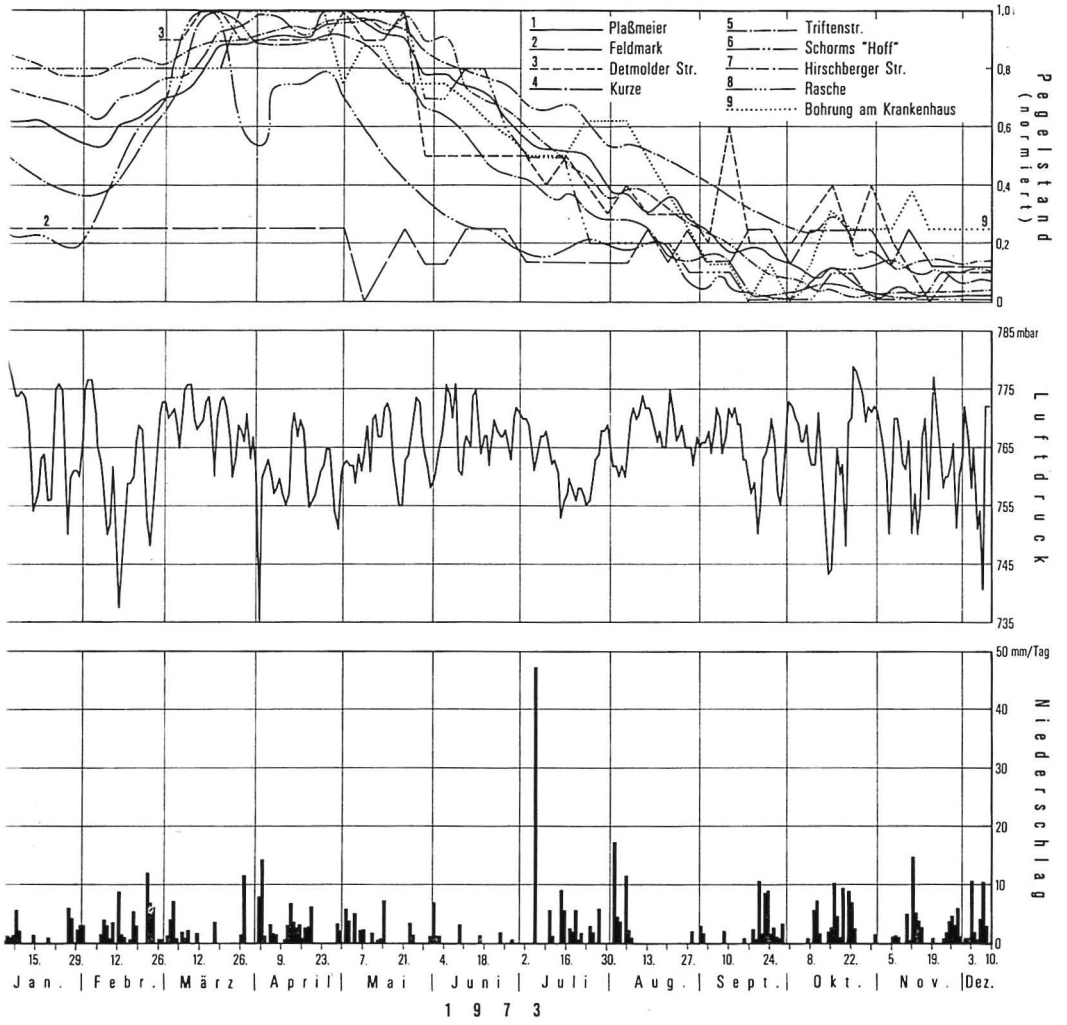


Abb. 2. Normierte Darstellung der Grundwasserstände an den Meßstellen südlich von

Aussagen über kurzfristigere Beeinflussungen erlauben, wie z. B. durch den Luftdruck.

Das Grundwasser ist in den Grundwassermeßstellen 2, 3, 8 und in dem Brunnen am Krankenhaus artesisch gespannt. Die Grundwassermeßstellen 1, 4 und 5 sind offensichtlich im gespannten Aquifer verfiltert, während die Meßstellen 6 und 7 im freien Grundwasserbereich stehen.

Der in Abbildung 2 dargestellte Zeitraum läßt sich in vier Phasen unterteilen, und zwar in zwei Anstiegsphasen, von denen die erste von April bis September 1972, die zweite von Januar bis März 1973 dauerte, um dann im erreichten Niveau zu verharren, und zwei Abstiegsphasen, die von September 1972 bis Januar 1973 und von Mai 1973 bis zum Ende des Meßzeitraumes dauerten.



ad Oeynhausen vom 9. 4. 1972 bis 3. 12. 1973

Die Grundwasserstandsschwankungen lassen eine gute Abhängigkeit von den Niederschlägen erkennen, was auch schon eine Auswertung von früheren Messungen über einen längeren Zeitraum ergab (DEUTLOFF 1974). Bemerkenswert ist die verschieden empfindliche Reaktion der einzelnen Grundwassermeßstellen auf Niederschlags- bzw. Trockenperioden. Die Grundwassermeßstelle 6 fällt auf durch die geringste Verzögerung von nur 4–5 Tagen. Die Grundwassermeßstellen 1, 4, 5 und 7 reagieren mit ca. 10–15 Tagen Verzögerung. Die artesisch gespannten Grundwassermeßstellen lassen keinen Einfluß des Luftdrucks erkennen. Allerdings konnten mögliche, durch die täglichen Schwankungen des Luftdrucks hervorgerufene Einflüsse mit den wöchentlichen Messungen nicht erfaßt werden. Die über längere Zeit gemessenen konstanten Druckspiegel (z. B. an der Grundwassermeßstelle 2 von Dezember 1972 bis April 1973) weisen auf Defekte am Meßinstru-

Tabelle 1

Solebohrungen, Grundwassermeßstellen und Brunnen im Bereich von Bad Oeynhausen

(TK 25, Blatt 3718 Bad Oeynhausen, Blatt 3818 Herford Ost)

Bezeichnung	Lage		Höhe (m NN)	Tiefe (m)	Aquifer	Wasserstand (m unter Gel.)	Chemismus (mg/l)		Datum der Probenahme	Analytiker
	R	H					Cl^-	SO_4^{2-}		
1. Solebohrungen										
I	85 920	85 250	ca. 70,5	696	mu	artes. Überlauf	16044	3847	8. 10. 75	1)
IV	85 850	85 210	ca. 75,0	684	mu	artes. Überlauf	19767	3580	8. 10. 75	1)
V	85 840	85 170	ca. 73,0	765	mu	artes. Überlauf	22338	4057	8. 10. 75	1)
VI	86 130	84 890	ca. 80,0	725	sm	artes. Überlauf	8948	3272	8. 10. 75	1)
VII	86 160	85 200	ca. 71,0	1034	sm	artes. Überlauf	9678	3554	17. 12. 74	3)
Bülow-Brunnen	85 830	86 130	ca. 48,0	89	jl	–	49280	4192	2. 12. 60	1)
Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle	85 970	86 070	ca. 48,0	184	jl+ko	4 – 7 m	41219	3764	8. 10. 75	1)
2. Grundwassermeßstellen, Brunnen										
1	85 290	84 040	96,68	61,15	ko	5,4	35	33	21. 5. 73	2)
2	84 985	83 965	100,25	50,40	ko	artes. Überlauf	25	31	21. 5. 73	2)
3	86 600	84 225	94,47	46,15	ko	artes. Überlauf	25	1160	21. 5. 73	2)
4	87 040	84 024	102,08	52,10	km4	0,27	46	747	21. 5. 73	2)
5	87 720	84 180	98,13	51,10	ko	2,7	14	21	21. 5. 73	2)
6	85 730	82 815	132,37	42,06	ko	19,5	32	37	21. 5. 73	2)
7	87 340	82 900	157,45	45,00	ko	21,35	32	13	21. 5. 73	2)
8	84 450	83 995	78,77	67,30	ko	artes. Überlauf	35	390	14. 5. 73	2)
9	87 300	84 600	ca. 70,0	52,00	ko	4,0	18	411	17. 1. 75	2)
Wittekind-Brunnen	86 070	85 460	ca. 70,0	6,00	jl	ca. 1,0	2063	854	3. 10. 75	1)
Brunnen Flachsiek	86 910	83 600	118,16	70,17	km4	–	21	63	12. 6. 73	2)
Brunnen Krankenhaus	86 320	84 430	ca. 90	61,00	km4	artes. Überlauf	25	867	14. 5. 73	2)
Brunnen Rethemeier	85 280	81 340	209,73	106,50	km3	14,0	67	115	31. 12. 54	?

1) K. HÖLL, Laboratorium für Wasseruntersuchungen, Hannover

2) H. WERNER, Geologisches Landesamt Nordrh.-Westf., Krefeld

3) Institut Fresenius, Taunusstein

Tabelle 2

Verzeichnis der Maxima und Minima der Grundwasserstände in den Grundwassermeßstellen

Grund-wasser-meßstelle	ortsübliche Bezeichnung	Wasserstand bezogen auf Geländeoberfläche W max (m)	W min (m)	Differenz (m)
1	Plaßmeier	− 6,21	− 3,98	2,23
2	Feldmark	+ 0,48	+ 0,40	0,08
3	Detmolder Straße	+ 0,91	+ 0,81	0,10
4	Siegfriedstraße (Kurze)	− 1,55	− 0,27	1,28
5	Triftenstraße	− 3,03	− 1,42	1,61
6	Schorm's Hoff (Friedhof)	− 21,65	− 19,70	1,95
7	Hirschberger Straße (Funkstelle)	− 21,35	− 18,72	2,63
8	Rasche	+ 0,70	+ 0,60	0,10
–	Brunnen am Krankenhaus	+ 0,94	+ 0,78	0,16

ment bzw. auf dessen zu geringe Empfindlichkeit hin. Die großen Zuflüsse am Alexander-von-Humboldt-Sprudel erfolgten am 26. und 27. 6. 1973. An den Grundwassermeßstellen zeigten sich im Bereich der Meßgenauigkeit keine erkennbaren Reaktionen.

2.2. Wittekind-Brunnen

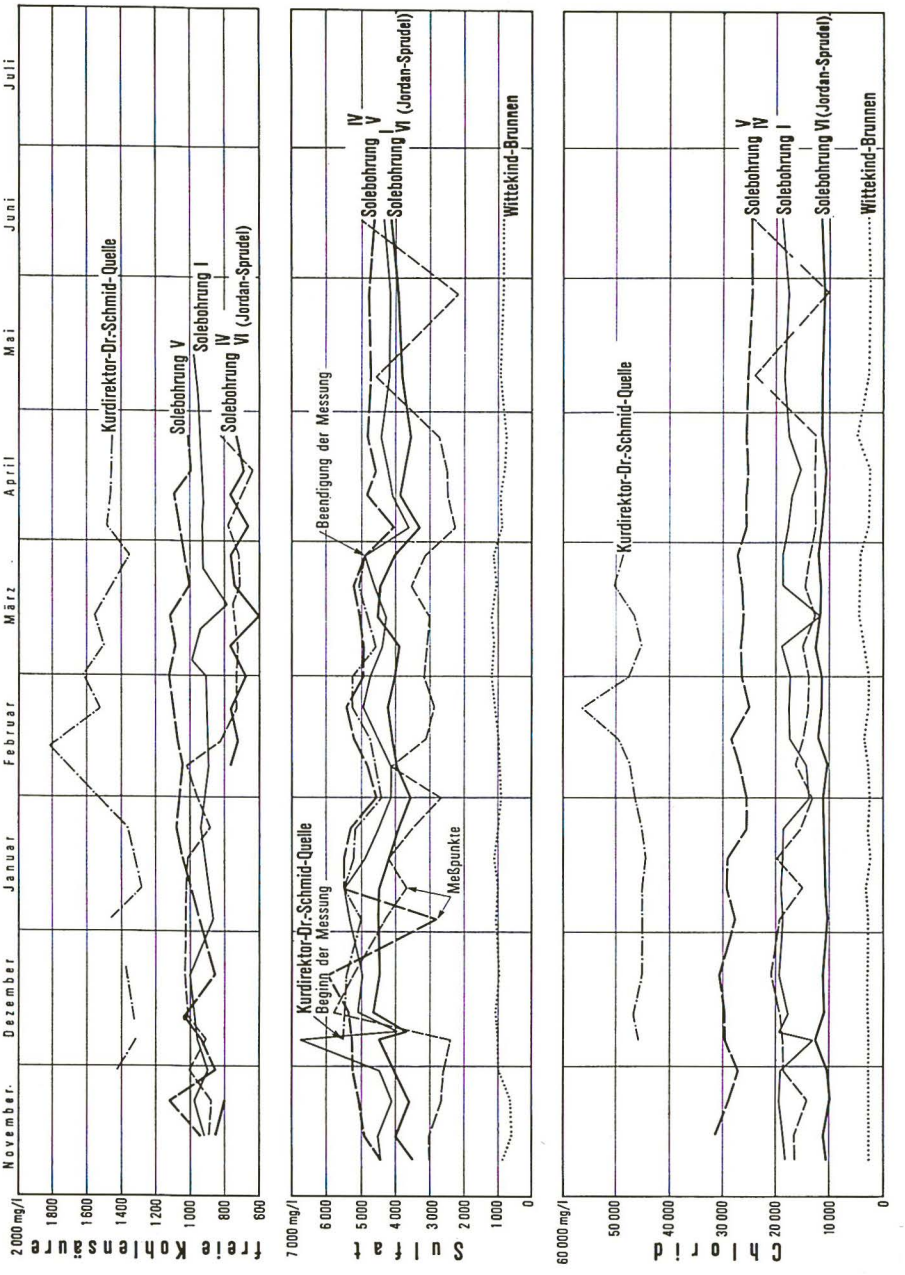
Das in einem 6 m tiefen Flachbrunnen (⌀ 1,20 m) gefaßte Mineralwasser fließt in aufgelockerten Lias-Tonsteinen zu und wird mit einer Pumpe gehoben. Es handelt sich um ein Natrium-Calcium-Chlorid-Wasser, welches zu Trinkkuren verwendet wird. Früher war das Mineralwasser des Wittekind-Brunnens als das stärkste Calcium-Chlorid-Wasser in Deutschland bekannt. Sein chemischer Charakter hat sich im Laufe von ca. 50 Jahren stark verändert (vergl. Michel 1977 b).

Während des Untersuchungszeitraumes zeigten sich nur geringe Schwankungen des Wasserstandes, die sich von Woche zu Woche im Zentimeterbereich abspielten und auf unterschiedliche Entnahmen zurückzuführen sind. Diese betrugen jedoch nur um 0,5 m^3 täglich. Daraus läßt sich schließen, daß der Mineralwasserzufluß sehr langsam erfolgt, was für die Beurteilung der Variation des Chemismus von Bedeutung ist (Abb. 3). Der Chloridgehalt schwankte allmählich zwischen 2500 und 5000 mg/l, wobei die Spitzenwerte im März und April deutlich hervortreten, während die Durchschnittswerte bei 3000 mg/l liegen. Bemerkenswert ist, daß der Sulfatgehalt synchron zum Chloridgehalt schwankt. Jener reicht von minimal 600 bis maximal 1200 mg/l.

Das läßt Rückschlüsse auf die Entstehung dieses Mineralwassers zu, das in der Reihe der Bad Oeynhausener Mineralwässer in seiner Mineralisation als auch durch sein oberflächennahes Auftreten eine Sonderstellung einnimmt (vergl. S. 141).

2.3. Bülow-Brunnen und Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle

Der Bülow-Brunnen und die Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle (welche bis 1973 als Neue Solebohrung bezeichnet wurde) liegen ca. 750 m nördlich des Kurparks (Abb. 1). Hier in den Sielanlagen, im Bereich der alten Salinenbrunnen, wie Rappards Brunnen (14 m tief, 1765), Friedrich-Wilhelm-Brunnen (30 m tief, 1769) und Bohrloch 10 (80 m tief, 1799) wurde bis 1962 noch aus dem 1806 im Lias-Tonstein erbohrten Bülow-Brunnen eine kalte Sole mit ca. 50 000 mg/l Chloridgehalt gefördert.


Z e i t
November
Dezember
Januar
Februar
März
April
Mai
Juni
Juli
freie Kohlensäure
2000 mg/l
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
Solebohrung V
Solebohrung I
Solebohrung IV
VI (Jordan-Sprudel)
Sulfat
7000 mg/l
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
Beginn der Messung
Beendigung der Messung
Meßpunkte
Solebohrung IV
V
I
VI (Jordan-Sprudel)
Wittekind-Brunnen
Chlorid
60 000 mg/l
50 000
40 000
30 000
20 000
10 000
0
Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
Solebohrung V
IV
Solebohrung I
Solebohrung VI (Jordan-Sprudel)
Wittekind-Brunnen

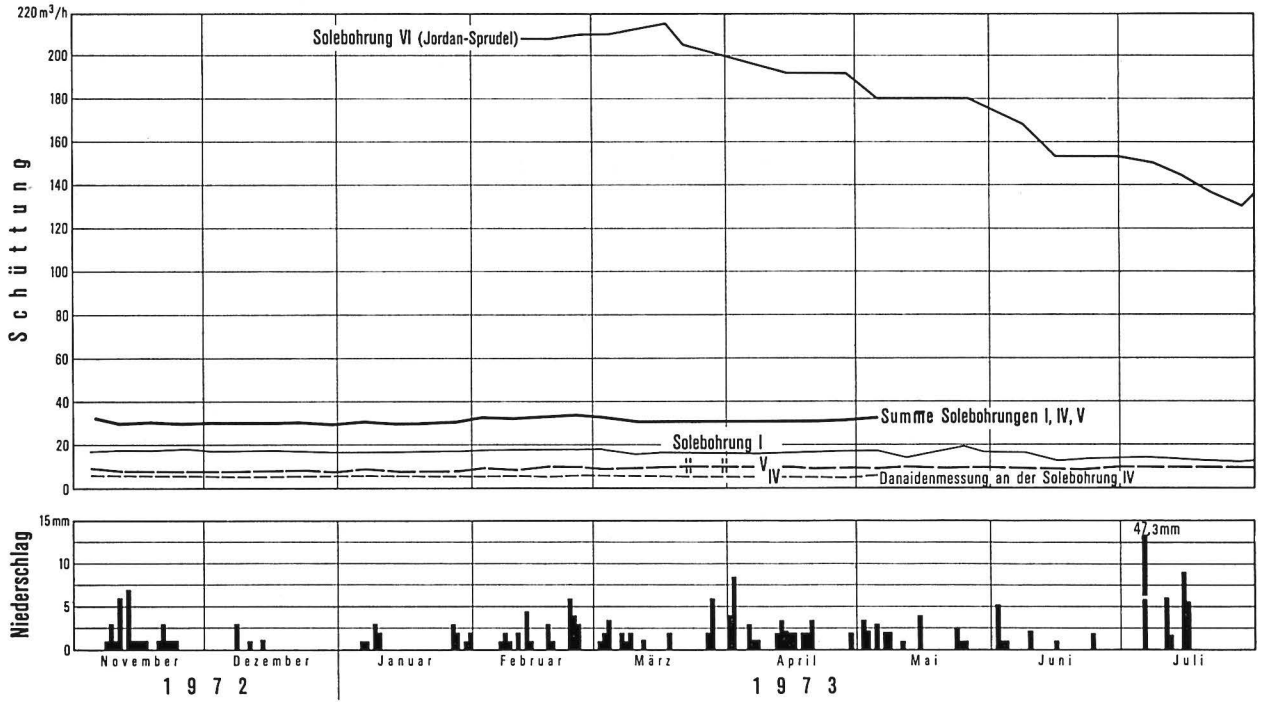


Abb. 3. Graphische Darstellung der hydrologischen Messungen an den Solebohrungen sowie am Wittekind-Brunnen von November 1972 bis Oktober 1973

Seit 1960 wird kalte Sole ausschließlich aus der 184 m tiefen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle gefördert (FRICKE & KÖHLER & TYEDMERS 1961). Die Sole wird gepumpt und tritt nicht wie in den Solebohrungen im benachbarten Kurpark artesisch zutage. Aus der Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle wird heute Wasser mit durchschnittlich 45 000 mg/l Chloridanteil und einer Temperatur bis zu 14° C gepumpt.

Monatlich wurden im Untersuchungszeitraum bis zu 10 000 m^3 Sole gefördert. Ein Wasserzähler erlaubte die Messung der Entnahme. Der Chloridgehalt schwankte zwischen 44 000 und 50 000 mg/l. Der Sulfatgehalt bewegte sich zwischen 4250 und 5500 mg/l.

Eine Beeinflussung dieses Brunnens durch die Bohrarbeiten am Alexander-von-Humboldt-Sprudel konnte nicht festgestellt werden. Die Analysenergebnisse sind in Abbildung 3 graphisch festgehalten.

In den Sielanlagen gelingt es hochkonzentrierten Solen, bis an die Oberfläche aufzusteigen.

Damit dürfte der Einfluß einer weiter südlich im Bereich des Kurparks noch stark in Erscheinung tretenden Süßwasserkomponente hier nur minimal sein. Diese Tatsache ist bei einer späteren Gesamtanalyse des Mineralquellensystems von Bad Oeynhausen zu berücksichtigen.

2.4. Solebohrungen I, IV und V

In Abbildung 1 und Tabelle 1 sind Angaben über die Lage, den Zeitpunkt der Bohrungen, die dabei erreichten Teufen, die Aquifere und die chemische Charakteristik der Solen dieser Bohrungen zusammengestellt.

Vorab wird erklärt, warum diese drei Bohrungen gemeinsam zu betrachten sind.

Der Abstand der Solebohrungen I und V beträgt 110 m, und zwischen den Solebohrungen IV und V 50 m. Die maximale Differenz der Bohrtiefen beläuft sich auf 81 m zwischen den Solebohrungen IV und V. Geht man davon aus, daß die Bohrlöcher noch erhebliche Abweichungen von der Vertikalen aufweisen, so darf es nicht verwunderlich sein, daß unter diesen drei Bohrungen hydraulische Beziehungen bestehen, wie durch spezielle Messungen gezeigt werden konnte (vergl. S. 136).

Während der Beobachtungszeit bewegte sich die gesamte Schüttungsmenge dieser Solebohrungen zwischen 9 und 10 l/s (ca. 36 m^3/h). Aus ihnen wird in der Regel zwischen 4.00 und 11.00 Uhr morgens gefördert. Am Freitag öffnet man die Schieber der Solebohrungen ebenfalls um 4.00 Uhr, schließt sie aber dann erst samstags um 11.00 Uhr. Durch diesen 30 Stunden dauernden freien Überlauf versucht man, den Beharrungszustand nahezu zu erreichen.

Die wöchentliche Schüttungsmessung erfolgt dann gegen 11.00 Uhr am Samstag. Die im Untersuchungszeitraum durchgeführten Schüttungsmessungen sind in Abbildung 3 dargestellt.

Der Chloridgehalt schwankte im beobachteten Zeitraum bei

Bohrung I zwischen 13 000 und 19 000 mg/l
Bohrung IV zwischen 13 000 und 19 000 mg/l
Bohrung V zwischen 24 000 und 30 000 mg/l

der Sulfatgehalt schwankte bei

Bohrung I zwischen 3 500 und 5 000 mg/l
Bohrung IV zwischen 2 500 und 5 000 mg/l
Bohrung V zwischen 4 000 und 5 500 mg/l

Die Differenz in der Konzentration zwischen Solebohrung I und IV auf der einen Seite und Solebohrung V auf der anderen sind bei dem schon diskutierten geringen Abstand der Bohrpunkte bei fast gleichen Bohrtiefen recht beachtlich.

Wenn man auch hier davon ausgeht, daß diesen Solen ein Ausgangswasser zugrunde liegt (s. S. 142), so muß man im Einzugsbereich dieser Bohrungen differenzierte Verdünnungsvorgänge annehmen.

Die Probennahme erfolgte im Beobachtungszeitraum jeweils mittwochs zwischen 12.00 und 17.00 Uhr. Der Verlauf der Chlorid- und Sulfatgehaltskurven zeigt von Woche zu Woche beträchtliche Schwankungen (Abb. 3). Zunächst wurde angenommen, daß sich diese Veränderungen allmählich in einem Zeitraum von mehreren Tagen vollziehen, wie es der Verlauf der Kurven im Diagramm andeutet. Es zeigte sich aber, daß sich die Schwankungen in Abhängigkeit zu den Förderbedingungen kurzfristiger vollzogen. Dies wurde durch spezielle Versuche an der Solebohrung IV nachgewiesen (S. 136). Es besteht die begründete Annahme, daß dies auch für die Nachbarbohrungen I und V zutrifft.

2.5. Solebohrung VI (Jordan-Sprudel)

Besonders bedeutsam für das Staatsbad Oeynhausen ist der 1926 im Süden des Kurparks erbohrte, 725 m tiefe Jordan-Sprudel, der den Hauptanteil an der Soleförderung des Staatsbades stellt.

Die Entfernung des Jordan-Sprudels von den drei Solebohrungen I, IV und V und dem Alexander-von-Humboldt-Sprudel beträgt ca. 400 m, vom Wittekind-Brunnen 650 m.

Seine Schüttung lag und liegt je nach Verrohrungszustand zwischen 550 und 150 m³/h bzw. 150 und 42 l/s.

Im Beobachtungszeitraum erfolgte nach sechsjähriger Unterbrechung wieder eine regelmäßige Schüttungsmessung (Volumenmessung mit einem Meßkasten von 2000 l Inhalt) wöchentlich jeweils am Freitagvormittag um 11.00 Uhr nach rund siebenstündigem freiem Auslauf (Abb. 4). Genauere Angaben über die tägliche Fördermenge waren bis zu diesem Zeitpunkt wegen Fehlens einer adäquaten Meßvorrichtung nicht möglich. Seit Mai 1975 sind Meßgeräte in Betrieb, die Temperatur, Druck, Leitfähigkeit und geförderte Wassermenge am Jordan- und am Alexander-von-Humboldt-Sprudel messen und analog auf Schreiber übertragen.

In Bad Oeynhausen wurde von November 1972 bis Oktober 1973 etwa 1 Mio. m³ Sole gefördert. Dabei konnte die gesamte Entnahme aus dem Jordan-Sprudel nur durch eine Schätzung des Verbrauchs der einzelnen Anschlußstellen geschätzt werden.

Diese Gesamtentnahme aus dem tieferen Untergrund von Bad Oeynhausen läßt sich wie folgt aufschlüsseln:

Jordan-Sprudel	ca. 750 000 m³
Solebohrungen I, IV und V	ca. 150 000 m³
Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle	ca. 90 000 m³

Die Entnahmen aus dem Jordan-Sprudel sind über den ganzen Tag verteilt.

Aus dem ständigen Öffnen und Schließen des Jordan-Sprudels resultiert eine vielfältige Beeinflussung des Aquifers. Die volle Leistung wird nur zeitweise in Anspruch genommen.

Das Verhalten der Schüttung (Abb. 4) zeigt den typisch steilen Abfall, wie er bis 1966 immer nach dem jeweiligen Wiederaufbohren als Folge zunehmender

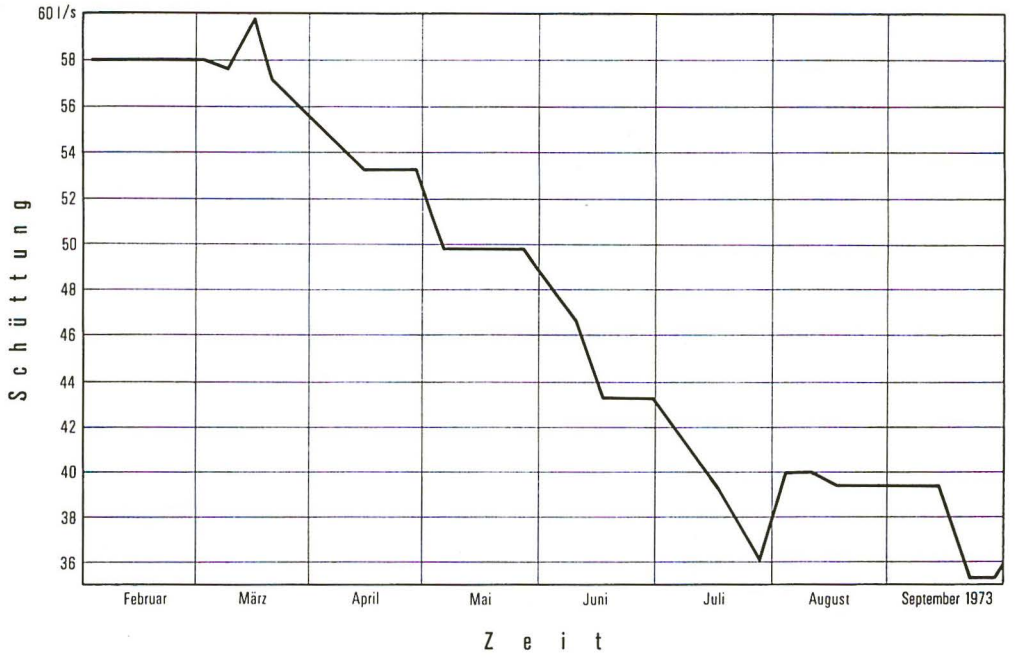


Abb. 4. Schüttung der Solebohrung VI (Jordan-Sprudel) von Februar bis September 1973

Inkrustation beobachtet werden konnte (FRICKE 1972, DEUTLOFF 1974). Am 31. 7. 1973 wurde von der Fa. Schlumberger eine Kalibermessung in der Bohrung durchgeführt. Diese Messung ergab, daß die Inkrustation im Bereich des 1966 eingebauten Kupferrohres bereits wieder eingesetzt hatte, und zwar besonders stark bis in eine Tiefe von ca. 100 m. Schwächere Kristallbildungen waren aber noch bis in eine Tiefe von 300 m zu erkennen, jedoch ausschließlich im Bereich der Rohrschweißnähte. Es zeigte sich also, daß die Schüttungsminderung doch weitgehend auf das Kristallwachstum zurückzuführen ist.

Ob jedoch eine verstärkte Entnahme aus dem Gesamtsystem, insbesondere nach Erbohrung einer weiteren sehr ergiebigen Quelle in der Nachbarschaft langfristig von Einfluß ist, läßt sich heute noch nicht sagen. Es müssen weitere Untersuchungen abgewartet werden, um klarere Schlußfolgerungen ziehen zu können.

Der Chloridgehalt des Jordan-Sprudels schwankte im Beobachtungszeitraum zwischen 10 000 und 12 500 mg/l, der Sulfatgehalt zwischen 3 500 und 4 450 mg/l. Wenn man davon ausgeht, daß die Konzentration der Tiefensole ein Vielfaches beträgt, muß die Frage nach der Herkunft der Sole des Jordan-Sprudels erneut gestellt werden (S. 141). Dies bedingt besondere Überlegungen bei der Ermittlung des Einzugsgebietes (DEUTLOFF & KARRENBERG 1969).

3. Einsatz einer Danaide an der Solebohrung IV

Die wöchentlichen Schwankungen der Chlorid- und Sulfatgehalte (Abb. 3) ließen die Vermutung zu, daß sie durch die Änderung der Förderbedingungen hervorgerufen werden. In einem Testversuch wurden an der Solebohrung IV am 27. 4. 1973 im Verlauf eines Vormittags parallel zueinander Chloridgehalts- und

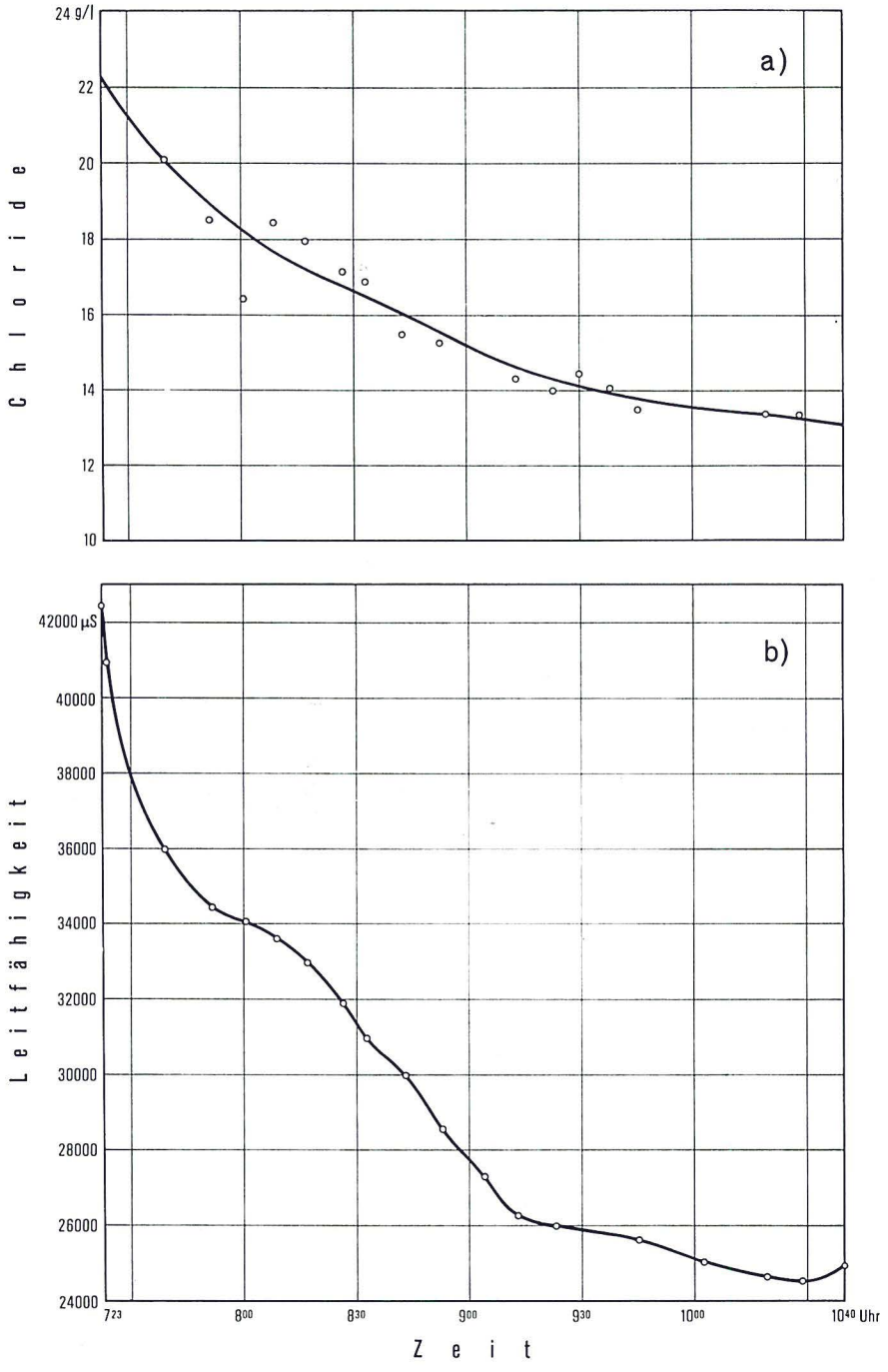


Abb. 5. Chloridgehalt (a) und Leitfähigkeit (b) an der Solebohrung IV am 27. 4. 1973

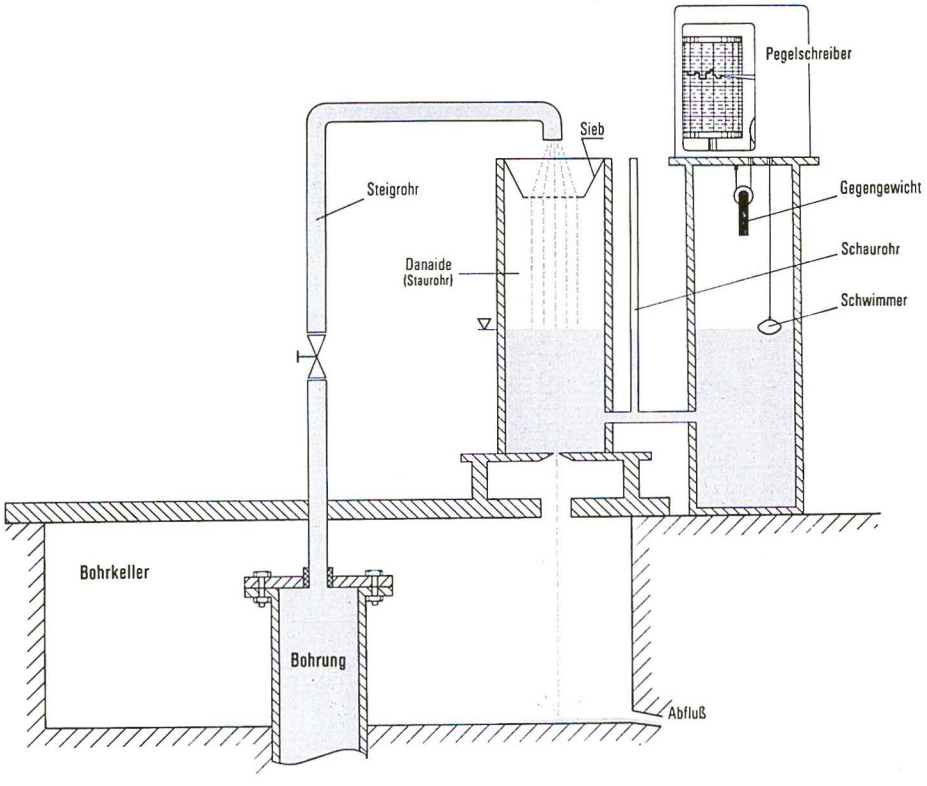


Abb. 6. Versuchsaufbau beim Einsatz einer Danaide

Leitfähigkeitsmessungen im Abstand von wenigen Minuten durchgeführt. Die Ergebnisse gibt Abbildung 5 wieder.

Danach fällt der Chloridgehalt von 22 000 mg/l am Morgen um 7.23 Uhr bis auf 13 000 mg/l um 10.40 Uhr ab. Parallel dazu verhält sich die Leitfähigkeit, die von 42 000 µS auf ca. 25 000 µS abfällt.

Es wurde daraufhin vorgeschlagen, die Bohrung IV zu einer Meßstation auszubauen. Sie wurde vorübergehend aus dem Förderbetrieb genommen. Soweit Mittel und Geräte zur Verfügung standen, sind selbstregistrierende Geräte eingesetzt worden.

Hierbei kam eine Danaide zum Einsatz. Die Danaide (PRINZ & KAMPE 1934, TRUPIN 1968), ein zylindrisches Gefäß, das die Quellschüttung aufnimmt und durch eine genormte Abflußöffnung im Boden wieder abfließen läßt, erwies sich bei diesem Einsatz als ein äußerst sensibel arbeitendes Instrument, das den herkömmlichen Druckschreibern überlegen ist. Abbildung 6 gibt schematisch den Versuchsaufbau wieder.

Die bei diesem Versuch verwendete Danaide konnte durch Variation der Abflußöffnung mittels herausschraubbarer Düsen in ihrer Empfindlichkeit verändert werden. Es wurden Abflußöffnungen von 10–17 mm ϕ benutzt.

Die zur Verfügung stehende Quellschüttung wurde auf 0,1–0,2 l/s gedrosselt und dann in die Danaide geleitet. Die jeweils mittels eines Schreibers abgebildeten

Wasserstände in der Danaide stellen ein Maß für die jeweilige Schüttung bzw. den Druck im Quellschlot dar.[1] Es zeigte sich, daß die von den im Förderbetrieb befindlichen Solebohrungen I und V ausgehenden Einflüsse sich mit nur wenigen Minuten Verzögerung an der Solebohrung IV bemerkbar machten (Abb. 7).

Die Solebohrungen I und V wurden weiterhin morgens um 4.00 Uhr geöffnet, worauf eine Minderung der Schüttung an der Meßvorrichtung in Solebohrung IV festgestellt werden konnte und sich im Anschluß daran ein niedrigerer Wasserstand in der Danaide einstellte.

Das Schließen der Solebohrungen I und V bewirkte mit zeitlicher Verzögerung den umgekehrten Vorgang, d. h. eine Verstärkung der Schüttung infolge des in der Bohrung zunehmenden Druckes.

Besonders interessant war jeweils der Zeitraum von Freitag bis Samstag, in welchem die Solebohrungen I und V zwecks Erreichen eines quasi Beharrungszustands 30 Stunden frei überliefen.

Im Quellschlot der Bohrung IV wurde ein starker Druckabfall und damit einhergehend eine reduzierte Schüttung registriert. Druck und Schüttung stiegen aber nach Erreichen eines Tiefpunktes wieder leicht an, um dann erneut abzufallen (Abb. 7). Nach dem Verschließen der Solebohrungen I und V am Samstag gegen 11.00 Uhr stiegen die Werte über das Wochenende an, um am Montag früh ab 4.00 Uhr dem täglichen Förderrhythmus zu folgen.

Die Aufzeichnung der Wasserstandsschwankungen im Staurohr der Danaide ermöglichte es, die gegenseitigen Einflüsse der Solebohrungen zu erfassen. Die Verbindungslinien der Maxima und Minima der Registrierkurven (Abb. 7) deuten in ihrem Trend auf die Einwirkung äußerer Einflüsse wie z. B. Luftdruck und langfristig ablaufende Spannungs- und Entspannungsvorgänge im Untergrund hin.

Eine detaillierte Auswertung der Druckschwankungen kann erst später vorgenommen werden, wenn langfristige Vergleichsmessungen von den anderen Bohrungen vorliegen. Das betrifft auch die Ausdeutung weiterer typischer Knicke der Registrierkurve, wie z. B. der regelmäßige, dreistündige Druckabfall am Nachmittag (Abb. 7).

Bevor eine endgültige Deutung vorgenommen wird, muß ermittelt werden, inwieweit dieser Vorgang nur typisch für die Solebohrung IV ist oder auch für die beiden Nachbarbohrungen, z. B. durch das Aufstellen einer Danaide, nachweisbar wäre.

Parallel zu der Danaidenmessung wurde zeitweise eine Leitfähigkeits- und Temperaturmessung durchgeführt. Die Registrierkurven sind auf Abbildung 8 dargestellt. Sowohl die Leitfähigkeit, als auch die Temperatur zeigen eine Abhängigkeit vom Druck im Quellschlot.

Die Temperatur- und Leitfähigkeitsschwankungen verlaufen gleichsinnig, aber zeitlich versetzt zum Wasserstand in der Danaide, und da dieser eine Funktion des im Quellschlot herrschenden Drucks ist, somit auch zur Druckschwankung im Quellschlot. Während die Danaide um 4.00 Uhr früh sofort auf das Öffnen der Nachbarbohrungen reagierte, verliefen Leitfähigkeits- und Temperaturregistrierkurven weiterhin geradlinig bzw. leicht ansteigend (Abb. 8: 18. 6. 1973 zwischen 4.00 und 6.00 Uhr).

---

[1] Der Begriff Quellschlot wurde von KAMPE (in PRINZ & KAMPE 1934) für das durch den Aufstiegsweg der Mineralquelle erfaßte Volumen eingeführt.

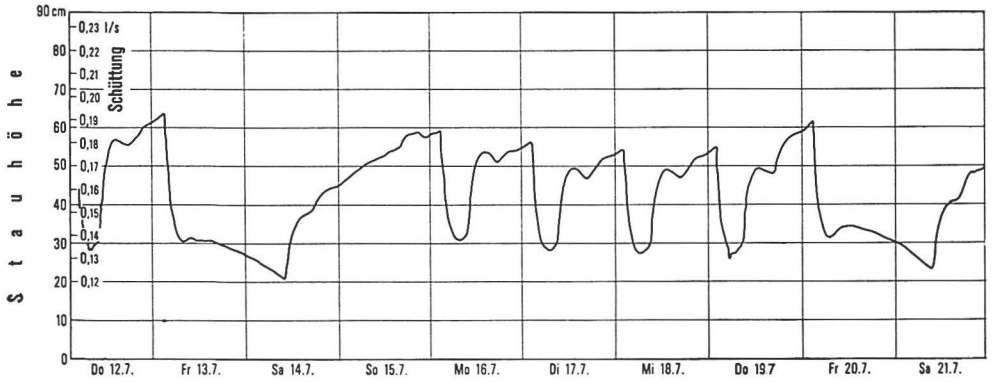


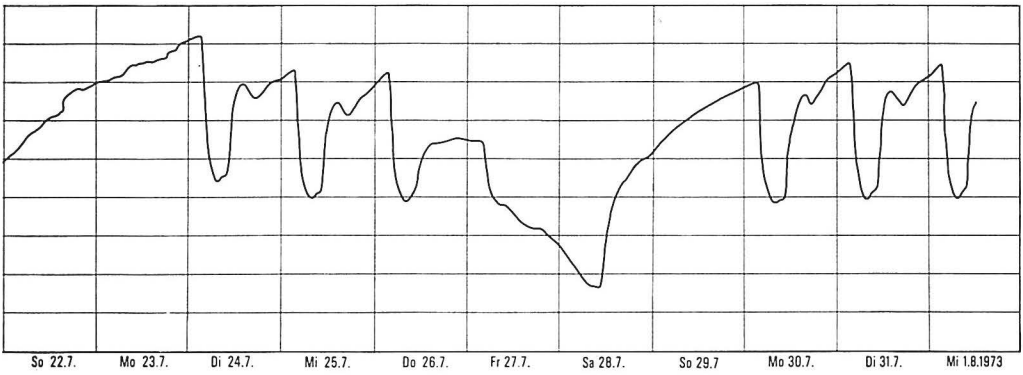
Abb. 7. Wasserstand in der Danaide während der Messung an der Solebohrung IV

Erst morgens gegen 6.30 Uhr reagierten diese Parameter mit 2½ Stunden Verzögerung auf die Druckentlastung. Auch nach dem Schließen der Nachbarbohrungen reagierten Leitfähigkeit und Temperatur mit einigen Stunden Verzögerung. Das bedeutet, daß bei Nachlassen des Drucks der Einfluß einer verdünnenden, kühleren Komponente, die im oberen Teil des Bohrlochs bei defekter Verrohrung zufließt, größer wird und umgekehrt. Eine vom Geologischen Landesamt NW am 20. 8. 1969 durchgeführte Temperaturmessung wies in 220 m Tiefe eine sprunghafte Abkühlung um 3,5° C nach (FRICKE 1972). Durch die kleine, der Danaide zufließende Wassermenge dauert es offensichtlich diese Zeit, bis sich die verdünnende und abkühlende Komponente bemerkbar macht.

Ein direkter Einfluß des Jordan-Sprudels auf die Bohrung IV war kurzfristig nicht nachweisbar, ebensowenig wie ein Einfluß des neu erbohrten Alexander-von-Humboldt-Sprudels. Allerdings kann durch Auswertung langjähriger Druckmessungen mittels Druckschreibern, die an allen Bohrungen des Staatsbades installiert sind, ein solcher Einfluß nicht mehr ausgeschlossen werden (MICHEL 1977 b).

Die Ergebnisse der speziellen Untersuchungen an der Solebohrung IV zeigen, daß an den Solebohrungen des Staatsbades Oeynhausen kein Beharrungszustand vorliegt. Daraus folgt, daß Einzelanalysen nachgewiesenermaßen an den Solebohrungen I, IV und V nur momentan gültige Werte für den jeweiligen Zustand der Bohrung ergeben. Beim Vergleich von zwei Mineralwasseranalysen kann nur schwer gedeutet werden, ob sich die chemische Zusammensetzung in eine bestimmte Richtung verschoben hat, solange die Bedingungen bei der Entnahme nicht gleich waren. Es müssen hier entweder Extremkonzentrationen ermittelt oder mittlere Konzentrationen errechnet werden. Ein Vergleich älterer und neuerer Analysen ist somit problematisch und auch irreführend. Bei den wöchentlichen Analysen (Abb. 3) sind die Verbindungslinien fiktiv. Die Gesamtheit der Werte läßt sich nur in Form von Streuungsbereichen ausdeuten, wobei Extreme nur vorläufig erfaßt sein können.

Es kann daher festgehalten werden: Die Schwankungen sind im wesentlichen eine Folge der Entnahmebedingungen. Durch das periodische Öffnen und Schließen der Bohrungen wird die in der Bohrung stehende Wassersäule – und damit auch der in Verbindung stehende Aquifer – entspannt und darauf wieder gespannt. Über den mineralwasserführenden Untergrund kommt also ein Druckausgleich zustande; kurzfristig merklich zumindest über kurze Entfernungen.



vom 12. 7. bis 1. 8. 1973

4. Diskussion der Beziehungen zwischen oberflächennahen und tiefen Wässern am Beispiel des Wittekind-Brunnens

Am Versuch, das Mineralwasser des Wittekind-Brunnens (vergl. Kapitel 2.2.) aus einem hochkonzentrierten Tiefenwasser abzuleiten, sollen Fließ- und Mischungsvorgänge im Mineralwassersystem von Bad Oeynhausen exemplarisch aufgezeigt werden.

Die Gesamtmineralisation des Wittekind-Brunnens ist im Vergleich zu den in der Nachbarschaft erbohrten Thermalsolen wesentlich geringer (9836 mg/kg Gesamtlösungsinhalt, nach K. Höll, Laboratorium für Wasseruntersuchungen, Hannover, vollständige Analyse s. Michel 1977 a). Die Sole des Bülow-Brunnens (vergl. Kapitel 2.3.) als der stärksten in Bad Oeynhausen bekannten, zeigt eine Gesamtkonzentration von 89 279 mg/kg (nach K. Höll). Das Konzentrationsverhältnis des Bülow-Brunnens zum Wittekind-Brunnen liegt also bei 9 : 1. Unter der Annahme, daß die Sole des Bülow-Brunnens für das Tiefenwasser typisch ist und beim Aufstieg durch Verdünnungs- und Ionenaustauschvorgänge Mineralwasser

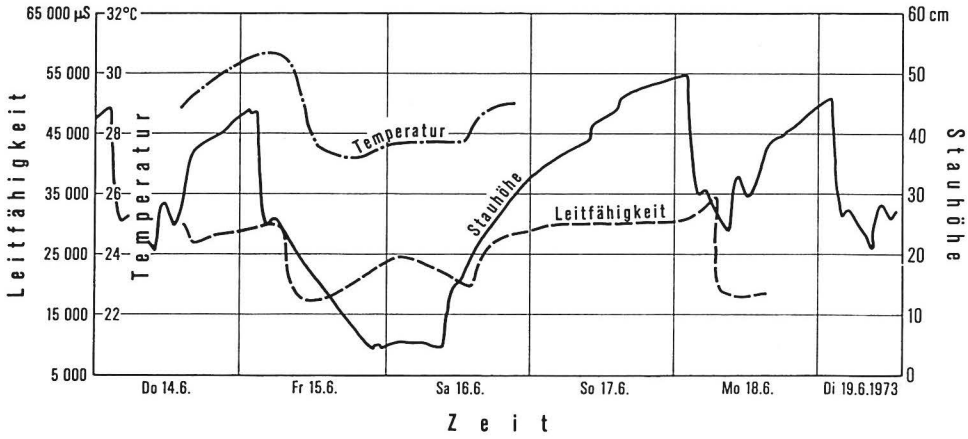
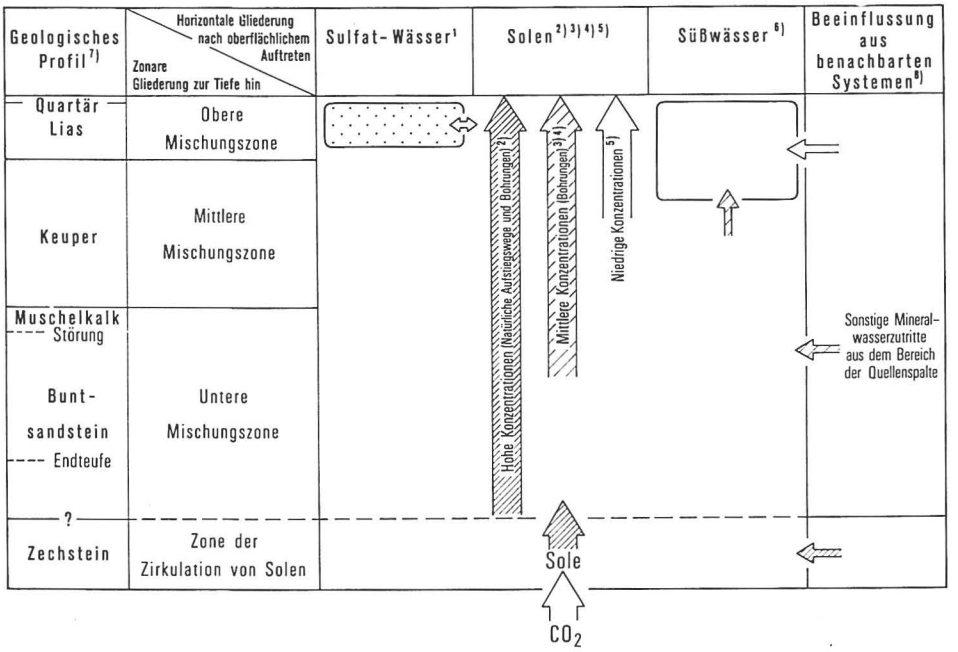


Abb. 8. Leitfähigkeit und Temperatur der Sole sowie Stauhöhe während der Messung an der Solebohrung IV vom 14. 6. bis 19. 6. 1973



1) z.B. Bohrung am Krankenhaus
2) Bülow-Brunnen, Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
3) Solebohrungen I, IV, V
4) Jordan-Sprudel, Alexander-von-Humboldt-Sprudel
5) Wittekind-Brunnen
6) z.B. Bohrbrunnen Flachsiek
7) Erbohrt im Alexander-von-Humboldt-Sprudel
8) Bad Salzuflen, Vlotho, Minden

Abb. 9. Schematische Darstellung der Beziehungen zwischen Mineral- und Süßwässern im Untergrund von Bad Oeynhausen

vom Typ des Wittekind-Brunnens entsteht, lassen sich Rückschlüsse auf die Größe der am Verdünnungsvorgang beteiligten Süßwasserkomponente ziehen. Diese müßte mengenmäßig zunächst beim neunfachen der aufsteigenden Solemenge angesetzt werden. Der besondere chemische Charakter des Wittekind-Brunnens erfordert einen langsamen Aufstieg und eine lange Verweildauer mit dem daraus resultierenden intensiven Kontakt zum Nebengestein. Die gleichsinnigen Schwankungen der Chlorid- und Sulfatgehalte im Wittekind-Brunnen (vergl. Abb. 2) weisen auf solche Verdünnungsvorgänge hin (MICHEL 1977 a).

Dies könnte durch Grundwasserzufuhr aus dem Steinmergelkeuper verursacht werden. In diesem Niveau kam es z. B. bei der Erbohrung des Jordan-Sprudels zu einem starken Wassereinbruch, bei dem auch Brunnen der Nachbarschaft in Mitleidenschaft gezogen wurden (Archiv Staatsbad Oeynhausen, Akte Jordan-Sprudel 1933).

Dies zeigt, daß eine hydraulische Beziehung zwischen dem Steinmergelkeuper und den oberflächennahen Bereichen besteht. Der Steinmergelkeuper führt auch an anderen Stellen größere Mengen Süßwasser, wie zum Beispiel im provisorischen Brunnen Flachsiek (Abb. 1, Tabelle 1).

Andererseits wäre umgekehrt noch zu untersuchen, inwieweit aufsteigendes Tiefenwasser die Konzentration der schwach konzentrierten Wässer höherer Stock-

werke beeinflußt. Beispielsweise können die merklichen Konzentrationsschwankungen des Süßwassers aus dem Brunnen Flachsiek (GEYH & MICHEL 1977, LEICHTLE 1974) möglicherweise auf den Einfluß von aufsteigenden Tiefenwässern zurückgeführt werden. In Abbildung 9 wurde versucht, weitere hydraulische und hydrochemische Zusammenhänge schematisch darzustellen. Ein Korrespondieren von Tiefenwässern mit oberflächennah zirkulierenden Süßwässern dürfte so wenigstens stellenweise vorliegen. Eine praxisübliche isolierte Betrachtung „sogenannter Wasservorkommen" ist also hier nicht am Platz oder wird zumindest durch die angeführten Beispiele in Frage gestellt.

5. Ausblick

Da das Mineralwassersystem von Bad Oeynhausen wegen des steigenden Bedarfs stärker belastet werden muß, zum anderen aber nicht feststeht, wie sich verstärkte Entnahmen aus den Solebohrungen als auch aus den Süßwasservorkommen langfristig auswirken werden, ist zur genauen Kenntnis des tieferen Untergrunds und der dort vorhandenen hydraulisch wirksamen Verbindungen noch eine Analyse der Hydrodynamik notwendig. Damit zu verknüpfen sind Überlegungen zur Soleneubildung.

Erst eine solche Analyse nebst eingehender Untersuchung und Überwachung des Mineralwassersystems wird es ermöglichen, wirksame Vorkehrungen zum Schutz gegen nachteilige, langfristig auf den Mineral- und Süßwasserhaushalt einwirkende Einflüsse treffen zu können.

6. Schriftenverzeichnis

DEUTLOFF, O. (1974): Die Hydrogeologie des nordwestlichen Weserberglandes in der Umgebung von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 111–194, 12 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

DEUTLOFF, O., & KARRENBERG, H. (1969): Zum Wasserhaushalt der Mineralwässer im Raum Bad Salzuflen – Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **16:** 577–594, 4 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

DIENEMANN, W. (1939): Erläuterungen zu den Blättern 3716 Melle, 3717 Quernheim, 3718 Oeynhausen. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Ländern 1 : 25 000: 145 S., 6 Abb., 13 Tab., 1 Taf.; Berlin.

DIENEMANN, W., & FRICKE, K. (1961), mit Beitr. von HARRE, W., & SCHMIDT-BERGER, R., & SCHNEIDER, S.: Mineral- und Heilwässer, Peloide und Heilbäder in Niedersachsen und seinen Nachbargebieten. – Schr. wirtschaftswiss. Ges. Stud. Niedersachsen, **5** (5): 476 S., 52 Abb., 24 Tab., 197 Anal.; Göttingen (Niedersächs. Inst. Landeskde.).

FRICKE, K. (1972): Ergiebigkeitsabnahme bei Thermalwasserquellen infolge von Kristallbildung (Verkrustung) im schadhaften Bohrloch – erläutert am Beispiel von Bad Oeynhausen. – Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **23**: 363–366, 4 Abb., 1 Tab.; Köln.

FRICKE, K., & KÖHLER, H., & TYEDMERS, L. (1961): Die neue Solebohrung des Staatsbades Bad Oeynhausen. – Heilbad u. Kurort, **13**: 226–228, 2 Abb.; Gütersloh.

GEYH, M. A., & MICHEL, G. (1977): Zur Isotopenchemie von Mineralwässern und sonstigen Grundwässern im Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 229–252, 9 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

LANGGUTH, H. R., & MICHEL, G. (1977): Hydrochemische Untersuchungen am Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 165–183, 6 Abb., 5 Tab.; Krefeld.

LEICHTLE, TH. (1974): Hydrogeologische Untersuchungen im Rahmen der Sole-Bohrung VII in Bad Oeynhausen. – Dipl. Arb. Techn. Hochsch. Aachen: 109 S., 2 Abb., 2 Tab., 4 Anl.; Aachen.

MESTWERDT, A. (1915): Die geologischen Verhältnisse der Heilquellen von Bad Oeynhausen. – Verh. naturhist. Ver. preuß. Rheinlde. u. Westf., **72**: 97–117, 3 Abb.; Berlin.

– (1919): Die Bäder Oeynhausen und Salzuflen. – Jb. preuß. geol. L.-Anst., **37** (2): 64–131, 7 Abb., 2 Taf.; Berlin. – [Vorausdr. 1917]

– (1922): Erläuterungen zu Blatt 3818 Herford-Ost. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Ländern 1 : 25 000: 45 S., 4 Abb.; Berlin.

MICHEL, G. (1977 a): Das Solevorkommen von Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 1–43, 13 Abb., 5 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

– (1977 b): Der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 45–62, 7 Abb.; Krefeld.

NAUMANN, E. (1922): Erläuterungen zu Blatt 3819 Vlotho. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Ländern 1 : 25 000: 54 S.; Berlin.

PRINZ, E., & KAMPE, R. (1934): Handbuch der Hydrologie, Bd. **2.** – 290 S., 274 Abb.; Berlin (Springer).

TRUPIN, G. (1968): Der Einsatz von Danaiden. – Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **19**: 86–91, 10 Abb., 3 Tab.; Köln. – [Übersetzt u. bearbeitet von LANGGUTH, H. R.]

Eingang des Manuskriptes: 2. 6. 1976

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 145–163, 14. Abb., 1 Tab.	Krefeld, Nov. 1977

Spezielle Messungen zur Ergiebigkeit und chemischen Beschaffenheit des Alexander-von-Humboldt-Sprudels

Von Horst Robert Langguth und Thomas Leichtle,
mit einem Beitrag von Ulrich Schwartz *

Drilling, mineral water, hydrogeological-technology, discharge, concentration, hydrochemistry, North-West German Mesozoic Hills (Bad Oeynhausen)

Kurzfassung: Mehrere Messungen und Versuche, die während und nach Beendigung der Bohrarbeiten am Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Zeitraum Juli, August, September 1973 durchgeführt wurden, ermöglichen Aussagen über das langfristige Verhalten der Bohrung, über Vorgänge im tieferen Bereich des Bohrloches und die Zusammensetzung des geförderten Mischwassers. Durch einen besonderen Versuchsaufbau, im folgenden als Doppelrohr- und Preventerversuch bezeichnet, gelang es, mit relativ geringem Aufwand Kenntnisse über die Zusammensetzung des Mineralwassers auch aus großen Teufen der Bohrung zu erzielen. Es wurden dabei verschiedene Zuflußzonen unterschiedlicher Konzentration ermittelt, Ergebnisse geophysikalischer Bohrlochmessungen bestätigt und ergänzt. Insbesondere konnte ein hochkonzentriertes Wasser beprobt werden, das in dieser Art in Bad Oeynhausen bisher nicht bekannt war. Die Versuche lieferten neue Grundlagen für die weitere Bearbeitung und Untersuchung des interessanten Mineralwasservorkommens. Die Ergiebigkeitsfunktion nach Kampe wurde bei verschiedenen Stauhöhen durch Ergiebigkeitsmessungen bestimmt.

[Special measurements on the artesian discharge and the chemical composition of the Alexander-von-Humboldt-Sprudel]

Abstract: During and after the boring of the Alexander-von-Humboldt-Sprudel several tests and experiments in the borehole were carried out in the time between July and September 1973. These experiments permit statements about the longtime behaviour of well yield, about exchange processes in the deeper part of the borehole and the chemical composition of the free discharging "mixed" mineral water.

By special experimental arrangements, the so-called Doppelrohrversuch ("double tube tests") and Preventerversuch ("preventer tests"), it became possible with a minimum of expense to derive the chemical composition of individual mineral water components in the deeper zones of the borehole.

These tests revealed different discharging zones in the borehole with different yields and salt concentrations, confirming and completing the geophysical borehole logs carried out earlier. A highly concentrated water was sampled which has not yet been known in the Bad Oeynhausen producing wells.

By gaging the discharge rate at different heights above field level the parabolic discharge function after Kampe of this artesian well was established.

The results of these tests give new ideas for future investigation of this important mineral water station.

* Anschriften der Autoren: Prof. Dr. H. R. Langguth und Dipl.-Geol. Th. Leichtle, Lehrgebiet für Hydrogeologie der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Templergraben 55, 5100 Aachen; Berging. U. Schwartz, Staatliches Quellenamt, Badhausstraße 6, 5427 Bad Ems

[Mesures du débit artésien et de la composition hydrogéochemique d'Alexander-von-Humboldt-Sprudel]

Résumé: Lors et après l'exécution du nouveau forage thermominéral d'Alexander-von-Humboldt-Sprudel les auteurs ont eu l'occasion pendant les mois de juillet, août et septembre 1973 de réaliser des mesures et des essais speciaux dans le forage lui-même ainsi que sur le débit artésien. Les résultats permettent d'en tirer des conclusions sur la fonction du forage à longue durée, sur des processus hydrauliques et chimiques dans les zones plus profondes et sur la composition chimique de l'eau débitée. A l'aide d'un dispositif d'essai special, appelé «essai à deux tubes» et «essai à preventer», peu coûteux tous les deux, il était possible d'obtenir des connaissances détaillées sur la composition chimique de l'eau thermominérale aussi dans les parties plus profondes du forage. Plusieurs zones à débit différent ainsi qu'à concentration différente ont pu être distinguées. Ceci confirme et élargit les résultats obtenus par carottage géophysique des sondages. Pendant les essais une eau avec une minéralisation très élevée a pu être échantillonnée, inconnue auparavant dans tous les forages de Bad Oeynhausen.

Finalement en mesurant le débit jaillissant à différentes hauteurs au-dessus du sol la fonction parabolique débit/hauteur selon Kampe a pu être établie.

Les résultats fournissent la base pour l'investigation dans l'avenir de cet important gisement d'eau thermominérale.

1. Einleitung

Nach dem Fündigwerden des Alexander-von-Humboldt-Sprudels ab 736 m Teufe am 27. 6. 1973 sollten möglichst viele Messungen des artesischen Abflusses sowie der Temperaturen und des Chemismus vorgenommen werden. Das betraf sowohl die restliche Bohrzeit bis zur Endteufe von 1034 m als auch die Zeit bis zum endgültigen Ausbau der Bohrung.

Aufgrund der gegebenen technischen Möglichkeiten (Preventer, Bohrgestänge, Meßwehre, Ableitungsmöglichkeiten des ausfließenden Wassers) konnten nacheinander verschiedene Meßmethoden angewendet werden. Natürlich war die nutzbare Gesamtzeit begrenzt, da von Fall zu Fall die Bohrmannschaft in Anspruch genommen werden mußte. Bohrmeister H. Hein und seine Mannschaft halfen uns, wo sie konnten. An dieser Stelle danken wir besonders Herrn Kurdirektor Alfons W. Dole und dem Technischen Leiter Herrn Theo Quinders für ihr Verständnis und ihre Unterstützung.

2. Übersicht über die durchgeführten Messungen

Eine Übersicht über die durchgeführten Versuche in chronologischer Abfolge mit pauschalen Angaben zur Versuchsanordnung gibt Tabelle 1.

Schüttungsmessungen während der Bohrarbeiten (in der Zeit vom 27. 6. bis 23. 7. 1973) wurden mit Meßwehren bei freiem Auslauf aus der Bohrung vorgenommen. Die Ergebnisse finden sich in den Kapiteln 3.1. und 3.2.

In der Zeit vom 2. 8. bis 7. 9. 1973 wurden spezielle Schüttungsmessungen durchgeführt. Diese lassen sich nach den benutzten Installationen in zwei Phasen teilen:

a) Anbringen eines Aufsatzrohres mit vier verschiedenen Rohrabgängen mit Sperrventilen (für freien Auslauf in verschiedenen Höhen) = Ergiebigkeitsversuch (s. Kap. 4.4.)

b) Kombination eingefahrenes Bohrgestänge/Preventer:
vier Tage bei gesperrtem Preventer und Auslauf aus dem Bohrgestänge in verschiedenen Tiefen = Preventerversuch (s. Kap. 4.2.) und fünf Tage bei gleichzeitigem Auslauf aus Bohrgestänge und Verrohrung = Doppelrohrversuche (s. Kap. 4.1. und 4.3.)

Tabelle 1

Übersicht über die Versuche, die nach dem Fündigwerden der Bohrung durchgeführt wurden

	Datum	Dauer (Tage)	Bezeichnung	Zweck des Versuches	Bohrtiefe (m)
Ergiebigkeits-messungen während der Bohrarbeiten	27. 6.—1. 7. 1973	5	Ergiebigkeitsmessungen	Bestimmung der Ergiebigkeit nach dem Fündigwerden der Bohrung	736—800
	16. 7. 1973	1	freier Auslauf	Messung der Variationen der Ergiebigkeit bei frei überlaufender Bohrung	899
	23. 7. 1973	1	freier Auslauf	dto.	954
Ergiebigkeits-messungen sowie andere spezielle Untersuchungen nach dem Abschluß der Bohrarbeiten	2. 8. 1973	1	freier Auslauf aus Ringraum und Gestängerohr	Nachweis von Zuflüssen unterschiedlicher Konzentration in verschiedener Teufe, Ermittlung des Gaslifts (1. Doppelrohrversuch)	1034
	9. 8.—26. 8. 1973	17	freier Auslauf bei verschiedenen Überlaufhöhen	Ermittlung der Ergiebigkeitskurve	1034
	27. 8.—30. 8. 1973	4	freier Auslauf aus dem Gestängerohr	Ermittlung von Zuflüssen unterschiedlicher Konzentration, sowie der Ergiebigkeit in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe des Gestängerohrs (Preventerversuch)	1034
	4. 9.— 7. 9. 1973	4	freier Auslauf aus Ringraum und Gestängerohr	wie 2. 8. 1973, Einsatz registrierender Geräte (2. Doppelrohrversuch)	1034

3. Messung des freien Auslaufes während der Bohrarbeiten

3.1. Bohrtiefe 736–800 m

Diese Messungen dienten der Erfassung der Anfangsergiebigkeit. Nachdem die Bohrung am 27. 6. 1973 überlief, sollte die freie Auslaufmenge möglichst oft ermittelt werden.

Kontinuierliche Messungen sollten mittels eines Meßwehrs erfolgen, dessen Blende als Ponceletüberfall ausgelegt war (Abb. 1). Die gemessene Überfallhöhe wurde durch direkte Volumenmessungen überprüft. Dazu dienten als Auffanggefäße die Spültanks (ca. 15 m³ Inhalt). Zusätzlich wurden Wasserproben für Chloridgehalts- und Leitfähigkeitsmessungen entnommen. Die Ergiebigkeitskurve für den Zeitraum vom 27. 6. bis 1. 7. 1973 zeigt mit zunehmender Bohrtiefe anfänglich einen steilen Anstieg auf 100 m³/h im Verlauf des 27. 6. und danach ein allmähliches Anwachsen auf etwa das Doppelte bis zum 30. 6. 1973 (Abb. 2).

Der Chloridgehalt steigerte sich von 5570 mg/l am 28. 6. auf über 10 000 mg/l gegen Abend des 29. 6. 1973.

Die Abbildung 2 zeigt, daß innerhalb der Bohrstrecke von 734–760 m rd. 50% der Zuflüsse der Bohrung auftraten. Ein weiterer Bereich mit stärkerem Zufluß ist zwischen 780–800 m zu erkennen.

Der Vergleich mit der Flowmeter-Messung der Fa. Schlumberger vom 30. 7. 1973 ergibt abschnittsweise bei einem Auslauf von rd. 200 m³/h folgende prozentuale

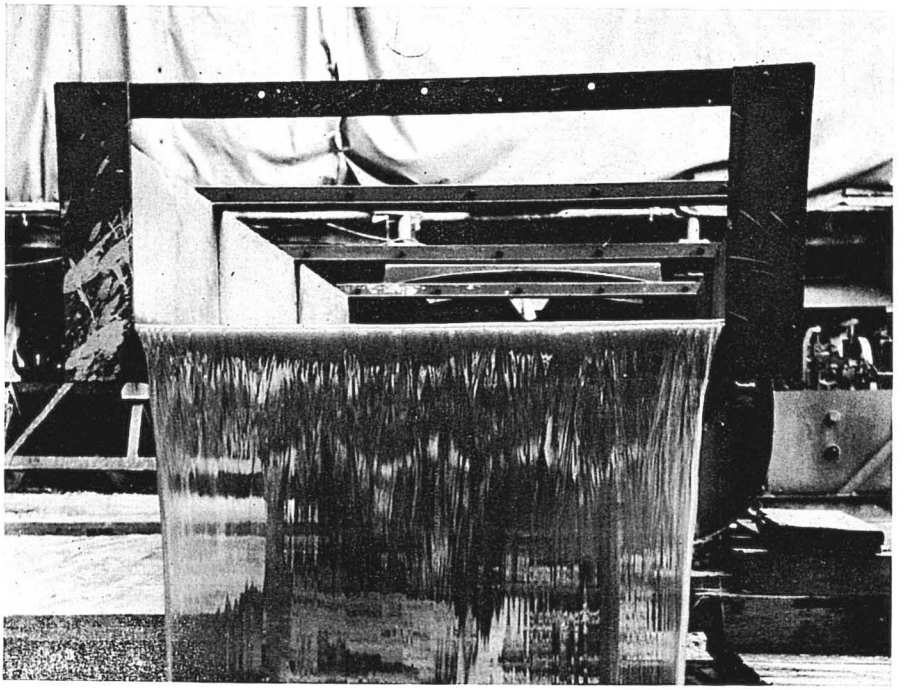


Abb. 1. Messung des freien Auslaufes des Alexander-von-Humboldt-Sprudels am 30. 6. 1973 mit einem Ponceletüberfallwehr (Ergiebigkeit ca. 160 m³/h)

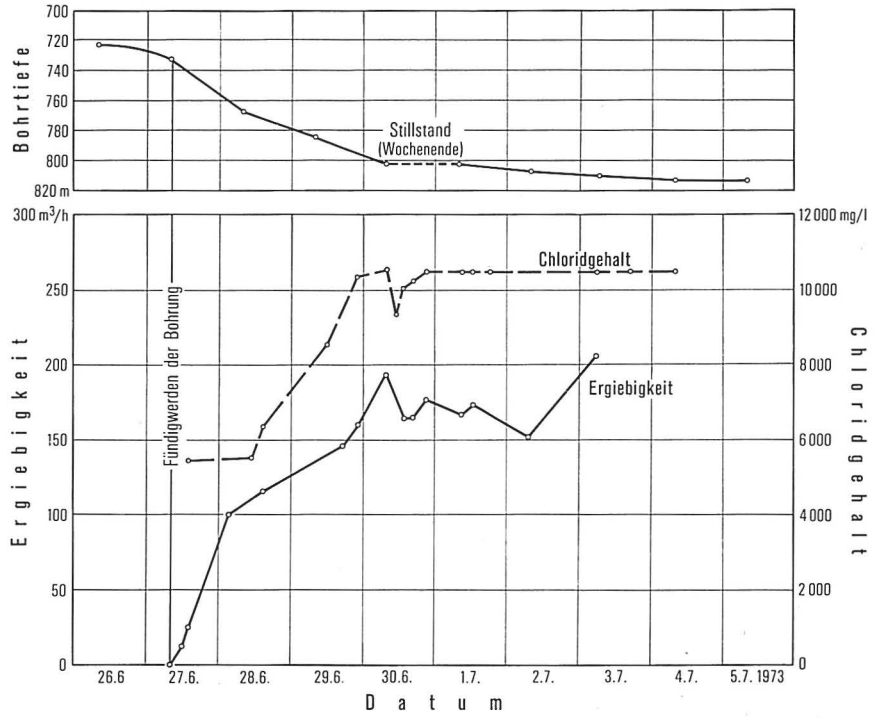


Abb. 2. Freier Auslauf des Alexander-von-Humboldt-Sprudels; Ergiebigkeit, Chloridgehalt und jeweilige Bohrtiefe vom 26. 6. bis 5. 7. 1973

Verteilung zwischen 730—800 m und darunter:

730—745 m 14%
745—760 m 28%
760—770 m 6%
770—780 m 12%
780—790 m 11%
790—800 m 18%
>800 m 11%

Die Bohrung hat in dem betreffenden Bereich besonders günstige Durchlässigkeiten und Klüftigkeiten des Buntsandsteins angetroffen. Zum Beispiel wurde einmal bei ca. 740 m Tiefe ein Bohrfortschritt von 4 m/h erzielt.

Aus den Chloridwerten ergibt sich ferner, daß schon bis zu einer Teufe von 800 m mindestens zwei Teufenbereiche mit unterschiedlicher Konzentration vorhanden sind:

730—770 m rund 5 500 mg/l Chlorid
770—800 m Anstieg auf rund 10 000 mg/l Chlorid

3.2. Bohrtiefen 899 m und 954 m

Diese beiden Messungen der Ergiebigkeit wurden jeweils montags durchgeführt, nachdem der freie Auslauf über das gesamte Wochenende durch Schließen des Preventers abgesperrt wurde. Durch die Bohrarbeiten war eine genaue Messung während der Woche nicht möglich. Nach den Flowmeter-Messungen am 30. 7. 1973 waren bei den Bohrtiefen 899 m bzw. 954 m alle produktiven Horizonte bereits durchteuft.

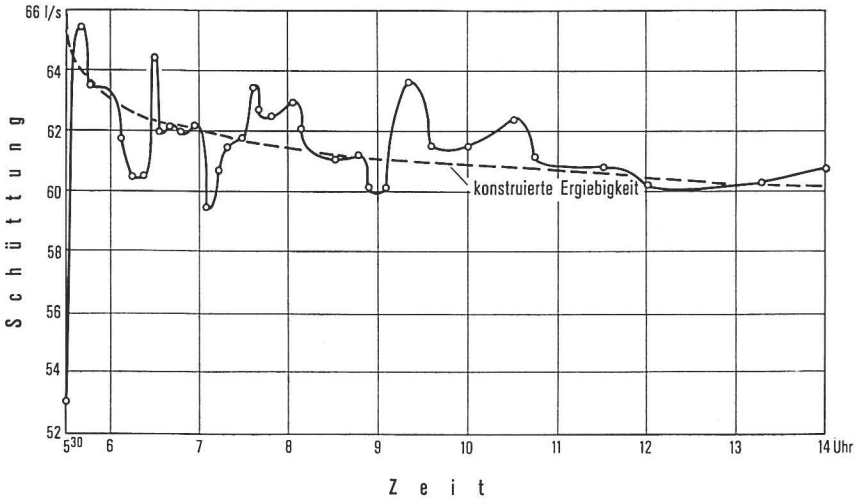


Abb. 3. Freier Auslauf am 23. 7. 1973; Schüttung in der Zeit von 5.30 bis 14.00 Uhr nach ca. 48stündigem Sperren der Bohrung

Bei der Messung am 16. 7. 1973 (Bohrtiefe 899 m, Versuchsdauer von 8.30 bis 13.00 Uhr) wurden nur die Wasserstandsschwankungen im Meßwehr stündlich abgelesen. Dabei zeigte sich, daß das Meßwehr auf relativ große Ergiebigkeitsschwankungen mit nur geringen Änderungen der Überfallhöhe reagierte und so der Meßfehler bei der Ablesung mit dem Zollstock dementsprechend groß ausfallen mußte. Daher wurden dann am 23. 7. 1973 unter Zuhilfenahme eines Meßkastens (2 m^3) viertelstündlich Volumenmessungen durchgeführt. Zu diesem Zwecke hat die Bohrfirma H. Anger's Söhne eine schwenkbare Zuleitungsrinne zu dem Meßkasten hergestellt, die sekundenschnell zu- und abgeführt werden konnte. Dadurch war nach Beruhigung des Wassers im Meßkasten eine sehr genaue Volumenbestimmung möglich.

Neben den Ergiebigkeitsmessungen wurden zum Teil Wasserproben genommen, an denen der Chloridgehalt bestimmt wurde. Die mit Versuch am 16. 7. 1973 erfaßte Schüttung schwankt zwischen 56,5 l/s ≙ 203,4 m^3/h und 59,5 l/s ≙ 214,2 m^3/h.

Die Chloridgehalte lagen dabei zwischen 9470 und 10 890 mg/l.

Bei den Messungen vom 23. 7. 1973 (Messungen von 5.30–14.00 Uhr) und einer Bohrtiefe von 954 m schwankte die Schüttung zwischen 59,5 l/s ≙ 214,2 m^3/h und 65,5 l/s ≙ 235,8 m^3/h. Die Meßwerte sind auf Abbildung 3 aufgetragen. Die Chloridgehalte lagen dabei zwischen 10 680 und 11 320 mg/l. Sie stiegen mit abnehmender Schüttung an.

Die Messungen lassen nicht unmittelbar einen allmählichen Abfall der Schüttung erkennen (Abb. 3), wie er für artesische Bohrungen typisch ist. An solchen Bohrungen erfolgt bei vorgegebenem konstantem Druckabfall, wie er durch das plötzliche Öffnen einer Bohrung erzeugt wird, eine nahezu lineare Abnahme der Wassermenge zum Logarithmus der Zeit.

Dieser instationäre Vorgang ist bei artesischen Brunnen meist sehr lang, auch dann, wenn sich durch Zufluß aus dem und zum Aquifer eine Kompensation des Wasserverlustes einstellt und damit letztlich eine Tendenz zur Beharrung.

Beim Niederbringen der Bohrung für den Alexander-von-Humboldt-Sprudel wurden sukzessiv Aquiferhorizonte angeschnitten. Der erste Horizont, der angetroffen wurde, führte zu einer Auslauffunktion in der vorstehend beschriebenen Weise. Beim Anfahren eines weiteren Horizontes überlagert sich dann dessen Auslauf in derselben Weise. Das führt dazu, daß zunächst der Gesamtablauf aus der Bohrung erhöht wird. Die resultierende zeitliche Auslaufkurve, die leider während der Bohrarbeiten nicht erfaßt werden konnte, hätte sich also aus den Entleerungsfunktionen der individuellen produktiven Horizonte durch Addierung zusammengesetzt (Prinzip der Superposition).

Die Ergiebigkeitsmessungen am 23. 7. 1973 erfolgten nach einem Monat freien Auslaufes, der von den Zuflüssen in dem Teufenbereich von 734—800 m bzw. 860 m einen Teil des Druckes weggenommen hatte. Der Auslauf betrug am 19. 7. 1973 rund 58—59 l/s, d. h. rund 210 m³/h!

Durch das etwa zweitägige Sperren der Bohrung wurde der freie Auslauf gestoppt und praktisch ein kurzzeitiger „recovery-test" eingeleitet, der ebenfalls im Logarithmus der Zeit abläuft. In dieser Zeit kann jedoch nicht das ursprüngliche Druckniveau der beteiligten Ausflüsse wieder erreicht werden, wohl aber ein wesentlicher Teil desselben.

Zum Zeitpunkt der Öffnung der Bohrung wurde der Auslauf — Zeit-Vorgang wieder in Gang gesetzt. Es bestand also die Möglichkeit, die gemeinsame Entleerungsfunktion der zu diesem Zeitpunkt angeschnittenen produktiven Aquiferhorizonte und ihre Tendenz zur Stabilisierung wenigstens abschnittsweise zu erfassen.

Interessanterweise zeigt die Schüttung nicht nur einen allmählichen Abfall über die Zeit, sondern auch ein Oszillieren, das einer besonderen Erklärung bedarf.

Nach Prinz & Kampe (1934: 189 ff.) tritt ein solches Auf und Ab bei gasführenden Bohrungen dann auf, wenn eine plötzliche Störung des Beharrungszustandes, bzw. des freien Auslaufes eintritt.

Hiernach bewirkt die plötzliche Herabsetzung des Druckes (hier durch Öffnen des Preventers) eine momentane Entbindung der überschüssigen gelösten Gasmengen. Unterschiedlich von der sonstigen allmählichen Evasion des Gases im Verlauf des Aufstiegs entsteht nunmehr eine plötzliche Volumenvermehrung in einer längeren Schlotstrecke. Die Folge ist ein Herauspressen größerer Wassermengen aus der Bohrung nach oben und — nach dem Prinzip gleicher Aktion und Reaktion — eine gleichzeitige vorübergehende Druckwirkung nach abwärts, welche auf das Anströmen des Wassers in das Bohrloch aus den Klüften eine kurze Zeit hemmend wirkt. Die Ergiebigkeit zeigt daher eine auffallende Unruhe.

Der Grenzdruck, d. h. der Druck, bei dem sich das Gas in Lösung befindet, pendelt so um ein Niveau, das er bei Beharrung bzw. dem jeweiligen Druck im instationären Regime einnehmen müßte. Die Gasmengen, die beim Tieferwandern des Grenzdruckes freiwerden, führen zu Ergiebigkeitserhöhungen. Die Gasmengen, die bei sich höherverlagerndem Grenzdruck in Lösung gehen, führen zu Volumenverminderung, somit zur Abnahme der Ergiebigkeit. Dieser Vorgang geht fast in Form einer gedämpften Schwingung mit abnehmender Amplitude und sich verlängernder Periode vor sich.

Nach der Darstellung des Ergiebigkeit — Zeit-Diagrammes vom 23. 7. 1973 (Abb. 3) dauert dieser Vorgang offensichtlich länger als 10 Stunden.

Dort ist zu beachten, daß durch die Einzelmessungen wahrscheinlich nicht immer die Maxima und Minima erfaßt wurden. Die Kurve zeigt also nur das typische Verhalten, nicht aber den tatsächlichen Verlauf im einzelnen. Dennoch läßt sich aus

Abbildung 3 in etwa die Kurve der Ergiebigkeitswerte konstruieren, die dem normalen Verhalten einer artesischen Bohrung bei freiem Auslauf im instationären Regime entsprechen dürfte (gestrichelte Linie). Sie zeigt deutlich den Typ einer Exponentialkurve. Die maximale Schüttung erreicht dabei mindestens 66 l/s, d. h. eine Erhöhung von mindestens 7–8 l/s. Verlängert man die Kurve, so erreicht sie etwa nach dreieinhalb Tagen die Werte von 58–59 l/s, wie sie vor dem Schließen des Preventers am 18. und 19. 7. 1973 gemessen wurden. Der Abfall beträgt dabei auf einer halblogarithmischen Darstellung etwa 2 l je d log t = 1; Zeit t aufgetragen in Minuten. Danach würde im reinen instationären Regime die Bohrung etwa in 20 Jahren auf 52 l/s abfallen.

4. Messungen nach Beendigung der Bohrarbeiten

4.1. Freier Auslauf aus Ringraum und Gestängerohr (1. Doppelrohrversuch)

Dieser Doppelrohrversuch am 2. 8. 1973 hatte vor allem den Zweck, den Nachweis für das Auftreten verschieden konzentrierter Zuflüsse in unterschiedlichen Teufen zu führen und eine „indirekte" Probenahme in verschiedenen Teufen zu ermöglichen. Die Möglichkeit, Doppelpacker- und Formationstestversuche durchzuführen, war aus finanziellen Gründen nicht gegeben.

Der Versuchsaufbau ist aus Abbildung 4 ersichtlich. Die überlaufende Wassermenge aus dem Ringraum wurde mit einem Linearwehr nach KESSLER (1959) gemessen (Abb. 5), der Überlauf aus dem Gestängerohr durch direkte Volumenmessung mittels eines Fasses.

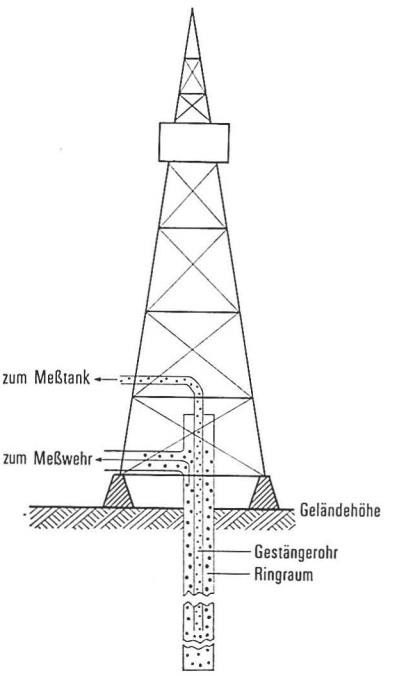


Abb. 4. Versuchsaufbau beim Doppelrohrversuch

Abb. 5. Messung des freien Auslaufes mit einem Linearwehr
(Ergiebigkeit ca. 210 m³/h)

Weiterhin wurden die Dichte und die Leitfähigkeit gemessen sowie der Chloridgehalt bestimmt.

Das Gestänge wurde in 17 verschiedene Teufen zwischen 644 und 974 m eingebaut. Es wurden 17 Proben gezogen. Vor der Probennahme wurde jeweils abgewartet, bis sich das Gestängevolumen vollständig erneuert hatte. Die Ergebnisse sind bei LANGGUTH & MICHEL (1977) nachzulesen.

Auf Abbildung 5 ist eine Vorrichtung mit drei gleichgroßen Parabol-Meßblenden nach KESSLER (1959) zu sehen, die bei höherer Schüttung geöffnet waren. Durch Kontrollmessungen wurde festgestellt, daß die Schüttungsmengen bei Benutzung von zwei bzw. drei Meßblenden praktisch linear blieben und dann das Zweifache, bzw. Dreifache nur einer Meßblende betrugen.

Die aus den Wasserproben ermittelte Leitfähigkeit, Dichte und Chloridgehalte in Abhängigkeit von der Einbautiefe des Gestängerohres sind in Abbildung 6 aufgetragen. Die Auswertung erfolgt gemeinsam im Kapitel 4.3.

Bei dem 1. Doppelrohrversuch wurde der Preventer nach dem Umbau jeweils kurz geschlossen, um den Austausch der im Gestängerohr befindlichen Wassersäule zu beschleunigen. Damit wurden höherkonzentrierte Wässer durch das Gestängerohr ausgetrieben, die beprobt werden konnten. Der 1. Doppelrohrversuch stellt streng genommen einen kombinierten Doppelrohr- und Preventerversuch dar. Entsprechend ist auch der Versuchsaufbau nach Abbildung 4 und Abbildung 7 zu kombinieren. Da für die Versuchsdurchführung nur ein Tag zur Verfügung stand, wurde nach den gewonnenen Erkenntnissen der Technischen Betriebsdirektion des Staatsbades Oeynhausen vorgeschlagen, zwei längerfristige Versuche, einen Preventerversuch und einen 2. Doppelrohrversuch durchzuführen.

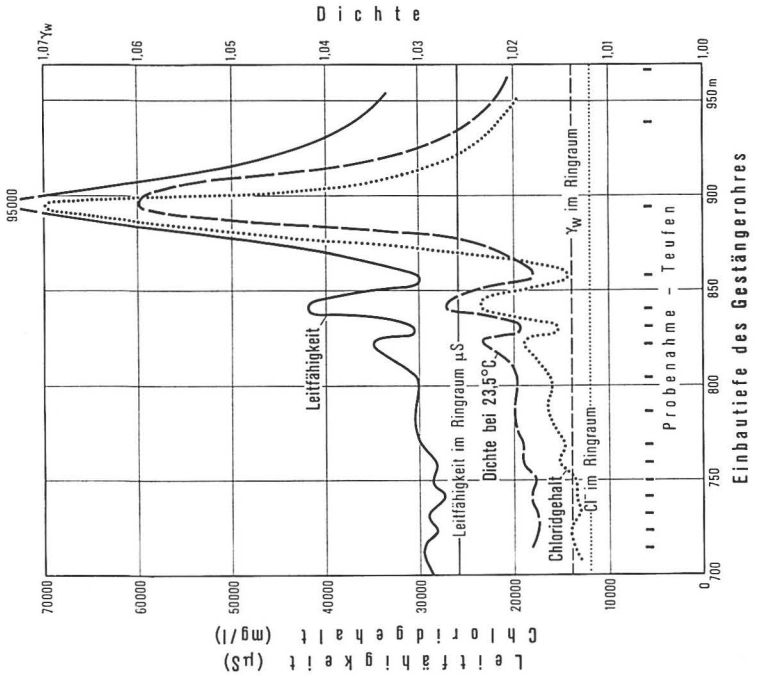


Abb. 6. Chemische Beschaffenheit des Auslaufes aus Ringraum und Gestängerohr beim 1. Doppelrohrversuch

Diese werden in Kapitel 4.2. und 4.3. beschrieben.

4.2. Auslauf aus dem Gestängerohr (Preventerversuch)

Dieser Versuch bezweckte die Ermittlung der Ergiebigkeit aus dem Gestängerohr in Abhängigkeit von der Einbautiefe. Dabei wurde der Chemismus mit beobachtet. Gleichzeitig sollte versucht werden, eine unterschiedliche Gasführung zu erfassen. Der Preventerversuch wurde nach den Erfahrungen des 1. Doppelrohrversuchs angesetzt. Dazu sollte ein inzwischen beschaffter Schreiber für die Leitfähigkeit eingesetzt werden. Es kam vor allem darauf an, höher konzentrierte Wässer aus den tieferen Zonen der Bohrung zu erfassen.

Der Versuchsaufbau ist aus Abbildung 7 ersichtlich. Das Bohrgestänge (Durchmesser 92,5 mm) wurde nacheinander in verschiedene Teufen zwischen 644 und 974 m eingefahren. Das Wasser der höheren Zonen wurde dabei gezwungen, in absteigender Fließrichtung zunächst die vermuteten tiefen Wässer „auszutreiben". Bei der Messung der Ergiebigkeit wurde das Linearwehr mit parabolförmiger Blende (vgl. Abb. 5) benutzt.

Nach dem Umbau auf die jeweilig nächste Teufe wurde der Preventer wieder geschlossen. Neben der Schüttung wurden am Auslauf Leitfähigkeit, Temperatur und der sich im Außenrohr unter dem geschlossenen Preventer aufbauende Druck gemessen. Die aus dem Gestängerohr überlaufende Wassermenge sowie der im Ringraum herrschende Druck sind auf Abbildung 8 aufgetragen.

Von anfangs 18,9 l/s fällt die Ergiebigkeit mit zunehmender Teufe auf 15,3 l/s ab. Im Diagramm steigt dabei der Druck gegenläufig von 4,8 auf 6,2 bar an, be-

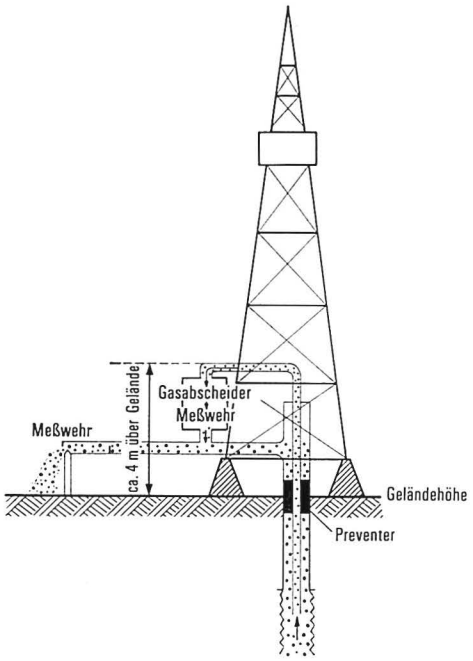


Abb. 7. Versuchsaufbau beim Preventerversuch

sonders stark bis 750 m Tiefe. Die Hauptzuflüsse treten (s. S. 149) etwa bei 740—790 m Tiefe in das Bohrloch ein. Mit zunehmender Eintauchtiefe muß das Wasser einen immer größeren Weg zurücklegen, um im Gestängerohr aufsteigen zu können. Durch den längeren Weg im unverrohrten Teil des Bohrloches nach unten, als auch im Gestänge bei nach oben gerichteter Fließbewegung entsteht Druckverlust durch Reibung, der erhöht wird dadurch, daß im tieferen Teil des Bohrloches ein dichteres Wasser auftritt. Die Differenz von 3,6 l/s zwischen der

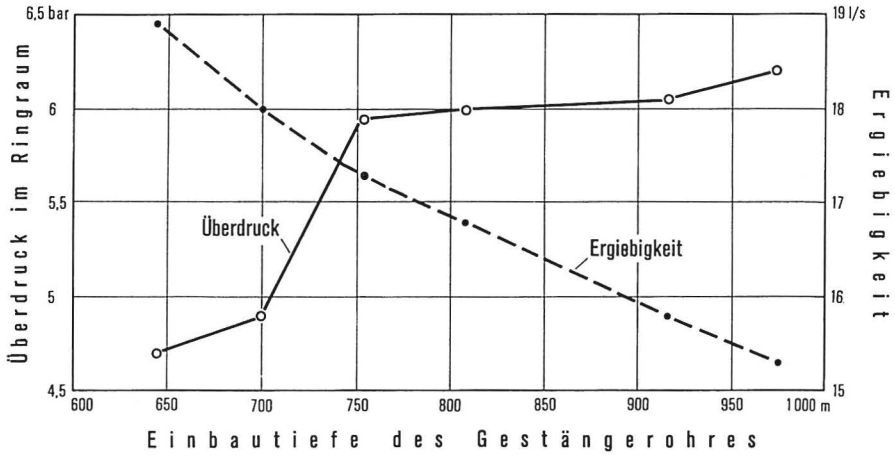


Abb. 8. Überdruck im Ringraum und Ergiebigkeit beim Preventerversuch

untersten und der obersten Einbaustufe kann daher der längeren zurückgelegten Wegstrecke und dem dadurch verursachten Druckverlust zugeschrieben werden.

Der Chemismus wurde mittels kontinuierlicher Leitfähigkeitsmessungen kontrolliert, die auf Abbildung 9 aufgetragen sind. Die Leitfähigkeit beträgt dabei durchweg 20000 µS. Jedoch treten kurzzeitig Spitzenwerte bis zu 50000 µS nach jedem Umbau auf die nächsttiefere Stufe und dem erneuten Schließen des Preventers auf. Die Leitfähigkeitsspitzen waren dabei um so höher, je größer die Eintauchtiefe war (Abb. 9).

Die Umstellung auf die jeweils nächste Eintauchtiefe erforderte, daß der Preventer für einige Minuten geöffnet werden mußte. Dadurch wurde eine Umkehrung der Fließrichtung im Ringraum bewirkt. Beim Schließen des Preventers wurden dann „Wolken" höher konzentrierten Wassers, die zuvor aus dem tieferen Bohrloch bis zur Öffnung des Gestängerohrs hatten aufsteigen können, und sich – in der Leitfähigkeit kaum bemerkbar machend – der Hauptmasse des Wassers beimischten, in diesem durch den Druck der Hauptzuflußzone nach oben befördert.

Der Preventerversuch zeigte erneut, daß unterhalb ca. 750 m Teufe höher konzentrierte Wässer auftreten, und zwar offensichtlich in zwei Abschnitten. Der erste reicht dabei bis unterhalb 808 m, der zweite von 864–974 m.

Das Registrierdiagramm auf Abbildung 9 ist jeweils in der Nacht vom 27. 8. / 28. 8. und 28. 8. / 29. 8. 1973 nicht dargestellt. In diesen Zeiträumen wurde registriert, es zeigte sich jedoch keine Veränderung.

Auf Abbildung 9 fällt auf, daß während des Umbaus ein Abfall der Leitfähigkeit auftritt, und zwar in Eintauchtiefen unterhalb der Stufe 753 m. Dabei treten bei den Stufen 808–864 m, 864–916 m und 916–974 m zunehmend geringere Leitfähigkeiten auf. Diese rühren daher, daß in der Umbauphase freier Auslauf aus Ring-

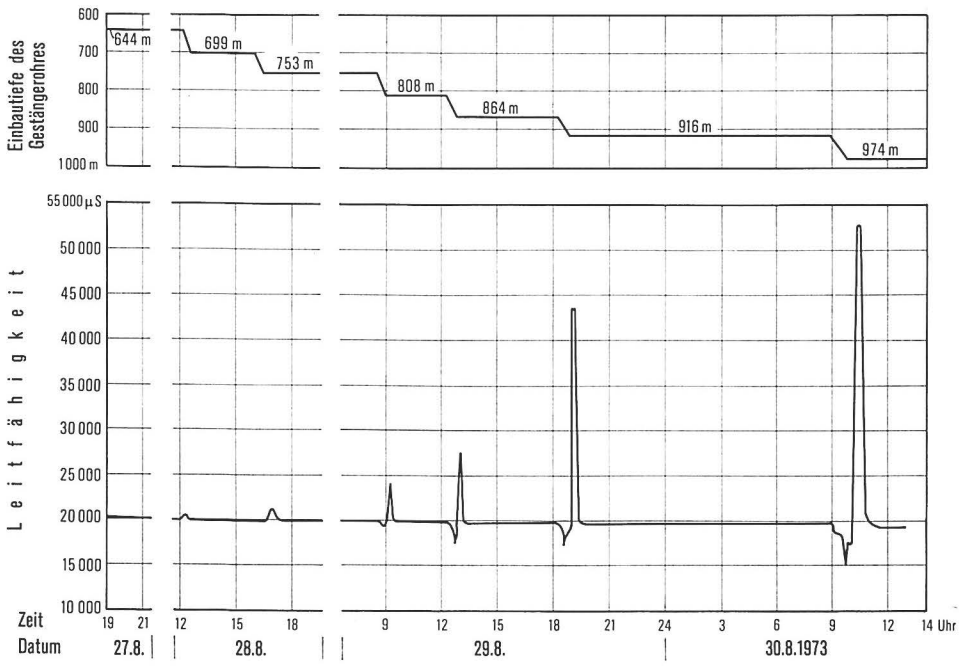


Abb. 9. Leitfähigkeit beim Preventerversuch

raum und Gestängerohr, etwa im Verhältnis 10:1, erfolgte. Beide Wässer mischten sich und wurden bei der Leitfähigkeitsregistrierung erfaßt. Dabei fließen nach Öffnen des Preventers offensichtlich zunächst bevorzugt Wässer aus der Teufe bis 770 m zu, die geringere Konzentrationen (vgl. LANGGUTH & MICHEL 1977), aber fast 50% des Gesamtauslaufes haben und die sich bei geschlossenem Preventer im Ringraum ansammeln.

Die nachträgliche Auswertung des Preventerversuches zeigt, daß die Versuchsanordnung, wie z. B. Auswahl der Eintauchtiefen, hätte effektiver sein können. Dadurch hätten weitere Informationen gewonnen werden können. Einerseits war jedoch die zur Verfügung stehende Zeit begrenzt, andererseits sind die Interpretationsmöglichkeiten den Autoren zum Zeitpunkt des Versuchs nicht bekannt gewesen.

4.3. Freier Auslauf aus Ringraum und Gestängerohr (2. Doppelrohrversuch)

Der Versuchsaufbau ist aus Abbildung 4 ersichtlich. Zu den jeweiligen Probenahmen bei den einzelnen Einbautiefen kam eine fortlaufende Registrierung der elektrischen Leitfähigkeit im Gestängerohr. Beim Ablauf aus dem Ringraum wurde die elektrische Leitfähigkeit ebenfalls mit beobachtet.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 umgezeichnet nach den Originalregistrierungen unter Angabe der repräsentativen Werte für die einzelnen Einbaustufen dargestellt worden. Dabei wurden die durch den Umbau offensichtlich verursachten Störungen, ersichtlich auf Abbildung 11, eliminiert.

Der Versuch wurde am 4. September um 13.00 Uhr begonnen und am 7. September um 13.00 Uhr beendet. Im Gegensatz zum 1. Doppelrohrversuch wurde dieser Versuch von unten nach oben gefahren. Das Gestänge wurde langsam bis zur jeweils nächsten Stufe ausgefahren, um mögliche Störungen der Fließvorgänge im Bohrloch zu vermeiden. Dazu wurde das Gestänge anfangs in eine Tiefe von über 1000 m eingefahren.

Bis 1000 m Teufe erfolgte beim Herausziehen kein freier Auslauf aus dem Gestängerohr. Bei 974 m wurde über den Schlauch, der vom Krümmer zum Meßtank führte (vgl. Abb. 4), durch kurzzeitiges Schließen des Preventers ein Überlauf aus dem Innenrohr hergestellt. Ab 956 m aufwärts herrschte freier Auslauf auch im Gestängerohr. Das Gestänge wurde im Versuchsverlauf zugweise bis in eine Tiefe von 716 m aufgezogen. Dort wurde der Versuch am 7. 9. 1973 bei übereinstimmender chemischer Beschaffenheit von Überlauf aus Gestängerohr und Ringraum abgebrochen (vgl. Abb. 11).

Während des Versuches wurden Ergiebigkeitsmessungen aus Gestängerohr und Ringraum durchgeführt (Abb. 12). Der freie Auslauf aus dem Ringraum fiel von 63,4 l/s (228,24 m³/h) bei 974 m auf 57,2 l/s (205,92 m³/h) bei 750 m. Der Überlauf aus dem Gestängerohr schwankte zwischen 5,2 und 9 l/s (18,7 und 31,4 m³/h).

Ergebnisse für die Zusammensetzung des Mineralwassers

Die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit und die Bestimmungen des Chloridgehalts im 2. Doppelrohrversuch (vgl. Abb. 10 und 11) bestätigen erneut (vgl. Kapitel 4.1. und 4.2.) das Zufließen von Solen unterschiedlicher Konzentration und liefern neue Anhaltspunkte für deren prozentuale Beteiligung am Gesamtüberlauf.

Beim 2. Doppelrohrversuch lief die Bohrung in den einzelnen Stufen ohne Schließen des Preventers jeweils ausreichende Zeiten von 1 und 17 Stunden (vgl. Abb. 11) zwischen den einzelnen Eintauchtiefen frei über. Beim 1. Doppelrohr-

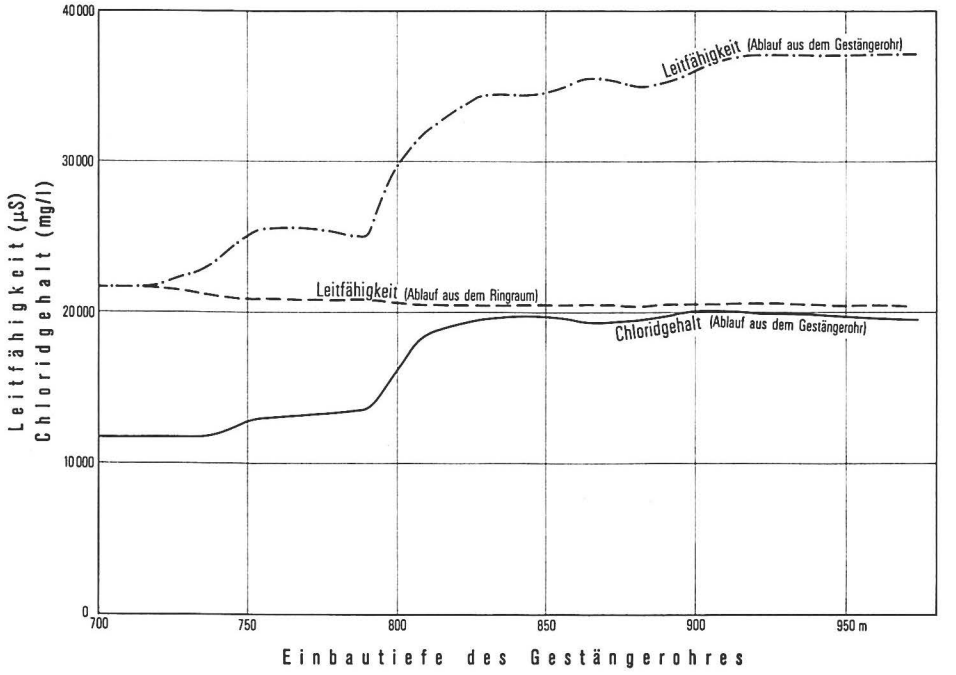


Abb. 10. Leitfähigkeit und Chloridgehalt beim 2. Doppelrohrversuch

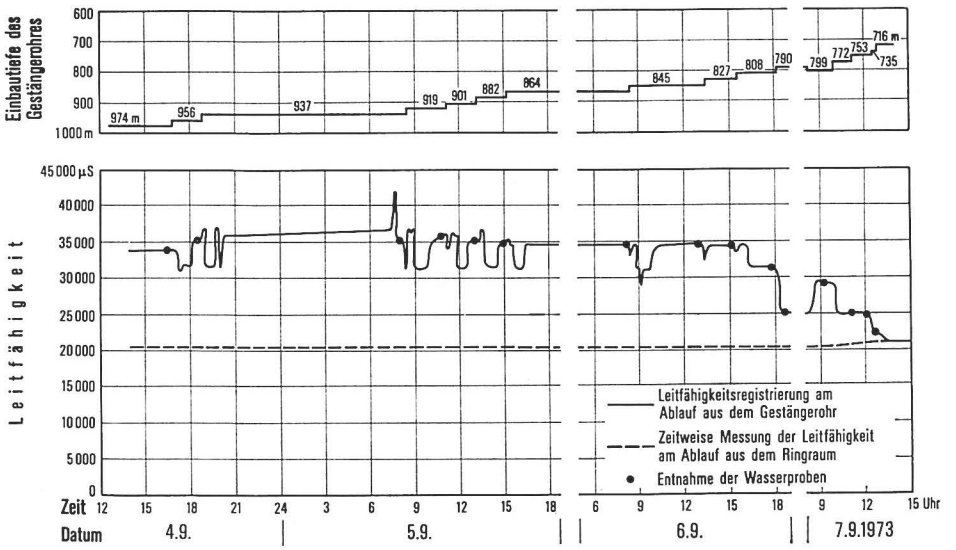


Abb. 11. Leitfähigkeit, Einbautiefe des Gestängerohres und Probennahme beim 2. Doppelrohrversuch

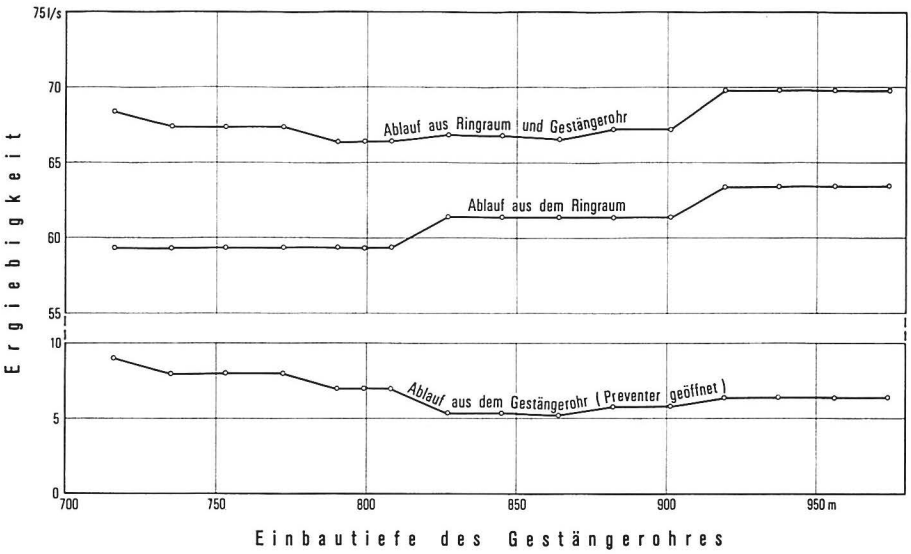


Abb. 12. Ergiebigkeit während des 2. Doppelrohrversuches

versuch mußte der freie Überlauf zwischenzeitlich durch Schließen des Preventers jeweils unterbrochen werden. Diese besonderen Versuchsbedingungen schließlich führten dazu, daß einmalig ein Wasser beprobt werden konnte, das in seiner Konzentration in Bad Oeynhausen noch nicht bekannt war (LANGGUTH & MICHEL 1977).

Das im 1. Doppelrohrversuch festgestellte Ansteigen von Chloridgehalt, Leitfähigkeit und Dichte mit der Tiefe (vgl. Abb. 6) wurde aus Einzelproben, entnommen bei den einzelnen Einbaustufen, abgeleitet. Dies zeigt sich auch bei der Registrierung während des 2. Doppelrohrversuches bei Chloridgehalt und Leitfähigkeit im Überlauf des Ringraumes und des Gestängerohres (Abb. 10).

Es konnte jedoch ein Wasser mit einem Chloridgehalt von $>$ 70 000 mg/l nicht wiedergefunden werden. Dabei handelte es sich offensichtlich um eine besonders glückliche Probenahme einer hochkonzentrierten „Wolke" von Sole, die durch das Öffnen und Schließen des Preventers im Gestängerohr aufstieg. Bei den gleichmäßigen Versuchsbedingungen beim 2. Doppelrohrversuch war offensichtlich stets ausreichende Zeit für das Mischen der Wässer im Bohrloch selbst gegeben.

Auf Abbildung 10 zeigt sich eine Zunahme des Chloridgehalts und der Leitfähigkeit mit der Tiefe der im Gestängerohr überlaufenden Sole, vorwiegend in drei Bereichen, nämlich von 735–753 m, von 790–827 m und von 882–919 m.

Der Chloridgehalt zeigt dabei nicht die gleiche klare Abstufung, die bei der Leitfähigkeit festzustellen ist. Nur der Anstieg von 790–827 m ist bei beiden prägnant, dagegen ist ein Ansteigen der Kurve der Chloride bei 735–753 m und 864 bis 901 m nur gedämpft erkennbar. Dieser Unterschied läßt sich dadurch erklären, daß die jeweiligen Werte für die Leitfähigkeit als stabilisierte Werte nach der Registrierung festgelegt werden konnten, während die Chloridwerte vom Zeitpunkt der Probenahme abhängen und teilweise auch höhere Analysenfehler haben können.

Die Leitfähigkeit, die im Überlauf aus dem Ringraum gemessen wurde und als dritte Kurve in Abbildung 10 aufgetragen ist, bleibt in Einbautiefen unter 808 m praktisch mit 20 500 µS konstant, um sich dann den im Gestängerohr-Überlauf gemessenen Werten anzunähern. Bei 716 m vereinigen sich schließlich beide Kurven zu einem konstanten Wert von 21 750 µS und weisen so darauf hin, daß unterhalb bereits eine vollständige Vermischung aller Zuflüsse erfolgt ist.

Im Verlauf des 2. Doppelrohrversuches förderte das Gestängerohr vorwiegend Mischsole aus dem Bereich und unterhalb der Einbautiefe mit wahrscheinlich geringeren Anteilen aus den darüberliegenden produktiven Zonen. Im Ringraum lief dagegen stets ein Mischwasser über, das sich überwiegend aus den relativ niedrig konzentrierten, mengenmäßig aber überragenden Zuflüssen der oberen Zonen (vgl. Kapitel 3.1.) und wahrscheinlich geringen Anteilen aus höher konzentrierten tieferen Zuflüssen zusammensetzt. Dabei sind natürlich auch Anteile der Zuflüsse des unteren Bohrlochbereiches enthalten, die nicht von der Einlaßöffnung des Gestängerohres aufgrund seines zu geringen Querschnittes erfaßt werden.

Ergebnisse der Ergiebigkeitsmessungen

Der Überlauf aus dem Gestängerohr (Abb. 12) zeigte ein unerwartetes Verhalten, das bereits beim 1. Doppelrohrversuch beobachtet wurde. Im tiefsten Bereich von 974–919 m bleibt er praktisch mit 6,4 l/s konstant. Bei 901 m Einbautiefe fällt er deutlich ab, um zwischen 864 und 827 m einen Tiefstwert mit 5,2 l/s zu erreichen. Danach, ab 808 m, steigt er stufenweise auf schließlich 9 l/s bei 716 m an.

Die Schüttung aus dem Ringraum zeigt von 974–919 m Einbautiefe des Gestängerohres die höchsten Werte um 63 l/s. Danach sinkt sie in zwei Stufen von 901–827 m sowie 808–716 m auf rd. 61,5 l/s bzw. 59 l/s ab. Die Summe beider Ausflüsse zeigt das gleiche Bild wie der Ausfluß aus dem Gestängerohr. Mit abnehmender Einbautiefe sinkt sie von 70 l/s auf ein Minimum von rd. 66 l/s bei 808 m ab, um dann auf einen Endwert von 68 l/s zu klettern. Der Anfangswert wird demzufolge nicht mehr erreicht. Diese Erscheinung kann zunächst nicht schlüssig erklärt werden. Eine spezielle Untersuchung ist vorgesehen. Dabei sind zu berücksichtigen:

- Auswirkungen der Auslauf – Zeit-Vorgänge (vgl. Kap. 3.2.). Der Ablauf aus der Bohrung war vor dem Versuch ca. vier Tage gesperrt.
- Gaslift. Nach Kampe (1922) und Schaefer (1964) stellt der Gaslift die oberhalb des Grenzdrucks durch Expansionsarbeit des Gases geschaffene Mehrleistung einer gasführenden Quelle dar.
- Rohrreibung
- Strömungsvorgänge
- unterschiedliche Dichte der Wässer (Konzentrationsdifferenz)

4.4. Ermittlung der Ergiebigkeitslinie (U. Schwartz)

Die Ergiebigkeitslinie einer Quelle bzw. eines artesischen Brunnens stellt den Zusammenhang zwischen Ergiebigkeit und Spannungshöhe dar. Unter Ergiebigkeit ist die in der Zeiteinheit auf einer bestimmten Spannungshöhe aus dem Fassungsrohr frei ausfließende Wassermenge zu verstehen. Spannungshöhe und Auslaufhöhe sind bei nicht gedrosseltem Auslauf identisch. Jede Drosselung hebt die Spannungshöhe, mindert die Ergiebigkeit und kann zu Fehlern bei Ergiebigkeitsmessungen führen.

Die Ergiebigkeitslinie ist bei der Beurteilung von Fragen der Fassung, der Nutzung und des Quellenschutzes unentbehrlich.

Wenn einer Bohrung aus einem oder mehreren Horizonten gespanntes Kluftgrundwasser gleichen Druckniveaus zufließt und in ihr aufsteigt, ist die Ergiebigkeitslinie eine Parabel. Der Parabelscheitel entspricht dem piezometrischen Niveau (PN), das ist die abflußlos eingestaute Spiegelhöhe oder der Ruhewasserspiegel.

Die Ergiebigkeit gasfreier Mineralquellen wird nach der Formel von KAMPE

$$e^2 = c \cdot h$$

berechnet (PRINZ & KAMPE 1934: 185). Dabei bedeuten: e = Ergiebigkeit, h = Spannungshöhe und c einen Wert, der die Fließwiderstände kennzeichnet.

Unter anderen Bedingungen, z. B. bei teilweiser Versinterung offener Klüfte, nähert sich die Kurve einer Geraden. Falls die Zuflüsse aus zwei oder mehreren Horizonten unterschiedlichen Druckniveaus erfolgen, verläuft die Ergiebigkeitslinie unregelmäßig (PRINZ & KAMPE 1934: 185). Somit ist zu folgern, daß allein aus zwei Meßwerten eine zuverlässige Ergiebigkeitslinie weder konstruiert noch errechnet werden kann.

Die Ergiebigkeitslinie des Alexander-von-Humboldt-Sprudels (Abb. 13) wurde in der Zeit vom 9.–26. 8. 1973 durch Stauversuche ermittelt. Der Versuchsaufbau ist aus Abbildung 14 ersichtlich. Das Bohrloch war bis 673,4 m Tiefe mit Stahlrohren (Innendurchmesser 250 mm) verrohrt. Einen Meter unter Gelände betrug der Schließdruck 8 bar. Damit liegt das piezometrische Niveau (PN) 79 m über Gelände (ca. 149 m ü. NN).

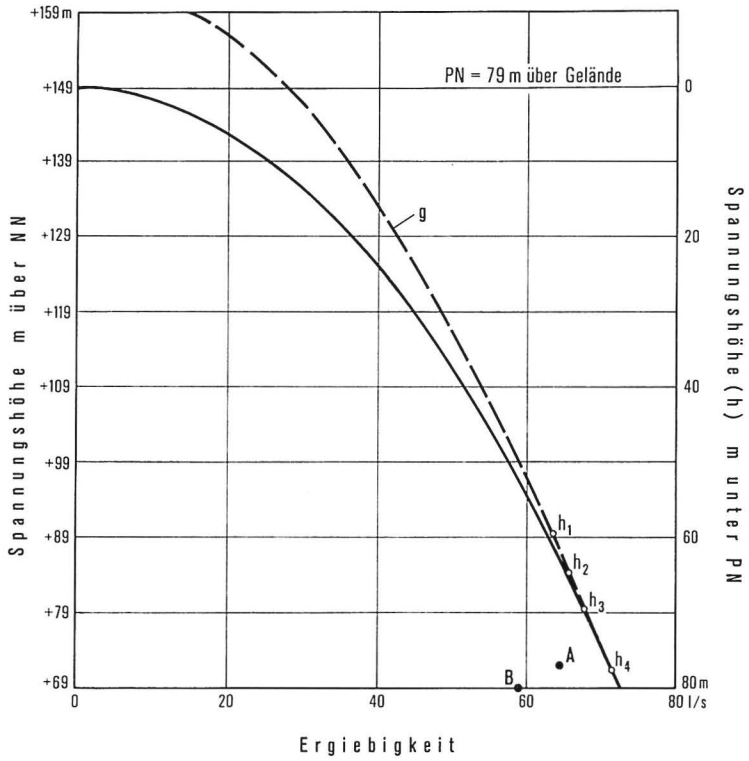


Abb. 13. Ergiebigkeitslinie

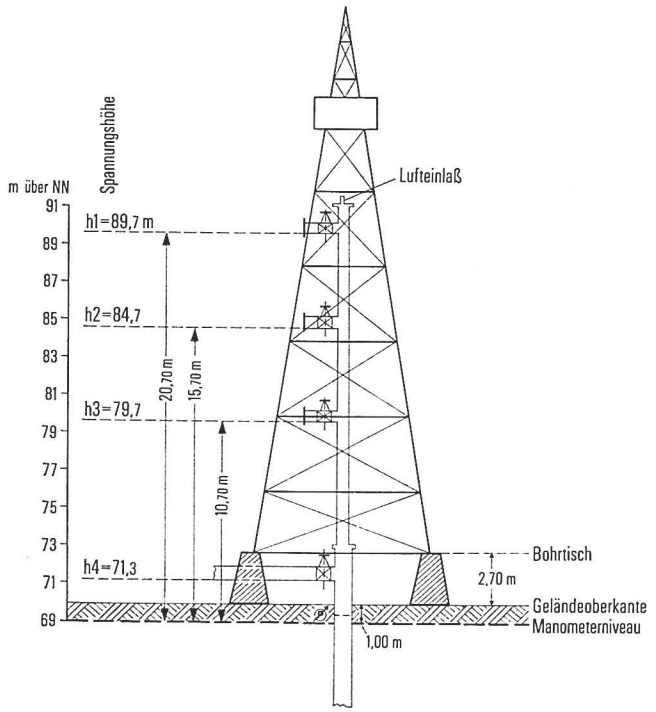


Abb. 14. Versuchsaufbau bei den Stauversuchen

Die Ergiebigkeitswerte wurden in vier verschiedenen Spannungshöhen wie folgt ermittelt:

Spannungshöhe (m unter PN)	Ergiebigkeit (l/s)
h_1 = 59,3	63,3
h_2 = 64,3	65,4
h_3 = 69,3	67,4
h_4 = 77,7	71,4

Die Fließgeschwindigkeit im Quellschlot lag danach zwischen 1,3 m/s und 1,45 m/s.

Der obere Kurvenverlauf konnte durch Mengenmessungen nicht belegt werden, weil aus technischen Gründen eine Erhöhung des Aufstaues auf mehr als 20 m nicht möglich war. Die Verlängerung der Kurve nach oben ergibt sich nach Rechnungen mit der Formel $e^2 = c \cdot h$.

Das mit einem Manometer gemessene piezometrische Niveau entspricht dem Niveau gasfreier Quellen, denn bei geschlossenem Schieber und einem statischen Druck von 8 bar ist das gesamte CO_2-Gasdargebot in Lösung. Im Fließzustand erfolgt Gasentbindung oberhalb des Grenzdruckniveaus, welches nach Gradiomanometermessungen (Fa. Schlumberger) bei ca. 100 m Tiefe liegt. Das Gas — Sole-Gemisch ist spezifisch leichter als die Sole. Demzufolge muß das Ergiebigkeitsminimum oberhalb des dargestellten piezometrischen Niveaus liegen. Hieraus ergibt sich eine steilere Kurve (g), deren mutmaßlicher Verlauf in der Abbildung 13

gestrichelt dargestellt ist. Die Gasergiebigkeit des Alexander-von-Humboldt-Sprudels konnte bisher nicht ermittelt werden. Eine nähere Bestimmung der Ergiebigkeitslinie war daher nicht möglich.

Nach endgültigem Ausbau des Alexander-von-Humboldt-Sprudels mit Hagusta-Rohren (Innendurchmesser 162,8 mm) bis 652,4 m Tiefe betrug in der Zeit vom 9.—13. 2. 1974 bei einer Spannungshöhe von 77 m die Ergiebigkeit 64,8 l/s und die Fließgeschwindigkeit 3 m/s (Abb. 13: Punkt A). Diese Verdoppelung der Fließgeschwindigkeit bedingt eine Vervierfachung des Strömungswiderstandes im Quellschlot, der bei gasführenden Quellen und annähernd optimalem Schlotquerschnitt weitgehend kompensiert wird. Die Ergiebigkeitsabnahme ist daher nur geringfügig.

Nach zweijähriger Betriebszeit wurden zwischen Oktober 1975 und Juni 1976 bei Schließdrücken von 7,4 bar Mindestergiebigkeiten von 58,3 l/s gemessen (Abb. 13: Punkt B).

Die Ergiebigkeitslinie kennzeichnet somit Maximalwerte. Zukünftige Beobachtungen werden erweisen, inwieweit das Druck- und Ergiebigkeitsverhalten des Alexander-von-Humboldt-Sprudels davon abweicht.

5. Schriftenverzeichnis

KAMPE, R. (1922): Zur Mechanik gasführender Quellen. — Ing.-Z., **2**: 1—8, 7 Abb.; Teplitz-Schönau.

KESSLER, H. (1959): Lineare Meßwehre für Quellschüttungen. — Steir. Beitr. Hydrogeol., N.F., **1959:** 81—87, 4 Abb.; Graz.

LANGGUTH, H. R., & MICHEL, G. (1977): Hydrochemische Untersuchungen am Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 165—183, 6 Abb., 5 Tab.; Krefeld.

PRINZ, E., & KAMPE, R. (1934): Handbuch der Hydrologie, **2**: Quellen (Süßwasser- und Mineralquellen). — 290 S., 274 Abb.; Berlin (Springer).

SCHAEFER, H. (1964): Vereinfachte Berechnung der Leistungskurve von Schloten gasführender Quellen. — Heilbad u. Kurort, **16**: 8—11, 3 Abb.; Gütersloh.

Eingang des Manuskriptes: 13. 10. 1976

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 165–183, 6 Abb., 5 Tab.	Krefeld, Nov. 1977

Hydrochemische Untersuchungen am Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen

Von Horst Robert Langguth und Gert Michel *

Mineral water, drilling, hydrochemistry, carbon-dioxide, chloride, sulphate, chemical-analysis, Northwest German Mesozoic Hills (Bad Oeynhausen)

Kurzfassung: Die aus dem Alexander-von-Humboldt-Sprudel (1034 m tief) in Bad Oeynhausen artesisch ausfließende kohlensäurehaltige Sole wurde eingehend hydrochemisch untersucht. Die Entnahmebedingungen der Proben werden beschrieben und die Ergebnisse der Analysen tabellarisch und zum Teil graphisch mitgeteilt und diskutiert. Die relativ schwach konzentrierte Sole (2,4%ig) ist an Sulfaten übersättigt (3500–4000 mg/l SO_4).

Die Solezuflüsse aus den verschiedenen Bohrlochabschnitten zeigen signifikante hydrochemische Unterschiede, so daß am Ausfluß eine Mischsole vorliegt. 34 Analysen incl. der Großen Heilwasseranalyse (Institut Fresenius, Taunusstein) werden mitgeteilt.

[Investigations on the hydrogeochemistry of the Alexander-von-Humboldt-Sprudel]

Abstract: In 1973 in Bad Oeynhausen/East Westphalia the Alexander-von-Humboldt-Sprudel was drilled to a depth of 1034 m.

The hydrogeochemistry of the discharged artesian mineral water of 35° C which is rich in CO_2 content was studied in detail. The conditions of water sampling are described. The results of the analyses are presented in tables and diagrams and discussed. The mineral water is a relatively low concentrated brine (2,4%) oversaturated with sulphates (3500–4000 ppm SO_4).

The hydrochemical differences of the mineral waters of different discharging zones in the borehole are significant. The mineral water at the outflow is a mixed brine. In this publication 34 analyses are presented including the so-called "Große Heilwasseranalyse" (complete analysis of mineral waters for medical purposes decreed by German law) which was executed by the Fresenius Institute, Taunusstein.

[Observations sur la composition chimique de l'eau minérale d'Alexander-von-Humboldt-Sprudel]

Résumé: La composition chimique de l'eau thermominérale carbogazeuse à débit artésien du nouveau forage Alexander-von-Humboldt-Sprudel à Bad Oeynhausen était examinée en détail. Les conditions pendant l'échantillonnage sont décrites; les résultats de 34 analyses présentées sous forme de tables et de graphiques en partie sont discutés.

Cette saumure au sens balnéologique a une concentration relativement faible (2,4%); elle est sursaturée en sulfates (3500–4000 mg/l SO_4).

Les apports d'eau minérale dans les diverses profondeurs du forage ont une composition chimique différante. L'eau à l'exutoire est donc une «eau mixte». Enfin l'analyse chimique complète de l'Institut Fresenius, Taunusstein, prescrite d'office pour les stations balnéaires («Große Heilwasseranalyse») est référée.

---

* Anschrift der Autoren: Prof. Dr. H. R. Langguth, Lehrgebiet für Hydrogeologie der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Templergraben 55, 5100 Aachen; Dr. G. Michel, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

1. Vorbemerkungen

Am 27. Juni 1973 wurde der Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen (TK 25, Blatt 3716 Bad Oeynhausen, R 86 160, H 85 200) in etwa 750 m Tiefe stark fündig. Es flossen aus Klüften des Mittleren Buntsandsteins (Solling-Folge) 117 m³/h Thermalsole artesisch aus. Die Bohrarbeiten wurden am 26. Juli 1973 bei 1034 m Tiefe eingestellt, nachdem zwischenzeitlich bis zu 210 m³/h angetroffen worden sind (Michel 1975). Spezielle Ergiebigkeitsmessungen, ergänzt durch hydrochemische Untersuchungen, fanden im August und im September 1973 statt (Langguth & Leichtle 1977). Die Ausbauarbeiten verzögerten sich und konnten erst im Januar und Februar 1974 abgeschlosen werden.

Soweit es die technische Durchführung der Bohrarbeiten ermöglichte, wurden Mineralwasserproben zur Bestimmung der wichtigsten Inhaltstoffe entnommen, und zwar bis zum Februar 1974 rund 30 Proben. Eine große Heilwasseranalyse, ausgeführt vom Institut Fresenius, Taunusstein, liegt vom 17. 12. 1974 vor.

Nachstehend werden die Entnahmebedingungen der Proben beschrieben und die Ergebnisse der Analysen tabellarisch mitgeteilt und diskutiert. Eine Bewertung und vorläufige Deutung der Ergebnisse schließt sich an.

Tabelle 1

Soleproben, entnommen während des Abteufens bei bestimmten Bohrlochtiefen

Analyse	1	2	3	4	5	6
Entnahmetiefe (m)	600	722	769	780	813	973
Entnahmedatum	15. 5. 1973	15. 6. 1973	28. 6. 1973	29. 6. 1973	7. 7. 1973	23. 7. 1973
Analytiker	4)	4)	4)	3)	2)	4)
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/kg)	(mg/l)
Kationen						
Na^+	7750	7290	5100	6480	–	6800
K^+	78	86	50	76	–	64
Ca^{2+}	999	923	914	1235	1324	994
Mg^{2+}	292	270	176	292	n. b.	305
Anionen						
Cl^-	10666	9786	6311	9680	10125	9644
SO_4^{2-}	4246	4253	3787	3240	3578	3453
HCO_3^-	1464	1403	915	1330	1300	805
Ionensumme	25380	24014	17255	22333	16338	22067
Leitfähigkeit (μS)	–	–	14000	26000	22100	–
Ionenstärke	0,4942	0,4659	0,3470	0,4428	–	0,4379
Temperatur (°C)	–	25,8	35,4	36,3	36,3	36,3

1) Institut Fresenius, Taunusstein

2) K. Höll, Laboratorium für Wasseruntersuchung, Hannover

3) H. R. Langguth, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen

4) H. Werner, Geologisches Landesamt Nordrh.-Westf., Krefeld

2. Angaben zur Entnahme der Proben

Es war vereinbart worden, während der Erschließungsarbeiten möglichst viele Daten zur hydrochemischen Kennzeichnung und Beurteilung der neu erbohrten Sole und damit auch für das gesamte Solevorkommen von Bad Oeynhausen zu erhalten. Zum großen Leidwesen der wissenschaftlichen Berater war dies jedoch während der Bohrarbeiten nur beschränkt möglich, da mit Dickspülung gebohrt wurde. So konnten bis 600 m Tiefe eventuell vorhandene Zuflüsse weder erkannt noch untersucht werden. Erst als die Sole aus dem Bohrloch frei ausfloß, war es bei längerer Unterbrechung der Bohrarbeiten, z. B. an Wochenenden, möglich, bei bekannter Bohrlochtiefe sechs weitgehend unbeeinflußte Soleproben für chemische Untersuchungen zu entnehmen (Tab. 1: Analysen 1–6).

Nach Erreichen der Endteufe von 1034 m wurde am 2. 8. 1973 der sogenannte 1. Doppelrohrversuch durchgeführt (Langguth & Leichtle 1977). Das 92-mm-Bohrgestänge (= „Innenrohr") wurde unterhalb der einbetonierten 273-mm-Schutzverrohrung (= „Außenrohr") von oben nach unten nacheinander in 17 verschiedene Tiefen zwischen 644 und 974 m eingefahren. Bei geschlossenem Preventer konnte die Sole somit nur durch das Bohrgestänge ausfließen, und zwar so, daß nach einer gewissen Zeit oben am Ausfluß Sole aus der Nachbarschaft der jeweiligen Eintauchtiefe des Gestängerohrendes ausströmen mußte. Von diesem Versuch sind außer den laufenden Bestimmungen an Ort und Stelle fünf Vollanalysen

Tabelle 2

Soleproben, entnommen beim 1. Doppelrohrversuch

Analyse	7	8	9	10	11
Eintauchtiefe des Innenrohrs (m)	732	804	840	894	938
Entnahmedatum	2. 8. 1973	2. 8. 1973	2. 8. 1973	2. 8. 1973	2. 8. 1973
Analytiker	3)	3)	3)	3)	3)
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Kationen					
Na^+	8225	10740	15290	47130	14480
K^+	81	93	129	247	120
Ca^{2+}	1130	1259	1347	1074	1283
Mg^{2+}	402	214	341	462	341
Anionen					
Cl^-	13000	16120	23340	70800	22060
SO_4^{2-}	2958	3500	3800	5700	3700
HCO_3^-	1311	1403	1647	1982	1598
Ionensumme	27107	33329	45894	127395	43582
Leitfähigkeit (μS)	28900	30000	42000	95000	37500
Ionenstärke	0,5255	0,6274	0,8520	2,2580	0,8105
Temperatur (°C)	36,2	36,2	36,2	36,2	36,2

3) s. Tabelle 1

Tabelle 3

Soleproben, entnommen beim 2. Doppelrohrversuch

Analyse	12	13	14	15	16	17	18
Eintauchtiefe des Innenrohres (m)	974	956	938	919	901	882	864
Entnahmedatum und Uhrzeit	4. 9. 1973 16.30	4. 9. 1973 17.00	4. 9. 1973 18.45	5. 9. 1973 8.30	5. 9. 1973 11.00	5. 9. 1973 15.00	6. 9. 1973 8.15
Analytiker	4)	4)	4)	4)	4)	4)	4)
Entnahmebedingung	I	I	I	A	I	I	I
I = Auslauf Innenrohr A = Auslauf äußerer Ringraum							
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Kationen							
Na^+	12188	12395	12947	7773	12878	12004	12326
K^+	150	88	125	160	88	50	125
Ca^{2+}	1459	866	702	946	1285	1570	1502
Mg^{2+}	483	800	753	306	448	565	424
Anionen							
Cl^-	19572	19643	19891	10992	20033	19572	19360
SO_4^{2-}	3875	3889	3907	4029	4009	3917	4021
HCO_3^-	873	964	1269	1318	1031	970	1239
Ionensumme	38603	38649	39597	25527	39776	38651	39000
Leitfähigkeit (μS)	37100	37100	36300	29000	36200	35000	35500
Ionenstärke	0,7433	0,7456	0,7523	0,4931	0,7566	0,7520	0,7463
Temperatur (°C)					schwankte zwischen 36,5 und 36,6		

4) s. Tabelle 1

angefertigt worden (Tab. 2: Analysen 7–11). Das Ergebnis der Analyse 10 übertraf unsere kühnsten Erwartungen: Diese Probe bei einer Eintauchtiefe von 894 m wies eine Konzentration von über 10% auf!

Dadurch ermutigt, wurde vom 4.–7. 9. 1973 der Versuch mit abgeänderten Bedingungen wiederholt. Bei diesem 2. Doppelrohrversuch ist das Gestänge, also das sogenannte Innenrohr, zwischen 974,2 und 716 m von unten nach oben bewegt worden. Hierbei wurden aus dem Innenrohr 15 Proben gewonnen (Tab. 3: Analysen 12–14, 16–23, 25–27). Aus drei Tiefen (919 m, 790 m, 716 m) ist bei geöffnetem Preventer auch der Ausfluß aus dem Ringraum (92 m/273 m) untersucht worden, um die chemischen Unterschiede zwischen den beiden Ausflüssen zu erkennen (Tab. 3: Analyse 15, 24 und 28).

Vor und nach dem Einbau der 160-mm-Hagusta-Rohre bis 652 m Tiefe wurden noch sechs weitere Vollanalysen angefertigt (Tab. 4: Analysen 29–34), darunter die „Große Heilwasseranalyse" vom Institut Fresenius (Tab. 5), für die am 17. 12. 1974 unter Betriebsbedingungen Sole entnommen wurde.

Die Entnahmezeiten und -bedingungen sowie Bezugstiefen sind auf der Abbildung 1 zusammengefaßt dargestellt.

Tabelle 3 (Fortsetzung)

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
845	827	808	799	790	790	772	753	735	716
6. 9. 1973 12.45	6. 9. 1973 13.15	6. 9. 1973 16.40	7. 9. 1973 9.15	7. 9. 1973 8.15	7. 9. 1973 8.30	7. 9. 1973 11.10	7. 9. 1973 12.15	7. 9. 1973 12.35	7. 9. 1973 13.15
4)	4)	4)	4)	4)	4)	4)	4)	4)	4)
I	I	I	I	I	A	I	I	I	A
(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
12510	12280	11659	10234	9000	7129	8624	8000	7000	7589
150	125	140	38	63	48	50	50	50	50
1545	1459	1529	1146	705	1020	1212	1015	946	1161
399	402	360	468	558	407	322	448	473	269
19785	19501	18331	15956	13615	10814	13332	12977	11701	11594
3859	3877	3839	3772	3634	3428	3571	3601	3508	3452
1263	805	1318	873	848	1220	854	873	842	781
39514	38472	37179	32491	28427	24069	27968	26967	24523	24900
34500	34300	31800	29500	25000	n. b.	25500	25400	22700	21600
0,7536	0,7368	0,7105	0,6294	0,5522	0,4731	0,5445	0,5272	0,4839	0,4875

Zum besseren Verständnis der Analysenergebnisse sind vorher einige Zusammenhänge aufzuzeigen.

Die Mineralwässer von Bad Oeynhausen, mit Ausnahme des Wittekind-Brunnens, können nach den „Begriffsbestimmungen" (1972) als Sole gekennzeichnet werden: Sie weisen einen Mindestgehalt von je 240 mval Natrium und Chlorid in einem Kilogramm Wasser auf (entsprechend 5,5 g Natrium- und 8,5 g Chlorid-Ionen). Die Sole aus den flachen Fassungen (der stillgelegte Bülow-Brunnen und die Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle) ist kalt, aber am höchsten konzentriert (8%). Die Sole aus den tiefen Fassungen (Solebohrungen I, IV und V) ist wärmer, jedoch schwächer konzentriert (3,5—4,5%), und die Sole aus den tiefsten Bohrungen (Jordan-Sprudel und Alexander-von-Humboldt-Sprudel) überschreitet den geforderten Mindestgehalt nur wenig (2,5—3%).

Die Sulfatgehalte sind in allen Solen etwa gleich hoch, nämlich etwa 3500—4000 mg/kg. Die relativ schwach konzentrierten Solen aus den tiefen Brunnen sind entsprechend an gelösten Sulfaten übersättigt, und bereits geringfügige Änderungen der hydrodynamischen und thermischen Verhältnisse bedingten Auskristallisationen von Gips (Fricke 1972). Dieser Vorgang ist zwar in seiner Ursächlichkeit prinzipiell

Tabelle 4

Chemische Analysen nach Beendigung der Bohrarbeiten und des Ausbaus

Analyse	29	30	31	32	33	34
Entnahmedatum	10. 9. 1973	26. 9. 1973	13. 2. 1974	17. 12. 1974	9. 9. 1975	29. 1. 1976
Analytiker	2)	4)	4)	1)	2)	4)
	(mg/kg)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/l)
Kationen						
Na^+	7050	7400	7600	6526	6490	6462
K^+	52	50	75	68	55	62
Ca^{2+}	1341	1048	1374	1233	1246	1180
Mg^{2+}	247	407	326	231	184	248
Anionen						
Cl^-	10681	11701	11524	9678	9502	9644
SO_4^{2-}	3522	3382	3604	3554	3538	3643
HCO_3^-	1294	946	1147	1214	1208	903
Ionensumme	24244	24938	25652	22592	22269	22142
Leitfähigkeit (μS)	–	–	–	–	–	–
Ionenstärke	0,4764	0,4905	0,5085	0,4442	0,4373	0,4398
Temperatur (°C)	36,4	–	36,5	35,6	–	–

1), 2), 4) } s. Tabelle 1

erkannt, es gibt aber bis jetzt noch keine realisierbare Abhilfe. Diese Inkrustationen kommen der Badeverwaltung sehr teuer zu stehen; müssen doch die Bohrungen in kurzen Zeitabständen ausgeschabt und Solerohrleitungen erneuert werden.

Auch vor diesem Hintergrund sind unsere hydrochemischen Untersuchungen zu verstehen, die mit relativ bescheidenem Mittelaufwand vor dem endgültigen Ausbau der Bohrung durchgeführt wurden.

Die untersuchten Soleproben stammen außer der Probe 1, die von einem später abzementierten Zufluß bei 600 m Tiefe stammt, aus dem Bereich zwischen 673,4 und 1034 m und sind mehr oder weniger als Mischproben aus den verschiedenen produktiven Horizonten im Bohrloch anzusehen – mit nur einigen Ausnahmen beim 1. Doppelrohrversuch.

Die Zuflußzonen im Bohrloch konnten bereits bei den Bohrarbeiten nahezu erkannt werden und wurden dann durch geophysikalische Bohrlochmessungen näher fixiert[1]. Anhand des Microlaterologs und des Gamma Ray Logs sowie der Temperatur- und der Flowmetermessung lassen sich folgende Intervalle als potentielle Aquiferbereiche erkennen, aus denen Zuflüsse erfolgen:

[1] nach freundlicher Mitteilung von Herrn Dipl.-Ing. J. Draxler, Fa. Schlumberger, Niederlassung Hannover

734–738 m, 739–745 m, 750–752 m, 754–757 m, 774–779 m,
798–802 m, 807–809 m, 812–821 m, 845–848 m.

Die Hauptmenge der Sole fließt heute sehr wahrscheinlich aus dem Bereich bis 757 m zu.

Außer den laufenden Untersuchungen an Ort und Stelle, wie Bestimmung der Temperatur, der Leitfähigkeit, der Chloridgehalte und des pH-Wertes, wurden nur die wichtigsten Lösungsgenossen analysiert, und zwar Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Chlorid, Sulfat, Hydrogencarbonat und Nitrat. Nitrat tritt nur in geringen Mengen (0–3 mg/l) auf und wird in den Tabellen 1–4 deshalb nicht genannt.

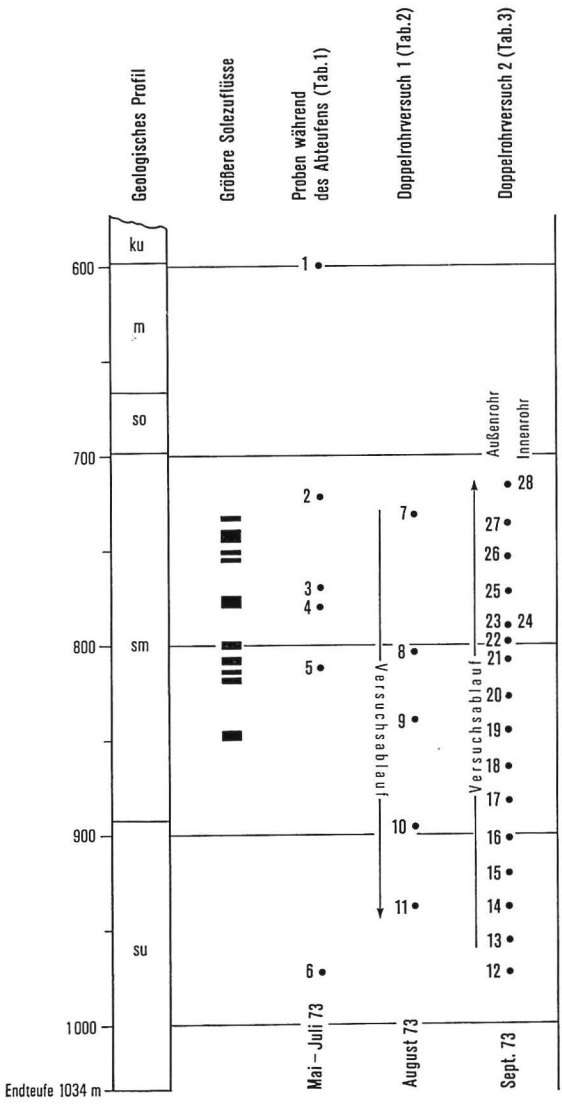


Abb. 1. Entnahmezeiten und -bestimmungen sowie Bezugstiefen der untersuchten Soleproben

Tabelle 5

Große Heilwasseranalyse des Alexander-von-Humboldt-Sprudels

Analyse	Große Heilwasseranalyse		
Entnahmedatum	17. 12. 1974		
Analytiker	1)		
	(mg/kg)	(mval/kg)	(mval%)
Kationen:			
Li^+	1.01	0,1456	0,04
Na^+	6526	283,9	77,29
K^+	68,4	1,749	0,48
Rb^+	0,082	0,00096	0,001
Cs^+	0,019	0,00014	–
NH^+	0,16	0,0089	0,002
Be^{2+}	0,003	0,00067	–
Mg^{2+}	231,2	19,02	5,18
Ca^{2+}	1233	61,53	16,75
Sr^{2+}	20,0	0,4565	0,12
Ba^{2+}	0,06	0,00087	0,001
Mo^{6+}	0,003	0,00019	–
Mn^{2+}	0,42	0,0153	0,004
Fe^{2+}	13,5	0,4835	0,13
Ni^{2+}	0,003	0,00010	–
Cu^{2+}	0,009	0,00028	–
Zn^{2+}	0,069	0,0021	0,001
Al^{3+}	0,008	0,00089	–
Kationensumme:	8093,95	367,3	100,0
Anionen:			
F^-	0,83	0,0437	0,01
Cl^-	9678	273,0	74,36
Br^-	2,72	0,0340	0,01
J^-	0,18	0,0014	–
NO_3^-	0,33	0,0053	0,001
SO_4^{2-}	3554	73,99	20,15
HPO_4^{2-}	0,010	0,00021	–
$HAsO_4^{2-}$	0,80	0,0114	0,003
HCO_3^-	1223	20,05	5,46
Anionensumme:	14459,87	367,1	100,0

in Spuren nachgewiesen:		
U	ca. 0,006	
Pb	ca. 0,0003	
Cd	ca. 0,0003	
Cr	< 0,001	
Co	< 0,001	
Ag	< 0,001	
Ge	< 0,001	
Sn	< 0,001	
H_2S	ca. 0,03	
nicht nachweisbar:		
Hg^+	–	
NO_2^-	–	
	(mg/kg)	(mmol/kg)
undissoziierte Stoffe:		
H_2SiO_3 (meta)	33,7	0,431
HBO_2 (meta)	4,31	0,0984
H_2TiO_3 (meta)	0,002	0,00002
Summe gelöste feste Stoffe:	22592	
gasförmige Stoffe:		
CO_2 (Mittelwert aus den Resultaten am Tage der Probenahme)	787	17,9
Gesamtsumme	23379	
pH-Wert	6,1	

1) s. Tab. 1

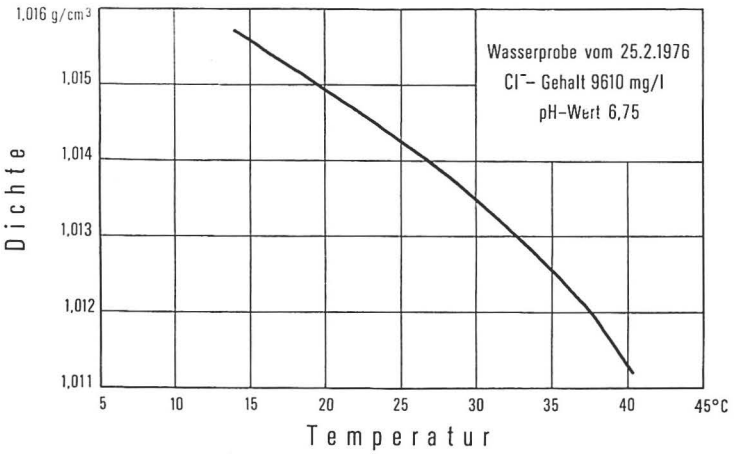


Abb. 2. Beziehung Dichte / Temperatur

Die Angaben für die Quantität der einzelnen gelösten Inhaltstoffe sowie deren Summe erfolgt in mg/l, ausgenommen die Analysen Nr. 5, 29, 32, 33. Diese wurden entsprechend den „Begriffsbestimmungen" (1972) in mg/kg angegeben. Auf Abbildung 2 ist die Beziehung Dichte/Temperatur für die Sole des Alexander-von-Humboldt-Sprudels dargestellt worden, die an frei entgastem Wasser nach dreiwöchiger Standzeit ermittelt wurde. Danach ergibt sich eine Dichte von ca. 1,015 g/cm³ bei 20° C. Ein Kilogramm dieses Wassers entspricht also rund 985 cm³. Die Analysenwerte müßten danach bei Angabe in mg/l um rund 1,5% erhöht werden. Für den praktischen Vergleich ist dies im allgemeinen nicht nötig.

Ferner werden aufgeführt: Leitfähigkeit (μS), Ionenstärke[2] und Temperatur am Auslauf (° C).

3. Ergebnisse der Analysen

Die Analysenergebnisse der Proben, die während der Abteufarbeiten in Zeiten des Stillstandes gewonnen werden konnten, sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Die höchste Konzentration von 2,5% wies der Ausfluß von wenigen m³/h im Bereich des Oberen Muschelkalkes auf (Tab. 1: Analyse 1). Am schwächsten konzentriert war die Mischsole aus dem Bereich bis 769 m. Die Leitfähigkeit betrug auch nur 14 000 μS (Tab. 1: Analyse 3). Eine Ursache dafür ist nicht erkennbar. Da ein Analysenfehler weitgehend ausgeschlossen werden kann, ist zu vermuten, daß hier möglicherweise ein Wasser beprobt wurde, welches durch stärker mineralisierte Zuflüsse aus höheren und tieferen Bereichen im Bohrloch selbst und/oder durch Kommunikation zwischen den entsprechenden Aquifers das resultierende Mischwasser ergibt, das letztlich gefördert wird.

Der Sulfatgehalt nimmt zur Tiefe hin ab. Trotzdem gehören im Sinne der balneologischen Nomenklatur alle sechs Proben (Tab. 1) zum Na-Cl-SO_4-Typ, wobei etwa 3–5% der Sulfat-Ionen an die Alkalien gebunden sein dürften. Die Calciumgehalte schwanken etwa zwischen 900–1300 mg/l, die Magnesiumgehalte liegen bei rund 300 mg/l.

---

[2] Definition der Ionenstärke siehe Matthess (1973: 25 ff.)

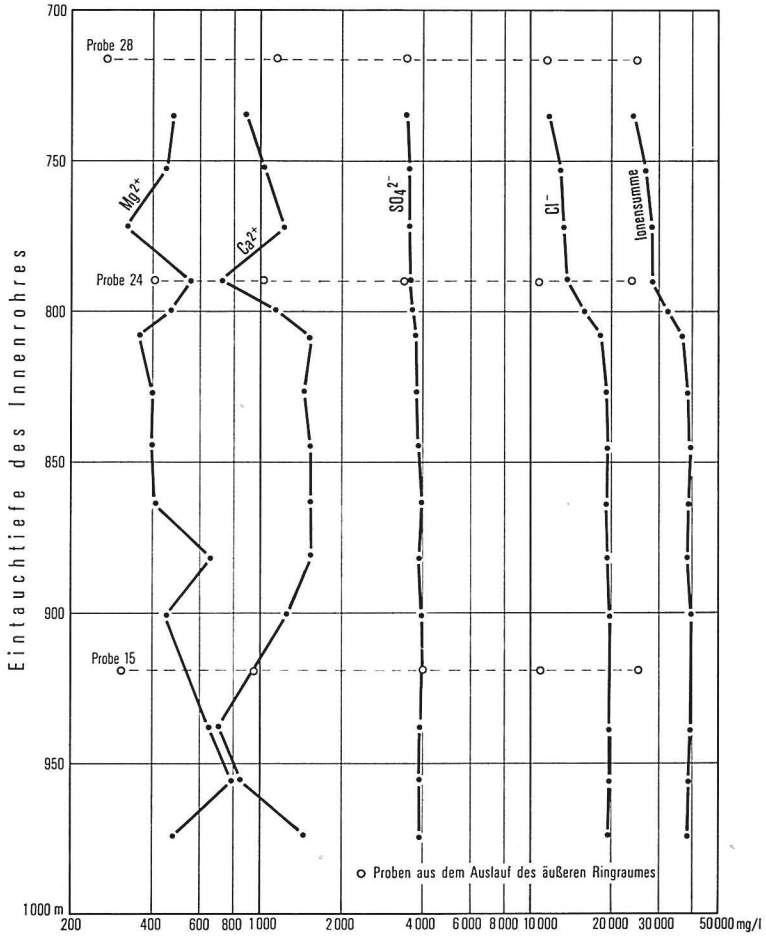


Abb. 3. Ionensumme und Konzentration von Mg^{2+}, Ca^{2+}, SO_4^{2-} und Cl^- beim 2. Doppelrohrversuch vom 4. bis 7. 9. 1973

Bei dem nach Erreichen der Endteufe durchgeführten 1. Doppelrohrversuch konnten fünf Proben (Tab. 2: Analysen 7—11) am Auslauf des stufenweise langsam von oben nach unten eingefahrenen Gestänges gewonnen werden. Alle Proben sind als Na-Cl-Typen anzusprechen. Im Gegensatz zu den Proben, die während des Abteufens gewonnen wurden, nimmt anscheinend der Sulfatgehalt bis etwa 900 m Tiefe zu. Lediglich die 938-m-Probe läßt eine Abnahme erkennen. Dieses könnte ursächlich mit der Anhydritausfällung im Gestein zusammenhängen (Scherp 1977).

Als wichtigstes Ergebnis dieses Versuches ist festzuhalten, daß in den Tiefen zwischen 770 und 900 m in bestimmten kurzen Bohrlochabschnitten in geringerer Menge die am stärksten mineralisierten Solen zusitzen, die sich unter anderem auch durch erhöhte Kaliumgehalte auszeichnen. Die aussagekräftigste Probe stammt aus 894 m Eintauchtiefe. Es handelt sich hier um den Zufluß einer mehr als 10%igen Sole mit einer Leitfähigkeit von 95 000 μS!

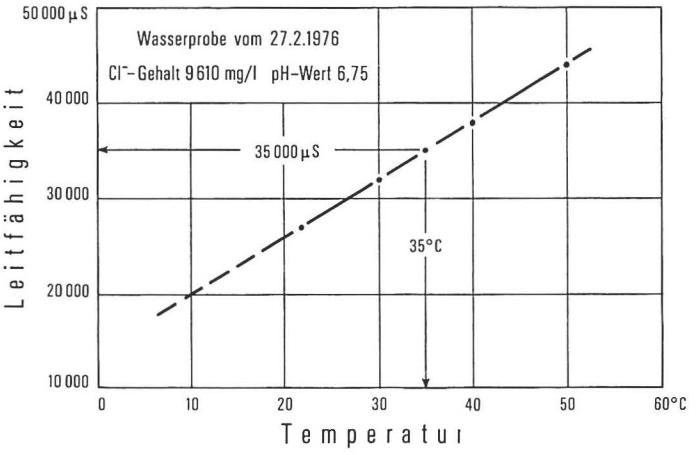


Abb. 4. Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Temperatur

Der 2. Doppelrohrversuch (Tab. 3: Analysen 12–28), bei welchem das Entnahmerohr (= Innenrohr) von unten nach oben bewegt wurde, zeigt ebenfalls eine Zunahme der Konzentration zur Tiefe hin (Abb. 3). Die gleiche Tendenz zeigen Natrium, Chlorid und Sulfat. Calcium und Magnesium weisen offensichtlich keine deutlichen Gesetzmäßigkeiten auf. Beim Magnesium ist ein gewisser Anstieg zur Tiefe hin zu erkennen. Der Kaliumgehalt ist auch in diesem Versuch unterhalb 800 m am höchsten. Sämtliche Proben aus dem Innenrohr gehören zum Na-Cl-Typ. Die Werte der Leitfähigkeit sind nur bedingt mit den Inhaltstoffen und mit den Ionensummen zu korrelieren, weil sie nicht im Labor, sondern an Ort und Stelle gemessen und zum Teil aus der Leitfähigkeitsregistrierung abgelesen wurden. Wie stark die Leitfähigkeit von der Temperatur abhängig ist, ist aus der Abbildung 4 ersichtlich. Auch dieser Versuch zeigte insgesamt, daß eine Mischsole vorliegt, wenn auch der äußere Augenschein für eine homogene 2,5–3%ige Sole spricht (Langguth & Leichtle 1977).

Die nach den Bohrarbeiten geförderte Sole zeigt Schwankungen ihres Chemismus, die, wie z. B. an der Ionensumme oder an den Chloriden sichtbar, recht beachtlich sind. Es überprägen sich offensichtlich wechselnde Druckbedingungen auf die jeweilige Beschaffenheit des resultierenden Mischwassers, das, durch artesischen Druck und Gaslift bedingt, frei aus dem Bohrloch ausfließt (Tab. 4: Analysen 29–34).

Die bisher vollständigste Analyse ist die „Große Heilwasseranalyse" vom Institut Fresenius, Taunusstein (Analytiker: W. Schneider)[3]. Das Ergebnis der quantitativen chemischen Untersuchungen wird ohne die vorausgegangenen qualitativen Prüfungen in der Tabelle 5 wiedergegeben. In der Beurteilung und Charakteristik heißt es u. a.: Bei den Kationen sind Natrium-Ionen mit 77,29 mval% hervorzuheben. Der relative Anteil der Calcium-Ionen erreicht trotz des absolut gesehen hohen Gehaltes mit 16,75 mval% nicht mehr den zur Aufnahme in die Charakteristik geforderten Anteil von 20 mval%. Von den Anionen sind Chlorid-Ionen mit

[3] Wir danken den Herren Prof. Dr. W. Fresenius und Dr. W. Schneider für ihr Einverständnis, die Ergebnisse dieser Analysen zu publizieren.

74,36 mval% und Sulfat-Ionen mit 20,15 mval% zur Kennzeichnung heranzuziehen.

Das Wasser enthält zahlreiche Spurenstoffe, die in der Analysentabelle quantitativ ausgewiesen bzw. halbquantitativ bestimmt wurden.

Der Gehalt an Gesamt-Eisen ($Fe^{2+(3+)}$) wurde zu 13,5 mg/kg gemessen, davon sind 13,36 mg/kg zweiwertig. Der überwiegende Anteil des Eisens liegt also zweiwertig vor, und es ist nicht sichergestellt, ob unter Berücksichtigung der Analysendifferenzen überhaupt dreiwertiges Eisen vorhanden ist. Die Einzelwerte für diese Untersuchungen stimmen gut überein. Die maximale Differenz beim zweiwertigen Eisen beträgt ± 0,04 mg/kg und diejenige beim Gesamteisen ebenfalls ± 0,04 mg/kg (briefliche Mitteilung des Institutes Fresenius vom 1. 4. 1975).

Die Stickstoffverbindungen liegen in Spuren von Ammonium-Ionen und Spuren von Nitrat-Ionen vor. Im Zusammenhang mit dem Gehalt an gelöstem zweiwertigen Eisen und dem niedrigen Redox-Potential von + 10 mV liegt hier offensichtlich ein Wasser im sogenannten reduzierten Zustande vor.

Neben dem Hauptanteil der gelösten Natrium-Ionen ist auf die deutlichen Gehalte an Kalium-Ionen und auf die Spuren von Lithium, Rubidium und Cäsium hinzuweisen. Die Gehalte an Fluorid-, Jodid- und Bromid-Ionen sind deutlich. Der Arsengehalt ist erhöht.

Eine spurenweise Radioaktivität ist festzustellen (0,81 Nanocurie/Liter entsprechend etwa 2,2 Mache-Einheiten), die im wesentlichen auf das gelöste radioaktive Edelgas Radon-222 zurückzuführen ist.

Nach den „Begriffsbestimmungen" (1972) des Deutschen Bäderverbandes und des Deutschen Fremdenverkehrsverbandes ist das Mineralwasser des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in zwei verschiedene Weisen zu charakterisieren, nämlich als „eisen- und sulfathaltige Thermalsole" oder als „eisenhaltige Natrium-Chlorid-Sulfat-Therme".

Schließlich ist die Frage der Quellgase zu diskutieren.

Qualitative Untersuchungen wurden gaschromatographisch im Institut Fresenius an zwei Proben ausgeführt, die am 6. 9. 1973 während des 2. Doppelrohrversuches entnommen wurden. Es konnten im wesentlichen nur Kohlendioxid und Stickstoff nachgewiesen werden. Schwefelwasserstoff war nicht nachweisbar. Edelgase sind nur im ausgesprochenen Spurenbereich festzustellen. Hier die Ergebnisse:

Probe 1 — Gasprobe aus dem Innenrohr (845 m Einhängetiefe):

Kohlendioxid (CO_2)	96,8 Vol.%
Stickstoff (N_2)	3,2 Vol.%

Probe 2 — Gasprobe aus dem Ringraum zwischen Innenrohr und Außenrohr (845 m Einhängetiefe):

Kohlendioxid (CO_2)	88,5 Vol.%
Stickstoff (N_2)	11,5 Vol.%

Quantitative Untersuchungen ergaben, daß der Gehalt an freiem gelöstem Kohlendioxid gewissen Schwankungen unterworfen ist. Es wurden im April 1975 und im Mai 1975 weitere Kontrollanalysen durchgeführt und im April 1975 ein Mittelwert von 886 mg gelöstes freies Kohlendioxid in 1 kg Wasser ermittelt. Im Mai 1975 betrug der festgestellte Mittelwert 837 mg gelöstes freies Kohlendioxid in 1 kg Wasser.

Diese Ergebnisse nach dem Ausbau der Bohrung unterscheiden sich von den CO_2-Werten, die während der Bohrarbeiten und danach ermittelt wurden.

In den vollständigen Analysentabellen zu Analyse Nr. 5, 29 und 33 (Analytiker: K. Höll, Laboratorium für Wasseruntersuchung, Hannover) finden sich durchweg Werte, die mehr als 1000 g/l betragen. Werte um 1500 bis fast 2000 mg/l wurden ebenfalls durch zahlreiche laufende Kontrollbestimmungen während der Bohrarbeiten bei Schüttelversuchen ermittelt.

Im Augenblick wird geprüft, ob die Quelle 1000 mg/kg gelöstes CO_2 erreicht und damit als Säuerling bezeichnet werden kann.

4. Bewertung und Deutung

Die vorliegenden hydrochemischen Untersuchungen haben – wie die früheren Analysen der Wässer der vorhandenen Bohrungen – gezeigt, daß im Untergrund von Bad Oeynhausen ein Mineralwassersystem vorliegt, dessen Wasserqualität im einzelnen und insgesamt nur dynamisch betrachtet werden kann.

Es ist festzuhalten:

- Die Analysenergebnisse sind abhängig vom Zeitpunkt der Probenahme und damit vom jeweiligen Betriebszustand.
- Sie stellen daher Zufallsbefunde dar, die in einem größeren Konzentrationsintervall zu stellen sind und allein gesehen nicht überbewertet werden dürfen.
- Innerhalb der Bohrung mischen sich entsprechend den jeweiligen herrschenden Bedingungen unterschiedlich mineralisierte Wässer.

Die dokumentierten Analysen reflektieren dies eindeutig: Es liegt ein Mischwasser vor, dessen Anteile aus den verschiedenen Ausgangswässern quantitativ und qualitativ bisher nicht getrennt werden können. Augenblicklich muß davon ausgegangen werden, daß sich mindestens zwei, wenn nicht sogar drei verschiedene Wässer mischen. Das geht auch aus der Abbildung 5 hervor. Dort sind für die Inhaltstoffe HCO_3, SO_4, Cl, Mg, Ca sowie Na und K gemeinsam Histogramme der auf den Tabellen 1–4 vorgelegten Analysen dargestellt worden. Diese sind nicht in Hinsicht auf Verteilung, Mittelwert und dergleichen zu beurteilen, sondern nach der Streubreite der bisher vorliegenden Daten und wie sich die Analysengruppen der Tabellen 1–4 verhalten.

Es ist folgendes bei den einzelnen Inhaltstoffen festzustellen (vgl. auch die Erläuterungen in Kapitel 3, dort bezogen auf die Tiefenabhängigkeit):

- Beim 1. Doppelrohrversuch sind die höchsten Werte für HCO_3, SO_4, Cl und die Alkalien festgestellt worden.
- Beim Cl-Gehalt gruppieren sich sämtliche Analysen mit Werten größer als 12 000 mg/l auf die beiden Doppelrohrversuche. Das gleiche gilt auch für die Summe von Na und K für alle Werte größer als 8000 mg/l.
- Beim Mg-Gehalt gilt ähnliches wie beim Chlorid.
- Beim Calcium fällt auf, daß die Werte der Doppelrohrversuche die Extremwerte umfassen, während die Werte für die Wasserproben während des Ablaufs und nach dem Ausbau die mittleren Positionen einnehmen.
- Besonders interessant verhält sich das Sulfat. Der 1. Doppelrohrversuch deckt den gesamten Intervall einschließlich der Extremwerte ab, während der 2. Doppelrohrversuch die mittleren Werte einnimmt und hier weitgehend mit den Gehalten des Mischwassers nach dem Ausbau der Bohrung übereinstimmt. Während der Bohrarbeiten wurden dagegen wie beim 1. Doppelrohrversuch Wässer beprobt, die fast den gesamten Bereich zwischen 3000 und 4500 mg/l überstreichen.

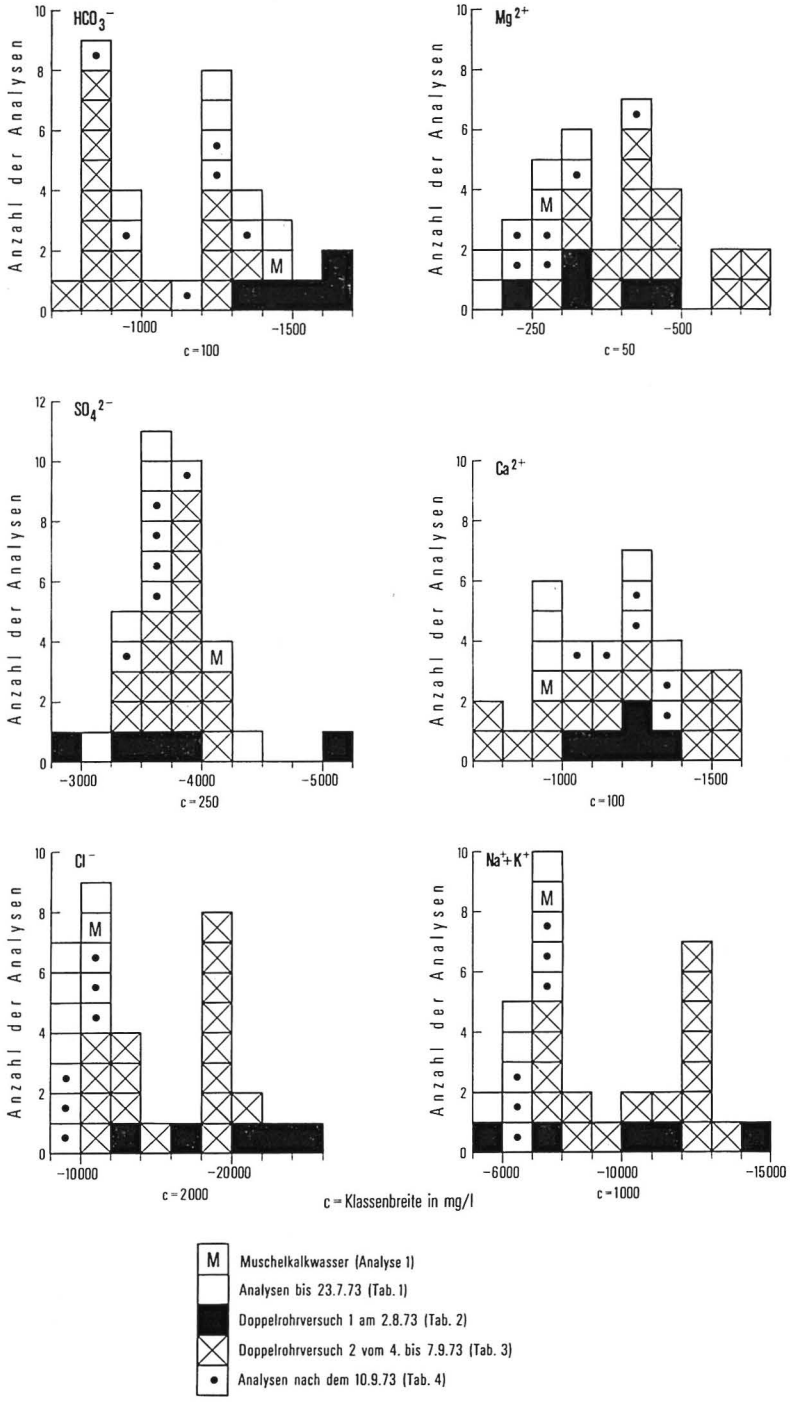


Abb. 5. Verteilung der wichtigsten Inhaltstoffe nach Konzentrationsstufen (vgl. Tab. 1–4)

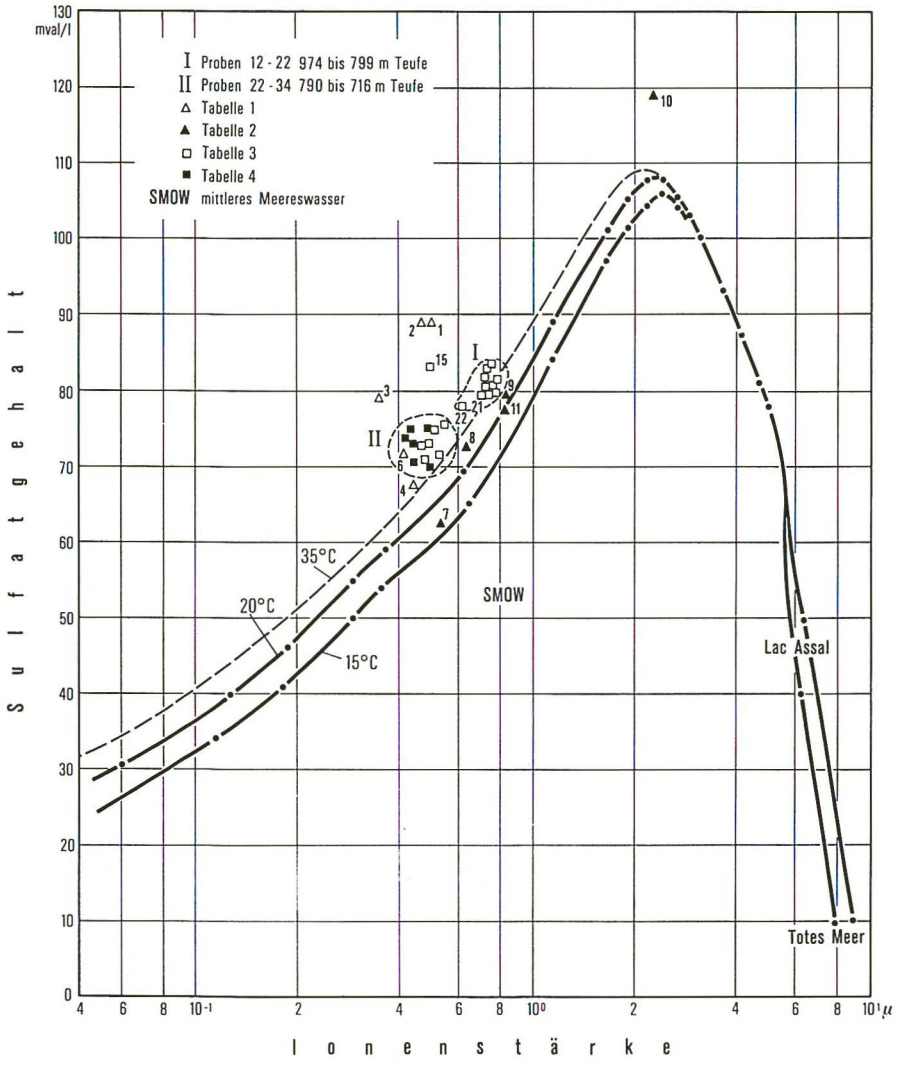


Abb. 6. Beziehung Sulfatgehalt / Ionenstärke

Die Analysendaten und auch die Auswertung der Abbildung 5 erlauben es nicht, eindeutig den Chemismus der beteiligten Ausgangswässer zu kennzeichnen. Am ehesten stellt noch die Analyse 10 ein solches Wasser dar. Die Kenntnis der Ausgangswässer wäre jedoch das Ziel weiterer Untersuchungen, um Unterlagen für eine chemisch-thermodynamische Berechnung zu erlangen.

Eine solche wäre eine Voraussetzung zur Lösung des Inkrustationsproblems, auf das bereits hingewiesen wurde (vgl. auch Fricke 1972). Dabei spielt die Frage der Übersättigung an Sulfaten die ausschlaggebende Rolle. Anhand der vorliegenden Analysen soll versucht werden, die Frage des Calcium—Sulfat-Gleichgewichts einzugrenzen. Auf Abbildung 6 wurden die Sulfatgehalte als Funktion der Ionen-

stärke aufgetragen. Die dort gezogenen Gleichgewichtskurven an Sulfat bei Temperaturen von 15° und 20° C entsprechen den Angaben von SCHOELLER (1962).

Für höhere Ionenstärken ab 3 wurden sie extrapoliert durch Benutzung von Werten für starke natürliche Elektrolyte, wie sie z. B. das Tote Meer (EMERY & NEEV 1967) und der Lac Assal in Ostafrika (LANGGUTH & POUCHAN 1975) darstellen. Bei den letzteren Wässern kann man davon ausgehen, daß sie aufgrund der hydrologischen Umstände Gleichgewichtsbedingungen anzeigen. Die Temperaturkurve für 35° C wurde rein graphisch konstruiert. Danach steigt die Löslichkeit des Calciumsulfates mit steigender Konzentration zunächst an. Ab Ionenstärken von 2,3 bis 2,5 verringert sie sich jedoch wieder. Auf Abbildung 6 ist die logarithmische Teilung der Achse der Ionenstärke zu beachten.

MATTHESS (1973) hat darauf hingewiesen, daß die Kurve von SCHOELLER (1962) sich nur auf die Anwesenheit von NaCl bezieht. Man kann jedoch die Analysenwerte der anderen Ionen in Milligramm-Äquivalente von NaCl umrechnen. Ferner kann man die Ionenstärken auch bereinigen, indem man die Anteile für $CaSO_4$ abzieht.

Bei der Darstellung auf Abbildung 6 fallen die meisten Analysen oberhalb der Sättigungslinie für 35° C. Bei der Bereinigung der Werte fielen dagegen fast alle Analysen eindeutig in das Feld der Übersättigung.

Es ist folgendes zu sehen: Die Analysen während der Bohrarbeiten (Tab. 1) sind durchweg übersättigt, besonders stark die Analysen 1 (Oberer Muschelkalk) und 2 (Bohrtiefe 722 m). Danach nimmt die Übersättigung ab. Die Analyse 4 zeigt nahezu Gleichgewicht an, während die Analyse 6 bereits in das Feld der nach dem Ausbau gezogenen Analysen fällt, aber übersättigt ist.

Die Analysen des 1. Doppelrohrversuchs zeigen zunehmende Sulfatgehalte an, die sich insgesamt im Bereich des Gleichgewichtes bewegen, ausgenommen natürlich die Analyse 10.

Besonders interessant ist das Bild des 2. Doppelrohrversuchs. Die Analysen 12 bis 22, entsprechend dem Tiefenbereich 974—799 m, sind höher konzentriert und insgesamt leicht übersättigt. Herausfällt die Analyse 15, die Mischwasser aus dem äußeren Auslauf ist. Im unteren Teil des Bereiches I leiten die Analysen 21 und 22 zum Bereich II hin, der das Wasser der Tiefenstufe von 790—716 m umfaßt. In diesen Bereich fallen auch die späteren Analysen nach der Beendigung der Bohrarbeiten und nach dem Ausbau der Bohrung.

Insgesamt ist wahrscheinlich, daß nur die Proben 1, 2, 3 und 10 ein nur wenig verändertes Ausgangswasser repräsentieren, während alle übrigen Wässer Mischwässer sind.

Vergleicht man dazu Analysen aus der Literatur, so findet man sehr hohe Sulfatgehalte vorwiegend in sehr konzentrierten Solen aus dem Zechstein (JORDAN 1967, CARLE 1975, HOPPE 1962). Sie sind zum Teil höher als die Sulfatgehalte der Kurven auf Abbildung 6. Sie sind nur erklärbar, wenn die Sulfatlöslichkeit durch andere Verbindungen mit bestimmt wird, z. B. durch Natrium- und Magnesiumsulfat. Die Frage eines Ionenaustausches stellt sich und ist auch bei den Wässern von Bad Oeynhausen zu berücksichtigen.

Insgesamt läßt sich aus Abbildung 6 schließen, daß

- vermutlich das Mischwasser als Ausgangswasser eine Sole aus dem Zechstein hat. Darauf deuten auch die Isotopenuntersuchungen des Schwefels (MICHEL & NIELSEN 1977) hin.

- das Mischwasser der Neubohrung in wachsendem Grade an Sulfat übersättigt ist und bei Änderung der Temperatur und des Druckes zu Gipsabscheidung neigt. Das zeigte sich bereits beim freien Auslauf durch die Bildung von Gipskristall-Rasen in der Meßrinne während und nach den Bohrarbeiten. Die Neubohrung ist daher in vieler Hinsicht mit dem Jordan-Sprudel zu vergleichen.
- vermutet werden kann, daß die Mischvorgänge verschieden konzentrierter Wässer nicht nur in der Brunnenröhre sich vollziehen, sondern bereits durch Kommunikation zwischen den einzelnen Mineralwasserhorizonten im Aquifersystem. Unter natürlichen Bedingungen ist dieser Vorgang außerordentlich langsam, so daß sich die neuen Gleichgewichte einstellen können. Es kann daher zu Sulfatfällungen kommen, die ja in Form von Gipsausscheidungen in Klüften in der Bohrung angetroffen werden. Bei der Nutzung der Bohrung wird zudem durch die Propagation eines wie immer auch geformten „Absenkungstrichters" der Wasseraustausch zwischen den einzelnen Aquiferhorizonten unterschiedlicher Konzentration begünstigt.

5. Schriftenverzeichnis

Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen (1972). – 34 S., 1 Tab.; Bonn (Deutscher Bäderverband e. V.).

Carle, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. Geologie, Chemismus, Genese. – 643 S., 14 Abb., 15 Kt.; Stuttgart (Wiss. Verlagsges.).

Emery, K. O., & Neev, D. (1967): The Dead Sea – Depositional Processes and Environments of Evaporites. – 147 S., 59 Abb., 50 Tab.; Jerusalem.

Hoppe, W. (1972): Die Mineral- und Heilwässer Thüringens (Geologie, Chemie, Geschichte, Nutzung). – Geologie, **75** (Beih.): 183 S., 19 Abb., 75 Tab. einschließlich 37 Diagr.; Berlin.

Fricke, K. (1972): Ergiebigkeitsabnahme bei Thermalwasserquellen infolge von Kristallbildung (Verkrustung) im schadhaften Bohrloch – erläutert am Beispiel von Bad Oeynhausen. – Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **23:** 363–366, 4 Abb., 1 Tab.; Köln.

Jordan, H. [Hrsg.] (1967): Bäderbuch der Deutschen Demokratischen Republik. – 264 S., 88 Abb., 1 Kt., 45 Diagr.; Leipzig (VEB Thieme).

Langguth, H. R., & Leichtle, Th. (1977), mit einem Beitr. von Schwartz, U.: Spezielle Messungen zur Ergiebigkeit und chemischen Beschaffenheit des Alexander-von-Humboldt-Sprudels. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 145–163, 14 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

Langguth, H. R., & Pouchan, P. (1975): Caractères physiques et conditions de stabilité du Lac Assal (T.F.A.I.). – In: Pilger, A., & Rösler, A. [Hrsg.]: Afar Depression of Ethiopia, Volume I. – Inter-Union-Commiss. Geodyn. scie. Rep., **14**: 250–258, 7 Abb.; Stuttgart.

Matthess, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 2: 324 S., 89 Abb., 86 Tab.; Berlin, Stuttgart (Bornträger).

Michel, G. (1975): Die Erschließung des Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen. – Heilbad und Kurort, **27**: 65–68, 6 Abb.; Gütersloh.

MICHEL, G., & NIELSEN, H. (1977): Schwefel-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten ostwestfälischer Mineralwässer. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 185—227, 16 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

SCHERP, A. (1977): Eisenglanzvererzungen im Buntsandstein der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 109—123, 1 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

SCHOELLER, H. (1962): Les eaux souterraines. — 642 S., 187 Abb., zahlr. Tab.; Paris (Masson).

Eingang des Manuskriptes: 6. 4. 1976

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 185–227, 16 Abb., 1 Tab., 1 Taf.	Krefeld, Nov. 1977

Schwefel-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten ostwestfälischer Mineralwässer

Von Gert Michel und Heimo Nielsen *

S-isotope, mineral-water, origin, sampling, isotope-analysis, Northwest German Mesozoic Hills

Kurzfassung: Die Schwefel-Isotopenwerte an Sulfaten von 100 Mineralwasserproben aus Ostwestfalen wurden bestimmt. Nach Erörterung der methodischen Grundlagen werden die Ergebnisse gebietsweise dargestellt und diskutiert. Dabei wurde das Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen besonders berücksichtigt.

Die Mineralwässer, welche auf Zechstein-Evaporite eindeutig zurückgeführt werden können, konzentrieren sich auf folgende Vorkommen: Solen am Ost- und Nordrand des Münsterschen Beckens (im übrigen Beckenbereich handelt es sich um ein connate water im weitesten Sinne); Sulfatwässer im Verlauf schmaler Senkungs- und Hebungszonen östlich der Egge; junge Subrosionssenken am Westrand der heutigen Zechstein-Salzverbreitung; die Tiefensolen von Bad Meinberg, Bad Salzuflen, Bad Oeynhausen sowie Solbad Minden.

Eindeutige Keuper-Wässer treten an den relativ wenig gestörten Flanken der Piesberg – Pyrmonter Achse auf und sind teilweise artesisch gespannt.

Röt-Wässer sind an die Ausstriche des Röts und des Mittleren Buntsandsteins bei Bad Driburg und Kleinenberg gebunden.

Wässer, die von Sulfaten des Muschelkalks beeinflußt sind, konnten im Bereich der Borgentreicher Keuper-Mulde und am Ostrand des Teutoburger Waldes nachgewiesen werden.

Gelöste Malm-Sulfate bestimmen die Mineralwässer nördlich des Wiehengebirges, so auch die extrem hoch konzentrierte Sole von Bad Essen.

Einige Mineralwässer sind Mischwässer, die von gelösten Evaporiten verschiedener geologischer Alter beeinflußt worden sind. So erschweren vor allem gelöste Keuper-Sulfate in einigen Fällen eine klare Einstufung, da die entsprechenden Mischungsverhältnisse nicht bekannt sind.

[Sulphur isotopic investigations on the sulphate of mineral waters of Eastern Westfalia]

Abstract: Sulphur isotope data are reported for 100 samples of sulphate in mineral waters from eastern Westfalia. Following a brief introduction into the methodic background, the results are discussed seperately for the different sampling areas. The medical wells at Bad Oeynhausen and Bad Salzuflen are treated in a special chapter.

In the Cretaceous basin of Münster brines of inequivocal provenance from leached Zechstein (= Upper Permian) evaporites are confined to the eastern and northern margins, – different types of connate waters occur at other sites within the basin – namely sulphate waters in narrow depressions and uplifts east of the Egge mountains, and in young subrosion deeps at the western margin of the actual spread of Zechstein salts, furthermore deep seated brines at Bad Meinberg, at Bad Oeynhausen and at the mineral spa of Minden.

---

* Anschrift der Autoren: Dr. G. Michel, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld; Dr. H. Nielsen, Geochemisches Institut der Universität Göttingen, Isotopenlaboratorium, Goldschmidtstraße 1, 3400 Göttingen

Unequivocal Keuper waters occur along the flanks of the axis Piesberg – Pyrmont. This zone has been affected only slightly by tectonic activity, and the waters are partly under artesian pressure.

Groundwaters of Röt (= Upper Bunter Sandstone) provenance are confined to the outcrops of the Upper and Middle Bunter Sandstone close to Bad Driburg and Kleinenberg.

Groundwaters which have taken up Muschelkalk sulphates could be verified in the area of the Keuper syncline of Borgentreich and at the eastern edge of the Teutoburger Wald.

Dissolved sulphates of Malm age are characteristic for mineral waters occurring north of the Wiehengebirge, for example the extremely concentrated brine of Bad Essen.

Some mineral waters combine the leached evaporite sulphates of different geological ages. Especially some waters of mixed origin appear to contain Keuper-sulphates and other sulphates in an unknown ratio and can thus not clearly be defined.

[Recherches des isotopes du soufre, appliquées sur les sulfates dans les eaux minérales de Westfalie orientale]

Résumé: Les rapports isotopiques du soufre sont donnés pour le sulfate de 100 échantillons d'eau minérale de la Westfalie orientale. Après quelques indications sur les éléments méthodiques, les résultats sont présentés et discutés par régions. La région des sources thérapeutiques de Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen fait l'objet d'une attention particulière.

Les eaux minérales, provenant sans doute des évaporites du Zechstein, sont concentrées dans les aires suivantes:

- les eaux sursalées aux bords Est et Nord du Bassin de Münster (dans la reste du bassin, il s'agit d'une "connate water" au sens large)
- les eaux sulfatées aliguées dans les étroites zones de soulèvement et de subsidence
- les eaux dans les dépressions causées par l'érosion souterraine ("subrosion") à la bordure Ouest de la zone actuelle d'extension du sel gemme du Zechstein
- et les eaux sursalées profondes de Bad Meinberg, Bad Salzuflen, Bad Oeynhausen et du Solbad Minden

Les eaux, sans doute keupériennes, en partie captives, apparaissent sur les flancs peu faillés de l'axe de Piesberg – Pyrmont.

Les eaux du Röt (Buntsandstein supérieur) sont liées aux affleurements du Röt et du Buntsandstein moyen près de Bad Driburg et de Kleinenberg.

Dans la cuvette keupérienne de Borgentreich et au bord Est du Teutoburger Wald, on a pû mettre en évidence des eaux influencées par les sulfates provenant du Muschelkalk.

Les eaux minérales au Nord du Wiehengebirge, ainsi que l'eau extrêmement sursalée de Bad Essen, sont caractérisées par les sulfates dissoutes du Malm.

Quelques eaux minérales, qui sont des eaux de mélange, ont été influencées par les évaporites dissoutes d'âge variable. Ainsi les sulfates dissoutes du Keuper principalement rendent difficile une classification dans certains cas, car les proportions de melange ne sont pas connues.

1. Problematik

In Ostwestfalen sind vielerorts in den Mineralwässern, aber auch in den sonstigen Grundwässern Sulfate in höheren Konzentrationen gelöst. Diese Wässer werden entweder balneologisch genutzt, wie z. B. „reine" Calcium-Sulfat-Wässer, sulfatreiche Solen, Calcium-Magnesium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Säuerlinge, oder sie müssen zwangsläufig als Trinkwasser abgegeben werden (Typ Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wässer), oder sie fließen artesisch aus Bohrlöchern ungenutzt ab.

Die Frage nach der Herkunft der gelösten Sulfate ist in vielfacher Hinsicht von großer Bedeutung für das Verständnis der Hydrogeologie der einzelnen Mineralwasservorkommen, z. B. um Einflüsse von Tiefenwässern nachzuweisen, eventuelle Zusammenhänge zwischen aktiver Erdfalltätigkeit und Solen erkennen zu können, mögliche Einzugsgebiete festzustellen oder auch auszuschließen.

So kann es sich bei den Tiefenwässern entweder um Relikte fossilen Meerwassers (connate water im weiteren Sinne) oder um abgelaugte Salzlager handeln. Andererseits haben die Niederschlagswässer beim Eintritt in den Grundwasserkreislauf nur unbedeutende Sulfatkonzentrationen und lösen ihren Sulfat-(und Chlorid-)gehalt erst aus den durchströmten Gesteinsschichten heraus.

Wichtigste Sulfatlieferanten dieser Wässer sind die Gips- und Anhydrithorizonte folgender Schichtenfolgen: Malm (Münder Mergel), Mittlerer Keuper (Rote Wand km3, Gipskeuper km1), Mittlerer Muschelkalk, Oberer Buntsandstein (= Röt) und Zechstein. Soweit durch Bohrungen etc. ein Zusammenhang zwischen Grundwasserleiter und vermutetem Ablaugungsbereich nachgewiesen werden kann, ist damit auch die Sulfatherkunft sichergestellt. Oftmals sind die Grundwässer aber so weit aus dem Ablaugungsgebiet abgewandert, daß dieser direkte Geländenachweis nicht oder nicht mit ausreichender Sicherheit geführt werden kann. Höhere Sulfatgehalte in Grundwässern aus Gebieten ohne Evaporitformationen können zumeist auf die oxidative Verwitterung von sedimentären Sulfiden (Pyrit und Markasit) durch sauerstoffbeladene Versickerungswässer zurückgeführt werden. Auch in Gebieten mit Evaporiten als möglichen Sulfatlieferanten kann selbstverständlich die Sulfidoxidation lokal zum Grundwassersulfat beisteuern und dadurch die Interpretation weiter erschweren.

In einigen hydrogeologischen Untersuchungsprogrammen der letzten Jahre konnte nun gezeigt werden, daß die Schwefel-Isotopenverteilung im Sulfat ein wertvolles Indiz zur Bestimmung der Sulfatherkunft und damit auch zur Herleitung des Grundwassers sein kann. Einschlägige Ergebnisse liegen vor für die Grubenwässer des Ruhrgebietes (Puchelt & Nielsen 1967), die Grubenwässer von Ibbenbüren und für einige Tiefenwässer Nordwestdeutschlands (Bässler 1970), für Mineralwässer aus Hessen (Nielsen & Rambow 1969) und aus Rheinland-Pfalz (Heyl & Nielsen & Rambow 1970). Es lag deshalb nahe, diese Methode ebenfalls für die Untersuchung von Grundwasservorkommen in Ostwestfalen einzusetzen.

2. Grundlagen der Untersuchungsmethode

Der Schwefel im obersten Stockwerk der Erdkruste nimmt an einem ständigen Kreislauf zwischen den Kontinenten und dem Ozean teil. Aus den Weltmeeren wird ständig Sulfat entzogen und als Sulfid in den Sedimenten fixiert bzw. als Gips oder Anhydrit in den Evaporitbecken abgeschieden. Nach einer mittleren Verweilzeit von einigen 100 Mio. Jahren im Kontinent werden die Sedimente wieder abgetragen, und mit den Verwitterungslösungen kehrt auch der Schwefel wieder als Sulfat im Flußwasser zum Weltmeer zurück.

Die Bindung des marinen Schwefels im Sediment wird nun hauptsächlich durch die Lebenstätigkeit der sulfatreduzierenden Bakterien bewirkt. Diese Organismen leben im anaeroben Milieu des frisch abgelagerten Sediments und decken ihren Sauerstoffbedarf durch die Reduktion des im Porenwasser gelösten Sulfats. Der ausgeschiedene Schwefelwasserstoff reagiert mit Eisenverbindungen im Sediment zunächst zu schwarzem FeS und später zu FeS_2 (Pyrit).

Weil die Bakterien bevorzugt Sulfat mit dem leichten Schwefelisotop ^{32}S reduzieren, ist dieser Sulfidschwefel um etwa 20 – 50 ‰ am ^{34}S verarmt. Global hat dies zu einer Aufspaltung des Schwefels der obersten Kruste in einen leichten Sulfid- und einen schweren Sulfatanteil geführt. Die Hauptmenge des leichten Sulfidschwefels mit negativen δ-Werten[1] findet sich in den tonigen Sedimentgesteinen; der schwere Sulfatschwefel ist z. T. im heutigen Weltmeer gelöst ($\delta_{Meerw.} \approx +20$ ‰).

Da bei der Abscheidung von Gips bzw. Anhydrit aus dem Meerwasser keine wesentliche Isotopenfraktionierung auftritt, bilden die Evaporitformationen ebenfalls ein Reservoir schweren Sulfatschwefels. Werden diese Evaporite im Grund-

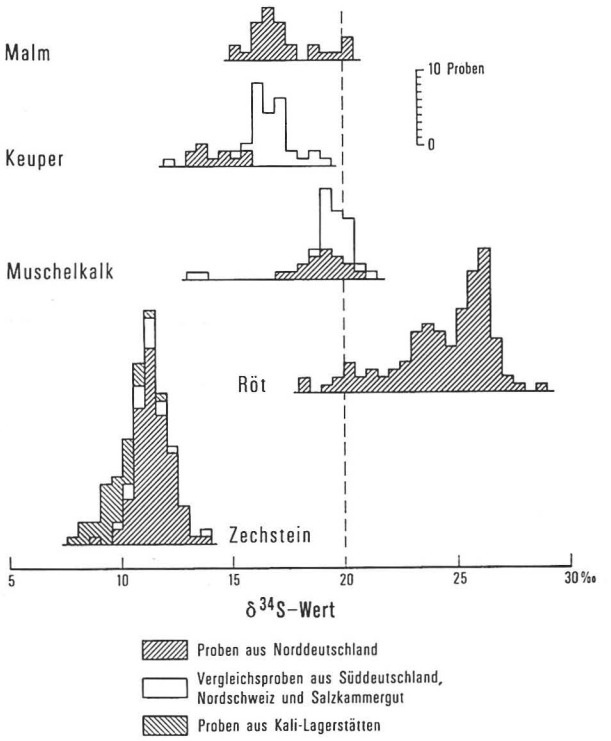


Abb. 1. Schwefel-Isotopenverteilung in Evaporitsulfaten (Gips-Anhydrit sowie einige K-Mg-Sulfate aus Kalilagern des Zechsteins) aus Nordwestdeutschland. Im Zechstein-Histogramm entspricht eine Kästchenhöhe jeweils zwei Proben (gestrichelte Linie = heutiges Meerwasser-Sulfat)

---

[1] Promille-Abweichung (δ = deviation) des ^{34}S-Gehalts gegenüber Troilitschwefel als Standard nach der Definitionsgleichung

$$\delta^{34}S(‰) = \frac{\left(\frac{^{34}S}{^{32}S}\right)_{Probe} - \left(\frac{^{34}S}{^{32}S}\right)_{Standard}}{\left(\frac{^{34}S}{^{32}S}\right)_{Standard}} \cdot 1000$$

wasserbereich abgelaugt, so geht das Sulfat ohne Isotopenfraktionierungen in Lösung, und man kann deshalb durch eine $\delta^{34}S$-Messung sicher entscheiden, ob das Sulfat des Grundwassers von abgelaugten Evaporiten oder oxidierten sedimentären Sulfiden stammt.

Die Messung ermöglicht aber in gewissem Umfang auch die Unterscheidung der Sulfatherkunft aus Evaporiten verschiedenen geologischen Alters. Abbildung 1 zeigt ein Sammelhistogramm der $\delta^{34}S$-Meßwerte aller im Untersuchungsgebiet vorkommenden Evaporitformationen. Weitere Informationen findet der Leser z. B. bei Holser & Kaplan (1966) und Nielsen (1966).

Aus dem Bild ist erkennbar, daß abgelaugte Zechstein-Sulfate aufgrund des sehr einheitlichen Ausgangswertes ziemlich sicher identifiziert werden können. Eindeutig erscheint auch die Zuordnung von Werten größer als + 22 ‰ zum Röt (= Oberer Buntsandstein), während sich zwischen + 15 und + 20 ‰ jeweils die δ-Bereiche mehrerer Evaporitformationen überlappen. Meßwerte in diesem Bereich können nur sicher interpretiert werden, wenn die Mehrdeutigkeit durch zusätzliche Angaben zur hydrogeologischen Situation beseitigt ist.

Glücklicherweise konnte hier in vielen Fällen auf die Ergebnisse der laufenden hydrologischen und hydrochemischen Bearbeitung des Untersuchungsgebietes durch das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen zurückgegriffen werden, und auch die Bohrtätigkeit der letzten Jahre hatte wesentlich zur Klärung der geologischen Situation einiger Grundwasserleiter beigetragen. Ungeklärt blieb deshalb die Zuordnung der Sulfatlieferanten nur in wenigen Fällen – in erster Linie dort, wo sich Grundwässer verschiedener Sulfatherkunft in einem nicht bekannten Verhältnis miteinander vermischt haben und deshalb die Meßwerte keinen Anhalt über die δ-Werte der Ausgangssulfate liefern.

Es muß noch darauf hingewiesen werden, daß die Isotopenverteilung des Gips-Sulfats bei der Eindunstung nicht exakt mit derjenigen des gelösten Sulfats übereinstimmt, wie zunächst zur Vereinfachung angenommen wurde. Aufgrund einer Isotopenfraktionierung zwischen Kristall und Lösung ist der δ-Wert im Gips 1 – 2 ‰ höher; experimentell wurden Fraktionierungsbeträge zwischen 0,7 (Nielsen 1972 a) und 1,65 ‰ (Thode & Monster 1965) bestimmt, und in natürlichen Eindunstungsbecken werden Werte bis 2,3 ‰ gefunden (Holser & Kaplan 1966).

Die Fraktionierung hat die (hier nicht interessierende) Folge, daß der Ausgangs-δ-Wert im Meerwasser immer etwas niedriger ist bzw. war als der δ-Mittelwert der zeitgenössischen „frühen" Sulfate der $CaSO_4$-Fazies eines Eindunstungszyklus. Wie aus Abbildung 2 zu ersehen ist, verschiebt sich allerdings mit der bevorzugten Abscheidung des schweren Schwefels in den „frühen" Sulfaten in einem nach außen hin geschlossenen Eindunstungsbecken der δ-Wert des gelösten Sulfats zu immer niedrigeren Werten, und die „späten" Sulfate der K-Mg-Fazies sollten deshalb um 2 – 3 ‰ leichter sein als die „frühen" Sulfate. Dies wird insbesondere in den Kali-Lagerstätten des Zechsteins beobachtet. Grundwässer, die Sulfat aus den Gebieten der Kalivorkommen abgelaugt haben, können deshalb deutlich niedrigere δ-Werte haben als Grundwässer aus dem Gebiet der „frühen" Gips-Anhydrit-Ablagerungen.

Die gleiche Isotopenfraktionierung muß sich auch bei der Ablaugung der Evaporite einstellen, sofern das bereits gelöste Sulfat genügend lange mit dem unabgelaugten Calciumsulfat im Kontakt verbleibt. Bei rasch fortschreitender Ablaugung wird dagegen das gesamte Sulfat gelöst, und es kommt zu keiner Isotopenfraktionierung. Dies sollte zu deutlich verschiedenen δ-Werten im bewegten und im stag-

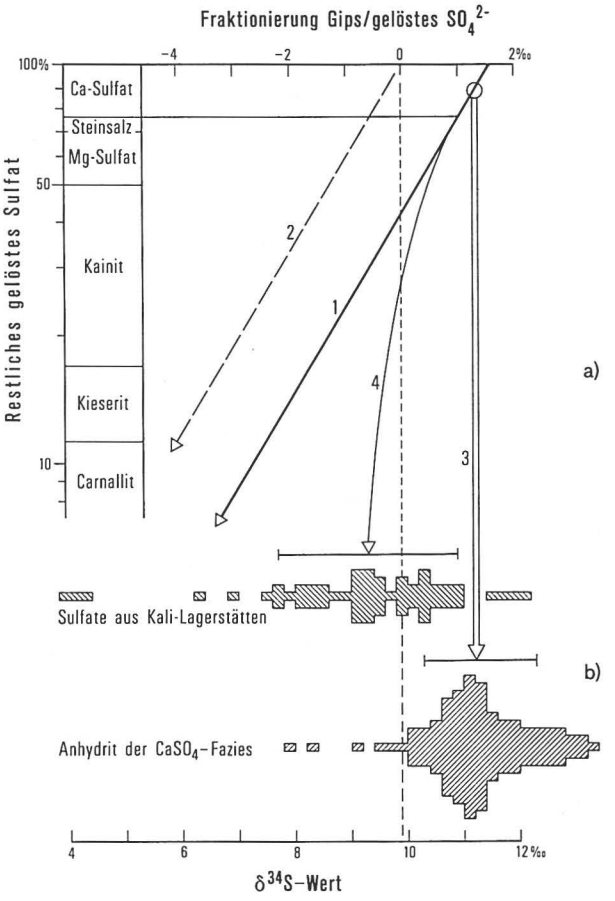


Abb. 2. Isotopenfraktionierung zwischen gelöstem und ausgeschiedenem Sulfat.

a) modellmäßige Änderung der Schwefel-Isotopenverteilung bei der Kristallisation von Gips aus einen begrenzten Vorrat an gelöstem Sulfat („geschlossenes System"); angenommene δ-Differenz zwischen Kristall und Lösung 1,6 ‰; 1 = δ-Änderung für die jeweils neu entstehenden Kristalle; 2 = δ-Änderung im gelösten Sulfat mit dem Sulfatverbrauch bei fortschreitender Eindunstung; 3 = δ-Mittelwert der „frühen" Gips-Anhydrit-Ausscheidung; 4 = Integralkurve zu 1, d. h. Änderung des δ-Mittelwertes im gesamten ausgeschiedenen Sulfat ab Beginn der Steinsalz-Fazies eines Eindunstungszyklus

b) $\delta^{34}S$-Histogramme der „frühen" und „späten" Zechstein-Sulfate aus Evaporitvorkommen Norddeutschlands und des Werra-Kalireviers; horizontale Balken = Standardabweichung der Meßwert-Gruppen. In der Konstruktion des Bildes treffen die Kurven 3 und 4 exakt die Mittelwerte der beiden Meßwert-Gruppen. Für das gelöste Sulfat im Zechstein-Meer ergibt sich hieraus ein Startwert von ca. 9,9 ‰ (vertikale gestrichelte Linie); der ausgeschiedene Gips ist z. T. bis zu 3½ ‰ schwerer.

nierenden Grundwasser führen; allerdings wird der Effekt in den meisten Fällen durch die breite Streuung der Isotopenwerte im Ausgangssulfat verwischt.

Bedeutung hat diese Fraktionierung jedoch für die Interpretation der $\delta^{34}S$-Werte von Gipskristallen, die aus einer übersättigten Sole beim Aufstieg im Brunnenrohr ausgeschieden werden. Je nachdem, ob die Kristalle in einer fließenden oder stagnierenden Sole wachsen, erfolgt die Fraktionierung im „offenen" oder „geschlossenen System", und die Kristalle haben deutlich verschiedene δ-Werte (vgl. S. 212).

Eine besondere Diskussion erfordert auch der mögliche Einfluß einer (rezenten) bakteriellen Sulfatreduktion innerhalb des Grundwasserleiters, sobald dieser Schichten mit höherem Gehalt an organischer Substanz berührt. Einerseits entsteht hierdurch isotopisch leichter Schwefelwasserstoff, der in der Tiefe an Eisen gebunden werden kann und dadurch der Beobachtung entgeht, oder er verbleibt im Wasser und führt so zur Entstehung einer „Schwefelquelle". Andererseits wird durch den Entzug leichten Schwefels das restliche Sulfat schwerer und täuscht dadurch unter Umständen die Herkunft von einem anderen Sulfatlieferanten vor. Auf Seite 213 wird am Beispiel der Schwefel-Quelle und späteren Erdfall-Quelle von Seebruch die Schwierigkeit der Zuordnung solcher Mineralwässer verdeutlicht.

3. Probenahme und Meßtechnik

Die Wasserproben (jeweils 2 l) wurden jeweils im Rahmen der normalen hydrologischen Untersuchungs- und Beratungstätigkeit in Ostwestfalen gesammelt. Die chemischen Analysen und die Fällung des Sulfats (je etwa 200 mg SO_4^{2-} oder mehr durch Zusatz von $BaCl_2$ nach den Arbeitsvorschriften der quantitativen Sulfatanalyse) wurden im Chemischen Labor des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Die Weiterverarbeitung der gefällten Sulfate zum Meßgas Schwefeldioxid und die anschließende Schwefel-Isotopenbestimmung erfolgte nach konventionellen Methoden (siehe z. B. Ricke 1964) im Isotopenlaboratorium des Geochemischen Instituts der Universität Göttingen.

Die chemischen Analysendaten stammen größtenteils von den gleichen Proben, an denen auch die Präparation zur Isotopenmessung durchgeführt wurde. Nur bei einigen Grundwasservorkommen mit sehr konstanter chemischer Zusammensetzung wurde auf eine erneute Vollanalyse verzichtet; als Kontrollwert stand aber auch hier die Sulfatausbeute zur Verfügung. Die Analysengenauigkeit entspricht der üblichen Norm bei hydrochemischen Untersuchungen. Bei den Schwefel-Isotopenbestimmungen ist der Gesamtfehler im allgemeinen kleiner als 0,2 ‰ ($\approx \delta$-Einheiten) und kann daher bei der Interpretation der Meßwerte vernachlässigt werden.

4. Befunde und Deutung

Untersucht wurden 100 Proben von Mineralwässern und sonstigen Grundwässern. Hinzu kamen zehn Proben von Gips, vorwiegend aus verschiedenen Tiefen der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel in Bad Oeynhausen.

Die Probeentnahmestellen sind auf Tafel 1 dargestellt. In der Tabelle 1 (S. 192–199) finden sich dazu detaillierte Angaben, wie Tiefe, Lage, Kurzbezeichnung des Aquifers, artesischen Ausfluß und Nutzung (durch Kreuze gekennzeichnet); eine chemische Kurzanalyse sowie der $\delta^{34}S$-Wert. Im Text werden die entsprechenden Nummern der Tafel 1 und der Tabelle 1 jeweils in Klammern angegeben.

Tabelle 1

Probe	Entnahmestelle Bezeichnung	Tiefe (m)	Lage Blatt-Nr. TK 25	R	H	Hydrogeologie Aquifer	Artese	Nutzung
1	Bad Laer Neue Martins-Quelle	160	3814	37 845	75 005	kro	–	+
2	Solbad Ravensberg Bethesda-Brunnen	12	3915	48 050	73 730	kro	–	+
3	Bad Lippspringe Martinus-Quelle	500	4218	86 940	39 250	kru	+	+
4	Bad Lippspringe Arminius-Quelle	8	4218	87 790	38 600	kro	+	+
5	Salzkotten Baugrube Rathaus	2	4317	72 704	26 365	qp	–	–
6	Bad Sassendorf Solebohrung 14	404	4414	41 528	18 018	to	–	+
7	Bad Waldliesborn Solebohrung 1	907	4216	54 230	31 280	tm	–	+
8	Bad Westernkotten Westerkottener Warte	78	4316	55 430	22 030	kro	+	+
9	Bad Hermannsborn Stahl-Quelle	4	4220	03 960	36 900	sm	–	+
10	Willebadessen Dr.-Wahl-Quelle	5	4320	00 600	22 300	km4	+	–
11	Bad Driburg Weißenborn Br. 2	32	4220	03 245	32 140	mo2	–	+
12	Bad Driburg Haupt-Quelle 2	70	4220	02 150	33 660	sm	+	+
13	Bad Driburg Reelser Mineralquelle	0	4220	02 650	35 270	mu	+	–
14	Vinsebeck Neue Graf-Metternich-Quelle	24	4120	00 860	46 660	sm	–	+
15	Nieheim Nikolaus-Brunnen	418	4120	07 840	40 700	sm	+	+
16	Herste Grafen-Quelle	6	4220	05 420	29 460	so	–	+
17	Schmechten Meth-Brunnen	?	4320	05 950	29 040	so	+	+
18	Kleinenberg Br. Hibbel	68	4419	96 240	17 720	s	–	+
19	Hardehausen Quelle	0	4420	00 490	12 050	so/sm		–
20	Wrexen Quelle Salzborn	–	4519	99 830	05 750	so		–
21	Forst Hardehausen Quelle Elendslöcher	–	4419	95 790	13 760	kr/sm		–
22	Höxter Solebohrung Barbara	161	4222	25 120	35 300	sm	+	–

Datum	Hydrochemie								$\delta^{34}S$ ‰
	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ionen-summe	CO_2 frei	
28. 2. 74	25055	1669	274	38863	2929	2241	71134	1491	11,4
9. 11. 74	5890	572	74	8988	883	968	17385	720	13,6
1. 3. 63	109	343	60	64	902	383	1864	130	11
10. 3. 52	133	471	66	169	1041	508	2391	134	11,1
4. 2. 76	6981	598	59	11034	580	830	20099	n. b.	10,8
5. 12. 74	29550	1813	256	47259	1428	1749	82120	1002	13,5
29. 10. 68	34486	1864	241	55091	1424	1431	94603	1925	14,5
12. 10. 65	26203	1718	129	42016	1212	1608	72963	1386	13,3
1953	21	349	52	7	596	667	1780	2081	11,8
22. 3. 73	17	388	19	28	947	116	1520	n. b.	11,9
11. 10. 73	152	120	40	18	352	305	996	n. b.	13,2
24. 10. 74	112	691	120	34	1397	1211	3588	2330	18,5
21. 5. 73	107	440	68	50	1060	592	2322	n. b.	18,3
11. 10. 73	240	n. b.	n. b.	218	674	1153	n. b.	2260	16,1
17. 4. 71	275	584	140	113	781	2325	4464	3520	14,8
24. 10. 74	155	683	170	146	1550	1138	3850	1920	21,7
11. 9. 74	59	347	199	96	1118	744	2563	n. b.	20,9
15. 3. 76	14	556	54	11	1468	153	2258	n. b.	23,3
16. 3. 76	13	202	50	21	404	354	1062	n. b.	19,8
17. 3. 76	9	657	34	11	1390	391	2466	n. b.	25,2
18. 3. 76	6	226	36	14	484	262	1030	n. b.	22,1
(23. 4. 71)	12280	1416	402	18508	2897	3362	44934	3250	13,9

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Probe	Entnahmestelle Bezeichnung	Tiefe (m)	Lage Blatt-Nr. TK 25	R	H	Hydrogeologie Aquifer	Artese	Nutzung
23	Borgentreich Wasserwerk Br. 1	90	4421	16 340	15 400	km1	–	+
24	Bühne Brunnen	108	4421	21 780	14 845	mo1	–	+
25	Natingen Brunnen	220	4321	16 650	23 560	mu	–	+
26	Borgholz Brunnen	108	4321	17 670	21 530	mo1	–	+
27	Detmold Brg. 8/74	115	4019	89 650	55 940	mo1	–	–
28	Billinghausen Br. 1	188	4018	82 775	58 845	ku+km	–	+
29	Bielefeld Brodhagen Ernst-Rein-Bad	423	3917	66 890	67 340	mo1 – mm	+	+
30	Bielefeld Feldmühle Br. 4	360	3917	73 850	62 890	mo1 – mu	+	+
31	Bielefeld Bertelsmann & Niemann Br. 2	309	3917	70 925	63 660	mo1 – mu	+	+
32	Bielefeld Weihnachtsbrunnen	465	3917	68 570	66 910	ku	+	+
33	Leopoldstal Br. 1 (Kirche)	112	4119	97 480	46 040	km	–	+
34	Billerbeck Brunnen	134	4120	03 400	49 040	ku	–	+
35	Vahlhausen Brg. 1/74	45	4120	00 620	50 080	mo1	+	–
36	Vahlhausen Brg. 2/74	62	4120	00 920	49 890	mo1	+	–
37	Bad Meinberg Altbrunnen 4	36	4119	97 990	51 630	km3	–	+
38	Bad Meinberg Neubrunnen	30	4119	98 880	50 240	km1	–	+
39	Bad Meinberg Silvaticum	60	4119	99 640	51 400	ku	–	+
40	Schieder Nessenberg-Quelle	40	4020	08 690	53 040	ku	–	+
41	Bad Meinberg Tiefbohrung	1110	4119	99 650	51 450	z	+	+
42	Diestelbruch Brunnen 2	98	4019	97 040	55 270	km4	–	–
43	Kleinenmarpe Brg. D 8	53	4019	99 040	59 530	km4	+	–
44	Niederschönhagen Brg. Köller 2	129	4019	98 060	57 400	km4	+	–
45	Diestelbruch Brunnen 3	67	4019	96 820	55 780	km4		+
46	Blomberg Brg. N	171	4020	06 550	54 780	ku	+	–
47	Mosebeck Brg. Hellsiek 6	80	4019	96 210	57 695	km4	+	–
48	Voßheide 1957	23	3919	96 060	63 120	km2	+	–
49	Voßheide 1975	28	3919	97 350	63 520	km4	+	–
50	Wiembeck Brg. 1/75	80	4019	96 420	61 620	km4	–	–

Datum	Hydrochemie								$\delta^{34}S$ ‰
	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ionen-summe	CO_2 frei	
26. 10. 73	37	347	108	53	1076	159	1781	n. b.	14,4
26. 10. 73	12	170	52	21	499	171	926	n. b.	16,1
26. 10. 73	16	230	64	21	620	244	1195	n. b.	17,3
26. 10. 73	8	200	52	48	489	207	1014	n. b.	16,0
27. 9. 74	1	147	36	21	527	268	1009	n. b.	15,3
20. 1. 74	10	266	41	18	778	98	1212	n. b.	15,8
9. 11. 73	132	204	54	57	761	232	1442	n. b.	16,1
6. 11. 73	27	143	45	28	489	104	838	n. b.	17,5
9. 11. 73	28	297	274	28	1785	85	2499	n. b.	15,1
9. 11. 73	357	370	156	1259	485	98	2726	n. b.	17,9
24. 1. 74	24	255	39	14	811	85	1228	n. b.	12,0
18. 12. 73	38	183	53	10	513	220	1019	n. b.	17,5
31. 10. 74	13	262	105	14	699	409	1608	n. b.	20,4
13. 11. 74	15	305	31	11	664	232	1264	n. b.	20,3
22. 5. 73	14	590	54	28	1432	299	2453	n. b.	11,7
5. 12. 73	22	579	60	9	1465	240	2412	n. b.	12,4
26. 3. 74	6	580	58	14	1510	146	2314	n. b.	15,7
(27. 7. 57)	2520	715	169	4031	1315	1125	9884	1402	16,8
12. 3. 76	17928	1924	774	28720	2521	4271	56140	n. b.	12,1
22. 5. 73	16	358	69	18	1021	201	1690	n. b.	13,3
22. 5. 73	23	548	69	18	1494	226	2382	n. b.	13,1
7. 11. 73	19	414	80	7	1304	73	1898	n. b.	13,0
(16. 5. 72)	11	136	71	11	509	165	905	n. b.	14,1
21. 5. 73	92	325	80	78	895	391	1865	n. b.	15,8
12. 6. 74	5	442	144	11	1488	134	2250	n. b.	15,3
24. 3. 75	13	285	49	25	718	219	1331	n. b.	11,1
20. 6. 75	31	232	152	18	938	266	1606	n. b.	12,8
5. 3. 75	19	117	36	11	262	281	729	n. b.	4,8

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Probe	Entnahmestelle Bezeichnung	Tiefe (m)	Lage Blatt-Nr. TK 25	R	H	Hydrogeologie Aquifer	Artese	Nutzung
51	Ehrsen-Breden Brg. Burwelle	120	3918	85 630	70 610	km4	–	–
52	Retzen Brg. Sassenholz	180	3918	87 230	69 515	km4	–	–
53	Wasserwerk Begatal Br. I	15	3918	84 580	69 055	qp	–	+
54	Waddenhausen Quelle Due	–	3918	84 550	64 730	km4	+	–
55	Waddenhausen Quelle am Teich	–	3918	84 430	65 130	km1	+	–
56	Retzen Brg. Quentsiek	135	3918	85 920	69 920	km4	+	–
57	Lieme Brg. 9/73	60	3918	87 440	66 200	Lias	–	–
58	Lemgo Brg. Vogelhorst 1	45	3919	96 460	65 190	ko	–	–
59	Lemgo Brg. Vogelhorst 2	101	3919	96 190	65 230	km4	–	–
60	Bad Salzuflen Thermalsprudel II	1018	3918	83 550	73 720	sm	+	+
61	Bad Salzuflen Thermalsprudel III	413	3918	82 820	72 620	mo + ku	+	+
62	Bad Salzuflen Loose-Brunnen	400	3818	83 800	75 530	mu ku	+	+
63	Bad Salzuflen Jobst-Quelle	–	3818	83 970	75 560	ku + mo	+	–
64 a	Bad Oeynhausen A.-v.-Humboldt-Sprudel	973	3718	86 160	85 200	sm	+	+
64 b	Bad Oeynhausen A.-v.-Humboldt-Sprudel	1034						
65	Bad Oeynhausen Jordan-Sprudel	725	3818	86 130	84 890	sm	+	+
66	Bad Oeynhausen Oeynhausen-Sprudel	696	3718	85 920	85 250	mu	+	+
67	Bad Oeynhausen Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle	184	3718	85 970	86 070	Lias ko	–	+
68	Bad Oeynhausen Wittekind-Brunnen	6	3718	86 070	85 460	Lias	–	+
69 a	Seebruch Erdfall-Quelle	25	3819	90 260	78 000	?	+	–
69 b	Seebruch Erdfall-Quelle							
69 c	Seebruch Erdfall-Quelle							
70	Seebruch Mineral-Quelle	175	3819	90 320	78 000	km4		+
71	Vlotho Rahlbruch-Quelle	–	3819	89 980	81 120	?	+	–
72	Vlotho Sol-Quelle	–	3819	90 050	81 000	?	+	–
73	Vlotho Kanalisationsgraben Nordabschnitt	5	3819	89 970	80 930	mo		–

Datum	Hydrochemie								$\delta^{34}S$ ‰
	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ionen-summe	CO_2 frei	
19. 9. 73	15	204	39	35	441	250	986	n. b.	10,7
21. 12. 73	12	200	49	35	629	92	1018	n. b.	11,5
14. 1. 74	45	200	29	57	416	262	1017	n. b.	9,1
17. 9. 74	60	278	35	89	639	214	1345	n. b.	11,4
17. 9. 74	14	141	49	71	328	183	826	n. b.	13,9
9. 10. 73	10	273	213	78	1181	244	2011	n. b.	13,2
10. 1. 74	959	434	242	2113	1128	268	5258	n. b.	14,1
8. 2. 74	14	362	104	53	1063	165	1765	n. b.	13,3
21. 2. 74	18	430	115	14	1485	73	2136	n. b.	14,5
1965	39038	1822	844	60897	4868	2153	109746	2867	11,1
1965	21802	2348	533	36244	3023	1458	65530	2261	13,9
1965	888	448	60	1108	1005	855	4423	616	17,3
14. 3. 75	487	345	74	780	815	549	3052	n. b.	16,9
10. 9. 74	7102	247	1341	10681	3522	1292	24244	1452	12,1 11,4
8. 10. 74	7324	1273	270	11257	3317	1045	24544	1645	12,2
8. 10. 74	12483	1596	186	19235	3584	1305	38480	1244	12,5
26. 4. 69	27962	1322	365	42251	3724	1977	77645	1980	12,7
20. 7. 73	1719	1268	171	4432	900	503	9014	387	12,8
1. 2. 71	27	478	85	57	1346	134	2127	n. b.	12
2. 1. 74	25	547	62	50	1448	189	2323	n. b.	13,6
5. 7. 75	48	543	82	53	1518	189	2434	n. b.	11,7
20. 7. 71	35	523	82	71	1397	232	2340	n. b.	13,3
21. 11. 72	90	633	46	128	1454	268	2619	n. b.	15
21. 11. 72	1076	489	52	1454	1199	513	4784	n. b.	14,2
11. 6. 75	1242	319	46	1627	1140	439	4817	n. b.	13,4

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Probe	Entnahmestelle Bezeichnung	Tiefe (m)	Lage TK 25 Blatt-Nr.	R	H	Hydrogeologie Aquifer	Artese	Nutzung
74	Vlotho Quellbach in den Lärchen	–	3819	89 880	80 830	mo		–
75	Vlotho–Rahlbruch Meßstelle	50	3819	90 006	80 958	mo1	+	–
76	Kalldorf Brg. Niedernmühle 3/73	60	3819	94 660	81 050	ku	+	–
77	Bad Oeynhausen Brunnen Krankenhaus	66	3818	86 320	84 430	km4	+	+
78	Bad Oeynhausen Peilrohr 9	52	3818	87 300	84 600	ko	–	–
79	Löhne Br. Stodiek	40	3818	80 080	84 480	ko	+	+
80	Löhne Steinbronn	31	3818	80 170	84 140	ko	+	+
81	Löhne Br. Twelsiek	27	3818	80 330	84 100	ko	+	+
82	Löhne Brg. Geiseberg	93	3818	79 930	83 270	km4	+	+
83	Löhne Brg. Falscheide	78	3818	77 845	82 515	ko	+	+
84	Löhne WW Br. 1	84	3818	80 840	83 165	km4	–	+
85	Löhne WW Br. 4	65	3818	80 945	83 350	km4	–	+
86	Herford Brauerei	120	3817	76 690	78 380	km4	–	–
87	Hiddenhausen Br. 9	108	3817	73 420	80 040	km4	–	–
88	Hücker-Aschen	64	3817	66 740	81 410	km4	–	+
89 a	Bad Hüsede Gesundheitsbrunnen	30	3616	58 460	97 000	Malm	+	+
89 b	Bad Hüsede Gesundheitsbrunnen							
90	Holzhausen Qu. Holsing	3	3717	69 840	95 500	Malm	+	+
91	Rothenuffeln Qu. Dammermann	3	3718	85 590	93 600	Malm	+	+
92	Fiestel	140	3617	70 280	02 970	Malm	–	+
93	Levern Meyerhof Br. II	65	3616	05 660	62 800	Malm	–	+
94	Minden Solbad (Schacht Bölhorst)	300	3719	92 490	93 250	kru	–	+
95	Bad Essen Solebohrung 1975	404	3616	55 240	99 700	Malm	–	+

Datum	Hydrochemie								$\delta^{34}S$ ‰
	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ionen-summe	CO_2 frei	
16. 6. 75	491	374	96	752	1008	329	3078	n. b.	14,0
12. 11. 75	932	392	58	1227	1200	506	4315	n. b.	13,5
25. 9. 73	2114	358	208	3723	737	366	7508	n. b.	14,9
29. 8. 74	19	301	51	21	941	18	1357	n. b.	14,3
31. 1. 75	32	207	39	18	409	317	1024	n. b.	14,3
19. 7. 73	20	583	45	21	1482	177	2330	n. b.	13,1
19. 7. 73	18	576	48	35	1410	165	2249	n. b.	13,1
19. 7. 73	18	607	19	69	1266	268	2243	n. b.	13,2
19. 7. 73	50	593	48	213	1199	244	2349	n. b.	13,6
19. 7. 73	305	590	56	457	1455	366	3230	n. b.	13,7
19. 7. 73	24	290	54	39	791	146	1345	n. b.	12,5
19. 7. 73	28	364	105	35	1189	153	1876	n. b.	12,8
19. 7. 73	21	472	40	28	1104	214	1882	n. b.	11,9
23. 5. 73	14	218	41	13	780	171	1009	n. b.	13,1
9. 11. 74	10	127	19	39	325	85	605	n. b.	10,2
4. 1. 74	35	590	36	74	1387	195	2334	n. b.	16,8
26. 3. 74	44	612	31	64	1408	246	2438	41	16,9
(7. 9. 67)	12	620	6	18	1288	305	2252	n. b.	14,4
(19. 4. 69)	30	632	22	52	1353	308	2420	75	16,6
(7. 9. 67)	24	538	97	50	1428	244	2383	n. b.	19,0
(17. 9. 55)	74	690	63	25	1337	n. b.	2320	45	13,0
18. 10. 74	22445	2966	5156	54604	1407	195	86773	n. b.	11,0 (10,6)
10. 6. 75	70536	1556	1357	113037	3342	165	189996	n. b.	19,1

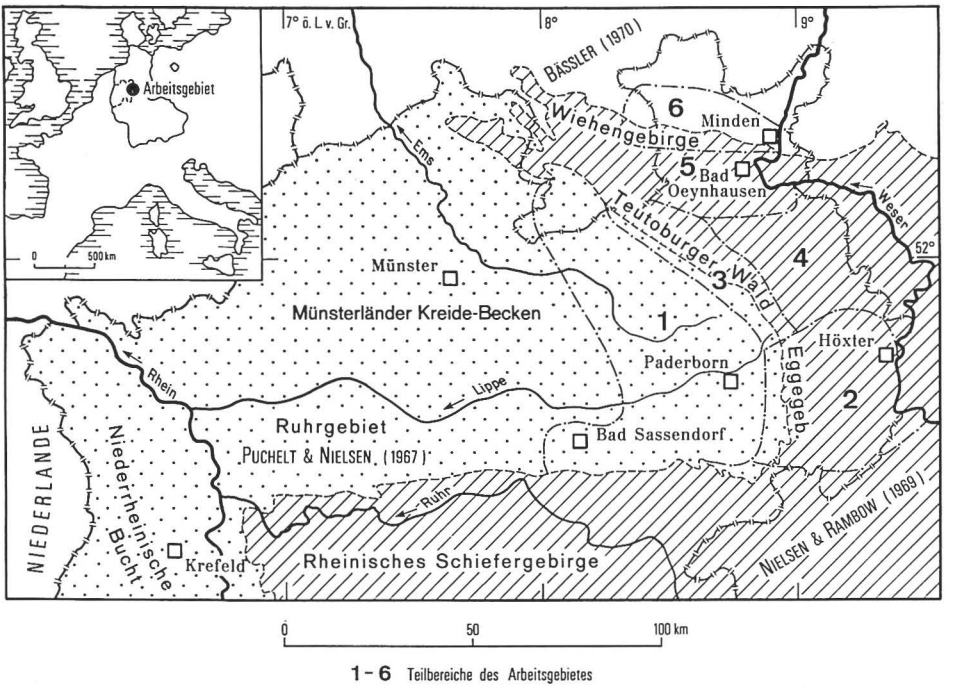


Abb. 3. Lage des Arbeitsgebietes und seiner Teilbereiche

Die Salinargrenzen der Tafel 1 wurden der Strukturkarte des Planungsatlasses von Nordrhein-Westfalen entnommen (Geologische Struktur 1976).

Um bessere Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten, wurden acht Mineralwasser-Proben aus dem Ostteil des Münsterschen Beckens, welches im strengen Sinne nicht zu Ostwestfalen gehört, einbezogen, da über die Herkunft dieses großen Solevorkommens abseits der Verbreitung von Salzlagerstätten noch immer lebhaft diskutiert wird.

Die Besprechung der Einzelwerte erfolgt gebietsweise. Das Schema dieser regionalen Gliederung ist aus der Abbildung 3 ersichtlich. Der Teilbereich 2 des Arbeitsgebietes schließt an das hessische Untersuchungsgebiet (NIELSEN & RAMBOW 1969) an.

4.1. Ostteil des Münsterschen Beckens (Proben 1 – 8)

Die lang bekannte Tatsache, im Münsterschen Oberkreide-Becken – einem idealen artesischen Becken – sowohl in der Tiefe als auch an den Rändern Sole anzutreffen anstatt Süßwasser (BODE 1964), fasziniert den Kenner immer wieder und gibt wissenschaftlichen Hypothesen ständig neuen Anlaß. Die alte Lehrmeinung leitet die Solen aus dem Zechstein ab (FRICKE 1961, SEMMLER 1960). Neuerdings wird einer paläohydrogeologischen Betrachtung der Vorzug gegeben, wobei abgelaugte Zechstein-Salze mit berücksichtigt werden (MICHEL & RABITZ & WERNER 1974). Die zum Teil recht hohen Sulfatgehalte der Solen (bis 3000 mg/kg) boten sich für eine Schwefel-Isotopenmessung an, doch blieb es zunächst bei der Untersuchung von sechs Solevorkommen und zwei Calcium-Hydrogencarbonat-Thermen.

Vom Nordrand des Münsterschen Beckens wurden die Solen von Bad Laer (MICHEL 1974 a) und Bad Ravensberg (FRICKE 1964 b) untersucht. Aquifer ist in beiden Fällen Kalkstein des Turons (Probe 1 u. 2).

Die 7,2 %ige Sole der 160 m tiefen Neuen Martins-Quelle in Bad Laer ist aus dem Zechstein herzuleiten. Der δ^{34}S-Wert beträgt 11,4 ‰ (Probe 1). BÄSSLER (1970) ermittelte für die 7 %ige Sole der 100 m tiefen „Quelle am Thie" in Bad Laer einen δ^{34}S-Wert von 12,2 ‰. Nach SAVELLI & WEDEPOHL (1969) stammen die leichtesten Sulfatschwefel (δ^{34}S-Wert 12,8 ‰) des Kalksinters von Bad Laer wahrscheinlich aus dem Zechstein-Salinar, dessen ursprüngliche Grenze nördlich von Bad Laer nachgewiesen ist.

Im unmittelbar benachbarten Bad Rothenfelde gibt BÄSSLER (1970) für den 180 m tiefen Wittekind-Sprudel den eindeutigen Zechstein-Wert von 11,7 ‰ an.

Der δ^{34}S-Wert von 13,6 ‰ (Probe 2) für die 1,7 %ige Sole (SO_4-Gehalt 883 mg/kg) aus dem nur 12 m tiefen Bethesda-Brunnen im Solbad Ravensberg (FRICKE 1964 b) kann schwer interpretiert werden. Hier in der Nähe des Zechstein-Randes wäre ein eindeutiger Zechstein-Wert zu erwarten gewesen. So muß angenommen werden, daß es sich, ähnlich wie am Südrand des Münsterschen Beckens, um ein connate water im weiteren Sinne handelt (MICHEL 1966).

Dagegen zeigen im östlichen Randbereich des Münsterschen Beckens, in Bad Lippspringe (FRICKE 1969), die Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Thermen Arminius-Quelle (T = 20,2° C) und Martinus-Quelle (T = 27,8° C) wieder eindeutige Zechstein-Werte (Probe 3 u. 4).

Obwohl sie unterschiedlich tief sind (8,5 m und 500 m), muß aus hydrogeologischen Gründen geschlossen werden, daß das Mineralwasser aus dem gleichen Aquifer stammt. Die Arminius-Quelle steigt auf einer tiefreichenden etwa Südwest — Nordost verlaufenden Störungszone auf. Bei der Martinus-Quelle mußten dagegen erst 485 m gebohrt werden, um den etwa 15 m mächtigen Aquifer, den Unterkreide-Sandstein, zu erreichen (Abb. 4). Dieser Aquifer steht etwa 10 km weiter östlich im Eggegebirge zutage an. Zu diesem Ausstrichbereich besteht jedoch lediglich eine hydraulische Verbindung, denn Sulfatgesteine sind in der gesamten jüngeren Schichtenfolge nicht verbreitet. Das artesisch ausfließende Sulfatwasser weist ein relativ hohes ^{14}C-Alter auf und ist praktisch tritiumfrei, d. h. es ist sicherlich von seinem Bildungsgebiet abgeschnitten (GEYH & MICHEL 1974). Der Hydrogeologe bezeichnet deshalb dieses Sulfatwasser als „artfremd", wobei nach den bisherigen Überlegungen an die Auslaugung sowohl triassischer als auch permischer Sulfatgesteine gedacht worden war. Zeitlich ist die Bildung dieses „fossilen" Mineralwassers vor die jungkimmerische Faltung einzustufen. Die δ^{34}S-Bestimmungen ergaben nun Werte von 10,6 bzw. 11 ‰ und 11,1 ‰. Damit wird die alleinige Herkunft aus Zechstein-Evaporiten untermauert. Dies paßt sehr gut in das paläogeographische Bild der Zechstein-Zeit (Taf. 1). Der ursprüngliche Rand des Zechstein-Meeres lag zwischen Bad Lippspringe und der Egge.

20 Kilometer weiter südwestlich trat früher am Südrand des Münsterschen Beckens auf dem Marktplatz von Salzkotten die Quelle Unitas aus. Durch Ausfällung ihrer Hydrogencarbonat-Komponente entstand ein beachtlicher uhrglasförmiger Hügel aus Sinterkalk. Heute ist die Quelle verstopft. Im Februar 1976 konnte aber eine 2 %ige Sole aus der Wasserhaltung der Baugrube des neuen Rathauses untersucht werden. Der Sulfatgehalt betrug 580 mg/l und der δ^{34}S-Wert 10,8 ‰ (Probe 5). Auch hier handelt es sich um einen eindeutigen Zechstein-Wert.

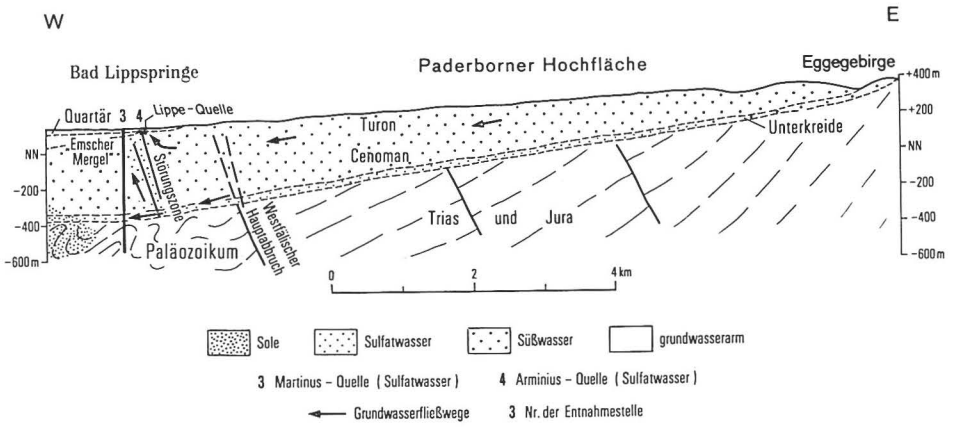


Abb. 4. Schematischer hydrogeologischer Schnitt von Bad Lippspringe bis zum Eggegebirge

Die drei noch am Südrand des Münsterschen Beckens (Abb. 5) untersuchten Solen (Probe 6, 7 und 8) ergaben δ^{34}S-Werte, die oberhalb des δ^{34}S-Bereiches der Zechstein-Evaporite liegen.

In Bad Sassendorf wird Sole sowohl im Oberkreide-Deckgebirge als auch im paläozoischen Untergrund angetroffen (FRICKE 1963). Untersucht wurde die 8,3 %ige Sole aus der 404 m tiefen Bohrung 14 (Sulfatgehalt: 1424 mg/kg). Aquifer ist ein oberdevonischer Sandstein. Der δ^{34}S-Wert beträgt 13,5 ‰ (Probe 6).

Bad Waldliesborn hat zwei tiefe Thermalsolebohrungen (FRICKE & WEVELMEYER 1960). Aquifer ist der mitteldevonische Massenkalk. Die Ergiebigkeit der Bohrungen ist trotz großer Absenkung des Solespiegels gering, die Salzkonzentration sehr hoch (10 %). Der δ^{34}S-Wert beträgt 14,5 ‰ (Probe 7).

Der δ^{34}S-Wert von 13,3 ‰ der Probe 8 aus der 78 m tiefen Bohrung Westernkottener Warte in Bad Westernkotten (FRICKE 1964 a) entspricht denen der beiden vorher genannten Vorkommen. Hier fließt die Sole aber aus dem Deckgebirge zu. Aquifer ist der klüftige Kalkstein des Turons. Die Schüttung der artesischen Bohrung ist beträchtlich. Sie beträgt noch heute, 131 Jahre nach ihrer Vollendung, ca. 60 m³/h!

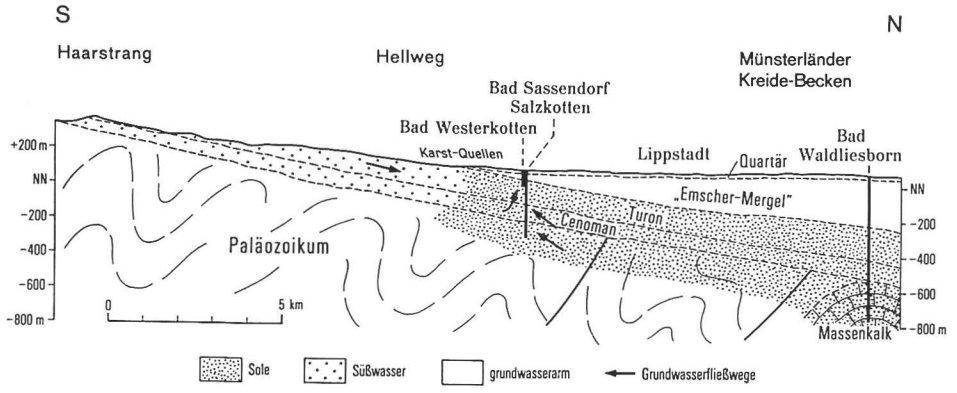


Abb. 5. Schematische Darstellung der hydrogeologischen Position der Bäder Westernkotten, Sassendorf und Waldliesborn

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Im Bereich der ursprünglichen Zechstein-Verbreitung zeigen die Sulfate der Mineralwässer eindeutige Zechstein-δ^{34}S-Werte. In größerem Abstand davon sind die Sulfate isotopisch deutlich schwerer und eine Zechstein-Herkunft ist hier nicht mehr sicher nachzuweisen. Die δ^{34}S-Werte könnten sowohl eine Zumischung von jüngeren Sulfaten anzeigen oder auch mit einer bakteriellen Tätigkeit innerhalb des Aquifersystems erklärt werden. Auf jeden Fall handelt es sich um sehr alte Solen, die im Laufe ihrer Geschichte eine erhebliche diagenetische Beeinflussung erfahren haben (connate water im weitesten Sinne).

4.2. Egge, Borgentreicher Keuper-Mulde und Brakeler Muschelkalk-Schwelle (Proben 9 – 26)

In der Egge herrschen komplizierte Lagerungsverhältnisse vor. Die Schichtenkomplexe sind vorkimmerisch gefaltet und prätertiär überprägt. Grundwasserleiter und -nichtleiter von Buntsandstein- bis Unterkreide-Alter wechseln auf engem Raum.

Die Borgentreicher Keuper-Mulde und die Brakeler Muschelkalk-Schwelle schließen sich nach Osten an. In relativ flacher und ruhiger Lagerung sind Gesteine des Muschelkalks (ca. 250 m mächtig) und des Unteren Keupers (50 m) sowie Teile des Mittleren Keupers (bis 100 m) verbreitet. Es folgen am Westhang des Wesertales zwischen Karlshafen und Höxter Röt-Gesteine. Der Weserlauf markiert hier etwa die Grenze zwischen Röt und Mittlerem Buntsandstein, welcher im Solling-Gewölbe weitflächig zutage tritt.

Der Westrand der primären Zechstein-Verbreitung verläuft unmittelbar westlich des Eggegebirges. Die Begrenzung des Zechstein-Salzes entspricht etwa einer Linie Warburg – Brakel – Steinheim.

Die im Mineralwasser und im sonstigen Grundwasser gelösten Sulfate, deren Herkunft zur Diskussion steht, können aus folgenden Schichten stammen: Zechstein, Röt, Mittlerer Muschelkalk, Mittlerer Keuper.

Die Säuerlinge von Bad Hermannsborn sind im Zuge der Osning-Achse an eine Auffaltung und Aufschiebung von Mittlerem Buntsandstein gebunden (Fricke 1968), welcher auch der Mineralwasserleiter ist.

Die meisten der etwa zehn Heilquellen sind sehr flach gefaßt, so auch die von uns untersuchte Stahl-Quelle (Probe 9). Es handelt sich um einen Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Säuerling mit 1780 mg/kg gelösten festen Bestandteilen. Davon entfallen auf die Sulfate etwa 600 mg. Der gemessene δ^{34}S-Wert von 11,8 ‰ ermöglicht eine Zuordnung zu Zechstein-Sulfaten. Das Mineralwasser wird somit aus größeren Tiefen durch die aufsteigende Kohlensäure bis an die Oberfläche geliftet. Eine Verbindung zu Röt-Sulfaten, die in der Nachbarschaft der Quelle erbohrt worden sind, ist damit völlig auszuschließen (Abb. 6).

Im östlichen Vorland der Egge tritt im Bereich einer Keuper-Bruchscholle nördlich von Willebadessen die Dr.-Wahl-Quelle aus (Probe 10). Es handelt sich dabei um ein kohlensäurefreies Calcium-Sulfat-Wasser mit etwa 1000 mg/l gelösten Sulfaten. Der δ^{34}S-Wert beträgt 11,9 ‰ und liegt im Zechstein-„Feld". Dieser Wert spricht gegen gelösten Keuper-Gips. Eine Keuper-Herkunft wurde bisher für selbstverständlich angenommen, auch weil das Mineralwasser in seiner Temperatur und seinem Chloridgehalt unauffällig ist.

Die Stadt Bad Driburg betreibt im Bereich von Süd – Nord verlaufenden Muschelkalk – Keuper-Schollen, die zwischen der Bad Driburger Achse und der Osning-

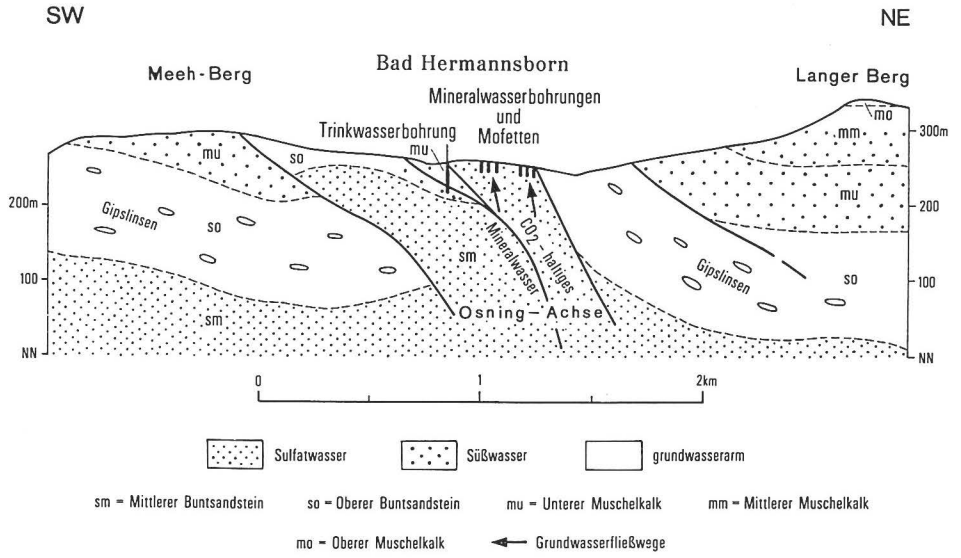


Abb. 6. Die hydrogeologische Position von Bad Hermannsborn

Achse eingesunken sind (Abb. 7), das Wasserwerk Weißenborn (MICHEL 1966/67). Das dort geförderte Grundwasser ist sehr hart und weist relativ viel aggressive Kohlensäure auf. Es war naheliegend, die gelösten Sulfate (bis 400 mg/l) von den Gipsen des Mittleren Muschelkalks abzuleiten. Zu dieser Vorstellung paßt jedoch nicht der $\delta^{34}S$-Wert von 13,2 ‰ (Probe 11). Andererseits schließt der geologische Bau eine hydraulische Verbindung zu tiefer liegenden Aquiferen und so auch zu Grundwässern, die von Zechstein-Ablagerungen beeinflußt werden, nicht völlig aus.

Von den kohlensäurereichen Heilquellen Bad Driburgs (FRICKE 1972) wurde die 70 m tiefe artesische Haupt-Quelle 2 untersucht (Probe 12). Aquifer ist der Solling-Sandstein des Mittleren Buntsandsteins. Der Sulfatgehalt liegt bei 1400 mg/l, der $\delta^{34}S$-Wert beträgt 18,5 ‰. Dies spricht gegen aufsteigendes Zechstein-Wasser und eher für Zuflüsse von Sulfatwasser aus Schichten des Mittleren Muschelkalks, was

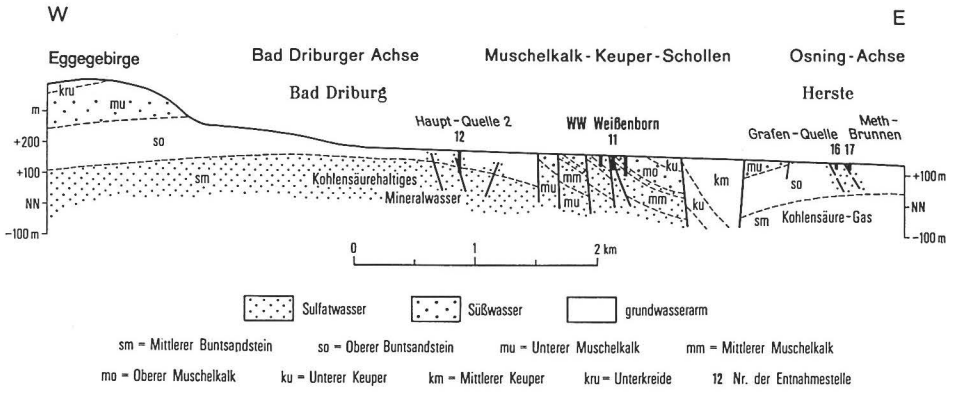


Abb. 7. Schematischer hydrogeologischer Schnitt durch das Heilquellengebiet von Bad Driburg

bei dem geologischen Bau der Driburger Aufwölbung und ihrer allseitigen Muschelkalk-Begrenzung sowie Störungen im Röt durchaus plausibel ist.

Der $\delta^{34}S$-Wert von 18,3 ‰, welcher an einer nicht gefaßten Mineralquelle bei Reelsen nördlich Bad Driburg gemessen wurde (Probe 13), entspricht der Muschelkalk-Herkunft dieser Quelle.

Bei der 24 m tiefen Neuen-Graf-Metternich-Quelle in Vinsebeck (Probe 14), welche in einer sehr schmalen Scholle von Mittlerem Buntsandstein steht, beträgt der $\delta^{34}S$-Wert 16,1 ‰. Seine Interpretation ist nicht einfach. Er paßt in das Keuper-„Feld". Keuper steht in der Umrandung der Scholle jedoch nicht an, sondern Muschelkalk. Und dafür ist der Wert zu klein. Da die Alkalien und die Chloride nicht aus den Sandsteinen des Mittleren Buntsandsteins stammen können, haben wir als Chloridlieferanten Zechstein und möglicherweise auch Röt anzunehmen, und der $\delta^{34}S$-Wert spricht dafür, daß es sich um Mischwasser aus Röt und Zechstein handeln kann. Für die Praxis ist daraus der Schluß zu ziehen, daß das Einzugsgebiet der Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Säuerlinge wesentlich größer als der Ausbiß der Sandsteine ist und in weiterer Entfernung liegt.

In Nieheim wurde der 418 m tiefe Nikolaus-Brunnen beprobt. Aquifer ist ebenfalls der Mittlere Buntsandstein, der hier jedoch erst ab 360 m Tiefe angetroffen wurde. Nach der balneologischen Nomenklatur liegt ein eisenhaltiger Calcium-Natrium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Säuerling vor. Der Sulfatgehalt beträgt etwa 800 mg/l und der $\delta^{34}S$-Wert 14,8 ‰ (Probe 15). Dies deutet auf gelöste Keuper-Sulfate hin, was den Hydrogeologen sehr überraschte. Für ihn lag es auf der Hand, das Einzugsgebiet der Bohrung im Süden in dem höher gelegenen Ausstrichbereich des Mittleren Muschelkalks zu sehen. Nun kann gefolgert werden, daß das Mineralwasser an eine schmale West – Ost verlaufende Keuper-Scholle gebunden ist, die den Falkenhagener Graben im Süden begrenzt.

Südlich Herste – bekannt durch seine industriell genutzten Mofetten – wurden zwei Säuerlinge beprobt, die aus Röt-Tonsteinen natürlich zutage treten und gefaßt sind (Abb. 7, Probe 16 u. 17). Beide Quellen haben Sulfatgehalte von über 1000 mg/l. Die $\delta^{34}S$-Werte sind typisch für Röt-Wässer: 21,7 und 20,9 ‰.

Ergänzend wurden im Verbreitungsgebiet des Buntsandsteins westlich der Egge ein 68 m tiefer Brunnen und drei Quellen beprobt, welche erhöhte Sulfatgehalte aufweisen (Probe 18 – 21).

Es war nicht selbstverständlich, daß in allen vier Fällen Röt-Werte gemessen wurden ($\delta^{34}S$ 19,8 – 25,2 ‰). Auch Zechstein- oder Keuper-Herkunft wäre geologisch plausibel gewesen. Aufgrund ihres Isotopenwertes hätte die Probe 19 auch dem Muschelkalk oder dem Malm zugeordnet werden können. Beides scheidet jedoch aus geologischen Gründen aus, so daß die Röt-Interpretation damit eindeutig ist.

Südlich Höxter wurde 1971 im ehemaligen Sole-Bergwerksfeld Barbara eine 161 m tiefe Bohrung niedergebracht, die im Mittleren Buntsandstein eine sehr kohlensäurehaltige 4,5 %ige Sole mit einem Sulfatgehalt von fast 3000 mg/l (Probe 22) antraf. Der Hydrogeologe muß aus mehreren Gründen annehmen, daß die in der Sole gelösten Stoffe aus der Zechstein-Formation stammen (Dienemann & Fricke 1961: 304). 1906 ist bei 839 m Tiefe eine Kali-Mutungsbohrung eingestellt worden, ohne den Zechstein erreicht zu haben. Gemessen wurde nun ein $\delta^{34}S$-Wert von 13,9 ‰, welcher für eine reine Zechstein-Herkunft etwas zu schwer erscheint. So ist es durchaus denkbar, daß ein kleiner Anteil der gelösten Sulfate und damit vielleicht auch der Chloride aus einer jüngeren Formation stammt, z. B. aus dem Röt.

Die Stadt Borgentreich genießt in Kreisen der Wasserwirtschaft den traurigen Ruf, daß dort eines der härtesten Wässer der Bundesrepublik Deutschland für die Wasserversorgung genutzt werden muß (Gesamthärte über 60°d). Einziger Aquifer im Zentrum der Borgentreicher Keuper-Mulde ist nämlich der Gipskeuper im engeren Sinne (km1) mit Gipseinschaltungen und Sulfatverkarstung. Darin stehen nun die Brunnen, die zwar relativ ergiebig sind, aber Sulfatgehalte von über 1000 mg/l aufweisen. Die δ^{34}S-Untersuchung des Grundwassers aus dem 90 m tiefen Brunnen 1 (Probe 23) ergab einen Wert von 14,4 ‰, wie zu erwarten war.

In den randlicheren Bereichen der Borgentreicher Keuper-Mulde wird das Grundwasser aus Brunnen gefördert, die bis 220 m tief sind. Grundwasserleiter ist der gesamte Muschelkalk, welcher schon auf kurzen Entfernungen in seiner Klüftigkeit sowie dem Grad der Carbonat- und Sulfatverkarstung und damit in seiner Grundwasserführung sehr stark wechselt. Auch bestehen teilweise gute hydraulische Verbindungen zu den Keuper-Schichten. So ist es nicht verwunderlich, daß die drei untersuchten Proben aus den Muschelkalk-Brunnen in Bühne, Natingen und Borgholz δ^{34}S-Werte ergaben, die für Keuper-Herkunft sprechen (Probe 24, 25 u. 26).

Somit war es in der Borgentreicher Keuper-Mulde möglich, durch Einsatz der Schwefel-Isotopenuntersuchung den örtlich bisher nur vermuteten hohen Verkarstungsgrad zu bestätigen.

4.3. Teutoburger Wald zwischen Detmold und Bielefeld (Proben 27 – 32)

Zur Abrundung des isotopenphysikalischen Untersuchungsprogrammes wurden einige Grundwasserproben von der Nordostflanke des Teutoburger Waldes untersucht. Der ergiebigste Aquifer ist hier der etwa 15 m mächtige, klüftige und bankige Trochitenkalk, der flach bis mittelsteil nach Nordosten einfällt und der örtlich über streichende Verwerfungen mit seinen hangenden und liegenden Schichten hydraulisch in Verbindung steht (Abb. 8). Die Brunnentiefen erreichen 100 m. Der Sulfatgehalt des geförderten Grundwassers hält sich meist in Grenzen (80 bis

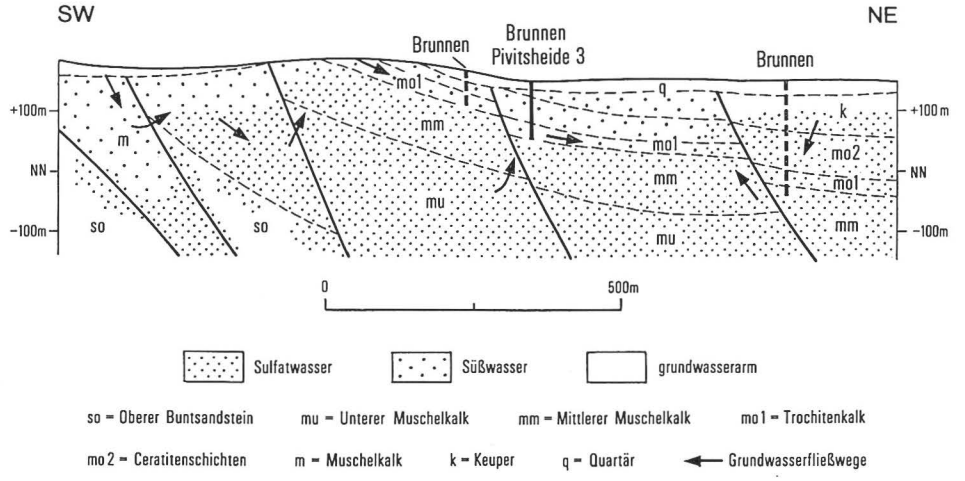


Abb. 8. Schematischer hydrogeologischer Schnitt durch die Nordflanke des Teutoburger Waldes westlich Detmold

200 mg/l). Die Ergiebigkeit der Brunnen ist sehr unterschiedlich und vor allem abhängig von der Klüftigkeit der Gesteine und der Größe des Einzugsgebietes.

Die hydrogeologische Untersuchungsbohrung Detmold 8/74 in Heidenoldendorf traf 80 m Trochitenkalk an. Entweder fällt dieser dort sehr steil ein oder er ist mehrfach an Störungen des Gebirges versetzt. Der Chemismus war für eine Trinkwassernutzung sehr ungünstig (Gesamthärte 40°d, SO_4^{2-} 527 mg/l) und es wurde deshalb nur kurzzeitig gepumpt. Der δ^{34}S-Wert beträgt 15,3 ‰ (Probe 27). Er kann dem Mittleren Muschelkalk teilweise zugeordnet werden, wenn man auch eine Oxidation von Sulfiden annimmt, die lokal auf Klüften des Trochitenkalks angetroffen werden. Die Vererzung ist isotopisch sehr leicht und beträgt − 17 ‰ bis − 27 ‰ (Nielsen 1972 b).

Im Brunnen 1 in Billinghausen wird Grundwasser aus dem Unteren und Mittleren Keuper gefördert. Der stark erhöhte Sulfatgehalt (778 mg/l) stammt aus den gipsführenden Schichten des Mittleren Keupers. Der δ^{34}S-Wert von 15,8 ‰ bestätigt die Annahme des Geologen (Probe 28).

Im Raum Bielefeld wurde nun in einigen Fällen auch der Mittlere und Untere Muschelkalk durchteuft (Probe 29, 30, 31): Das angetroffene Grundwasser fließt artesisch aus und der Sulfatgehalt ist sehr hoch. Es überrascht, daß die gefundenen δ^{34}S-Werte für Muschelkalk-Wässer nicht typisch sind. Der Einfluß der durchsickerten und durchflossenen Keuper-Gesteine ist nicht zu verkennen. Die Werte liegen nämlich zwischen 15,1 und 17,5 ‰, also im Keuper-„Feld". Somit ist erkennbar, daß Einwirkungen aus dem Mittleren Muschelkalk geringer sind, als es bisher angenommen wurde.

Am 24. Dezember 1925 wurde bei 452 m Bohrtiefe im Stadtzentrum von Bielefeld in den Schichten des Unteren Keupers eine Bohrung fündig, die „Weihnachtsbrunnen" genannt wird und die seitdem ein Hallenbad speist (Michel 1969 a: 181 ff.). Das Grundwasser ist mineralisiert (Probe 32) und höher temperiert (26° C). Der δ^{34}S-Wert beträgt 17,9 ‰. Er würde für eine Herleitung aus den hangenden Keuper-Schichten sprechen. Das Mineralwasser enthält aber neben einem Sulfatgehalt von 485 mg/l auch 1259 mg/l Chloride, die nicht aus dem Keuper stammen können. So liegt wahrscheinlich ein Mischwasser von Röt- und Zechstein-Herkunft vor. Der Chloridgehalt nimmt kontinuierlich zu. 1926 hatte er noch 227 mg/l betragen.

Um Vergleichswerte mit noch nicht gelösten Keuper-Sulfaten zu erhalten, wurden zwei Gipsproben aus einer 345 m tiefen Untersuchungsbohrung in Werther (R 59 715, H 11 630) untersucht. Beide Proben stammen aus den untersten Partien des Mittleren Keupers. Folgende Werte wurden gemessen:

169 m Tiefe 14,1 ‰,
250 m Tiefe 14,7 ‰.

4.4. Westteil des lippischen Berglandes (Proben 33 – 59)

Geologisch gesehen handelt es sich um das Keuper-Gebiet zwischen dem Teutoburger Wald im Südwesten und dem Kerngebiet der Piesberg – Pyrmonter Achse im Nordosten. Hier liegen die Bäder Meinberg und Salzuflen, die Städte Detmold und Lemgo. Es sind vorwiegend Aquifere und Aquicluden des Keupers verbreitet, wobei die primäre Gipsführung auf bestimmte stratigraphische Stufen beschränkt ist. Trotzdem weist das Grundwasser der anderen Stufen und außerhalb der Verbreitungsgebiete sulfatführender Schichten vielerorts oftmals erhöhte Sulfatgehalte auf. So gibt es eine augenfällige Anzahl von Bohrungen, die ge-

spanntes Grundwasser angetroffen haben, im Pumpversuch eine überdurchschnittliche Ergiebigkeit zeigten (bis 100 m³/h), aber extrem hohe Sulfatgehalte aufwiesen. Bohrungen mit derartigen Ergebnissen können unweit von Bohrbrunnen liegen, die den gleichen Aquifer nutzen und normale qualitative und quantitative Resultate haben (HAGELSKAMP & MICHEL 1974). In den letzten Jahren durchgeführte hydrogeologische Bohrprogramme konnten einige Klarheit bringen; dabei angetroffene Sulfatwässer wurden in die Schwefel-Isotopenuntersuchungen mit einbezogen (Probe 35, 36, 43, 44, 46 – 52, 56 – 59).

In Leopoldstal südlich Horn wurde das extrem harte Grundwasser aus dem 112 m tiefen Brunnen 1 beprobt (Probe 33). Aquifer sind Gesteine des Mittleren Keupers. Der δ^{34}S-Wert beträgt 12 ‰, ist also dem Zechstein zuzuordnen. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit der Dr.-Wahl-Quelle bei Willebadessen (Probe 10), zumal die geologische Position auch ähnlich ist.

Bei dem 134 m tiefen Brunnen in Billerbeck, welcher aus Sandsteinen des Unteren Keupers fördert, stammen die gelösten Sulfate aus den gipsführenden Partien des hangenden Mittleren Keupers, wie durch den δ^{34}S-Wert von 17,5 ‰ auch bestätigt werden konnte (Probe 34).

Am Nordostflügel des Bellenberges, einer Aufwölbung im Zuge der Osning-Achse, wurden in den Trochitenkalk zwei hydrogeologische Untersuchungsbohrungen abgeteuft, welche artesisch gespanntes Grundwasser mit erhöhten Sulfatgehalten antrafen. Wie im vorigen Fall, so konnte auch hier der geologische Befund mit dem physikalischen Meßergebnis gut korreliert werden: 20,4 und 20,3 ‰ sind eindeutige Muschelkalk-Werte (Probe 35 u. 36).

Die δ^{34}S-Werte der Calcium-Sulfat-Wässer aus den Heilquellen Altbrunnen 4 und Neubrunnen (FRICKE 1959) in Bad Meinberg passen dagegen gar nicht so recht in das vorgegebene Bild des Hydrogeologen. Beide Brunnen sind mit 36 m bzw. 30 m Tiefe relativ flach und stehen in gipsführenden Schichten des Mittleren Keupers. Sie erbrachten δ^{34}S-Werte von 11,7 und 12,4 ‰ (Probe 37 u. 38). Sollten hier auch wie in Bad Hermannsborn (Probe 9) und Bad Driburg (Probe 11) aufsteigende Zechstein-Wässer eine Rolle spielen?

Andererseits ist es auch durchaus denkbar, daß Zechstein-Sulfate bereits während der kimmerischen Phase mobilisiert wurden und in den Keuper-Schichten wieder auskristallisierten. Dafür spricht der δ^{34}S-Wert 11,1 ‰ des Gipses, der in der benachbarten 70 m tiefen Bohrung Altbrunnen 5 (R 97 980, H 51 650) aus den Schichten der Roten Wand (km3) entnommen wurde.

In Bad Meinberg wurde ebenfalls das Calcium-Sulfat-Wasser der 60 m tiefen Vorbohrung im Silvaticum und in Schieder der Natrium-Calcium-Chlorid-Säuerling der Nessenberg-Quelle (FRICKE 1958) untersucht. Beide stehen in Keuper-Aquiferen, und in beiden Fällen wurden auch Keuper-Werte gemessen: 16,3 und 16,8 ‰ (Probe 39 u. 40). Für die Nessenberg-Quelle hätte man einen Zechstein-Wert vermuten können, zumal die Gehalte an Natrium und Chlorid erhöht sind.

Seit März 1976 gibt es in Bad Meinberg noch die 1110 m tiefe Bohrung im Silvaticum, welche im Hauptdolomit des Zechsteins eine kohlensäurehaltige 5,5 %ige Thermalsole antraf. Der Sulfatgehalt beträgt rund 2500 mg/l, der entsprechende δ^{34}S-Wert 12,1 ‰ (Probe 41).

Von Bad Meinberg ausgehend erstreckt sich in nördlicher Richtung bis nach Lemgo der sogenannte Meinberger Graben (Abb. 9), in dem 35 hydrogeologische Untersuchungsbohrungen und Brunnen seit 1956 niedergebracht wurden.

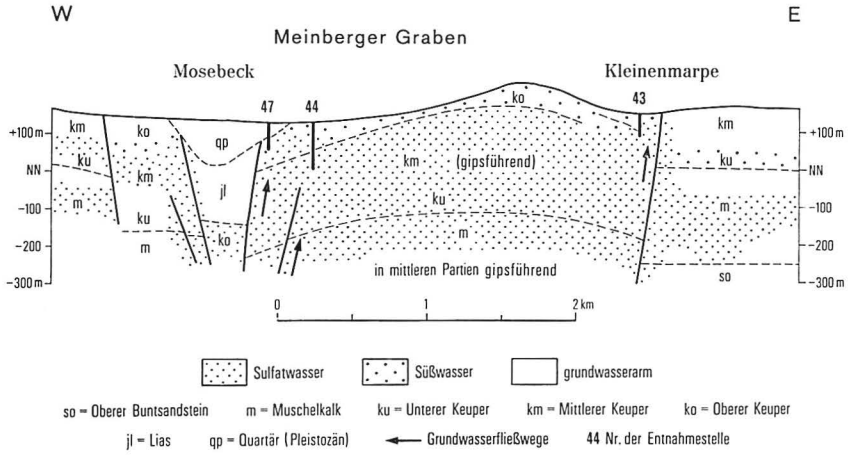


Abb. 9. Schematischer hydrogeologischer Schnitt durch den Meinberger Graben

Viele dieser Brunnen und Bohrungen führen Sulfatwasser, einige davon konnten mit untersucht werden. Nicht alle erhaltenen Werte passen zu dem Keuper-Aquifer, so die Entnahmestellen Diestelbruch Brunnen 2 (Probe 42), Kleinenmarpe (Probe 43), Niederschönhagen (Probe 44). Hier liegen Mischwässer vor. Einflüsse aus dem Zechstein, ähnlich wie bei den Bad Meinberger flachen Brunnen (Probe 37 u. 38), sind aufgrund der geologischen Gesamtsituation (Becker 1975) nicht völlig auszuschließen.

Echte Keuper-Wässer werden aus dem 67 m tiefen Brunnen Diestelbruch 3 (Probe 45) gefördert. Auch in den artesischen Bohrungen Blomberg N und Hellsiek 6 wurden reine Keuper-Wässer angetroffen (Probe 46 u. 47): die $\delta^{34}S$-Werte betragen 15,8 und 13,3 ‰.

Im nördlichen Abschnitt des Meinberger Grabens, bevor er unter dem Begatal ausklingt, tritt sulfatreiches, artesisch gespanntes Grundwasser auf. Die Zerklüftung des Gebirges ist anscheinend noch tiefreichender, als es bisher angenommen wurde. In zwei Bohrungen, die artesisch mit über 10 m³/h ausfließen, ist der Einfluß von Zechstein-Sulfaten sehr wahrscheinlich (Probe 48: 11,1 ‰; Probe 49: 12,8 ‰).

Die hydrogeologische Untersuchungsbohrung Wiembeck 1/75 war wenig ergiebig, und sie wurde deshalb auch nur kurzzeitig abgepumpt. Der Sulfatgehalt war schwach erhöht (281 mg/l). Der $\delta^{34}S$-Wert beträgt nur 4,8 ‰. Hier ist der Sulfatgehalt aus der Oxidation sedimentärer Pyrite abzuleiten. Dieser Schluß wird auch durch einen erhöhten Eisengehalt des Grundwassers bestätigt.

Im Bereich des Begatales und dessen ansteigendem Nordosthang wurde zwischen Lemgo und Bad Salzuflen mineralisiertes Grundwasser aus sechs Untersuchungsbohrungen, einem Brunnen und zwei Quellen untersucht (Probe 51 – 59). Die geologische Situation dieses Bereiches (Abb. 10) ließ vermuten, daß zumindest ein Teil der Mineralisation des Grundwassers seinen Ursprung in dem Zechstein hat. Im tieferen Untergrund verläuft etwa die Grenze zwischen Zechstein-Salinar östlich und der karbonatisch-sulfatischen Randfazies westlich davon. Weiterhin setzt sich mindestens bis in die Gegend von Lieme unter der quartären Bedeckung eine in Südost-Richtung verlaufende Abzweigung der Salzetal-Störung fort. Auch

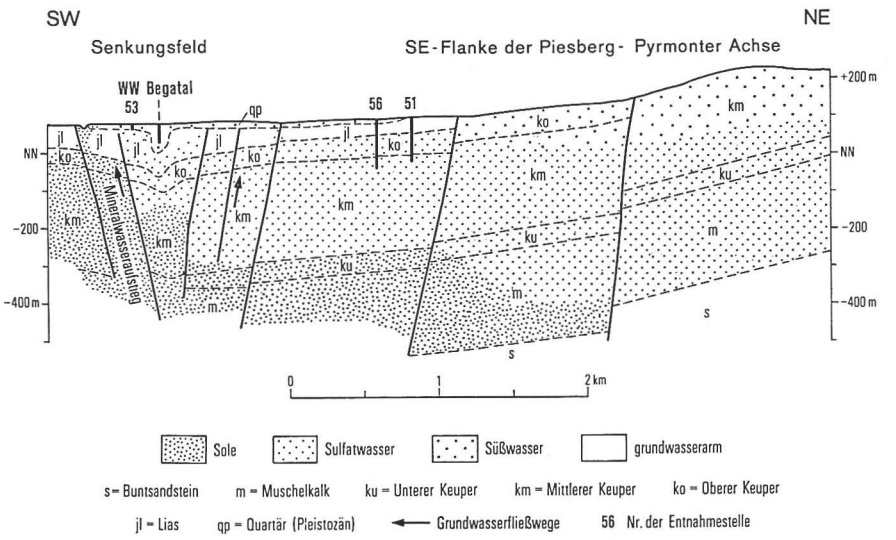


Abb. 10. Schematischer hydrogeologischer Schnitt durch die Südwestflanke der Piesberg – Pyrmonter Achse südlich Bad Salzuflen

ist bei Grastrup eine über 50 m tiefe Subrosionssenke bekannt, die mit pleistozänen Sanden und Kiesen ausgefüllt ist.

Die 120 m tiefe Bohrung Burwelle bei Ehrsen-Breden erwies sich ab 110 m Tiefe im Steinmergelkeuper als sehr ergiebig. Während eines 55-stündigen Pumpversuches trat jedoch eine Steigerung des Sulfatgehaltes von 60 mg/l auf 441 mg/l bei einer Leistung von 50 m³/h ein. Der δ^{34}S-Wert betrug 10,7 ‰ (Probe 51).

Auch in der 180 m tiefen Bohrung Sassenholz in Retzen erfolgten die Grundwasserzuflüsse erst kurz vor Erreichen der Endteufe. Der Sulfatgehalt war sehr hoch, der δ^{34}S-Wert betrug 11,5 ‰ (Probe 52).

Eine Überraschung stellt der δ^{34}S-Wert von 9,1 ‰ des Grundwassers aus dem 15 m tiefen Brunnen I (Probe 53) des Wasserwerkes Begatal in Grastrup dar. Sämtliche sechs Brunnen dieses Wasserwerkes stehen in pleistozänen Kiesen und Sanden. Seit einigen Jahren ist dort eine steigende Tendenz der Sulfatgehalte zu verzeichnen.

Schließlich ist die Quelle Due zu nennen, welche am Nordrand des Waddenhausener Horstes aus dem Steinmergelkeuper entspringt. Sie schüttet etwa 1 l/s eines schwach mineralisierten Wassers. Der Sulfatgehalt beträgt über 600 mg/l, der entsprechende δ^{34}S-Wert ist 12,6 ‰ (Probe 54).

Somit konnte an vier Stellen durch die Schwefel-Isotopenuntersuchungen bestätigt werden, daß die gelösten Sulfate an aufsteigende Mineralwässer aus dem Zechstein gebunden sind. Die Werte der übrigen untersuchten Grundwässer erlauben keine so eindeutige Zuordnung (Probe 55 – 59). Sie sind für eine Zechstein-Herkunft zu schwer und für eine alleinige Ableitung von Keuper-Evaporiten zu leicht (13,2 – 14,6 ‰).

4.5. Heilquellengebiet von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen

4.5.1. Geologie

Geologisch ist die Piesberg – Pyrmonter Achse das bestimmende Element. Bad Salzuflen liegt auf der Südflanke, Bad Oeynhausen auf der Nordflanke. Auf tiefreichenden Querstörungen, wie der Salzetal-Störung und der Oeynhausener Quellenspalte, bestehen hydraulische Verbindungen vermutlich bis in den Zechstein.

Die westliche Grenze des Zechstein-Salzes biegt westlich Bad Salzuflen in die Nordwest-Richtung ab. In der Bohrung Lieme 1 sind die Zechstein-Ablagerungen 270 m mächtig, davon entfallen 140 m auf die Anhydrit-Steinsalz-Folge des 3. Zyklus (Fabian 1953). Im Untergrund der beiden Bäder wurde der Zechstein in zwei über 1000 m tiefen Bohrungen noch nicht erreicht (Gustav-Horstmann-Thermalsprudel und Alexander-von-Humboldt-Sprudel). Diese wurden in den vermutlich tiefsten Lagen des Unteren Buntsandsteins abgebrochen, weil das Bohrziel, kohlensäurehaltige Thermalsole zu erschließen, erreicht war. Zum Vergleich: in den Bohrungen Bielefeld, Lieme 1 und Bad Meinberg wurde die Oberfläche des Zechsteins zwischen 1060 und 1070 m Bohrtiefe angebohrt. In der etwa 9 km südöstlich von Bad Oeynhausen gelegenen Bohrung Kalldorf 1 führt der Zechstein bei 122 m Gesamtmächtigkeit lediglich Zechstein-Kalk, -Dolomit und -Anhydrit; ursprünglich sedimentiertes Steinsalz soll abgewandert sein (Malzahn 1960: 230), wahrscheinlich in westliche Richtung, und bildet unter der sogenannten Valdorfer Mulde kissen- oder linsenförmige Salzkörper (Deutloff & Hagelskamp & Michel 1974: 44).

Bekannt sind zwischen Vlotho und Hohenhausen eine Anzahl von großen und tiefen Erdfällen relativ jungen Alters, einer von ihnen erreichte durch seine spektakuläre Aktivität im Juni 1970 traurige Berühmtheit (Deutloff & Hagelskamp & Michel 1974). Andererseits gab dieses Ereignis auch den Anstoß zu neuer wissenschaftlicher Initiative, so auch zu vorliegenden Untersuchungen und zu dem Einsatz der ^{14}C-Methode (Geyh & Michel 1977).

Der Untergrund von Bad Salzuflen dürfte ähnlich gebaut sein. Das Salz wird ebenfalls nicht flach gelagert vorliegen, sondern als Salzkissen. Die Subrosionsphasen fallen in Warmzeiten des Pleistozäns. Dafür sprechen tiefe schmale Senken, die mit jungen Lockergesteinen erfüllt sind.

Dieser kurze Exkurs in die spezielle Zechstein-Problematik dieses Raumes erschien uns notwendig, um die Schwefel-Isotopenuntersuchungen besser werten zu können.

Es wäre nämlich auch durchaus denkbar, für die Herkunft der Sole und damit auch für die Entstehung der Erdfälle Röt-Salze in Betracht zu ziehen. Trafen doch z. B. die Bohrungen Kalldorf 1 30 m und Bielefeld 1 60 m Röt-Salz an. (Vergl. auch die Übersichtskarte bei Wolburg 1969: 14.)

Weiterhin stand zur Diskussion, ob die Erdfälle nicht durch die Lösung von Keuper-Gips entstanden sein könnten. Damit im Zusammenhang ist auch die Frage zu sehen, ob nicht doch die Sulfatkomponente der Tiefensolen ebenfalls auf gelöste Keuper-Sulfate zurückzuführen ist. Derartige sulfatreiche Keuper-Wässer sind vor allem aus Löhne und dem Südteil von Bad Oeynhausen bekannt.

4.5.2. Diskussion der Ergebnisse

Bad Salzuflen (Proben 60 – 63)

In Bad Salzuflen (DIENEMANN & FRICKE 1961: 173 ff.) ergab die Untersuchung der 11 %igen Sole aus dem 1018 m tiefen Thermalsprudel II (Gustav-Horstmann-Thermalsprudel) erwartungsgemäß einen Zechstein-Wert von 11,1 ‰ (Probe 60). Mineralwasserleiter ist der Mittlere Buntsandstein.

In dem 413 m tiefen Thermalsprudel III fließt die 7 %ige Sole aus dem Oberen Muschelkalk und dem Unteren Keuper zu. Der $\delta^{34}S$-Wert beweist den Einfluß aus dieser Schichtenfolge: er beträgt 13,9 ‰ und ist somit kein reiner Zechstein-Wert (Probe 61).

3,5 km nördlich von Bad Salzuflen liegt die nördlichste Heilquelle des Bades, der Loose-Brunnen. Ursprünglich 400 m tief und bis in die Röt-Schichten reichend, wurde er 1965 saniert und nur noch bis 53 m Tiefe ausgebaut, weil das gewünschte Mineralwasser bereits in Dolomitgesteinen des Unteren Keupers angetroffen wird. Die stark schüttende Bohrung (50 m³/h) ist auf einen Ausfluß von 3 m³/h gedrosselt. Es handelt sich um ein 0,5 %iges Natrium-Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wasser mit einem Sulfatgehalt von rd. 1000 mg/l. Der $\delta^{34}S$-Wert beträgt 17,3 ‰, und er stellt somit eine Herkunft der Sulfate aus dem Keuper nicht in Frage (Probe 62).

200 m östlich entspringt die Jobst-Quelle, eine Verwerfungsquelle, die ebenfalls wegen ihrer erhöhten Mineralisation beprobt wurde (Probe 63). Wie zu erwarten war, zeigt sie mit 16,9 ‰ einen ähnlichen $\delta^{34}S$-Wert wie der Loose-Brunnen und paßt so gut in das hydrogeologische Bild: Das Mineralwasser stammt aus Keuper-Schichten.

Bad Oeynhausen (Proben 64 – 68)

In Bad Oeynhausen ergab die 1973 neu erbohrte, 2,5 %ige Sole aus dem 1034 m tiefen Alexander-von-Humboldt-Sprudel eindeutige Zechstein-Werte, nämlich 11,7 und 12,2 ‰ (Probe 64 a und b).

Die $\delta^{34}S$-Werte von den anderen untersuchten Solebohrungen lauten: Jordan-Sprudel 11,9 und 12,2 ‰, Oeynhausen-Sprudel 12,5 ‰, Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle 12,9 ‰ (Probe 65 – 67).

Ferner wurden Gipskristalle untersucht, die beim Ausfließen aus der Tiefensole an technischen Installationen auskristallisierten: Morsbach-Sprudel, Kreuzstück am Auslauf (Februar 1967) 11,2 ‰; Alexander-von-Humboldt-Sprudel, Meßkasten (August 1973) 13,3 ‰.

Auch diese Werte bestätigen die Zechstein-Herkunft der Sole. Der etwas hoch erscheinende Wert von 13,3 ‰ kann zwanglos damit erklärt werden, daß die Auskristallisation hier im Isotopen-Fraktionierungsgleichgewicht zwischen gelöstem Sulfat und kristallisiertem Gips erfolgte. Laborexperimente haben für diesen Modellfall einen Fraktionierungsfaktor von 1,0015 ergeben (THODE & MONSTER 1965), d. h. der ausgeschiedene Gips kann bis zu 1,5 ‰ schwerer sein als die Lösung.

Das Fraktionierungsgleichgewicht kann sich jedoch nur dort einstellen, wo die Kristalle mit einem ständig erneuerten Überschuß an gelöstem Sulfat umspült werden (offenes System). Diese Voraussetzung ist am Meßkasten erfüllt, jedoch nicht am Kreuzstück, wo durch Absperrung immer wieder erneut die Bedingungen des geschlossenen Systems eingestellt werden (s. S. 191).

Gipse und Anhydrite aus Spülproben und Kernen der Solebohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel ergaben folgende Werte:

Tiefe (m)	Stufe	Gestein	δ^{34}S-Wert
320 – 325	Rote Wand	Knauergips	12,4 ‰
530 – 540	Gipskeuper	Gips	13,9 ‰
694 – 695	Röt	Gips	13,5 ‰
720 (Kern)	Mittlerer Buntsandstein	Marienglas	14,5 ‰
1027 (Kern)	Unterer Buntsandstein	Anhydrit	7,9 ‰

Der Wert von 13,5 ‰ paßt nicht zu der angegebenen stratigraphischen Zuordnung. Die Probe stammt aber aus dem Bereich der großen Störungszone zwischen Mittlerem Muschelkalk und Röt (Sprunghöhe etwa 200 m) und deshalb ist hier der Einfluß aufsteigender kohlensäurereicher Lösungen aus dem Zechstein nicht auszuschließen. Das gleiche gilt für die Probe aus 720 m Tiefe.

Die beiden Werte der Keuper-Gipse liegen zwar noch im normalen δ^{34}S-Bereich der Keuper-Evaporite, könnten aber ebenfalls sekundär beeinflußt sein.

Der Anhydrit aus 1027 m Tiefe stammt aus dem Unteren Buntsandstein aus einer Paragenese mit Eisenglanz (Scherp 1977). Der δ^{34}S-Wert von 7,9 ‰ dürfte ein stark beeinflußter Mischwert sein. Offensichtlich handelt es sich um migrierte und wieder ausgefällte Zechstein-Sulfate mit einer geringen Beimischung von oxidiertem leichterem Sulfidschwefel.

Das Mineralwasser aus dem nur 6 m tiefen Wittekind-Brunnen im Kurpark von Bad Oeynhausen galt früher als das am höchsten konzentrierte Calcium-Chlorid-Wasser Deutschlands. Zwischen 1939 und 1975 hat die Gesamtkonzentration von ca. 26 g/kg auf ca. 9 g/kg abgenommen, der hydrochemische Typ änderte sich: Es liegt jetzt ein Natrium-Calcium-Chlorid-Wasser vor.

Der Sulfatgehalt von rd. 900 mg/kg hat sich in diesem Zeitraum nicht geändert. Gemessen wurde ein δ^{34}S-Wert von 12,8 ‰ (Probe 68). Dieser spricht für eine Herkunft der Sulfate aus der Tiefensole. Ein geringfügiger δ^{34}S-Anstieg gegenüber dem mittleren Zechstein-Wert durch bakterielle Tätigkeit kann nicht ausgeschlossen werden, denn die Lias-Tonsteine, die hier ausnahmsweise einmal als Aquifer dienen, enthalten genügend organische Substanz als Bakteriennahrung. Der damit verbundene Sulfatentzug würde zu einer Freisetzung von Calcium-Ionen führen, aber der besondere Chemismus des Mineralwassers ist sicher nicht allein durch diesen Mechanismus zu erklären, sondern geht auf einen Ionen-Austauschprozeß zurück.

Vlotho-Seebruch (Proben 69 a–c, 70)

3 km südlich Vlotho entstand 1970 der große Erdfall von Seebruch. Seitdem fließen aus ihm jährlich mindestens 1 Mio. m³ eines nahezu gesättigten Calcium-Sulfat-Wassers aus. Der Chemismus ist unabhängig von Schüttungsschwankungen seit sechs Jahren etwa konstant geblieben. Auch das δ^{14}C-Modellalter von etwa 11 000 – 12 000 Jahren vor heute änderte sich nicht (Geyh & Michel 1977). Der Sulfatgehalt beträgt etwa 1500 mg/l.

Die δ^{34}S-Werte wurden bisher dreimal ermittelt (Probe 69 a–c). Die erste Probe war etwa sieben Monate nach der Entstehung der Quelle entnommen worden und ergab 12 ‰. Dies war für die beteiligten Geologen sensationell. Hatte man doch bisher geglaubt, daß die Erdfälle Ausdruck eines Sulfatkarstes des Keupers seien (Dienemann & Fricke 1961: 134 ff.). Und nun mußte – auch andere Indizien sprachen dafür – ein Zusammenhang zwischen dem ausfließenden Mineralwasser und dem solefreien Caprock eines Zechstein-Salzkörpers als sehr wahrscheinlich angenom-

men werden (DEUTLOFF & HAGELSKAMP & MICHEL 1974). Die bisher heile Welt war ins Wanken geraten, so wie die Gebäude, die um den reaktiven Erdfall standen.

Wegen der Bedeutung dieses Befundes für die gesamte genetische Vorstellung und die daraus resultierenden Folgerungen für die Zukunft des Bades in Seebruch, erfolgte drei Jahre später eine Wiederholungsmessung und ergab einen Wert von 13,6 ‰. Sollten wir mit unserer Aussage zu weit gegangen sein, und war auf den ersten Wert kein Verlaß? So wurde im Juli 1975 eine weitere Probe gemessen, die 11,7 ‰ ergab.

Wie ist nun die mehrmalige Änderung des Isotopen-Verteilungswertes zu erklären?

Bis zum Jahre 1970 gab es in Seebruch ein schwach H_2S-haltiges Mineralwasser, das aus bakteriologischen und technischen Gründen weder verbadet noch getrunken wurde. Der H_2S-Gehalt war durch bakterielle Tätigkeit innerhalb eines Torflagers entstanden. Den Nachweis der Desulfovibrionen führten WALLHÄUSER & PUCHELT (1966). Das in geringer Menge zufließende Mineralwasser hatte einen Sulfatgehalt von etwa 650 mg/l. 1964 war der $\delta^{34}S$-Wert dieses Sulfates zu 14,4 ‰ bestimmt worden (PUCHELT 1967). Der Wert stand im Einklang mit der Annahme eines Keuper-Wassers.

Bei der Entstehung des Erdfalles sanken 1970 die Torffüllung und die Schwefel-Quelle in die Tiefe. Sofort entstand an ihrer Stelle die stark schüttende Erdfall-Quelle (anfänglich mindestens 400 m³/h, ab Januar 1971 etwa 100 m³/h). Die Sulfatkonzentration ist etwa zweieinhalbmal so hoch wie die des früheren H_2S-führenden Mineralwassers.

Schüttung und Chemismus des Mineralwassers der Erdfall-Quelle unterscheiden sich so stark von dem der früheren „Schwefel-Quelle", daß es naheliegt, eine getrennte Herkunft für beide Wässer anzunehmen. Auch die Schwefel-Isotopenverteilung spricht eindeutig für eine solche unterschiedliche Herkunft. Wenn nämlich die Sulfatkonzentration der „Schwefel-Quelle" durch bakterielle Tätigkeit aus einem Mineralwasser mit der Sulfatkonzentration der heutigen Erdfall-Quelle entstanden wäre, so hätten die Bakterien etwa 60 % des ursprünglichen Sulfats verbraucht. Dies entspräche nach Abbildung 2 (Seite 190) im Restsulfat einem $\delta^{34}S$-Anstieg um 20 – 30 ‰. Tatsächlich unterscheiden sich aber die beiden $\delta^{34}S$-Werte nur um etwa 2,5 ‰. Außerdem hätte eine Reduktion von 60 ‰ des Ausgangssulfates eine um Größenordnungen höhere H_2S-Führung der „Schwefel-Quelle" bewirken müssen.

Im Januar 1971 ist der entstandene offene Hohlraum, d. h. der Quellteich, teilweise wieder mit inertem Material verfüllt worden. Dabei wurden Teile des versunkenen Torfes wieder nach oben gepreßt, die bakterielle Sulfatreduktion setzte wieder ein und bedingte vorübergehend den gemessenen $\delta^{34}S$-Anstieg um etwa 1,5 ‰. Nach Abbildung 2 entspricht dies etwa einer bakteriellen Reduktion von 2,5 – 3 ‰ des Ausgangssulfates.

Später spülte sich das von unten aufdringende Calcium-Sulfat-Wasser durch das Verfüllmaterial neue Wege frei und hat seitdem zu der organischen Substanz keinen Kontakt mehr. Die Messung im Jahre 1975 ergab deshalb wieder den unverfälschten Zechstein-Wert.

In Übereinstimmung mit den bisherigen Veröffentlichungen müssen wir also aus den Isotopenmessungen schließen, daß das ursprüngliche Mineralwasser der „Schwefel-Quelle" seinen Zulauf aus Keuper-Schichten hatte (DIENE-

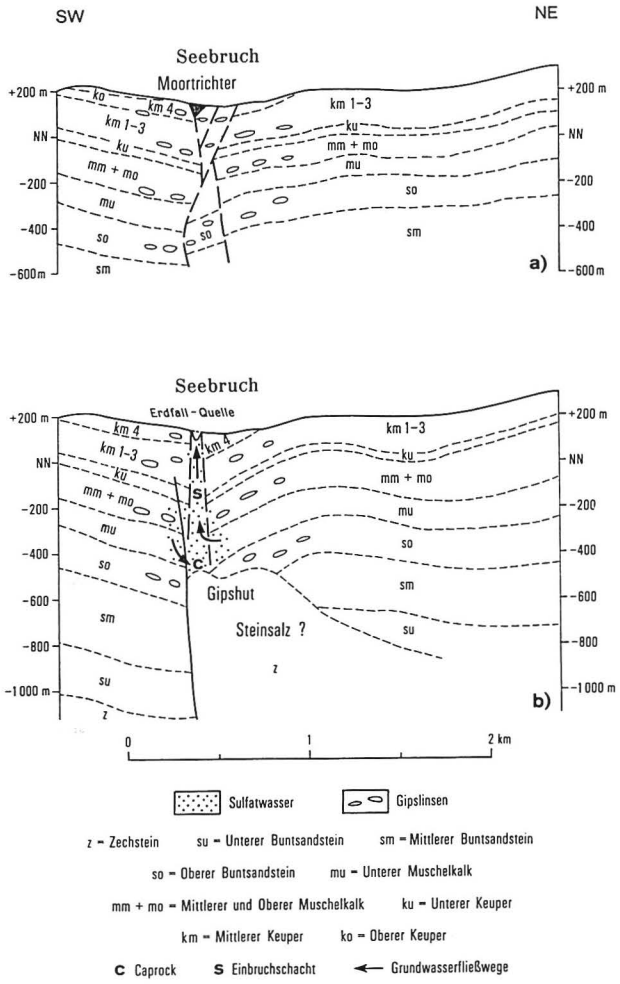


Abb. 11. Erdfall und Erdfall-Quelle Seebruch bei Vlotho.

a) Genetische Vorstellung bis 1970:
allmähliche kontinuierliche Senkung durch Lösung von Keuper-Gips;

b) Genetische Vorstellung nach 1970:
plötzlich eintretender Tagesbruch durch Subrosion von Zechstein-Salz.

MANN & FRICKE 1961; PUCHELT 1967), die Erdfall-Quelle aber aus größerer Tiefe emporsteigt und mit dem Zechstein in Verbindung steht (Abb. 11 a und b).

Das Calcium-Sulfat-Wasser aus der sogenannten Mineral-Quelle weist einen Wert von 13,3 ‰ auf (Probe 70). Es handelt sich um einen 175 m tiefen Bohrbrunnen, der unmittelbar neben dem Seebrucher Erdfall steht. Erdfall-Quelle und Mineral-Quelle stehen hydraulisch im Zusammenhang, die Wässer haben das gleiche ^{14}C-Alter (GEYH & MICHEL 1977). Da aus dem Brunnen nur wenig Mineralwasser gefördert wird, kann der $\delta^{34}S$-Wert durch die Aktivität von Desulfovibrionen geringfügig erhöht worden sein.

Vlotho-Rahlbruch (Proben 71 – 76)

Dem Raum Vlotho-Rahlbruch kommt in dem Mineralwasserbereich Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen eine Art Schlüsselposition zu. Es tritt nämlich östlich der Bad Oeynhausener Quellenspalte Muschelkalk zutage, welcher natrium- und chloridhaltiges Mineralwasser führt (DEUTLOFF 1974). ^{14}C- und ^{3}H-Untersuchungen haben leider bisher zur Klärung der besonderen hydrogeologischen Problematik wenig beitragen können (GEYH & MICHEL 1977), und es wurden bestimmte Hoffnungen auf die Schwefel-Isotopen gesetzt.

Noch am sichersten ist die Rahlbruch-Quelle (Probe 71) einzustufen. Der $\delta^{34}S$-Wert von 15 ‰ spricht für Keuper-Herkunft, wenn auch der Chloridgehalt schwach erhöht ist (128 mg/l) und nicht aus den Keuper-Schichten abgeleitet werden kann.

In Nachbarschaft der Rahlbruch-Quelle tritt aus Schichten des Oberen Muschelkalks an drei Stellen Na-Ca-Cl-SO_4-Wasser natürlich zutage (Probe 72, 73, 74) und es wurde in der Mineralwassermeßstelle Rahlbruch (Probe 75) in 50 m Tiefe künstlich erschlossen und gefaßt. Die Sulfate könnten durchaus aus dem Mittleren Muschelkalk hergeleitet werden, wenn die $\delta^{34}S$-Werte von 13,4 – 14,2 ‰ nicht zu leicht wären. So ist eine Zumischung von leichteren Sulfaten aus dem Zechstein plausibel, zumal die Alkalien und die Chloride (max. über 1200 mg/l) bemerkenswert erhöht sind. Um die genannten $\delta^{34}S$-Werte zu erhalten, müßten etwa $^{2}/_{3}$ – $^{3}/_{4}$ der Sulfate aus dem Zechstein stammen. Eine Beteiligung von Röt-Sulfat kann nur sehr minimal sein oder wird gar ausgeschlossen.

Die Probe 76 ist eine Einzelprobe, die aus einer 60 m tiefen hydrogeologischen Untersuchungsbohrung östlich von Vlotho stammt. Bei dem angetroffenen Mineralwasser handelt es sich ebenfalls um ein Mischwasser mit stark dominierender Zechstein-Komponente (14,9 ‰).

Insgesamt gesehen untermauern diese Befunde die hydrogeologische Vorstellung, daß im Verlauf der Bad Oeynhausener Quellenspalte Zechstein-Salze gelöst werden.

Löhne – Hiddenhausen – Hücker-Aschen (Proben 79 – 88)

An der Nordflanke der Piesberg – Pyrmonter Achse treten im Raum Löhne wie unmittelbar südlich von Bad Oeynhausen artesisch gespannte Sulfatwässer auf. Aquifere sind der gipsfreie Steinmergelkeuper und die quarzitischen Schichten des Rhäts, deren Einzugsgebiet sich 6 – 7 km nach Süden erstreckt und nach dorthin ansteigt.

Aus dem Süden von Bad Oeynhausen wurden zwei Stellen beprobt. Der 66 m tiefe artesische Brunnen am Krankenhaus (Probe 77) steht im Steinmergelkeuper. Das Grundwasser hat einen Sulfatgehalt von rund 1000 mg/l. Die $\delta^{34}S$-Bestimmung ergab einen Wert von 14,3 ‰, der für Keuper-Sulfat spricht. Mit dem 1975 errichteten 52 m tiefen „Peilrohr 9" (Probe 78) wurden lediglich die Rhät-Schichten erreicht. Der erhöhte Sulfatgehalt von etwa 400 mg/l ermunterte zu einer $\delta^{34}S$-Bestimmung, und es ergab sich ebenfalls ein Wert von 14,3 ‰.

In Löhne-Steinsiek sind seit langem vier artesische Bohrbrunnen bekannt (DEUTLOFF 1974: 139). Die drei flacheren Bohrungen stehen im Rhät und werden genutzt (Probe 79 – 81), zwei davon zur Abfüllung von Mineralwasser (FRICKE & MICHEL 1967). Die Bohrung Geiseberg (Probe 82) ist 93 m tief, hat den Steinmergelkeuper erschlossen und läuft seit etwa 40 Jahren mit mindestens 40 m^3/h ungenutzt artesisch aus (GEYH & MICHEL 1977: Abb. 6). Die Sulfatgehalte liegen in allen vier Brunnen heute weit über 1000 mg/l. Sie dürften früher niedriger gewesen sein. So

ist z. B. vom Brunnen Stodiek (Probe 79) bekannt, daß der Sulfatgehalt in den letzten 25 Jahren von 380 mg/l auf nahezu 1500 mg/l angestiegen ist.

Die δ^{34}S-Werte (‰) sind etwa gleich (13,1; 13,1; 13,2; 13,6) und können aufgrund der hydrogeologischen Position nur als Keuper-Werte gedeutet werden.

Wie eine 78 m tiefe artesische Bohrung in Löhne-Falscheide zeigt (Probe 83), wird im Verlauf etwa Süd – Nord verlaufender Störungszonen parallel zum Geiseberg-Abbruch schon in geringer Tiefe Mineralwasser mit erhöhten Sulfat- und auch Chloridgehalten angetroffen. Der δ^{34}S-Wert von 13,7 ‰ deutet auf Keuper-Herkunft mit Zumischungen aus dem Zechstein hin (erhöhte Chloridgehalte!).

Die Brunnen des Wasserwerkes Löhne nutzen als Aquifer den Steinmergelkeuper. Das Grundwasser ist gespannt, fließt aber wegen der Höhenlage der Brunnen nicht frei aus. Das Wasser ist sehr hart, die Sulfatgehalte erreichen 1000 mg/l und mehr. Die gemessenen δ^{34}S-Werte sind für eine Genese aus Keuper-Gesteinen zu niedrig: 12,5 und 12,8 ‰. Der Einfluß von Zechstein-Sulfat ist aufgrund der speziellen hydrogeologischen Situation jedoch sehr unwahrscheinlich (Probe 84 u. 85).

Einige Kilometer westlich, bei Hiddenhausen, bilden die Schichten des Mittleren und Oberen Keupers, dem Abtauchen der Hauptsattelachse nach Nordwesten entsprechend, den Sattelkern der Piesberg – Pyrmonter Achse (Geyh & Michel 1977: Abb. 3). Die tieferen Brunnen dieses Bereiches führen ebenfalls Sulfatwasser (Michel 1969 b).

Der geologische Unterschied zu Löhne besteht in der viel intensiveren und tiefreichenderen Zerklüftung. Für den Hydrogeologen heißt dies, es ist mit aufsteigenden tieferen Grundwässern zu rechnen, welche sich auf ihrem Migrationsweg mit löslichen Mineralien anreichern, z. B. mit Gips. Der δ^{34}S-Wert von 11,9 ‰ des Sulfatwassers (1100 mg/l SO_4) aus einem stillgelegten 120 m tiefen Brunnen (Probe 86) spricht nun dafür, daß auch noch rezent Zechstein-Gipse gelöst werden. Die ^{14}C- und ^{3}H-Untersuchungen haben andererseits gezeigt, daß eine Zumischung sulfatgesättigter sehr alter Grundwässer nicht stattfindet (Geyh & Michel 1977: 239).

Auch der δ^{34}S-Wert von 13,1 ‰ des sulfatreichen Grundwassers aus dem 108 m tiefen Brunnen 9 des Wasserwerkes Hiddenhausen weist auf Zechstein-Zuflüsse hin (Probe 87).

Ein wesentlich eindeutigeres Ergebnis von 10,2 ‰ ergab dagegen die Untersuchung des 64 m tiefen Brunnens Hücker-Aschen (Probe 88), der etwa 10 km westlicher liegt. Die Mineralisation des dort in geringer Menge geförderten Grundwassers schwankt und war zum Zeitpunkt der Probenentnahme leider relativ gering (Sulfatgehalt 325 mg/l). Andere, früher bekannte Mineralwasserbrunnen sind verfüllt oder zumindest nicht mehr zugänglich, so eine 143 m tiefe Bohrung im Hücker Moor, welche bei einem Sulfatgehalt von 7140 mg/kg ein Natrium-Sulfat-Chlorid-Wasser angetroffen hatte (Analyse vom 15. 4. 1943, Städt. Untersuchungsamt Bielefeld).

Die Herleitung dieses Grundwassers aus Zechstein-Evaporiten paßt sehr gut in das geologische Bild. Damit dürfte nämlich ein weiterer Beweis erbracht sein, daß der unmittelbar nördlich angrenzende große Erdfall des Hücker Moores und die sich anschließende Niederung südwestlich Werfen (Mestwerdt 1951) doch auf die Auslaugung von Zechstein-Salz zurückzuführen ist. Und hier verläuft wahrscheinlich auch die heutige Westgrenze der Verbreitung des Zechstein-Salzes, an welche perlschnurartig solche tiefen Senken aneinandergereiht sind, wie Bega-Senke und die breite Niederung des Düsedieksbaches (südlich Hiddenhausen). Und so drängt

sich auch der Vergleich mit den Erdfällen im Verlauf der Bad Oeynhausener Quellenspalte auf (vergl. S. 211).

Noch 10 km weiter westlich liegt Melle am Südflügel der Piesberg – Pyrmonter Achse. Die 2,8 %ige kohlensäurehaltige Sole von Melle enthält über 4000 mg/kg Sulfat. BÄSSLER (1970) gibt einen δ^{34}S-Wert von 17,1 ‰ an. Da die 120 m tiefe Bohrung im Gipskeuper steht, ist eine Herkunft der Sulfate aus diesen Schichten plausibel. Die Natrium-Chlorid-Komponente kann aus diesen Schichten jedoch nicht abgeleitet werden. BÄSSLER (1970) läßt eine Interpretation offen. CARLE (1975: 89) sieht das Problem aus größerer Distanz großzügiger und gibt eine Erklärung, der zugestimmt werden kann: „Ein Aufstieg aus dem Zechstein ist angesichts der zahlreichen Störungen sowie des aus großer Tiefe stammenden Kohlendioxids denkbar. Die Verdünnung einer Ursole ist in den reichlich Süßwasser und Sulfatwasser führenden Keuper-Schichten möglich."

4.6. Nördliches Vorland des Wiehengebirges (Proben 89 – 95)

Im nördlichen Vorland des Wiehengebirges befinden sich einige Heilquellen, die nachweislich seit über 200 Jahren genutzt werden (Calcium-Sulfat-Wasser, Schwefel-Mineralwasser, Sole). Weiterhin ist aus dem stillgelegten Peckeloh-Eisenerz-Stollen bei Dützen ein Mineralwasserzutritt bekannt und vom stillgelegten Steinkohlenschacht Bölhorst bei Minden eine starke kohlensäurehaltige Sole (vergl. DIENEMANN & FRICKE 1961: 58–94).

Hydrogeologisch liegt es nahe, die Herkunft der Mineralwässer aus dem Münder Mergel (Malm) abzuleiten. Diese etwa 500 m mächtige tonig-mergelige Schichtenfolge, die anteilig die mesozoische Unterlage der quartären Verebnungsfläche nördlich des Wiehengebirges bildet, enthält Einschaltungen von Gips. Im Verlauf des Ellerburg-Sattels ist ein bis 300 m mächtiger Steinsalzkörper bekannt. Dagegen wurde in der 404 m tiefen neuen Solebohrung Bad Essen noch kein Steinsalz angetroffen. Die Schichtenfolge dürfte weitgehend noch dem Wealden und dem Serpulit angehören (freundl. Mitt. von Dr. H. LEBKÜCHNER, NLfB Hannover).

Die Mineralwasserführung im Münder Mergel und auch in den sich nördlich anschließenden Wealden-Schichten ist vorwiegend auf Querverwerfungen und Zerrüttungszonen beschränkt. Nur so ist es beispielsweise auch erklärlich, warum in einigen Quertälchen des Wiehengebirges, welche tektonisch vorgeprägten Zonen folgen, chloridhaltige Mineralwässer auftreten, z. B. südlich Wehrendorf, Bad Essen und Eielstedt (KELLER 1974, PFEIFFER 1960).

Die δ^{34}S-Werte für Malm-Sulfate liegen erfahrungsgemäß etwa zwischen 14,5 und 20,5 ‰. So war es besonders reizvoll, an einigen Beispielen zeigen zu können, wie gut die Methode ist.

In Bad Hüsede schüttet der 30 m tief gefaßte „Gesundheitsbrunnen" etwa 16 m³/h eines nahezu gesättigten reinen Calcium-Sulfat-Wassers (MICHEL 1974 b). Der Sulfatgehalt, wie auch der gesamte chemische Charakter des Mineralwassers hat sich seit Vorliegen der ersten, 90 Jahre alten Analyse nicht geändert. Er beträgt rund 1400 mg/kg. Der δ^{34}S-Wert wurde zweimal gemessen: 16,8 und 16,9 ‰ (Probe 89 a, b). Damit wurde die bestehende geologische Vorstellung gefestigt (Abb. 12).

Die flach gefaßte Calcium-Sulfat-Quelle in Holzhausen, etwa 4 km westlich Lübbecke, hat eine mit Bad Hüsede und Rothenuffeln vergleichbare hydrogeologische Position. Der Wert von 14,4 ‰ (Probe 90) liegt an der unteren Grenze des δ^{34}S-Bereichs der bisher untersuchten Evaporitsulfate aus dem Malm-Salinar. Diese

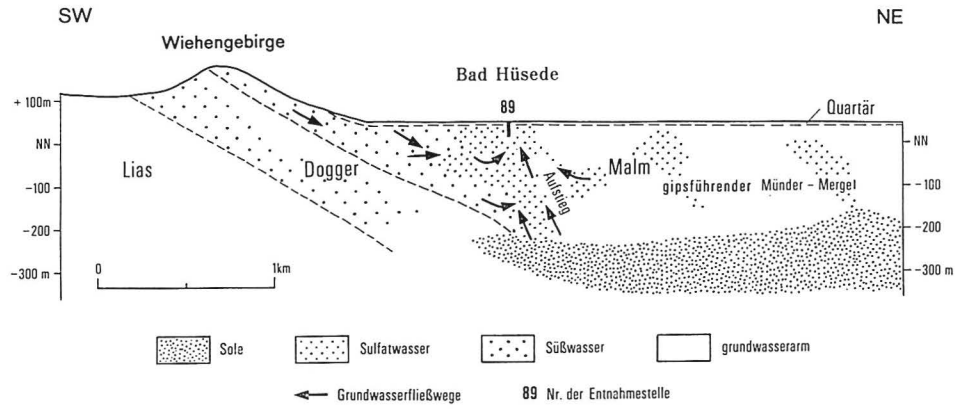


Abb. 12. Die hydrogeologische Position von Bad Hüsede

Werte aus der Literatur stammen allerdings aus zentraleren Bereichen des Malm-Meeres und müssen nicht unbedingt repräsentativ für die randliche Zone sein.

In Rothenuffeln, 12 km westlich Minden gelegen, wurde die 3 m tiefe Calcium-Sulfat-Quelle des Badebetriebes Dammermann beprobt (Probe 91). Der $\delta^{34}S$-Wert ist ebenfalls typisch für Sulfate des Münder Mergels: 16,6 ‰.

Hierzu paßt auch der von BÄSSLER (1970: 254) angegebene $\delta^{34}S$-Wert von 16,3 ‰ für das Mineralwasser aus dem etwa 4 km östlicher gelegenen, jetzt stillgelegten Peckeloh-Stollen südlich Dützen. Es handelt sich auch um ein fast gesättigtes Calcium-Sulfat-Wasser, jedoch mit erhöhten Gehalten an Natrium (200 mg/l) und Chloriden (319 mg/l).

Einen ebenfalls typischen Malm-Wert von 19 ‰ ergab das Calcium-Sulfat-Wasser aus einer 140 m tiefen Bohrung in Fiestel (Probe 92). Da hier in flacheren Brunnen H_2S-haltiges Wasser auftritt, wäre eine durch Sulfatreduktion bedingte Isotopenfraktionierung nicht auszuschließen gewesen.

Vom Schwefelbad Meyerhof in Levern wurde das schwefelhaltige Calcium-Sulfat-Wasser des 65 m tiefen Brunnens II untersucht (Probe 93). Der Hydrogensulfidgehalt (HS^-) beträgt 8,25 mg/kg. Im Bereich der flachen Ostsüdost – Westnordwest streichenden Ellerburg-Aufwölbung sind die Schichten des Wealdens und des Serpulits tektonisch gestört, und das Mineralwasser steigt aus tieferen Schichten auf. Die für die Existenz der Desulfovibrionen notwendige organische Substanz dürfte aus den bituminösen Tonsteinen des Serpulits stammen.

Der gemessene $\delta^{34}S$-Wert von 13,1 ‰ ist vieldeutig. Das Vorliegen von reinem Zechstein-Wasser ist wegen der sulfatreduzierenden Prozesse nicht denkbar. Andererseits ist der Wert für Malm-Herkunft zu klein. Da jedoch die Wealden-Tonsteine teilweise feinverteilt sedimentäre Eisensulfide führen, könnte ein Anteil des gelösten Sulfates durch Oxidation aus diesen Sulfiden entstanden sein. Derartige Sulfide weisen bekanntlich ein ^{34}S-Defizit auf.

Das Solbad Minden erhält Mineralwasser aus dem 300 m tiefen Schacht Bölhorst am Nordfuße des Wiehengebirges (Abb. 13). Die 11 ‰ige kohlensäurehaltige Sole wurde bisher auf Serpulit oder Münder Mergel zurückgeführt. Der von BÄSSLER (1970: 254) gemessene $\delta^{34}S$-Wert von 10,6 ‰ weist dagegen eindeutig auf Zechstein hin. Dafür spricht auch der Chemismus der Sole und der hohe Gehalt an

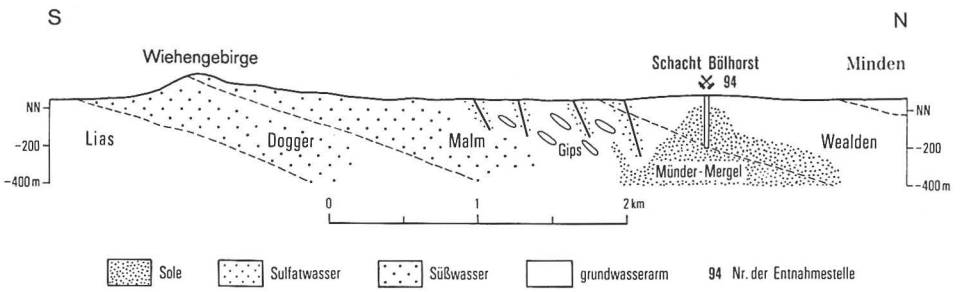


Abb. 13. Schematischer hydrogeologischer Schnitt durch das nördliche Vorland des Wiehengebirges bei Minden

freier gelöster Kohlensäure, der auf einen Mineralwasseraufstieg aus größerer Tiefe hindeutet. Da dieses Ergebnis ganz neue mögliche hydrogeologische Zusammenhänge auch zu den Solen südlich des Wiehengebirges aufzeigt, wurde die Sole nochmals beprobt und die Sulfate (1400 mg/l) gemessen (Probe 94). Wir erhielten etwa den gleichen Wert (11 ‰).

1975 wurde in Bad Essen die neue 404 m tiefe Bohrung mit einer 20 %igen Sole fündig. Gemessener δ^{34}S-Wert: 19,1 ‰ (Probe 95). Es handelt sich somit nicht um eine Sole aus dem Zechstein, wie MESTWERDT (1941) angenommen hatte. Er ordnete die Solen von Soldorf bei Bad Nenndorf, Rodenberg, Bad Münder, Hasperde und Zollern bei Minden dem Münder Mergel zu, nicht aber die Sole von Bad Essen. Nun konnte bewiesen werden, daß auch in Bad Essen der Münder Mergel das Muttergestein der Sole ist.

5. Bilanz

Die Untersuchung der Schwefel-Isotopenverteilung in Sulfaten von Mineralwässern ermöglicht die Zuordnung der gelösten Sulfate zu einer Evaporitformation. Da man in vielen Fällen mutmaßen muß, daß die übrigen signifikanten Lösungsgenossen eines solchen Mineralwassers ebenfalls aus dieser Formation stammen dürften, ist somit auch deren Ausgangsgestein bekannt. Zumindest muß dieses Mineralwasser damit in Kontakt stehen oder gestanden haben.

Für unsere Problematik ist in erster Linie die Unterscheidung zwischen den salinaren und sulfatischen Zechstein-Evaporiten einerseits und den Keuper-Sulfaten andererseits wichtig, weil beide neben- und übereinander oder in Mischungen vorkommen können. Und gerade hier ist der Auswertung eine Grenze gesetzt. Das Zechstein-„Feld" ist zwar eindeutig zwischen 8 und 12,5 ‰ eng fixiert; das Keuper-„Feld" überschneidet dieses jedoch in seinem oberen Bereich (Abb. 14). So mußten Werte zweideutig bleiben, zumal lokal auch noch andere Evaporite beteiligt sein können und Isotopenfraktionierung durch Bakterientätigkeit ebenfalls nicht immer auszuschließen ist.

Die δ^{34}S-Zuordnung zu den anderen drei Evaporitformationen, nämlich Röt, Mittlerer Muschelkalk und Malm, ist unproblematischer (Abb. 14). Überschneidungen können auch auftreten, wie z. B. an der Nordostflanke des Teutoburger Waldes. Auch Überraschungen traten auf, wie die Herleitung der Mindener Sole vom Zechstein-Salinar und nicht vom Malm. Andererseits stammt die starke Sole von Bad Essen, die am Nordrand des Wiehengebirges erbohrt wurde, von Evaporiten des

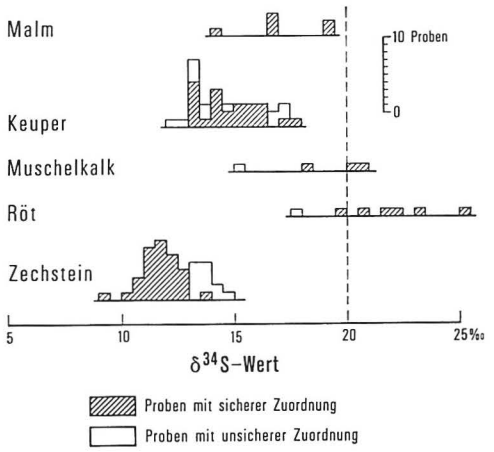


Abb. 14. Schwefel-Isotopenverteilung im gelösten Sulfat der Mineralwässer des Untersuchungsgebietes (gestrichelte Linie = heutiges Meerwasser-Sulfat)

Malms ab. Dies kann auch als ein weiterer Hinweis dafür angesehen werden, daß die große Subrosionssenke des „Heiligen Feldes" nordwestlich von Ibbenbüren (THIERMANN 1975) durch Auslaugung chloridischer und sulfatischer Malmgesteine entstanden ist.

Die eindeutigen Zechstein-Werte konzentrieren sich auf fünf Bereiche und passen in das geologische Bild (Abb. 15):

a) Bad Meinberg. Die extrem kohlensäurehaltige Tiefensole wurde in 1100 m Tiefe in der karbonatisch-sulfatischen Zechstein-Randfazies (Probe 41) erbohrt.

b) Bad Salzuflen – Bad Oeynhausen – Minden. Die Tiefensolen dieses Bereiches sind in Aquiferen unterschiedlichen geologischen Alters verbreitet, wie Buntsandstein, Muschelkalk, Lias und Wealden. Ihre Zechstein-Herkunft konnte eindeutig bewiesen werden. An geologischen Schwächepunkten dieses Mineralwassersystems weisen selbst wesentlich geringer mineralisierte Wässer eine isotopische Verwandtschaft zum Zechstein auf (Vlotho-Rahlbruch, Vlotho-Seebruch).

c) Ost- und Nordrand des Münsterschen Beckens. In den östlichen und nördlichen Randbereichen des Münsterschen Beckens verläuft die Verbreitungsgrenze des Zechsteins (Taf. 1). Die von dort beprobten Solen und Sulfatwässer lassen auf Zechstein-Herkunft schließen. An den übrigen, mehr beckenwärts auftretenden Solen dürfte es sich um connate water im weiteren Sinne handeln. Lediglich Salzkotten, über 10 km westlicher gelegen als die bis jetzt angenommene Zechstein-Grenze, erbrachte noch einen eindeutigen Zechstein-Wert. Sollte die Grenze doch westlicher liegen und die Schwefel-Isotopenuntersuchung ein Beweis dafür sein?

d) Tektonische Senken und Aufwölbungen östlich der Egge. Sulfathaltige Mineralwässer, gebunden an tiefreichende Störungszonen, lassen Zechstein-Einflüsse erkennen, so in Bad Hermannsborn, in Willebadessen und in Horn-Leopoldstal.

e) Subrosionssenken im Verlauf des Westrandes der Zechstein-Salzverbreitung. Mineralisierte Grundwässer im Begatal zwischen Lemgo und Bad Salzuflen und

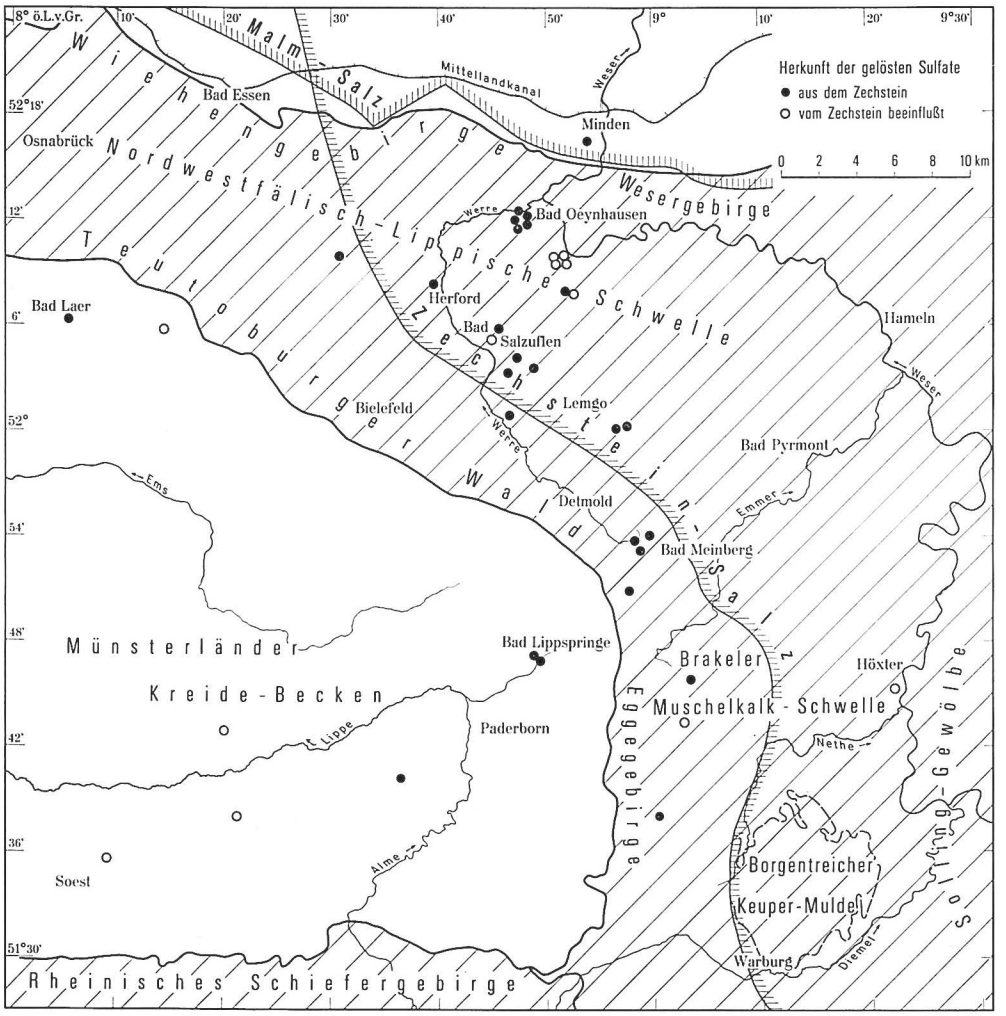


Abb. 15. Verbreitung der Zechstein-Mineralwässer

im Bereich Hiddenhausen – Bünde sind an tiefe Subrosionssenken gebunden. Die Sulfatkomponente dieser Wässer geht ebenfalls auf Zechstein-Sulfat zurück und ein kausaler Zusammenhang zwischen Ablaugung und Mineralwassergenese ist offensichtlich.

Von Zechstein-Evaporiten beeinflußte Mischwerte sind ebenfalls auf die genannten Gebiete beschränkt. So sind aus den beiden zuletzt genannten Bereichen Mischtypen bekannt, deren $\delta^{34}S$-Werte zwischen 12,5 und 14 ‰ liegen. Einflüsse von Keuper-Sulfaten sind durchaus verständlich. Andererseits sprechen aus Bad Meinberg und dem Meinberger Graben einige $\delta^{34}S$-Werte für Zumischung von Zechstein-Wässern, obwohl die chemischen Analysen keine erhöhten Natrium- und Chloridwerte zeigen.

Eindeutige Keuper-Werte treten im Verlauf tektonisch weniger gestörter Bereiche auf (Abb. 16).

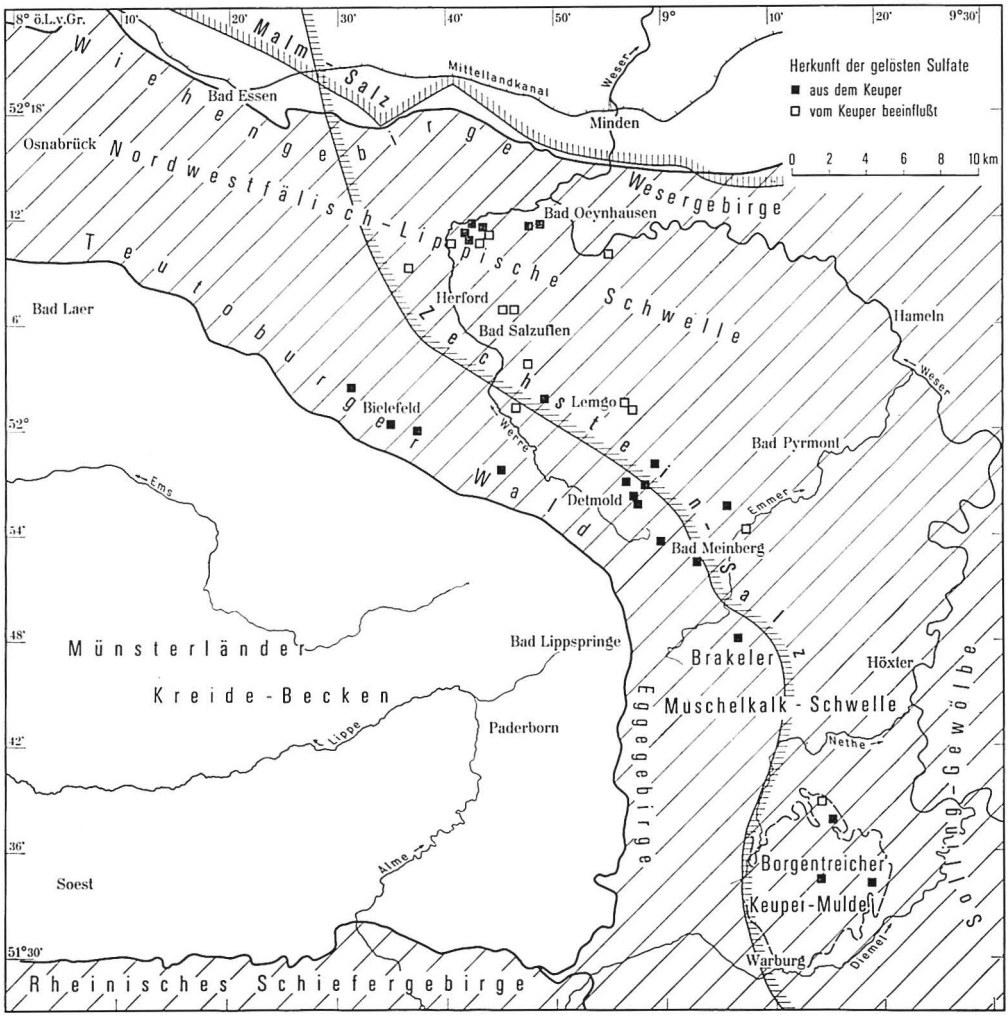


Abb. 16. Verbreitung der Keuper-Mineralwässer

Die Röt-Werte liegen über 20 ‰ und schließen so Überschneidungen mit anderen $\delta^{34}S$-„Feldern" weitgehend aus. Sie sind auf die Röt-Verbreitungsgebiete beschränkt, wie Kleinenberg und Bad Driburg. Röt-Mischwässer treten bei Höxter und in Bielefeld auf.

Eindeutige Muschelkalk-Werte liegen nur wenige vor, so vom Rande des Bellenberges bei Horn und aus Bad Driburg. In den anderen Muschelkalk-Gebieten sind die Zumischungen von Keuper-Wässern größer, als aus geologischen Gründen zu vermuten war, so z. B. im Raum Bielefeld.

Wie zu erwarten war, sind die Malm-Werte auf das Verbreitungsgebiet des Münder Mergels nördlich des Wiehengebirges beschränkt. Die Annahme einer lokalen Sulfatverkarstung und der damit verbundenen, vorwiegend linearen, Wasserwegsamkeit, wurde bestätigt.

6. Schriftenverzeichnis

BÄSSLER, R. (1970): Hydrogeologische, chemische und Isotopen-Untersuchungen der Grubenwässer des Ibbenbürener Steinkohlenreviers. – Z. dt. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol., Hydrogeochem.: 209–286, 28 Abb., 1 Tab.; Hannover.

BECKER, L. (1975): Das Vahlhäuser Senkungsfeld, eine mittelpleistozäne Subrosionssenke im Meinberger Graben (östlich Detmold). – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **150:** 373–388, 3 Abb.; Stuttgart.

BODE, H. (1964): Zur Hydromechanik des Beckens von Münster. – Mém. Assoc. internat. Hydrogéol., **5** (Réunion d'Athènes 1962): 210–215, 2 Abb.; Athène.

CARLE, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. – 643 S., 14 Abb., 15 Kt.; Stuttgart (Wiss. Verlagsges.).

DEUTLOFF, O. (1974): Die Hydrogeologie des nordwestlichen Weserberglandes in der Umgebung von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 111–194, 12 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

DEUTLOFF, O., & HAGELSKAMP, H., & MICHEL, G. (1974): Über die Erdfall-Quelle von Bad Seebruch in Vlotho, Ostwestfalen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 27–46, 6 Abb., 1 Tab.; Krefeld. – [Vorausdr. 1973]

DIENEMANN, W., & FRICKE, K. (1961), mit Beitr. von HARRE, W., & SCHMIDT-BERGER, R., & SCHNEIDER, S.: Mineral- und Heilwässer, Peloide und Heilbäder in Niedersachsen und seinen Nachbargebieten. – Schr. wirtschaftswiss. Ges. Stud. Niedersachsen, N.F., **5** (5): 476 S., 52 Abb., 24 Tab., 197 Anal.; Göttingen (Niedersächs. Inst. Landeskde.).

FABIAN, H.-J. (1953): Ergebnisse der Zechsteinbohrungen Suttrop 1 und Lieme 1. – Erdöl u. Kohle, **6:** 185–189, 1 Tab.; Hamburg.

FRICKE, K. (1958): Die Neubohrung des Staatsbades Bad Meinberg an der Nessenberg-Quelle bei Schieder. – Heilbad u. Kurort, **10:** 120–121, 1 Abb.; Gütersloh.

– (1959): Die hydrogeologischen und hydrochemischen Ergebnisse der Bohrung „Neubrunnen 1958/59" des Staatsbades Meinberg. – Heilbad u. Kurort, **11:** 245–246, 2 Abb.; Gütersloh.

– (1961): Tiefenwasser, Solquellen und Solewanderung im Bereich des Münsterschen Beckens. – Z. dt. geol. Ges., **113:** 37–47, 4 Abb.; Hannover.

– (1963): Die neuen Solebohrungen der Saline und Solbad Sassendorf GmbH, zugleich ein Beitrag zur Hydrogeologie der Solevorkommen am Südrand des Münsterschen Beckens. – Heilbad u. Kurort, **15:** 102–108, 6 Abb., 1 Tab.; Gütersloh.

– (1964 a): Bemerkungen zu den Solequellen des Hellwegs. (Erläutert am Beispiel Bad Westernkotten, Kr. Lippstadt). – Z. dt. geol. Ges., **116:** 76–87, 4 Abb.; Hannover.

– (1964 b): Neue Bohrungen und hydrogeologische Untersuchungen im Heilquellengebiet von Solbad Ravensberg/Teutoburger Wald. – Heilbad u. Kurort, **16:** 116–118, 5 Abb.; Gütersloh.

– (1968): Neue hydrogeologische Untersuchungen und Neubohrungen im Heilquellengebiet von Bad Hermannsborn, NRW. – Gas- u. Wasserfach, **109:** 251–253, 1 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.

– (1969): Die Thermalbohrung Bad Lippspringe 1962 (Martinus-Quelle). – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **17:** 95–130, 4 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

— (1972): Erfolg, Problematik und Kontrolle einer extremen CO_2-gasreichen neuen Heilquellenbohrung und einer Mofette in Bad Driburg (Arteser-Eruptionen April und Juli 1972). — Heilbad u. Kurort, **24:** 245—252, 6 Abb., 1 Tab.; Gütersloh.

FRICKE, K., & MICHEL, G. (1967): Das Mineralwasservorkommen des Steinbronns in Löhne, Kreis Herford — ein Beispiel für ein genutztes Calcium-Sulfat-Wasser. — Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **18:** 407—412, 6 Abb.; Berlin.

FRICKE, K., & WEVELMEYER, W. (1960): Neue Thermal-Sole-Bohrung in Bad Waldliesborn 900 m tief. — Heilbad u. Kurort, **12:** 158—162, 3 Abb.; Gütersloh.

GEYH, M. A., & MICHEL, G. (1974): Isotopen- und Hydrochemie des tieferen Grundwassers im Raume Paderborn. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 67—77, 5 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

—,&— (1977): Zur Isotopenchemie von Mineralwässern und sonstigen Grundwässern im Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 229—252, 9 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

HAGELSKAMP, H., & MICHEL, G. (1974): Die hydrogeologischen Grundlagen der Wasserversorgung des Regierungsbezirkes Detmold. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 1—26, 3 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Krefeld. — [Vorausdr. 1970]

HEYL, K. E., & NIELSEN, H., & RAMBOW, D. (1970): Zur S-Isotopenverteilung im Sulfatschwefel von Mineralwässern aus dem Moselgebiet, dem Mainzer Becken, dem westlichen Oberrheingraben und dem Nahegebiet. — Notizbl. hess. L.-Amt f. Bodenforsch., **98:** 249—254, 1 Taf.; Wiesbaden.

HOLSER, W. T., & KAPLAN, J. R. (1966): Isotope geochemistry of sedimentary sulfates. — Chem. Geol., **1:** 93—135, 8 Abb., 7 Tab.; Amsterdam, London, New York.

KELLER, G. (1974): Der Bad Essener Sole- und Mineralwasserbezirk (Niedersachsen). — Brunnenbau, Bau von Wasserwerken, Rohrleitungsbau, **25:** 195—197, 3 Abb.; Köln.

MALZAHN, E. (1960): Die westdeutsche Erdöl- und Erdgasexploration im Jahre 1959. — Erdöl u. Kohle, **13:** 221—235, 3 Abb., 3 Tab.; Hamburg.

MICHEL, G. (1966/67): Die Wasserbeschaffung von Bad Driburg in ihrem Mißverhältnis zwischen Bedarf und Möglichkeit — Beitrag zur Hydrologie Ostwestfalens. — Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **17:** 495—500; **18:** 20—24, 3 Abb.; Berlin.

— (1966): Über die mögliche Herkunft des mineralisierten Grundwassers im Münsterschen Becken. — Z. dt. geol. Ges., **115:** 566—571, 4 Abb., 1 Tab.; Hannover.

— (1969 a): Zur chemischen Charakteristik der Grenzzone Süßwasser/Salzwasser im Raum Bielefeld (Ostwestfalen). — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **17:** 171—200, 10 Abb., 4 Tab.; Krefeld.

— (1969 b): Grundwasser für das Wasserwerk des Amtes Herford-Hiddenhausen — Beitrag zur Hydrologie Ostwestfalens. — Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **20:** 43—54, 5 Abb.; Köln.

— (1974 a): Die „Neue Martins-Quelle" (1973) in Laer, Landkreis Osnabrück. — Heilbad u. Kurort, **26:** 374—378, 3 Abb., 2 Tab.; Gütersloh.

— (1974 b): 200 Jahre Heilbadebetrieb Hüsede am Wiehengebirge. — Heilbad u. Kurort, **26:** 288—290, 3 Abb., 2 Tab.; Gütersloh.

MICHEL, G., & RABITZ, A., & WERNER, H. (1974), mit einem Beitrag von SCHERP, A.: Betrachtungen über die Tiefenwässer im Ruhrgebiet. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20:** 215—236, 3 Abb., 2 Taf.; Krefeld.

MESTWERDT, A. (1941): Die Mineralquellen des nordwestdeutschen Berglandes nach ihrer Eigenart, Entstehung und räumlichen Verteilung. — Der Balneologe, **8** (8): 225—232, 1 Abb.; Berlin.

— (1951): Zur Entstehung des Hücker-Moores. — Festschr. z. 800-Jahrfeier der Gemeinden Hücker-Aschen, Kreis Herford: 7 S.; Herford.

PFEIFFER, D. (1960): Die Solen zu Bad Essen am Wiehengebirge. Geschichte — Hydrogeologie — Chemismus — Heilwirkung. — Mineralwasser-Ztg., **13:** 51—54, 4 Abb.; Stuttgart.

NIELSEN, H. (1966): Schwefelisotope im marinen Kreislauf und das $\delta^{34}S$ der früheren Meere. — Geol. Rdsch., **55:** 160—172, 5 Abb.; Stuttgart.

— (1970): Über den Fraktionierungsfaktor der bakteriellen Sulfatreduktion in der Natur. — Isotope Titles, Sonderh. ASTI 69, **1:** 179—188, 5 Abb.; Leipzig.

— (1972 a): Sulphur isotopes and the formation of evaporite deposits. — In: Geology of saline deposits. — Proceed. Hanover Symp., **1968:** 91—102, 13 Abb.; Paris (UNESCO). — [Earth Sci., **7**]

— (1972 b): Schwefel-Isotopenbestimmungen von Bleiglanz, Zinkblende und Schwerspat im Trochitenkalk zwischen Weser und Harzvorland und im Karbon und Zechstein des Weser-Ems-Gebietes. — In: HOFMEISTER, E., & SIMON, P., & STEIN, V.: Blei und Zink im Trochitenkalk (Trias, Oberer Muschelkalk 1) Nordwestdeutschlands. — Geol. Jb., **D 1:** 82—88, 2 Abb., 1 Tab.; Hannover.

NIELSEN, H., & RAMBOW, D. (1969): S-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten hessischer Mineralwässer. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **97:** 352—366, 2 Abb., 2 Taf.; Wiesbaden.

PUCHELT, H. (1967): Schwefelisotopenuntersuchungen an österreichischen und deutschen Schwefelquellen. — Arch. f. physik. Therapie, **19:** 357—365, 5 Abb.; Leipzig.

PUCHELT, H., & NIELSEN, H. (1967): Untersuchungen über die Verteilung der Schwefelisotope in den Grubenwassern des Ruhrreviers. — Glückauf Forsch.-H., **28** (6): 303—310, 4 Abb., 3 Tab.; Essen.

RICKE, W. (1964): Präparation von Schwefeldioxid zur massenspektrometrischen Bestimmung des Schwefel-Isotopen-Verhältnisses $^{32}S/^{34}S$ in natürlichen Schwefelverbindungen. — Z. f. analyt. Chemie, **199:** 401—413, 3 Abb., 7 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York.

SAVELLI, C., & WEDEPOHL, K. H. (1969): Geochemische Untersuchungen an Sinterkalken (Travertinen). — Contr. Mineral. and Petrol., **21:** 238—256, 1 Abb., 7 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York.

SCHERP, A. (1977): Eisenglanzvererzungen im Buntsandstein der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 109—123, 1 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

SEMMLER, W. (1960): Die Herkunft der Grubenwasserzuflüsse im Ruhrgebiet. — Glückauf, **96:** 502—511, 8 Abb.; Essen.

THIERMANN, A. (1975): Zur Geologie der Erdfälle des „Heiligen Feldes" im Tecklenburger Land/Westfalen. — Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, **44:** 517—530, 8 Abb.; Hamburg.

THODE, H. G., & MONSTER, J. (1965): Sulfur-Isotope geochemistry of petroleum, evaporites, and ancient seas. – Americ. Assoc. Petrol. Geol. Memoir, **4:** 367–377, 3 Abb., 6 Tab.; Tulsa.

WALLHÄUSER, K. H., & PUCHELT, H. (1966): Sulfatreduzierende Bakterien in Schwefel- und Grubenwässern Deutschlands und Österreichs. – Contr. Mineral. and Petrol., **13:** 12–30, 8 Abb., 3 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York.

WOLBURG, J. (1969): Die epirogenetischen Phasen der Muschelkalk- und Keuper-Entwicklung Nordwest-Deutschlands, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein. – Geotekt. Forsch., **32:** 1–65, 32 Abb.; Stuttgart.

Eingang des Manuskriptes: 24. 12. 1976

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	26	S. 229–252, 9 Abb., 1 Tab.	Krefeld, Nov. 1977

Zur Isotopenchemie von Mineralwässern und sonstigen Grundwässern im Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen

Von Mebus A. Geyh und Gert Michel *

Isotope-geochemistry, mineral water, groundwater, dating, C-isotope, H-isotope, S-isotope, regional-hydrology, Northwest German Mesozoic Hills

Kurzfassung: Im Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen wurden 58 Brunnen und Quellen zum Teil mehrmals beprobt. Verschiedene Isotopenmethoden (^{14}C, ^{3}H, $\delta^{13}C$; bei sulfatreichen Wässern auch $\delta^{34}S$) kamen zum Einsatz.

Für die Darstellung und die Diskussion der Ergebnisse werden vier hydrogeologische Einheiten unterschieden, die jedoch miteinander im Zusammenhang stehen und in der Praxis nicht streng gegeneinander abgegrenzt werden können. Die bestimmende geologische Struktur ist die Piesberg – Pyrmonter Achse, die durch tiefreichende tektonische Querelemente gestört ist. Hydrogeologisch charakterisiert ist dieses Gebiet durch die enge Nachbarschaft von kohlensäurereicher Sole, Austausch-Wasser, Süßwasser und Sulfatwasser.

Die angewendeten Methoden werden nur kurz beschrieben. Ausführlich wird lediglich auf einige Besonderheiten eingegangen, die im Zusammenhang mit Mineralwässern eine Rolle spielen.

In der hydrogeologischen Einheit Hiddenhausen findet bis heute eine Auflösung von Gips statt, wobei auch Zechstein-Gips mit beteiligt ist. Sulfatwasser und Süßwasser haben gleiche ^{14}C-Alter.

In der hydrogeologischen Einheit Wüsten ist eine Süßwasserlinse ausgebildet. Sie kann wie eine unterirdische Talsperre bewirtschaftet werden. Dafür sprechen hydrogeologische Erfahrungen, ^{14}C-Alter und ^{3}H-Gehalte.

Die Sulfatwässer von Löhne und Bad Oeynhausen zeigen keinen Zusammenhang mit den sulfatreichen Solen von Bad Oeynhausen. Verbindungen zwischen diesen Solen und der Erdfall-Quelle Seebruch sowie den Chlorid-Sulfat-Wässern von Vlotho sind nach der Fließrichtung der Mineralwässer (^{14}C-Werte) und den $\delta^{34}S$-Werten nicht auszuschließen.

In der hydrogeologischen Einheit Bad Salzuflen – Lemgo kamen Einzelerkenntnisse hinzu, die jedoch nicht ausreichen, ein übergeordnetes Schema zu geben. Hydrogeologische Zusammenhänge zum gesamten Aquifersystem deuten sich lediglich im Bereich der Lemgoer Mark an.

[Isotope chemistry of mineral waters and other groundwaters in the region of Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen]

Abstract: ^{14}C, $\delta^{13}C$ and ^{3}H determinations were performed on groundwaters taken from 58 wells and springs in the region of Bad Oeynhausen and Bad Salzuflen, completed by $\delta^{34}S$ determinations on sulphate waters. The region has been divided in four hydrogeologic areas which are not exactly separated from each other. The Piesberg – Pyrmont axis and

* Anschrift der Autoren: Dr. M. A. Geyh, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Alfred-Bentz-Haus, 3000 Hannover-Buchholz; Dr. G. Michel, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

its tectonic cross-elements is the dominant geologic structure of this region. In this area brines with high contents of CO_2 are neighboured to ground water with high concentrations of sulphates, ion exchange water and fresh water. The isotope methods applied are described briefly. Some particularities in relation to the investigations of mineral water are mentioned.

In the hydrogeologic area Hiddenhausen dissolution of gypsum including gypsum of Zechstein age is still going on. It does not influence the ^{14}C-ages as adjacent water with high sulphate content and fresh water have corresponding isotope data.

The sulphate water of the hydrogeologic area Löhne – Bad Oeynhausen and the sulphatic brines of Bad Oeynhausen do not have the same origin. However, there may be a hydraulic connection between these brines and the mineralized water discharged from the sinkhole at Seebruch as well as the waters with high chloride and sulphate contents from Vlotho. This follows from the flow pattern derived from ^{14}C and $\delta^{34}S$ data.

Only a few isotope analyses were carried out from the hydrogeologic area Bad Salzuflen. No further hydrogeologic information was obtained with the exception of the Lemgoer Mark region.

[Chimie isotopique des eaux minerales et des autres eaux souterraines]

Résumé: Dans la région des sources thérapeutiques de Bad Oeynhausen et de Bad Salzuflen, 58 puits et sources ont été analysés, en partie plusieurs fois. On a mesuré les taux de ^{14}C, ^{3}H et ^{13}C, également de $\delta^{34}S$ dans les eaux sulfatées.

En ce qui concerne la présentation et la discussion des résultats obtenus, on distingue quatre unités hydrogéologiques qui pourtant sont liées entre elles et ne peuvent pratiquement pas être separées. L'axe de Piesberg – Pyrmont constitue la structure géologique prédominante que est segmentée par des failles transversales profondes. Cette région possède des caractéristiques hydrogéologiques variables, dues au voisinage direct des eaux sursalées riches en acide carbonique, des eaux d'échange ionique, des eaux douces et des eaux sulfatées.

Les méthodes appliquées sont brèvement décrites. Quelques particularités en relation avec les eaux minérales, jouant un rôle important, ont été examinée plus en détail.

Dans l'unité hydrogéologique de Hiddenhausen, on note actuellement un lessivage de gypse qui comprend aussi le gypse du Zechstein. Les eaux sulfatées et douces sont de même âge (^{14}C).

Une lentille d'eau douce s'est formée dans l'unite hydrogéologique de Wüsten. Elle peut être exploitée comme un barrage souterrain, ce que prouvent les expériences hydrogéologiques, les âges de ^{14}C et les valeurs de ^{3}H.

Une relation entre les eaux sulfatées de Löhne et de Bad Oeynhausen et les eaux sursalées riches en sulfates de Bad Oeynhausen n'est pas visible. Considérant les directions d'écoulement (valeurs de ^{14}C) et le valeurs de $\delta^{34}S$, une communication entre ces eaux sursalées, la source d'affaissement de terrain de Seebruch et les eaux chlorurées sulfatées de Vlotho ne peut pas être exclue.

Pour l'unité hydrogéologique de Bad Salzuflen – Lemgo, on a obtenu des résultats particuliers, mais insuffisamment nombreux pour pouvoir permettre un schéma hydrogéologique général. Dans la région de la «Lemgoer Mark» seulement, on peut supposer des relations hydrogéologiques caractérisant l'ensemble du système aquifère.

1. Problematik

Für den Hydrogeologen ist es immer wieder eine Herausforderung, eine neue Mineralquelle zu bohren. Je tiefer und damit teurer die Bohrung wird, desto intensiver wird die Frage gestellt, ob die Erwartungen in Ergiebigkeit und in seltenem chemischen Charakter erfüllt werden.

Nur das positive Ergebnis einer solchen Bohrung ist allen sichtbar. Unsichtbar bleibt das Wesentliche, nämlich wieviele lukrative Bohrungen kann man in einem

Mineralwasservorkommen niederbringen, ohne es zu erschöpfen. Die Rohstoffvorräte der Erde, und dazu gehören auch die Mineralwässer, sind begrenzt.

Die Beständigkeit der Mineralisation und die Konstanz der Temperatur von neu erschlossenen Mineralwässern sind andere Probleme. Ein weiteres ist die Herkunft der Mineralisation. Schließlich ist auch die Lokalisierung von Einzugsgebieten von Interesse.

Die Beantwortung dieser und anderer hydrodynamischer, chemischer und physikalischer Fragen ist der Grund, weshalb der Hydrogeologe, welcher mit seinen klassischen Untersuchungsmethoden eine gewisse Grenze der Erkenntnis erreicht hat, sich jetzt mit dem Isotopenphysiker gemeinsam bemüht, wenigstens bei Teilproblemen voranzukommen.

Wie erfolgreich eine solche Kooperation sein kann, zeigt die vorliegende Arbeit aus dem Heilbädergebiet Ostwestfalens. Hier wurden die von hydrogeologischer Seite nicht selten angefochtenen oder auch überschätzten Isotopenmethoden (^{14}C, ^{3}H, $\delta^{13}C$, $\delta^{34}S$) eingesetzt. Dies geschah von vornherein in dem Bewußtsein, daß diese an sich nicht sehr teuren Untersuchungen auch ohne Erfolg bleiben könnten. Daß dies nicht der Fall war, wird im einzelnen dargestellt und diskutiert.

Als Untersuchungsobjekt wurde das Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen und sein regionalgeologischer Rahmen gewählt. Dieses Gebiet bot sich an, weil gerade hier in den letzten Jahren neue hydrogeologische Tatbestände hinzugekommen sind: Bis 1970 gab es in Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen bereits 15 Solebohrungen, aus denen etwa 4 Mio. m³ Sole jährlich genutzt wurden. Hinzu kamen Süßwasserentnahmen aus Kluftaquiferen in der gleichen Größenordnung. 1973 erfolgte dann die Erschließung des 1034 m tiefen Alexander-von-Humboldt-Sprudels in Bad Oeynhausen und eine wesentliche Erweiterung der Süßwasserentnahme im Raum Bad Salzuflen. Seit der Erdfallkatastrophe in Seebruch im Jahr 1970 fließen dort jährlich etwa 1 Mio. m³ Calcium-Sulfat-Wasser unkontrolliert aus. Trotz mehrjähriger Dauerbeobachtung und vieler Messungen weiß man bis heute weder über den Ursprung dieses Grundwassers und seiner Mineralisation noch über die hydraulischen Zusammenhänge Bescheid.

Geologisch liegt das Untersuchungsgebiet im Bereich einer saxonischen Hebungszone, der Piesberg – Pyrmonter Achse, deren germanotyper Bau durch Querstörungen differenziert ist. Verschiedene hydrochemische Grundwassertypen treten eng begrenzt nebeneinander und übereinander auf, in gleichen Aquiferen – jedoch in unterschiedlicher tektonischer Position und ungleicher Tiefenlage. Im Rhät und Steinmergelkeuper sind es vorwiegend Hydrogencarbonat- und Sulfatwässer, im Muschelkalk Hydrogencarbonat- und Chloridwässer bzw. Solen, im Buntsandstein Solen.

Hydrogeologisch ist dieser Raum kein unbeschriebenes Blatt. Schon dem königlich preußischen Landesgeologen Mestwerdt (1915, 1919) lagen die beiden Heilbäder Oeynhausen und Salzuflen mit ihren geologischen Besonderheiten am Herzen. Für Deutloff (1967, 1974) war es das Thema einer umfassenden Dissertation. Endlich reizte das vorhandene hydrologische Datenmaterial zu Spezialuntersuchungen über den Wasserhaushalt der Mineralwässer (Deutloff & Karrenberg 1969) und die Ergiebigkeit des Süßwasservorkommens Wüsten (Deutloff & Michel 1974).

Trotzdem sind viele Probleme offen geblieben, so die Fragen nach hydrochemischen und hydraulischen Zusammenhängen zwischen den Sulfatwässern an der Nordflanke der geologischen Struktur und der Sulfatkomponente der Solen sowie

nach ursächlichen Beziehungen zwischen Erdfalltätigkeit und Grundwasserhaushalt. Die Süßwasservorkommen im Sattelkerngebiet bei Hiddenhausen und bei Wüsten werfen die wasserwirtschaftliche Frage nach der größtmöglichen Dauerentnahme auf, durch die das hydrochemische Gleichgewicht noch nicht gestört wird. Die Möglichkeit, das Grundwasservorkommen Wüsten wie eine unterirdische Talsperre bewirtschaften zu können, bedurfte einer weiteren wissenschaftlichen Bestätigung.

2. Methodik

Es ist hier nicht der Ort, den methodischen Hintergrund und die Meßtechniken der durchgeführten Isotopenanalysen eingehend zu beschreiben. Hierzu wird auf die umfassenden Arbeiten der letzten Jahre verwiesen (DROST et al. 1974; GEYH 1971, 1974; MICHEL 1973; RAUERT 1971). Hier soll lediglich auf die methodischen Besonderheiten eingegangen werden, die im Zusammenhang mit Mineralwässern eine Rolle spielen könnten.

2.1. Radiokohlenstoff-Methode

Radiokohlenstoff (^{14}C) ist ein kosmogenes Isotop. Seine Halbwertzeit beträgt 5568 Jahre. Nach der Libby'schen Modellvorstellung können das Alter organischer Substanzen anhand ihrer ^{14}C-Gehalte ermittelt werden. Die technische Meßgrenze liegt bei etwa 50 000 Jahren vor heute. MÜNNICH (1957) hat diese Libby'sche Modellvorstellung auf Grundwässer ausgedehnt. Er verwies darauf, daß mindestens die Hälfte der im Grundwasser gelösten Kohlensäure biogenen Ursprungs ist. Die ^{14}C-Grundwasseralter sind deshalb immer größer als deren tatsächlichen Alter. Inzwischen wurden Korrekturwerte ermittelt. Bei Grundwässern, die im unbedeckten Karst regeneriert werden, sind etwa 3000–3500 Jahre zu subtrahieren. Für gespannte Grundwässer aus „confined aquifers" beträgt der Korrekturwert etwa 1 300 Jahre. In Gebieten mit kristallinen Gesteinen kann im allgemeinen eine Umrechnung entfallen (GEYH 1972).

Kaum korrigierbare Fehlermöglichkeiten bei der ^{14}C-Altersbestimmung könnten sich u. a. durch Isotopenaustausch zwischen dem im Grundwasser gelösten Bicarbonat und dem im Aquifer befindlichen Kalkstein ergeben. In diesem Fall würde das Kohlenstoff-Isotop ^{14}C nicht nur durch radioaktiven Zerfall, sondern auch durch Isotopenaustausch verlorengehen, und die ^{14}C-Alter wären entsprechend vergrößert. Nach den theoretischen Überlegungen von MÜNNICH (1968) sollte der mit Isotopenaustausch verbundene scheinbare Alterungseffekt bei Grundwässern aus nutzbaren Aquifern allerdings unbedeutend sein.

Eine Zumischung magmatischer Kohlensäure, durch die die ^{14}C-Grundwasseralter ebenfalls erhöht werden, kann in manchen Fällen anhand der $\delta^{13}C$-Werte erkannt werden (VOGEL & EHHALT 1963). Aufgrund der geologischen Situation könnte dieser Prozeß im Untersuchungsgebiet für drei Proben (Tab. 1: Nr. 30–32) in Betracht kommen (FRICKE 1968).

Bei der Deutung von ^{14}C-Grundwasserdaten muß auch die paläohydrogeologische Situation berücksichtigt werden. Während des letzten Hochglazials zwischen 20 000 und 14 000 Jahren vor heute waren in Mitteleuropa weite Teile unter Permafrost, und folglich wurde kein Grundwasser neu gebildet (GEYH 1972, ANDRES & GEYH 1972). Grundwässer, deren ^{14}C-Alter in diesen Zeitabschnitt fallen, werden somit Mischungen aus dem Grenzbereich zwischen interstadialem und holozänem Grundwasser sein. Unabhängig von der Berücksichtigung dieses Hiatus in der

Grundwasserregeneration wird vorausgesetzt, daß die Grundwasserneubildung im Holozän konstant gewesen ist.

Hydroisochronen sind nur dann zur Ermittlung der mittleren Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers während mehrerer Jahrtausende direkt brauchbar, wenn sie parallel zu den Grundwasserhöhengleichen verlaufen. Anderenfalls sind Korrekturen angebracht (BERGMANN 1971); allerdings nur bei Kenntnis des genauen Verlaufes der Hydroisochronen bzw. Grundwasserhöhengleichen!

Der Gehalt an Sulfaten im Grundwasser kann sich auf das ^{14}C-Alter unterschiedlich auswirken. Stammen diese von gelöstem Gips, ist kaum mit einer Änderung zu rechnen. Bei der Zumischung einer fossilen Sulfatlauge mit Bicarbonatgehalt wäre nur eine geringe scheinbare ^{14}C-Alterung denkbar. Oxidationsprozesse von Sulfiden zu Sulfaten und nachfolgende Lösung von Kalkgestein wird hingegen mit einer merklichen Erhöhung der ^{14}C-Alter verbunden sein.

Die Zumischung von Solen läßt sich anhand der ^{14}C-Gehalte nur in Ausnahmefällen erkennen, während der hydrochemische Nachweis wegen der hohen Mineralgehalte leichter gelingt.

2.2. Tritium-Methode

Tritium (^3H) ist das kosmogene Radioisotop des Wasserstoffs. Es hat eine Halbwertzeit von 12,3 Jahren und kann daher nur zum Nachweis jüngerer Wässer dienen. Die natürliche ^3H-Konzentration liegt mit etwa 5 T.E.[1] an der meßtechnischen Nachweisgrenze. Bei der praktischen Anwendung der ^3H-Methode spielt deshalb allein das anthropogene Tritium eine Rolle, das seit etwa 1950 bei den Kernwaffenversuchen erzeugt wurde. Sie verursachten bis 1964 einen Anstieg des ^3H-Gehaltes im Regenwasser bis auf einige 1000 T.E. Inzwischen ist der Tritium-Pegel auf weniger als 150 T.E. im Jahresmittel zurückgegangen.

Im Gegensatz zu ^{14}C, das in der im Wasser gelösten freien und gebundenen Kohlensäure enthalten ist und daher bei hydrochemischen Reaktionen Konzentrationsänderungen unterliegen kann, ist Tritium Bestandteil der Wassermoleküle. Änderungen im Chemismus des Grundwassers wirken sich demzufolge auf die Tritiumgehalte und die davon abgeleiteten Altersangaben nicht aus.

Es ist mehrfach versucht worden, den Tritiumgehalt von Grundwässern in Mischanteile von Regenwässer verschiedenen Alters umzudeuten (MILDE & FRÖHLICH & KLINGER 1970, JOB & ZÖTL 1969). Mathematisch gesehen ist dies an kaum überprüfbare hydrodynamische Voraussetzungen geknüpft. Deshalb wird in dieser Arbeit der verläßlichen qualitativen Aussage einer fraglichen quantitativen Überinterpretation der Vorzug gegeben.

2.3. $\delta^{13}C$-Bestimmung

Das auf einen marinen Kalkstandard (PDB)[2] normierte Häufigkeitsverhältnis der stabilen Kohlenstoff-Isotope ^{12}C und ^{13}C ist als $\delta^{13}C$-Wert definiert (CRAIG 1957):

$$\delta^{13}C = \frac{(^{13}C/^{12}C)\ \text{Probe} - (^{13}C/^{12}C)\ \text{Standard}}{(^{13}C/^{12}C)\ \text{Standard}} \cdot 1000\ (‰)$$

Entsprechend haben marine Kalksteine $\delta^{13}C$-Werte um $0‰$. Der $\delta^{13}C$-Wert von

---

[1] T.E. (engl. T.U.) = Tritiumeinheit. Ein T.E. entspricht einer Konzentration von 1 Tritiumatom auf 10^{18} Wasserstoffatome.

[2] PDB-Standard: international anerkannte carbonathaltige Standardsubstanz für $\delta^{13}C$-Bestimmungen (Kreide-Belemnit *Belemnitella americana* von der Pee-Dee-Formation in Südkarolina)

atmosphärischem Kohlendioxid liegt zwischen −7 und −8‰. Der $\delta^{13}C$-Wert von organischem Kohlenstoff, z. B. von Kohlendioxid aus der oberen Bodenzone, liegt zwischen −22 und −28‰. Die im Grundwasser gelöste Kohlensäure hat nach der einfachen Modellvorstellung von Münnich (1968) $\delta^{13}C$-Werte unter −10‰ (Vogel & Ehhalt 1963). Werte darüber sollen auf das Vorhandensein von magmatischer Kohlensäure im Grundwasser hindeuten.

Eigene Beobachtungen in mehreren Gebieten, bei denen die Existenz magmatischer Kohlensäure geologisch ausgeschlossen wird, führen zu einem differenzierteren Bild. Wir unterscheiden Grund- und Mineralwässer, bei welchen

- die $\delta^{13}C$-Werte entsprechend der Münnich'schen Modellvorstellung zwischen −24 und −10‰ liegen;
- die $\delta^{13}C$-Werte mit dem ^{14}C-Alter ansteigen und manchmal einen Sättigungswert, der maximal −5‰ betragen kann, erreichen;
- die $\delta^{13}C$-Werte −5 bis +1‰ betragen und auf magmatische Beeinflussung hinweisen.

Deutungen, nach denen $\delta^{13}C$-Werte größer als −10‰ ein Hinweis für chemische Wechselwirkung zwischen dem Bicarbonat und dem Aquifergestein sein sollen, konnten aufgrund unserer Ergebnisse nicht bestätigt werden. Auch Isotopenaustausch kann nicht die Ursache sein, da sich bei stabilen Isotopen unmittelbar nach dem ersten Eintritt von Grundwasser in einen Aquifer ein stationäres isotopisches Gleichgewicht an dessen innerer Oberfläche einstellt.

Ähnlich wie beim Radiokohlenstoff ist eine Abhängigkeit der $\delta^{13}C$-Werte vom Sulfatgehalt nur im Spezialfall zu erwarten, nämlich bei der Oxidation von Sulfiden zu Sulfaten und anschließender Lösung von Kalkgestein.

Die meßtechnischen Fehler bei der $\delta^{13}C$-Bestimmung sind im Vergleich zur realen Schwankungsbreite der $\delta^{13}C$-Werte von maximal 1‰ unbedeutend. Letztere wird durch Fraktionierungseffekte bei der Entnahme der ^{14}C-Proben bzw. unterschiedliche Wasserzusammensetzung bestimmt (z. B. Tab. 1: Probe Nr. 39).

2.4. $\delta^{34}S$-Bestimmung

In der Natur treten vier stabile Schwefelisotope auf. Für die Isotopengeologie interessieren hiervon ^{32}S und ^{34}S mit etwa 95% bzw. 4,22% mittlerer Häufigkeit. Die Forschung der vergangenen 20 Jahre hat gezeigt, daß sich die Häufigkeitsverhältnisse dieser stabilen Isotope im Sulfatschwefel von Evaporitsulfaten der verschiedenen geologischen Formationen erheblich voneinander unterscheiden, während die $\delta^{34}S$-Werte gleichalter Evaporitsulfate weltweit nahezu übereinstimmen (Nielsen 1972). Man kann deshalb in günstig gelagerten Fällen mit Hilfe von Schwefel-Isotopenmessungen die im Grund- und Mineralwasser gelösten Sulfate „datieren", d. h. sie einer bestimmten geologischen Formation oder Stufe zuordnen. Neuerdings wurden auch in Ostwestfalen derartige Analysen durchgeführt, von denen 18 aus dem Raum Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen stammen (Michel & Nielsen 1977).

3. Geologischer Bau

Es hätte den Umfang dieser isotopenchemischen Arbeit gesprengt, die relativ verwickelten geologischen Verhältnisse eingehend darzustellen. Zum besseren Verständnis erscheint es uns jedoch notwendig, wenigstens den geologischen Rahmen abzustecken. Details können den Erläuterungen zu den geologischen Karten 1:25 000 und der grundlegenden Arbeit von Deutloff (1974) entnommen werden, die auch ein umfassendes Literaturverzeichnis enthält.

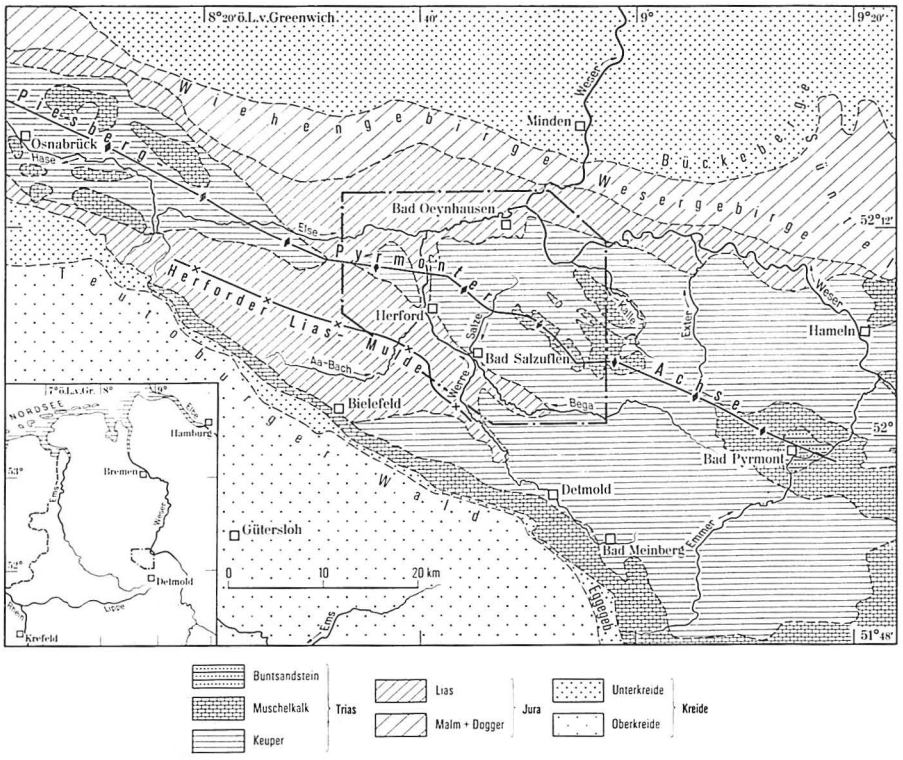


Abb. 1. Lage des Arbeitsgebietes (Geologie nach DEUTLOFF 1974)

Der Raum Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen gehört zum Mittelabschnitt der weitgespannten Piesberg – Pyrmonter Achse (Abb. 1). Diese stellt im Südteil des Niedersächsischen Tektogens (BOIGK 1968) eine etwa Südost – Nordwest, im Untersuchungsgebiet auch Ost – West verlaufende Hebungszone dar. Im Kern dieses Sattels stehen in Hiddenhausen (nördlich Herford) Gesteine des Mittleren und Oberen Keupers, weiter südöstlich im Raum Wüsten (nördlich Bad Salzuflen) Aquifere des Oberen Muschelkalks und des Unteren Keupers an. Die Flanken des Sattels bestehen aus Gesteinen des Mittleren und Oberen Keupers sowie des Lias. Dieses an sich einfache Bild wird durch folgende Verwerfungen (vorwiegend Querverwerfungen) und Beulen bzw. Kuppeln erheblich gestört: westlich Schweicheln die Beule des Schweichler Berges, westlich des Werretales eine Blattverschiebung, südlich Löhne der Geiseberg-Abbruch, die Salzetal-Querstörung, die Ilsetal-Verwerfung zwischen Entrup und Kirchheide (nördlich Lemgo), der Teimberg-Horst (ROHDE 1963), die Oeynhausener Quellenspalte, welche in Bad Oeynhausen in Ost – West-Richtung umbiegt, der Vlothoer Horst.

Einzelheiten können der geologisch-hydrogeologischen Karte bei DEUTLOFF (1974) entnommen werden.

Dieser komplizierte tektonische Bau ist das Produkt der jungkimmerischen Gebirgsbildung und der Einflüsse des unterlagernden Zechstein-Salzes. Subrosionserscheinungen, auf Zechstein-Salinare und jüngere sulfatische mesozoische Evaporite zurückzuführen, dauern noch heute an. Ungeklärt sind der zeitliche Ablauf und die räumlichen Beziehungen zwischen Salzabwanderung bzw. -lösung und der quartären Sedimentation.

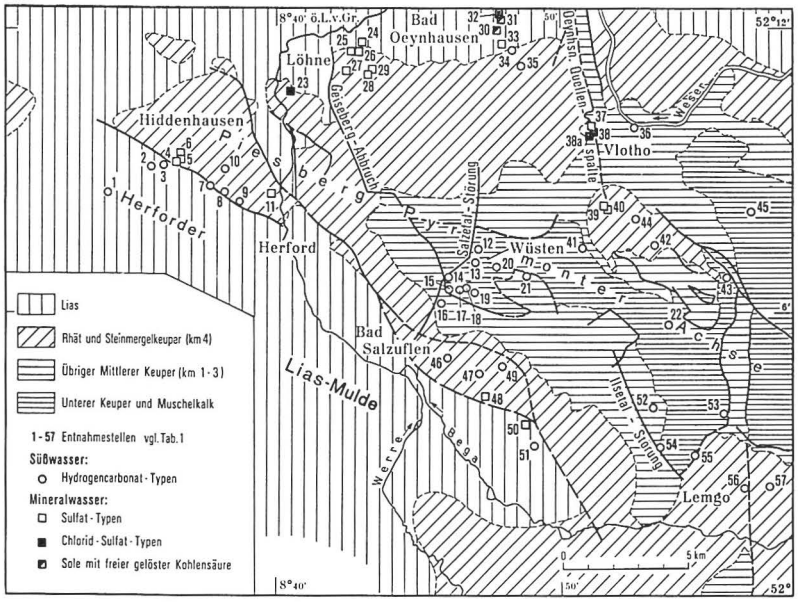


Abb. 2. Lage der Entnahmestellen für Isotopenuntersuchungen im Bearbeitungsgebiet

4. Hydrogeologische Einheiten

4.1. Übersicht

Die Isotopenergebnisse beziehen sich auf Proben, die in den Jahren 1970–1974 entnommen worden sind. Allein für ^{14}C-, ^{3}H- und $\delta^{13}C$-Untersuchungen sind 58 Entnahmestellen zum Teil mehrmals beprobt worden (Abb. 2). Im gleichen Zeitraum wurden die ausgewählten Grundwässer mindestens auch einmal chemisch untersucht. Zusätzlich sind von einigen der sulfatreichen Grund- und Mineralwässer $\delta^{34}S$-Messungen durchgeführt worden, welche im Zusammenhang mit einer überregionalen Betrachtung stehen (MICHEL & NIELSEN 1977).

Für die Darstellung und die Diskussion der Ergebnisse wurden vier hydrogeologische Einheiten unterschieden, wobei die gegenseitigen Grenzen nicht sehr scharf sind und als Übergänge verstanden werden können.

Die hydrogeologischen Einheiten Hiddenhausen und Wüsten liegen im Kern des Piesberg – Pyrmonter Sattels. Die Einheit Löhne – Bad Oeynhausen – Vlotho schließt sich nördlich, die Einheit Bad Salzuflen – Lemgo südlich daran an.

Zur Übersicht wurden die Ergebnisse der hydrochemischen und der isotopenchemischen Bestimmungen tabellarisch zusammengefaßt (Tab. 1 in der Anlage). Die Entnahmestellen, deren Lage aus der Abbildung 2 ersichtlich ist, wurden fortlaufend numeriert. Weiterhin werden die Labornummern des ^{14}C-Laboratoriums des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, Hannover, angegeben.

Es folgt die Kurzbezeichnung der Entnahmestelle. Die Jahresangabe bezieht sich bei Untersuchungsbohrungen auf den Zeitpunkt der Bohrarbeiten, bei Brunnen auf das Jahr der Inbetriebnahme. Außerdem werden die Tiefe der Bohrung bzw. des Brunnens, die Nummer des Blattes der topographischen Karte 1:25 000 und die

Koordinaten genannt. Der Aquifer ist mit der gebräuchlichen Kurzbezeichnung angegeben. Artesischer Auslauf und Nutzung sind durch Kreuze gekennzeichnet.

Das angeführte Datum bezieht sich auf die Entnahme der Proben für die Isotopenuntersuchungen und ist nicht in jedem Fall identisch mit dem Zeitpunkt der Entnahme für die chemischen Vollanalysen. Letztere wurden, abgesehen von einigen Ausnahmen, im Chemischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen, Krefeld, ausgeführt (Analytiker: H. WERNER). Die pH-Werte wurden bereits bei der Entnahme bestimmt. Bei den Hydrogencarbonatwerten wichen Feld- und Laborfunde geringfügig voneinander ab. Um die Kationen-Anionen-Bilanz einzuhalten, sind die meist etwas höheren Laborwerte angegeben worden. Die Bestimmung der freien Kohlensäure ist bekanntermaßen so ungenau, daß uns eine Aufnahme der Werte in die Tabelle 1 nicht angebracht erschien.

Von den isotopenchemischen Werten sind aufgeführt: der $\delta^{34}S$-Wert, der $\delta^{13}C$-Wert, das ^{14}C-Modellalter, der ^{14}C-Gehalt in %modern und der Tritiumanteil in T.E.-Einheiten.

4.2. Hiddenhausen

4.2.1. Hydrogeologische Situation

Nördlich Herford treten bei Hiddenhausen im Sattelkern der Piesberg – Pyrmonter Achse Gesteine des Mittleren Keupers zutage. Die Streichrichtung ist etwa Ost – West. Ein Querelement hierzu ist der Schweichler Berg, eine etwa Südsüdost – Nordnordwest angelegte Beule. Junge Senkungsfelder, ausgefüllt mit tertiären (Do-Berg bei Bünde) und quartären Lockergesteinen, begrenzen diese Aufwölbung im Norden, Osten und Süden (Abb. 3). Nicht nur Pressungen, sondern auch Halokinese dürften dieses geologische Bild geprägt haben.

Hydrogeologisch bezeichnen wir den Kernbereich und die Südflanke dieser Struktur als hydrogeologische Einheit Hiddenhausen. Einziger nutzbarer Aquifer ist der Steinmergelkeuper. Wegen einer intensiven vertikalen Zerklüftung wurden hydraulische Verbindungen zu tiefen Aquiferen vermutet. Eine Folge davon ist das Aufdringen sulfatreicherer Grundwässer. Über die Hydrogeologie und die wasserwirtschaftliche Nutzung dieses für die Wasserversorgung nicht unbedeutenden Gebietes wurde schon früher ausführlich berichtet (MICHEL 1969).

Vier Brunnen sind tiefer als 100 m. Es handelt sich einerseits um einen seit langem wegen seiner hohen Wasserhärte stillgelegten Brunnen der Brauerei (Tabelle 1: Nr. 11) und andererseits um die Brunnen 8–10 des Wasserwerkes Hiddenhausen (Tabelle 1: Nr. 4–6). Schon bald nach Inbetriebnahme des Wasserwerkes im Jahre 1963 stiegen in diesen Brunnen die Sulfatgehalte so stark an, daß die Brunnen für eine Dauernutzung nicht mehr in Frage kamen.

Unter starkem Zeitdruck und bei großer Skepsis der beteiligten Behörden wurden dann ab 1964 noch sieben Brunnen gebaut, aber nur bis maximal 50 m Tiefe (Tabelle 1: Nr. 1–3, 7–10). Um die Wasserversorgung aufrecht erhalten zu können, mußten hygienische Bedenken zurückgestellt werden. Bisher sind in diesen flachen Brunnen trotz starker Förderung keine auffälligen Veränderungen im Chemismus des Grundwassers eingetreten.

Um für die Zukunft eine mögliche Verschlechterung der Grundwasserqualität in den flachen Brunnen durch Auftreten von Sulfaten voraussagen zu können, wurde die Isotopenchemie eingesetzt. Das Hauptziel dieser Untersuchung war, die Ursachen des scheinbar sporadischen Auftretens gelöster Sulfate zu erforschen. In Betracht kamen eine Zumischung von sulfatgesättigtem Mineralwasser aus der Tiefe, Auslaugung von Gips oder Oxidation von Sulfiden.

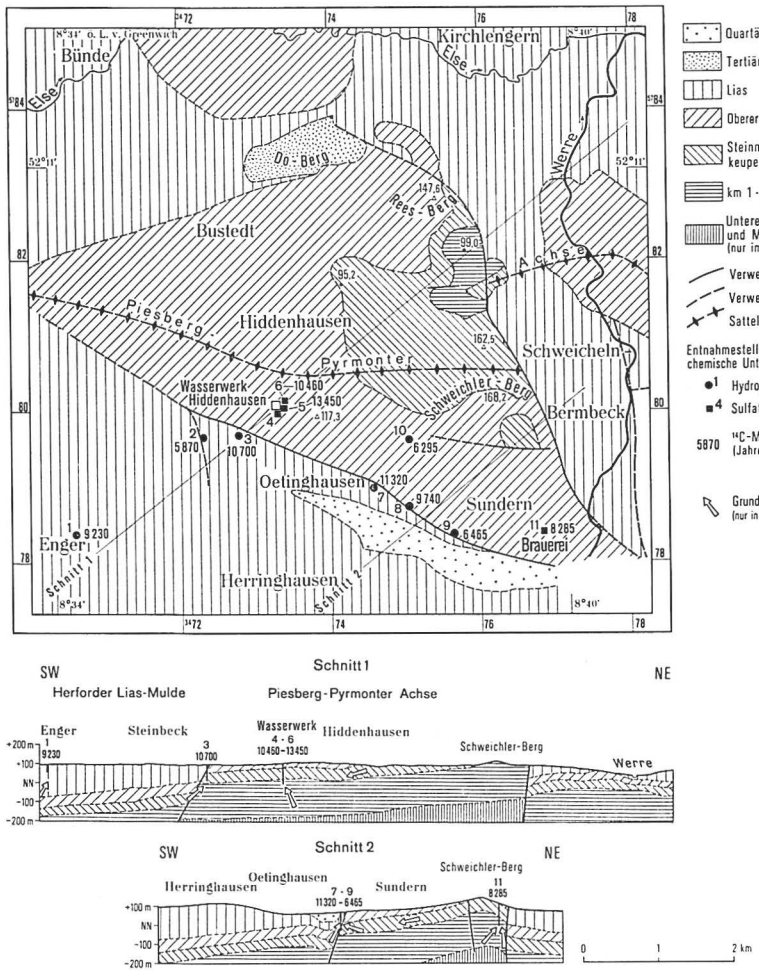


Abb. 3. Hydrogeologische Einheit Hiddenhausen

4.2.2. Ergebnisse und Interpretation

Durch die $\delta^{34}S$- und die ^{14}C-Ergebnisse wurde der hydraulische Zusammenhang zwischen dem Sulfatwasser der tieferen und dem schwach sulfathaltigen Süßwasser der oberflächennahen Bereiche des Aquifersystems bewiesen. Die $\delta^{34}S$-Werte von 11,9 und 13,1‰ lassen auf Einflüsse aus dem Zechstein schließen. Die näherliegende Erklärung, eine Herkunft aus dem Keuper anzunehmen, wird damit fast sicher ausgeschlossen (MICHEL & NIELSEN 1977). Die ^{14}C-Alter der Proben aus den bis 50 m tiefen Brunnen liegen zwischen 6 000 und 12 000 Jahren vor heute und unterscheiden sich unerwarteterweise nur wenig von denen der Sulfatwässer (Tabelle 1: Nr. 5, 6, 11). Das Vorhandensein von Sulfaten in diesen Grundwässern ist nicht mit einer Altersverfälschung verbunden. Das sulfatische Grundwasser müßte sonst älter sein. Daraus läßt sich schließen, daß die Sulfate durch Lösung von Gips aus tieferen Bereichen in das Grundwasser kommen. Eine Zumischung

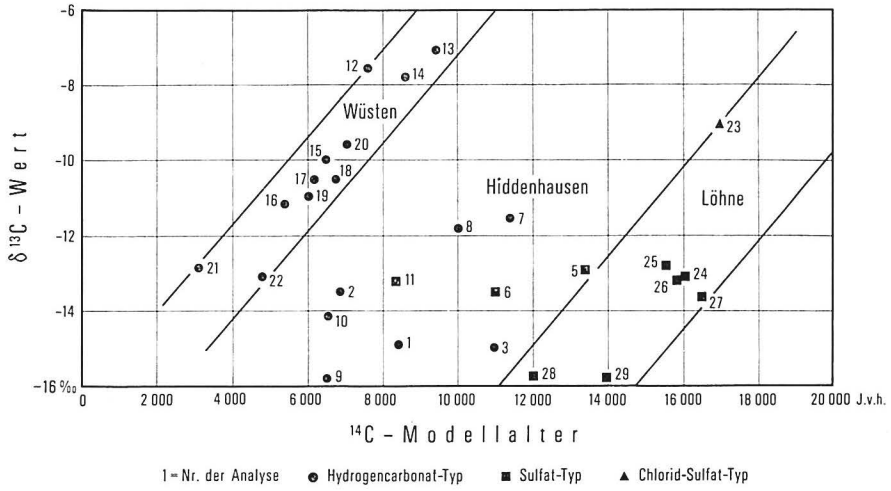


Abb. 4. Relation zwischen ^{14}C-Modellalter und den $\delta^{13}C$-Werten

sulfatgesättigter, sehr alter Mineralwässer scheidet aus. Auch die Oxidation von Sulfiden kann nicht die Ursache der hohen Sulfatgehalte sein, da keine sinnvolle Relation zwischen den ^{14}C-Modellaltern bzw. $\delta^{13}C$-Werten und den Sulfatwässern besteht (Abb. 4).

Die Zusickerung von jungen meteorischen Wässern zeigt sich an den Tritiumgehalten der Proben aus den flachen Brunnen (Tabelle 1: Nr. 2, 8, 9, 10). Das Sulfatwasser der tiefen Brunnen enthält dagegen fast kein Tritium. Es liegen eben zum größten Teil Mischwässer vor, die einem großen Grundwasserreservoir angehören. Daher kann für die Zukunft nur bei ausgewogener Förderung in den Flachbrunnen eine wesentliche Qualitätsveränderung des Grundwassers ausgeschlossen werden.

Neben dieser entscheidenden Erkenntnis sind einige Besonderheiten zu diskutieren:

Es verwundert nicht, daß verschieden alte Grundwässer (Tabelle 1: Nr. 3 und 9) gleiche Tritiumgehalte haben, da jene unterschiedlichen Mischkomponenten bzw. -anteilen entsprechen können. Nach den bisherigen Erfahrungen wird nämlich durch Regenwasser, das in Brunnennähe versickert, nur der ^{3}H-Gehalt beeinflußt, nicht aber das ^{14}C-Alter verfälscht, da Regenwasser kein Bicarbonat und nur wenig freie Kohlensäure enthält.

Die unterschiedlichen Modellalter der Grundwässer sind außer von Mischungen auch von dem Entnahmezeitraum und der Entnahmemenge abhängig.

Der Brunnen 3a ist beispielsweise erst sehr kurz in Betrieb. Das Grundwasser hat ein Modellalter von 11 300 Jahren vor heute (Tabelle 1: Nr. 7). Aus dem Brunnen 6 wird seit 1964 gefördert. Dieses Grundwasser hat ein Modellalter von 5900 Jahren vor heute. Daraus folgt, daß heute mehr junges Wasser gefördert wird als unmittelbar nach der Inbetriebnahme des Brunnens. Umgekehrt führte die ständige Förderung aus dem Brunnen 11 (Tabelle 1: Nr. 1) innerhalb eines Jahres zu einer Zunahme des ^{14}C-Alters um ca. 1000 Jahre. Hier wird vermutlich mehr Grundwasser entnommen als die Neubildung erbringt.

Erhoffte Schlüsse auf die Aquifersysteme von Wüsten und Bad Oeynhausen können aus den Ergebnissen leider nicht gezogen werden.

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse zeigt Tabelle 1: Nr. 1–11.

4.3. Wüsten

4.3.1. Hydrogeologische Situation

Hier sind im Kern des Piesberg – Pyrmonter Sattels an streichenden Verwerfungen horstartig Gesteine des Unteren Keupers und des Oberen Muschelkalks aufgepreßt. Anzahl, genauer Verlauf und Einfallen verschiedener Spezialstörungen sind nicht bekannt, weil der ganze Bereich zwischen Salzetal und Talle von fluviatilen Lockergesteinen, Geschiebemergel und Löß verhüllt wird. Nur an wenigen Stellen treten die Gesteine des Unteren und Mittleren Keupers und der Ceratiten-Schichten zutage. Das tektonische Bild ist also sicher verworrener und komplizierter, als bisher angenommen wurde. Da jedoch hier sorgsame Messungen und Beobachtungen von einem Vierteljahrhundert vorliegen, sind die hydrogeologischen Zusammenhänge besser bekannt als in anderen Gebieten, die geologisch einfacher gestaltet sind (Deutloff & Michel 1974).

Diese Kenntnisse reichten allerdings nicht aus, um die von dem Wasserwirtschaftler beharrlich gestellte Frage zuverlässig zu beantworten, ob dem Grundwasservorkommen Wüsten kurzzeitig stärke Entnahmen zugemutet werden können, ohne daß eine Erhöhung der Mineralisation des Grundwassers eintreten wird. Deshalb wurden zusätzlich isotopenchemische Untersuchungen einbezogen.

Hydrogeologisch war folgendes bekannt: In Kluftaquiferen tritt auf engstem Raum artesisch und subartesisch gespanntes Grundwasser auf, welches ständig oder zeitweise aus drei Quellen und dreizehn artesischen Brunnen ausfließt sowie aus acht Brunnen gepumpt wird. Darüber hinaus stehen drei Brunnen in einem unmittelbar angrenzenden Porenaquifer mit ungespanntem Grundwasser.

Die Grundwasserentnahme aus dem Aquifersystem Wüsten für die Städte Herford und Bad Salzuflen ist nicht unbeträchtlich; sie beträgt immerhin jährlich etwa 6 Mio. m^3.

Das Einzugsgebiet dieses Aquifersystems ist etwa 25 km^2 groß und weist bei einer Längserstreckung von ca. 12 km eine Höhendifferenz von 200 m auf. Die westliche Begrenzung bildet die Salzetal-Störung, die gleichzeitig eine Aufstiegsbahn für Sole ist. Das Hydrogencarbonat-Grundwasser bildet eine Süßwasserkalotte über der in der Tiefe verbreiteten Sole und wird seitlich von Sulfatwasser begrenzt (Abb. 5). Bis 70 m Tiefe treten nachweislich keine mineralisierten Grundwässer auf, auch nicht in den ursprünglich gipsführenden Schichten des Mittleren Keupers.

4.3.2. Ergebnisse und Interpretation

Hydrochemisch sind die elf untersuchten Grundwässer sehr gleichartig (Tabelle 1: Nr. 12–22). Lediglich die Proben aus den neuesten Brunnen, die der Salzetal-Störung am nächsten stehen, weichen ein wenig von dem einheitlichen Typ ab (Nr. 13 und 14). Sie zeigen schwach erhöhte Chloridgehalte und sind isotopenchemisch am ältesten. Die Modellalter der übrigen Proben sind einander sehr ähnlich und liegen zwischen 5400 und 7000 Jahren vor heute. Trotzdem läßt sich eine Grundwasserfließrichtung von Südosten nach Nordwesten erkennen (Abb. 5). Die aus den ^{14}C-Daten errechnete Abstandsgeschwindigkeit beträgt nur 0,3 m/Jahr.

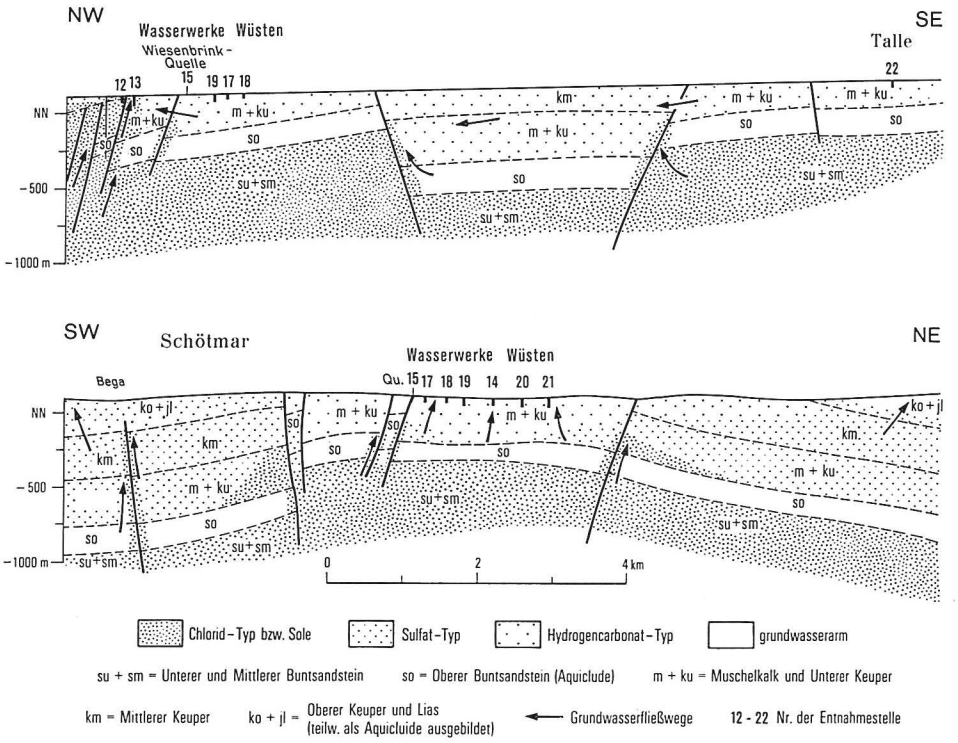


Abb. 5. Schematische Schnitte durch die hydrogeologische Einheit Wüsten

Alle untersuchten Grundwässer enthalten viel Tritium, werden also ständig über Klüfte mit jungem Regenwasser versetzt. Die $\delta^{13}C$-Werte nehmen mit wachsendem ^{14}C-Modellalter von −12,9‰ bis zu einem Sättigungswert von −7,1‰ zu (Abb. 4). Der Zusammenhang zwischen hohem Tritiumgehalt und steigenden $\delta^{13}C$-Werten ist ebenfalls offenkundig. Er deutet auf einen über die Klüfte ermöglichten Isotopenaustausch zwischen dem Kohlendioxid der Luft und dem Bicarbonat des Grundwassers hin, durch den die ^{14}C-Gehalte jedoch nur wenig beeinflußt werden.

Bemerkenswert ist das relativ hohe Alter des Grundwassers aus der sehr ergiebigen Wiesenbrink-Quelle (Tabelle 1: Nr. 15), welche zum Zeitpunkt der Probeentnahme im August 1974 nach einer niederschlagsarmen Zeit noch 3000 m^3/Tag schüttete. Das artesische Grundwasser aus dem Brunnen H II (Tabelle 1: Nr. 17), dessen Manometerdruck als Indikator für die Hydrostatik des gesamten Grundwasservorkommens dient, wies das gleiche Alter, den gleichen $\delta^{13}C$-Wert und nahezu den gleichen Tritiumgehalt auf. Der bisher lediglich aufgrund hydrologischer Beobachtungen vermutete Zusammenhang zwischen dieser Quelle und dem ca. 400 m entfernten artesischen Brunnen H II ist mithin offenkundig.

Die im Grundwasservorkommen ermittelten und größenordnungsmäßig übereinstimmenden ^{14}C-Alter bestätigen, daß ein hydraulisch eng verbundenes Aquifersystem vorliegt. Diesem sickern ständig beachtliche Mengen junger Niederschläge zu, wie durch die Tritiumgehalte erwiesen ist.

Das Aquifersystem ist daher mit einer unterirdischen Talsperre vergleichbar, deren Grundwasserreservoir in niederschlagsarmen Zeiten überbeansprucht werden kann. Es füllt sich in einer darauffolgenden niederschlagsreichen Periode von neuem auf: 1975 hatte sich das 1974 überstrapazierte Grundwasservorkommen wieder erholt.

4.4. Löhne – Bad Oeynhausen – Vlotho

4.4.1. Hydrogeologische Situation

An der Nordostflanke der Sattelstruktur streichen die flach noch Norden bzw. Nordosten einfallenden ca. 60 m mächtigen Schichten des Rhäts etwa 5 km breit aus. Ihnen schließen sich nach Norden die ca. 300 m mächtigen Tonsteine des Lias an.

Bedeutsame Aquifere sind die unteren quarzitischen Partien des Rhäts und der gesamte Steinmergelkeuper sowie in größeren Tiefen der Muschelkalk und der Mittlere Buntsandstein. Es ist schwierig, hier eine hydrogeologische Einheit zu sehen, zumal im Ostteil der sogenannte Vlothoer Horst mit einzubeziehen ist.

Jedoch bestehen gerade zwischen Bad Oeynhausen und Vlotho im doppelten Sinne so tiefgründige hydrogeologische Verbindungen, daß eine getrennte Betrachtung nicht gerechtfertigt ist.

Die westliche Begrenzung dieser hydrogeologischen Einheit ist eine Querstörung, der sogenannte Geiseberg-Abbruch. Die Nordgrenze entspricht etwa dem Werretal. Die Ostgrenze bildet die Weser. Südlich davon liegt die Einheit Wüsten. In diesem System überwiegen Mineralwässer, die sogar zur Trinkwasserversorgung von Löhne mit herangezogen werden müssen.

Die hydrogeologischen Fakten und Beobachtungen sind verwirrend, und offene Fragen gibt es noch viele.

Diese hydrogeologische Einheit wird in drei Teilbereiche gegliedert: Löhne, Bad Oeynhausen, Vlotho.

Der Raum Löhne ist durch seine artesischen Sulfatwasserbrunnen bekannt. Im Zusammenhang mit dem Heilquellenschutz wurde in der Vergangenheit dieses Sulfatwasser immer wieder mit der Bad Oeynhausener Sole in Zusammenhang gebracht, ohne daß dies zu beweisen war. Um zu einer Beantwortung dieser Frage zu kommen, wurde dieser Bereich in die Isotopenuntersuchungen einbezogen.

Auch südlich von Bad Oeynhausen gibt es einige artesische Bohrungen mit Sulfatwasser. Eine interessante Ausnahme ist die Bohrung Flachsiek. Sie führt Süßwasser, ist sehr ergiebig und wird seit 1972 provisorisch genutzt. Ein Umschlagen in einen Sulfatwassertyp wurde erwartet, eine Beeinträchtigung der Solebohrungen für wahrscheinlich gehalten. Die Isotopenuntersuchungen sollten eine Klärung bringen.

Immer wieder wird die Frage nach der quantitativen und qualitativen Beständigkeit der kohlensäurereichen Solevorkommen im Zentrum von Bad Oeynhausen gestellt. Leider versagt hier, wie erwartet werden mußte, die ^{14}C-Methode (Vogel & Ehhalt 1963). Von $\delta^{34}S$-Bestimmungen waren eher hydrogeologisch deutbare Ergebnisse zu erhoffen.

Der Raum Vlotho hat in dem Mineralwasserbereich Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen eine Art Schlüsselposition, weil hier besonders günstige geologische Voraussetzungen zusammentreffen, nämlich: der Süd – Nord streichende Vlothoer Horst quert das tief eingeschnittene Südwest – Nordost verlaufende Forellenbachtal, so daß inmitten der Keuper-Lias-Verbreitung einer der Mineralwasserleiter,

der Muschelkalk, zutage tritt. Die Oeynhausener Quellenspalte, weiter südlich durch große Erdfälle markiert, ist gleichzeitig die Westrandstörung des Vlothoer Horstes. Sie wird in Vlotho-Rahlbruch von der Südwest – Nordost streichenden Forellenbach-Störung gekreuzt, welche ihrerseits über eine Längsstörung Verbindung zur Salzetal-Störung aufweist (vergl. DEUTLOFF 1974: Abb. 2 u. Taf. 1). Gravimetrische Anomalien lassen einen Salzkörper im tieferen Untergrund vermuten. Auch sind einige Quellen und Bohrungen bekannt, die erhöhte Natrium- und Chloridgehalte aufweisen (DEUTLOFF & HAGELSKAMP & MICHEL 1974). Neuere Aufschlüsse, so auch die im November 1975 eingerichtete Meßstelle Rahlbruch, runden das von NAUMANN (1922) gegebene Bild ab.

Unsere Fragestellung war in diesem Fall recht unpräzise. Die Beantwortung wurde zu einer Probe auf die Methode.

Drei Kilometer südlich von Vlotho entstand im Juni 1970 der große Erdfall von Seebruch (DEUTLOFF & HAGELSKAMP & MICHEL 1974). Aus ihm fließen jährlich mindestens 1 Mio. Calcium-Sulfat-Wasser aus, dessen Konzentration und Typ sich trotz der hohen Schüttung bisher nicht verändert haben. Die Temperatur ist merklich erhöht (14° C), die Chloridgehalte ebenfalls (50–60 mg/l). Das Einzugsgebiet liegt sehr wahrscheinlich im Südosten und zapft bei Hohenhausen das Sattelkerngebiet der Piesberg – Pyrmonter Achse mit an. Deshalb wurden auch aus diesem Bereich einige Brunnen in die Untersuchungen einbezogen (Tabelle 1: Nr. 41–44).

Aktuell war und ist die Frage, ob durch diesen bedeutsamen unkontrollierten ständigen Mineralwasserausfluß die Solenutzung in Bad Oeynhausen und in Bad Salzuflen in ihrer Existenz gefährdet werden könne.

4.4.2. Ergebnisse und Interpretation

Im Raum Löhne (Tabelle 1: Nr. 23–29) treten bereits ab 30 m Tiefe im Rhät und im Steinmergelkeuper artesisch gespannte Calcium-Sulfat-Wässer auf (FRICKE & MICHEL 1967). Schüttungen von über 50 m^3/h sind nicht selten (z. B. Tabelle 1: Nr. 26 u. 27). Parallel zum schon genannten Geiseberg-Abbruch sind in geringer Tiefe bereits auch die Chloridgehalte erhöht (Tabelle 1: Nr. 23).

Die relativ hohen ^{14}C-Alter der Sulfatwässer (Tabelle 1: Nr. 23–29) untermauern die Annahme des Hydrogeologen, daß das Einzugsgebiet der Brunnen im südlichen Ausstrichbereich des Keupers liegt. Die Grundwasserfließrichtung in dem zerklüfteten Gesteinskörper sollte etwa von Südosten nach Nordwesten verlaufen (Abb. 6). Sämtliche Proben enthalten wenig Tritium. Es verschwindet völlig in einiger Entfernung vom Sattelkern. Die ^{14}C-Alter und die $\delta^{13}C$-Werte zeigen eine unverkennbare Beziehung zum Sulfatgehalt (Abb. 4) – einer der wenigen Fälle, wo dies festgestellt wurde. Daher ist es fraglich, ob bei diesen Grundwässern mit ihren hohen Sulfatgehalten die bisher gebräuchliche Deutung der ^{14}C-Konzentrationen als Modellalter zulässig ist und die hohen ^{14}C-Daten nicht einfach vorgetäuscht werden. Die $\delta^{34}S$-Werte lassen vermuten, daß es sich um gelöste Keuper-Evaporite handelt (MICHEL & NIELSEN 1977).

Im Süden von Bad Oeynhausen sind – wie im Raum Löhne – im Rhät und Steinmergelkeuper vorwiegend artesisch gespannte Sulfatwässer verbreitet (Tabelle 1: Nr. 33 und 34). Sie haben das gleiche ^{14}C-Alter und enthalten kein Tritium. Die $\delta^{34}S$-Werte sprechen wie in Löhne für gelöste Keuper-Evaporite, d. h., die nördliche Sattelflanke ist nicht so tief zerklüftet wie der Kernbereich (Hiddenhausen) der Piesberg – Pyrmonter Achse. Ein hydrologischer Zusammenhang zu den Tiefensolen ist somit auszuschließen.

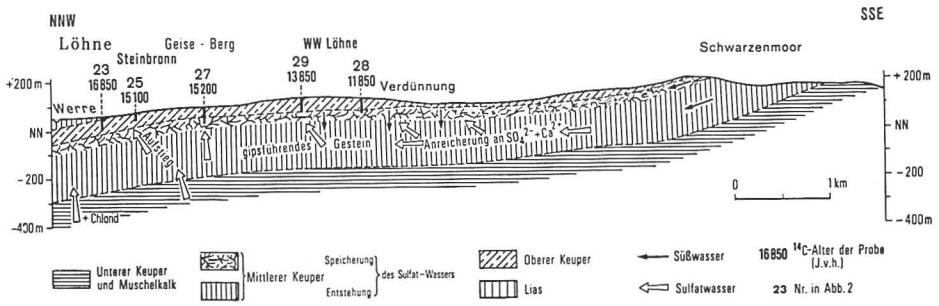


Abb. 6. Schematischer Schnitt durch den Teilbereich Löhne

Hydrogencarbonat-Grundwasser ist die große Ausnahme. Eine solche Ausnahme ist der 70 m tiefe provisorische Brunnen Flachsiek (Tabelle 1: Nr. 35). Er ist dem Staatsbad ein Dorn im Auge, weil man Beeinträchtigungen der Ergiebigkeit der Mineralwasserbohrungen befürchtet. Bei den schwach konzentrierten Solen gibt es dafür einige Gründe. Andererseits wird mit dem Brunnen Flachsiek gegenwärtig die Trinkwasserversorgung der Badestadt aufrecht erhalten; es werden aus dieser primitiv gefaßten 200-mm-Bohrung täglich über 1000 m³ gutes Trinkwasser gefördert!

Es lag nahe, bei Dauerentnahme (seit April 1972) eine rapide Zunahme des Sulfatgehaltes zu erwarten. Drei isotopenchemische Untersuchungen ergaben nach einer Entnahme von etwa 1,1 Mio. m³ Grundwasser zwar eine merkliche Zunahme des Modellalters um nahezu 4000 Jahre und parallel dazu eine starke Abnahme des Tritiumgehaltes (Tabelle 1: Nr. 35). Die Kontrollanalyse im Dezember 1975 zeigte aber keine Änderungen mehr. Es scheint sich ein isotopenchemisches Gleichgewicht eingespielt zu haben. Hydrochemisch deutet sich eine schwach steigende Tendenz des Sulfatgehaltes nun doch an (Abb. 7). Die weitere Entwicklung bleibt abzuwarten.

Im Zentrum von Bad Oeynhausen werden seit 1830 in Tiefen unter 600 m in Muschelkalk- und Buntsandstein-Schichten sulfathaltige, geringer konzentrierte kohlensäurehaltige Thermalsolen erbohrt (MICHEL 1977).

Obwohl völlig ungewiß, ob wegen des hohen Gehaltes an freier gelöster Kohlensäure ein ausdeutbares Modellalter zu erhalten sei, wurde der 1973 erbohrte Alexander-von-Humboldt-Sprudel sofort beprobt. Das ^{14}C-Modellalter betrug 30 000—35 000 Jahre vor heute und hat sich bis 1975 nicht verändert (Tabelle 1: Nr. 31). Unvereinbar mit dem hohen ^{14}C-Alter scheint der kleine δ^{13}C-Wert von $-16^0/_{00}$ zu sein. Bisher ist kein Fall bekannt, bei dem ein so altes kohlensäurehaltiges Mineralwasser einen so kleinen δ^{13}C-Wert gehabt hätte. Sollte sich hier eine Beeinflussung durch Erdgas abzeichnen? Aquifer ist der calciumcarbonatarme geklüftete Sandstein des Mittleren Buntsandsteins.

Die aus dem etwa 400 m entfernten, 725 m tiefen Jordan-Sprudel aus demselben Aquifer frei ausfließende Sole vom gleichen hydrochemischen Typ und CO_2-Gehalt erscheint nach der Erstuntersuchung mit einem Modellalter von ca. 19 000 Jahren vor heute wesentlich jünger. Das Ergebnis der Wiederholungsuntersuchung im Dezember 1975 stimmt jedoch mit dem ^{14}C-Alter des Alexander-von-Humboldt-Sprudels überein. Da sich gleichzeitig der δ^{13}C-Wert wesentlich erhöht hat, könnte sich eine wachsende Zumischung von magmatischer Kohlensäure andeuten. Gleichermaßen möglich wäre allerdings auch eine Änderung des Mischungsverhältnisses von interstadialem und holozänem Grundwasser (Tabelle 1: Nr. 30).

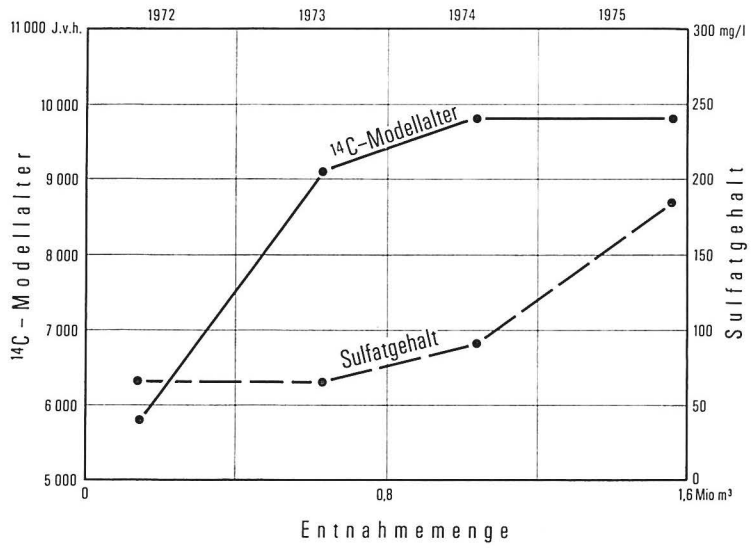


Abb. 7. Änderung des ^{14}C-Modellalters und des Sulfatgehaltes des Hydrogencarbonat-Wassers aus der Bohrung Flachsiek

Nur die $\delta^{34}S$-Werte erlauben zur Zeit eine gesicherte Aussage: Der Lösungsinhalt der Sole, also insbesondere das Sulfat, stammt aus dem Zechstein.

Ein bemerkenswertes und relativ seltenes Mineralwasser vom Calcium-Natrium-Chlorid -Typ ist das des Wittekind-Brunnens, welcher sehr flach gefaßt ist (Tabelle 1: Nr. 32). Die isotopenchemischen Befunde, insbesondere der Tritiumgehalt, bestätigen die hydrogeologische Vorstellung, daß es sich um eine Mischung von Ionenaustauschwasser mit dem Grundwasser aus der Auflockerungszone der Lias-Tonsteine handelt.

Im Raum Vlotho haben die Ergebnisse der Isotopenanalysen die ohnehin schon unklare hydrogeologische Vorstellung eher verwirrt als geklärt. Es wurden vier sehr unterschiedliche Grund- und Mineralwässer untersucht.

Das artesisch ausfließende Süßwasser aus dem 90 m tiefen Brunnen 3 des Wasserwerkes Vlotho am Ostrand des Vlothoer Horstes wurde sofort nach dem Erbohren beprobt. Es ergab sich ein relativ hohes Modellalter von 13 000 Jahren vor heute (Tabelle 1: Nr. 36). Nach den Erfahrungen mit der Bohrung Flachsiek kann es mit den Ergebnissen der beiden anderen, lange bekannten Mineralwässer aus der Rahlbruch-Quelle und aus der Sol-Quelle (Tabelle 1: Nr. 37 und 38) nicht unbedingt verglichen werden, auch schon nicht wegen der unterschiedlichen Hydrochemie (Abb. 8). Das Mineralwasser aus der gerade fertiggestellten 50 m tiefen Meßstelle Rahlbruch ähnelt isotopisch der Probe aus der Sol-Quelle (Tabelle 1: Nr. 38 a). Eine plausible hydrogeologische Vorstellung ist heute noch nicht vorhanden.

Das ^{14}C-Alter des aus der Seebrucher Erdfall-Quelle ausfließenden Calcium-Sulfat-Wassers wurde bisher achtmal bestimmt (Tabelle 1: Nr. 39). In über fünf Jahren hat sich keine signifikante Änderung ergeben. Das ausfließende Mineralwasser blieb etwa 11 000—12 000 Jahre alt und der $\delta^{13}C$-Wert mit −5,5‰ ebenso wie der ^{3}H-Gehalt mit 5 T. E. unverändert. Die geringen Abweichungen einzelner

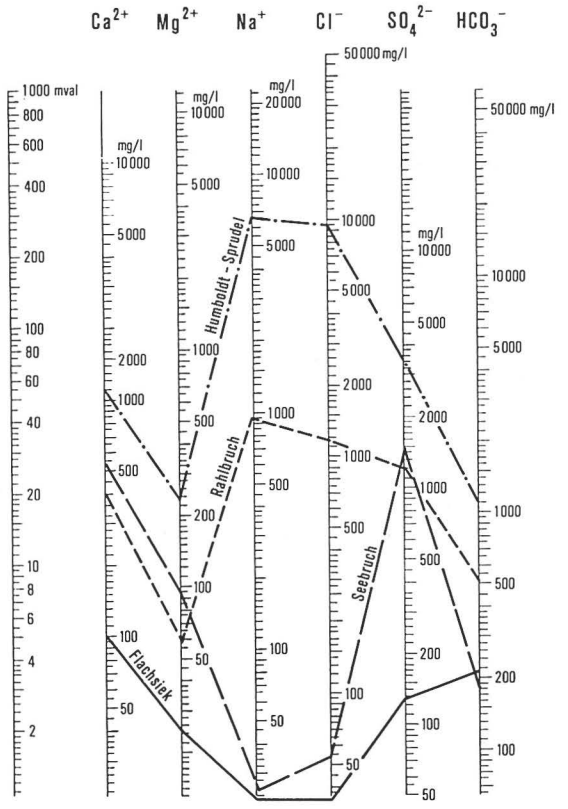


Abb. 8. Semilogarithmische Darstellung von vier Mineralwasser- und Grundwasseranalysen aus den Teilbereichen Bad Oeynhausen und Vlotho

Meßdaten können mit wechselnden Entnahmebedingungen erklärt werden. Nach dem Tritiumgehalt fließt fast kein junges Wasser zu. Hydrologisch interessant ist, daß die untersuchten Wässer aus der Mineral-Quelle (175 m tiefe Bohrung) und der Erdfall-Quelle isotopisch identisch sind (Tabelle 1: Nr. 40). Da weitere Erdfalltätigkeit zu befürchten ist, werden die hydrochemischen (monatlich) und isotopenchemischen Untersuchungen (jährlich) fortgesetzt.

Die $\delta^{34}S$-Werte wurden bisher dreimal bestimmt. Danach kann eine Zuordnung der gelösten Sulfate zum Zechstein-Salinar als gesichert gelten (Michel & Nielsen 1977), d. h. der Herd der Auslaugung liegt relativ tief und die vorhandenen, noch nicht eingestürzten Hohlräume können beachtliche Ausmaße aufweisen.

Die „Schwefel"-Quelle von Bad Senkelteich überraschte durch ihr sehr junges Alter (285 Jahre vor heute). Da sie wie Seebruch auch an einen Erdfall gebunden ist, wäre ein vergleichbar hohes Alter wie dort zu erwarten gewesen. Der Erdfalltrichter der „Schwefel"-Quelle ist jedoch noch durch ein Torflager plombiert, so daß nur oberflächennahes Grundwasser zirkulieren kann. Dafür sprechen das ^{14}C-Alter, die relativ geringe Mineralisation des Wassers und der hohe Tritiumgehalt (Tabelle 1: Nr. 44). Die hydrogeologischen Verhältnisse sind demnach wesentlich anders als in Seebruch. Andererseits kann daraus aber nicht abgeleitet werden, daß eine rezente Erdfalltätigkeit auszuschließen ist.

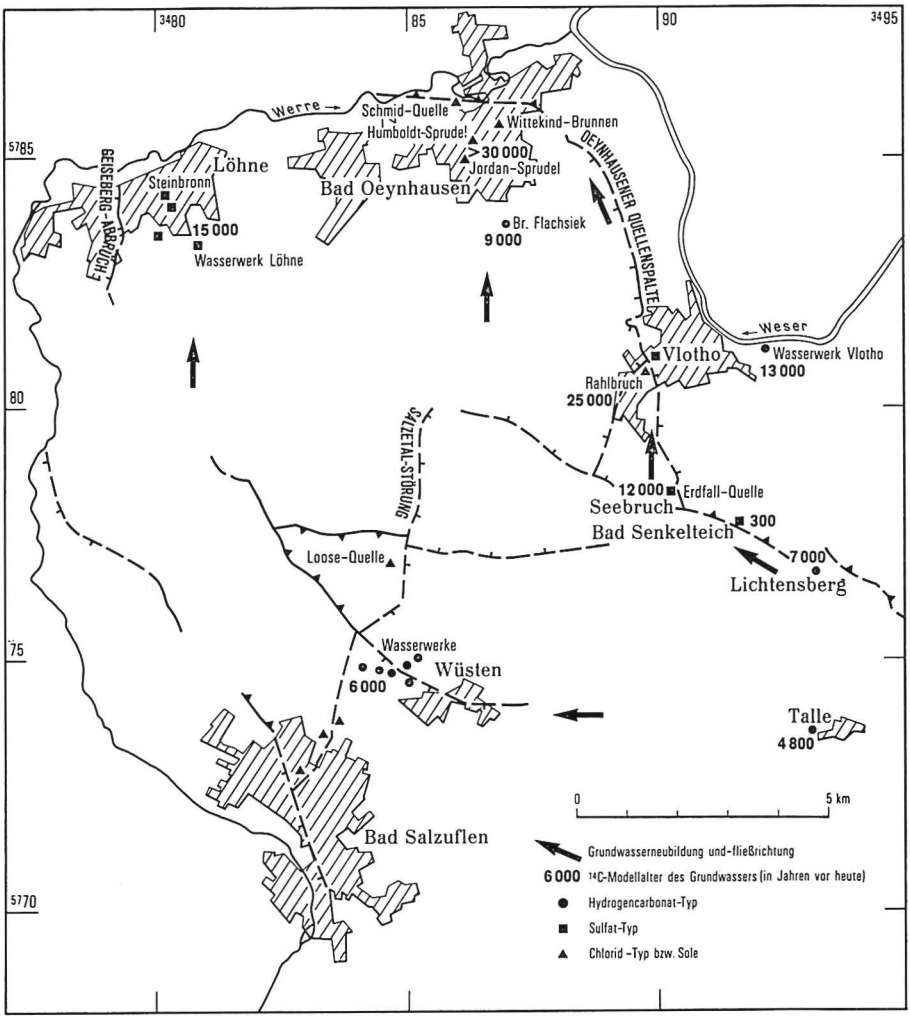


Abb. 9. Schematische Übersicht über die hydrogeologische Einheit Löhne – Bad Oeynhausen – Vlotho

Die isotopenchemischen Untersuchungen der Süßwässer aus den Brunnen Steinbründorf, Lichtensberg und Westorf (Tabelle 1: Nr. 41–43) diente der Erforschung des Grundwasserfließweges. Die bisherige hydrogeologische Vorstellung wurde bestätigt: Das Grundwasser fließt von Südosten nach Nordwesten und folgt zumindest teilweise der Zerrüttungszone der Oeynhausener Quellenspalte. Die schematisch aus den ^{14}C-Daten berechnete Abstandsgeschwindigkeit beträgt etwa 1 m pro Jahr. Die Tritiumgehalte nehmen in Fließrichtung ab und unterschreiten bei einem ^{14}C-Alter von 10 000 Jahren die meßtechnische Nachweisgrenze. Die $\delta^{13}C$-Werte erreichen etwa bei der gleichen Altersgrenze einen Endwert von $-6^0/_{00}$. Nach diesen Ergebnissen muß eine Verbindung über Klüfte vom Aquifer zur Oberfläche bestehen.

Die Ergebnisse dieses Abschnittes werden durch Abbildung 9 zusammenfassend veranschaulicht. Obwohl sich große Zusammenhänge abzeichnen, sind sichere Aussagen bisher nur in Teilbereichen möglich geworden. Da die $\delta^{34}S$-Werte deutliche Unterschiede zwischen dem Raum Löhne und dem Südteil Bad Oeynhausen einerseits und den Mineralwässern von Bad Oeynhausen und Seebruch andererseits erkennen lassen, können weitere ^{14}C- und ^{3}H-Untersuchungen daran anknüpfen. Ein gemeinsamer Zechstein-Ursprung der gelösten Sulfate der Solen von Bad Oeynhausen und von Bad Salzuflen sowie des Sulfatwassers von Seebruch ist erwiesen (Michel & Nielsen 1977).

4.5. Bad Salzuflen – Lemgo

4.5.1. Hydrogeologische Situation

Die Südwestflanke der Piesberg – Pyrmonter Hebungszone ist das hydrogeologische Gegenstück zur Nordostflanke (Abb. 2), am augenfälligsten sichtbar in der Hydrochemie: Außerhalb der Lias-Verbreitung zirkulieren in den Kluftaquiferen meistens Süßwässer. Gespannte Sulfatwässer werden vor allem unter der Lias-Überdeckung angetroffen. Obwohl bisher nicht belegt, wird auch hier in der Tiefe Sole verbreitet sein. Dieses folgert der Hydrogeologe aus den im Verlauf des Begatales in Oberflächennähe vorhandenen Chloridwässern – analog zum Salzetal bei Bad Salzuflen und zum Werretal bei Bad Oeynhausen. Für die Einzelbetrachtung werden drei Bereiche unterschieden: ein westlicher, ein mittlerer und ein östlicher Bereich.

Der westliche Bereich liegt zwischen Bad Salzuflen-Schötmar und Lemgo-Leese. Die Schichten fallen flach nach Südwesten ein. Steinmergelkeuper und Rhät weisen eine relativ geschlossene Verbreitung auf. Die Südgrenze zur Herforder Lias-Mulde stellt vermutlich eine streichende Verwerfung dar. Der Steinmergelkeuper und die unteren quarzitischen Partien des Rhäts bilden einen etwa 50–70 m mächtigen Aquifer. In ihm kommt Süßwasser, aber auch Sulfatwasser vor. Durch hydrogeologische Untersuchungsbohrungen wurde neuerdings deren gegenseitige Abgrenzung ermittelt. Das Süßwasser wird heute nur in zwei Brunnen genutzt (Tabelle 1: Nr. 46 u. 49). Neben diesen wurden noch vier Proben aus hydrogeologischen Untersuchungsbohrungen isotopenchemisch untersucht (Tabelle 1: Nr. 47, 48, 50, 51). Es sollten eventuelle Gesetzmäßigkeiten in der Verbreitung des Sulfatwassers erkannt werden.

Der etwa 3 km breite mittlere Bereich bei Entrup liegt in der südlichen Fortsetzung des nordlippischen Störungsfeldes (Rohde 1963). An Querstörungen sind ältere Trias-Schichten horstartig herausgehoben, so daß hier Partien des Unteren Keupers und der Trochitenkalk nutzbare Aquifere sind (Tabelle 1: Nr. 52). Im Zentrum werden sie jedoch von 70 m mächtigen pleistozänen Sedimenten verhüllt, wobei es sich wahrscheinlich um Ausfüllungen von Subrosionssenken handelt. Im östlichen Bereich der Scholle treten Verwerfungsquellen auf. Die Quellen von Entrup und von Lüerdissen werden für die Wasserversorgung von Lemgo genutzt (Tabelle 1: Nr. 54 u. 55). Es war die Frage zu beantworten, ob diese Quellen durch Grundwasserentnahmen aus zwei vorhandenen und weiteren geplanten Tiefbrunnen beeinträchtigt werden können.

Der östliche Bereich ist die etwa 15 km^2 umfassende Lemgoer Mark. Wegen ihres im großen und ganzen recht übersichtlichen geologischen Baues ist sie für ein großzügig angelegtes langjähriges hydrogeologisches Untersuchungsprogramm ausgewählt worden (Michel & Model 1975). Angestrebt wird eine hydrogeologische Bilanz, die für das lippische Keuper-Gebiet repräsentativ sein soll.

Gleichzeitig werden die Grenzen der Nutzbarkeit dieses Grundwasservorkommens erforscht, und zwar durch mehrjährige Pumpversuche aus verhältnismäßig tiefen Brunnen. Dabei ist vor allem die Wechselbeziehung zwischen tiefem und oberflächennahem Hydrogencarbonat-Süßwasser zu beachten. Die Isotopenchemie wird mit einbezogen (Tabelle 1: Nr. 55, 56, 57), wenn bisher auch noch in einem sehr bescheidenen Rahmen.

4.5.2. Ergebnisse und Interpretation

Im westlichen Bereich läßt sich mit den ^{14}C-Daten (Tabelle 1: Nr. 46–51) ein hydrogeologisch plausibles Hydroisochronenbild konstruieren. Entsprechend dem Einfallen der Sattelflanke erfolgt der Abfluß nach Süden bzw. Südwesten. Aus den ^{14}C-Altern errechnet sich eine Abstandsgeschwindigkeit von 0,4 m/Jahr. Bei dem Grundwasser aus der 185 m tiefen Bohrung Poten (Tabelle 1: Nr. 51) wird es sich um ein holozän-interstadiales Mischwasser handeln; denn ohne Berücksichtigung des Hiatus in der Grundwasserneubildung während der letzten Eiszeit (Andres & Geyh 1970) würde zwischen den Bohrungen Sassenholz (Tabelle 1: Nr. 50) und Poten die radiometrisch bestimmbare Abstandsgeschwindigkeit nur 0,1 m/Jahr betragen. Dafür spricht auch der Chemismus dieses Grundwassers. Es handelt sich um ein Austauschwasser (Gesamthärte 14,6°d, Carbonathärte 17°d). Hohe Tritiumgehalte wurden unabhängig von der Brunnentiefe nur im Einzugsgebiet festgestellt, nicht aber im Südwesten, wo unter Lias-Bedeckung das Grundwasser gespannt ist.

Die ^{14}C-Alter der Proben 48 und 50 passen trotz ihrer Sulfatgehalte von 441 bzw. 629 mg/l in das Hydroisochronenbild, so daß man in diesem Gebiet keine Beziehung zwischen Sulfatgehalt und ^{14}C-Alter vermuten möchte. Ähnlich wie im Bereich Hiddenhausen wird angenommen, daß die Lösungsvorgänge von Gips an der Basis des Aquifers noch nicht abgeschlossen sind. Interessanterweise deuten die $\delta^{34}S$-Bestimmungen auch wieder auf Zechstein-Sulfate hin (Michel & Nielsen 1977). Sollte hier eine Gesetzmäßigkeit zu suchen sein?

Die $\delta^{13}C$-Werte liegen im Normalbereich. Sie spiegeln eine schwache, aber nicht sicher erwiesene Altersabhängigkeit wider. Ausgenommen davon ist die Probe 51 (Tabelle 1), die als Mischwasser eine Sonderstellung einnimmt.

Im mittleren Bereich stammen die drei untersuchten Grundwässer aus dem Oberen Muschelkalk und dem Unteren Keuper (Tabelle 1: Nr. 52, 53, 54), und zwar aus zwei Quellen und einer 152 m tiefen Bohrung. Trotz der unterschiedlichen Herkunft ist das Alter etwa gleich und die Tritiumgehalte hoch. Dies sagt dem Hydrogeologen, daß es sich um ein klüftiges Aquifersystem handelt, bei dem die Fließwege relativ kurz und die Fließgeschwindigkeiten entsprechend groß sind. Ein hydraulischer Zusammenhang zwischen den Quellen und dem Tiefbrunnen kann somit trotz der mächtigen pleistozänen Überdeckung nicht völlig ausgeschlossen werden.

Die drei Proben aus dem östlichen Bereich der Lemgoer Mark (Tabelle 1: Nr. 55 bis 57) sind Keuper-Wässer. Bei der Probe Waldfrieden aus einer großen Kluft in 200 m Tiefe handelt es sich um ein Mischwasesr mit einem Modellalter von rd. 16 000 Jahren vor heute. Wegen der unterschiedlichen $\delta^{13}C$-Werte werden die beiden anderen Proben trotz vergleichbarer ^{14}C-Alter nicht gleichen Ursprungs sein. Dies könnte sich aus der unterschiedlichen Nutzungsdauer der Brunnen erklären. Das jüngste Wasser stammt aus einem etwa 20 Jahre alten Brunnen, das älteste aus einem neu gebohrten Brunnen (Probe 57). Fazit: Mit so wenigen Isotopendaten ist keine weitergehende hydrogeologische Aussage über das Aquifersystem Lemgoer Mark möglich.

5. Konsequenz

Die kombinierte Anwendung verschiedener Isotopenmethoden in einem hydrogeologisch komplexen Gebiet war ein Versuch und ließ keine Wunder erwarten. Das Auftreten von Kohlensäure postvulkanischer Herkunft sowie das Neben- und Miteinander von Grund- und Mineralwasser unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung und Konzentration wirkte sich erschwerend auf die Interpretation der Ergebnisse aus. Trotzdem sind wir mit den Ergebnissen zufrieden.

Das sporadische Auftreten von Sulfatwasser hängt mit tiefreichender Zerklüftung zusammen. Das beste Beispiel ist die Erdfall-Quelle Seebruch. Ähnlich scheinen die Verhältnisse im Begatal und Teilbereichen von Hiddenhausen zu sein. In allen drei Fällen sind Zechstein-Evaporite im Spiel und nicht Keuper-Gipse.

Die in den Solen gelösten Sulfate stammen aus dem Zechstein. So können Beeinträchtigungen der Solen von Bad Oeynhausen durch die artesischen Sulfatwässer von Löhne und von Bad Oeynhausen ausgeschlossen werden. Das Einzugsgebiet des Süßwassers, durch welches die Tiefensole verdünnt wird, liegt sehr wahrscheinlich im Süden im Zuflußgebiet von Seebruch und Vlotho.

Das Wüstener Süßwasservorkommen funktioniert wie eine unterirdische Talsperre. Dies wurde aus hydrogeologischen Beobachtungen geschlossen und durch Isotopenuntersuchungen bestätigt. Das Einzugsgebiet des Aquifersystems von Wüsten erstreckt sich in südöstlicher Richtung bis in die Gegend von Talle. Und nördlich davon beginnt – auch durch die Isotopenergebnisse bestätigt – das mutmaßliche Einzugsgebiet von Seebruch, Vlotho und Bad Oeynhausen (Abb. 9).

Der Raum Lemgoer Mark schließt sich südlich an. Hier lag bisher keine klare Fragestellung vor, und der Einsatz der Isotopen brachte keine ausdeutbaren Resultate.

Die Frage nach einer möglichen Verbindung zwischen der Bad Oeynhausener und der Bad Salzuflener Sole konnte wegen der hohen Kohlensäuregehalte dieser Solen nicht beantwortet werden. Wir versprechen uns von Isotopenanalysen an mineralisierten Grundwässern aus dem Zentrum des Aquifersystems bei Vlotho neue Informationen, weil dort der Mineralwasserleiter zutage tritt und solche hohen Kohlensäuregehalte nicht vorhanden sind. Eine 1975 errichtete 50 m tiefe Mineralwassermeßstelle (Tabelle 1: Nr. 38 a) bietet sich an, gesicherte hydrochemische und hydrodynamische Daten zu liefern, die die Voraussetzung für ein neues hydrogeologisches Denkmodell auch unter Einbeziehung der Isotopendaten sind.

6. Schriftenverzeichnis

ANDRES, G., & GEYH, M. A. (1970): Untersuchungen über den Grundwassergehalt im überdeckten Sandsteinkeuper mit Hilfe von ^{14}C- und ^{3}H-Wasseranalysen. – Die Wasserwirtschaft, **8**: 259–263, 2 Abb.; Stuttgart.

BERGMANN, H. (1971): Hydromechanische Fragen zur Interpretation von Tracermessungen. – GSF-Bericht, **R 36:** 29 S., 13 Abb.; München (Ges. f. Strahlen- u. Umweltforsch. mbH).

BOIGK, H. (1968): Gedanken zur Entwicklung des Niedersächsischen Tektogens. – Geol. Jb., **85:** 861–900, 11 Abb., 1 Taf.; Hannover.

CRAIG, H. (1957): Isotopic standards of carbon and oxygen and correction factors for mass-spektrometric analysis of carbondioxide. – Geochim. et Cosmochim. Acta, **12**: 133–149, 6 Tab.; London.

DEUTLOFF, O. (1967): Die Hydrogeologie des nordwestlichen Weserberglandes in der Umgebung von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen. – Diss. Univ. Bonn: 161 S., 33 Abb., 12 Tab., 12 Anl.; Bonn.

– (1974): Die Hydrogeologie des nordwestlichen Weserberglandes in der Umgebung von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20**: 111–194, 12 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

DEUTLOFF, O., & HAGELSKAMP, H., & MICHEL, G. (1974): Über die Erdfall-Quelle von Bad Seebruch in Vlotho, Ostwestfalen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20**: 27–46, 6 Abb., 1 Tab.; Krefeld. – [Vorausdr. 1973]

DEUTLOFF, O., & KARRENBERG, H. (1969): Zum Wasserhaushalt der Mineralwässer im Raum Bad Salzuflen – Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **16**: 577–594, 4 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

DEUTLOFF, O., & MICHEL, G. (1974): Wüsten bei Bad Salzuflen – ein hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich bemerkenswertes Grundwasservorkommen in Ostwestfalen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **20**: 47–66, 3 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

DROST, W., & MOSER, H., & NEUMAIER, R., & RAUERT, W. (1974): Isotopenmethoden in der Grundwasserkunde. – Eurisotop Office Information Booklet, **61,** Ser. Monographs, **16:** 176 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Brüssel.

FRICKE, K. (1968): Zur Entstehung von CO_2-Gas-Lagerstätten. – XXIII. internat. Geol. Congr., **17:** 205–212, 2 Abb.; Prag.

FRICKE, K., & MICHEL G. (1967): Das Mineralwasservorkommen des Steinbronns in Löhne, Krs. Herford – ein Beispiel für ein genutztes Calcium-Sulfat-Wasser. – Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **18:** 407–412, 6 Abb.; Berlin.

GEYH, M. A. (1971): Die Anwendung der ^{14}C-Methode. – Clausthaler tekton. H., **11**: 118 S., 12 Abb.; Clausthal-Zellerfeld.

– (1972): Basic Studies in Hydrology and ^{14}C and ^{3}H Measurements. – Rep. 24. internat. Geol. Congr. Montreal 1972, Sect. **11:** 227–234, 6 Abb., 1 Tab.; Montreal/Canada.

– (1974): Erfahrungen mit der ^{14}C- und ^{3}H-Methode in der angewandten Hydrogeologie. – Oesterreich. Wasserwirtschaft, **26**: 49–54, 4 Abb.; Wien.

JOB, C., & ZÖTL, J. (1969): Zur Frage der Herkunft des Gasteiner Thermalwassers. – Steir. Beitr., **21**: 51–115, 19 Abb., 11 Tab.; Graz.

MESTWERDT, A. (1915): Die geologischen Verhältnisse der Heilquellen von Bad Oeynhausen. – Verh. naturhist. Ver. preuß. Rheinld. u. Westf., **72**: 97–117, 3 Abb.; Bonn.

– (1919): Die Bäder Oeynhausen und Salzuflen. – Jb. preuß. geol. L.-Anst., **37** (2): 64–131, 7 Abb., 2 Taf.; Berlin. – [Vorausdr. 1917]

MICHEL, G. (1969): Grundwasser für das Wasserwerk des Amtes Herford-Hiddenhausen – Beitrag zur Hydrologie Ostwestfalens. – Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, **20**: 43–54, 5 Abb.; Köln.

– (1973) Moderne Methoden in der Balneo-Geologie. – Z. angew. Bäder- u. Klimaheilkde., **20:** 342–357, 3 Abb., 4 Tab.; Stuttgart.

– (1977): Das Solevorkommen von Bad Oeynhausen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 1–39, 13 Abb., 5 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

MICHEL, G., & MODEL, J. (1975): Hydrogeologische Untersuchungsprogramme für die Sicherung der zukünftigen Wasserversorgung des Kreises Lippe und der angrenzenden Gebiete. – Brunnenbau, Bau von Wasserwerken, Rohrleitungsbau, **26**: 206–210, 2 Abb., 3 Tab.; Köln.

MICHEL, G., & NIELSEN, H. (1977): Schwefel-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten ostwestfälischer Mineralwässer. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **26:** 185–227, 16 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

MILDE, G., & FRÖHLICH, K., & KLINGER, C. (1970): Ergebnisse und praktische Folgerungen physikalischer Altersbestimmungen an Grundwässern. – Z. angew. Geol., **16:** 35–40, 7 Abb., 4 Tab.; Berlin.

MÜNNICH, K. O. (1957): Messung des ^{14}C-Gehaltes von hartem Grundwasser. – Naturwissenschaften, **44**: 32–33, 1 Tab.; Heidelberg.

– (1968): Isotopendatierung von Grundwasser. – Naturwissenschaften, **55:** 158–163, 4 Abb.; Heidelberg.

NAUMANN, E. (1922): Erläuterungen zu Blatt 3819 Vlotho. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Ländern 1 : 25 000: 54 S.; Berlin.

NIELSEN, H. (1972): Sulphur isotopes and the formation of evaporite deposits. – In: Geology of saline deposits. – Proceed. Hanover Symp. **1968:** 91–102, 13 Abb.; Paris (UNESCO). – [Earth sci., **7**]

RAUERT, W. (1971): Über Messungen von Tritium und Kohlenstoff-14 bei hydrologischen Untersuchungen. – Geologica Bavaria, **64:** 36–74, 11 Abb.; München.

ROHDE, P. (1963): Das Störungsfeld der Pyrmonter Achse im Nordteil des Lippischen Berglandes. – Diss. Univ. Münster: 133 S., 107 Abb., 1 Anl.; Münster. – [Unveröff.]

VOGEL, J. C., & EHHALT, D. (1963): The use of the carbon isotopes in groundwater studies. – In: Radioisotopes in Hydrology: 383–395; Wien (JAEA).

Eingang des Manuskriptes: 18. 5. 1976

Personen- und Autorenregister

Alfter, J. A. L. 15
Alisch 7
Althans, C. F. 13, 32
Andres, G. 232, 249
Anger, H. 52

Baehr, P. 7, 14, 15
Bässler, R. 187, 201, 218, 219
Bartenstein, H. 83, 88
Beck, H. 48
Becker, L. 209
Bergengruen, W. 6
Berglar, P. 33
Bergmann, H. 233
Berner, R. 118
Bielke, J. G. 34
Bischof 33
Bischof, G. 9, 28
Blake 84
Bode, H. 200
Boigk, H. 118, 235
Bovet 4
Braitsch, O. 113, 118
Brand, E. 83, 88
Brandes 21
Brinkmann, O. 10, 15
Broermann, W. 52
Brongniart, A. 32, 47
Buch, L. von 2, 11, 32
Büchner, M. 92–94, 112
Bülow, H., Graf von 28, 32
Burre, O. 82, 86, 88
Busse 4

Carlé, W. 181, 218
Cordier, P. L. A. 32, 47
Craig, H. 233
Cropper, W. H. 116

Dahm, H.-D. 65
Dechen, E. H. K. von 2, 11, 36
Deutloff, O. 19, 29–31, 49, 50, 81, 114, 115, 127, 129, 136, 211, 214, 216, 231, 234, 235, 240, 243
Dienemann, W. 20, 21, 23, 25, 27–29, 77, 86, 93, 127, 205, 212–215, 218
Dietz, C. 34
Diez, S. F. 48
Dole, A. W. 2, 33, 47, 52, 64, 127, 146
Dolomieu 32
Draxler, J. 52, 67, 170
Drexler, E. 83, 86
Drost, W. 232
Duchrow, H. 76–79, 90, 94, 96

Eckermann, J. P. 47, 48
Ehhalt, D. 232, 234, 242
Emery, K. O. 181

Fabian, H.-J. 211
Figgen, W. 2, 20
Finkener, R. 21, 22
Fischer, U. 52
Frebold, G. 29
Fresenius, W. 26, 176
Freytag, A. 15, 21, 27, 33
Fricke 7
Fricke, K. 5, 17, 20–23, 25, 27–29, 49, 81, 117, 127, 134, 136, 140, 169, 180, 200–205, 208, 212, 213, 215, 216, 218, 232, 243
Friedrich Wilhelm IV. 2, 4, 6, 32
Fröhlich, K. 233
Füchtbauer, H. 115, 117, 120
Funk, F. E. Th. 7, 8, 32
Funte 13

Genser, C. 35
Gerhard 11
Geyh, M. A. 30, 49, 50, 61, 143, 201, 211, 213, 215–217, 229–252
Goethe, J. W. von 47
Gollwitzer-Meier, K. 33
Graeff 15, 37
Grünhagen, H. 56, 65, 72, 74
Grupe, O. 92, 113

Haack, W. 93
Haan, H. de 33
Hagelskamp, H. 49, 50, 114, 115, 208, 214, 243
Harrassowitz, H. 18, 26, 27
Haüy, R. J. 35
Hein, H. 52, 146
Hem, J. D. 116
Hertlein, J. 52, 65
Heyl, K. E. 187

Hinüber, H. von 33
Höll, K. 18, 20–23, 25–28, 118, 130, 141, 166, 178
Hoffmann, Fr. 3, 10–13, 21, 32, 33
Holser, W. T. 189
Hoppe, W. 181
Humboldt, A., Freiherr von 2, 3, 13, 21, 26, 32, 33, 45–48, 110
Humboldt, W., Freiherr von 33, 47

Jerome 32
Job, C. 233
Jones 84
Jordan, A. 16, 23, 25, 33, 40, 181
Jubitz, K. B. 93
Junk, H. 52, 67

Kampe, R. 138, 139, 151, 160, 161
Kaplan, J. R. 189
Karrenberg, H. 30, 31, 50, 136, 231
Karsten, C. J. B. 2, 11, 33
Keller, G. 218
Kessler, H. 152, 153
Kindermann 14
Klinger, C. 233
Klingler, W. 83, 88
Klostermann, J. 78
Kluth, R. 100
Knauff, W. 20, 26, 56, 63–65, 67, 81–88
Köhler, H. 20, 29, 81, 134
Köhnen, L. 21, 33, 34
Koenen, A. von 34
Kronheim, W. 33
Kühl, K. W. 79, 90, 92, 94–96, 102, 107
Kühling 6

Langguth, H. R. 16, 30, 54, 55, 58, 115, 145–183
Lebküchner, H. 218
Lee, G. F. 116, 117
Leichtle, Th. 22, 26, 49, 55, 58, 59, 64, 125–163, 166, 167, 176
Lenné, P. J. 4, 34
Liesenhoff, A. 4, 7, 10, 11, 13, 21, 27, 34, 47

Malzahn, E. 211
Massow, V. von 34
Matthess, G. 174, 181
Mertens, R. 47
Mestwerdt, A. 2, 16, 21, 22, 27, 29, 34, 52, 73, 76, 117, 127, 217, 220, 231
Meyer 7
Meyer 13, 14
Meyer-Aibich, A. 33
Michel, G. 1–43, 45–80, 81, 89, 90, 110, 114, 115, 131, 140–143, 153, 157, 159, 165–252
Miegel, A. 6
Milde, G. 233
Model, J. 33, 248
Moeller, Fr. W. von 14, 21
Monster, J. 189, 212
Morsbach, A. 2, 10, 11, 14, 15, 22, 27, 33, 34, 40
Münnich, K. O. 232, 234

Naumann, E. 100, 127, 243
Nave, G. 34
Neev, D. 181
Neuweiler, F. 83, 88
Nielsen, H. 30, 34, 49, 50, 60, 114, 181, 185–227, 234, 236, 238, 243, 246, 248, 249

Oeynhausen, C. L. A., Freiherr von 1–4, 6, 11–14, 21, 23, 32, 33, 34, 40, 45–47
Oeynhausen, F., Freiherr von 11, 40
Oppitz, U.-D. 46, 47
Ottensmeyer 14

Paterak, N. 52, 65
Peitmeyer 14
Pfeiffer, D. 218
Pörtner, R. 6
Poggendorf, J. C. 32
Pouchan, P. 181
Prinz, E. 138, 139, 151, 161
Puchelt, H. 187, 214, 215

Quinders, Th. 6, 16, 52, 127, 146

Rabitz, A. 200
Rambow, D. 187, 200
Ramdohr, P. 114
Rappard, A. 34
Rappard, F. 34
Rappard, H. W. 34
Rappard, J. B. 34
Rappard, K. G. 34
Rauert, W. 232
Rohde, P. 235, 248
Ricke, W. 191
Rosenfeld, U. 78
Rütten, E. 34

Sail, Ch. von 6
Saint-Fond, Faujas de 32
Sander, A. 26, 52, 56, 63–65, 69, 70, 78, 79, 89–108
Savelli, C. 201
Schaefer, H. 35, 160
Schellmann, W. 118
Scherp, A. 26, 56, 63–65, 73, 109–123, 175, 213
Schickor, G. 79, 93
Schinkel, K. F. 6
Schmid, H. O. 5, 22, 33, 34, 40

Schneider, W. 115, 116, 176
Schoeller, H. 181
Schrammen 5
Schwartz, U. 49, 51, 59, 60, 160–163
Schweissfurth, R. 116
Schwertmann, U. 118
Semmler, W. 200
Seraphim, Th. 92–94, 112
Sievering, H. 52
Stadler, G. 117
Straaten, L. M. J. U. von 117
Stumm, W. 116, 117

Tate 88
Terquem 88
Thiemann, K. V. 116
Thiermann, A. 79, 93, 94, 221
Thode, H. G. 189, 212
Tilkemeyer 14
Trupin, G. 138
Tyedmers, L. 4, 9, 11, 13, 14, 16, 20–23, 29, 34, 39, 49, 81, 134

Vogel, J. C. 232, 234, 242

Wallhäuser, K. H. 214
Wedepohl, K. H. 201
Weiss, Chr. S. 11, 35
Wendt, W. 33
Werner, H. 65, 74, 90, 115, 130, 166, 200, 237
Wevelmeyer, W. 202
Wiemers, F. 10, 34
Wilhelm I. 22, 32, 35
Wittekind (Widukind) 26, 35
Witting, E. 21
Wolburg, J. 78, 79, 93, 102, 103, 211
Wright, T. L. 111, 113

Zittel, A. 33, 47
Zötl, J. 233

Sach- und Ortsregister

Absenkungstrichter 182
Abstandsgeschwindigkeit 233, 240, 247, 249
–, mittlere 233
Achse, Bad Driburger 203
Albit 74–76, 110, 111, 113
–, Tieftemperatur- 72, 111, 113
Alexander-von-Humboldt-Sprudel (Bohrung B 1, Bohrung VII, Solebohrung VII, Sole-Erschließungsbohrung, Thermalsolebohrung, Thermalsprudel VII, Tiefbohrung VII) 2, 5, 17, 26, 29, 30, 32, 45, 47, 59, 60, 63–66, 73, 77, 78, 81–83, 85, 89–93, 100, 101, 103, 107, 109, 114, 115, 125, 127, 131, 134, 135, 140, 145, 146, 148, 149, 151, 161, 163, 165, 166, 169, 172, 174, 177, 191, 196, 211, 212, 231, 244
Alkalien 205, 216
Allocheme 76
Altendonop 106
Anhydrit 71, 72, 76, 78, 100, 101, 107, 109–118, 175, 187–190, 212, 213
– -anteil 70, 100, 113, 118
– -einschaltung 76, 78, 113
– -Eisenglanzvererzung 56, 109, 112, 114–117, 119–121
– -Steinsalz-Folge 211
Ankerit 115, 119
– -Dolomit 111
Aquiclude 207
Aquifer 127, 128, 134, 135, 140, 150, 170, 174, 182, 192, 194, 196, 198, 201–208, 213, 216, 217, 221, 231, 232, 234, 235, 237, 238, 242, 244, 247–249
– -gestein 234
– -horizont 151, 182
–, Poren- 240
– -system 229, 238, 240–242, 249, 250
– – Lemgoer Mark 249
– – Vlotho 250
– – Wüsten 250
Araldit 73
Arbeitsgemeinschaft für naturwissenschaftliche und technische Grundlagen der Balneologie 35
Archiv Staatsbad Oeynhausen 142
Arnhölter 104
Arsengehalt 177
Artese 192, 194, 196, 198
Aschen 198, 216
Ascher Berg 104
Asemissen 105
Aufwölbung, Bad Driburger 205
Auslauf
– -höhe 160
– -menge 148
Auslaugung 30
Austausch-Wasser 229, 249

Bad Driburg 185, 186, 203–205, 208, 223
– Essen 185, 186, 198, 218, 220
– Hermannsborn 203, 204, 208, 221
– Laer 192, 201
– Lippspringe 192, 201, 202
– Meinberg s. Horn-Bad Meinberg
– Münder 220
– Nenndorf 220
– Oeynhausen 1–7, 10, 15–18, 22–24, 28–30, 32, 45–52, 60, 63, 64, 66, 73, 81, 83, 85, 89, 92, 100–103, 107, 110, 125–127, 129, 130, 134, 135, 140–143, 145, 146, 153, 159, 165–167, 169, 178, 181, 185, 186, 191, 196, 198, 211–213, 216, 221, 229, 231, 234–236, 240, 242–244, 246–250
– Pyrmont 29
– Rothenfelde 201
– Salzuflen 21, 29, 49, 65, 81, 185, 186, 196, 207, 209–212, 216, 221, 229, 231, 234–236, 240, 242, 243, 248, 250
– – -Schötmar 248
– Sassendorf 192, 202
– Waldliesborn 192, 202
– Westernkotten 192, 202
Balneologisches Institut, Bad Oeynhausen 5
Barbara, Sole-Bergwerksfeld 192, 205
Basal
– -konglomerat 93
– -quarzit 79, 97
– – -bank 93, 98
– – -Gruppe 69
Bega-Senke 217
– -tal 102, 209, 221, 248, 250
Belgien 47
Bellen-Berg 208, 223
Beller Horizont 95, 97, 99, 101
Bennien 104
Bennier Wald 104
Berenkämpen 99, 105

Bicarbonat 116, 232, 234, 239
– des Grundwassers 241
– -führung der Sole 109
– -gehalt 233
Bielefeld 194, 206, 207, 211, 217, 223
Billerbeck 194, 208
Billinghausen 194, 207
Biographische Notizen 32–35
Bioturbation 111
Bittersalz 10
Blattverschiebung 235
Blomberg 78, 102, 106, 194, 209
Bohrloch in Schulzens Wiese 7, 8
– -messungen 73, 100–102
– –, geophysikalische 52, 65, 66, 90, 101, 102, 145, 170
Bohrung 9/73 (Lieme) 196, 211
– 1/74 (Vahlhausen) 194
– 2/74 (Vahlhausen) 194
– 1/75 (Wiembeck) 194, 209
– 14 (Bad Sassendorf) 202
– 1957 (Voßheide) 194, 209
– 1975 (Voßheide) 194, 209
– Alexander-von-Humboldt-Sprudel s. Alexander-von-Humboldt-Sprudel
– Bad Meinberg 78
– Bielefeld 1 211
– Bohrloch II (Bad Oeynhausen) 93, 100
– Burwelle (Ehrsen-Breden) 196, 210
– D 8 (Kleinenmarpe) 194
– Falkenhagen 1/73 90, 103
– Falscheide (Löhne) 198, 217
– Flachsiek (Brunnen Flachsiek) 49, 50, 130, 142, 143, 242, 244, 245
– Geiseberg (Löhne) 198, 216
– Grenelle 3
– Hellsiek 6 (Mosebeck) 194, 209
– Hücker Moor (Hücker-Aschen) 217
– Kaiser-Wilhelm-Sprudel s. Kaiser-Wilhelm-Sprudel
– Kalldorf 1 211
– Köller 2 (Niederschönhagen) 194
– Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle s. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
– Lemgo-Waldfrieden 90
– Lieme 1 211
– Mondorf 3
– N (Blomberg) 194, 209
– Neusalzwerk 3
– Niedernmühle 3/73 (Kalldorf) 198
– Poten 249
– Quentsiek (Retzen) 196
– Sassenholz (Retzen) 196, 209, 249
– Silvaticum (Bad Meinberg) 194, 208
–, Sole- 1975 (Bad Essen) 198, 220
– Twelsiek (Löhne) 198
–, Untersuchungs- 8/74 (Detmold) 207
– Vogelhorst 1, 2 (Lemgo) 196
– Waldfrieden 100, 103
– Westernkottener Warte (Bad Westernkotten) 202
Bonneberg 97, 99, 104
Borgentreich 194, 206
Borgentreicher Keuper-Mulde 185, 203, 206
Borgholz 194, 206
Borlefzen 104
Bornsiekbach-Tal 103
Brakel 203
Brakeler Muschelkalk-Schwelle 203
Bremen 10
Brom 10
Bromid-Ionen 177
Brüntrup 106
Brunnen I Wasserwerk Begatal (Grastrup) 196, 210
– 1 (Billinghausen) 194, 207
– 1 (Leopoldstal) 194, 208
– 1 Wasserwerk Borgentreich 194, 206
– 1 Wasserwerk Löhne 198, 217
– II Schwefelbad Meyerhof (Levern) 198, 219
– 2 (Diestelbruch) 194, 209
– 2 (Levern) 198
– 3 (Diestelbruch) 194, 209
– 3 Wasserwerk Vlotho 245
– 4 (Feldmühle) 194
– 4 Wasserwerk Löhne 198, 217
– 8 Wasserwerk Hiddenhausen 238
– 9 Wasserwerk Hiddenhausen 198, 217, 238
– 10 Wasserwerk Hiddenhausen 238
–, Alt- 4 (Bad Meinberg) 194, 208, 209
–, Alt- 5 (Bad Meinberg) 208
– am Krankenhaus (Bad Oeynhausen) 127, 130, 131, 198, 216
–, Bertelsmann & Niemann- 2 (Bielefeld) 194
–, Bethesda- (Ravensberg) 192, 201
– Billerbeck 194, 208
– Borgholz 194, 206
– Bühne 194, 206
–, Bülow- 4, 7–9, 17, 28, 130, 131, 141, 169
–, – II s. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
–, – Neuer s. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
– Flachsiek s. Bohrung Flachsiek
–, Friedrich-Wilhelm- (Bad Oeynhausen) 4, 7, 8, 130
–, Gesundheits- (Bad Hüsede) 198, 218
– H II (Wüsten) 241
– Hibbel (Kleinenberg) 192, 205
– Hücker-Aschen 198, 217
– Lichtensberg 247
–, Loose- (Bad Salzuflen) 196, 212
–, Massow'scher- 3, 7
–, Meth- (Schmechten) 192, 205
– Natingen 194, 206
–, Neu- (Bad Meinberg) 194, 208, 209
–, Nikolaus- (Nieheim) 192, 205

–, Rappards- (Bad Oeynhausen) 4, 7, 8, 131
– Rethemeier (Bad Oeynhausen) 130
– Steinbründorf 247
– Stodiek (Löhne) 198, 217
–, Weihnachts- (Bielefeld) 194, 207
–, Weißenborn- 2 (Bad Driburg) 192
– Westorf 247
–, Wittekind- 17, 18, 26, 29, 33, 126, 127, 130–132, 135, 141, 142, 169, 196, 213, 245
Bruns-Berg 105
Bühne 194, 206
Bünde 222, 238
Buhn-Berg 104
Buner Berg 106
Buntsandstein 45, 56, 63–65, 109, 110, 115, 117, 149, 203, 205, 221, 231, 244
– -Becken, norddeutsches 115, 117
– -Formation 110
–, Mittlerer 1, 23, 25, 26, 31, 35, 45, 65, 72, 110, 111, 115, 166, 185, 203, 205, 212, 213, 242, 244
–, Oberer 25, 63, 65, 110, 187, 189
–, Unterer 73, 109–113, 115–117, 211, 213

Cäsium 177
Calcit 71–76, 109–113, 115
– -gehalt 76
Calcium 171, 176
– -Chlorid-Quelle 18, 27
– – -Wasser 213
– -gehalt 174
– -Hydrogencarbonat-Therme 200
– -Ionen 176, 213
– -Magnesium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Säuerling 186
– -Natrium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Säuerling 205
– -Sulfat 109, 115, 117, 118, 180, 181, 189
– – -Wasser 48, 49, 214, 243
– – –, artesisch gespanntes 243
Caprock 213
Carbonat 76, 116
– -aggregat 113
– -bestimmung 90
– -gehalt 65, 71, 73–77, 79, 92
– -gestein 73–76
– -verkarstung 206
Ceratiten-Schichten 76, 240
Chemische Analyse der Sole des Alexander-von-Humboldt-Sprudel 114
Chlorid 115, 116, 159, 169, 171, 176, 205, 208, 216, 219
– -gehalt 60, 115, 131, 134–138, 142, 148–150, 153, 157–159, 171, 187, 207, 215–217, 240, 243
– -Ionen 176
– -Sulfat-Wasser 229
– -wasser 231, 248
Chlorit 72, 74, 75, 111, 115
Chlorkalk 10
Chronik, Bad Oeynhausener 14
Coctur-Hof 3
– -kanal 3
confined aquifers 232
connate-water 187, 201, 203, 221

Danaide 60, 125, 136, 138–141
Deckgebirge, Oberkreide- 202
Dehmke 105
Desulfovibrionen 214, 215, 219
Detmold 85, 90, 194, 206, 207
Detritus 76
Deutscher Bäderkalender 6
– Bädertag 5
– Bäderverband 2, 35, 177
– Fremdenverkehrsverband 177
Deutsches Bäderbuch 21, 22, 27
Diabantit 113
Dickspülung 167
Diestelbruch 194, 209
Do-Berg 238
Dohlenberg 106
– -Bank 95, 97, 99, 101–103
Dolomit 71, 73–76, 113
– -gestein 212
– -mergelstein 79
– -stein 71, 74, 76, 92
Dolosparit 74
Doppelpackerversuch 152
Doppelrohrversuch 145, 146, 152–154, 157–160, 167, 168, 170, 175, 177, 178, 181
Drei-Interferenzen-Methode 111
Druckmessungen, piezometrische 59
Drusen 117
– -füllung 71
Düingdorf 103
Düing-Berg 103
Düsedieksbach 217
Dützen 218, 219

Egge 185, 201–203, 205, 221
Ehrsen-Breden 196, 210
Eich-Berg 105
Eielstedt 218
Einsturzbrekzien 90, 92, 96, 100
Eisen 56, 109, 113–118, 177, 191
– -gehalt 209
– -glanz 109, 112, 113, 116, 213
– –, Anhydrit- 109, 111
– – -führung 111
– – -kristall 72, 73, 109, 112, 113, 117, 118
– – -vererzung 109–111, 113, 117
– – –, Anhydrit- s. Anhydrit
– -Magnesium-Chlorit 113
– -sulfid 219

Eiszeit 249
Electriclog (ES) 67
Ellerburg-Aufwölbung 219
– -Sattel 218
Elmsbrink 103
Enger 103
England 11
Entleerungsfunktion 151
Entrup 235, 248
Erdfall 231, 243, 246
– -aktivität 61, 232
– Drewel'sche Wiese 50
– Hücker Moor 217
– „Moortrichter" 49, 50, 243, 246
– -quelle Seebruch 48, 49, 51, 114, 191, 196, 213–215, 229, 231, 245, 250
Erdgas 244
Ergiebigkeit 15, 20–23, 25, 26, 28, 49, 55, 58, 60, 145, 148, 149, 152–154, 156, 159–163, 202, 208, 231
–, Anfangs- 148
Ergiebigkeits
– -erhöhung 151
– -funktion 145
– -kurve 148
– -linie 58, 160, 161, 163
– -messungen 55, 145, 150, 151, 157, 160, 166
– -schwankungen 150
– -versuch 146
Evaporit 185, 187–189, 220, 235
– -becken 187
– -formation 187–189, 220
– -sulfat 188, 218, 234
– -vorkommen 190
Evasion 151
Expotentialkurve 152
Expropriations-Verfahren (Enteignungs-Verfahren) 14
Exter 104
Extertal 93, 105
– -Straße 105

Fahrenplatz (Extertal) 105
Falkenhagen 103
Falkenhagener Graben 205
Fauna 56, 83–85
Fazieswechsel, vertikaler 101
Feldspat 111
– -gehalt 72, 110
Fiestel 198, 219
Fischbeck 104
Flachbrunnen 131
Fließgeschwindigkeit 58, 162, 163
Flowmeter-Messung 148, 149, 170
Fluorid 116
– -Ionen 177
Foraminiferen 83–85
Forellenbachtal 242
– -Störung 243
Formationstestversuch 152
Forsthaus Dobbelstein 93
Fraktionierungseffekt 234
Frankreich 47

Galizien 47
Gamma-Ray-Log (GRL) 67, 71, 101, 170
– -strahlungsintensität 101
Gaslift 160, 176
Gebirgsbildung, jungkimmerische 235
Geiseberg-Abbruch 217, 235, 242, 243
Geochemisches Institut Göttingen 115
Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25 000 (GK 25)
– Blatt 3817 Herford-West 81
– Blatt 3718 Oeynhausen 81
Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 50, 52, 56, 65, 74, 82, 83, 90, 115, 130, 140, 166, 189, 191, 237
Gerden 103
Gesetz über Aufbau und Befugnisse der Ordnungsbehörden (Ordnungsbehördengesetz – OBG –) 29
Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG –) 29
Gesteinsfragmente 73–76
Gips 11, 45, 48, 70–73, 78, 100–102, 110, 117, 169, 182, 187–191, 204, 208, 212, 213, 217, 218, 233, 238, 249
– -abscheidung 92, 93, 182
– -anteil 70, 99, 100
– -einlagerung 93, 99
– -einschaltung 93, 99
– -gehalt 70
– -grenz-Lagen 101
– -Inkrustation 2, 17, 22, 49
– -keuper 56, 71, 78, 187, 206, 212, 218
– –, Unterer 25
– -kristall 17, 18, 25, 49, 70, 72, 191, 212
– – -rasen 182
– -kruste 56
– -residuen 92–94
– – -knollen 92
– – -lagen 90, 92, 99, 100, 107
Glaubersalz 10
Gleichgewicht, isotopisches 234
Glimmersandstein 69
Graben, Bad Meinberger 208, 209, 222
Grastrup 210
Grenzdruck 151, 160
Groß Aschen 104
Große Egge 105
Großenmarpe 106
Großer Seel-Berg 105
Grubenwasser 187

Grundwasser 50, 127, 128, 142, 186–189, 191, 203, 204, 206–210, 216, 217, 221, 231–234, 236, 238–241, 243–245, 247, 249, 250
– -absenkung 18
– -alter 246, 247, 249
– – ^{14}C, ^{3}H, $\delta^{34}S$, $\delta^{13}C$ 229–249
– -analyse 246
–, artesisches 241
–, – -gespanntes 240
– -bereich 128
– -bohrung 78
–, -Chemismus 214, 233, 238, 249
– -fließrichtung 240, 243
–, gespanntes 232, 249
– -haushalt 232
–, holozänes 232, 244
–, interstadiales 232, 244
–, Kluft- 161
– -leiter 127, 187, 189, 191, 203, 206
– -meßstelle 60, 125–131
–, mineralisiertes 2
– -neubildung 233, 249
–, oberflächennahes 246
– -qualität 238
– -regeneration 233
– -reservoir 239, 242
– -spiegel 127
– -stand 60, 127, 129, 131
– -standsschwankung 129
–, sulfatisches 238
– -typ, hydrochemischer 231
– -vorkommen 187, 191, 232, 240–242, 249
– -zufluß 210
Günnenbuschen 104
Gustav-Horstmann-Thermalsprudel (Thermalsprudel II, Bad Salzuflen) 211, 212
Gut Helpensen 105

Hämatit 72, 111, 118
Hahnen-Berg 105
Halbwertzeit von Radiokohlenstoff 232
– von Tritium 233
Halokinese 238
Hameln 90, 102, 105
Hardehausen 192
Hasperde 220
Hasselburg 106
Haupt
– -dolomit 21, 77, 208
– -lettenkohlensandstein 77
– -sandstein 94
– -sattelachse 217
Hebungszone, saxonische 231
Heidenoldendorf 207
Heilbädergebiet Ostwestfalen 231
Heiliges Feld (Ibbenbüren) 221
Heilquellen 1, 17, 18, 27, 29, 47, 48, 114, 127, 203, 204, 212, 218
– -gebiet 185, 204
– – Ostwestfalens 117
– – von Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen 211–218, 229, 231
– -schutz 28, 242
Heilwasseranalyse 18, 114, 165, 166
–, Große 59, 168, 172, 176
Hellsiek 205
Hemeringen 105
Henkenbrink 106
Herford 90, 93, 104, 107, 109, 238, 240
Herforder Lias-Mulde 248
Herkensen 105
Herste 192, 205
Hessen 187
Hestrup 106
Hettangium 85
–, Oberes 81, 85
–, Unteres 81, 85
Hiddenhausen 198, 216, 217, 222, 229, 232, 235, 237, 238, 243, 249, 250
Hochglazial 232
Höxter 192, 203, 205, 223
Hohenhausen 243
Holozän 233
Holstenhöfen 106
Holtrup 104
Holzhausen 198, 218
Holzminden 90
Horn-Bad Meinberg 78, 90, 93, 185, 186, 194, 207–209, 211, 221–223
– – -Leopoldstal 194, 208, 221
Hornstein 71, 76
Hücker 198, 216
– Moor 217
Hünnicher Mühle 107
Hüsede 198, 218
Humboldt-Geyser 47
Humfeld 106
Hydrogencarbonat 115, 171
– -komponente 201
– -wasser 231, 240, 244, 245
– -wert 237
Hydrogensulfidgehalt 219
hydrogeologische Einheit
– Bad Salzuflen – Lemgo 236
– Hiddenhausen 236–238
– Löhne – Bad Oeynhausen – Vlotho 236, 242, 247
– Wüsten 236, 241, 242
Hydroisochronen 233
– -bild 249

Ibbenbüren 187, 221
Illit 72, 74, 75
Ilsetal-Verwerfung 235
Induction-Electrical-Log (IES) 67

Inkrustation 14, 45, 48, 49, 54–56, 59, 136, 170
Inkrustationsproblem 49, 55, 180
Institut Fresenius GmbH, Taunusstein 23, 26, 59, 115, 116, 131, 165, 166, 168, 176, 177
Intraklasten 76
Ionenaustauschwasser 245
Ionenstärke 174, 180, 181
Isen-Berg 106
Isenberg-Horizont 96
Isotopen 234, 250
– -analyse 214, 232, 245, 250
– -austausch 232, 234, 241
– -chemie 238
– -chemisches Gleichgewicht 244
– -chemische Untersuchungen 240, 244, 246–248
– -daten 249, 250
– -ergebnis 236, 250
– -fraktionierung 188–190, 219, 220
– -fraktionierungsgleichgewicht 212
– -laboratorium des Geochemischen Instituts der Universität Göttingen 191
– -methoden (^{14}C, ^{3}H, $\delta^{13}C$, $\delta^{34}S$) 229, 231, 250
– -untersuchung 50, 214, 237, 242, 250
– -verteilung des Gips-Sulfats 189
– -verteilungswert 214
– -wert 191, 205

Jägerborn 105
Jodid-Ionen 177
Jordan-Sprudel (Bohrung VI, Solebohrung VI, Thermalsprudel VI) 2, 5, 16, 23–25, 37, 38, 49, 50, 59, 60, 77, 79, 127, 135, 136, 140, 142, 169, 182, 196, 212, 244
Jura 83, 85

Kaiser-Wilhelm-Sprudel (Bohrung, Bohrung IV, Solebohrung IV, Thermalsprudel IV, Tiefbohrung IV) 4, 15, 22, 25, 50, 77, 92, 93
Kali
– -feldspat 111
– -Lagerstätte 189
Kalibermessung 101, 102, 136
Kalium 171
– -gehalt 175, 176
– -Ionen 177
Kalk
– -geoden 67
– -gestein 233, 234
– -knoten 90
– -mandeln 92
– -spat 67, 69, 71, 72, 92, 93, 232
– – -kristall 67
– – -mandeln 96
– -sinter 201
– -standart, marin (PDB) 233
– -stein 201, 202, 233
Kalldorf 198
Karlshafen 203
Karst 232
Kationen-Anionen-Bilanz 237
Keuper 11, 45, 50, 56, 63, 64, 107, 110, 205–208, 212–214, 216, 218, 238, 243
– -Abfolge 65, 73
– -Aquifer 208, 209
– -Becken, nordwestdeutsches 102
– -Bruchscholle 205
– -Evaporit 210, 213, 243
– -formation 11
– -Gebiet, lippisches 90, 94, 99, 100, 107
– -Gips 203, 211, 213, 215, 250
–, Gips- s. Gipskeuper
– -Komplex, lippisch-osnabrücker 90
– -Lias-Verbreitung 242
– -Mineralwasser 223
–, Mittlerer 22, 23, 25, 52, 63, 64, 69, 77, 78, 89, 90, 93, 97, 100, 107, 187, 203, 207, 208, 217, 235, 237, 240
–, Oberer 85, 97, 217, 235
– -Scholle 205
– -Senke, westfälisch-lippische 89, 102
–, Steinmergel- s. Steinmergelkeuper
– –, oberer s. Steinmergelkeuper
– –, unterer s. Steinmergelkeuper
– -Sulfat 185, 205, 207, 211, 216, 220, 222
–, Unterer 21, 22, 25, 56, 71, 73, 76, 77, 203, 207, 208, 212, 235, 240, 248, 249
– -Wasser 185, 208, 209, 211, 214, 223, 249
Kies 20, 67, 210
Kirchheide 235
Kirchsiek 11
Kleinenberg 185, 186, 192, 223
Kleinenmarpe 106, 194, 209
Kleiner Seel-Berg 105
Klein Hilligsfeld 105
Kluft
– -aquifer 231, 240, 248
– -fläche 72, 110, 111
– -füllung 69, 71
– -grundwasser 161
– -zone 31
Klüftung 28, 54, 67, 69, 72, 73, 109, 112, 115, 117, 151, 161, 166, 182, 207, 241, 247
Klus-Berg 100
Knauergips 213
Koagulierung 120
Kochsalz 3
Köller-Grund 106
Köln 10
Königliche Saline Oeynhausen 100
Königliches Oberbergamt Dortmund 28
Königsförde 105
Köterberg 107

Kohlen
– -dioxid 59, 177, 218, 234, 241
– –, atmosphärischer 234
– – -bestimmung 73
– – -Gehalt 244
– -säure 13, 31, 45, 60, 116, 117, 203, 204, 220, 232, 233, 250
– –, freie 237, 239
– – -gehalt 50, 250
– –, gelöste 234, 244
– –, magmatische 61, 232, 234, 244
– -stoff, organischer 134
– – -Isotop (^{12}C, ^{14}C) 232, 233
Koh-Mühle 103
Kompaktionswasser des Zechsteins 215
Kreide-Belemnit 233
–, Unter- 118
Kreienberg 107
– -Bank 94, 97, 101
Kreis Herford 14
– Lippe 29
– Minden-Lübbecke 29
Kristallisation von Gips 45, 48, 190
Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle (Bohrung, Bülow-Brunnen II, Neuer Bülow-Brunnen, Neue Solebohrung, Neue Solquelle, Solebohrung, Sole-Erschließungsbohrung) 5, 17, 20, 29, 56, 60, 81, 83, 85, 127, 130, 131, 134, 135, 169, 196, 212
Kursächsische Salinen 10
Kur- und Salinendirektoren in Bad Oeynhausen 33
Kurverwaltung Bad Oeynhausen 50

Laboratorium für Wasseruntersuchungen Hannover 18, 130, 141, 166, 178
Lac Assal 181
Lamellibranchiaten 83, 84
Landesoberbergamt Nordrhein-Westfalen 29
Landeswassergesetz (LWG) s. Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen
Laßbruch 105
Leitfähigkeit 137–139, 141, 153–160, 171, 174–176
–, elektrische 158
Leitfähigkeitsmessungen 138, 148, 155
Leitfähigkeitsschwankungen 139
Lemgo 100, 103, 196, 207–209, 221, 229, 235, 236, 248
– -Leese 248
Lemgoer Mark 229, 248–250
Leopoldstal s. Horn-Bad Meinberg
Lettenkohlen-Schichten, Untere 77
Levern 198, 219
Lias 20, 21, 23, 25, 29, 45, 56, 63, 64, 67, 81, 82, 84, 85, 110, 221, 235, 242
– -Tonstein 26, 28, 29, 131, 213, 245
– -Überdeckung 248, 249
–, Unterer 81, 82, 86, 88
– -Verbreitung 248
Libby'sche Modellvorstellung 232
Lieme 196, 209
Linearwehr 152–154
Linnenbeeke 105
Lippe 10
lippisches Bergland 207
– Keuper-Gebiet 248
Lippstadt 10
Lithium 177
Löhne 198, 211, 216, 217, 229, 235, 236, 242–244, 247, 248, 250
– -Steinsiek 216
Löß 240
Lothringen 11
Lübbecke 218
Lüerdissen 248
Lüstringen 103
Lüstringer Berg 103
Lufthebeverfahren 52, 65

Magnesium 171, 176
– -gehalt 174
– -sulfat 181
Malm 187, 205, 218, 219–221
– -gesteine 221
– -Meer 219
– -Salinar 218
– -Sulfat 185, 218
– -Wert 219, 223
Marienglas 54, 67, 72, 73, 213
Markasit 187
Massenkalk 202
Matrix 72, 111
Medizinaluntersuchungsstelle Bad Oeynhausen 27
Meerwassersulfat 188, 221
Mehlbergen 8, 14
Melle 103, 218
Mergel 79
– -kalkstein 69
– -stein 67, 69, 71, 76, 79, 92, 100
Mesogastropoden 83, 84
Meßstelle Rahlbruch 245
Meßwehr 146, 148, 150
Mexiko 47
Microlaterolog 101, 170
– -Microlog (MLL – ML) 67
Microlog (ML) 101
Mikrit 74–76
Mikro
– -fauna 81–83, 85
– -fossilien 85
– -sparit 74–76
Minden 2, 185, 186, 198, 218–221
Mindener Sole 61

Mineralquelle 2, 32, 33, 134, 161, 230
Mineralwasser 2, 13, 18, 49, 131, 140–143, 145, 157, 166, 169, 177, 178, 182, 185–187, 191, 201, 203, 205, 207, 210, 212–221, 229, 231, 232, 234, 236, 242, 245, 248, 250
– -analyse (s. auch Heilwasser-) 246
–, Bad Oeynhausener 130
– -bereich 216, 242
– -bohrung 1, 2, 244
– -brunnen 217
– -haushalt 127
–, Keuper- 223
–, kohlensäurehaltiges 244
– -leiter 1, 21–23, 26, 28, 203, 212, 242, 250
– -provinz Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen (s. auch Heilquellen-) 29
– -reichtum 29
– -meßstelle Vlotho-Rahlbruch 243
–, sulfatgesättigtes 238, 239
– -typ 18
– -vorkommen 29, 125, 145, 187, 231
–, Zechstein- 222
Mineralisation 131, 217, 231, 246
– der Sole 60
– des Grundwassers 240
Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales 2, 20
– für Finanzen 4
– für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten 2
– des Innern 4
– für Medicinalangelegenheiten 4
Misch
– -sole 58, 59, 160, 165, 174, 176
– -wasser 145, 160, 174, 176, 178, 181, 182, 185, 209, 216, 239, 249
Mitteleuropa 232
Möllbergen 104
Mofette 205
Morsbach-Sprudel (Bohrung V, Solebohrung V, Thermalsprudel V, Tiefbohrung V) 4, 15, 16, 22, 25, 50, 60, 77, 79, 127, 130, 134, 135, 139, 140, 169, 212
Mosebeck 194
Mühlen-Berg 105
Münder Mergel 187, 218–220, 223
Münstersches Kreidebecken 185, 200–202, 221
Muschelkalk 1, 11, 22, 25, 28, 31, 35, 45, 55, 56, 63, 64, 73, 77, 110, 185, 203, 205, 206, 208, 216, 221, 223, 231, 242–244
– -Horizont 55
– -Keuper-Scholle 203
–, Mittlerer 22, 23, 56, 63, 71, 73, 76, 110, 187, 203–205, 207, 216, 220
–, Oberer 22, 23, 54, 56, 63, 71, 73, 76, 174, 181, 212, 213, 216, 234, 240, 249
–, Unterer 21–23, 28, 56, 63, 73
Muskowit 72
– -führend 69–72

Nalhof 105
Natingen 194, 206
Natrium 115, 169, 171, 176, 208, 219
– -Calcium-Chlorid
– – – -Sulfat-Wasser 216
– – – -Wasser 17, 18, 27, 130, 213
– – – -Säuerling 208
– – -Sulfat-Hydrogencarbonat-Wasser 212
– -chlorid 109
– – -Sulfat-Therme 26, 59
– -gehalt 115, 243
– -Ionen 176
– -sulfat 181
– -Sulfat-Chlorid-Wasser 217
Neusalzwerk 2–4, 7–11, 14
Neue Solebohrung s. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
– Solquelle s. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
Neuer Bülow-Brunnen s. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
Niederholte 104
Niedersächsisches Becken 118
– Landesamt für Bodenforschung 218, 236
– Tektogen 235
Niederschlagswasser 187
Niederschönhagen 194, 209
Nieheim 192, 205
Nitrat 171
– -Ionen 177
nordlippisches Senkungsfeld 248
Nordrhein-Westfalen 1, 2, 5, 6, 20
Nordwestdeutschland 187, 188, 190

Oberer Berg 104
Obere Wasserbehörde 52
Oeynhausen-Sprudel (Bohrung I, Solebohrung I, Thermalsprudel I, Tiefbohrung I) 3–5, 11, 12, 14, 15, 21, 23, 27, 47, 50, 60, 77, 127, 130, 134, 135, 139, 140, 169, 196, 212
Ogmoconchen 85
Ogmoconchellen 85
Ooide 76
Ordnungsbehördengesetz (OBG) s. Gesetz über Aufgaben und Befugnisse der Ordnungsbehörden
Osnabrück 90, 100, 102, 103, 117
Osning 81
– -Achse 203, 204, 208
Ostafrika 181
Osterkalle 93
Ostfriesland 10

Ostracoden 83, 84, 86
– -fauna 84
Ostwestfalen 77, 112, 185, 187, 191, 200, 231, 234
oszillieren 151
Oxidation 116
– des Eisens 117
– von Sulfiden 234, 238, 239
Oxidationsprozeß 233

paläohydrogeologische Situation 232
Parameter 140
Paris 3, 47
Peckeloh-Eisenerz-Stollen 218, 219
Pee-Dee-Formation (Südkarolina) 233
Pegelbohrung 127
Peilrohr 127
– 9 (Bad Oeynhausen) 198, 216
Pellet 75, 76
Permafrost 232
Phosphat 120
Piesberg 117
– -Pyrmonter Achse 29, 81, 185, 207, 210, 211, 216–218, 229, 231, 235, 238, 243
– – Sattel 240
– – Hebungszone 248
piezometrisches Niveau 161, 162
Plagioklas 111
Pleistozän 45, 56, 63, 64, 83, 85, 110, 211
Polizeiverordnung des Königlichen Oberbergamtes Dortmund vom 19. 11. 1902 28
– des Regierungspräsidenten Minden vom 3. 8. 1903 28
Polle 107
Ponceletüberfall 148
Porenaquifer s. Aquifer
Porta Westfalica 6, 61
Preußen 10, 11, 47
Preußische Bergwerks- und Hütten AG (Preussag) 5
– Central-Bergverwaltung 11
– Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 21–23, 25, 28
– Oberberghauptmannschaft 11
Preußisches Finanzministerium 14
Preußisch Minden 3
Preventer 55, 146, 149, 151–155, 157, 159, 167, 168
– -versuch 145, 153–157
Procytherideen 85
Püllen-Berg 106
Pyknochlor 113
Pyrit 67, 69, 70, 82, 187, 209
– -kristall, idiomorpher 67, 69, 70, 84
– -sandstein 94

Quartär 67
Quarz 71, 72, 74–76, 92, 111, 113, 115
– -brocken 84, 85
– -Calcit-Aggregate 92, 93
–, hydrothermaler 20
– -kristall, idiomorpher 71
Quarzit 74, 94
– -lagen 69, 72
Quelle 47, 49, 116, 160, 162, 178
– am Teich (Waddenhausen) 196
– am Thie (Bad Laer) 201
–, Arminius- (Bad Lippspringe) 192, 201
– Dammermann (Rothenuffeln) 198, 219
–, Dr.-Wahl- (Willebadessen) 192, 201, 203, 208
– Due (Waddenhausen) 196, 210
– Elendslöcher (Hardehausen) 192, 205
–, Grafen- (Herste) 192, 205
– Hardehausen (Hardehausen) 192, 205
–, Haupt- 2 (Bad Driburg) 192, 204
– Holsing (Holzhausen) 198
–, Jobst- (Bad Salzuflen) 196, 212
–, Martinus- (Bad Lippspringe) 192, 201
–, Mineral- (Seebruch) 196, 215, 246
–, Nessenberg- (Schieder) 194, 208
–, Neue Graf-Metternich- (Vinsebeck) 192, 205
–, Neue Martins- (Bad Laer) 192, 201
–, Rahlbruch- (Vlotho) 196, 198, 216, 245
–, Reelser Mineral- (Bad Driburg) 192, 205
– Salzborn (Wrexen) 192, 205
–, Sol- (Vlotho) 196
–, Stahl- (Bad Hermannsborn) 192, 203
– Unitas (Salzkotten) 201
–, Wiesenbrink- 241
Quellen
– -ergiebigkeit 49
– -schutz 127, 160
– – -gebiet 28, 29
– – -gebietsverordnung Bad Oeynhausen – Bad Salzuflen 29
– – -gesetz 28
– -sattel, Bad Oeynhausener 21–23, 26, 29, 33
– -spalte, Bad Oeynhausener 20, 22, 29, 31, 32, 60, 109, 114, 116, 118, 211, 216, 218, 235, 242, 247
Quellgas 59, 177
Quellschlot 58, 139, 162, 163
Quellschüttung 138
Quellteich (Vlotho – Seebruch) 214

Radioaktivität 177
Radioisotop 233
Radiokohlenstoff (^{14}C) 232, 234
– -Methode 232
Radon 222
Rahlbruch s. Vlotho-Rahlbruch
Rammbär 12

Rancho Las Comanjilla 47
Ravensberger Hügelland 6
recovery-Test 151
Redox-Potential 116
Reelsen 205
Regenwasser 233, 239, 241
Regierungsbezirk Detmold 1, 29
Regierungspräsident Detmold 52
– Minden 28
Rehme 8, 11, 14
Reine 105
Rekristallisationsprodukt 76
Reservebohrung 50
Residual
– -knauernlage 93, 94
– -knollen 95
– – -Lage 95, 96
– -Lage 95, 96
– –, Hangende 95, 99, 101
Restfraktion 82
Retzen 196, 210
Rhät 20, 21, 56, 69, 79, 93, 94, 97, 101–103, 216, 231, 242, 243, 248
–, Mittel- 79
–, Ober- 79
– -Quarzit 53, 54
– -schiefer-Gruppe 69
–, Unter- 79
Rhein 10
Rheine 11
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen 52, 166
Rheinland-Pfalz 187
Rischenau 106
Rodenberg 220
Röhr 100, 104
Röntgenbeugungs
– -analyse 111
– -diagramm 72
Röt 55, 56, 63, 65, 72, 73, 110, 185, 187, 189, 203, 205, 207, 212, 213, 220
Röt-Gesteine 203
– -Mischwasser 223
– -Salz 211
– -Sulfat 203, 216
– -Wasser 185, 205
– -Wert 223
Rogenpyrit 82–84
Rolfzen 107
Rotaryverfahren 65
Rote Schlucht 104
Rote Wand 56, 65, 70, 78, 79, 89, 90, 93, 94, 96, 99–102, 107, 187, 208, 212
–, Obere 92, 94, 96, 97, 100
–, Untere 90, 93, 94, 96, 98
Rothekuhle 106
Rothenuffeln 198, 218, 219
Rubidium 177
Ruhrgebiet 187
Rusch-Berg 104
Ruschelzone 20
Rutschschere 3, 12, 13

Salband 112, 113
Saline 1, 3, 5, 9–11, 14
– Neusalzwerk 7–10
Salinität 118
Salz 10, 211
– -abwanderung 235
– -höffigkeit 11
– -industrie 3
– -kissen 211
– -körper 243
– -lager 187
– – -stätte 11, 200
– -lösung 235
– -produktion 10
– -quelle 14
Salzetal 240, 248
– -Störung 209, 211, 235, 240, 243
Salzgitter-Klappmast 52
Salzkammergut 47
Salzkotten 192, 201, 221
Sand 210
– -stein 20, 67, 69, 72, 74, 94, 97, 111, 202, 205, 208, 244
– –, Fein- 56, 69, 70–75, 77, 95, 97, 110, 111
– – -fazies 102
Schacht Bölhorst (Steinkohlenschacht Bölhorst) 198, 218, 219
Scharpen-Berg 106
Schichten
– -folge (Alexander-von-Humboldt-Sprudel) 68, 81
– -verzeichnis (Alexander-von-Humboldt-Sprudel) 67–73
Schieder 194, 208
Schilfsandstein 56, 70, 78, 94, 97, 100–102
Schledehausen 93
Schlotstrecke 151
Schluff 67
– -stein 54, 56, 67, 70–74, 94, 97, 100, 110–112, 116, 120
Schmechten 192
Schüttung 2, 13, 15–17, 19, 21, 22, 25, 45, 48, 60, 135, 136, 139, 150–154, 160, 202, 214, 243
– -smenge 134, 153
– -smessung 134, 135, 140
– -srückgang 49
– -sverhalten 18
Schwalenberg 106, 107
Schwefel 181, 187, 188
– -bad Meyerhof 219
– -dioxid 191

– -Isotopen 188, 189, 216, 234
– – -untersuchung 49, 109, 114, 191, 200, 206, 208, 210, 211, 221, 234
– – -verteilung 187, 188, 190, 214, 220, 221
– – -wert 50, 60, 185
– -Mineralwasser 218
– -quelle 191
– – Senkelteich 246
– – Vlotho-Seebruch 214
– -wasserstoff 177, 187, 191
Schweicheln 235
Schweichler Berg 235, 238
Schweine-Berg 106
Sedimentation 235, 248
– -sphasen 90, 102
– -sverlauf 102
Seebruch s. Vlotho-Seebruch
Senkelteich 246
Serizit-Illit 111
Serpulit 218, 219
Siedesalz 7, 10
Siekhof 106
Siltstein s. Schluffstein
Sinemurium
–, Oberes 84, 85
–, Unteres 81, 84, 85
Sinter
– -kalk 201
– -kruste 49
Société Internationale de Technique Hydrothermale (SITH) 65
Soda 10
Solbad Ravensberg 192, 201
Soldorf 220
Sole 1–4, 7, 9, 11, 13, 14, 16, 17, 20–23, 25, 30, 31, 45, 47–50, 55, 56, 58–61, 64, 81, 109, 114–118, 131, 134–136, 141, 157, 159, 162, 165, 167–169, 171, 174–176, 181, 185–187, 191, 200–203, 205, 212, 218–221, 229, 231, 233, 240, 242–245, 248, 250
– -Bergwerksfeld Barbara s. Barbara
– -bohrung 7, 14–19, 45, 48, 49, 51, 56, 59, 60, 79, 125, 126, 130, 132, 134, 140, 143, 212, 231, 242
– – I s. Oeynhausen-Sprudel
– – II (Bad Oeynhausen) 15, 52, 77
– – III (Bad Oeynhausen) 15, 52, 77
– – IV s. Kaiser-Wilhelm-Sprudel
– – V s. Morsbach-Sprudel
– – VI s. Jordan-Sprudel
– – VII s. Alexander-von-Humboldt-Sprudel
– – 1 (Bad Waldliesborn) 192, 202
– – 14 (Bad Sassendorf) 192
– – 1975 (Bad Essen) 198
– – Barbara (Höxter) s. Barbara
– -brunnen s. Bohrloch in Schulzens Wiese Nr. 1, Bülow-Brunnen, Friedrich-Wilhelm-Brunnen, Rappards-Brunnen
– -erschließung 1, 7
– -erschließungsbohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel s. Alexander-von-Humboldt-Sprudel
– – Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle s. Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle
–, eisenhaltige 20
– -förderung 49
–, kohlensäurehaltige 20, 49
– -neubildung 30, 34, 143
– -quelle 61, 110
– -spiegel 20
– -Untersuchungsbohrung 7, 8
– -versorgung 50, 81
– -vorkommen 1, 48, 50, 167, 200, 242
Solling-Folge 110, 166
– -Gewölbe 203
– -Sandstein 204
Solquelle 7, 13
Sonneborn 113
Spannungshöhe 160–162
Sparit 74–76
Spiegelhöhe 161
Staatliches Quellenamt Bad Ems 49, 50, 52, 53, 55, 56
Staatsbad Oeynhausen s. Bad Oeynhausen
Staatshochbauamt Bielefeld 50
Staatssaline Dürrenberg 10
– Halle 10
– Schönebeck 10
Städtisches Untersuchungsamt Bielefeld 217
Stauhöhe 145
Steinheim 203
Steinkohlenschacht Bölhorst s. Schacht Bölhorst
Steinmergel 69, 70, 79, 92, 93–97, 99, 101, 102
– -Fazies 93, 97
– -keuper 23, 25, 56, 65, 69, 78, 79, 89, 90, 92–94, 97, 99–103, 142, 210, 216, 217, 231, 238, 240, 243, 248
– –, Oberer 69, 89, 92–94, 97, 99, 100, 102, 107
– –, Unterer 70, 89, 92, 93, 95, 97, 99, 101–103, 107
Steinsalz 4, 11, 13, 47, 211, 218
– -fazies 190
– -lager 2, 11
– – -stätte 11
Stickstoff 177
– -verbindungen 177
Störungszone 20, 29, 56, 201
–, Bad Oeynhausener 29
Stratigraphie 83
– des Alexander-von-Humboldt-Sprudels 85
– der Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle 83–85
Strömungswiderstand 163
Stromatolithen 94

Strukturkarte (Deutscher Planungsatlas, Band Nordrhein-Westfalen) 200
Subrosion
– -serscheinung 235
– -sphase 211
– -ssenke 185, 210, 221, 222, 248
– -svorgang 61
Süddeutschland 11
Südkarolina 233
Sültemeiers Wiese 7
Süßwasser 17, 25, 27, 49, 142, 143, 176, 200, 218, 229, 238, 242, 245, 247, 248, 250
– -entnahme 231
– -kalotte 240
– -linse 229
– -vorkommen 61, 143, 231, 232, 250
– -zufluß 21, 23
– -zutritt 2
Sulfat 45, 49, 50, 59, 114, 116, 169, 171, 180, 182, 185–191, 203–205, 208, 210, 212–214, 216, 218–221, 233, 234, 238, 245, 246, 248, 250
– -gehalt 50, 130, 134–136, 142, 169, 174, 175, 180, 181, 187, 200, 201, 204–210, 212–214, 216–218, 234, 238, 239, 243–245, 249
– -lonen 116, 174, 177
– -karst 213
– -komponente 231
– -lauge, fossile 233
–, Meerwasser- 221
– -reduktion 219
– -schwefel 188, 201, 234
– -verkarstung 206, 223
– -wasser 49, 50, 185, 201, 204, 207, 209, 216–218, 221, 229, 231, 238–240, 242, 243, 248, 250
– –, artesisches 243, 250
– – -brunnen, artesischer 242
– – -typ 242
– –, gespanntes 248
Sulfid 187, 207, 219, 233, 234
– -schwefel 188, 213

Talle 240, 250
Talsperre, unterirdische 232, 242, 250
Technische Betriebsdirektion des Staatsbades Oeynhausen 153
Teimberg-Horst 235
Temperatur (Mineralwasser) 231
Teutoburger Wald 185, 206, 207, 220
Thermalsole 5, 13, 18, 25, 45, 50, 59, 141, 166, 177, 208, 211
– -bohrung 3, 45, 127
– – VII s. Alexander-von-Humboldt-Sprudel
–, eisenhaltige 21–24, 26, 45, 59
–, kohlensäurehaltige 21–23, 25, 244
– -quelle 16, 33
–, sulfathaltige 26, 45, 59
– -versorgung 2
Thermalsprudel 48
– I s. Oeynhausen-Sprudel
– II (Bad Oeynhausen) 4, 27, 28, 38, 92, 196, 211, 212
– III (Bad Oeynhausen) 4, 28
– III (Bad Salzuflen) 196, 212
– IV s. Kaiser-Wilhelm-Sprudel
– V s. Morsbach-Sprudel
– VI s. Jordan-Sprudel
– VII s. Alexander-von-Humboldt-Sprudel
Thermalwasser 4
Tiefbohrung (Bad Meinberg) 194
– (Bad Oeynhausen) 49, 50
Tiefbohrtechnik 21
Tiefenwasser 187
Tieftemperaturoptik 111
Tö-Berg 106
Ton 67, 71, 76
– -eisensteingeoden 81
– -gehalt 76
– -mergelstein 92
– -stein 20, 67, 69–75, 77–79, 81, 90, 92, 93, 97, 99, 100–102, 109–113, 115, 116, 119, 219, 242
– – -brekzien 99, 107
– – -fazies 93
– – -horizont 94
– – -lagen 69, 92, 93–97, 99–101
– –, Wealden- 219
– – -zwischenlagen 95
Topographische Karte 1 : 25 000 (TK 25), Blatt
– 3921 Aerzen 105, 112, 113
– 3718 Bad Oeynhausen 20–22, 26–28, 45, 52, 64, 83, 85, 89, 103, 110, 112, 130, 166
– 3918 Bad Salzuflen 112
– 4020 Blomberg 78, 106
– 3920 Bösingfeld 105, 106
– 4019 Detmold 106
– 3822 Hameln 105
– 3818 Herford Ost 23, 104, 112, 130
– 3821 Hessisch Oldendorf 93, 104, 105
– 4119 Horn-Bad Meinberg 78
– 3922 Kirchohsen 105, 106
– 3919 Lemgo 103, 112
– 3716 Melle 103
– 3714 Osnabrück 103
– 4022 Ottenstein 107
– 3820 Rinteln 104, 105
– 4121 Schwalenberg 103, 106, 107
– 3816 Spenge 103, 104
– 4120 Steinheim 107
– 3819 Vlotho 104, 105, 112
Torf 214
– -füllung 214
– -lager 214
Totes Meer 181

Trias 85
– -Schichten 248
Trinkwasserversorgung 49, 242, 244
Tritium (^3H) 233, 239, 241, 243
– -einheit 233, 237, 245
– -gehalt 233, 237, 239, 241, 244–247, 249
Trochiten 56
– -kalk 63, 73, 76, 206–208, 248
Troilitschwefel 188
Trümer (Trümchen) 75, 112, 113, 115
Turon 201, 202

Uchtdorf 104
Udluft-Diagramm 59
Übertageaufschlüsse
– des lippischen Keuper-Gebietes 90
– des Weserberglandes 56, 89, 90, 103, 107
Uffeln 104
Uhl-Mühle 105
Unna 14
Unterkreide 122, 203
– -Sandstein 201
Untersuchungsbohrung 248

Vahlhausen 194
Valdorf 99, 105
Valdorfer Mulde 211
Vallentrup 105
Verordnung
– des Königlichen Oberbergamtes Dortmund vom 10. 11. 1910 32, 33
– des Regierungspräsidenten Minden 32
Versinterung 161
Verwerfung 81
– -squelle 212, 248
– -szone 31
Verwitterungszone 67
Vinsebeck 192, 205
Vlotho 11, 29, 90, 93, 99–102, 104, 107, 114, 186, 198, 213, 215, 216, 229, 236, 242, 243, 245–247, 250
– -Rahlbruch 216, 223, 243
– -Seebruch 48, 49, 51, 60, 61, 114, 191, 196, 213–215, 221, 229, 243, 245, 246, 248, 250
– -Veltheim 104
Vlothoer Horst 29, 235, 242, 243, 245
Volpriehausen-Folge 110
Volumenmessung 150, 152
Vor dem Püllenberge 106
Voremberg 105, 106
Voremberger Wald 105
Voßheide 194

Wacholder-Berg 105
Waddenhausen 196
Waddenhausener Horst 210
Wärmeanomalie 31
Warburg 203
Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Landeswassergesetz – LWG –) 29, 52
Wasserhaushalt (Mineralwasser) 30, 231
Wasserhaushaltsgesetz (WHG) s. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
Wasserstoff 233
Wasserwerk
– Begatal 196
– Borgentreich 194
– Löhne 198
– Weißenborn 192, 204
Wealden 218, 219, 221
– -Schichten 218
– -Tonstein 219
Wehrbergen 105
Wehrendorf 218
Wennenkamp 104
Werfen 217
Werra-Kalirevier 190
Werre 6, 9, 22, 28
– -tal 7, 8, 61, 235, 242, 248
Werther 207
Wesel 10
Weser 6, 10, 11, 93, 242
– -bergland 56, 89, 90, 92, 100
– –, westfälisch-lippisches 117
– -gebirge 6, 185
– -tal 105, 203
Westorf 105
Wiehengebirge 6, 81, 218–220, 223
Wiembeck 194
Willebadessen 192, 203, 208, 221
Winterberg 99, 104
Wittekind-Sprudel (Bad Rothenfelde) 201
Wrexen 192
Wüsten 229, 231, 232, 235, 240, 241, 250

Zechstein 1, 31, 49, 60, 61, 109, 115, 117, 181, 187–189, 200–213, 215–221, 238, 245, 248, 250
– -Anhydrit 211
– -Dolomit 211
– -Evaporit 185, 201, 202, 217, 220–222, 250
– -Gips 217, 229
– -Kalk 211
– -Meer 190
– -Mineralwasser 222
–, Oberer 115
– -Salinar 30, 115, 201, 209, 220, 235, 246
– -Salz 30, 200, 203, 211, 215–217, 235
– – -verbreitung 185
– -Sulfat 189, 190, 203, 208, 209, 213, 217, 221, 222, 249
– -Wasser 204, 208, 219
– -Wert 212–214, 221
Zerrüttungszone 61
Zinkblende 118
Zollern 220

Verzeichnis der Tabellen und Tafeln in der Anlage

Kleine Heilwasseranalysen der 1975 in Bad Oeynhausen genutzten Mineralwässer (Tabelle 4)

Zu: G. Michel, Das Solevorkommen von Bad Oeynhausen. – S. 1–43

Lage der Aufschlüsse im Untersuchungsgebiet (Tafel 1)

Vergleich der bearbeiteten Aufschlüsse der Roten Wand (Tafel 2)

Vergleich der bearbeiteten Aufschlüsse des Unteren Steinmergelkeupers (Tafel 3)

Vergleich der bearbeiteten Aufschlüsse des Oberen Steinmergelkeupers (Tafel 4)

Zu: A. Sander, Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes. – S. 89–108

Schwefel-Isotopenverhältnisse in Mineralwässern Ostwestfalens (Tafel 1)

Zu: G. Michel & H. Nielsen, Schwefel-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten ostwestfälischer Mineralwässer. – S. 185–227

Hydrochemische und isotopenchemische Befunde (Tabelle 1)

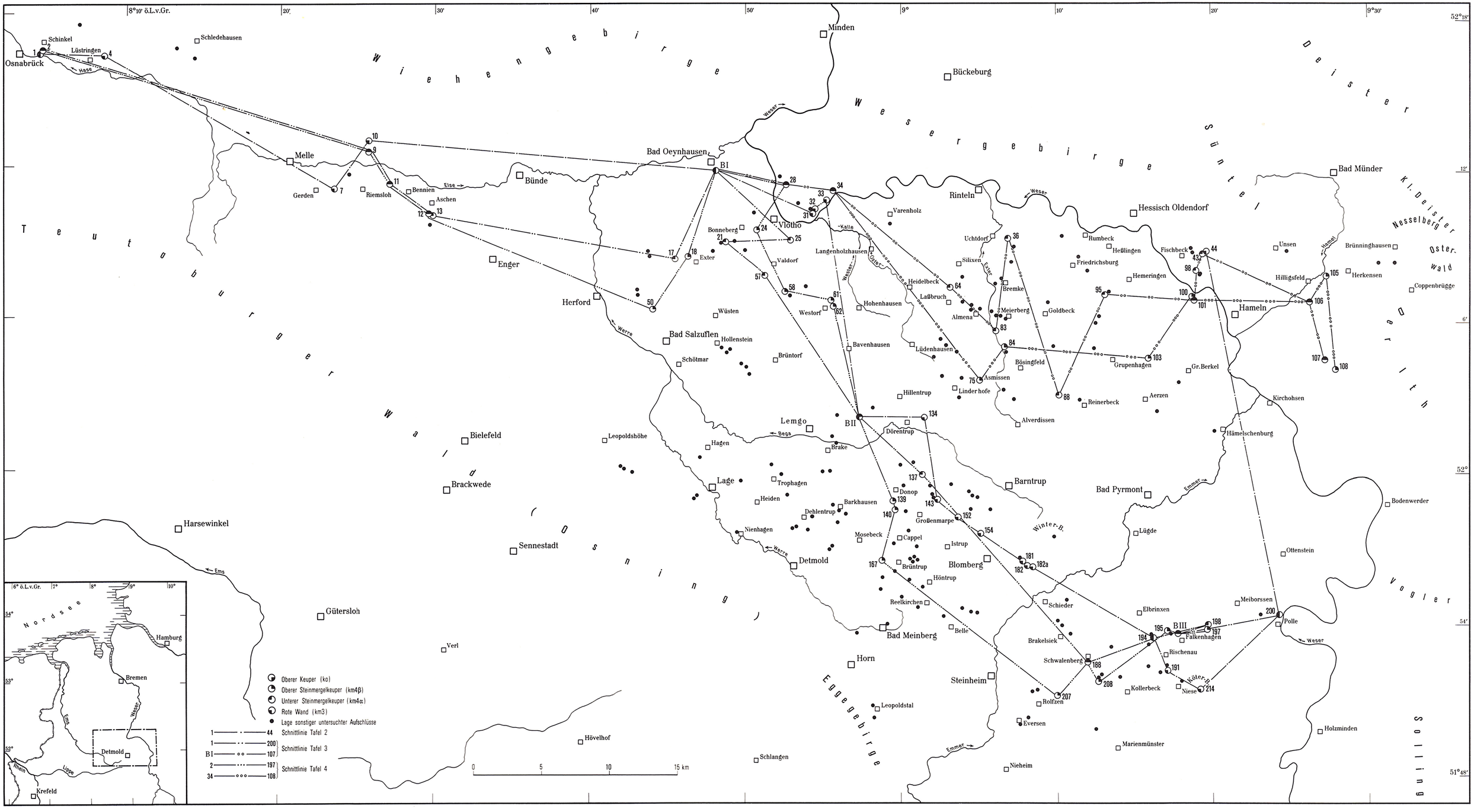
Zu: M. A. Geyh & G. Michel, Zur Isotopenchemie von Mineralwässern und sonstigen Grundwässern im Heilquellengebiet von Bad Oeynhausen und Bad Salzuflen. – S. 229–252

Tabelle 4

Laboratorium für Wasseruntersuchungen, Hannover — Kleine Heilwasseranalysen der 1975 in Bad Oeynhausen genutzten Mineralwässer — Analytiker: K. Höll,

Brunnen Nr.		I			IV			V			VI			VII			VIII		
Name		Kurdirektor-Dr.-Schmid-Quelle (= Bülow-Brunnen II)			Oeynhausen-Sprudel			Kaiser-Wilhelm-Sprudel			Morsbach-Sprudel			Jordan-Sprudel			Alexander-von-Humboldt-Sprudel			Wittekind-Brunnen		
Bohrzeit		1959–1960			1830–1845			1896–1898			1905–1906			1924–1926			1972–1973			1876		
Koordinaten	R	85 970			85 920			85 850			85 840			86 130			86 160			86 070		
	H	86 070			85 250			85 210			85 170			84 890			85 200			85 460		
Tiefe (m u. Gelände)		184			696			684			765			725			1034			6		
Datum der Probeentnahme		26. 4. 1969			26. 4. 1969			26. 4. 1969			26. 4. 1969			26. 4. 1969			10. 9. 1973			26. 4. 1969		
Aquifer		Lias + Rhät, Störung			Unterer Muschelkalk			Unterer Muschelkalk			Unterer Muschelkalk u. Röt			Mittlerer Buntsandstein			Mittlerer Buntsandstein			Lias		
Schüttung 1974 (m³/h)		10 (pumpen)			26			12			17			207			200			0,04		
Dichte bei 20° C		1,0573			1,027			1,0265			1,0344			1,0187			1,0190			1,0075		
Temperatur 1969 (° C)		14,1			30,8			28,3			32,5			35,7			36,4			15,3		
pH-Wert		5,95			6,23			6,05			6,16			6,33			6,15			6,45		
Mineralwassertyp		Fe- und CO_2-haltige Sole			Fe- und CO_2-haltige Thermalsole			Fe- und CO_2-haltige Thermalsole			Fe- und CO_2-haltige Thermalsole			Fe- und CO_2-haltige Thermalsole			Fe- und CO_2-haltige Thermalsole			Na-Ca-Cl-Wasser		
		(mg/kg)	(mval/kg)	(mval%)	(mg/kg)	(mval/kg)	(mval%)	(mg/kg)	(mval/kg)	(mval%)	(mg/kg)	(mval/kg)	(mval%)	(mg/kg)	(mval/kg)	(mval%)	(mg/kg)	(mval/kg)	(mval%)	(mg/kg)	(mval/kg)	(mval%)
Kationen																						
Na^+		27 780,0	1 208,3	92,23	12 390,0	538,9	84,40	10 640,0	462,79	82,49	14 275,0	620,9	85,62	7 255,0	315,56	78,16	7 050,0	306,64	77,46	1 715,0	74,593	49,06
K^+		182,0	4,654	0,35	93,5	2,39	0,37	86,4	2,21	0,40	105,4	2,696	0,37	69,2	1,77	0,44	52,4	1,34	0,34	3,9	0,0997	0,07
NH_4^+		2,2	0,122	0,01	0,85	0,047	0,01	0,88	0,049	0,01	0,135	0,008	0	1,22	0,068	0,02	0,55	0,031	0	0,13	0,007	0
Ca^{2+}		1 322,0	65,97	5,03	1 596,0	79,64	12,47	1 608,0	80,24	14,30	1 556,0	77,644	10,71	1 273,4	63,542	15,74	247,46	20,35	5,15	1 268,0	63,273	41,61
Mg^{2+}		364,8	30,00	2,29	186,1	15,304	2,40	182,4	15,00	2,67	279,68	23,00	3,17	269,9	22,196	5,50	1 341,0	66,916	16,9	171,2	14,079	9,26
Fe^{2+}		32,51	1,164	0,09	62,55	2,24	0,35	19,59	0,702	0,13	25,04	0,896	0,12	16,22	0,581	0,14	0,05	0,002	0	0,12	0,004	0
Mn^{2+}		0,11	0,004	0	0,05	0,002	0	0,28	0,01	0	0,019	0,007	0	0,22	0,008	0	16,6	0,595	0,15	0,05	0,002	0
Summe		29 683,62	1 310,214	100	14 329,05	638,52	100	12 537,55	561,0	100	16 241,274	725,151	100	8 885,16	403,725	100	8 708,06	395,874	100	3 158,4	152,057	100
Anionen																						
Cl^-		42 251,0	1 191,6	90,94	19 235,0	542,49	84,96	16 930,7	477,52	85,14	22 050,0	621,9	85,77	11 257,5	317,50	78,65	10 681,0	301,24	76,11	4 432,0	125,0	82,24
SO_4^{2-}		3 723,6	77,53	5,92	3 583,9	74,62	11,69	3 164,7	65,89	11,75	3 929,2	81,807	11,28	3 316,8	69,057	17,11	3 522,0	73,33	18,53	900,1	18,74	12,33
HCO_3^-		1 977,0	41,16	3,14	1 304,6	21,38	3,35	1 061,7	17,4	3,10	1 304,6	21,38	2,95	1 044,66	17,12	4,24	1 292,4	21,21	5,36	503,42	8,25	5,43
NO_3^-		1,0	0,001	0	0,5	0,01	0	3,3	0,053	0,01	2,2	0,036	0	0						0		
Summe		47 952,6	1 310,30	100	24 124,0	638,50	100	21 160,4	560,9	100	27 286,0	725,12	100	15 618,96	403,677	100	15 495,4	395,78	100	5 835,52	152,0	100
undissoziierte Bestandteile			(mmol)			(mmol)			(mmol)			(mmol)			(mmol)			(mmol)			(mmol)	
H_2SiO_3 (meta)		9,1	0,116		26,65	0,341		31,2	0,4		37,7	0,483		40,3	0,516		40,95	0,525		20,8	0,26	
gelöste feste Bestandteile		77 645,32			38 479,70			33 729,15			43 565,074			24 544,42			24 244,41			9 014,72		
gasförmige Bestandteile																						
freies CO_2		1 980	44,99		1 244	28,266		1 725	39,16		1 310	29,77		1 645	37,38		1 452	32,993		387,2	8,798	
Gesamtsumme		79 625,32			39 723,70			35 454,15			44 875,074			26 189,42			25 696,41			9 401,92		

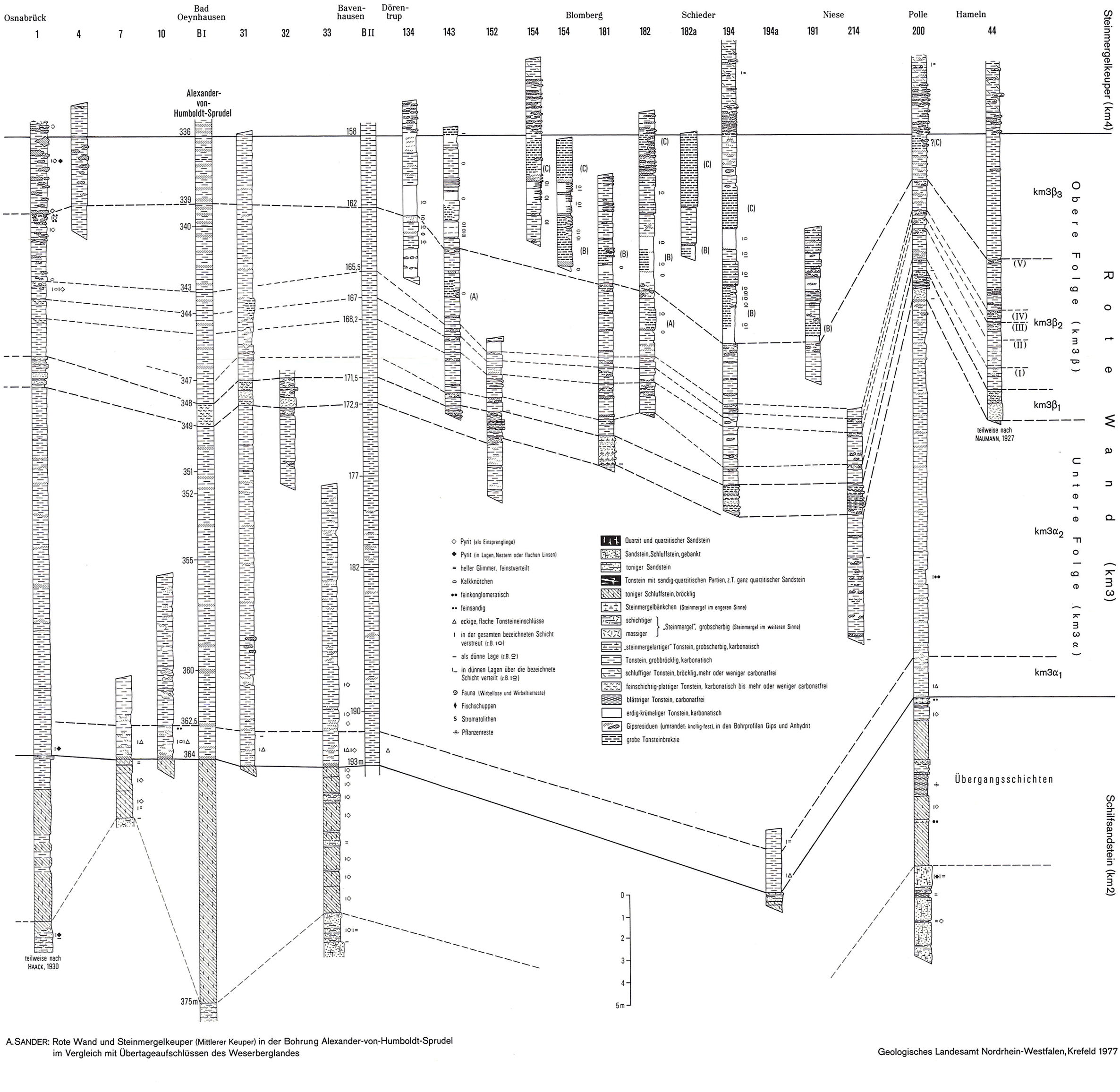
Lage der Aufschlüsse im Untersuchungsgebiet



A. SANDER: Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1977

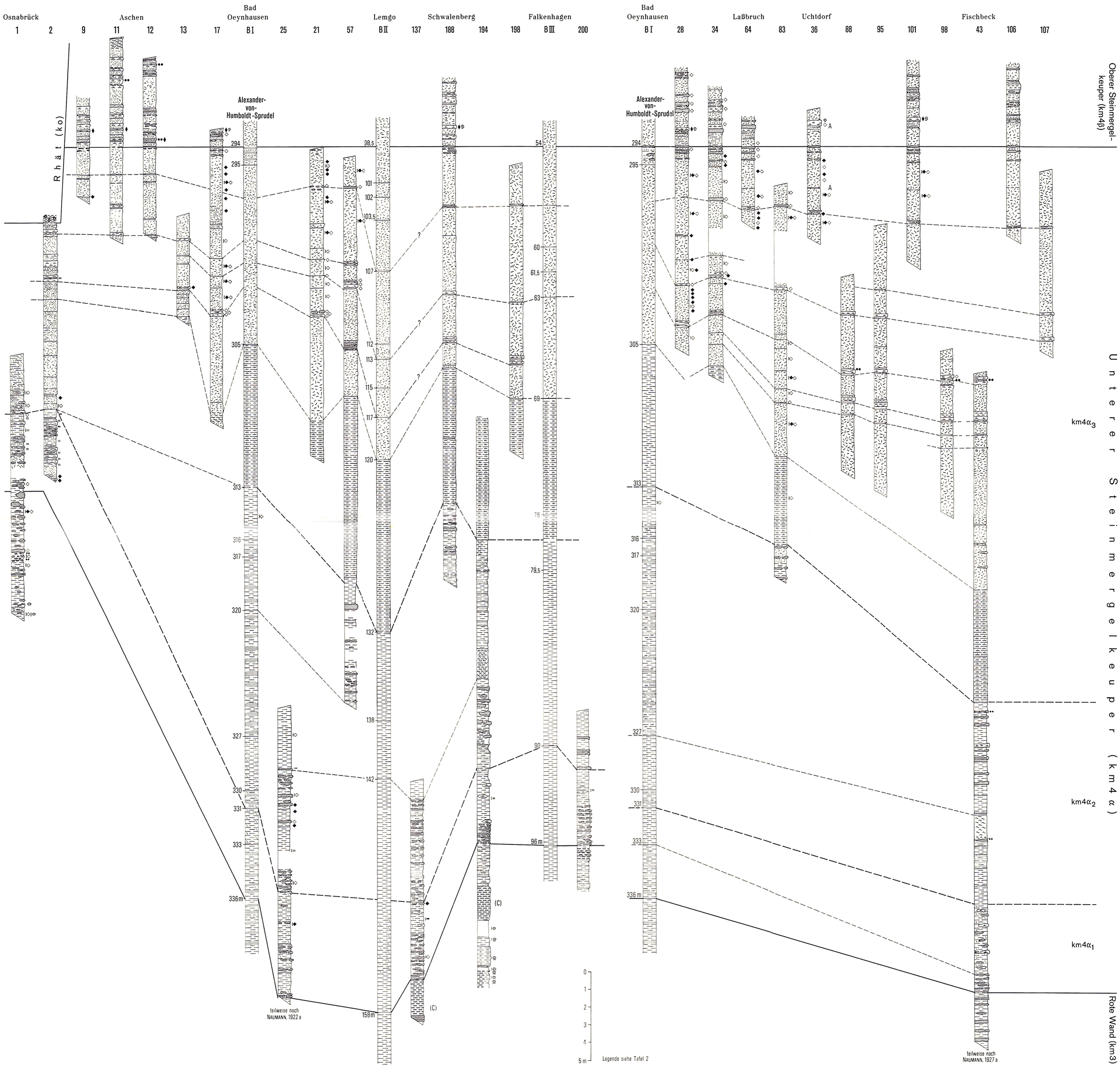
Vergleich der bearbeiteten Aufschlüsse der Roten Wand



A. SANDER: Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1977

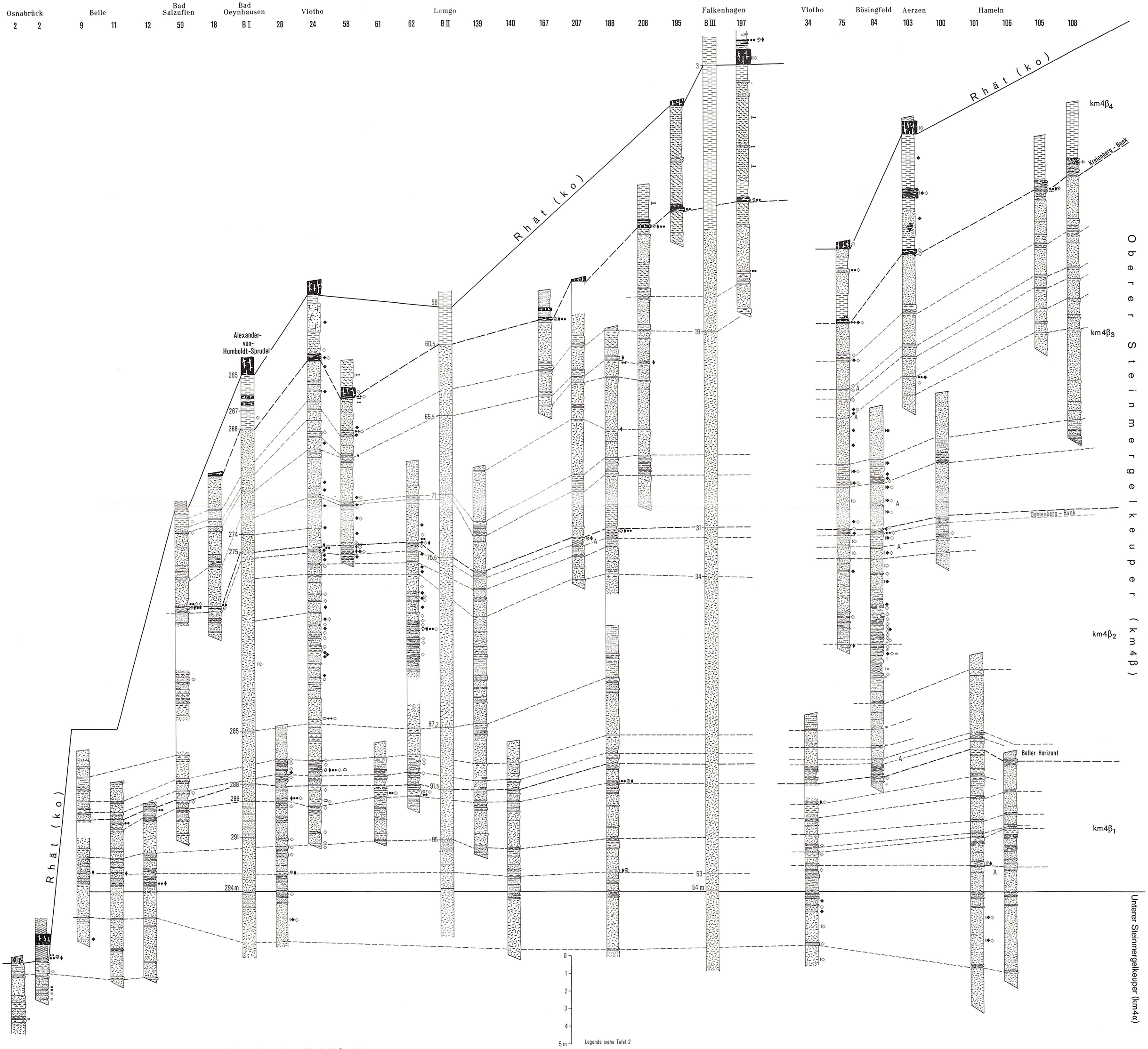
Vergleich der bearbeiteten Aufschlüsse des Unteren Steinmergelkeupers



A. SANDER: Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1977

Vergleich der bearbeiteten Aufschlüsse des Oberen Steinmergelkeupers



A. SANDER: Rote Wand und Steinmergelkeuper (Mittlerer Keuper) in der Bohrung Alexander-von-Humboldt-Sprudel im Vergleich mit Übertageaufschlüssen des Weserberglandes

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1977

Schwefel-Isotopenverhältnisse in Mineralwässern Ostwestfalens

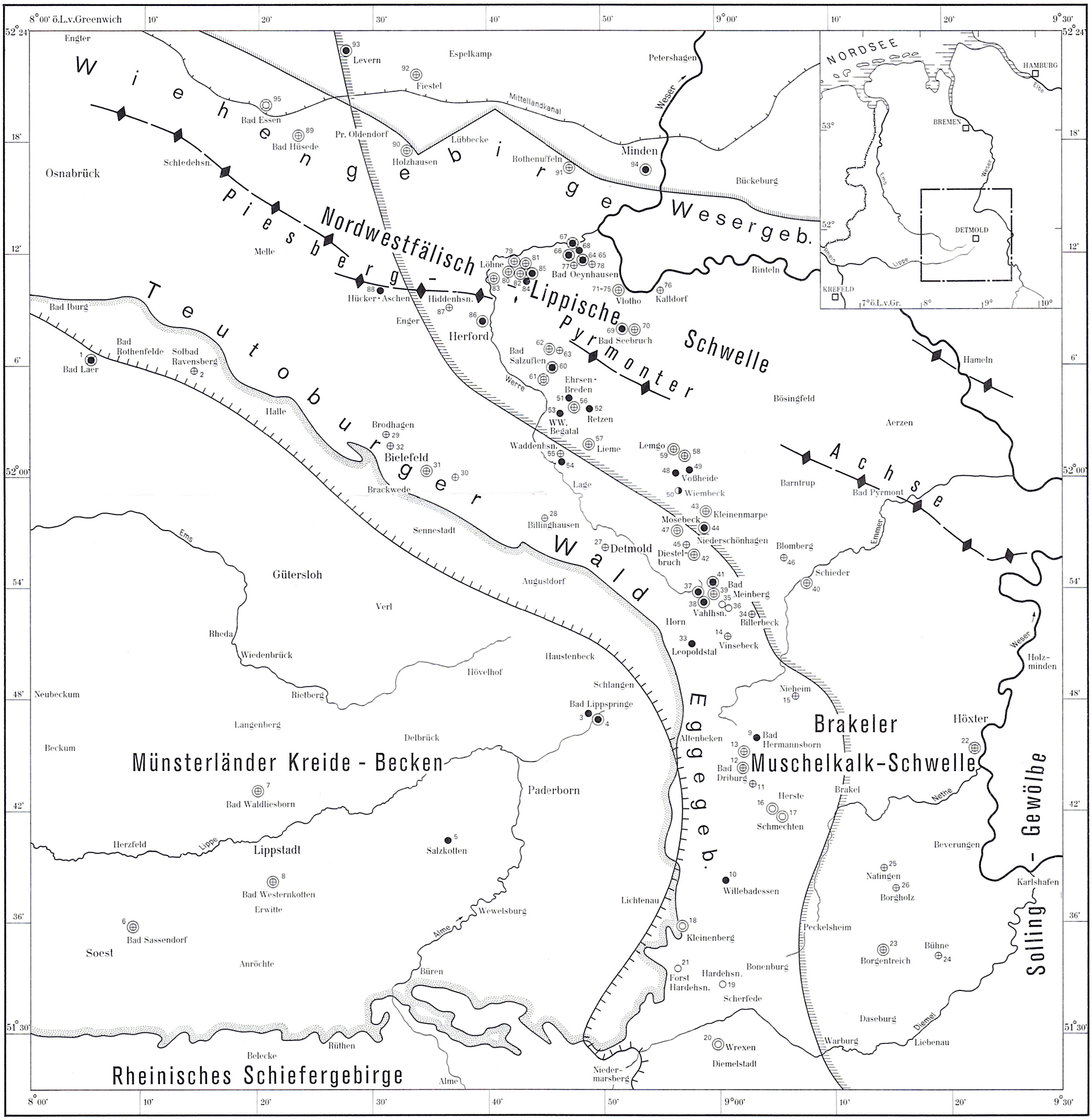


Tabelle 1

Hydrochemische und isotopenchemische Befunde

Kennzahlen		Entnahmestelle			Lage			Hydrogeologie			Hydrochemie											Isotopenchemie				
lfd. Nr.	Proben-Nr. Hv[1]	Bezeichnung	Jahr[2]	Tiefe (m)	Blatt-Nr. TK 25	Koordinaten R	H	Aquifer	Artese[3]	Nutzung[3]	Datum[4]	Temperatur (°C)	pH-Wert	$Na^+ + K^+$ (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	Ionensumme (mg/l)	$\delta^{34}S$	$\delta^{13}C$	^{14}C-Modellalter (Jahre vor 1950)	^{14}C-Gehalt (% modern)	^3H-Gehalt (T.E.)
1	5795	Hiddenhausen Br. 11	1973	50	3817	70 600	78 380	Lias		+	23. 5. 73	10,6	7,9	9	78	11	43	57	207	409	–	– 14,9	8390 ± 180	35,2 ± 0,8	18
	6491	Hiddenhausen Br. 11									30. 8. 74											– 13,5	9230 ± 195	31,5 ± 0,8	11
2	5796	Hiddenhausen Br. 6	1964	34	3817	72 340	79 640	km4		+	23. 5. 73	10,6	8,0	37	118	24	53	115	336	696	–	– 13,4	5870 ± 115	48,2 ± 0,7	72
3	5797	Hiddenhausen Br. 5	1965	60	3817	72 760	79 700	km4		+	23. 5. 73	11,2	7,8	26	87	25	40	102	283	572		– 15	10700 ± 320	26,4 ± 1,0	38
4	5794	Hiddenhausen Br. 8	1956	95	3817	73 290	79 960	km4		–	23. 5. 73	13	7,2	17	205	64	14	710	226	1137		–	–	–	<3
5	5793	Hiddenhausen Br. 9	1962	108	3817	73 420	80 040	km4		–	23. 5. 73	12,2	7,3	14	218	41	13	780	171	1009	13,1	– 12,9	13450 ± 180	18,7 ± 0,4	3
6	5792	Hiddenhausen Br. 10	1962	108	3817	73 420	80 120	km4		–	23. 5. 73	12,2	7,3	13	65	27	15	736	214	459		– 13,5	10460 ± 500	27,2 ± 1,6	9
7	5832	Hiddenhausen Br. 3a	1973	51	3817	74 520	78 960	km4	+	+	19. 7. 73	11,4		17	107	54	7	324	226	745		– 11,6	11320 ± 270	24,4 ± 0,8	15
8	5799	Hiddenhausen Br. 2	1966	45	3817	75 040	78 700	km4	+	+	23. 5. 73	10,5	7,7	14	181	50	27	348	256	976		– 11,9	9740 ± 290	29,8 ± 1,0	29
9	5800	Hiddenhausen Br. 1	1960	35	3817	75 630	78 440	Lias	+	+	23. 5. 73	11	7,6	16	145	23	37	208	256	659		– 15,8	6465 ± 170	44,7 ± 1,0	36
10	5798	Hiddenhausen Br. 4	1967	43	3817	75 060	79 560	km4		+	23. 5. 73	10,4	7,9	10	79	27	34	51	235	499		– 14,2	6295 ± 165	45,7 ± 0,9	46
11	5831	Herford Brauerei		120	3817	76 690	78 380	km4		–	19. 7. 73	13	7,9	21	472	40	28	1104	214	1882	11,9	– 13,2	8285 ± 125	35,6 ± 0,5	7
12	6503	Exter-Süd Brunnen	1964	14	3818	85 340	76 430	qp		+	27. 8. 74	12,1	7,6	2	75	23	46	75	220	449		– 7,6	7660 ± 95	38,5 ± 0,5	30
13	6498	Wüsten Br. H IX (= Krutheide 1)	1972	67	3818	85 100	75 910	mo1		+	26. 8. 74	10,6	7,8	30	98	16	50	126	244	580		– 7,1	9465 ± 85	30,8 ± 0,3	24
14	6496	Wüsten Br. H VII (= Krutheide 3)	1972	39	3818	83 960	75 250	ku	+	+	26. 8. 74	12,8	8,1	46	83	39	99	132	268	670		– 7,8	8650 ± 125	34,1 ± 0,5	15
15	6493	Wiesenbrink-Quelle	1951	–	3818	84 060	74 785	ku	+	+	26. 8. 74	10,6		6	60	30	28	82	214	427		– 10,0	6550 ± 105	44,2 ± 0,6	33
16	6501	Wüsten Br. H IV	1953	12	3818	83 690	74 240	qp		+	27. 8. 74	10,6	7,8	10	67	28	25	70	232	444		– 11,2	5440 ± 95	50,8 ± 0,6	23
17	4363	Wüsten Br. H II	1951	31	3818	84 440	74 790	ku	+	+	20. 7. 71	10,6	7,5	6	65	30	18	66	232	443		– 10,5	5750 ± 160	48,9 ± 1,0	41
	6495	Wüsten Br. H II									26. 8. 74	11,8										– 9,8	6415 ± 70	45,0 ± 0,4	58
18	6494	Wüsten Br. T 5	1948	29	3818	84 635	74 865	ku	+	+	27. 8. 74	13,8		0	61	32	28	72	201	425		– 10,5	6765 ± 240	43,1 ± 1,3	33
19	6497	Wüsten Br. L 1	1947	50	3818	85 015	74 590	ku		+	28. 8. 74	11,0		6	68	27	28	77	220	432		– 11,0	5910 ± 150	47,9 ± 0,9	42
20	6499	Wüsten Br. Stoppel 3		50	3818	85 995	75 680	ku		+	27. 8. 74	10,0	7,7	0	59	31	35	35	226	416		– 8,6	6940 ± 105	42,2 ± 0,5	37
21	6500	Wüsten Br. Niederlag	1972	60	3818	87 160	75 270	km + ku		+	27. 8. 74	10,8	7,8	0	63	28	39	33	201	408		– 12,9	3050 ± 125	67,6 ± 1,1	61
22	6504	Talle Br. 2	1966	41	3919	92 870	73 420	ku		+	29. 8. 74	9,4	7,1	9	53	24	21	66	165	390		– 13,1	4790 ± 130	55,1 ± 0,9	100
23	5824	Löhne Brg. Falscheide	1973	78	3818	77 845	82 515	ko	+	+	19. 7. 73	13,6	7,8	305	590	56	457	1455	366	3230	13,7	– 9,1	16850 ± 450	12,2 ± 0,7	<3
24	5825	Löhne Br. Stodiek		40	3818	80 080	84 480	ko	+	+	19. 7. 73	14,4		20	583	45	21	1482	177	2330	13,1	– 13,2	15850 ± 300	13,9 ± 0,5	<2
25	5826	Löhne Steinbronn	1962	31	3818	80 170	84 140	ko	+	+	19. 7. 73	13,0		18	576	48	35	1410	165	2249	13,1	– 12,9	15100 ± 400	15,2 ± 0,7	<1
26	5827	Löhne Br. Twelsiek	1962	27	3818	80 330	84 100	ko	+	+	19. 7. 73	13,2	8,0	18	607	19	69	1266	268	2243	13,2	– 13,2	15700 ± 320	14,1 ± 0,6	<3
27	5828	Löhne Brg. Geiseberg	1939	93	3818	79 930	83 270	km4	+	+	19. 7. 73	13,2	7,7	50	593	48	213	1199	244	2349	13,6	– 13,7	15200 ± 300	15,0 ± 0,6	6
28	5830	Löhne WW Br. I	1939	84	3818	80 840	83 165	km4		+	19. 7. 73	11,6	7,9	24	290	54	39	791	146	1345	12,5	– 15,7	11850 ± 230	22,9 ± 0,6	6
29	5829	Löhne WW Br. IV	1955	65	3818	80 945	83 350	km4		+	19. 7. 73	12,2	7,9	28	364	105	35	1189	153	1876	12,8	– 15,7	13850 ± 350	17,7 ± 0,7	7
30	4360	Bad Oeynhausen	1926	725	3818	86 130	84 890	sm	+	+	20. 7. 71	35,7	6,3	7324	1273	270	11257	3317	1045	24544	12,2	– 12,5	18700 ± 1070	9,8 ± 1,3	<1
	7236	Jordan-Sprudel									9. 12. 75	34,2	6,8	6286	1267	329	9857	3366	903	22010		– 0,8	32605 ± 1542	1,7 ± 0,3	<1
31	5838	Bad Oeynhausen	1973	1034	3718	86 160	85 200	sm	+	+	20. 7. 73	36,4	6,1	8002	1341	247	10681	3522	1292	24244	11,4	– 16,1	32400 ± 2900	1,8 ± 0,6	<2
	7237	A.-v.-Humboldt-Sprudel									9. 12. 75	33,6		6524	1180	248	9644	3643	903	22150			29758 ±	2,5 ± 0,4	<2
32	5837	Bad Oeynhausen Wittekind-Brunnen	1876	6	3718	86 070	85 460	Lias		+	20. 7. 73	15,3	6,4	1719	1268	171	4432	900	503	9014	12,8	– 9,2	7630 ± 200	38,6 ± 0,9	68
33	6524	Bad Oeynhausen		66	3818	86 320	84 430	km4	+	+	29. 8. 74	12,4		19	301	51	21	941	18	1357	14,3	–	–	–	<3
	7238	Br. Krankenhaus									9. 12. 75	9,9	8,8	4	396	73	71	1133	122	1801		– 13,8	16709 ± 801	12,5 ± 1,2	<1
34	5834	Bad Oeynhausen Peilrohr 3	1954	46	3818	86 600	84 225	km4	+		20. 7. 73	11,2	6,7	20	490	43	18	1232	183	1988		– 11,1	16650 ± 320	12,6 ± 0,5	<1
35	4896	Bad Oeynhausen	1953	70	3818	86 890	83 580	km4		+	7. 4. 72			20	81	21	50	66	201	460	–	– 14,8	5860 ± 305	48,2 ± 1,8	85
	5836	Br. Flachsiek									20. 7. 73		7,8	12	83	16	25	67	250	465	–	– 14,3	9115 ± 125	32,1 ± 0,5	23
	6523										29. 8. 74	11,8	7,4	16	89	21	32	88	250	500	–	– 13,6	9780 ± 125	29,6 ± 0,5	9
	7239										9. 12. 75	11,8	8,0	18	144	5	21	186	201	590	–	– 15,0	9729 ± 174	29,8 ± 0,6	9,7
36	6525	Vlotho WW Br. 3	1974	90	3819	92 180	81 160	km1	+	+	29. 8. 74	13,4		74	46	7	14	100	244	490	–	– 6,6	13000 ± 120	19,8 ± 0,3	<2
37	4630	Vlotho Rahlbruch-Quelle	?	–	3819	89 980	81 120	?	+		25. 11. 71	11,4	7,9	102	531	92	131	1525	183	2566	14,9	– 9,3	12715 ± 130	20,5 ± 0,3	<3
	5043										21. 11. 72		7,0	90	633	46	128	1454	268	2619			13100 ± 145	19,6 ± 0,3	<3
38	5044	Vlotho Sol-Quelle	?	–	3819	90 050	81 000	?	+		21. 11. 72			1076	489	52	1454	1199	513	4784	14,2		22685 ± 745	5,9 ± 0,5	<3
38a	7242	Vlotho Meßstelle Rahlbruch	1975	33	3819	90 006	80 958	mo2	+		10. 11. 75		7,4	892	293	98	1071	1150	494	3999		– 3,4	24995 ± 765	4,5 ± 0,4	<2
	7243			50				mo1	+		12. 11. 75		7,4	932	392	58	1227	1200	506	4315		– 3,6	26946 ± 2767	3,5 ± 1,2	<2
39	4041	Seebruch Erdfall-Quelle	1970	25	3819	90 260	78 000	?	+		3. 2. 71		7,9	27	478	85	57	1346	134	2127	12	–	10395 ± 130	27,4 ± 0,5	7
	4364										20. 7. 71		7,2	43	529	92	71	1493	201	2429		– 4,8	12520 ± 330	21,1 ± 0,9	6
	4629										25. 11. 71		8	47	561	61	71	1439	220	2401		–	8155 ± 125	36,2 ± 0,6	6
	4897										7. 4. 72		7,1	45	531	87	64	1461	195	2384		– 5,6	11170 ± 170	24,9 ± 0,5	9
	5042										21. 11. 72		7,8	40	535	68	57	1470	165	2338		– 5,4	12510 ± 315	21,1 ± 0,8	8
	6271										3. 4. 74		7,7	29	529	80	53	1464	189	2345	13,6	–	11500 ± 330	23,9 ± 1,0	8
	6490										29. 8. 74	14,4	7,9	47	577	58	64	1472	214	2437		– 5,9	10650 ± 195	26,6 ± 0,6	9
	7241										10. 11. 75		7,9	42	561	88	57	1568	195	2512	11,7	– 5,7	12400 ± 237	21,4 ± 0,6	11,9
40	4358	Seebruch Mineral-Quelle	1963	175	3819	90 320	78 000	km4		+	20. 7. 71	13,5	7,0	35	523	82	71	1397	232	2340	13,3	– 5,9	11515 ± 215	23,9 ± 0,7	4
41	4362	Steinbründorf Brunnen	1964	92	3819	89 410	76 340	mo1		+	20. 7. 71		7,5	7	75	33	11	116	262	512	–	–	10890 ± 140	25,8 ± 0,5	5
	6502									+	29. 8. 74	10,6										– 7,5	11520 ± 240	23,6 ± 0,7	7
42	4361	Lichtensberg Brunnen	1956	120	3819	93 150	76 630	km4		+	20. 7. 71	13,0	7,7	6	38	22	21	20	195	305	–	– 14,8	7475 ± 185	39,4 ± 0,9	7
	4627									+	25. 11. 71	8,0										– 15,1	7210 ± 150	40,8 ± 0,7	16
43	4628	Westorf Brunnen	1956	37	3819	94 690	75 300	ko		+	25. 11. 71	8,5	8,3	7	33	45	21	36	244	385	–	– 12,9	5070 ± 125	53,2 ± 0,8	49
44	4359	Senkelteich Schwefel-Quelle		7	3819	91 590	77 530	km4		+	20. 7. 71		7,2	12	154	22	35	101	421	749	–	– 14,8	285 ± 135	98,4 ± 1,6	90
45	4661	Kalletal Bokemühle	1972	68	3819	96 590	78 750	mo1			16. 11. 71	–	8,2	9	95	21	71	9	305	511	–	–	2605 ± 90	72,3 ± 0,8	–
46	6508	Bad Salzuflen Br. Walhallastraße	1929	70	3918	84 160	72 080	km4		+	29. 8. 74	11,2	7,5	0	62	27	43	76	183	407		– 12,6	8775 ± 330	33,6 ± 1,4	37
47	6510	Breden Brg. Schemmel	1973	91	3918	85 360	71 510	km4			29. 8. 74	11,0	8,3	25	56	18	25	52	220	412		– 13,6	4960 ± 200	53,9 ± 1,4	11
48	6511	Breden Brg. Burwelle	1973	120	3918	85 630	70 610	km4			29. 8. 74	10,8	7,7	15	204	39	35	441	250	986	10,7	– 13,5	7000 ± 95	41,8 ± 0,5	<3
49	6510	Ehrsen-Breden WW	1954	20	3918	86 170	71 670	ko		+	29. 8. 74	10,0	7,6	2	78	28	50	65	183	461		– 12,6	3370 ± 75	65,7 ± 0,6	91
50	6512	Retzen Brg. Sassenholz	1973	180	3918	87 230	69 515	km4			30. 8. 74	–	7,8	12	200	49	35	629	92	1018	11,5	– 13,1	9940 ± 85	29 ± 0,3	<1
51	6513	Retzen Brg. Poten	1973	185	3918	87 520	68 720	km4			30. 8. 74	11,2	7,9	38	67	23	18	15	372	535		– 10,3	17650 ± 150	11,1 ± 0,2	<2
52	6518	Lemgo Br. Brökerberg	1972	152	3919	92 330	70 100	ku + mo2	+	+	28. 8. 74	10,4	–	6	38	53	21	65	311	499		– 12,4	4850 ± 90	54,7 ± 0,6	59
53	6505	Lemgo Q. Lüerdissen	1960	–	3919	95 150	69 480	ku	+	+	28. 8. 74	13,6	7,5	0	99	26	18	164	220	524		– 11,8	4725 ± 130	55,5 ± 0,9	66
54	6517	Lemgo Q. Entrup		–	3919	92 580	68 590	ku	+	+	28. 8. 74	15,0	7,5	0	96	31	22	109	293	558		– 12,4	3555 ± 95	64,2 ± 0,7	87
55	6514	Lemgo Br. Eichen	1954	100	3919	93 910	68 350	km4		+	28. 8. 74	11,9	7,5	8	115	31	27	215	244	575		– 10,9	6275 ± 70	45,8 ± 0,4	38
56	6515	Lemgo Br. Hasenbrede	1965	100	3919	95 980	67 040	km4		+	28. 8. 74	10,8	7,5	0	41	10	21	32	134	241		– 15,6	7535 ± 180	39,1 ± 0,9	33
57	6516	Lemgo Br. Waldfrieden	1973	215	3919	96 910	67 010	km4 – km2		+	28. 8. 74	10,2	8,5	2	46	29	11	33	244	365		– 12,8	16170 ± 260	13,4 ± 0,4	4

[1]) Laborbezeichnung des ^{14}C-Laboratoriums des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, Hannover.

[2]) Die Jahresangabe bezieht sich bei Untersuchungsbohrungen auf den Zeitpunkt der Bohrarbeiten, bei Brunnen auf das Jahr der Inbetriebnahme.

[3]) Artese und Nutzung werden mit einem + angegeben.

[4]) Das Datum bezieht sich auf die Entnahme der Probe für die Isotopenuntersuchung und ist in einigen Fällen nicht mit dem Zeitpunkt der Probenentnahme für die chemische Analyse identisch.