

Diss.  
nicht verleihbar

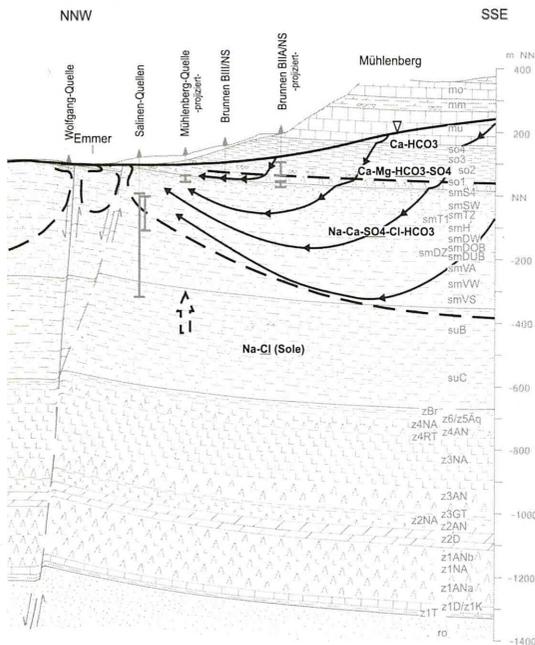
# Geologische Beiträge Hannover

## Geological Contributions Hannover

RB 1126  
(3)

UB/TIB Hannover

Band 3  
2001



Axel Rogge

## Geologie und Hydrogeologie im Raum Bad Pyrmont

unter besonderer Berücksichtigung  
des Quellensystems

Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover



„**Geologische Beiträge Hannover**“ ersetzt die bisherige Schriftenreihe „**Mitteilungen aus dem Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover**“. Frühere Hefte der bisherigen Reihe sind noch erhältlich.

„**Geologische Beiträge Hannover**“ replaces the periodical „**Mitteilungen aus dem Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover**“. Issues of the replaced series are still available.

**Gefördert mit Forschungsmitteln des Landes Niedersachsen**

**Geologische Beiträge Hannover / Geological Contributions Hannover**

**ISSN 1615-6684**

Schriftleitung: Immo Schülke, Rudolf Fischer

Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover

Callinstraße 30

30167 Hannover

Germany

Fax: +49-511-762 2172

E-mail: [schuelke@geowi.uni-hannover.de](mailto:schuelke@geowi.uni-hannover.de)

<http://www.unics.uni-hannover.de/igp/GeolContrHannover.html>

**Geologie und Hydrogeologie im Raum Bad Pyrmont**  
unter besonderer Berücksichtigung des Quellensystems

Vom Fachbereich Geowissenschaften und Geographie  
der Universität Hannover

zur Erlangung des Grades eines

**DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN**

Dr. rer. nat.

genehmigte Dissertation  
von  
Dipl.-Geologe Axel Rogge

geboren am 19.02.1963, in Hannover

2001



Referent: Prof. Dr. Konrad Günther

Korreferent: Prof. Dr. Gert Michel

Tag der Promotion: 15.02.2001

# Geologische Beiträge Hannover

Geological Contributions Hannover

**Band 3**

2001

**Axel Rogge**

## **Geologie und Hydrogeologie im Raum Bad Pyrmont**

**unter besonderer Berücksichtigung des  
Quellensystems**

Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover



Geologische Beiträge Hannover	<b>3</b>	1-76	39 Abb., 10 Tab.	Hannover, November 2001
-------------------------------	----------	------	------------------	-------------------------

# GEO|data

Dienstleistungsgesellschaft für Geologie, Hydrogeologie und Umweltanalytik m. b. H.

Hauptsitz: Carl-Zeiss-Str. 15, 30827 Garbsen

Tel.: (05131) 46 81 40

Fax: (05131) 46 81 60

## Tiefbohrtechnik

- Geologische Bohrungsbearbeitung an Bohrungen zur Kohlenwasserstoffexploration und zu sonstigen Forschungszwecken im In- und Ausland
- Mud-Logging-Service und Samplerdienst
- Komplette Datenerfassung und Datenverarbeitung
- Entwicklung von Meßgeräten
- Software Entwicklung
- Gasmessungen

## Altstandorte und Altlasten

- Beratung
- Projektmanagement
- Ausschreibungen
- Historische Recherchen
- Brachflächenrecycling
- Qualifizierte und von der BAM und der OFD Hannover anerkannte Probenahme der Medien Wasser, Boden, Bodenluft, Luft und Bausubstanz
- Planung und Betreuung von Tiefbaumaßnahmen und Sanierungsanlagen-technik

## Hydrogeologie

- Geologische und hydrogeologische Erkundungen
- Trinkwassererschließungen
- Wasserrechtsanträge
- Wasserschutzgebiete
- Pumpversuche
- Hydraulik
- Modellierungen

## Analytik

- Boden-, Wasser- und Abfallanalytik
- Akkreditierung nach EN 45001
- Anerkannt nach VwV zwischen der BAM und der OFD Hannover
- Zugelassen für Trinkwasseruntersuchungen
- Anerkannte Untersuchungsstelle für Abwasser- und Wasseruntersuchungen der abfallrechtlichen Überwachung
- Vor-Ort-Messungen mittels mobilem ECD/FID-GC, PID, IR-Spektroskopie

## Geologie und Hydrogeologie im Raum Bad Pyrmont unter besonderer Berücksichtigung des Quellensystems

AXEL ROGGE

Rogge & Co. - Hydrogeologie - GmbH, Carl-Zeiss-Straße 2, 30827 Garbsen

---

### Kurzfassung

Unter Einbeziehung neuerer Untersuchungsergebnisse (Geoelektrik, Isotopenhydrologie, Bodenluftanalytik) wird die Hydrodynamik und Hydrochemie von Salz- und Süßwasser samt Mischtypen im Festgesteinsaquifersystem des Raums Pyrmont dargestellt. Es werden Vorstellungen von der Herkunft der Quellen entwickelt, die die Ursachen der unterschiedlichen Beschaffenheit der Quellen aufhellen und den Schutz der Quellen ermöglichen. Die Auswertung neuerer Bohrergebnisse, die Neuinterpretation unterschiedlich alter geophysikalischer Bohrlochmessungen und die Bearbeitung neu entstandener - auch zeitweiliger - Gesteinsaufschlüsse brachte eine Aktualisierung der Kenntnisse vom geologischen Bau des Pyrmonter Gewölbes.

Bad Pyrmont liegt im südniedersächsischen Bergland über einer weitspannigen Aufwölbung triassischer Schichten. Hieraus hat sich durch Reliefumkehr ein Ausräumungskessel mit einer markanten Bergumrahmung entwickelt. Entlang der Gewölbeachse kam es wegen der dort stärksten tektonischen Beanspruchung zur Bildung tiefreichender Verwerfungen. Bedingt durch Subrosion der Zechstein-Chloride im Westteil des Gewölbeuntergrunds quert heute ein „Salzhang“ das Pyrmonter Gewölbe von Nord nach Süd. Westlich desselben ist infolge Subrosion des gasabsperrenden Salzlagers der Weg frei für den Aufstieg tiefenvulkanisch gebildeten Kohlenstoffdioxids.

Ein großräumiger und tiefreichender Grundwasserstrom innerhalb des gesamten Pyrmonter Gewölbes wird in hydraulischen Profilschnitten vorgestellt. Im Bereich der Bergumrahmung überwiegt eine vertikal absteigende Fließkomponente, in einem Übergangsbereich herrscht horizontales Fließen vor, im Bodenbereich des Kessels steigt das Wasser auf. Die Tiefenlage der Salz-/Süßwassergrenzfläche wird durch das Gewicht des auflagernden Süßwasserkörpers bestimmt. Hydro-chemische Profilschnitte zeigen ihren Verlauf sowie eine gewisse hydrochemische Zonierung des Süßwassers. Genetische Beziehungen zwischen beiden Wassertypen und innerhalb der chemischen Zonen des Süßwasserkörpers werden aufgezeigt. Die Kenntnisse über die hydrogeologischen Zusammenhänge des Aquifersystems von Bad Pyrmont ermöglichen ein dichtes Nebeneinander von Wasserentnahmestellen für unterschiedliche Nutzungen (Heil-, Mineral-, Trink- und Brauchwasser).

### Abstract

The hydrodynamics and hydrochemistry of salt and fresh water from solid rock aquifer systems in the Pyrmont area are described and interpreted on the basis of recent investigations including geoelectrics, isotope hydrology, soil air analysis. Theories on the source of the springs in this area are developed, which explain the different compositions of the springs and make it possible to protect them. Data from new and re-interpreted drill holes, borehole logs and outcrops suggest a revision of the geological structure of the Pyrmont dome.

Bad Pyrmont is situated on a wide dome of Triassic rocks in the southern part of the Lower Saxony uplands. Inversion of the relief has caused the development of an erosional basin surrounded by prominent ridges. Deep faults developed at the crest of the dome as this part of the structure was subjected to the strongest tectonic stress. Subrosion of the Zechstein salts in the western part of the dome has caused the main salt bed to wedge out below the western part of the dome along a N-S striking structure; this structure is referred to as the „Salzhang“ (salt slope). West of the „Salzhang“, where subrosion

has removed the salt bed that prevents gas rising from below, carbon dioxide of deep volcanic origin can now rise to the surface.

Hydraulic cross sections illustrate the presence of extensive and deep-seated groundwater flow within the entire Pyrmont dome. While groundwater flow is directed vertically downwards in the ridges surrounding the dome, centripetal horizontal flow predominates the intermediate area. In the central part of the dome, groundwater rises to join the River Emmer, which is the main receiving water course in the central part of the eroded basin. The depth of the saltwater/freshwater interface is determined by the weight of the superimposed freshwater body. Hydrochemical cross sections show the shape and position of the interface and document a certain degree of hydrochemical zonation of the gently mineralized fresh water. Genetic relationships between the two main water types and the hydrochemical zones of the freshwater body are discussed. The knowledge of the hydrogeological relationship in the Bad Pyrmont aquifer systems permits a spatially narrow coexistence of wells withdrawing groundwater for different purposes (medicinal, mineral, drinking and industrial water).

**Keywords:** Hydrogeology, Pad Pyrmont, freshwater/saltwater flow system, Bunter sandstone, carbon dioxide

## VORWORT UND DANKSAGUNG

Die vorliegende Dissertation entstand auf Anregung von Herrn Dr. Johann-Peter Groetzner vom Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover. Für sein stetes Interesse am Fortgang der Arbeit und seine immerwährende Bereitschaft zur Diskussion danke ich ihm.

Die Durchführung dieser Arbeit wurde durch die finanzielle Förderung durch den Niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kultur im Rahmen des Forschungsvorhabens „Hydrogeologie im Raum Bad Pyrmont“ ermöglicht, wofür ich mich an dieser Stelle bedanke.

Als Antragsteller dieses Forschungsprogrammes fungierte Herr Prof. Dr. Dierk Henningsen vom Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover. Für die Übernahme dieser Funktion und die gewährte Hilfestellung im Umgang mit der Verwaltung möchte ich ihm herzlich danken.

Ich danke meinem Betreuer, Herrn Prof. Dr. Gert Michel in seiner Eigenschaft als Lehrbeauftragter der Universität Hannover, für seine motivierende Unterstützung sowie für wertvolle fachliche Diskussionen.

Ebenso danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Konrad Günther vom Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover für sein förderndes Interesse und die konstruktive Durchsicht des Manuskriptes.

Dem Niedersächsischen Staatsbad Pyrmont, der Stadt Bad Pyrmont und der Firma Bad Pyrmont Mineral- und Heilwasser GmbH danke ich für die Bereitstellung von Daten, ohne die diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Mein besonderer Dank gilt weiterhin folgenden Personen und Institutionen:

- Herrn Prof. Dr. Peter-Christoph Scherler, ehemals Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, für verschiedenste fachliche Anregungen und Hinweise.
- Herrn Dr. Heinz-Gerd Röhling, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, für die Zusammenarbeit bei der Neuinterpretation geophysikalischer Bohrlochmessungen.
- dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben -, Frau Diplom-Geophysikerin Eva Brost sowie den Technischen Angestellten Herrn G. Brost und Herrn M. Ebert für die Durchführung der geoelektrischen Messungen.
- dem <sup>14</sup>C- und <sup>3</sup>H-Laboratorium des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, Herrn Prof. Dr. Mebus A. Geyh, für die Überlassung von isotopehydrologischen Untersuchungsergebnissen.
- Frau Diplom-Geographin Susanne Schweizer (Rogge & Co. Hydrogeologie GmbH) für die Unterstützung bei der Erstellung der Abbildungen und Tabellen.
- Herrn cand.-geol. Ralf Ronschke (Rogge & Co. Hydrogeologie GmbH) für die digitale Bearbeitung der Profilschnitte.
- Allen hier nicht namentlich erwähnten Freunden und Kollegen vom Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover, dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, der GEOdata GmbH, der Rogge & Co. GmbH und aus dem privaten Bereich, die mich durch vielerlei Hilfen bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützten, sei hiermit herzlich gedankt.

Ganz besonderen Dank schulde ich meiner Familie, die durch ihre Rücksichtnahme und ihre ideelle Unterstützung mein Studium ermöglicht hat.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	4
1.1	Anlaß und Zielsetzung der Arbeit.....	4
1.2	Frühere Arbeiten.....	5
1.3	Historie der Pyrmonter Quellen.....	6
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN UND ARBEITSMETHODEN</b> .....	9
<b>3</b>	<b>GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK</b> .....	10
3.1	Naturraumgliederung.....	10
3.2	Flächennutzung.....	11
<b>4</b>	<b>GEOLOGISCHER BAU</b> .....	11
4.1	Regionalgeologischer Überblick.....	11
4.2	Schichtenfolge und Gesteinsbeschreibung.....	11
4.2.1	Rotliegendes.....	11
4.2.2	Zechstein.....	14
4.2.3	Buntsandstein.....	16
4.2.3.1	Unterer Buntsandstein.....	17
4.2.3.2	Mittlerer Buntsandstein.....	17
4.2.3.3	Oberer Buntsandstein.....	20
4.2.4	Muschelkalk.....	20
4.2.5	Keuper.....	21
4.2.6	Jura und Tertiär.....	21
4.2.7	Quartär.....	21
4.3	Tektonischer Bau.....	23
4.4	Abriß der geologischen Entwicklung des Gebietes.....	31
4.5	Alter und Genese des Kohlenstoffdioxids.....	33
<b>5</b>	<b>HYDROLOGIE</b> .....	36
5.1	Gewässernetz und oberirdische Wasserscheiden.....	36
5.2	Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung.....	36
<b>6</b>	<b>HYDROGEOLOGIE</b> .....	43
6.1	Regionalhydrogeologischer Überblick.....	43
6.2	Charakteristik des Aquifersystems.....	45
6.3	Grundwasserbewegung.....	47
6.3.1	Grundwasserfließsystem.....	47
6.3.2	Aufstiegsmechanismen der Sole in Wechselwirkung mit oberflächennahem Grundwasser.....	48
6.3.3	Grundwassereinzugsgebiet der Pyrmonter Quellen und Brunnen.....	49
<b>7</b>	<b>GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT</b> .....	51
7.1	Isotopenhydrologische Ergebnisse.....	51
7.2	Hydrochemische Typisierung.....	56
7.3	Genese.....	57
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE</b> .....	59
<b>9</b>	<b>LITERATUR</b> .....	61
<b>10</b>	<b>ANHANG</b> .....	65
10.1	Beschreibung der staatlich anerkannten Heilquellen in Bad Pyrmont.....	65
10.2	Weitere Grundwasserentnahmen.....	72

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 Anlaß und Zielsetzung der Arbeit

Die niedersächsische Stadt Bad Pyrmont liegt an der Landesgrenze zu Nordrhein-Westfalen am südwestlichen Rand des Regierungsbezirkes Hannover im Landkreis Hameln - Pyrmont. Die vorliegende Betrachtung konzentriert sich im wesentlichen auf den Pyrmont Talkessel und seine Bergumrahmung. Darüber hinaus wird die gesamte als „Pyrmont Gewölbe“ bezeichnete regionalgeologische Einheit berücksichtigt, die eine Fläche von etwa 420 km<sup>2</sup> bedeckt (Abb. 1).

Die topographische Kartengrundlage besteht aus den TK25 Bad Pyrmont (Nr.4021) und Teilen der TK25 Aerzen (Nr.3921), TK25 Ottenstein (Nr.4022), TK25 Hameln Süd (Nr.3922), TK25 Blomberg (Nr.4020) und TK25 Extertal (Nr.3920).

Beim Pyrmont Talkessel handelt es sich um einen etwas exzentrisch über einer Schichtenaufwölbung im Verlauf der „Pyrmont-Piesberg-Achse“ gelegenen Ausräumungskessel mit Reliefumkehr und damit ei-

ner dem niedersächsischen Tektogen zugehörigen Struktur. Quer durch den Untergrund des Pyrmont Talkessels verläuft in Form eines „Salzhanges“ der Grenzbereich zwischen dem durch Auflösung salzfrei gewordenen und dem unversehrten, im Bereich von Bad Pyrmont verbreiteten sogenannten Deckgebirgsschichtkomplex. Senkungsstrukturen (Holzhäuser Erdfälle, kleinere suberosionsbedingte Torfgebiete) und die Solquellen selbst geben Hinweise auf noch andauernde Salzauflösung im Untergrund.

In Bad Pyrmont sind heute insgesamt 13 Heilquellen vorhanden, die sich nach ihrer Beschaffenheit und Genese in 3 Hauptgruppen gliedern lassen. Neben Heilwasser werden im Pyrmont Talkessel bedeutende Mengen Mineral- und Trinkwasser gewonnen (Abb. 2). Eine Besonderheit für Niedersachsen stellt das Nebeneinander von Sole und Kohlenstoffdioxid in den Pyrmont Heilquellen dar. Diese auch historisch bedeutsamen Heilquellen wurden in einer Vielzahl von Arbeiten auf Ergiebigkeit, Chemismus, geologischer Rahmenbedingungen etc. untersucht, zuletzt durch Herrmann (1969a,b), der sich vor allem mit dem Verhalten von Sole und Kohlenstoffdioxid beim Aufstieg

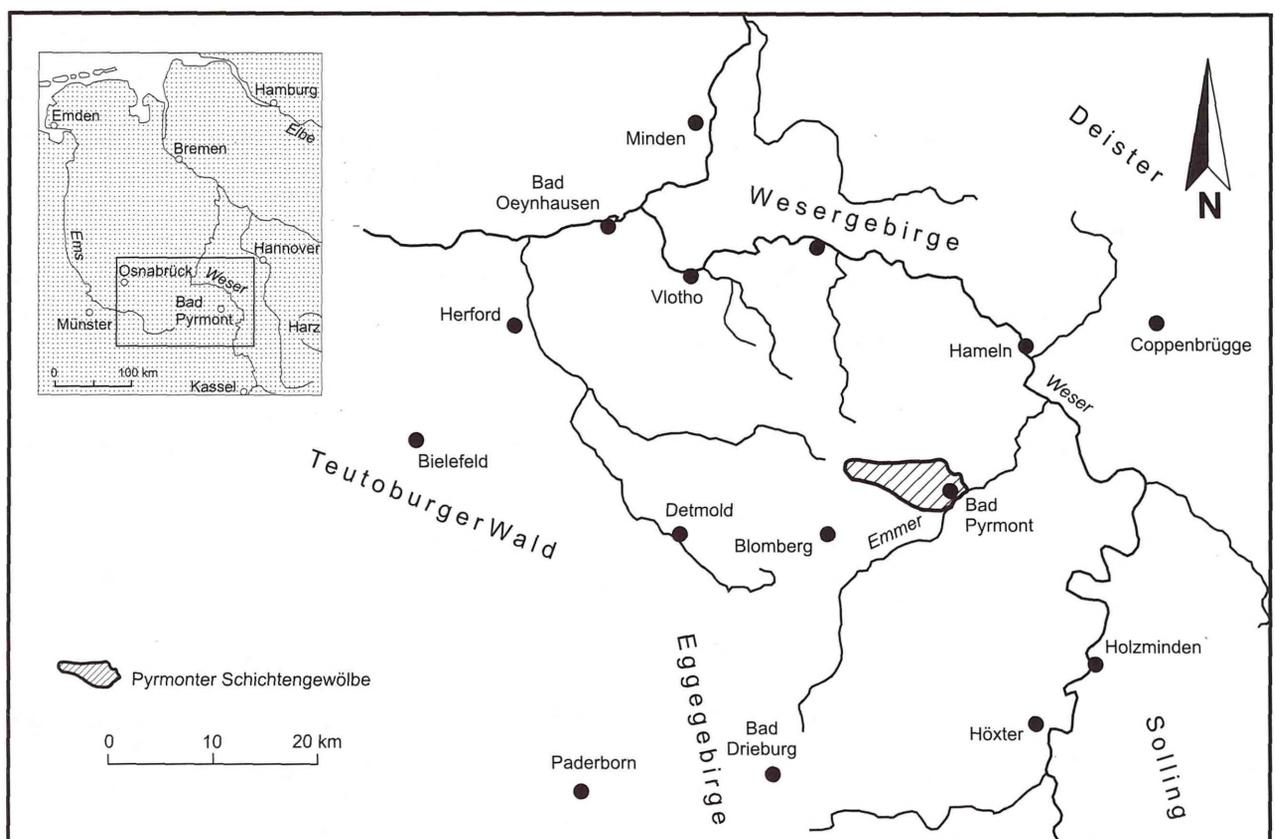


Abb. 1: - Lage des Untersuchungsgebietes.

Fig. 1: - Investigation area in Northwestern Germany.

und der Wirkung von Kohlenstoffdioxid auf die Subrosion/Salzauflösung befaßte. Seitdem hat es keine Untersuchung über den geologischen Bau und das Quellensystem mehr gegeben. Eine Vielzahl von Befunden aus inzwischen durchgeführten neueren Aufschlußbohrungen, Wasseranalysen und hydrologischen Isotopenbestimmungen erlauben aber, zusammen mit den im Forschungsprojekt "Hydrogeologie der Heilquellen von Bad Pyrmont" durchgeführten Geländearbeiten, bestehend aus der Bearbeitung neu entstandener Gesteinsaufschlüsse, der Durchführung geoelektrischer Messungen sowie Bodenluftuntersuchungen und unter Einbeziehung umfangreichen älteren Materials erstmalig eine synoptische Bearbeitung der Hydrogeologie des Pyrmonter Raumes.

Die Ziele der vorliegenden Arbeit sind:

- a) Aktualisierung der Kenntnisse vom geologischen Bau des Pyrmonter Beckens, insbesondere:
  - der Schichtfolge,
  - der Lagerungsverhältnisse (Tektonik),
  - der Lage und Entstehung des Zechstein-Salzhangs im tieferen Untergrund sowie des Einflusses der Subrosion auf die Oberflächengestalt,
  - der Darstellung der geologischen Entwicklungsgeschichte.
- b) Erkundung der hydrogeologischen Verhältnisse unter besonderer Berücksichtigung des Heilquellensystems. Dazu gehört die:
  - Erfassung von Quellschüttungen und Wasserentnahmen aller Art
  - Ermittlung der hydraulischen Verhältnisse
  - Klärung der Aufstiegsmechanismen der Sole in Wechselwirkung mit oberflächennahem Grundwasser
  - Ermittlung der jeweiligen Einzugsgebiete der Heilquellen.
  - Ermittlung der hydrochemischen und isotopenhydrologischen Eigenschaften des Wassers
- c) Ermittlung der Herkunft des CO<sub>2</sub>:
  - als thermisches Zersetzungsprodukt aus Karbonatgesteinen des Zechsteins
  - oder als „juvenile“ Zufuhr im Zusammenhang mit der Entstehung des Vlothoer Massivs (Kreide) oder dem Basaltvulkanismus in Nordhessen/Südniedersachsen (Jungtertiär)?

## 1.2 Frühere Arbeiten

Erstmals schriftlich erwähnt und beschrieben wurden die Pyrmonter Quellen vor 1370 in den lateinischen Schriften des Dominikanermönches Heinrich von Herford. Die wissenschaftliche Bearbeitung derselben erfolgte zuerst durch den seit 1712 in Pyrmont wirkenden Badearzt Johann Philipp Seip (1750). Er entdeckte die Dunsthöhle sowie den Bergsäuerling - heute Staatl. Pyrmonter Säuerling - und vermittelte den Mineralwasserversand nach England. Sein Werk „Neue Beschreibung der Pyrmonter Stahlbrunnen“ enthält neben Angaben zur Wirkung und Anwendung des Pyrmonter Wassers auch hydrochemische Analysen und einen Abriß der Pyrmonter Geographie (Lilge 1992). Seitdem haben sich Pyrmonter Ärzte und Apotheker mehrfach mit der Beschaffenheit und Genese der Quellen befaßt, darunter Marcard (1784, 1810), Westrumb (1787), Trampel (1794), Brandes & Krüger (1826), Menke (1840).

Die ersten bemerkenswerten geologischen Beschreibungen stammen von Ludwig (1881), Hülsenbeck (1919), Grupe (1927b) und Frebold (1929). Die im wesentlichen von Hülsenbeck eingeführte Vorstellung von der Herkunft der Pyrmonter Quellen besagt, daß diese zu einem kleinen Teil juveniles, aus der Tiefe aufsteigendes, mit Kohlensäure und Schwermetallen beladenes Wasser führen. Ihm sind größere Mengen vadosen im Kreislauf befindlichen Wassers beige-mischt, dessen Mineralgehalt den löslichen Gesteinen der Zechsteinformation entstammt.

In den Jahren 1913 bis 1931 wurden im Raum Pyrmont drei Tiefbohrungen niedergebracht: die Bohrung „Sonneborn“ (S) bei der gleichnamigen Ortschaft zur Prospektion von Kalisalz sowie die beiden Thermalbohrungen „Pyrmont 1“ (P1) und „Pyrmont 2“ (P2). Die aus diesen Bohrungen gewonnene Kenntnis des tieferen Untergrundes ermöglichte Herrmann (1969a, 1969b), detailliertere Vorstellungen von der Herkunft der Pyrmonter Quellen zu entwickeln und damit auch die Ursachen der unterschiedlichen Beschaffenheit der Quellen aufzuhellen (Abb.4).

Nach Herrmann (1969a) bilden die in Bad Pyrmont gefaßten Heilquellen nach Lage und Mineralisation zwei Gruppen: eine nördliche Gruppe kochsalzärmer auf natürliche Weise austretender Säuerlinge und eine südöstliche Gruppe künstlich erschlossener kochsalzreicher Säuerlinge. Aus der Einzelbetrachtung ergibt sich für Herrmann (1969a) folgendes Gesamtbild der Pyrmonter Quellen:

Eisenhaltiges Säuerlingswasser steigt in der durch Subrosion salzfrei gewordenen Umgebung des Gewöl-

bescheitels ohne Berührung mit Salz nach oben. Westlich von Holzhausen (Abb. 2) nimmt es - aus Zuflüssen vom Salzhang - geringe Mengen von Kochsalz auf und fließt durch die Schichten des Buntsandsteins zu den Quellspalten (Verwerfungszonen) am Fuß des Bombergs. Das kochsalzarme Mischwasser tritt als eisenführender Säuerling zutage.

Südlich der Ortschaft Holzhausen mischt sich das im Auslaugungsgebiet aufsteigende Säuerlingswasser mit größeren Mengen der vom Salzhang kommenden Sole und fließt in Klüften des Unteren und Mittleren Buntsandsteins im Untergrund der Emmerniederung langsam nach Osten. Auf seinem Weg nimmt es teils „süßes“ Grundwasser, teils - unter Rötbedeckung - sulfatreiches Grundwasser auf und wird dadurch unterschiedlich verdünnt.

Neben Schriften über Beschaffenheit und Herkunft der Heilquellen von Bad Pyrmont sowie zur Auslaugungs- tektonik in der Pyrmonter Schichtenaufwölbung verfaßte Herrmann eine Vielzahl weiterer Beiträge über geologische Phänomene in diesem Raum. Eine ausführliche Zusammenstellung dieser Literatur findet sich in Scherler (1990). Seit Herrmann (1969a, b) hat sich kein Autor mehr mit der Geologie und Hydrogeologie, insbesondere den Aufstiegsmechanismen der Quellen und Subrosionsmechanismen befaßt.

### 1.3 Historie der Pyrmonter Quellen

Älteste Spuren der frühen Bedeutung der Pyrmonter Quellen stammen aus den ersten Jahrhunderten n. Chr. Der Geologe Rudolph Ludwig entdeckte 1863 bei der Neufassung des Brodelbrunnens einen frühgeschichtlichen Hortfund. Dieser etwa zwischen Christi Geburt und dem 4./5. Jahrhundert zu datierende „Pyrmonter Brunnenfund“ umfaßte etwa 320 Fundstücke, darunter 240 sogenannte Fibeln (Gewandschließen), eine emaillierte Schöpfkelle, drei römische Münzen, einen Spiralfingerring, Holzschalen und Fruchtreste. Es handelt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um Brunnen- oder Quellopfere, die im Laufe von rund vier Jahrhunderten in der Quelle niedergelegt wurden.

Von der Zeit dieser römisch-germanischen Opfergaben bis ins spätere Mittelalter liegen fast keine Berichte über die Pyrmonter Quellen vor. Erst etwa 1370 erwähnte der Dominikanermönch Heinrich von Herford in seiner Weltgeschichte auch die Pyrmonter Quellen als fons sacer für den Hylligen Born und fons bulliens für den Brodelbrunnen.

Im Frühjahr 1556, zur Zeit der Herrschaft des Grafen von Spiegelberg, brach über das Pyrmonter Tal das

sogenannte „Wundergeläuf“ herein. Verschiedenen Berichten ist zu entnehmen, daß Tausende von Menschen verschiedener Stände aus ganz Europa kamen und sich wundersame Heilung ihrer Krankheiten durch das Wasser des Hylligen Borns erhofften. Dieser plötzliche Wunderglaube stand vielleicht mit dem etwa zeitgleichen Erscheinen eines großen Kometen in Verbindung. Eine Stadt gab es an den Quellen damals noch nicht, sie entstand erst rund hundert Jahre später. In der benachbarten Stadt Lügde, den umliegenden Dörfern und auf den heranführenden Straßen herrschten aufgrund der vielen Menschen chaotische Unterbringungs- und Versorgungszustände. Im Spätsommer 1557 verlief sich das „Wundergeläuf“ ähnlich schnell wie es gekommen war.

1600 wurde der Hyllige Born erstmals mit einem Brunnenhäuschen überbaut. Erste Kuranlagen entstanden 1668 auf Anweisung des Fürsten von Waldeck. Der Hyllige Born und der Brodelbrunnen bildeten den Mittelpunkt der sich entwickelnden Kurstadt. Die übrigen mineralstoffreichen Säuerlinge dieses Quellbezirkes wurden erst später entdeckt: 1717 der Bergsäuerling - heute Staatl. Pyrmonter Säuerling -, 1755 der Augenbrunnen, 1844 die sehr ergiebige Helenen-Quelle und erst 1907 die heute frei zugängliche Friedrichs-Quelle.

Während des 17. Jahrhunderts gewann die Trinkkur gegenüber dem Baden an Bedeutung, nicht zuletzt wegen des massenhaften Auftretens der Syphilis. Der Hyllige Born war der Haupt-Trinkbrunnen; dort wurde bereits früher auch Wasser der übrigen Quellen und Brunnen gereicht.

Kleine kochsalzreiche Quellen in der Emmerniederung waren zwar schon sehr früh bekannt, doch an eine medizinische Nutzung dachte man vorerst nicht. Eine erste ergiebige Solequelle wurde 1732 entdeckt, die heutige Hufeland-Quelle I. Aus ihrer Sole gewannen die Pyrmonter mittels drei Gradierwerken größere Mengen Salz, das sie zeitweise auch in paderbornische und hannoversche Gebiete exportierten. Mit Anschluß an den Norddeutschen Bund endete die Konkurrenzfähigkeit der Pyrmonter Saline 1867 infolge des nun einheitlichen großen Wirtschaftsraumes.

Die Anwendung der kohlenstoffdioxidhaltigen Sole bei Bade- und Trinkkuren erfolgte erstmals durch den Pyrmonter Mediziner Trampel, der 1793 dicht bei der Hufeland-Quelle I eine zweite kochsalzreiche Quelle, die Wolfgang-Quelle I entdeckte (Trampel 1794). In den Jahren 1856-59 war am Fuße des Mühlenberges die Salinen-Quelle I künstlich durch eine Bohrung erschlossen worden. Obwohl ihr Gehalt an Natrium und Chlorid höher war als der der natürlich austretenden

**Quellen in der Emmerniederung, konnte die Schließung der Pyrmonter Saline nicht verhindert werden. In unmittelbarer Nähe der Salinen-Quelle I liegt heute die 1968-70 abgeteufte Salinen-Quelle II. Die Sole dieser beiden Quellen dient der Versorgung des Solebewegungsbades im Königin-Luise-Bad, im Hufelandbad und der Fürstenhofklinik.**

1910 wandte sich die Fürstlich Waldeckische Brunnen-Direktion in Pyrmont an die Direktoren der Hessischen und der Preußischen Geologischen Landesanstalt, um durch deren Gutachten klären zu lassen, ob in Pyrmont Thermalwasser erbohrt werden könne. Die Gutachten der Geologen R. Lepsius in Darmstadt, F. Beyschlag in Berlin und H. Stille, damals in Hannover, bezeichneten übereinstimmend die Emmeraue südöstlich der Stadt, wo eine in der Talrichtung streichende Verwerfungszone angenommen wurde, als günstig für einen Bohransatzpunkt. Zum Niederbringen einer Bohrung kam es vorerst nicht. Erst 1921 griff die Bad Pyrmont AG die Frage einer Thermalbohrung wieder auf. Den Bohransatzpunkt gab H. Stille auf dem linken Ufer der Emmer, etwa 500 m unterhalb der Dringenauer Mühle, an. Die 1924 begonnene Bohrung „Pyrmont 1“ saß im November 1925 im Karbonatgestein des Unteren Zechsteins in 1259,5 m Tiefe fest. Bei den Fangarbeiten brach Kohlenstoffdioxid mit Spülung und Sole aus, und im Januar 1926 warf ein CO<sub>2</sub>-Ausbruch 1700 kg Bohrgerät aus dem Bohrloch. Die Temperatur der Sole betrug bis zu 32° C, der Salzgehalt etwa 22 %. Mit diesen Eigenschaften war die erbohrte Sole kein badefähiges Thermalwasser.

Eine zweite Thermalbohrung - „Pyrmont 2“ - wurde zwischen 1929 und 1931 am Hang des Iberges nördlich von Holzhausen niedergebracht. Stille rechnete dort mit einer geringeren Salzmächtigkeit. Im Dezember 1930 war die Zechsteinbasis in 1323 m Tiefe durchfahren und Sandstein angetroffen worden. Wenige Tage später ereignete sich der erste Ausbruch von Kohlenstoffdioxid-Gas. Der Salzgehalt von etwa 23 % war auch hier nach damaliger Einschätzung für eine balneologische Verwendung noch zu hoch. Die Temperatur betrug beim Pumpbetrieb 23 bis 32° C.

Der Versand von Pyrmonter Mineral- und Heilwasser begann bereits im 18. Jahrhundert durch die fürstliche Brunnenverwaltung. Etwa seit 1899 erfolgte der Flaschenversand durch die Pyrmonter Firma Gebrüder Vietmeyer, deren Nachfolgerin die Bad Pyrmonter Mineral- und Heilquellen GmbH ist. Angesichts des steigenden Absatzes von Mineralwasser führte dieses Unternehmen Ende der 70er Jahre ein umfangreiches Bohrprogramm durch. Mit der Mühlenberg- und der Katharinen-Quelle wurde am Hang des Mühlenberges

ein mineralreiches Sulfat-Wasser erschlossen, das neben dem mineralarmen bis mineralreichen Hydrogenkarbonat-Wasser des nördlichen Quellbezirkes unterhalb des Bomberges und dem sehr hoch mineralisierten Chlorid-Wasser der Salinenquellen den dritten Hauptwassertyp in Bad Pyrmont darstellt (Kap. 7.2.). Als Reaktion auf Änderungen im Verbraucherverhalten erschloß das Unternehmen Ende der 80er Jahre am Mühlenberg Wasser mit geringerem Gehalt an Natrium. Dieses deckt heute den größten Teil des Mineralwasserbedarfes.

Am Osthang des Hohberges befinden sich die Brunnen des Wasserwerks Hohenborn der Stadtwerke Bad Pyrmont, die seit dem Bau der zentralen Wasserleitung 1895 die Stadt mit Trinkwasser versorgen. Die 1907 erschlossene Steinmeier-Quelle am Südhang des Bomberges und die 1910 gefaßte Iberg-Quelle versorgen das Staatsbad mit Süßwasser. Das privatwirtschaftlich geführte Wasserwerk Emme nördlich Holzhausen liefert ebenfalls Trinkwasser an die Stadt und das Staatsbad (Lilge 1992).

Bad Pyrmont bietet heute eine breite Palette natürlicher Heilmittel an: Kalte Sole, Sulfatwasser, Sauerlinge, trockene „Kohlensäure“ und Badetorf. Lediglich Thermal- und Schwefelwasser fehlen (Michel 1995). Interessante Beiträge zur Geschichte der Pyrmonter Quellen und Angaben über weiterführende Literatur finden sich in Garfs (1969) und Lilge (1992). Eine umfassende Dokumentation der Mineral- und Heilwasservorkommen in Nordrhein-Westfalen und den angrenzenden Gebieten lieferten Michel et al. (1998).

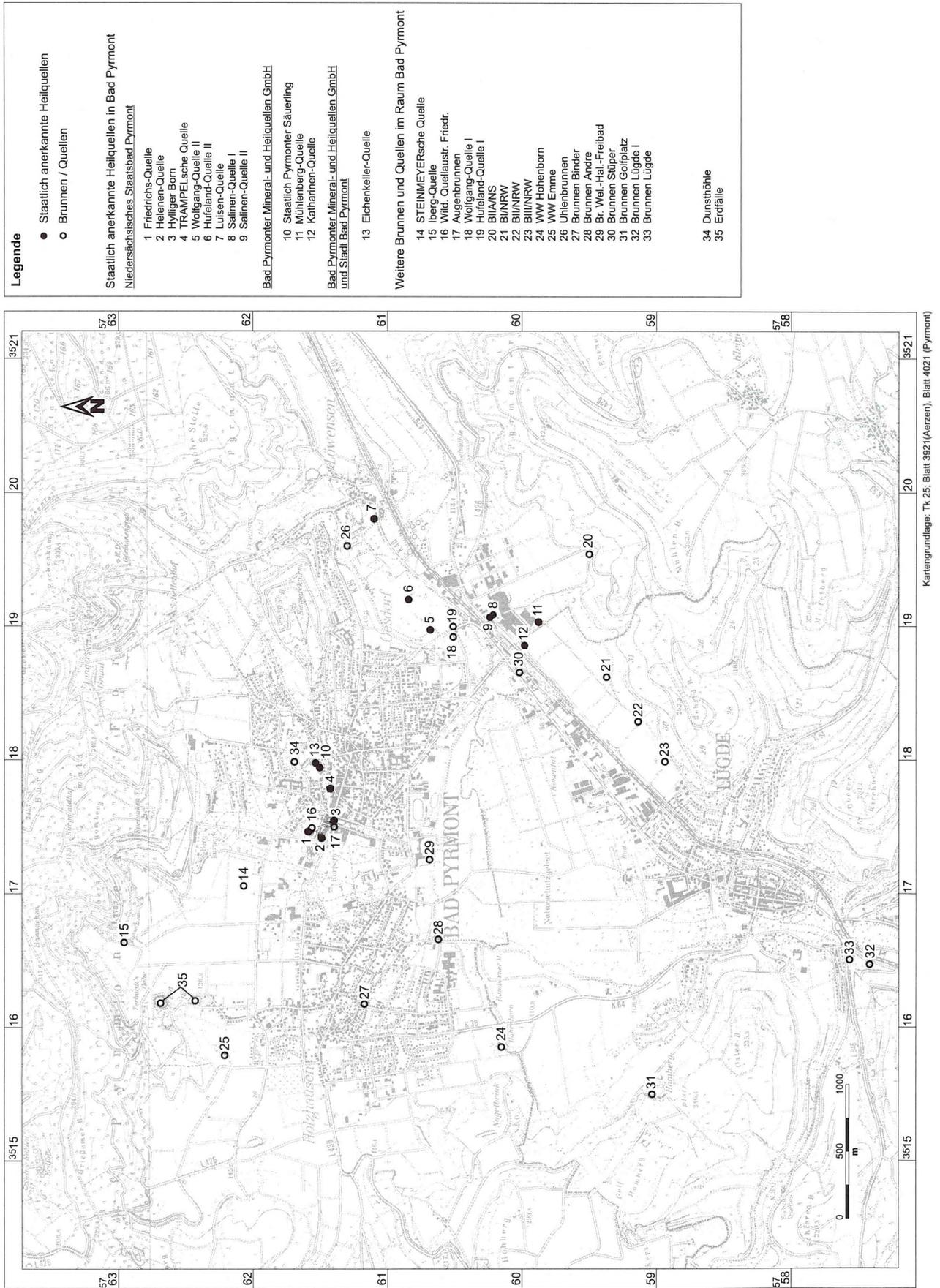


Abb. 2: - Lageplan.

Fig. 2: - Area of investigation.

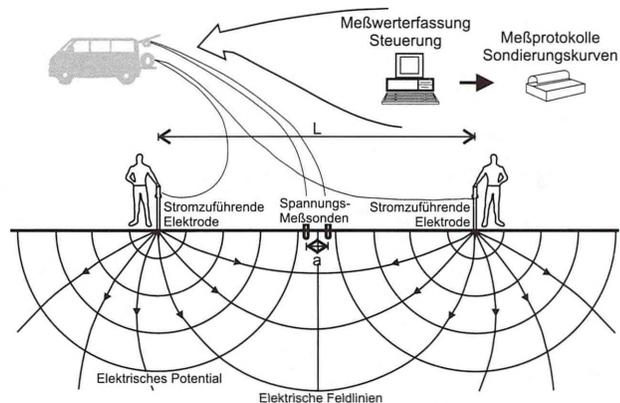
## 2 GRUNDLAGEN UND ARBEITSMETHODEN

Zu Beginn des Vorhabens wurde umfangreiches Literatur- und Archivmaterial u.a. im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB), im Staatsbad Pyrmont und in der Stadt Bad Pyrmont gesichtet. Suchthemen waren Unterlagen über die Quellen und Brunnen des Staatsbades und der Stadt Bad Pyrmont, die Brunnen der Bad Pyrmont M+H GmbH, die Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung sowie alle weiteren Brunnen, Quellen, Meßstellen und Gewässer im Raum Bad Pyrmont Insgesamt sind mehr als 40 Probeungsstellen berücksichtigt worden (Abb. 2).

Eine Aktualisierung der Kenntnisse vom geologischen Bau des Pyrmont Gewölbes brachte die Auswertung neuerer Bohrergebnisse sowie die Neuinterpretation unterschiedlich alter geophysikalischer Bohrlochmessungen (Gamma-Ray).

Im Gelände wurden neu entstandene sowie auch nur zeitweilig vorhandene Gesteinsaufschlüsse bearbeitet. Zur Klärung spezieller örtlicher Fragestellungen wurden mehr als 100 flache Handbohrungen abgeteuft. Während des Untersuchungszeitraums niedergebrachte tiefere Aufschlußbohrungen (3 Stck.) wurden beaufsichtigt und deren Ergebnisse ausgewertet.

In Zusammenarbeit mit dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung - Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (NLfB-GGA) erfolgten im Raum Bad Pyrmont geoelektrische Messungen. Deren Ziel war, Informationen über den geologischen Bau des flachen Untergrundes und über die Verbreitung der geogenen Grundwasserversalzung zu gewinnen. Die Messungen wurden mittels Gleichstrom-Tiefen-Sondierungen durchgeführt. Dabei wird ein stationäres elektrisches Feld künstlich erzeugt, das in der sog. Schlumberger-Anordnung (Vierpunktmethod) gemessen wird (Abb. 3). Über zwei Elektroden im Abstand  $L$  wird dem Untergrund Gleichstrom zugeführt und die Potentialunterschiede zwischen zwei eng benachbarten Sonden die sich im Abstand  $a$  in der Mitte der Meßanordnung befinden, gemessen. Um eine Aussage über die Tiefenlage einzelner Schichten zu erhalten, sind mehrere Einzelmessungen mit unterschiedlichen Elektrodenabständen  $L$  erforderlich. Aus Stromstärke, Spannung und einem Geometriefaktor läßt sich der scheinbare spezifische Widerstand  $\rho_s$  berechnen. Die Werte von  $\rho_s$  werden auf doppellogarithmischem Papier als Funktion der gemessenen halben Elektrodenabstände  $L/2$  dargestellt und zu einer „Sondierungskurve“ verbunden. Im Untersuchungsgebiet wurden Auslagen bis zu  $L/2 = 500$  m verwendet. Die Auslagerung wurde den Geländebedingungen angepaßt.



**Abb. 3:** - Geoelektrische Tiefenmessung - mit Gleichstrom.

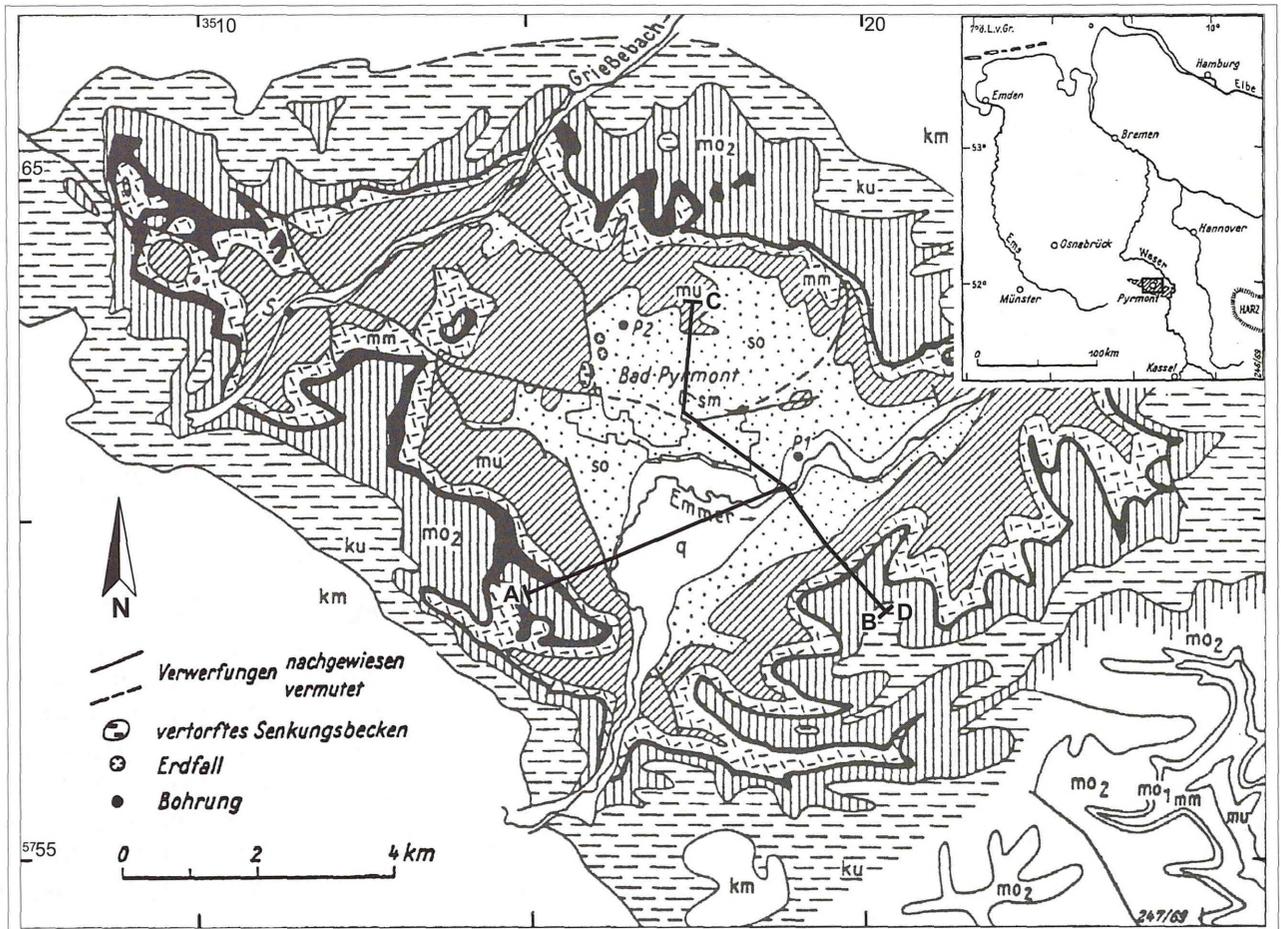
**Fig. 3:** - Geoelectric deep soundings with direct current.

Aus einer Sondierungskurve können zumeist die Anzahl der Schichten, die Schichtmächtigkeiten und die spezifischen Schichtwiderstände entnommen werden. Diese Werte erhält man durch Auswerteverfahren, die entweder auf dem Vergleich mit Modellkurven beruhen (unter Verwendung von Hilfspunktverfahren) (Mundry & Homilius 1980) oder auf dem Rechenprogramm INGESO (Dennert & Mundry 1979), einem Umkehrverfahren, basieren.

Aus den Ergebnissen der Einzelauswertungen von Sondierungskurven werden geoelektrische Vertikalschnitte oder Tiefenlinienpläne konstruiert, in denen alle erkennbaren spezifischen Schichtwiderstände und Schichtmächtigkeiten enthalten sind. Die Originalkurven werden im BGR/NLfB-Archiv, Hannover, aufbewahrt (Brost & Rogge 1995, vgl. auch Kap. 4.3: Abb. 12, 13 und 15).

Die Anwendbarkeit dieser Methode setzt eine ausreichende Porosität der obersten Gesteinsschichten voraus. Diese sollten petrographisch möglichst gleichmäßig ausgebildet sein. Einlagerungen von z.B. tonigem, d.h. geringer durchlässigem Material, das eine Ablenkung des aus der Tiefe aufsteigenden  $\text{CO}_2$ -Gases erzeugt, können zu Fehlinterpretationen führen.

Zur genetischen Unterscheidung der Grundwassertypen erfolgte die Auswertung einer Vielzahl hydrochemischer Analysen (Kap. 7.). Weiterhin wurden die Ergebnisse eines umfangreichen, vom NLfB bereits durchgeführten isopenhydrologischen Untersuchungsprogramms interpretiert. Von Bedeutung für die Ermittlung von Herkunft und Genese des Grundwassers sind neben Auswertung und Darstellung der hydrochemischen Situation die hydraulischen Verhältnisse. Hierzu wurden insbesondere Grundwasserstände und Quellüberlaufhöhen ermittelt und ausgewertet (Kap. 6).



#### Legende

q Quartär  
 km Mittlerer Keuper  
 ku Unterer Keuper

mo2 Oberer Muschelkalk, Ceratitenschichten  
 mo1 Oberer Muschelkalk, Trochitenkalk  
 mm Mittlerer Muschelkalk  
 mu Unterer Muschelkalk

so Oberer Buntsandstein

A-A' B Lage der Schnittlinien

#### Bohrungen:

P1 "Pyrmont 1"  
 P2 "Pyrmont 2"  
 S "Sonneborn"

Abb. 4: - Geologische Karte des Pyrmonter Gewölbes (Herrmann, 1969b) und Lage der Profilschnitte.

Fig. 4: - Geological map of the Pyrmont dome showing the location of cross sections.

## 3 GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK

### 3.1 Naturraumgliederung

Die Pyrmonter Schichtenaufwölbung ist etwa 35 km lang und max. 12 km breit. Etwas exzentrisch in der Scheitelregion dieser als „Pyrmonter Gewölbe“ bezeichneten regionalgeologischen Einheit, die eine Fläche von etwa 420 km<sup>2</sup> bedeckt, liegt der von der Emmer durchflossene Ausräumungskessel (Pyrmonter Talkessel). Die Emmer, ein linker Nebenfluß der Weser durchfließt den Talkessel in einer Höhenlage von NN + 102

m bis NN + 94 m. Der Pyrmonter Talkessel ist bei ungefähr halbkreisförmigem Grundriß etwa 20 km<sup>2</sup> groß. Seine Bergumrahmung erhebt sich auf der Südost- und der Nordost- bis Nordwestseite mit steilen überwiegend bewaldeten Hängen bis zu > NN + 300 m; weniger steil und hoch sowie waldfrei ist seine Südwestseite (Abb. 4).

Das Pyrmonter Gewölbe ist morphologisch durch den Plateau-Charakter seiner Anhöhen gekennzeichnet. Die größte Ausdehnung unter diesen besitzt die Ottensteiner Hochebene im südöstlichen Teil des Gewölbes. Ihr

gegenüber liegen, getrennt durch die Emmer und ihre Nebenbäche, im Südwesten des Gewölbes die rund NN + 300 m hohe Hochfläche von Hagen und die Hochebene des Mörth, die eine Höhe von NN + 435 m erreicht. An ihren Rändern sind in die Hochflächen Senken, Schluchten und Täler eingeschnitten und lösen die Hochflächen randwärts in Einzelkuppen auf, z.B. den frei aufragenden Kegel der Herlingsburg. Im Südosten des Gewölbes liegt südwestlich der Ortschaft Eichenborn auf dem Mühlenberg der mit NN + 376,3 m morphologisch höchste Punkt des Gebietes.

### 3.2 Flächennutzung

Etwa zwei Drittel des Pyrmonters Talkessels werden von Siedlungsflächen eingenommen (Abb. 2). Der übrige Teil wird landwirtschaftlich genutzt. Der tiefste Teil des Talkessels südlich der Stadt Bad Pyrmont, die Emmerniederung im engeren Sinne, ist als Naturschutzgebiet ausgewiesen. An den steileren Hängen der Bergumrahmung herrscht Forstwirtschaft vor, auf den Hochebenen überwiegt landwirtschaftliche Nutzung. Im SW des Untersuchungsgebietes liegt der Emmer-Stausee.

Außerhalb der Städte Bad Pyrmont und Lügde beschränkt sich die Bebauung überwiegend auf kleinere Ortschaften, im wesentlichen auf den Hochplateaus der Bergumrahmung gelegen. Dem SW-NE Verlauf der Emmer folgt auf nordrhein-westfälischem Gebiet die Landesstraße L 614, die an der Landesgrenze zu Niedersachsen in die L 429 übergeht. Parallel dazu verläuft die Eisenbahnstrecke von Altenbeken nach Hameln. Industriell und gewerblich genutzte Flächen liegen entlang dieser Hauptverkehrswege zwischen der Stadt Lügde und dem Bad Pyrmonters Ortsteil Oesdorf. Die landwirtschaftliche Flächennutzung besteht im Betrachtungsgebiet zum größeren Teil aus Ackerbau und zum geringeren Teil aus Weidewirtschaft, die sich auf die Emmerniederung, steilere Hanglagen sowie die nähere Umgebung der Siedlungsflächen beschränkt. In den forstwirtschaftlich genutzten Gebieten überwiegt Laub- und Mischwald.

Zwischen den Städten Bad Pyrmont und Lügde ist die Emmerniederung nahezu vollständig als Naturschutzgebiet ausgewiesen. Sechs weitere kleine Naturschutzgebiete finden sich westlich der Stadt Pyrmont, südwestlich von Lügde, westlich und östlich Sabbenhausen sowie nördlich Elbrinxen.

## 4 GEOLOGISCHER BAU

### 4.1 Regionalgeologischer Überblick

Der Quellenbezirk des Staatsbades Pyrmont liegt im zentralen Teil einer in WNW-ESE-Richtung streichenden etwa 35 km langen und 8 bis 12 km breiten, weitspannigen Aufwölbung von Schichten der Trias-Zeit (Abb. 4; vgl. auch Geologische Karte 1 : 25 000 Blatt 4021 Bad Pyrmont und Geologische Karte 1 : 100 000 Blatt C 4318 Paderborn). Etwas exzentrisch in der Scheitelregion dieser als „Pyrmonters Gewölbe“ bezeichneten regionalgeologischen Einheit, mit einer Fläche von etwa 420 km<sup>2</sup>, liegt der von der Emmer durchflossene, nach NW aufgeweitete Talkessel von Bad Pyrmont. Im zentralen Scheitel des Gewölbes kam es wegen der dort stärkeren tektonischen Beanspruchung zur Bildung tiefreichender Bruchspalten. Grundwasser konnte somit bis in große Tiefe eindringen und Steinsalzlager der Zechstein-Zeit großflächig auflösen. Infolge dieser Ablaugung des Zechstein-Salzes, läuft heute ein „Salzhang“ von N nach S quer durch den Pyrmonters Talkessel: Das verursacht komplizierte geometrische Beziehungen zwischen geologischem Unterbau und heutiger Oberflächenform. Westlich des Salzhanges ist nach der Subrosion des gasabsperrenden Salzlagers der Weg frei für den Aufstieg tiefenvulkanisch gebildeten Kohlenstoffdioxids (Kap. 4.5). Erkenntnisse über die Ausbildung der im Kern des Pyrmonters Gewölbes liegenden Schichten des Rotliegenden, des Zechsteins und des Buntsandsteins beruhen im wesentlichen auf den Tiefbohrungen „Pyrmont 1“ (P1), „Pyrmont 2“ (P2) und „Sonneborn“ (S) [Abb. 4].

### 4.2 Schichtenfolge und Gesteinsbeschreibung

Die geologischen Gegebenheiten im Untergrund der Pyrmonters Aufwölbung sind aus dem geologischen Profilschnitt (Abb. 5; Schnittverlauf Abb. 4) ersichtlich.

#### 4.2.1 Rotliegendes

Das älteste im Raum Pyrmont bekannt gewordene Gestein ist ein meist heller, fossilfreier quarzitischer Sandstein, den die Bohrung „Pyrmont 2“ (1929-1931) unterhalb des marinen Zechsteins von 1323,5 m bis zur Endteufe von 1469,5 m durchörtert hatte, ohne allerdings dessen Basis zu erreichen. Der Sandstein ist vollständig gekernt worden, jedoch betrug der Kernverlust abschnittsweise 15 bis 40 %.

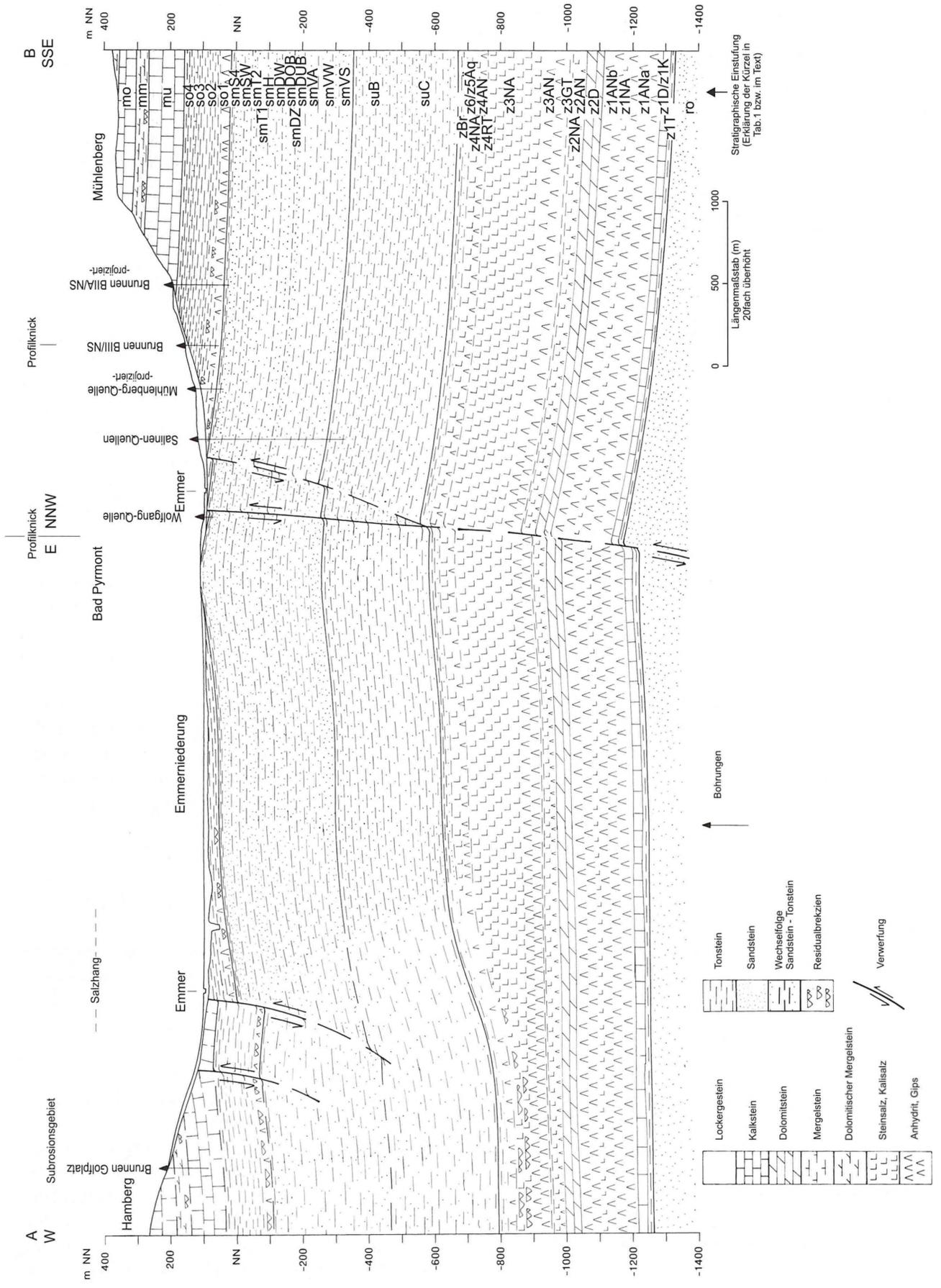


Abb. 5: - Geologischer Profilschnitt A - B.

Fig. 5: - Geological cross section A - B.

Anlässlich der Aufwältigung des Bohrloches „Pyrmont 2“ zur Durchführung von geophysikalischen Bohrlochmessungen im Jahre 1964 kamen auf dem überwachsenen Bohrplatz und auch aus dem Bohrloch einige Kernstücke zum Vorschein, unter denen sich vier Stücke des Sandsteins von zusammen fast 40 cm Länge befanden. Eine Beschreibung dieser Kernstücke befindet sich im Archiv des NLFb, Hannover.

Nach den geologischen Schichtenverzeichnissen von Stille und Grupe, den neueren Kernbeschreibungen und den Aufzeichnungen im Bohrbericht wechselt die Beschaffenheit der Sandsteinformation unterhalb des marinen Zechsteins zwischen massig und undeutlich geschichtet, zwischen meist größerem und weniger auch feinerem Korn, sowie zwischen porig und dicht, seine Farbe zwischen blaugrau, gelblich und hellerem oder dunklerem Grau. An der Kornzusammensetzung sind überwiegend helle, undurchscheinende Quarzkörner, weniger auch Körner dunklerer Minerale beteiligt. Der glimmerfreie Sandstein ist in seinen oberen Metern kalkig; er ist streckenweise stark geklüftet, unterschiedlich reich an Pyrit und wird bei 1390 m Tiefe auf 1,5 m Länge und in den letzten 10 m als schwarz- d.h. mit Tonflasern durchstreift bezeichnet. Soweit eine Schichtung erkennbar ist, zeigt diese Fallwinkel von bis zu 20°.

Das Gamma-Ray-Log der Bohrung „Pyrmont 2“ läßt einige ungleiche Abschnitte unterschiedlicher Strahlungsintensität erkennen (Abb. 6). Der unterste Teil zeigt vom Ende des Log (bei 1461 m) bis 1453 m Tiefe ein Strahlungsmaximum an, in dem der tonflaserige Sandstein der Kernbeschreibung zu erkennen ist. Darüber folgt bis 1441 m ein Minimum, das einem besonders reinen Sandstein entspricht. Höher hinauf zeigt das Diagramm bis 1355 m ein ziemlich gleichmäßiges Schwanken. Der oben erwähnte flaserige Sandstein bei 1390 m ist als ein mehrgipfliges Maximum zu erkennen. Auf der obersten, 32 m langen Strecke bis 1323 m zeigt die geringe Strahlungsintensität wieder einen reinen Sandstein an.

Aufgrund von Schrägschichtung sowie nach Korngröße und Rundung der Sandkörner ist eine äolische Entstehung denkbar, obgleich eine zeitweilige aquatische Beeinflussung keinesfalls ausgeschlossen werden kann. Diese Merkmale sprechen für eine Gleichstellung mit dem Cornberger Sandstein.

Damit ist die Frage der stratigraphischen Stellung dieser Sandsteinfolge berührt. Richter-Bernburg (1955) sprach diese Serie als Cornberger Sandstein des Oberrotliegenden an und verglich sie mit den bei Eschwege (Richter 1941), Allendorf bei Marburg, Detmold und Hameln erbohrten Sandsteinen zwischen Variszikum

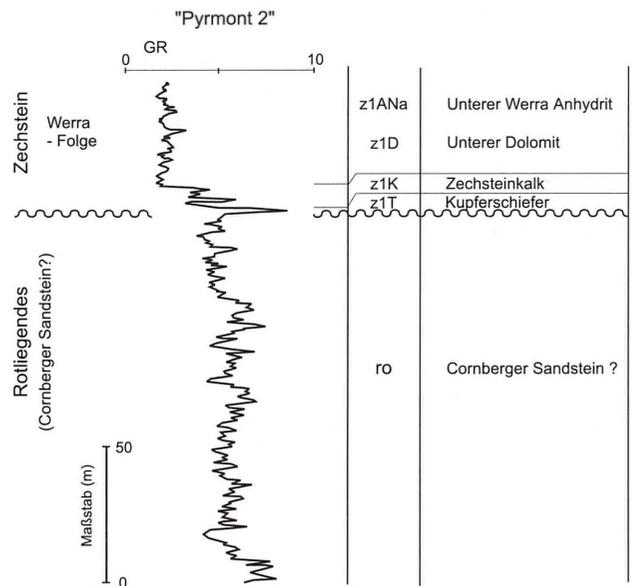


Abb. 6: - Lithologische Gliederung der Sandsteinformation unterhalb des marinen Zechsteins nach Gamma-Ray-Log im Profil der Bohrung „Pyrmont 2“.

Fig. 6: - Lithologic units of sandstones following gamma ray logs underlying the marine Zechstein (Pyrmont 2 drill hole).

und marinem Zechstein. Der Cornberger Sandstein selber wurde von den verschiedenen Bearbeitern einerseits als marines (intertidales), andererseits als fluviatiles, sowie als äolisches Sediment angesehen (Brandes 1912, Haubold 1984, Meinicke 1910, Pryor 1971, Richter 1941). Z.Zt. überwiegen die Meinungen für eine äolische Entstehung als Dünenbildung. Der in Pyrmont erbohrte Sandstein fällt mit seiner Mächtigkeit von mehr als 146 m, ebenso wie der Sandstein, der bei Herste - 33 km südsüdwestlich von Pyrmont - 266 m mächtig - erbohrt wurde, aus der sonst wesentlich geringeren Mächtigkeit des Cornberger Sandsteins heraus. Schließlich muß noch der Verdacht von Trusheim (1964) in die Diskussion eingehen, daß die bei Herste erbohrte mächtige Sandsteinfolge nicht Cornberger Sandstein ist, sondern höheres Rotliegend-Alter hat und die ursprünglich rot gefärbten Gesteine durch CO<sub>2</sub> gebleicht sein könnten. Diese Argumentation ist nach unveröffentlichten Aufzeichnungen von R. Herrmann auch auf den Sandstein der Bohrung „Pyrmont 2“ anwendbar, der zwar keine CO<sub>2</sub>-Gaslagerstätte darstellt wie der Sandstein von Herste, aber doch von Sole unter hohem CO<sub>2</sub>-Gasdruck erfüllt ist. Der Sandstein der Bohrung „Pyrmont 2“ muß also entweder Cornberger Sandstein (Ober-Rotliegend) mit ungewöhnlicher Mächtigkeit oder als ein durch CO<sub>2</sub> gebleichter älterer Rotliegend-Sandstein angesprochen werden.

		Sonneborn nach Kern	Pyrmont 1 nach Kern	Pyrmont 2 nach Kern	Pyrmont 2 nach Gamma-Ray-Log
su	Unterer Buntsandstein				
zBrzBr(o)	Oberer Bröckelschiefer	15	36,9	?	25
zBr(u)	Unterer Bröckelschiefer				20
z6Äq	z6 Äquivalent				18
z5Äq	z5 Äquivalent				34
z4NA	Aller-Steinsalz	R 17	17,75	22	
z4AN	Pegmatitanhydrit		0,85		Log
z4RT	Roter Salzton		10		gestört
z3NA	Leine-Steinsalz	R 3,3	199,8	246	
z3HA	Hauptanhydrit	42,7	47,4	47,5	47,2
z3GT	Grauer Salzton	0	11,43		6,2
z2NA	Stäufurt- Steinsalz	0	10,27	24,5	23,6
z2AN	Basalanhydrit	9	9,45	17,6	12,6
z2D	Hauptdolomit	47	48,15	32,4	30,6
z1ANb	Oberer Werra- Anhydrit		96,8	70	76
z1NA	Werra-Steinsalz		0,65	27,7	30
z1ANa	Unterer Werra- Anhydrit	nicht	115,46	104,8	100
z1D	Unterer Dolomit	erbohrt	4,56		
z1K	Zechsteinkalk		nicht	10,5	8
z1T	Kupferschiefer		erbohrt		2

R = Ablaugungsrückstände

**Tab. 1:** - Mächtigkeiten der Schichtglieder der Zechsteinformation in den Tiefbohrungen bei Bad Pyrmont (nach Herrmann, 1969b, überarbeitet).

**Tab. 1:** - Thickness of Zechstein units from deep well drillings of the Pyrmont area (modified after Herrmann, 1969b).

#### 4.2.2 Zechstein

Die Zechsteininformation ist im Pyrmontener Raum aus den drei o.g. Tiefbohrungen bekannt. Die Bohrungen „Pyrmont 1“ und „Pyrmont 2“ haben sie salzföhrnd angetroffen. Bei Sonneborn ist ihre Schichtenfolge im Bereich der Steinsalzformationen (z1-z3) ausgelaugt (Tab. 1).

Die Gesteinsfolge des Zechsteins besteht aus einer mehrfachen, zyklisch aufgebauten Wechselfolge von Tonstein, Dolomit, Anhydrit und Steinsalz (mit gerin-

gem Anteil von Kalisalz) und endet an der Obergrenze mit dem laut Beschluß der Subkommission Perm-Trias (1993) in den Zechstein gestellten Bröckelschiefer. In Bohrung „Pyrmont 1“ ergibt sich für den Zechstein eine Gesamtmächtigkeit von etwa 615 m. Bohrung „Pyrmont 2“ weist nach den vorliegenden Angaben eine größere Zechsteinmächtigkeit auf. Nach Herrmann (1969b) geht aus diesen Näherungswerten eine geringe Mächtigkeitszunahme in allgemein nördlicher Richtung hervor, die der paläogeographischen Lage der beiden Bohrungen zwischen dem im SW, am Rheinischen Schiefergebirge gelegenen Beckenrand und dem nördlich gelegenen Beckentiefsten entspricht. Möglich erscheint auch, daß der Mächtigkeitsunterschied auf kleinräumige Halokinese und/oder Verwerfungen zurückzuführen ist.

In Tabelle 1 sind die erbohrten Schichtmächtigkeiten nebeneinander gestellt. Daneben erscheinen die Mächtigkeiten nach Gamma-Ray-Log von „Pyrmont 2“, welches sich im oberen Teil der Leine-Folge (z3) und über weite Strecken der Aller-Folge (z4) als nicht auswertbar erwies. Vermutlich kam es in diesem Tiefenbereich zum Nachfall infolge Hohlrumbildung durch Salzauflösung.

An der Basis des Zechsteins zeigt das Gamma-Ray-Log der Bohrung „Pyrmont 2“ ein auffälliges Maximum, das als Tonstein und damit als Äquivalent des Kupferschiefers (z1T) gedeutet werden muß (Abb. 6).

Im übrigen umfaßt die Werra-Folge (z1) den etwa 8 m mächtigen bituminösen, im oberen Teil dolomitischen (z1D) Zechsteinkalk (z1K) und den ebenfalls bituminösen Werra-Anhydrit (z1ANa u. z1ANb) des „Pyrmontener Sulfatwalls“ (Richter-Bernburg 1955), mit einer Einschaltung von Steinsalz (z1NA). Diese Sulfatfolge ist in -“Pyrmont 1“ unter Einschluß von 0,65 m Steinsalz - 212,9 m, in „Pyrmont 2“ - mit 27,7 m Steinsalz - 202,5 m mächtig. Die Werra-Folge (z1) erreicht also eine Gesamtmächtigkeit von ca. 220 m.

Die Stäufurt-Folge (z2) umfaßt etwa 70 m. Über den unterschiedlich mächtigen Stufen des Hauptdolomits (z2D) und des Basalanhydrits (z2AN) folgt das Stäufurt-Steinsalz, das nach Kernbeschreibung von „Pyrmont 1“ ein schwach entwickeltes, ca. 0,5 m mächtiges Kalisalzlager enthält.

Die Leine-Folge (z3) enthält über einem in unterschiedlicher Mächtigkeit nachgewiesenen Grauen Salzton (z3GT) und dem fast einheitlich abgegrenzten Hauptanhydrit (z3HA) ein besonders mächtiges Steinsalzlager (z3NA). Aus den Schichtenverzeichnissen ergibt sich eine Gesamtmächtigkeit der Folge von etwa 260 bis 290 m.

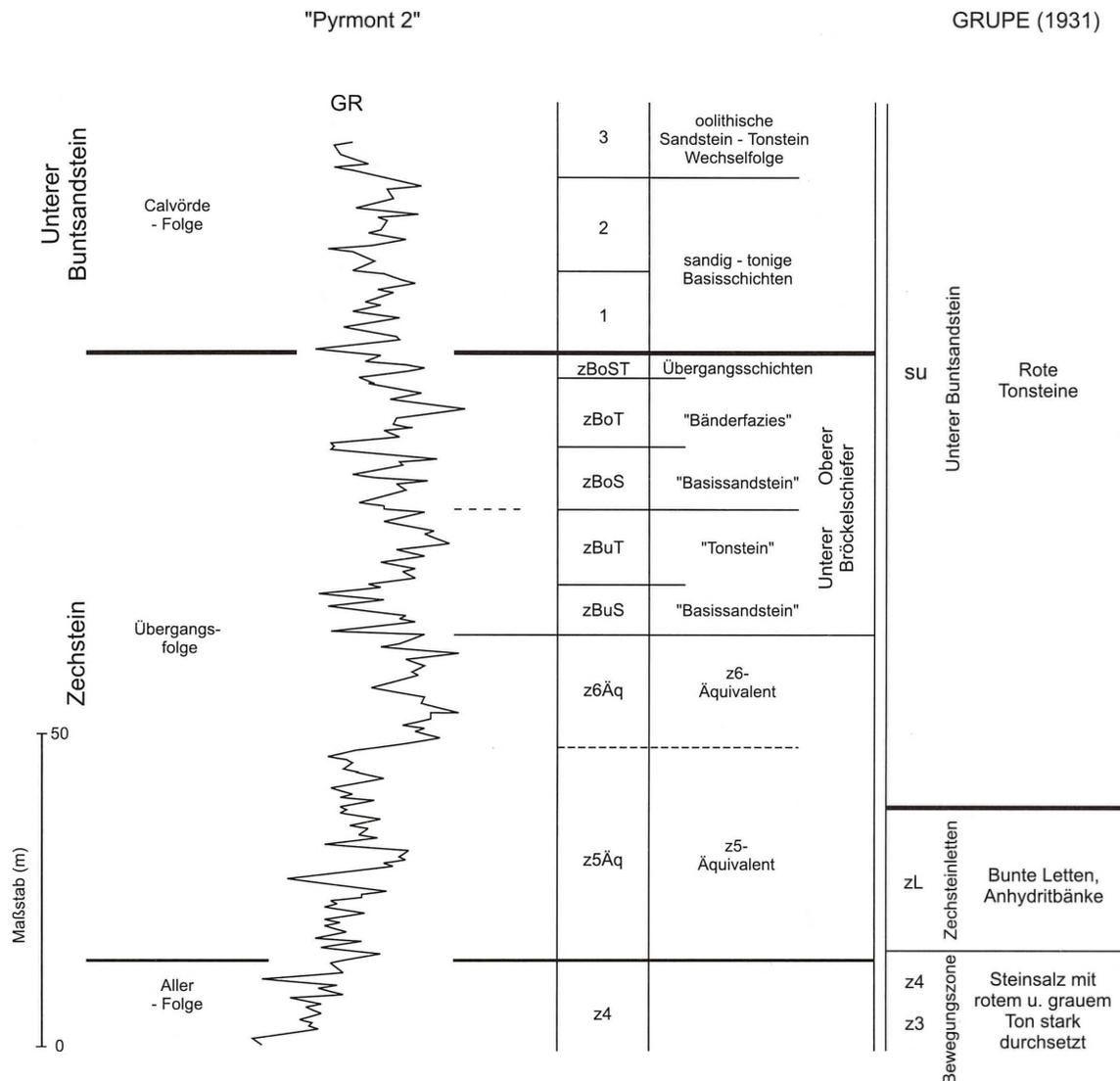


Abb. 7: - Gliederung des Grenzbereichs Zechstein/Buntsandstein im Profil der Bohrung „Pyrmont 2“.

Fig. 7: - Lithologic units of the boundary interval Zechstein/ Bunter sandstone (Pyrmont 2 drill hole).

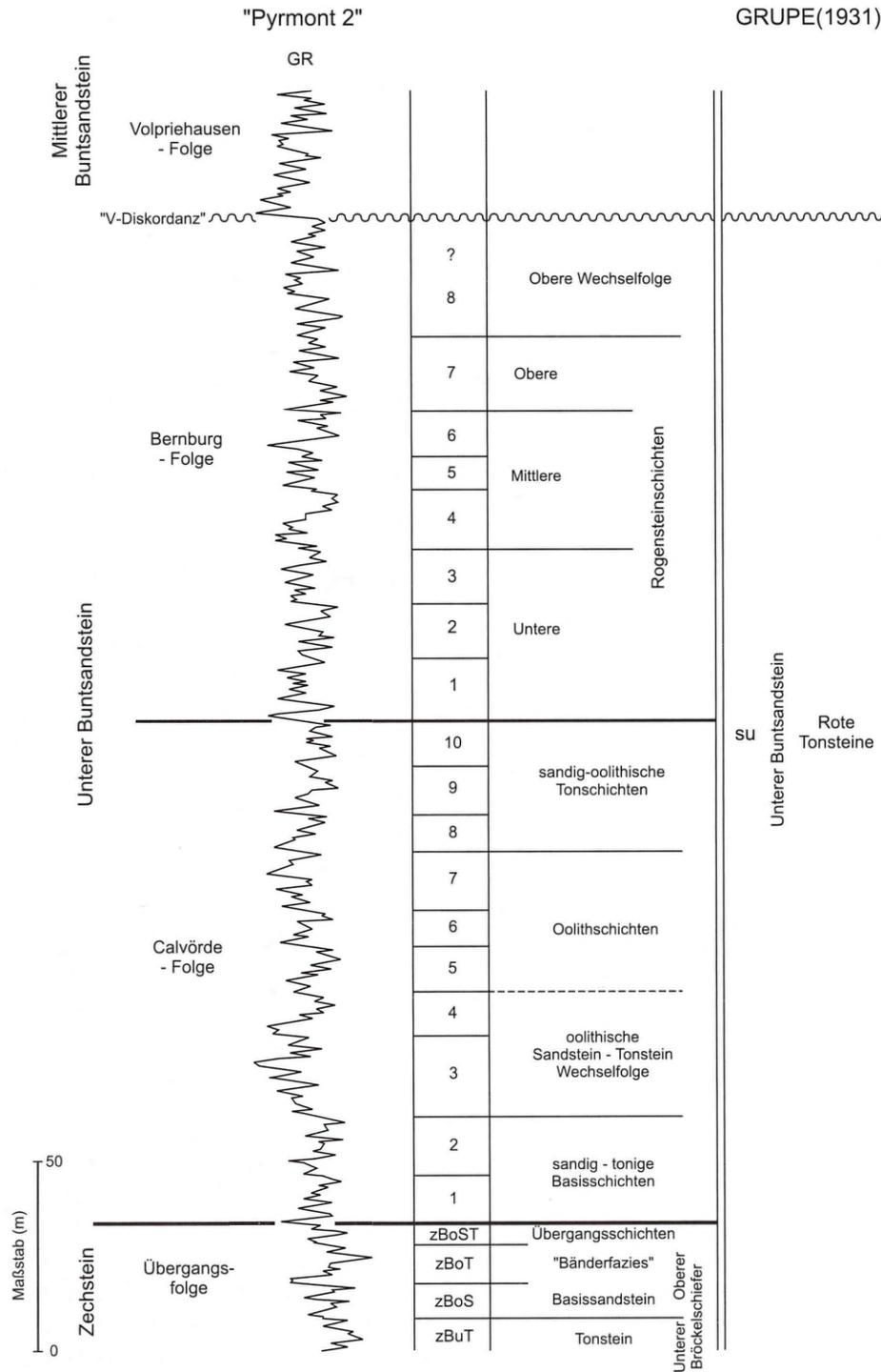
Die Aller-Folge (z4) ist in „Pyrmont 1“ nur 28,6 m mächtig. Sie besteht aus 10 m Rotem Salzton (z4RT), anhydritisch durchzogenem Steinsalz, Pegmatitanhydrit (z4AN) und grobspätigem Steinsalz (z4NA).

Den - trotz Teilauslaugung in „Pyrmont 2“ - noch salzreichen Profilen der beiden Pyrmonter Bohrungen steht die Bohrung „Sonneborn“ mit vollständiger Salzauslaugung gegenüber, in denen der Zechstein von der Endteufe nahe über der Basis des Hauptdolomits (z2D) bis zum Oberen Bröckelschiefer nur 134 m mächtig angetroffen wurde. Es liegt hier somit eine mächtigkeitsreduzierte Schichtenfolge vor, der in den Pyrmonter Bohrungen etwa 390 m Mächtigkeit entsprechen. Die Auslaugung hat also den Ausfall von rund 250 m löslicher Gesteine verursacht, die den Salzlagern der Staßfurt- bis Aller-Folge entstammen. Die Salzlager des vollständigen Zechsteinprofils keilen gegen das

Auslaugungsgebiet hin aus, indem sie von einer schrägen Ablauungsfläche, dem „Salzhang“, abgeschnitten werden. Die Lage des Salzhanges und die Ausdehnung des Auslaugungsgebiets sind Bestandteil der Lagerungsbeschreibung in Kap. 4.3. (Tektonik).

In der Bohrung „Pyrmont 2“ wurden nach Grupe (1931) unterhalb 746 m Tiefe 23 m mächtige „Zechsteinletten“ erbohrt, bestehend aus buntem Tonstein mit Anhydritbänken und Hämatit-Einsprenglingen. Der rote massige Tonstein des Bröckelschiefers (zBr) mit einzelnen grauen Dolomitknollen war nach Schichtenverzeichnissen in der Bohrung „Sonneborn“ 15 m, in „Pyrmont 1“ mindestens 36,9 m mächtig, im Gamma-Ray- Log der „Pyrmont 2“ sind 45 m abgrenzbar.

Entsprechend den Ergebnissen von Brüning (1988), Best (1989) und Röhling (1991a, b) stellen „Zech-



**Abb. 8:** - Gliederung des Unteren Buntsandsteins (Calvörde- und Bernburg-Folge) im Profil der Bohrung „Pyrmont 2“.

**Fig. 8:** - Lithologic units of the lower Bunter sandstone, Calvörde and Bernburg facies (Pyrmont 2 drill hole).

steinletten“ und Bröckelschiefer eine Randfazies der höheren salinaren Zechstein-Zyklen 5, 6, 7 und 8 (?) des zentralen Norddeutschen Beckens dar. Laut Beschluß der Subkommission Perm-Trias (1993) werden diese zur „Übergangsfolge“ zusammengefaßt und vom Unteren Buntsandstein abgetrennt. Anhand des Gamma-Ray-Logs der Bohrung „Pyrmont 2“ läßt sich analog der Gliederung des Grenzereichs Zechstein/Buntsandstein im Standardprofil der Bohrung Solling-5 (Röhling 1991a, b) eine etwa 98 m mächtige Zechstein-Übergangsfolge abgrenzen und weiter untergliedern in z5-z6 Äquivalent und Bröckelschiefer (Abb. 7). Der Untere und Obere Bröckelschiefer ist in 5

weitere lithostratigraphische Schichtglieder unterteilbar. Die Basis der Übergangsfolge ist der Top des hier jüngsten Salinarzyklus der Aller-Folge, während die Obergrenze von der Basis des Kleinzyklus 1 der Calvörde-Folge (suC) des Unteren Buntsandsteins gebildet wird.

#### 4.2.3 Buntsandstein

Die Kenntnis über die Buntsandsteininformation im Pyrmontener Raum beruht teils auf Tagesaufschlüssen, die die Schichtenfolge des Oberen und die obersten

Schichten des Mittleren Buntsandsteins darbieten, andererseits auf Bohrungen, die meist nur Teile des Buntsandsteins erfaßt haben. Als einzige hat die bei Sonneborn im Muschelkalk angesetzte Tiefbohrung „Sonneborn“ den Buntsandstein vollständig durchsunken und nach dem Schichtenverzeichnis von Grupe (1927a) in einer Mächtigkeit von 824,5 m angetroffen. Die beiden Pyrmontener Tiefbohrungen haben den Buntsandstein nur unvollständig durchbohrt; „Pyrmont 1“ hat unter quartärzeitlichen Ablagerungen den obersten Teil des Mittleren Buntsandsteins angetroffen, „Pyrmont 2“ war im tieferen Teil des Oberen Buntsandsteins angesetzt. Die beiden Bohrungen der „Salinen-Quellen“ haben noch wenige Meter Röt durchteuft. Die „Salinen-Quelle I“ endete im Mittleren, die „Salinen-Quelle II“ im Unteren Buntsandstein.

Auf der südöstlichen Flanke des Pyrmontener Gewölbes, am Nordwesthang des Schild- bzw. Mühlenberges wurden insgesamt 9 Bohrungen (Katharinen-Quelle, Mühlenberg-Quelle, B I/NS, B IIA/NS, B IIB/NS, B III/NS, B I/NRW, B II/NRW, B III/NRW) zum Zwecke der Mineralwassererschließung abgeteuft. Bohrung B IIA/NS durchteufte unter einer ca. 2 m mächtigen Hangschuttdecke den untersten Bereich des Unteren Muschelkalkes, den gesamten Oberen Buntsandstein und erreichte noch den obersten Teil des Mittleren Buntsandsteins. Die Bohrungen B I/NRW, B II/NRW und B III/NRW setzten auf dem Ausstrichbereich des Oberen Buntsandsteins an und erschlossen noch wenige Meter (B II/NRW und B III/NRW) bis ca. 30 m (B I/NRW) Schichten des Mittleren Buntsandsteins. Die Bohrungen B IIB/NS und B III/NS erschlossen hingegen ausschließlich Schichten des Oberen Buntsandsteins. Im Gegensatz dazu erfaßten die weiter in Richtung Talinneres abgeteufte Bohrungen „Katharinen-Quelle“ und „Mühlenberg-Quelle“ 20 bis 22 m mächtige quartärzeitliche Sedimente über Schichten des Oberen Buntsandsteins, die wiederum vom Feinsandstein des Mittleren Buntsandsteins (Solling-Folge) unterlagert werden (Abb. 2).

Weitere Daten zu Verbreitung, Lagerung und Lithologie des Buntsandsteins brachten Aufschlußbohrungen einiger Brunnen und Grundwassermeßstellen sowie Bohrungen zur Baugrunderkundung. Durch Neuinterpretation der Gamma-Ray-Logs der Bohrungen „Pyrmont 2“ und „Salinen-Quelle II“ gelang für den Unteren und Mittleren Buntsandstein die Einbindung dieser Schichtfolge in die z.Zt. für Niedersachsen bestehende detaillierte stratigraphisch/lithologische Feingliederung (Röhling 1991a, b). Hinweise über die Verbreitung toniger Sedimente des Oberen Buntsandsteins in der Emmerniederung ergaben sich aus den Ergebnissen geoelektrischer Untersuchungen (Brost & Rogge 1995).

#### 4.2.3.1 Unterer Buntsandstein

Der untere Buntsandstein (su) wurde in der Bohrung „Sonneborn“ vollständig gekernt und hat sich dort nach Grupe (1927a) als 307 m mächtig erwiesen. In „Pyrmont 1“ ist der Untere Buntsandstein ebenfalls vollständig gekernt worden und zeigte eine Mächtigkeit von 294 m. (Grupe 1927b). In „Pyrmont 2“ ist der Untere Buntsandstein nur durchmeißelt worden.

Der Untere Buntsandstein besteht aus einer Wechselagerung von dünnbankigem feinkörnigen, zumeist kalkigem feldspatführenden Quarzsandstein und rotem schiefrigen Tonstein. Überall in dieser Schichtfolge sind kleine Anhydrit- bzw. Gipsknollen beobachtet worden (Grupe 1931).

Die von Brüning (1984, 1986) in Südniedersachsen erarbeitete und von Röhling (1991a, b) auf die Tiefbohrungen des Norddeutschen Beckens übertragene Gliederung des Unteren und Mittleren Buntsandsteins nach Bohrlochmessungen konnte auf das Profil der Bohrung „Pyrmont 2“ übertragen werden (Abb. 8). Aus dem Gamma-Ray-Log ergibt sich für den Unteren Buntsandstein eine Mächtigkeit von etwa 265 m. Laut Beschluß der Subkommission Perm-Trias (1993) wird der Untere Buntsandstein zweigegliedert in Calvörde- (suC) und Bernburg-Folge (suB).

Unter Verwendung geophysikalischer Bohrlochmessungen gelang Röhling (1991a, b) über diese Zweigliederung hinaus eine detaillierte kleinzyklische Gliederung des Unteren Buntsandsteins, die auf das Profil der Bohrung „Pyrmont 2“ übertragen werden konnte. Danach ist der Untere Buntsandstein in mindestens 18 Kleinzyklen unterteilbar. Ein typischer, idealer „fining-upward“-Zyklus 3. Ordnung (Röhling 1993) beginnt in der Regel mit einem basalen Sandstein, der sich in den Bohrlochmessungen durch eine niedrige Gammastrahlung auszeichnet. Darüber folgt dann ein Abschnitt, der aus einer engen Wechselagerung von niedrigstrahlendem Sand- und höherstrahlendem Ton/Schluffstein besteht. Der Abschluß eines idealen „fining-upward“-Zyklus wird im höchsten Teil durch ein überwiegend tonig-schluffiges Endglied gebildet. Abbildung 8 zeigt die Feingliederung des Unteren Buntsandsteins im Profil der Bohrung „Pyrmont 2“.

#### 4.2.3.2 Mittlerer Buntsandstein

Vom Mittleren Buntsandstein (sm) haben die Bohrungen „Pyrmont 2“ und „Salinen-Quelle II“ vollständige und zusätzlich durch geophysikalische Bohrlochmessungen untersuchte Profile, die auch für die Beurteilung weiterer Aufschlüsse in diesem Formationsab-

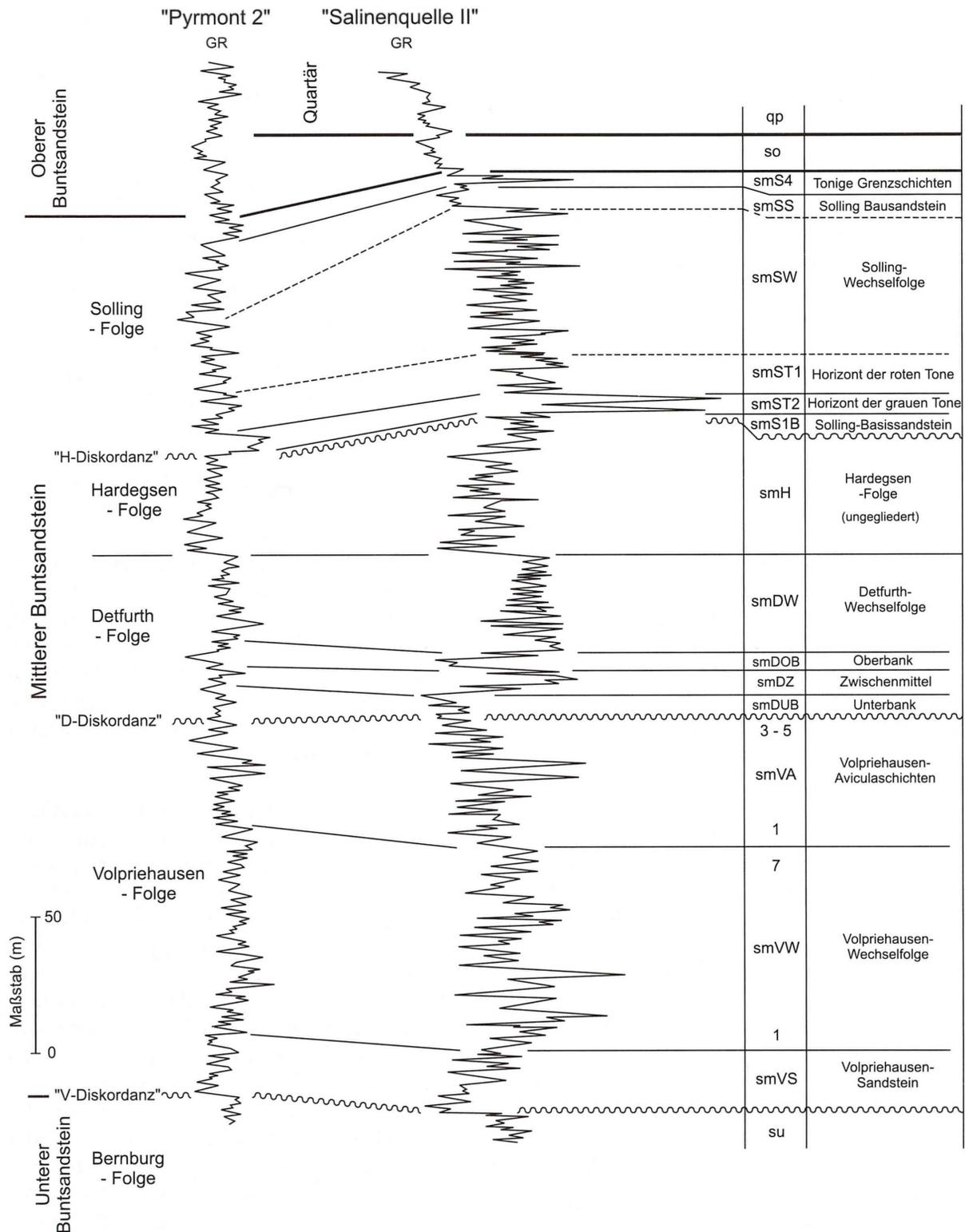


Abb. 9: - Gliederung des Mittleren Buntsandsteins nach Gamma-Ray-Logs der Bohrungen „Pyrmont 2“ und „Salinen-Quelle II“.

Fig. 9: - Lithologic units of the middle Bunter sandstone following gamma ray logs of the drill holes Pyrmont 2 and Salinen-Quelle II.

schnitt eine ausreichende Unterlage bieten. Die Schichtenfolge des Mittleren Buntsandsteins besteht aus einem vielfachen Wechsel von feldspatführendem Quarzsandstein und Tonstein; die Mächtigkeit beträgt etwa 345 m. Im oberen Teil ist eine grobgebankte Sand-

stein-Serie (Bausandstein) entwickelt. Nach unten ist der Mittlere Buntsandstein durch die diskordante Dachfläche des Volpriehausen-Sandsteins (smVS), nach oben durch die Tonstein-reiche Folge des Röts (so) begrenzt.

Höhere Bänke des Bausandsteins und Gesteine der Tonigen Grenzschichten (smS4) streichen in begrenzter Flächenausdehnung, zum Teil unter Bedeckung von quartärzeitlichen Lockersedimenten, im nördlichen Bereich des Stadtgebiets aus. Dieselben Schichten bilden auch im südöstlichen Stadtgebiet stellenweise die Erdoberfläche. In der Emmerniederung werden sie von quartärzeitlichen Sedimenten überlagert.

Die Ergebnisse der geophysikalischen Bohrlochmessungen in den Bohrungen „Pyrmont 2“ und „Salinen-Quelle II“ ermöglichen die Anwendung der Viergliederung des Mittleren Buntsandsteins und dessen weitere Unterteilung in 13 Schichtglieder auch für den Raum Bad Pyrmont (Abb. 9).

Die **Volpriehausen-Folge** (smV) überlagert den Unteren Buntsandstein diskordant und beginnt mit dem etwa 23 m mächtigen Volpriehausen-Sandstein (smVS). In der Bohrung „Sonneborn“ wurden die untersten 22,5 m des Mittleren Buntsandsteins gekernt. Sie bestehen aus fein- bis grobkörnigem Sandstein in Bänken bis zu 2 m Mächtigkeit, in Wechsellagerung mit rotem, flaserigen, sich vielfach in einzelne Tongallen auflösendem schiefrigen Tonstein (Grupe 1927a). In der Bohrung „Pyrmont 1“ zeigen die Kerne der untersten 3 m des Mittleren Buntsandsteins massigen, meist mittel- grobkörnigen kaolinhaltigen Sandstein (Grupe 1927b). Über dem Volpriehausen-Sandstein folgt die etwa 75 m mächtige Volpriehausen-Wechselfolge (smVW), die nach oben in die ca. 46 m mächtigen Volpriehausen-Aviculaschichten (smVA) übergeht. Dieser Formationsabschnitt besteht überwiegend aus einer Wechsellagerung von blättrigem Tonstein und hartem, feinkörnigen kieseligem Sandstein.

Das unterste Schichtglied der **Dethfurth-Folge** bildet die diskordant überlagernde sandige Unterbank (smDUB). Darüber folgt das tonige Zwischenmittel (smDZ), das sich im Gamma-Ray-Log gut sichtbar von der darüber folgenden sandigen Oberbank (smDOB) abhebt (Abb. 9). Ein mehrteiliger Bohrkern von 60 cm Länge aus der „Salinen-Quelle II“ zeigt einen dicht verkieselten, mittel- bis grobkörnigen Sandstein der Dethfurth-Oberbank. Den übrigen Teil der insgesamt etwa 60 m mächtigen Dethfurth-Folge nimmt die Dethfurth-Wechselfolge (smDW) ein, in der nach dem Gamma-Ray-Log der „Salinen-Quelle II“ der Anteil des Tonsteins dem des Sandsteins überwiegt.

Die Untergrenze zur **Hardeggen-Folge** (smH) ist in den vorliegenden Gamma-Ray-Logs deutlich zu erkennen (Abb. 9). Insbesondere der untere Teil ist gegenüber der Dethfurth-Wechselfolge sandreicher. Die Mächtigkeit der Hardeggen-Folge beträgt nach Gamma-Ray-Log in der Bohrung „Pyrmont 2“ ca. 37 m, in

der Aufschlußbohrung der „Salinen-Quelle II“ etwa 49 m. Der Mächtigkeitsunterschied beruht vermutlich auf einem Schichtenausfall an einer Verwerfung, die hier - am Oberrande des Salzhanges - recht wahrscheinlich wäre. Bestärkt wird diese Annahme durch den Umstand, daß westlich von „Pyrmont 2“ in der Bohrung Sonneborn wieder eine größere Mächtigkeit des Mittleren Buntsandsteins vorliegt.

Das basale Schichtglied der **Solling-Folge** ist der Solling-Basissandstein (smS1B), der die Hardeggen-Folge diskordant überlagert. Darüber folgen die Horizonte der Grauen und Roten Tone (smT1, smT2), die nach oben in die Solling-Wechselfolge (smSW) übergehen. Den Abschluß dieser Folge bildet der Solling-Bausandstein. Den Übergang zum Oberen Buntsandstein (Röt) bilden die Tonigen Grenzschichten (smS4). Die Solling-Folge erreicht nach den Logs Mächtigkeiten bis zu 92,5 m (Abb. 9).

Das Bohrfortschrittsdiagramm der Bohrung „Salinen-Quelle II“ läßt oberhalb der basalen Sandsteinhorizonte zahlreiche Sandsteinbänke zwischen Ton- und Schluffsteinlagen erkennen. Die Sandsteinbänke des Mittleren Buntsandsteins sind vermutlich mehr oder weniger stark verkieselt. Volle Verkieselung liegt nach Ausweis des geringen Bohrfortschritts in der Basis der Solling-Wechselfolge vor.

Die obersten Schichten der Solling-Folge - ein Teil des Bausandsteins und die Tonigen Grenzschichten - stehen im Stadtgebiet oberflächennah an und waren am Fuß des Bombergs und am Rand der Emmerniederung im Südosten der Stadt, sowie in einigen Baugruben, verschiedentlich aufgeschlossen und sind es z.T. heute noch. Am Fuß des Bombergs ist der Bausandstein am Helvetiushügel vor mehr als 200 Jahren als Baustein gebrochen worden. Die dortigen Kohlenstoffdioxid-Austritte sind in der 1720 ausgebauten Dunsthöhle erhalten geblieben (Abb. 2).

In der Schellenstraße, am Kinderspielplatz, befindet sich nordöstlich der Straße ein ehemaliger Werksteinbruch. An einer z.T. verwachsenen Steilwand sind Stammener Schichten aus dem oberen Teil der Solling-Folge aufgeschlossen. Es handelt sich im unteren Teil bis 1,5 m um ebenplattigen, glimmerschichtigen, rotbraunen Silt- bis Feinsandstein mit gelbbraunen Reduktionsflecken. Nach oben schließt sich ca. 2 m glimmerarmer, rotbrauner Silt- bis Feinsandstein mit eingeschalteten 5 bis 10 cm mächtigen Quarzitbänken an (Groetzner & Rogge 1994).

#### 4.2.3.3 Oberer Buntsandstein

Als einzige Bohrung im Untersuchungsgebiet durchteufte die Aufschlußbohrung des Entnahmefunnens „BIIA/NS“ der Bad Pyrmont M&H GmbH die gesamte Schichtenfolge des Oberen Buntsandsteins (so1 bis so4).

Der Obere Buntsandstein besteht überwiegend aus homogenem, dichten, feinschichtigen Tonstein mit vereinzelt eingeschalteten, dünnen, quarzitischen Lagen und Sandsteinbänken. Im tieferen Teil dieser Schichtenfolge (so1 u. so2) sind Steinsalz, Anhydrit, Kalkstein und Dolomitstein eingeschaltet (Röt-Salinar). Die Mächtigkeit des Oberen Buntsandsteins beträgt primär (ohne Subrosion der Evaporite) 170 m bis 200 m; der vorgenannte Basalkomplex ist rund 50 m mächtig. Die in „BIIA/NS“ erbohrte Mächtigkeit beträgt 143 m. Sie entspricht der von Hinze (1967) im südniedersächsischen Bergland ermittelten oberflächennahen Mächtigkeit (Subrosion) von etwa 140 m.

Die Schichten des Oberen Buntsandsteins stehen im Untergrund der peripheren Gebiete der Pyrmont Talweitung und im Sockel der sie randlich umgebenden Steilhänge an. Ausgedehnte Teile des Ausstrichs sind von örtlich unterschiedlich mächtigen quartärzeitlichen Lockersedimenten bedeckt. Hinweise auf die Verbreitung von Tonsteinen des Buntsandsteins im Pyrmont Talkessel ergaben geoelektrische Gleichstromuntersuchungen (Brost & Rogge, 1995), die im Rahmen der Objektforschung der Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsaufgaben durchgeführt wurden. Nach den in Form von geoelektrischen Vertikalschnitten dargestellten Auswertungsergebnissen sind tonhaltige Gesteine des Buntsandsteins in weiten Teilen der Emmerniederung flächenhaft verbreitet (Abb. 13). Unterhalb der quartärzeitlichen Sedimente (Auelehm mit 40-80  $\Omega$ m, Schotter mit 100-130  $\Omega$ m) deuten niedrige Widerstände von 30 bis 45  $\Omega$ m auf Ton- und Schluffsteine des Röts (Oberer Buntsandstein) und der Tonigen Grenzschichten (Mittlerer Buntsandstein) hin. Darunter folgen spezifische Widerstände von 70 bis 110  $\Omega$ m; sie repräsentieren Sandstein-Bereiche des Mittleren Buntsandsteins.

Insbesondere im Bereich des Pyrmont Talkessels ist der tiefste Teil des Oberen Buntsandsteins weitgehend subrodiert, dadurch verkarstet und in seiner Mächtigkeit reduziert. Die Ablaugung hat offenbar im Scheitelbereich der Struktur im Pyrmont Talkessel begonnen und von hier aus, dem Schichteinfallen folgend, gegen die Tiefe zu Gebiete erfaßt, wo das Röt-Salinar unter mächtiger Bedeckung durch jüngere Schichten der Trias-Formation liegt. Die weitere regionale Aus-

dehnung und damit die Grenze dieses Subrosionsbereiches ist nicht bekannt.

Von Bohrungen (z.B. Mühlenberg-Quelle, BIIA/NS, BIII/NS) durchteufte Residualgips-Lagen und Zellen-dolomite sind Produkte der Subrosion. Auch die Erdfälle im Unteren Muschelkalk in der Flur „Sieben Kühlen“ etwa 1 km südlich der Ortslage Griebem sind sehr wahrscheinlich ursächlich auf Subrosionsvorgänge im darunter liegenden Röt zurückzuführen. Im geoelektrischen Profilschnitt (Abb. 13) ist im Meßpunkt 13 eine Tieflage der Basis der quartärzeitlichen Schichten zu beobachten, die möglicherweise durch einen vom Röt- oder Zechstein-Salinar ausgehenden Erdfall verursacht wurde. Da eine ähnliche Tieflage in einem dazu senkrecht verlaufendem Schnitt beobachtet wurde, könnte es sich auch um eine schmale quartärzeitliche Erosionsform in Gestalt einer Rinne handeln.

Das Schichtenprofil der Bohrung „Sonneborn“ enthält keine Angaben über saline Einschaltungen im Oberen Buntsandstein. Es ist wahrscheinlich, daß das Röt-Salinar im Bereich dieser Bohrung ebenfalls subrodiert ist. Die außerhalb des Pyrmont Gewölbes angesetzte Bohrung Steinheim 1 (Ansatzpunkt: etwa 12 km SW von Bad Pyrmont) hat das Röt-Salinar durchfahren; Anzeichen von Subrosion liegen hier allerdings nicht vor.

#### 4.2.4 Muschelkalk

Die Schichten des Muschelkalkes sind vorwiegend aus Karbongesteinen aufgebaut, ihre Mächtigkeit beträgt im Bereich des Untersuchungsgebietes 180 bis 200 m. Umfangreichere lithologische Beschreibungen dieser Formationen sowie einzelne Aufschlußbearbeitungen finden sich in Weseloh (1994) und Burghardt (1996).

In Anlehnung an Stein (1968) läßt sich der **Untere Muschelkalk** im Untersuchungsgebiet wie folgt gliedern: Die Formation beginnt mit dem von Grupe (1927b) noch in den Oberen Buntsandstein gestellten Basisgelbkalk, der von dünnbankigem Kalkstein mit flachen Intraklasten überlagert wird. Die Mächtigkeit dieses auch als Basiskonglomerat bezeichneten Abschnittes beträgt ca. 14 m. Darüber folgt der etwa 20 m mächtige untere Wellenkalk 1 (muW1). Er besteht aus grauem, unebenen dünnplattigen Kalkstein, in den festere Kalksteinbänke eingeschaltet sind. Dieser wird überlagert vom ca. 7 m mächtigen Horizont der Oolithbänke (mu00), bestehend aus zwei festen, dichten Kalksteinbänken mit hellgrauen bis hellgelben Zwischenschichten. Der darüber folgende, etwa 30 m mächtige, mittlere Wellenkalk 2 (muW2) setzt sich, ebenso wie der Wellenkalk 1, überwiegend aus grauem, unebenen,

mergeligen Kalkstein zusammen. Oberhalb folgt der ca. 7 m mächtige Horizont der Terebratelbänke (muT), bestehend aus harten, dichten Kalk- und Schillkalksteinbänken, in die wellig-plattiger, mergeliger Kalkstein eingeschaltet ist. Darüber schließt sich der bis zu 20 m mächtige obere Wellenkalk 3 (muW3) an, dessen Gesteinsausbildung der des Wellenkalkes 1 und 2 entspricht. Den oberen Abschluß des Unteren Muschelkalkes bildet der etwa 12 m mächtige Bereich der Schaumkalkbänke (muS). Die Gesamtmächtigkeit der Stufe beträgt etwa 110 m.

Der **Mittlere Muschelkalk** (mm) wird von dünnbankigem, hellgrauen dolomitischen Mergelstein gebildet, dem lagenweise Zellendolomit und Residualgips - Auslaugungsrückstände einer meist nur in tieferen Lagen enthaltenen Folge evaporitischer Gesteine - eingeschaltet sind. Der Mittlere Muschelkalk ist im Untersuchungsgebiet etwa 30 m bis 60 m mächtig. Eine detailliertere Gliederung, wie sie Dünkel & Vath (1990) für diese Formation im Raum Göttingen erarbeitet haben, ist hier mangels Aufschlüssen nicht möglich.

Den unteren Teil des **Oberen Muschelkalkes** (mo) bildet der aus hartem, gebankten, kristallinen Kalkstein bestehende Trochitenkalk (mo1). Seine Mächtigkeit beträgt 10 bis 12 m. Darüber sind etwa 40 m mächtige Tonplatten (mo2TP) und Dolomitische Grenzschichten (mo2DG) abgrenzbar; diese bestehen aus einer Wechsellagerung von +/- dezimetermächtigem Kalk- und Mergelstein (vgl. Duchrow & Groetzner 1984).

Die Schichten des Muschelkalkes sind in ausgedehnten, aber nicht genauer abgrenzbaren Teilen seines Verbreitungsgebietes verkarstet, die salinaren Einschaltungen im mittleren Teil der Schichtenfolge weitgehend subrodiert.

#### 4.2.5 Keuper

Der untere und mittlere Teil der Schichtenfolge besteht vorwiegend aus buntem, meist dolomitischen Mergelstein. Ihm sind dicht über der Basis vereinzelt dünne Bänke von Dolomit und Sandstein und im mittleren Abschnitt zahlreiche Gipsresiduen-Lagen sowie eine 20 m mächtige Folge eines feinkörnigen, glimmerhaltigen Sandsteines eingeschaltet (vgl. Duchrow 1968). Im oberen Teil des Keupers wechsellagert quarzitischer Sandstein und Tonstein in örtlich unterschiedlichen Mächtigkeitsanteilen. Die Gesamtmächtigkeit des Unteren und Mittleren Keupers beträgt 250 m, die des Oberen Keupers 50 m (vgl. Farrenschon 1995).

#### 4.2.6 Jura und Tertiär

Tonstein des Unteren Jura steht als Erosionsrest in einer Mulde am Nordrand und in grabenartigen Einbrüchen am Südrand des Pyrmonter Gewölbes an. In einem Einbruchsbecken am Nordwestende des Gewölbes liegt Sand und Ton des Tertiärs.

#### 4.2.7 Quartär

Im Gebiet des Pyrmonter Talkessels und in den benachbarten Tälern lagern Quartär-zeitliche Lockersedimente unterschiedlicher Genese und Ausbildung in wechselnder Mächtigkeit. Hierbei handelt es sich größtenteils um weichselzeitlichen Löß und Lößderivate, fluviatilen Sand und Kies sowie um weichselzeitliche Fließerde.

Weichselzeitliche **Fließerde** ist am Fuß von Talhängen weit verbreitet. Zusammensetzung und Aussehen der bis etwa 25 m mächtigen Fließerde ist von den jeweils am Hang anstehenden Fest- und Lockergesteinen abhängig. Ihre Matrix besteht aus schwach tonigem, feinsandigen Schluff.

Besonders die Hanglagen im Bearbeitungsgebiet werden von weichselzeitlichem **Löß** bedeckt. Er besteht aus gelbbraunem Schluff mit geringen Anteilen von Ton und Feinsand. Seine Mächtigkeit beträgt ca. 2 bis 7 m.

Genauere Kenntnisse über die Mächtigkeit und Beschaffenheit der quartärzeitlichen Sedimente im Bodenbereich des Talkessels konnten durch die im Rahmen der Objektforschung der Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsaufgaben um Bad Pyrmont durchgeführten geoelektrischen Gleichstromuntersuchungen gewonnen werden. Die Ergebnisse der Auswertung wurden in Form von fünf Vertikalschnitten dargestellt (Brost & Rogge 1995). Abbildung 13 (Kap. 4.3) zeigt exemplarisch den Schnitt A - A'.

Die quartärzeitlichen Sedimente bestehen überwiegend aus **fluviatilen Kies-/Sandablagerungen** (100 - 130  $\Omega$ m), die im Talbereich des Meßgebietes von **holozänem Auelehm** (40 - 80  $\Omega$ m) überlagert werden. Hierbei handelt es sich um grauen Schluff, der schwach tonig und z.T. fein- bis mittelsandig ist. Hinzu kommt ein stark wechselnder Humusanteil und Holzreste. Bei einem weiteren Sedimenttyp handelt es sich um grauen Fein- bis Mittelsand mit meist schwachem Schluff- und Humusgehalt. Die Auensedimente sind meist wassererfüllt und von plastischer oder breiiger Konsistenz.

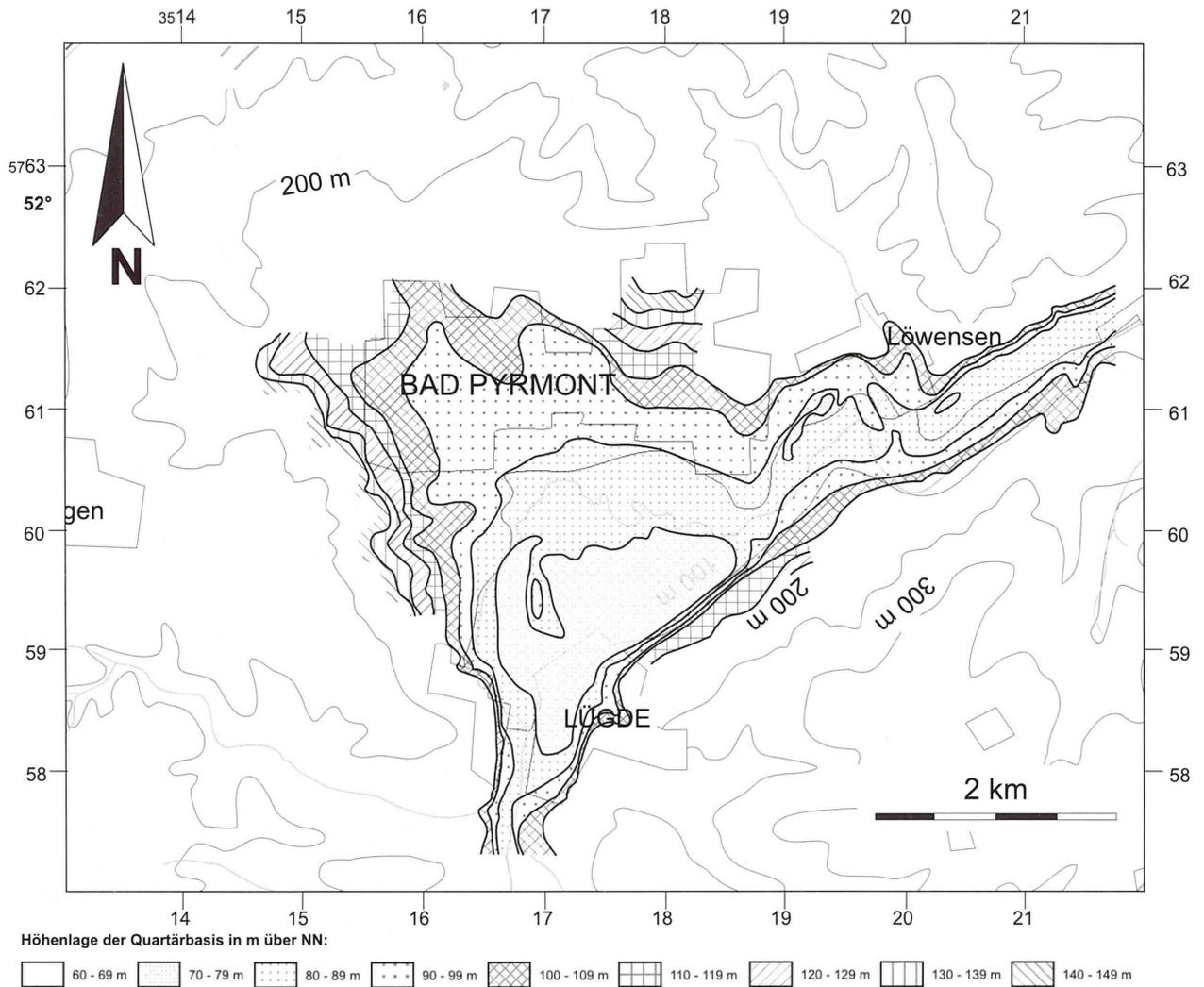


Abb. 10: - Quartärbasiskarte des Pyrmonters Talkessels (nach Burghardt, 1996).

Fig. 10: - Map showing the position of the base of the Quaternary in the Pyrmont valley.

Im Bereich des Kurpark-Quellbezirks ist Quellsinter verbreitet. Niedermoortorf ist in der Niederung der Emmer und der ihr zufließenden Wasserläufe sowie nördlich des Kurparks verbreitet. Die Geländemulde in der Umgebung des Coupe' schen Teiches wird ebenfalls von Torf unterlagert.

Burghardt (1996) erstellte eine Quartärbasiskarte für den Pyrmonters Talkessel (Abb. 10). Hinweise auf die Tiefenlage der Quartärbasis lieferten 26 Peilbohrungen, deren Lage sich auf die den Kessel umgebenden Bergflanken, die Stadt Lügde sowie den nördlichen Bereich des Talkessels beschränkte. Durch die Einbeziehung der Ergebnisse jüngerer (Brost & Rogge 1995) und älterer geoelektrischer Untersuchungen im Gebiet der Talsohle sowie der Schichtenverzeichnisse mehrerer Handbohrungen im Stadtgebiet von Bad Pyrmont (Waldeck 1966) verdichteten sich die Informationen zur Tiefenlage der Quartärbasis.

Bei Lügde, wo die Emmer in den Pyrmonters Talkessel eintritt, konnte die Quartärbasis nicht genau ermittelt werden. Nach Bohrergebnissen und geoelektrischen Befunden liegt die Basis dort im zentralen Bereich einer schmalen Talrinne unterhalb NN + 70 bzw. NN + 80 m. Östlich von Löwensen, wo die Emmer den Talkessel wieder verläßt, ist die Quartärbasis bei NN + 80 bis NN + 90 m auskartiert worden. Die Differenz in der Tiefenlage der Quartärbasis zwischen südlichem Taleingang und nördlichem Talausgang ist vermutlich auf synsedimentäre Senkungsprozesse infolge Subrosion in den salinaren Folgen des Zechsteins und/oder des Röts zurückzuführen (Burghardt 1996). Hinweise auf einen ehemals andernorts gelegenen Talausgang liegen nach Burghardt (1996) nicht vor und erscheinen bei Betrachtung der heutigen Morphologie auch als eher unwahrscheinlich.

Die Quartärmächtigkeit ist in der Emmerniederung relativ gleichbleibend und beträgt bis zu 30 m. Eine Ausnahme zeigt sich im Meßpunkt 13 des geoelektrischen Meßprofils A - A' (Abb. 10). Hier ist eine Vertiefung der Quartärbasis zu beobachten. Da eine ähnliche Vertiefung an dem Meßpunkt 37 (Abb. 12) beobachtet wurde, liegt die Vermutung nahe, daß es sich um eine schmale quartärzeitliche Erosionsform (Rinne) handelt. Bei Betrachtung der Quartärbasis in den umliegenden Bereichen erscheint dies jedoch unwahrscheinlich. Es dürfte sich dabei eher um zwei mit quartärzeitlichen Sedimenten verfüllte Erdfälle handeln, die ihren Ursprung vermutlich im Röt- oder Zechstein-Salinar haben. Die Nähe dieser beiden Punkte zum Zechstein-Salzhang läßt auf rezente Subrosion und Vorrücken des Salzhanges nach Nordosten schließen (Kap. 4.3).

Im Bereich zwischen dem Kesselzentrum im Ortskern von Lügde und dem Pyrmonter Bahnhof liegt die Quartärbasis bei NN + 70 m bis NN + 80 m. Südöstlich von Oesdorf, bzw. Löwensen, liegen zwei weitere Gebiete mit einer Tiefenlage von NN + 70 m bis NN + 80 m. Nach Burghardt (1996) ist möglicherweise der Bereich bei Oesdorf mit dem nördlich von Lügde gelegenen über eine schmale Rinne verbunden.

Während der Anstieg der Quartärbasis an den westlichen und südöstlichen Bergflanken relativ steil erfolgt, verläuft er im Bereich des nördlichen Hanges sanfter. Dies entspricht der heutigen Morphologie, wirft aber die Frage auf, wie diese Morphologie entstanden ist. Burghardt (1996) sieht eine mögliche Erklärung in der Flußgeschichte der Emmer (Kap. 4.4).

Funde glaziärer Sedimente, wie die von Grupe (1927b) erwähnten vereinzelt nordischen Geschiebe, konnten nach Geländebegehungen durch Kaltwang (1992), nach Untersuchungen durch Burghardt (1996) und nach eigenen Befunden nicht bestätigt werden.

### 4.3 Tektonischer Bau

Das Pyrmonter Gewölbe ist das südöstlichste Glied einer Kette von mesozoischen Schicht-Aufwölbungen, die sich mit 225 km Länge vom Weserabschnitt Polle - Bodenwerder in WNW-Richtung bis in die Gegend von Osnabrück erstreckt und seit Stille (1910) als Teil der „Piesberg-Pyrmonter Achse“ bekannt ist (vgl. Boigk 1968). In der südöstlichen Hälfte dieser Struktur ist das Pyrmonter Gewölbe mit seiner Amplitude von 600 m, seiner Breite bis zu 16 km und einer Länge von etwa 40 km die tektonisch ausgedehnteste und höchste Erhebung (Herrmann 1969b). Das relativ einfach und nahezu gleichförmig-symmetrisch gebaute

Schichtengewölbe stellt eine Brachyantiklinale dar, deren Gewölbeachse von SE kommend sanft ansteigt, breit kulminiert und flach nach NW abfällt, so daß sich eine elliptische Form ergibt.

Im SSE begrenzt der Falkenhagener Lias-Graben das Gewölbe, im SSW und NNE wird es durch Synklinalen (Keupermulden) von den benachbarten Aufwölbungen getrennt. Quer zu seiner Längsrichtung wird es im ESE durch die Weststrandstörung des Vogler, im NW durch die Verwerfungszone von Sternberg begrenzt. Die Asymmetrie des Gewölbes zeigt sich darin, daß in der südwestlichen Mulde der Obere Keuper nur die Gipfelplateaus einzelner Berge bildet, in der nordöstlichen aber geschlossen verbreitet ist.

Nach der Strukturübersicht im geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland 1: 300.000 (Baldschuhn, Frisch & Kockel 1996) ist der Pyrmont-Sattel Teil der Pyrmont-Scholle, die im N und NW von der Quetzen-Süntel-Scholle, im S und SW vom Falkenhagener Grabensystem und im SE vom Bad Meinberger Graben und der Osning-Überschiebung begrenzt wird.

Aus dem Vergleich der Tiefbohrungen „Pyrmont 1“, „Pyrmont 2“ und „Sonneborn“ lassen sich nach Herrmann (1969b) Aussagen über den subsalinaren Untergrund ableiten. Die Oberfläche des Hauptdolomits (z2D) war in den Bohrungen „Pyrmont 1“ und „Pyrmont 2“ bei etwa NN - 900 m bzw. NN - 912 m erbohrt worden; in Bohrung „Sonneborn“ lag dagegen diese Schichtfläche bei etwa NN - 788 m. Im Scheitel der Muschelkalkkuppel nordwestlich Sonneborn läßt sich für die Oberfläche des Hauptdolomits eine Tiefenlage von rund NN - 700 m, also rund 200 m höher als bei Pyrmont errechnen. Westlich dieser Kuppel fällt das Subsalinargewölbe zu größerer Tiefe hin ab.

Herrmann (1969b) schloß daraus, daß das Pyrmonter Schichtengewölbe durch eine Aufwölbung des subsalinaren Untergrundes bedingt ist, wobei der Gewölbescheitel nicht unter dem Pyrmonter Talkessel, sondern mehrere Kilometer nordwestlich davon liegt.

Zur Frage nach dem Grund für die Aufwölbung und die anschließend erfolgte Reliefumkehr wurden in der Vergangenheit drei weitere Hypothesen diskutiert (vgl. Burghardt 1996):

- a) Es erfolgte eine Schichtenaufwölbung durch laterale Einengung.
- b) Die Aufwölbung entstand durch halokinetische Vorgänge, die Talkesselbildung durch Subrosion.
- c) Ein Intrusivkörper im Präsalinar bewirkte die Aufwölbung.

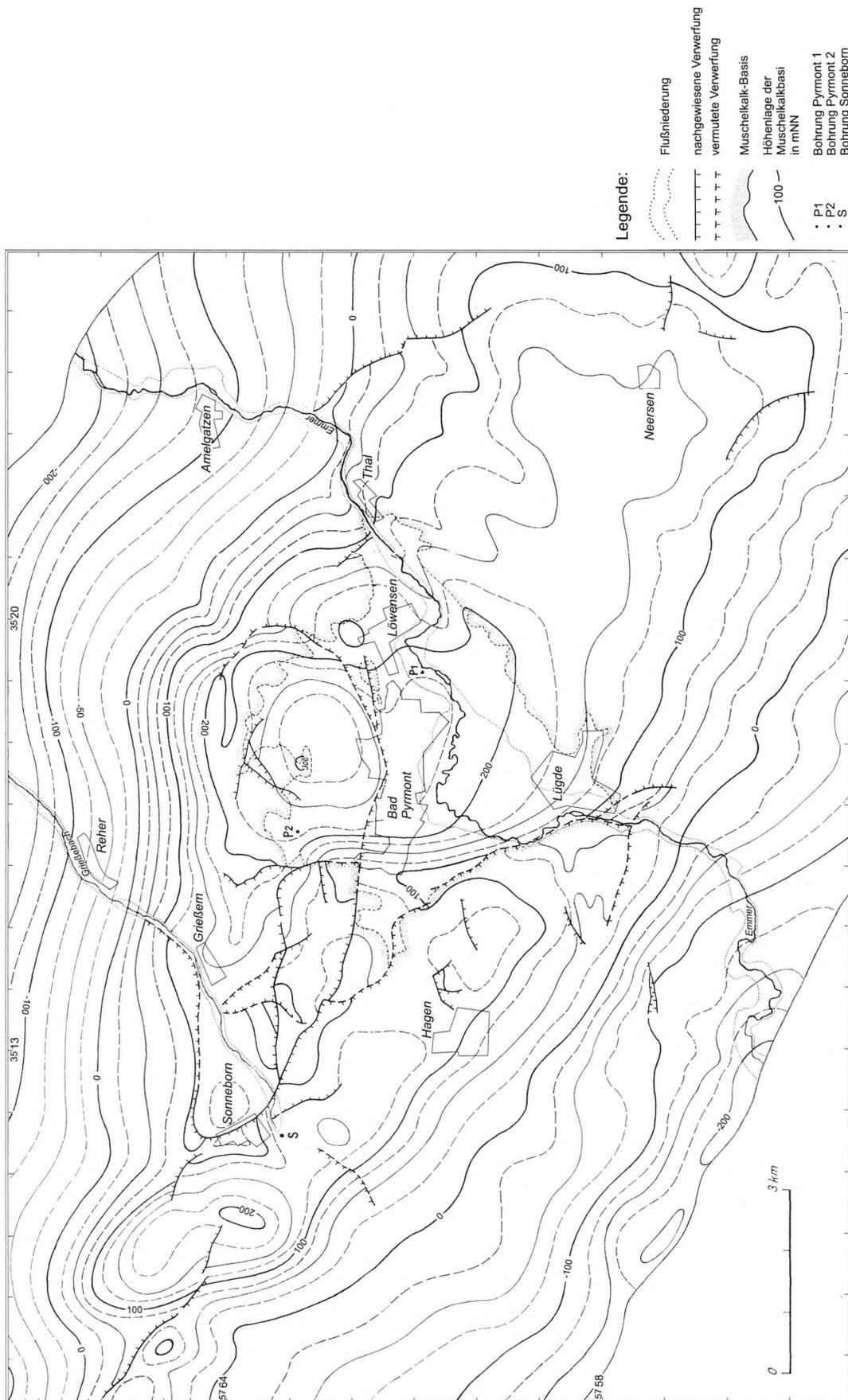


Abb. 11: - Strukturkarte des Pyrmontes Gewölbes (nach Herrmann, 1969b).

Fig. 11: - Structure map of the Pyrmont dome (after Herrmann, 1969b).

Zu a.) Im Fall einer Einengungstektonik müßte es sich bei den auftretenden Störungen um Aufschiebungen handeln. Bei den im Gebiet auftretenden Störungen handelt es sich jedoch fast ausschließlich um Abschiebungen, also liegt ein Dehnungsgefüge vor.

Zu b.) Ein lokales Salzkissen als Ursache für die Aufwölbung kann ausgeschlossen werden, da in den Bohrungen „Pyrmont 1“ und „Pyrmont 2“ im Bereich der Gewölbeachse, sowie in der abseits davon gelegenen Bohrung „Sonneborn“ der Zechstein bis hin zur Werra-Folge in annähernd gleicher Mächtigkeit angetroffen wurde. Die Bohrung „Sonneborn“ erbrachte nur Residualsedimente, die auf Subrosionsvorgänge zurückzuführen sind.

Eine Kesselbildung infolge Subrosion kommt nicht in Betracht, da die Salinarserien des Zechsteins im Kesselzentrum (Bohrung „Pyrmont 1“) wie am Kesselrand (Bohrung „Pyrmont 2“) in nahezu gleicher Mächtigkeit vollständig erhalten sind. Zudem müßten in diesem Fall im Kesselzentrum jüngere Schichten anzutreffen sein, als auf gleichem Höhenniveau an den Kesselflanken.

Zu c.) Über einen Intrusivkörper im Präsalinar liegen bislang keine Erkenntnisse vor. Das ca. 25 km nordwestlich gelegene Vlothoer Massiv könnte jedoch mit solch einem Pluton in Zusammenhang stehen.

Die wahrscheinlichste Erklärung liegt nach wie vor bei den bereits vom besten Kenner Herrmann (1969b) angenommenen postsalinaren Prozessen, die zur Aufwölbung führten, woraufhin die im Scheitelbereich am stärksten auftretende Dehnungstektonik tiefgreifende Erosion ermöglichte. Die im Satteln am höchsten herausgehobenen Röt-Folgen wurden flächenhaft erodiert, wobei sich an den Sattelflanken in den härteren und tektonisch weniger beanspruchten Gesteinen des Muschelkalkes nur schmale Erosionstäler bildeten. Der Zeitpunkt der Aufwölbung ist mangels Vorhandensein posttriassischer Sedimente ungewiß. Wahrscheinlich fand die Aufwölbung im Verlauf der subherzynen Bewegungen in der späten Oberkreide statt (subherzyne Tektophase).

Bei Entstehung des Pyrmonters Gewölbes kam es insbesondere im zentralen Scheitel wegen der dort stärksten tektonischen Beanspruchung zur Bildung tiefreichender Verwerfungs- und Zerrüttungszonen. Infolge der entstandenen Anisotropie in der vertikalen Gebirgsdurchlässigkeit konnte ablaugungsfähiges Grundwasser bis in große Tiefen eindringen und von den Zechstein-Zonen ausgehend, Salinarserien in mehr oder weniger großer Ausdehnung subrodieren, wobei das Deck

gebirge in entsprechendem Umfang einsank und von weiteren Brüchen betroffen wurde.

Sowohl die Gewölbestruktur mit ihren Verwerfungs- und Zerrüttungszonen, wie auch die Auslaugung der salinaren Serien mit ihren Folgeerscheinungen sind bestimmend für das heutige Grundwasser-Fließsystem; sie werden daher im folgenden eingehend dargestellt. Einzelheiten der Schichtenlagerung auf dem Pyrmonters Gewölbe lassen sich aus der Strukturkarte von Herrmann (1969b) entnehmen, die einen 22 km langen und 15 km breiten Ausschnitt seines höchsten Gewölbe-teiles darstellt (Abb. 11). Die Karte zeigt die Höhenlage der Muschelkalkbasis über oder unter NN in Isohypsen mit 25 m-Abstand. Zudem ist die Ausbißlinie der Muschelkalkbasis dargestellt, um eine Vorstellung davon zu vermitteln, wo - innerhalb des Talkessels - die dargestellte Fläche in der Luft ergänzt zu denken und wo sie - auf den Flanken des Gewölbes - unter der Erdoberfläche vorhanden ist. Die Darstellung von Herrmann (1969b) ist ergänzt worden nach Ergebnissen der geoelektrischen Messungen (Brost & Rogge 1995) und Ergebnissen von Bodenluftuntersuchungen.

Die Karte läßt erkennen, daß das Pyrmonters Gewölbe im Südosten breit ansetzt, sich bei Bad Pyrmont verbreitert, weiter nordwestlich wieder zuspitzt. In seinem Scheitelbereich, von dem aus die Schichten nach beiden Seiten (NE u. SW) abfallen, sind eine Vielfalt tektonischer Formen erkennbar. Westlich von Bad Pyrmont zeigt die Karte eine Zweiteilung des Gewölbes in einen östlichen Teil mit einer breit entwickelten Scheitelzone in hoher Lage und einen westlichen, durch Subrosion von Zechsteinsalinar tiefer gelegenen Teil. Das Subrosionsgebiet wird von einem Salzhang umgeben, der entlang einer Linie zwischen Pyrmont-Holzhausen und Lügde durch eine etwa Nord-Süd streichende Schichtabbiegung erkennbar ist (Kap. 4.4).

In der folgenden Betrachtung des Pyrmonters Gewölbes wird angenommen, daß dieses Gewölbe länglich ist und sich somit in eine Region der Gewölbeachse und eine nördliche und eine südliche Gewölbeflanke gliedern läßt:

#### Region der Gewölbeachse

Im Gebiet südöstlich der Emmer weist der Scheitelbereich der Aufwölbung annähernd söhlig bis flache Lagerung mit einer geringen Querwellung auf. Am Nordrand des Pyrmonters Talkessels im Bereich des Bomberges erstreckt sich ein kleinräumiges, rundes Spezialgewölbe (Herrmann 1969b), das den tektonisch höchstgelegenen Teil des gesamten Pyrmonters Gewölbes bildet. In seinem Scheitelpunkt liegt die Muschel-

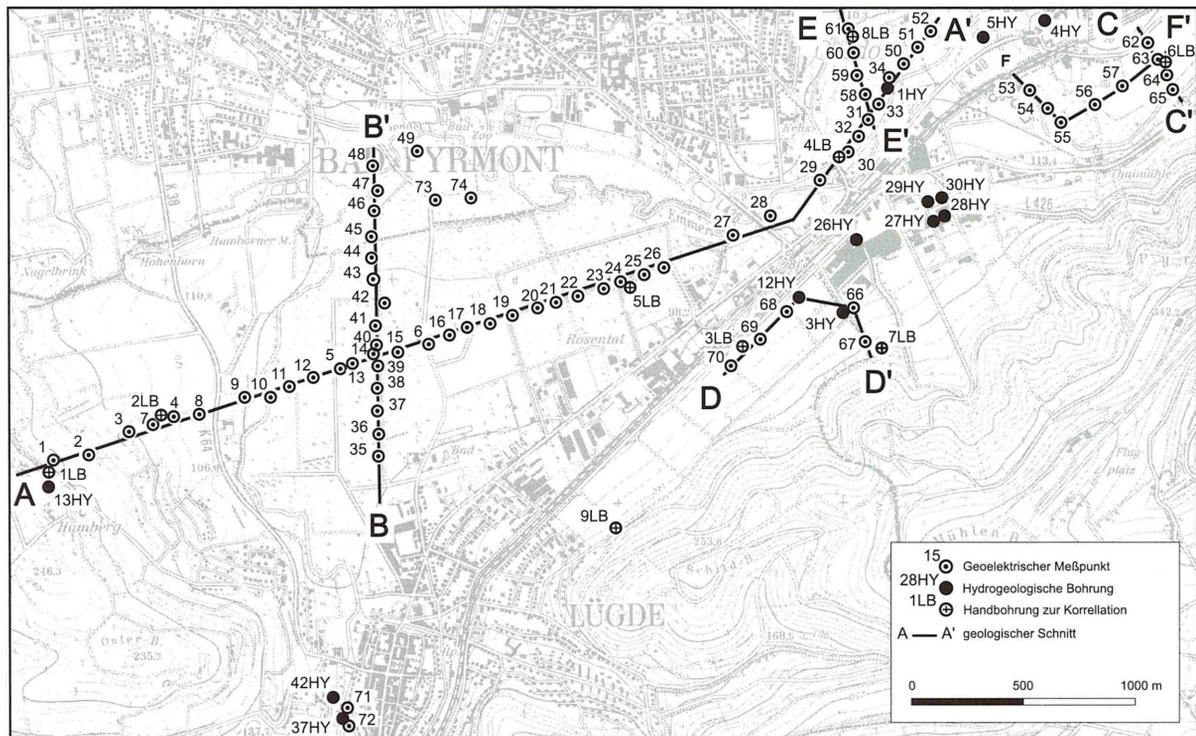


Abb. 12: - Lage der geoelektrischen Meßpunkte des Profils A – A' und E – E'.

Fig. 12: - Map showing distribution of geoelectric measurements along the cross sections A – A' and E – E'.

kalkbasis in einer Höhe bis NN + 300 m. Von hier fallen die Schichten sehr flach nach allen Seiten mit Winkeln um 2° ein. Am Südhang des Bombers bis zu einer Verwerfung, die vom Hylligen Born ENE-wärts streicht, steht das Röt und auch die unterlagernde Solling-Folge mit den Tonigen Grenzschieben und dem Bausandstein der Solling-Wechselfolge an der Geländeoberfläche an. Südlich der Verwerfung, die auch als „Quellspalte“ bekannt ist, streicht wieder Röt aus.

Westlich der etwa von Lügde nach Holzhausen verlaufenden Flexur ist das Deckgebirge in Schollen zerbrochen, die vertikal gegeneinander verschoben sind. Die östlich der Flexur Lügde - Holzhausen noch erkennbare Gewölbeachse geht im Nordwesten in eine Schichtendepression über, die von zwei Teilsätteln eingerahmt wird. Die unregelmäßige Schichtenlagerung westlich der Flexur und die scheinbare Zweiteilung der Gewölbeachse in diesem Raum hat ihre Ursache in den Senkungen, die durch Subrosion des Zechsteinsalinars im Scheitelbereich des Gewölbes verursacht worden sind.

#### Gewölbeflanken

Auf der nördlichen bis nordöstlichen Gewölbeflanke fallen die Schichten vom Gewölbescheitel aus zunächst mit durchschnittlich 7° nach NE ein. Weiter außerhalb

verflacht sich das Schichteinfallen bis zu angenähert söhligler Lagerung. Die Schichten auf der südlichen Gewölbeflanke fallen mit durchschnittlich 3° bis 5° nach SW ein.

#### Lagerungsverhältnisse in der weiteren Umgebung von Bad Pyrmont

Im Umkreis des Pyrmonters Talkessels ist das Schichteinfallen generell nach außen gerichtet mit Einfallswinkeln zwischen 2° und 7°. Örtlich zeigen sich auch andere Lagerungsverhältnisse: Am Westrand des Talkessels, streckenweise auch am Nordrand, ist das Schichteinfallen im Unteren Muschelkalk und - soweit beobachtbar - auch im Röt gegen die Gewölbeachse und somit gegen das Innere des Talkessels gerichtet. Temporäre Aufschlüsse (Baugruben) im Neubaugebiet nordnordöstlich Lügde zeigten anomal flach gegen die Gewölbeachse hin einfallende Schichten des Grenzbereiches Unterer/Mittlerer Muschelkalk. Die Verstellung der mesozoischen Schichten gegen die Gewölbeachse in diesen Bereichen wird teils auf Subrosion von Zechstein- und/oder Rötsalinar, teils auf tektonische Schrägstellungen zurückgeführt. Eine weitere mögliche Ursache ist das Abrutschen von Gesteinen des Muschelkalks auf tonigen Schichten des Röts.

Das Netz der Verwerfungen, die weniger auf den Flanken und mehr auf den höheren Teilen des Pyrmonters

Gewölbes feststellbar sind, setzt sich aus zwei Gruppen zusammen, deren Genese kausal und zeitlich unterschieden werden kann.

Zunächst sind die Verwerfungen zu nennen, deren Entstehung auf den Aufwölbungsvorgang selbst zurückzuführen ist. Sie sind über das gesamte Gewölbe verteilt und betreffen seinen subsalinaren Untergrund, das Salinargebirge und das mesozoische Deckgebirge. Mit Rücksicht auf das plastische Verhalten des Salzes kann angenommen werden, daß Fugen/Spalten, die im Salinargebirge entstanden waren, sich wieder geschlossen haben. Andererseits können Verwerfungen entstanden sein, die schon ursprünglich im oder über dem Salinargebirge endeten. Bei den Verwerfungen handelt es sich um Dehnungsbrüche, die durch Dehnung bei einer Schichtaufwölbung entstehen.

Die zweite Gruppe bilden Verwerfungen, die erst bei Nachsinken des Deckgebirges über Subrosionsbereichen entstanden sind. Diese sind im allgemeinen jünger als die erstgenannten Verwerfungen. Ihre Verbreitung beschränkt sich auf das Gebiet westlich der Linie Holzhausen/Lügde, in dem Subrosionserscheinungen im Zechstein-Salinar nachgewiesen sind.

Erst durch die Kartierung von Grupe (1927a, b) wurde das vielfältige Netz der Verwerfungen im Pyrmont Raum erfaßt. Besonders dicht ist dieses Netz im Bereich der Muschelkalkhöhen westlich von Pyrmont. Im Talkessel selbst läßt die ausgedehnte Decke quartärzeitlicher Lockersedimente meist nur Vermutungen über den Verlauf von Verwerfungen zu. Kenntnisse über den Verlauf einiger Störungen konnten anhand geoelektrischer Messungen (Brost & Rogge 1995) sowie durch Messungen der  $\text{CO}_2$ -Gehalte in der Bodenluft ergänzt, bestätigt und korrigiert werden.

Die Einzelbetrachtung der Verwerfungslinien sei mit derjenigen begonnen, die von Lügde aus am Rand der Emmerniederung nach NNW verläuft und ihre Fortsetzung in der Verwerfung an den Erdfällen von Holzhausen findet. Ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Teilstrecken entlang der o.g. Flexur läßt sich vermuten. Diese ist aber auf mehr als 3 km unter quartärzeitlichen Lockersedimenten verborgen. Nordwestlich Lügde bestätigen die Ergebnisse der geoelektrischen Untersuchungen den vermuteten Verlauf dieser Verwerfung.

Die Auswertungsergebnisse der geoelektrischen Messungen sind in Form von Vertikalschnitten dargestellt. Jeder Vertikalschnitt enthält die aus der Auswertung der Sondierungskurven hervorgehenden Schichten, in die die wahren spezifischen elektrischen Gesteinswiderstände in  $\Omega\text{m}$  - so wie sie sich aus der Interpreta-

tion der Sondierungskurven ergeben - eingetragen sind. Der jeweilige Meßpunkt, d.h. das Symmetriezentrum jeder Messung, ist durch einen kleinen Kreis gekennzeichnet.

Das geoelektrische Meßprofil A - A' verläuft vom Homberg in nordöstlicher Richtung hangabwärts, quert die Emmerniederung und knickt etwa in Höhe des Pyrmonters Bahnhofs nach NNE ab (Abb. 12).

Im Hangbereich am südwestlichen Beginn des Profils treten Schichten mit spezifischen Widerständen bis zu  $600 \Omega\text{m}$  auf (Abb. 13). Sie bestehen aus Kalk- und Mergelgesteinen des Unteren und Mittleren Muschelkalks. Starke Änderungen der spezifischen Widerstände und der Tiefen der einzelnen Schichtgrenzen zwischen den Meßpunkten 9 und 10 deuten auf die von Herrmann (1969b) vermutete Verwerfung hin. Eine weitere, bisher unbekannte Verwerfung konnte weiter westlich zwischen den Meßpunkten 7 und 4 lokalisiert werden.

Im gesamten südwestlichen Abschnitt bis zur Emmer zeigt der Schnitt eine relativ unruhige Verteilung der spezifischen Gesteinswiderstände. Dies ist auf die o.g. Verstellung und Zerrüttung der Schichten durch flächenhafte Subrosion von Zechstein-Salinar im tieferen Untergrund - ab ca. 400m - zurückzuführen. Das Subrosionsgebiet wird von einem Salzhang begrenzt, dessen Lage sich im Bereich der Emmer durch den abrupten Wechsel zur ruhigeren Verteilung der spezifischen Widerstände im mittleren Teil des Profils abzeichnet.

Die Strukturkarte von Herrmann (1969b) zeigt am Fuß des Hohberges eine Abspaltung bzw. Fortsetzung der Lügder Verwerfung nach NW. Dort entspringt an der Basis des geklüfteten, z.T. verkarsteten und somit gut grundwasserleitenden Unteren Muschelkalks im Grenzbereich zum darunter liegenden geringdurchlässigen Röt-Tonstein die Hohenborn-Quelle (Wasserkwerk Hohenborn, Abb. 2). Der Versatz des wassererfüllten Unteren Muschelkalks gegen den Röt-Tonstein führte zur Bildung dieser Stauquelle.

Die Verwerfung schwenkt dann in das kurze Tal westlich von Holzhausen ein und findet Anschluß an die aus der geologischen Kartierung (Grupe 1927b) bekannte Verwerfung, die sich bis Sonneborn erstreckt und dort etwa 60 m Sprunghöhe aufweist. Diese auf 8 km Erstreckung - von Lügde bis Sonneborn - verfolgbare Verwerfung hat die Tiefscholle durchweg auf der Südwestseite und ist damit der Böschung des Salzhanges entgegengesetzt angeordnet; sie ist also wohl den Lagerungsstörungen der Auslaugungssenkungen zuzuschreiben.

Schnitt A - A'

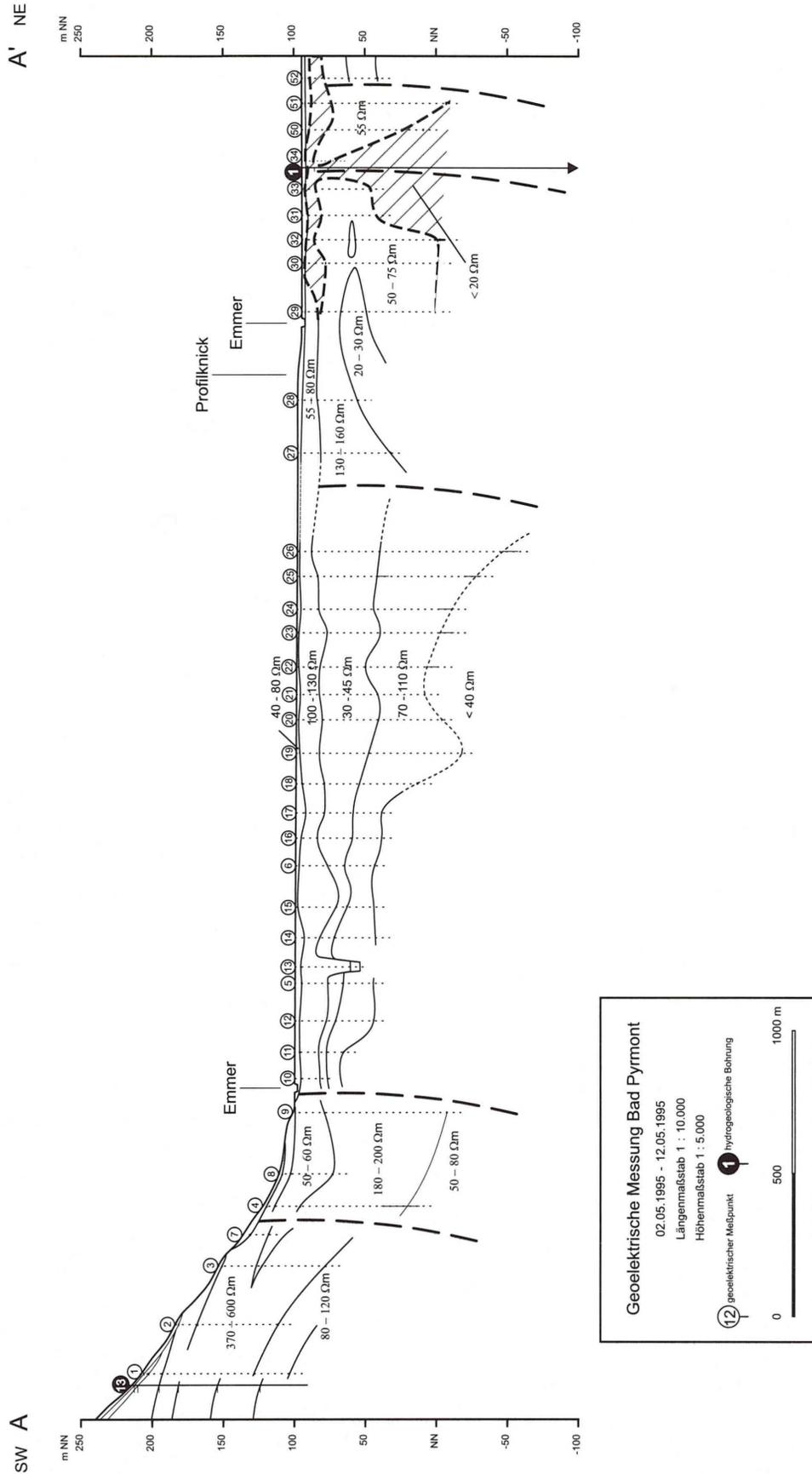


Abb. 13: - Geoelektrische Messungen, Schnitt A - A'.  
 Fig. 13: - Geoelectric measurements, cross section A - A'.

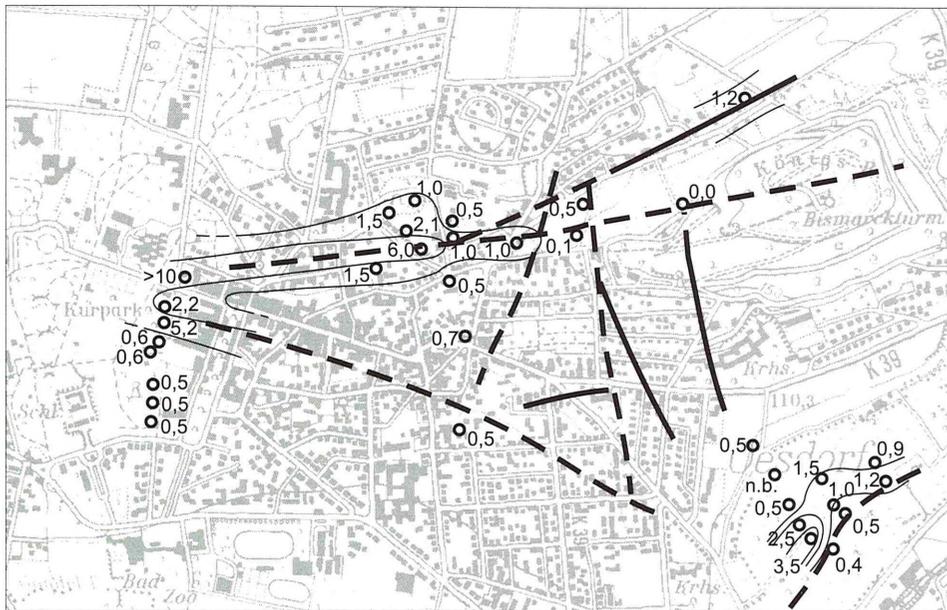


Abb. 14: - CO<sub>2</sub>-Gehalte in Volumenprozent der Bodenluft in ca. 1 m Tiefe.

Fig. 14: - CO<sub>2</sub>-concentrations from soil air in a depth of 1 m below surface (unit = vol.%).

Hinweise auf eine rezente Subrosion von Salinalgesteinen des Zechsteins und/oder des Röts geben zum einen die Erdfälle nördlich Holzhausen (Herrmann 1968) und die beiden o.g. Vertiefungen der Quartärbasis in der Emmerniederung, die ebenfalls als mit quartärzeitlichen Sedimenten verfüllte Erdfälle betrachtet werden müssen sowie zum anderen die nicht unerhebliche Salzfracht der Pyrmonter Quellen. Als Ort der voranschreitenden Subrosion kommt in erster Linie der Bereich des Salzhanges in Frage. Eine allmähliche Verlagerung des Salzhanges nach E ist somit nicht auszuschließen.

Die zweite bedeutende Verwerfungslinie ist diejenige, die am Südhang des Bomberges die Helenen-Quelle mit dem Hylligen Born in WNW-ESE-Richtung verbindet und als „Quellspalte“ bekannt ist (Abb. 2). Nördlich dieser Verwerfung streichen Schichten des Bausandsteins der Solling-Wechselfolge aus, im südlichen Vorgelände stehen Gesteine des Röts - im Untergrund des Kurhauses nachgewiesen - an. Der abgesunkene Flügel der Verwerfung liegt somit entlang dieses Teilabschnittes auf der Südseite. Weiter westlich ist die Verwerfungslinie von quartärzeitlichen Lockersedimenten bedeckt und ist erst wieder auf dem isolierten Muschelkalkhügel nordwestlich Holzhausen nachweisbar, nun mit abgesunkener Nordscholle. In einem Steinbruch ca. 150 m südlich der Straße stehen Oolith-Bänke mit etwa 20 m Sprunghöhe gegen Wellenkalk an. Mit gleichbleibender Sprunghöhe durchschneidet die Verwerfung weiter westlich den Nordhang des Papenberges und vereinigt sich dann mit der Verwerfung Lügde-Sonneborn. Der Wechsel der

Verwurfsrichtung etwa bei Holzhausen könnte auf einer Umkehr der Sprunghöhen bei den durch die Auslaugung bedingten Senkungen beruhen.

Abbildung 14 zeigt die Ergebnisse der Bodenluftuntersuchungen zur Feststellung von CO<sub>2</sub>-Anomalien. Nach Fricke & Querfurth (1972) gilt bei dieser Meßmethode als Normalwert das in den obersten Bodenschichten selbst gebildete CO<sub>2</sub>, dessen Gehalt je nach Bodentyp, Düngung usw. zwischen 0,3 Vol.-% bis 1,0 Vol.-% betragen kann. CO<sub>2</sub>-Gehalte > 1 Vol.-% gelten bereits als Anomalie.

Das N-S-verlaufende Meßprofil, das ausgehend von der Bomberg-Allee nördlich der Helenen-Quelle entlang der Klosterallee durch den Kurpark verläuft, zeigt eine ausgeprägte Anomalie mit > 10 Vol.-% CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Bodenluft etwa auf Höhe der Helenen-Quelle. Bereits wenige Meter nördlich und südlich entfernt von diesem Meßpunkt nimmt der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Bodenluft wieder ab. Ein Zusammenhang zwischen dem hohen CO<sub>2</sub>-Gehalt und den in diesem Bereich verbreiteten Torf- und Moorböden erscheint wegen der engen Begrenzung der Anomalie eher unwahrscheinlich. Die Zufuhr des CO<sub>2</sub>-Gases erfolgt auf Verwerfungen aus größerer Tiefe. Eine zweite Anomalie etwa 100 m südlich der Helenen-Quelle deutet auf eine weitere Verwerfung hin, bei der es sich möglicherweise um eine Abspaltung von der eigentlichen „Quellspalte“ handelt.

Vom Hylligen Born aus knickt die „Quellspalte“, an der die Hauptquellen aufgereiht sind, in ENE-Rich-

## Schnitt E - E'

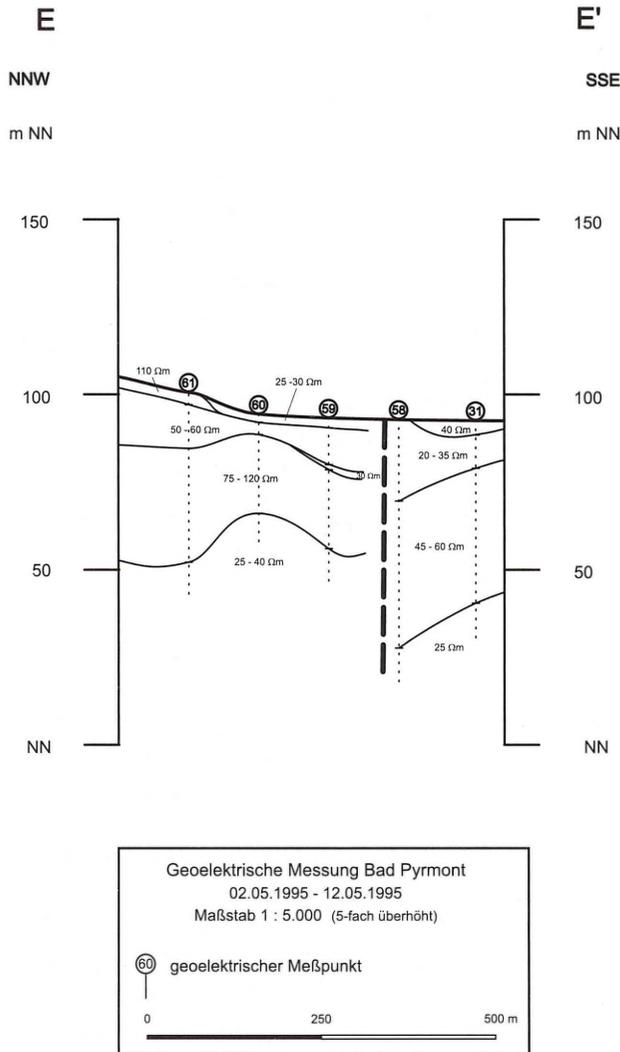


Abb. 15: - Geoelektrische Messungen, Schnitt E – E'.

Fig. 15: - Geoelectric measurements, cross section E – E'.

Abbildung. Hier liegen auf einer Strecke von etwa 600 m ziemlich geradlinig hintereinander die TRAMPELSche Quelle, der Staatlich Pyrmont Sauerling und die Eichenkeller-Quelle (Abb. 2).

Erwähnenswert erscheinen an dieser Stelle die Ergebnisse der Bodenluftuntersuchungen in der Umgebung der Dunsthöhle (Abb. 14).  $\text{CO}_2$  tritt hier über dem Grundwasserspiegel aus und sammelt sich in einer, heute umbauten Kaverne am Boden eines amphitheatralischen Bauwerks. Entgegen der Erwartung betragen die  $\text{CO}_2$ -Gehalte der Bodenluft in unmittelbarer Nähe der Dunsthöhle lediglich zwischen 1,0 Vol.-% und 1,5 Vol.-%. Weiter hangabwärts konnte jedoch anhand einer signifikanten Anomalie von 6 Vol.-%  $\text{CO}_2$  der von Grupe (1927b) vermutete Verlauf der Verwer-

fung auf etwa 20 m genau lokalisiert werden. Die Dunsthöhle liegt demnach vermutlich nicht unmittelbar auf einer Verwerfung, wie es eine Schemaskizze von Herrmann (1971) zeigt, sondern ist über Klüfte mit der südlich verlaufenden Verwerfungslinie verbunden. Andererseits besteht auch noch die von Herrmann (1971) beschriebene Möglichkeit, wonach das  $\text{CO}_2$ -Gas der Dunsthöhle einer Gaskappe entstammt, welche sich infolge Entgasung des Sauerlingwassers oberhalb des Grundwasserspiegels ständig bildet.

Weiter östlich teilt sich die „Quellspalte“ spitzwinklig in zwei Äste. Der südliche Ast durchschneidet den Königsberg nordwestlich Löwensen, der nördliche Ast umschließt in einem weiten Bogen das Bomberg-Gewölbe. Die Entstehung dieses Spezialgewölbes führte Stark (1953) auf magmatische Einwirkungen zurück und stützte seine Annahme durch einen Hinweis auf das vom Bramscher Massiv ausgehende und die Nordflanke der „Piesberg-Pyrmont-Achse“ begleitende Schwere-Maximum. Allerdings wies bereits Herrmann (1969b) auf die Unstimmigkeit hin, daß die Anomalie sich vor dem Bomberg-Gewölbe abschwächt, anstatt dort zu einem örtlichen Maximum anzuschwellen. Herrmann (1969b) warf hingegen die Frage auf, ob das Spezialgewölbe auf Bildung eines lokalen Salzkisens zurückgeführt werden kann. Möglicherweise setzte sich das Salz in Bewegung, als die auf dem Gewölbe einsetzende Abtragung eine örtliche Entlastung herbeigeführt hatte und die Unterschiede innerhalb der noch auf dem Salz liegenden Belastung zur Wirkung kamen.

Die dritte besonders zu erwähnende Verwerfungslinie verläuft südlich des Pyrmont Ortsteils Oesdorf, in der Emmerniederung von Löwensen kommend, in Richtung ESE. Die Verwerfung ist entlang ihres Verlaufes in der Emmerniederung von quartärzeitlichen Lockersedimenten bedeckt. Grupe (1927b) gab ihren Verlauf als Verbindungslinie zwischen Luisen-Quelle, Hufeland-Quelle II, Hufeland-Quelle I, Wolfgang-Quelle I und heute nicht mehr vorhandener Alter Sol-Quelle an. Die Ergebnisse der geoelektrischen Untersuchungen und der Bodenluftmessungen ergaben jedoch weitere Hinweise auf ihren Verlauf.

Am nordöstlichen Ende des geoelektrischen Meßprofils A - A' im Bereich der Meßpunkte 29 bis 52 treten in den oberflächennahen Schichten spezifische Widerstände unter  $20 \Omega\text{m}$  auf, die auf eine Versalzung des Grundwassers hindeuten (Abb. 13). Bei den Meßpunkten 29 bis 52 in der Nähe der Hufeland-Quelle II (Bohrung „Pyrmont 1“) werden solche spezifischen Widerstände auch in größerer Tiefe beobachtet. Im Bereich der Verwerfung gelangt offenbar Salzwasser aus dem tieferen Untergrund bis zur Oberfläche und breitet sich

in den gut durchlässigen quartärzeitlichen Kies-/Sandablagerungen seitlich aus. Die hydraulischen Gegebenheiten, die das Salzwasser an die Oberfläche gelangen lassen, werden später beschrieben (Kap. 6.3.).

Im Bereich zwischen den Meßpunkten 26 und 27 quert das Meßprofil A - A' die Verwerfung vermutlich ein zweites Mal. Die Verwerfung konnte jedoch nicht genauer lokalisiert werden, da in diesem Bereich aus topographischen Gründen der Meßpunktabstand bis 400 m relativ groß war.

Die Verteilung der CO<sub>2</sub>-Gehalte in der Bodenluft südwestlich der Hufeland-Quelle II läßt darauf schließen, daß die Verwerfung etwa 50 m nordwestlicher liegt als es Grube (1927b) angenommen hat. Andererseits bewirkt möglicherweise der lotrechte Aufstieg des CO<sub>2</sub>-Gases über verwerfungsnahe Klüfte eine horizontale Abweichung der CO<sub>2</sub>-Anomalie von der Lage der Verwerfungslinie. Einen weiteren Hinweis auf ein mögliches Umbiegen der Verwerfungslinie in diesem Bereich gibt das geoelektrische Meßprofil E - E' (Abb. 12, 15). Anhand der unterschiedlichen spezifischen Widerstände und der Tiefen der Schichtgrenzen konnte die Verwerfung zwischen den Meßpunkten 58 und 59 lokalisiert werden.

#### 4.4 Abriß der geologischen Entwicklung des Gebietes

Der Pyrmonter Bereich gehörte dem nordwestdeutschen Senkungsbecken an, wobei seine Lage zu dem im SW gelegenen Beckenrand mehrfach wechselte. Die ältesten im Untersuchungsgebiet erbohrten Gesteine sind die des Rotliegenden. Nach der variszischen Gebirgsbildung war die folgende Zeit des Rotliegenden durch Abtragung und Einebnung gekennzeichnet. Der Verwitterungsschutt der Gebirgszüge wurde in mehreren sinkenden Trögen zusammengeschwemmt, von denen der Wesertrog im Untersuchungsgebiet liegt (Dahm et al. 1985).

Während des Zechsteins setzte sich die Absenkung verstärkt fort, das Meer überflutete Deutschland von Norden und bildete das Germanische Becken. Die mehrere hundert Meter mächtige Gesteinsfolge des Zechsteins entstand in relativ flachem Wasser. Es entstand eine stärkere Gliederung der Meeresbereiche vor dem Festlandssockel mit Schwellen und zeitweise abgeschnürten Becken.

Der Zechstein läßt sich im Untersuchungsgebiet in vier vollsalinare Zyklen untergliedern. Der erste Zyklus, die Werra-Folge, begann mit dem Kupferschiefer (z1T), der ein erstes Anzeichen der Isolation des Zechstein-

beckens vom Weltmeer darstellt. Mit dem Zechsteinkalk (z1K) wurde der Austausch mit dem Weltmeer wieder freier und führte zu besseren Bedingungen für tierisches Leben. Anschließend verengte sich die Verbindung zu dem Weltmeer von neuem, die Zunahme der Salzgehalte war lebensfeindlich. In dem steril werdenden Verdunstungsbecken lagerte sich erst der Untere Werra-Anhydrit (z1ANa) dann das Werra-Steinsalz (z1NA) ab. Der obere Werra-Anhydrit (z1ANb) dokumentiert wieder rückläufige Bedingungen.

Die Staßfurt-Folge (z2) begann mit einer abermaligen Öffnung des Zechstein-Beckens. Anfangs entstand der Hauptdolomit (z2D) in normal-mariner Fazies. Darüber baute sich eine unter erneuter Abschnürung entstehende zweite Eindampfungs-Folge, bestehend aus Basalanhydrit (z2AN) und Staßfurt-Steinsalz (z2NA), auf.

Der Graue Salzton (z3GT), der bereits wieder unter marinen Bedingungen entstand, leitet die Leine-Folge (z3) ein, die hier ein mächtiges Steinsalzlager (z3NA) enthält. Die generelle Abnahme der Steinsalzmächtigkeit von Steinheim über Bad Pyrmont nach Nordosten in der Werra-Folge (z1) und die Mächtigkeitszunahme des Steinsalzes in der gleichen Richtung in der Leine-Folge (z3) dokumentiert eine Verlagerung des Beckentiefsten von Süden nach Norden bzw. Nordosten während dieser Zeit.

Im vierten Zyklus, der Aller-Folge (z4) lagerte sich nach erneuter Öffnung des Beckens der Rote Salzton (z4RT) ab, anschließend erfolgte abermals eine Eindampfung die zur Entstehung des Pegmatitanhydrits (z4AN) und des Aller-Steinsalzes (z4NA) führte.

Der Bereich oberhalb der Aller-Folge bis zur Basis der Calvörde-Folge (suC) ist durch eine beckenrandnahe, geringmächtige und klastisch entwickelte Abfolge sowie eine wesentlich mächtigere, durch Evaporite und Tonstein gekennzeichnete beckenzentrale Abfolge gekennzeichnet (Boigk 1961). Die vollsalinare Entwicklung innerhalb des Norddeutschen Beckens zog sich nach Ablagerung der Aller-Folge zunehmend auf beckenzentrale Bereiche zurück (Best 1989). Mit Beginn der Ohre-Folge (z5) setzte eine rezessive Salinentwicklung ein, die bis zur Basis der Calvörde-Folge anhielt (Röhling 1993). Die im Untersuchungsgebiet angetroffene Gesteinsfolge vom z5-Äquivalent (z5Äq) bis zum Oberen Bröckelschiefer (zBr(o)) repräsentiert eine beckenrandnahe Fazies. Analog der in den Bohrungen Solling-5 und Treischfeld-3/Hessisches Werra-Kali-Gebiet erbohrten Schichtfolge (Röhling 1993) herrschen auch im Pyrmonter Raum in der Zechstein-Übergangsfolge bereits buntsandsteintypische Sedimente vor.

Der Untere Buntsandstein bildet den Ausklang der Eindampfungsepoche des Zechsteins. Es erfolgte ein Meeresrückzug in dessen Verlauf, seichte, zeitweise übersalzene Wasserflächen verbreitet waren. Flüsse lagerten Sand ab, in Seen kamen Tone und Schluffe zum Absatz. Insgesamt besteht der Untere Buntsandstein aus einem kleinzyklischen Wechsel von Ton-, Schluff- und Feinsandsteinen.

Die Ablagerungen des Buntsandsteins lassen sich, wie die des Zechsteins, in Großzyklen gliedern. Im Gegensatz zum Mittleren Buntsandstein wurden jedoch die beiden Folgen des Unteren Buntsandsteins des Norddeutschen Beckens bzw. seiner Randgebiete, die Calvörde- und Bernburg-Folge, weniger aufgrund sohlbankzyklischer Kriterien als aufgrund lithofaziell-sedimentologischer Unterschiede voneinander abgetrennt. Diese sind u.a. die Rogensteinführung oder die Dominanz verschiedener Schichtungstypen (Boigk 1961, Brüning 1986). Analog der von Brüning (1984) und Röhling (1986, 1991a, b) erarbeiteten Gliederung des Unteren Buntsandsteins ist in dem geophysikalischen Log der Bohrung „Pyrmont 2“ über diese Zweigliederung hinaus eine Zyklizität in Zyklen unterschiedlicher Rangordnung zu erkennen (Abb. 8).

Während des Mittleren Buntsandsteins liefen im festländischen Becken bei arid-limnisch-brackischen Bedingungen vier Sedimentationszyklen ab. In breiten Flußfächern schoben sich neben Schotter und größerem Sand auch einformiger Feinsand wie z.B. der Bausandstein der Solling-Folge von den umliegenden Abtragungs-Gebieten in das Becken vor. Die vier Großzyklen: Volpriehausen- (smV), Detfurth- (smD), Hardeggen- (smH) und Solling-Folge (smS) beginnen jeweils mit einem mächtigen Sandstein, dem eine Tonstein/Sandstein-Wechselagerung folgt und schließen mit einer hangenden Tonsteinlage ab.

Zur Zeit des Oberen Buntsandsteins kam es, wie im Zechstein, zunächst zu zeitweiligen Meeresvorstößen mit Eindampfung im Becken. Im beckenrandnahen Bereich kam es vorrangig zur Ausfällung von Sulfaten (Gips und Anhydrit), im Beckentiefsten wurde auch Steinsalz ausgefällt. Anschließend breitete sich ein flaches Meer aus, in dem bunter Ton abgelagert wurde. Im jüngsten Teil lagerten sich hin und wieder geringmächtige Feinsandlagen ab.

Im Unteren Muschelkalk erfolgte eine Meerestransgression aus SE von der südeuropäischen Tethys durch die Oberschlesische Pforte in das Germanische Becken, die ein warmes flaches Binnenmeer entstehen ließ. Der graue, unebene, oolithische oder dünnplattige Kalkstein des Unteren Muschelkalkes ist ein typisches Sediment eines bewegten Flachmeeres. Nach der Trans-

gression des Meeres im Unteren Muschelkalk, trat im Mittleren Muschelkalk wieder ein Rückzug ein. In dem vom offenen Meer abgetrennten Binnenbecken wurden Steinsalz und Gips ausgeschieden. Dazwischen wurde dolomitischer Mergelstein abgelagert. Im Oberen Muschelkalk kommt es erneut zu einem Meeresvorstoß von S, jedoch über die Burgundische Pforte im SW. Das faunenreiche Flachmeer hinterließ vorwiegend karbonatische Sedimente.

Die vorstehend beschriebene Schichtenfolge erreichte eine Gesamtmächtigkeit von etwa 1800 m. Der Pyrmonter Raum war auch nach der Muschelkalkzeit weiterhin Senkungs- und Ablagerungsraum. In diesem entstand zunächst die etwa 300 m mächtige Schichtenfolge des Keupers, die in der weiteren Umgebung von Bad Pyrmont in Muldenstellung erhalten ist. Im Rät erfolgte eine Meerestransgression aus NW, die das Untersuchungsgebiet auch im anschließenden Jura längere Zeit unter dem Meeresspiegel hielt; dabei entstanden die überwiegend tonigen Schichten des Lias und des Doggers - größtenteils noch in den tektonisch tief eingesenkten Gräben von Falkenhagen, 12 km südlich von Pyrmont, erhalten - und weiterhin die kalkigen Schichten des Malm, im Ith, 22 bis 25 km östlich von Pyrmont, anstehend.

Bereits im Malm setzten dann gebirgsbildende Kräfte ein und wirkten sich in mehreren Phasen bis ins Tertiär hinein aus. Das Pyrmonter Schichtengewölbe wurde angelegt und mit seiner Aufwärtsbewegung die Abtragung an seiner Oberfläche eingeleitet. Im Rahmen der saxonischen Tektogenese erfolgte in der jüngeren Oberkreide (Campan und Maastricht) und dem frühen Tertiär eine Hebung mit weiterer Abtragung, die eine Annäherung an den gegenwärtigen Zustand des Gewölbes - noch ohne die erst spätere Einschneidung der Täler - herbeiführte.

Im Quartär kam es zu einer Klimaverschlechterung des nordwesteuropäischen Raumes. Während der Kaltzeiten schotterten die Flüsse bei geringem Wasserstand Terrassenkies auf, in die sie sich während der jeweils darauf folgenden Warmzeiten wieder einschnitten. Aus der Beobachtung, daß im Bereich des Pyrmonter Talkessels keine nordischen Geschiebe nachzuweisen sind, schloß Kaltwang (1992), daß dieses Gebiet eisfrei war. Für den Fall, daß eine elsterzeitliche Vereisung stattgefunden hat, würde dies bedeuten, daß solche elsterzeitlichen Sedimente wieder komplett erodiert worden sind.

Saale- und weichselzeitliche Sedimente liegen nur in Form von fluviatilen Sand und Kies, Löß und Lößderivaten vor. Löß und Schwemmlöß weisen nach Burghardt (1996) die größten Mächtigkeiten in den

südlich, bzw. südwestlich gelegenen Seitentälern der Pyrmonter Talumrahmung auf. Ausgehend von der Annahme, daß die Sedimente dort vor erneuter Deflation geschützt waren, läßt sich eine damals vorherrschend nördliche Windrichtung postulieren. Die durch Solifluktionsvorgänge entstandenen Fließerden weisen auf ein periglaziäres Bildungsmilieu hin.

Der Nachweis fluviatiler Sedimente (Niederterrasse, Auenlehm) erstreckt sich nach Burghardt (1996) auf ein annähernd dreieckiges Gebiet zwischen Lügde, dem südlichen Stadtrand von Pyrmont und Löwensen. Burghardt (1996) vermutete einen ursprünglichen Flußverlauf der Emmer von Lügde in nordnordöstlicher Richtung direkt nach Löwensen. In diesem Bereich befinden sich die als Mittelterrasse gedeuteten Sedimente, die aufgrund ihrer Lage über dem noch nicht subrodierten Zechstein nicht abgesunken sind. Anschließend erfolgte eine Verlagerung nach Norden bis zu dem heutigen Flußverlauf.

Die allgemeine Klimaerwärmung im Holozän ließ im Untersuchungsgebiet Quellkalk, Torf (Füllung von Subrosionssenken) und Talauensedimente entstehen.

#### 4.5 Alter und Genese des Kohlenstoffdioxids

Mit Ausnahme der Mühlenberg-, Katharinen-, Eichenkeller- und Hufeland-Quelle (Abb. 2) führen alle übrigen Pyrmonter Heilquellen Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in Mengen größer 1000 mg/l, so daß diese Quellen nach den Bäder-Begriffsbestimmungen (DHV & DTV 1998) als Sauerlinge zu bezeichnen sind. Weitere Hinweise auf den hohen Gehalt an Kohlenstoffdioxid im Untergrund von Pyrmont liefern die Dunsthöhle, eine für Norddeutschland einzigartige, begehbare Mofette (= trockener Kohlenstoffdioxidaustritt; ital. mofeta, Ausdünstung) aus Spalten an der Sohle eines sehr alten (Abbau um 1720) Steinbruchs im Mittleren Buntsandstein und die bereits beschriebenen Kohlenstoffdioxidanomalien in der Bodenluft (Kap. 4.3).

Der Pyrmonter Brunnenarzt Seip (1750) untersuchte erstmals das aus dem Untergrund entweichende Gas und hielt es für „Schwefeldunst“. Im Steinbruch, wo das Gas ausströmte, ließ Seip ein Loch graben und mit einem gemauerten Gewölbe überbauen. An den Seitenwänden der Gewölbekammer sind in Sitzhöhe je zwei Nischen eingebaut, die als früheste Einrichtungen für - wie man jetzt sagen würde - CO<sub>2</sub>-Gas-Bäder dienen sollten. Nachdem erkannt wurde, daß dieses Gas im Wasser gelöst als schwache Säure wirkt wurden die Bezeichnungen Luftsäure bzw. Kohlensäure eingeführt. Erst als das Gewichtsverhältnis seiner Bestandteile ermittelt worden war, erfolgte die Bezeichnung Koh-

lendioxid. Bereits frühzeitig wurde auch die Frage nach der Genese des Kohlenstoffdioxids gestellt. De Luc (1779) führte die Herkunft des Gases auf einen im Untergrund von Pyrmont angenommenen erloschenen Vulkan zurück. Die von Bischof (1826) erörterte Herkunft des Kohlenstoffdioxids aus tiefliegenden, vulkanisch erhitzten Kalk- und Dolomitgesteinen wurde von Menke (1840) auf das Kohlenstoffdioxid der Pyrmonter Quellen übertragen.

Erstmalig umfassend beschäftigte sich Hülsenbeck (1920) mit dem Ursprung des Kohlenstoffdioxids im Raum Pyrmont. Gemäß der von Delkeskamp (1906) gebrauchten Bezeichnungen diskutierte Hülsenbeck (1920) die beiden möglichen Arten von Kohlenstoffdioxid: einmal das „juvenile“, das den sich abkühlenden magmatischen Massen entstammt und dann das „vadoso“, dessen Entstehung auf Vorgänge zurückzuführen ist, die sich in der Nähe der Oberfläche in der Erdkruste abspielen. Unter Beachtung der nachweislich großen Menge an Kohlenstoffdioxid schloß sich Hülsenbeck (1920) der Annahme der vulkanischen Herkunft an. Ausgehend von der Kenntnis, daß CO<sub>2</sub> als letztes Produkt der Entgasung von Lava erst bei deren Abkühlung auf 100° C auftritt und unter Voraussetzung einer normalen geothermischen Tiefenstufe schloß er auf einen magmatischen Körper in 3000 bis 4000 m Tiefe, der dort bei Abkühlung auf 100° C Kohlenstoffdioxid abgibt.

Allgemein sind für den norddeutschen Raum folgende Bildungsmöglichkeiten für Kohlenstoffdioxid in tiefen Lagerstätten und/oder oberflächennahen Sedimenten zu nennen (Brand, Fricke & Hedemann 1981; Gerling 1986):

- Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre, das über Niederschläge bzw. Gasaustausch mit der Bodenluft in das Grundwasser gelangt,
- Zersetzung organischer Substanz in oberflächennahen Sedimenten sowie bei der Inkohlung von Muttergesteinen,
- spätvulkanische Exhalation aus basischen Magmenkörpern,
- Mantel-CO<sub>2</sub>,
- Dissoziation von marinen Karbonatgesteinen infolge hochthermischer Beanspruchung.

Eine Möglichkeit zur Ermittlung der Herkunft des Kohlenstoffdioxids bieten Isotopenuntersuchungen. Tabelle 2 zeigt Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse für Kohlenstoffdioxid verschiedener Genese (Gerling 1986).

Fricke (1968) ermittelte aus Mofettengasen in Ostwestfalen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -1,61 und - 2,50 ‰. Ihre

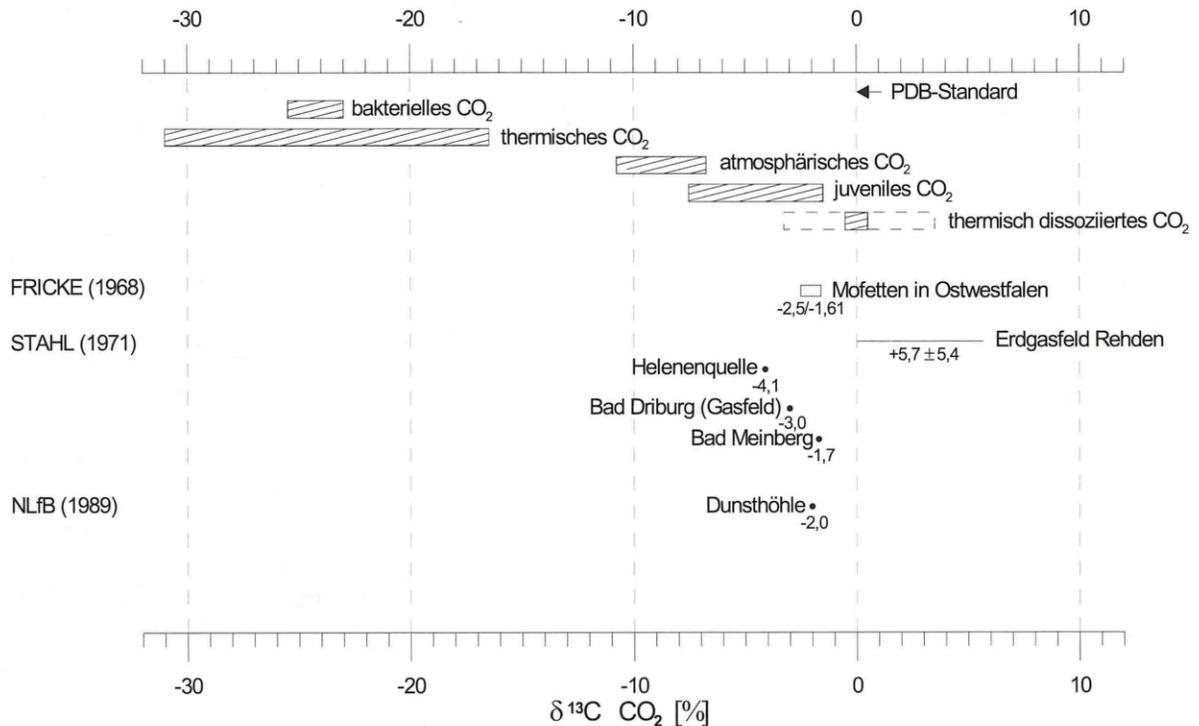


Abb. 16: –  $\delta^{13}\text{C CO}_2$ -Werte verschiedener Mofettengase und dem Erdgasfeld von Rehden im Vergleich mit verschiedenen Lieferanten.

Fig. 16: –  $\delta^{13}\text{C CO}_2$ -values from gas of different mofettes and the Rheden gas field in comparison to different sources.

CO <sub>2</sub> – Herkunft	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]
Atmosphäre	-10,7 bis -6,7
Bodenluft (bakteriell)	-26,5 bis -23,4
Erdgaslagerstätten des Westenslandes (thermisch)	-31,0 bis -24,0
Pyrolyse mariner Muttergesteine	-29,7 bis -16,7
Pyrolyse terrestr. Muttergesteine	-24,0 bis -16,5
Juvenile Gase	-7,0 bis -1,6
Dissoziation mariner Karbonate	+/- 0

Tab. 2: - Charakteristische Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse für Kohlenstoffdioxid verschiedener Genese (Gerling, 1986).

Tab. 2: - Characteristic carbon/isotope ratio for CO<sub>2</sub> of different origin (Gerling, 1986).

Labor Hv	Gelände	Art	$\delta^{13}\text{C}$	Konventionelle <sup>14</sup> C-Alter (Jahre vor 1950)	<sup>14</sup> C-Gehalt (% modern)
15927	Dunsthöhle Bad Pyrmont	Luft-CO <sub>2</sub>	- 2,0	18470 ± 650	10.0 ± 0.8

Tab. 3: - Ergebnisse der Isotopenanalyse des atmosphärischen CO<sub>2</sub> aus der Dunsthöhle in Bad Pyrmont.

Tab. 3: - Isotope values for atmospheric CO<sub>2</sub> of the Bad Pyrmont Dunsthöhle.

Entstehung brachte Fricke (1968) mit dem Vulkanismus der Miozänzeit in Verbindung. Die von Stahl (1971) durchgeführten Isotopenanalysen an Gas aus der Helenenquelle in Bad Pyrmont, dem Kohlenstoffdioxid-Gasfeld bei Bad Driburg sowie der Großen Mofette bei Bad Meinberg ergaben  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -1,7 und -4,1 ‰ und zeigten somit eine deutliche Tendenz in Richtung auf die Isotopenwerte von rein magmatischem Kohlenstoffdioxid. Aus Analysen am Kohlenstoffdioxid von Gasproben aus dem Erdgasfeld Rehden (Boigk & Stahl 1970) resultierte hingegen ein  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von + 5,7 ± 5,4 ‰ (Stahl 1971). Aus diesen Ergebnissen und unter Einbeziehung von Isotopendaten von Kluftkarbonaten aus dem Einflußbereich des Bramscher Massivs erkannte Stahl (1971), daß in zunehmender Entfernung vom Bramscher Massiv in NW-SE-Richtung sich die für marinen Kohlenstoff charakteristischen Isotopenverhältnisse in Richtung auf  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ändern, die für magmatisches Kohlenstoffdioxid typisch sind.

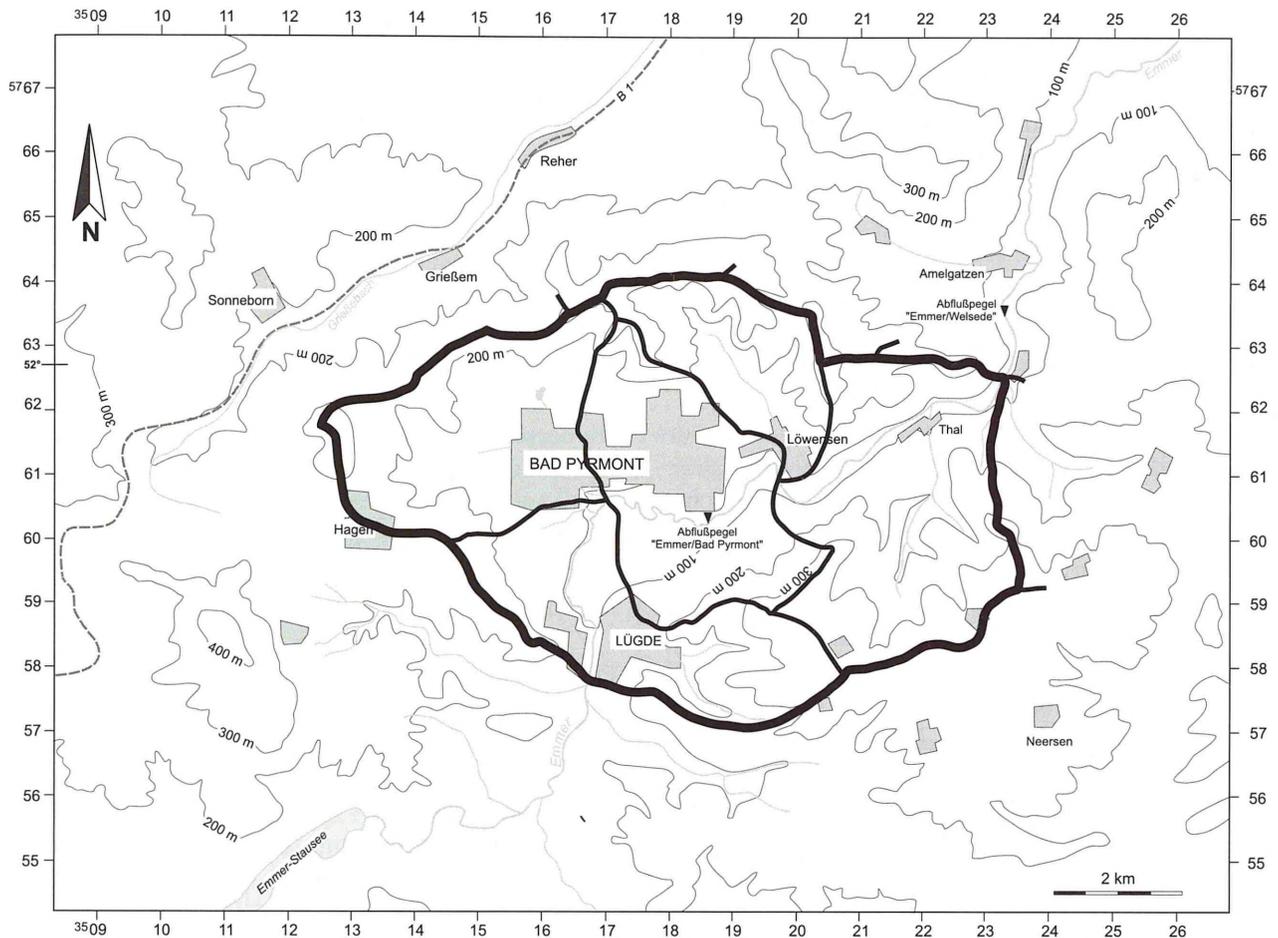


Abb. 17: - Gewässernetz und oberirdische Wasserscheiden.

Fig. 17: - Drainage networks and divides.

In den Jahren 1989 bis 1991 führte das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung ein umfangreiches isotopenhydrologisches Untersuchungsprogramm in Bad Pyrmont durch. Die Ergebnisse der Isotopenanalysen an dem Mofettengas der Dunsthöhle sind in der Tab. 3 zusammengestellt.

In Abbildung 16 sind die  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CO}_2$ -Werte der genannten Mofettengase zu den in Tabelle 2 beschriebenen potentiellen Lieferanten in Vergleich gesetzt; die 0 ‰-Linie entspricht dem PDB-Standard (international anerkannte karbonathaltige Standardsubstanz für  $\delta^{13}\text{C}$ -Bestimmungen, Kreide-Belemnit *Belemnitella americana* von der PEE-DEE-Formation in Südkarolina).

Nach den klassischen Vorstellungen (Fricke 1952, 1968, 1979; Carlé 1958) steht die Genese des Kohlenstoffdioxides in Mineralwässern und Mofetten Ostwestfalens und der Hessischen Senke in engem Zusammenhang mit dem tertiären Vulkanismus. Diese Ansicht resultiert aus der Beachtung der linearen Anordnung der  $\text{CO}_2$ -Vorkommen längs von Verwerfungszonen und den mindestens im Bereich der Hessischen Senke viel-zähligen Vulkanschote. Die von allen bis-

herigen Bearbeitern vertretene Auffassung der vulkanischen Entstehung wurde durch die neueren Isotopenuntersuchungen somit auch experimentell bestätigt.

Für das Kohlenstoffdioxid im Untergrund von Pyrmont kann festgehalten werden, daß sich  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von -2,0 (Dunsthöhle) und -4,1 ‰ (Helenen-Quelle) ergaben, also Werte, die sich deutlich von dem aus marinem Kalkstein entstandenem  $\text{CO}_2$  unterscheiden, wenngleich ein gewisser Anteil daraus nicht völlig ausgeschlossen werden kann.

Inwieweit die somit „juvenile“ Zufuhr des  $\text{CO}_2$  im Zusammenhang mit der Entstehung des Vlothoer Massivs (Kreide) oder dem Basaltvulkanismus in Nordhessen/Südniedersachsen (Jungtertiär) steht, läßt sich anhand der bisher vorliegenden Isotopenwerte nicht abschließend klären. Die für das nördlich des Bramscher Massivs gelegene Erdgasfeld Rehden ermittelten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte machen zwar eine Genese durch thermische Zersetzung marinen Kalksteins wahrscheinlich, eine Mitbeteiligung von juvenilem  $\text{CO}_2$  kann jedoch auch hier nicht ausgeschlossen werden (Stahl 1968).

## 5 HYDROLOGIE

Die Beschreibungen zur Hydrologie beschränken sich im wesentlichen auf das anzunehmende Einzugsgebiet der staatlich anerkannten Heilquellen und somit auf den Bereich des Pyrmonters Talkessels und seiner Bergumrahmung.

### 5.1 Gewässernetz und oberirdische Wasserscheiden

Abb. 17 zeigt die morphologisch höchste Linie, die als oberirdische Wasserscheide den Pyrmonters Talkessel umschließt sowie die oberirdischen Wasserscheiden innerhalb des Talkessels. Nach der Gewässerstationierungskarte des Landes Nordrhein-Westfalen (Landesamt für Wasser und Abfall 1984) gliedert sich der Pyrmonters Talkessel in 5 oberirdische Abflußgebiete. Vorfluter für das Bearbeitungsgebiet ist die Emmer mit ihren tributären Nebenbächen, deren Läufe in der Karte (Abb. 17) gekennzeichnet sind.

Die Emmer, ein linker Nebenfluß der Weser, entspringt an der Ostflanke des Egge-Gebirges, fließt über Steinheim nach NE und wird bei Schieder durch die Emmertalsperre aufgestaut. Bei Lügde tritt sie von SW durch ein enges und steilwandiges Tal in den Pyrmonters Talkessel ein, den sie z.T. in Mäandern in einem weit nach NW ausholenden Bogen durchfließt und bei der Ortschaft Thal über einen engen Taleinschnitt in nordöstlicher Richtung wieder verläßt. Wenige Kilometer weiter nordöstlich mündet sie bei Emmern in die Weser.

Die gesamte Flußlänge der Emmer beträgt rund 52 km, davon 32 km oberhalb des Pyrmonters Talkessels und 9 km unterhalb. Innerhalb des Pyrmonters Talkessels beträgt die Fließlänge ca. 10 km. Die Quelle der Emmer befindet sich auf einer Geländehöhe von etwa NN +270 m, der Eintritt in den Pyrmonters Talkessel auf rund NN +110 m, der Austritt auf etwa NN +95 m. Die Mündung der Emmer in die Weser liegt bei ca. NN +70 m.

### 5.2. Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

Der langfristige Wasserhaushalt eines Gebietes läßt sich quantitativ durch die hydrologische Grundgleichung beschreiben:

$$N = A_o + A_u + ET$$

N = Niederschlagshöhe

$A_o$  = oberirdischer Abfluß (Bäche, Flüsse, usw.)

$A_u$  = unterirdischer Abfluß (Versickerung, Infiltration)

ET = Evapotranspiration (im wesentlichen Verdunstung)

Bei langjährigen Betrachtungen und unter Berücksichtigung der Grundwasserentnahmen kann der unterirdische Abfluß der Grundwasserneubildungsrate gleichgesetzt werden.

Niederschlagshöhen und Abflußhöhen werden im Untersuchungsgebiet von den zuständigen Fachbehörden (Deutscher Wetterdienst, StAWA Hildesheim und StUA Minden) gemessen und aufgezeichnet. Zusätzlich betreibt das Staatsbad Pyrmont eine nichtamtliche Klimastation.

Für die Darstellung der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß, Quellschüttung und einiger weiterer klimatischer und hydrochemischer Daten wurden aufgrund ihrer hohen Datendichte die hydrologischen Jahre (Abflußjahre) 1988-1989 sowie 1984-1985 (Staatl. Pyrmonters Säuerling) exemplarisch ausgewählt. In den Abb. 18, 19, 20 und 21 sind für einige ausgewählte Heilquellen die Ganglinien der Quellschüttung bzw. der Entnahmemenge, des  $CO_2$ -Gehaltes, der Leitfähigkeit, des  $HCO_3$ -Gehaltes sowie der Wasser- und Lufttemperatur dargestellt. Zusätzlich sind die Niederschlags- und die Abfluß-Ganglinien aufgetragen.

Im Abflußjahr 1988 wurden die höchsten Niederschlagssummen in den Monaten November und März ermittelt. Die übrigen Monate wiesen geringere Werte auf. Während des Abflußjahres 1989 waren die Monate Dezember und März niederschlagsreich. Die Jahressummen betragen 818 mm (1988) und 707 mm (1989). Der Deutsche Wetterdienst (DWD) gibt für das Untersuchungsgebiet langjährige mittlere Jahresniederschlagshöhen von 800 bis 850 mm an.

Die am Pegel „Emmer/Bad Pyrmont“ (Lage s. Abb. 17) ermittelte Abflußganglinie stellt die wechselnden Abflüsse der Emmer pro Zeiteinheit dar (in l/s). Die Abflußganglinie korreliert naturgemäß mit dem Jahresgang der Niederschlagssummen. In den hydrologischen Winter-Halbjahren (November-April) wurden generell höhere Abflüsse als in den Sommer-Halbjahren registriert. Dies ist letztlich im wesentlichen auf höhere Evapotranspiration in den Sommermonaten zurückzuführen.

Für den Pegel „Emmer/Bad Pyrmont“ liegen mehrjährige Meßreihen vor, die abflußstatistisch auswertbar sind. Die Erfassung der statistisch relevanten Werte

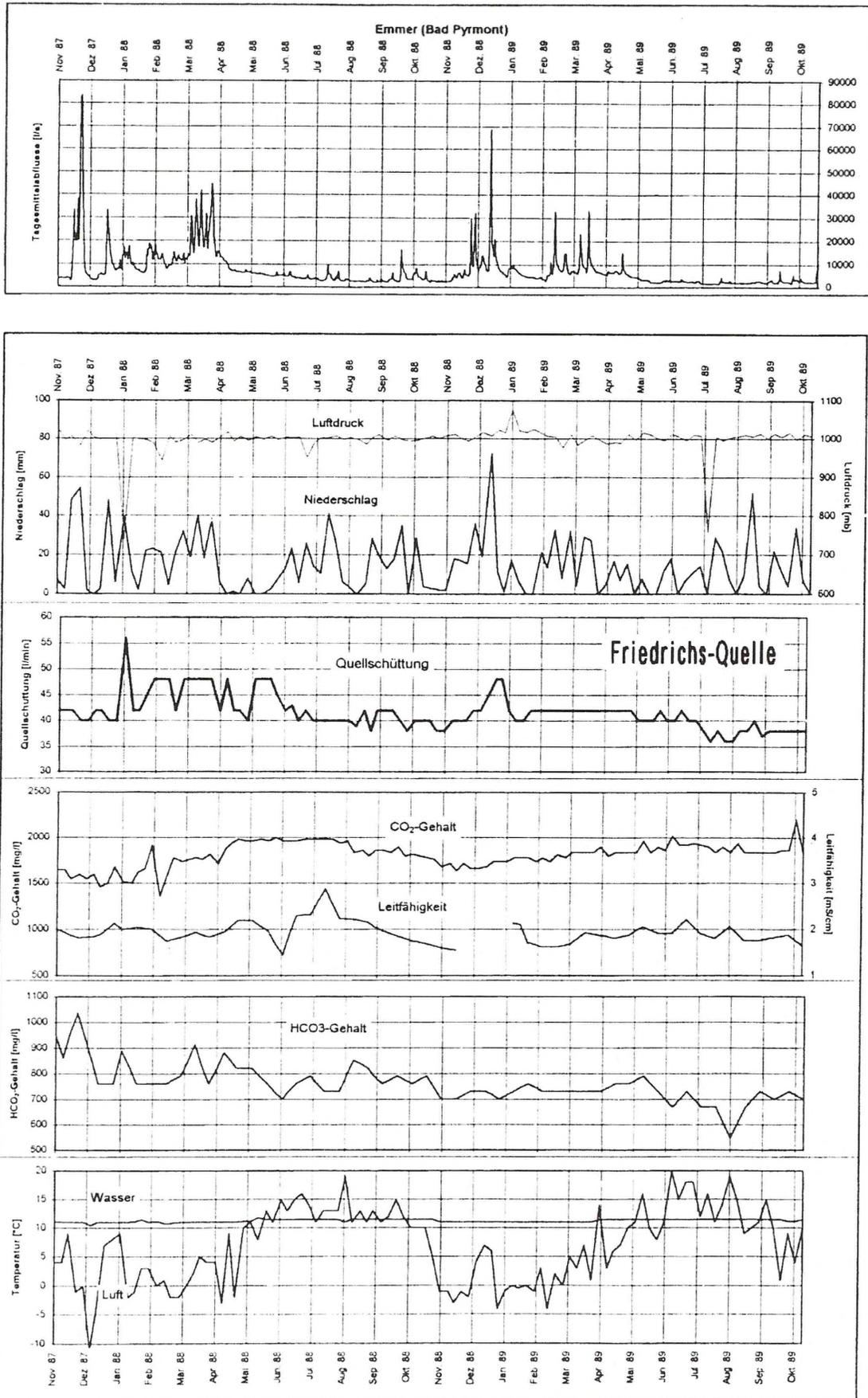


Abb. 18: - Gangliniendarstellungen zur Friedrichs-Quelle.

Fig. 18: - Graphs of the Friedrich-Quelle.

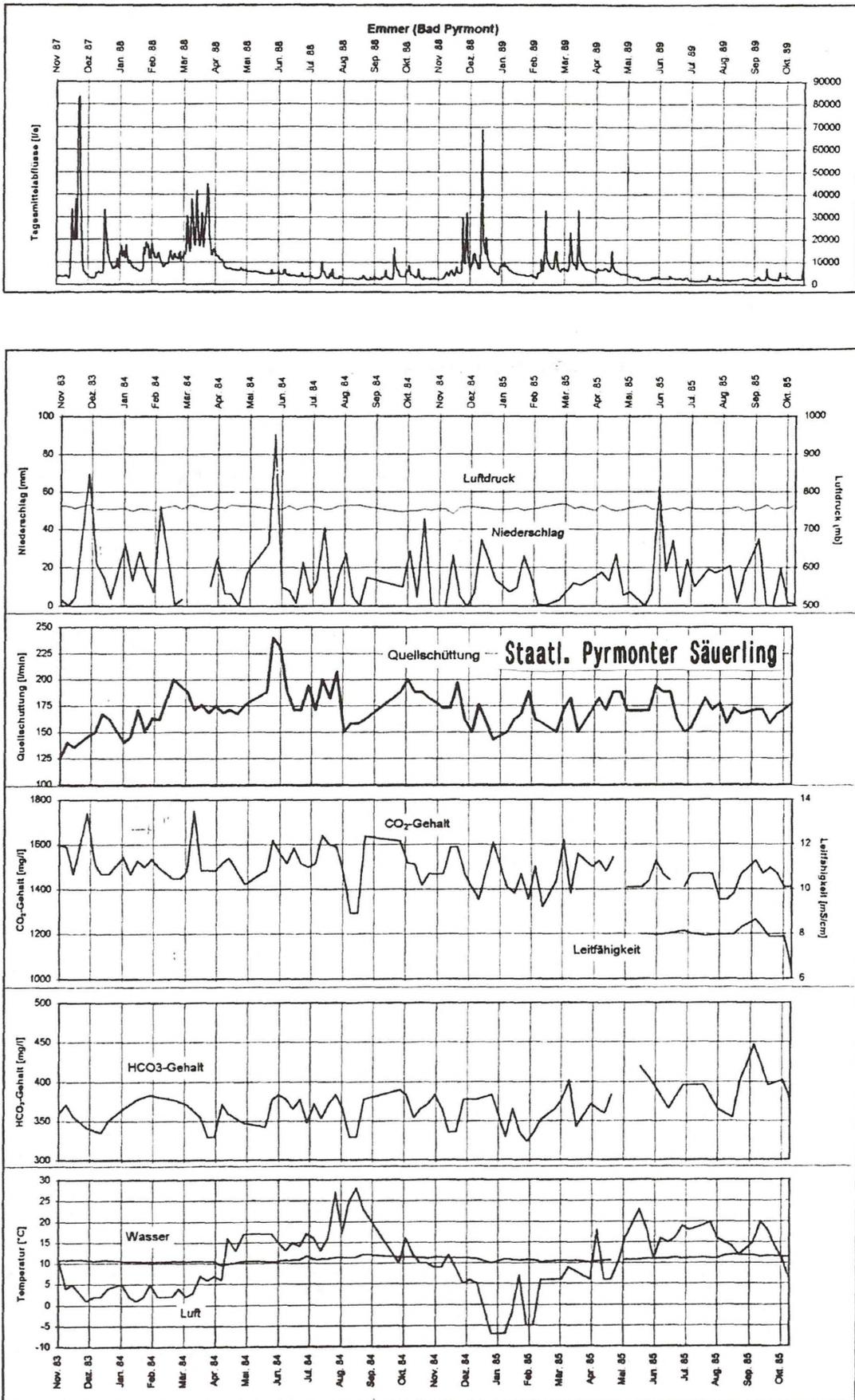


Abb. 19: - Gangliendarstellungen zum Staatl. Pyrmont Sauerling.

Fig. 19: - Graphs of the Staatl. Pyrmont Sauerling.

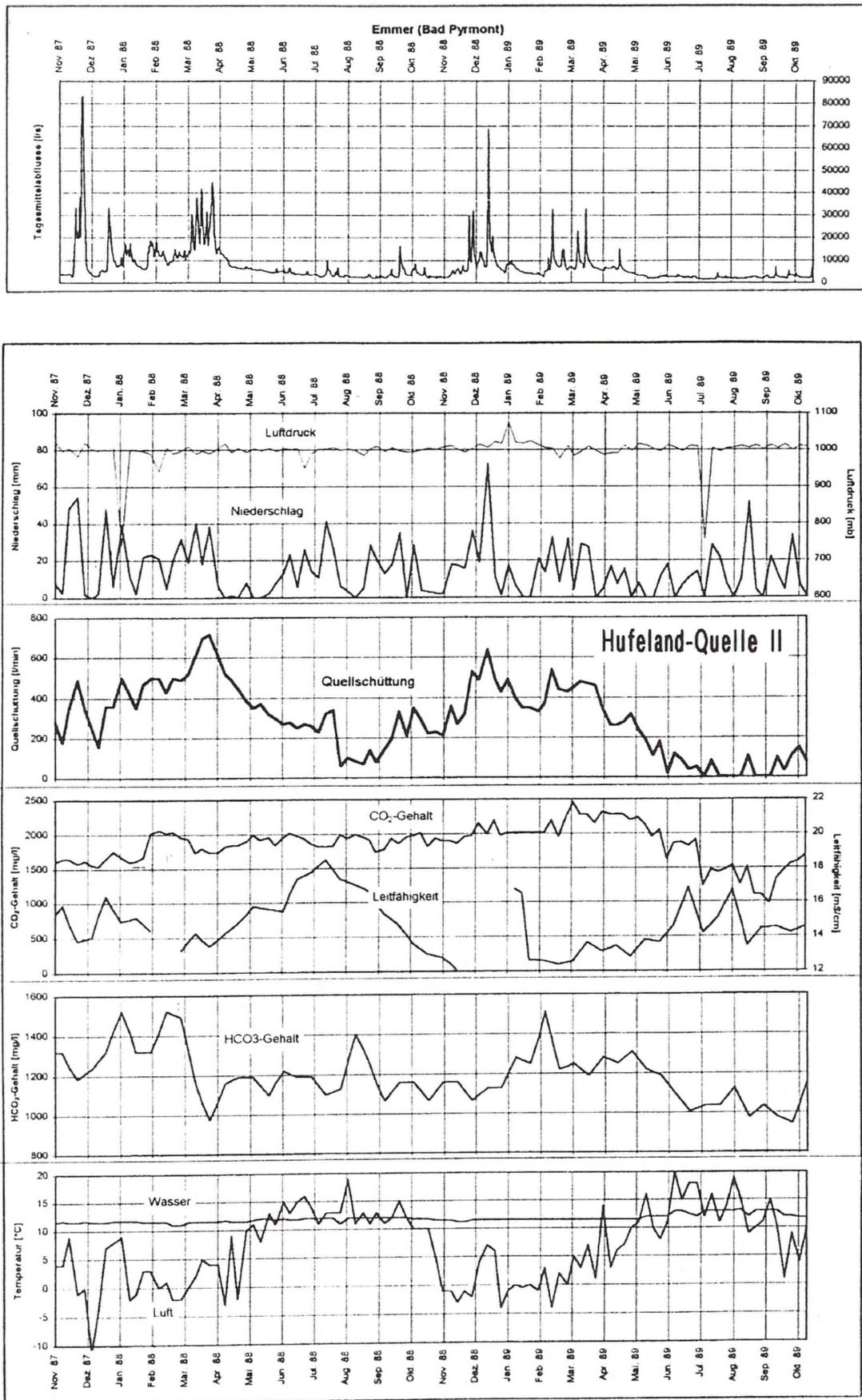


Abb. 20: - Gangliniendarstellungen zur Hufeland-Quelle II.

Fig. 20: - Graphs of the Hufeland-Quelle II.

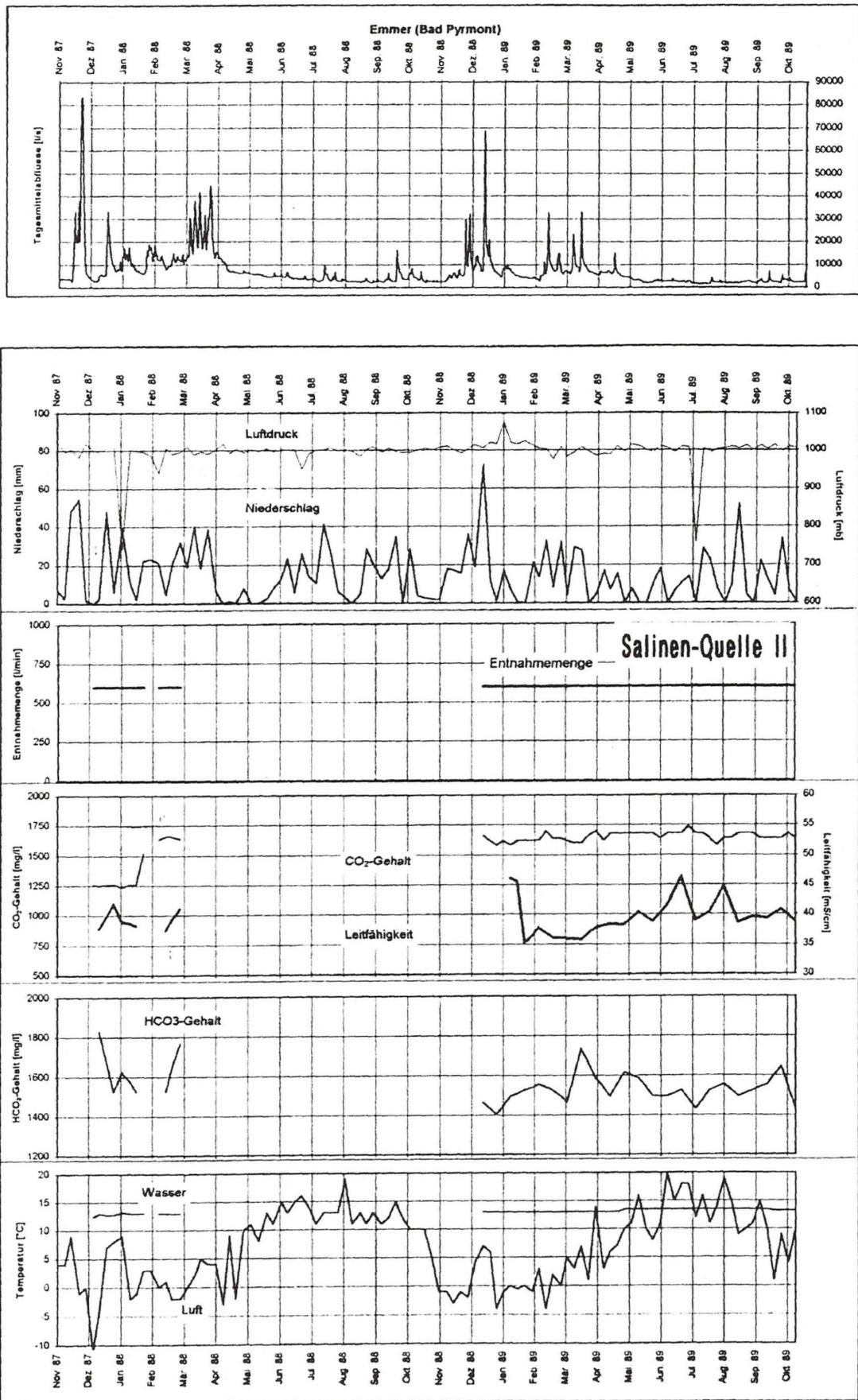


Abb. 21: - Gangliniendarstellungen zur Salinen-Quelle II.

Fig. 21: - Graphs of the Salinen-Quelle II.

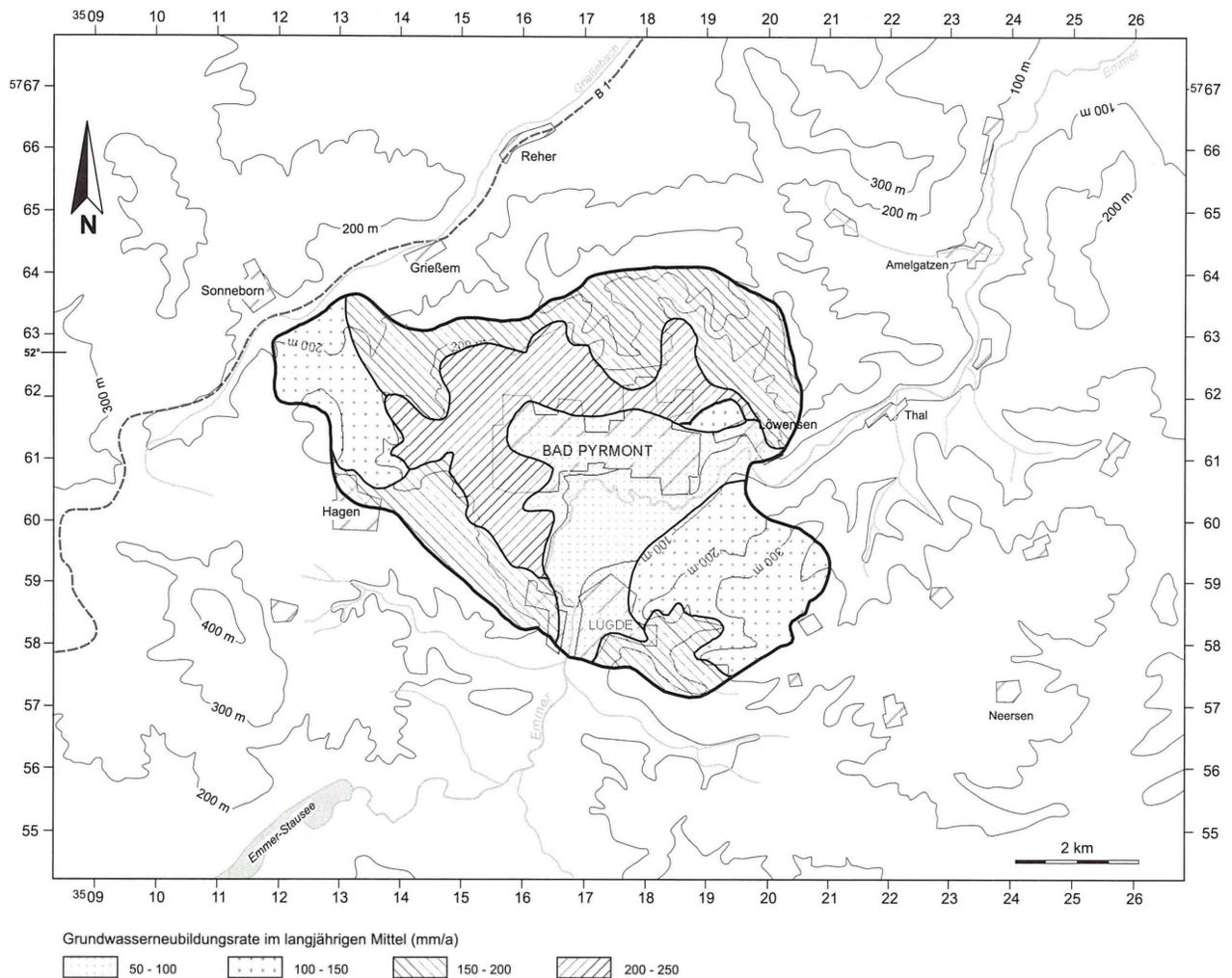


Abb. 22: - Grundwasserneubildungsraten im Einzugsgebiet der Pyrmonter Heilquellen.

Fig. 22: - Rate of groundwater recharge in the watershed of the Pyrmont medicinal springs.

erfolgt durch die gewässerkundlichen Hauptzahlen, die im folgenden aufgeführt sind: Diese Werte beziehen sich auf die Abflußjahre 1984 bis 1994.

- Höchster Abfluß (HQ) = 148 m<sup>3</sup>/s
- Arithmetisches Mittel der Höchstwerte (MHQ) = 93,5 m<sup>3</sup>/s
- Arithmetisches Mittel (MQ) = 6,83 m<sup>3</sup>/s
- Arithmetisches Mittel der Niedrigstwerte (MNQ) = 1,48 m<sup>3</sup>/s
- Niedrigster Abfluß (NQ) = 0,22 m<sup>3</sup>/s

Die **Friedrichs-Quelle** wird exemplarisch für die mineralreichen Sauerlinge im Kurparkbezirk betrachtet (Abb. 2 u. 18): Ihre Schüttung unterlag im Betrachtungszeitraum (Nov. 1987 bis Okt. 1989) deutlichen

Schwankungen, die im wesentlichen vom Niederschlagsgang abhängen. Bei nachlassenden Niederschlägen ist ein Schüttungsrückgang feststellbar. Im Winter und Frühjahr ist die Quellschüttung insgesamt höher als in den Sommer- und Herbstmonaten. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in der Regel im Winterhalbjahr mehr Grundwasser neugebildet wird, da der Wasserverbrauch mangels Transpiration durch Pflanzen sowie durch Verdunstung verringert ist. Die höchste Schüttung betrug 56 l/min, die niedrigste 36 l/min. Die CO<sub>2</sub>-Gehalte der Friedrichs-Quelle liegen zwischen 1360 und 2200 mg/l. Sie sind im Sommer höher als im Winter und scheinen vor allem mit der Wasser- und Lufttemperatur zu korrelieren. Die Leitfähigkeit schwankte bis auf einige Ausnahmen um +/- 1000 mS/cm. HCO<sub>3</sub>-Gehalt und CO<sub>2</sub>-Gehalt zeigen einen gegenläufigen linearen Zusammenhang (umgekehrt proportional/negative Korrelation).

Der **Staatlich Pyrmonter Säuerling** ist repräsentativ für die mineralarmen Säuerlinge im Stadtbereich unterhalb der Dunsthöhle (Abb. 2). Auf Grund der Dichtedichte wurden die Abflußjahre 1984 und 1985 dargestellt (Abb. 19): Gegenüber der Friedrichs-Quelle zeigt sich beim Quellschüttungsgang des Staatlich Pyrmonter Säuerlings deutlich eine noch höhere Abhängigkeit vom Niederschlagsgang. Die Schüttung reagierte auf Niederschlagsereignisse mit nur sehr geringer Verzögerung. Demnach wird die Quelle zu einem großen Teil von oberflächennahem Grundwasser mit relativ kurzen Fließwegen gespeist. Der  $\text{CO}_2$ -Gehalt ist proportional der Quellschüttung (positive Korrelation).

Die Situation der NaCl-reichen Säuerlinge im Emmertal südöstlich von Pyrmont (Abb. 2) kann am Beispiel der **Hufeland-Quelle II** beschrieben werden (Abb. 20): Ihre Quellschüttung wird von der hydraulischen Situation im Emmertal bestimmt. Die kurzzeitigen Schwankungen der Schüttung sind abhängig vom Niederschlagsgang. Der Langzeitverlauf korreliert deutlich mit der Abflußganglinie der Emmer. Bei hohen Abflußmengen in der Emmer sind hohe Grundwasserstände im Emmertal zu beobachten: die Quellschüttung nimmt zu.

Interessant ist hier die Gegenläufigkeit der Quellschüttungsganglinie zur Leitfähigkeitsganglinie. Die Leitfähigkeit des Quellwassers wird im wesentlichen durch dessen NaCl-Gehalt und somit dessen Tiefenwasseranteil bestimmt. Steigen die Grundwasserstände in der Emmerniederung, überwiegt der Anteil an geringmineralisiertem, oberflächennahem Grundwasser: der Tiefenwasseranteil geht zurück und die Leitfähigkeit nimmt ab. Sinken die Grundwasserstände in der Niederung überwiegt der Tiefenwasseranteil, die Leitfähigkeit steigt.

Die **Salinen-Quelle II** gehört zur Gruppe der am Nordwesthang des Bomberges durch Brunnenbohrungen erschlossenen Heilquellen (Abb. 2 u. 21): Auf Grund der größeren Entnahmetiefe und des größeren Abstandes zum oberflächennahen Grundwasser sind bei den Salinen-Quellen I und II sowie bei der Mühlenberg- und der Katharinen-Quelle keine signifikanten Änderungen der Wasserbeschaffenheit infolge der Niederschlagsereignisse feststellbar. Zudem sind die  $\text{HCO}_3^-$ - und  $\text{CO}_2$ -Werte unvollständig, daher können keine weiterführenden Aussagen abgeleitet werden.

Die Grundwasserneubildungsrate wurde vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung nach dem flächendifferenzierten Verfahren nach Dörhöfer & Josopait (1980) ermittelt und in einer Manuskriptkarte zur Geowissenschaftlichen Karte des Naturraum-

potentials von Niedersachsen und Bremen 1 : 200.000, Blätter CC 3918 Hannover (1987) und CC 4718 Kassel (1989) dargestellt. Abb. 22 zeigt die aus den Manuskriptkarten übertragenen Grundwasserneubildungsraten in 50-mm-Klassen im Einzugsgebiet der staatlich anerkannten Heilquellen von Pyrmont (Kap. 6.3.). Die Werte nach der Methode von Dörhöfer & Josopait (1980) reichen von 50-100 mm in der Emmerniederung bis zu 200-250 mm auf den flachen, waldfreien und lößbedeckten Hängen. Insbesondere die für die waldfreien Muschelkalkgebiete in der Bergumrahmung angegebenen Neubildungswerte von 100-200 mm erscheinen allerdings zu gering eingeschätzt. Eine abschließende quantitative Beurteilung der sich jährlich im Untersuchungsgebiet neubildenden Grundwassermenge und des daraus ableitbaren Grundwasserdargebotes ist jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgesehen.

Im folgenden wird daher lediglich eine überschlägige Wasserbilanz für das Einzugsgebiet der Pyrmonter Heilquellen aufgestellt. Die Quellschüttungsmengen bzw. wasserrechtlich genehmigten Gesamtentnahmemengen werden der jährlichen Grundwasserneubildungsrate gegenübergestellt. Neben den Heilquellen (Anhang 1) werden auch alle weiteren, mengenmäßig relevanten Quellen und Brunnen innerhalb des Einzugsgebietes der Heilquellen berücksichtigt (Anhang 2).

Laut wasserrechtlichen Bewilligungen und Bewilligungsanträgen ergibt sich für die staatlich anerkannten Heilquellen eine genehmigte Entnahmemenge von 769.500 m<sup>3</sup>/a. Aus allen weiteren Quellen und Brunnen innerhalb des Einzugsgebietes der Heilquellen ist nach bestehenden Wasserrechten eine weitere Entnahme von 2.581.000 m<sup>3</sup>/a genehmigt. Es ergibt sich eine genehmigte Gesamtentnahmemenge von 3.350.000 m<sup>3</sup>/a. Die Gesamtfläche des Einzugsgebietes beträgt etwa 50 km<sup>2</sup> (Kap. 6.3.3., Abb. 26) Nach der Geowissenschaftlichen Karte des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen 1 : 200.000 (1987) werden auf dieser Fläche jährlich etwa 8.300.000 m<sup>3</sup> Grundwasser neugebildet.

Innerhalb des Einzugsgebietes des oberflächennahen Grundwasseranteils der Heilquellen (Kap. 6.3.3., Abb. 26) ist laut bestehenden Wasserrechten eine Grundwasserentnahme von insgesamt 781.500 m<sup>3</sup>/a möglich. Diesem Wert steht eine mittlere jährliche Grundwasserneubildungsmenge von etwa 1.100.000 m<sup>3</sup> gegenüber.

Eine Quantifizierung der Neubildungsrate des tiefen Grundwassers ist bisher nicht möglich (Kap. 6.3.). Unter Berücksichtigung des nicht unerheblichen Anteiles an aufsteigendem tieferen Grundwasser ergibt sich ungeachtet des dichten Nebeneinanders einiger

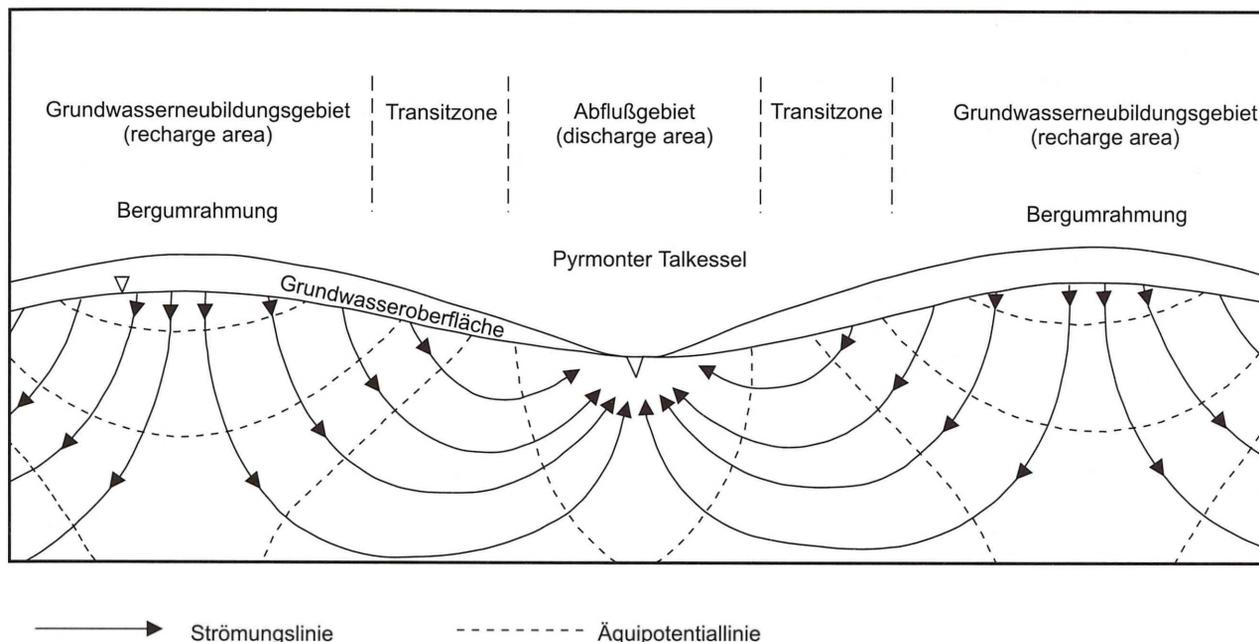


Abb. 23: - Grundwasserfließsystem im Raum Pyrmont (schematisch).

Fig. 23: - Flow net of the Pyrmont area (schematic).

Entnahmestellen und der daraus resultierenden Überschneidung der unterirdischen Einzugsgebiete trotzdem ein ausreichendes Grundwasserdargebot.

23 zeigt schematisch das beschriebene Grundwasserfließsystem.

Dieses System gliedert sich, bedingt durch lithologische, hydraulische und hydrochemische Faktoren, in drei sich vertikal überlagernde Subsysteme:

## 6 HYDROGEOLOGIE

### 6.1 Regionalhydrogeologischer Überblick

Bei der Betrachtung der hydrogeologischen Situation der Bad Pyrmont Heilquellen muß nach theoretischen Modellvorstellungen (Hubbert 1940, Tóth 1962, Freeze & Witherspoon 1966, 1967, 1968, Freeze 1971, Hahn 1982) und neueren Erkenntnissen aus der Untersuchung ähnlicher Fließsysteme (Leichtle 1981, Michel 1963, 1994, Pommerening 1993, Struckmeier 1990; vgl. Michel 1997) ein regionales, dreidimensionales Grundwasserfließsystem angenommen werden, das sich über das gesamte Pyrmont Gewölbe erstreckt und sich grob aufteilt in:

- höher gelegene Grundwasserneubildungsgebiete (recharge areas),
- verbindende Übergangs-Zonen (transit zones)
- und tiefer gelegene Abflußgebiete (discharge areas).

- Oberflächennahes Grundwasserfließsystem in den quartärzeitlichen Lockersedimenten (Porengrundwasserleiter, „Süßwasserstockwerk“)
- Tiefer reichendes Grundwasserfließsystem im Festgesteinskörper (überwiegend Kluftgrundwasserleiter, „Süß- u. Mineralwasserstockwerk“)
- Nahezu stagnierendes Tiefenwasser-Fließsystem (Sole)

Zudem enthält das hydrogeologische System des Pyrmont Gewölbes eine Vielzahl untereinander verbundener Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter (Grundwasserhemmer) sowie geologische Störungszonen (Anisotropie-Bereiche), bedingt durch Tektonik und Subrosion. Im folgenden werden deren Verbreitung und, soweit möglich, hydrogeologische Merkmale beschrieben.

Für den qualitativen Heilquellenschutz ist vor allem das Fließsystem im Bereich des Pyrmont Talkessels und seiner Bergumrahmung von Bedeutung. Die Bergumrahmung bildet im wesentlichen das Grundwasserneubildungsgebiet; der Talkessel und insbesondere die Emmerniederung stellen das Abflußgebiet dar. Abb.



STRATIGRAPHIE		SCHICHTEN	GESTEINSAUSBILDUNG und MÄCHTIGKEIT	DURCHLÄSSIGKEIT		
QUARTÄR	Holozän	Hangschutt	Gesteinsbrocken, schluffig-sandige Matrix, bis 8 m	unterschiedliche, teilweise gute Durchlässigkeit, jedoch geringer Grundwasserinhalt		
		Talauenablagerungen	Schluff, Sand, z.T. kiesig, organische Substanz, ca. 1-6 m	geringe bis gute Porendurchlässigkeit		
	Pleistozän	Löß u. Lößderivate	Schluff, feinsandig, schwach tonig, ca. 2-7 m	geringe Durchlässigkeit, gute Filtereigenschaften, Deckschicht		
		Fließerden	Schluff, tonig, sandig, Gesteinsbrocken, bis 25 m	wechselnde, meist geringe Durchlässigkeit, geringer Grundwasserinhalt		
	fluviatile Ablagerungen	Sand bis Kies, bis 30 m	gute Porendurchlässigkeit			
KEUPER	Oberer Keuper (Rhät)	ungegliedert	Ton-, Sandstein, Quarzit, Karbonat-konkretionen, ca. 63 m	Tonstein geringe Durchlässigkeit, Sandstein u. Quarzit gute Kluftdurchlässigkeit, z.T. hydraulisch verbunden		
	Mittlerer Keuper	Steinmergelkeuper	dolomitischer Mergel-, Dolomit-, Tonstein, Residualknollen, ca. 80 m	gute, in Verwerfungs- bzw. Zerrüttungszonen oft sehr gute Kluftdurchlässigkeit		
		Rote Wand	Mergelstein, Residualknollen, ca. 30 m	geringe Durchlässigkeit		
		Schilfsandstein	Sandstein, lagenweise Tonstein, ca. 25 m	bei Entwicklung als mächtiger Sandstein (Rinnenfazies) gute Kluftdurchlässigkeit		
	Gipskeuper	Dolomit-Mergelstein, Residualbrekzien, ca. 25 m	geringe bis mäßige Durchlässigkeit, in Verwerfungs- u. Zerrüttungszonen erhöht			
Unterer Keuper	ungegliedert	Sandstein, dolomitischer Mergelstein, ca. 45 m	mäßige Kluftdurchlässigkeit in Dolomit- u. Sandsteinlagen, mehrere Quellenhorizonte			
MUSCHELKALK	Oberer Muschelkalk	Coratiten-Schichten	Kalk-, Tonmergelstein, ca. 40 m	nahe Obergrenze geringe, darunter mäßige bis gute Kluftdurchlässigkeit, meist in hydraulischer Verbindung mit Trochitenkalk		
		Trochitenkalk	Kalkstein, bis 15 m	sehr gute bis gute Kluftdurchlässigkeit, z.T. Karsthohlräume, wichtiger GW-Leiter, z.T. hygienisch gefährdet		
	Mittlerer Muschelkalk	ungegliedert	dolomitischer Mergelstein, lagenweise Zellendolomit, Residualgips, ca. 30-60 m	geringe, in Dolomitlagen mäßige Durchlässigkeit, Sohlschicht d. Trochitenkalk-Stockwerkes; gute Durchlässigkeit in Auslaugungshorizonten		
	Unterer Muschelkalk (Wellenkalk)	ungegliedert	Kalkstein, z.T. tonig, lagenweise Tonmergelstein, ca. 110 m	gute Kluftdurchlässigkeit		
BUNTSANDSTEIN	Oberer Buntsandstein	Röt 4 Röt 3 Röt 2	Ton-, Schluffstein, lagenweise z.T. quarzitischer Feinsandstein, wechselnd karbonatisch, bis 100 m	geringe bis sehr geringe Durchlässigkeit, in Verwerfungs- u. Zerrüttungszonen stark erhöht		
		Röt 1	Ton-, Schluffstein, z.T. quarzitischer Feinsandstein, Gips, Anhydrit, Residualbrekzie, bis 45 m	im Auslaugungshorizont erhöhte Durchlässigkeit		
	Mittlerer Buntsandstein	Solling-Folge	Tonige Grenzschichten	Tonstein, ca. 6 m	geringe Durchlässigkeit	
			Solling-wechselfolge	Solling-Bausandstein	Sandstein, ca. 10 m	gute Kluftdurchlässigkeit
				Ton-, Silt-, Feinsandstein, Quarzitbänke, ca. 52 m	gute bis mäßige Kluftdurchlässigkeit	
		Horizont grauer u. roter Tone	Tonstein, ca. 20 m	geringe bis sehr geringe Durchlässigkeit		
		Solling-Basissandstein	Sandstein, 4 m	gute Kluftdurchlässigkeit		
		Hardeggen-Folge	ungegliedert	Ton-/Sandstein-Wechselagerung, im unteren Teil sandsteinreich, ca. 50 m	mäßige bis gute Kluftdurchlässigkeit	
		Detfurth-Folge	Detfurth-Wechselfolge	überwiegend Tonstein, ca. 36 m	geringe bis mäßige Durchlässigkeit	
			Oberbank	Sandstein, mittel- bis grobkörnig, 6 m	gute Kluftdurchlässigkeit	
			Zwischermittel	Tonstein, ca. 9 m	geringe Durchlässigkeit	
		Unterbank	Sandstein, ca. 9 m	gute Kluftdurchlässigkeit		
	Volpriehausen-Folge	Volpriehausen-Aviculaschicht	Tonstein in Wechsellagerung mit quarzitischem Sandstein, ca. 120 m	mäßige Kluftdurchlässigkeit		
		Volpriehausen-Wechselfolge				
Unterer Buntsandstein	Volpriehausen-Sandstein	Fein- bis Grobsandstein mit eingeschalteten Tonsteinlagen, ca. 23 m	gute Kluftdurchlässigkeit			
Unterer Buntsandstein	Bernburg-Folge	ungegliedert	Sand-/Tonstein in Wechsellagerung, Anhydrit-/Gipsknollen, bis 270 m	in kluffreichen Zonen hoch mineralisiertes Grundwasser		
	Calvörde-Folge					
ZECHSTEIN		ungegliedert	Kalkstein, Dolomit, Gips, Anhydrit, Steinsalz, Tonstein	geringe bis sehr geringe Durchlässigkeit, Sohlschicht des "Mineralwasserstockwerkes" in Auslaugungshorizonten größer		
ROTLIEGENDES		ungegliedert	quarzitischer Sandstein	Grundwasserführung auf Kluffzonen, CO <sub>2</sub> -Gas/Wasser-Gemisch, hoher Druck		

Tab. 4: - Stratigraphie, Gesteinsausbildung, Mächtigkeit und hydrogeologische Merkmale der im Untersuchungsgebiet verbreiteten Schichten.

Tab. 4: - Statigraphy, lithology, thickness and hydrogeologic characteristics of geological units in the Pyrmont area.

### 6.2 Charakteristik des Aquifersystems

Die Charakteristik des Aquifersystems kann anhand der halb-schematischen hydrogeologischen Profilschnitte A - B (Abb. 24) und C - D (Abb. 25) erläutert werden.

In weiten Teilen des Pyrmonters Gewölbes bildet das Zechsteinsalinär in einer Tiefe von etwa NN - 700 m eine nahezu undurchlässige Sohlschicht für das regionale Grundwasserfließsystem. Das Subrosionsgebiet stellt eine Ausnahme dar (Abb. 24). Hier wurde nach

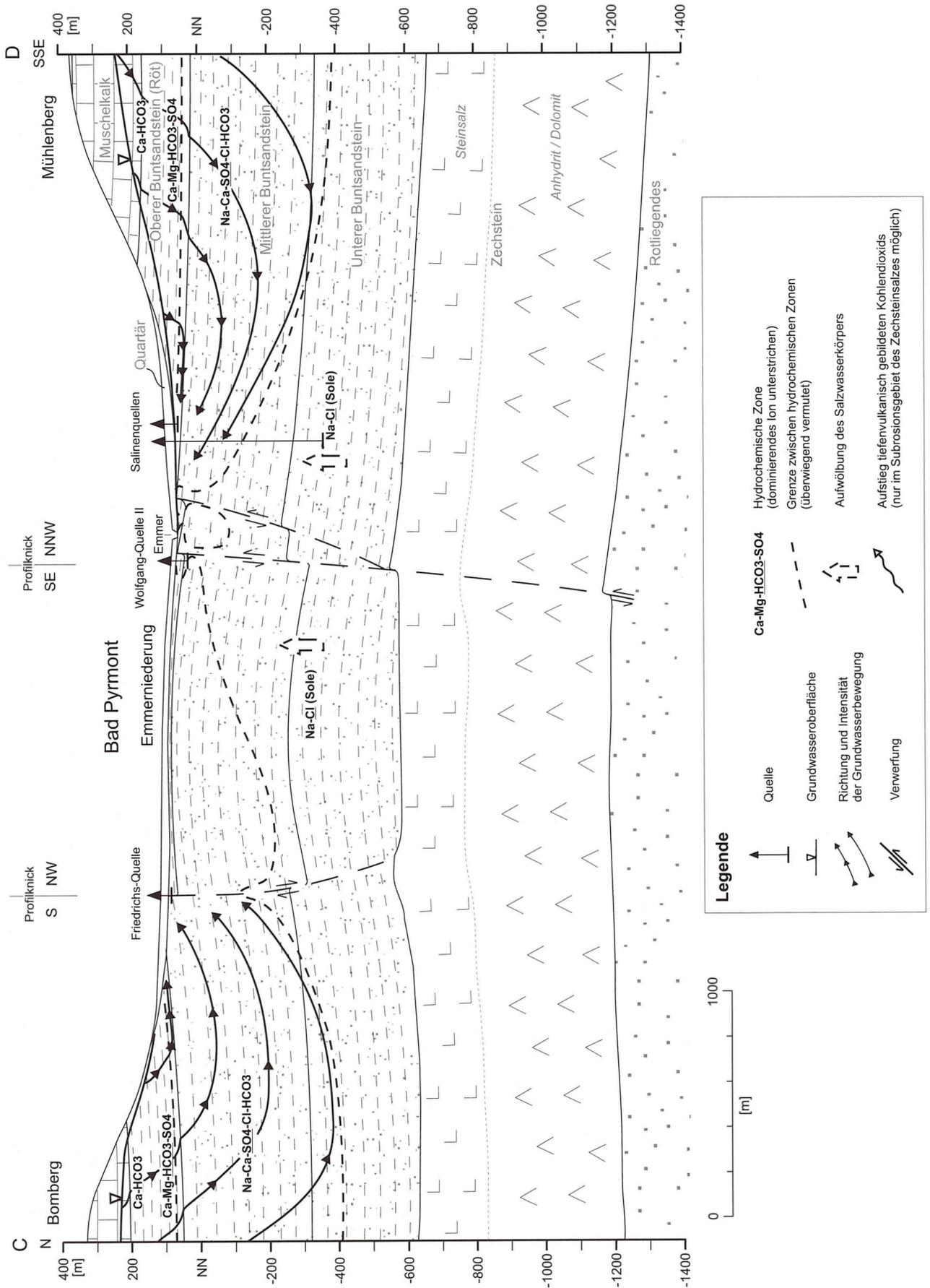


Abb. 25: - Hydrogeologischer Schnitt C - D (halbschematisch).

Fig. 25: - Schematic hydrological cross section C - D.

Ablaugung des wasser- und gasabsperrenden Salzlagers von der geologischen Vergangenheit bis heute der Weg frei für den Aufstieg tiefenvulkanisch gebildeten Kohlenstoffdioxids. Wahrscheinlich begünstigt dieser Kohlenstoffdioxid-Aufstieg den Zustrom eventuell gespannten Grundwassers aus dem Rotliegenden in höher gelegene Gesteinsschichten („Gas-Lift“).

Die im Untergrund des gesamten Pyrmonters Gewölbes verbreiteten Tonstein-/Sandstein-Wechselfolgen des Unteren Buntsandsteins (Abb. 8) bauen den tieferen Teil des Aquifersystems auf, der überwiegend von sehr langsam fließendem bis stagnierendem Na-Cl-Wasser eingenommen wird.

Hauptgrundwasserleiter des „Mineralwasserstockwerks“ sind die Sandstein-reichen Abschnitte der Gesteinsfolgen im Mittleren Buntsandstein (Abb. 9). Sie werden unterbrochen von geringerdurchlässigen tonreichen Einschaltungen und Tonstein-/Sandsteinwechselfolgen. Der Mittlere Buntsandstein ist etwa 350 m mächtig und im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitet. Seine obersten Schichten in Gestalt des Solling-Bausandsteins treten in Teilbereichen des Pyrmonters Talkessels zutage.

Auf den Gewölbeflanken bildet die etwa 140 m mächtige Serie des Oberen Buntsandsteins (Röt) mit ihrer geringen bis sehr geringen Durchlässigkeit, die in Verwerfungs- und Zerrüttungszonen allerdings erhöht sein kann, eine hydraulische Trennschicht, die das „Mineralwasserstockwerk“ des Mittleren und Unteren Buntsandsteins vom „Süßwasserstockwerk“ der Muschelkalk- und Keuper-Schichten trennt. Wie die Erschließungsbohrungen der Bad Pyrmonters M&H GmbH am Nordwest-Hang des Mühlenberges gezeigt haben, sind vor allem die Auslaugungszonen im unteren Teil des Röts Mineralwasser-führend und gut durchlässig.

Die Schichten des Unteren und Oberen Muschelkalkes der Gewölbeflanken stellen ergiebige Grundwasserleiter dar, die durch gering durchlässige dolomitische Mergellagen des Mittleren Muschelkalkes in zwei hydraulische Stockwerke getrennt sind. Die Gesteinsschichten des Keupers sind gering durchlässig. Diese beschränken sich auf die südöstlichen Hochebenen des Gewölbescheitels und die äußeren Bereiche der Gewölbeflanken.

Im gesamten Subrosionsgebiet westlich der Linie Holzhausen/Lügde ist aufgrund der Verstellung und Zerrüttung der Schichten eine grundsätzlich höhere Gebirgsdurchlässigkeit anzunehmen als in den übrigen Bereichen mit nahezu ungestörter Schichtlagerung. Die in Kapitel 4.3. beschriebenen und in den Abb. 5 und

11 dargestellten geologischen Verwerfungs-Zonen stellen hydraulisch besonders wirksame vertikale Anisotropiebereiche dar.

Im Talboden um Bad Pyrmont und an den Hängen des Talkessels wird der Festgesteinskomplex von quartärzeitlichen Lockergesteinssedimenten wechselnder Mächtigkeit und unterschiedlicher Durchlässigkeit überlagert. Tab. 4 gibt einen Überblick über stratigraphische Einstufung, Gesteinsausbildung und Mächtigkeit sowie Durchlässigkeit der im Untersuchungsgebiet verbreiteten Schichten.

## 6.3 Grundwasserbewegung

### 6.3.1 Grundwasserfließsystem

Die hydrogeologischen Profilschnitte A - B (Abb. 24) und C - D (Abb. 25) zeigen halbschematisch das Grundwasserfließsystem des Pyrmonters Talkessels.

Zwischen Bergumrahmung und Emmer-Niederung zeigen die Grundwasserstromlinien Richtung und Intensität der Grundwasserbewegung an. Im Bereich der Bergumrahmung (Grundwasserneubildungsgebiet = Recharge Area) überwiegt eine vertikale Komponente mit absteigender Fließrichtung, in einem Übergangsbereich (Transitzone) herrscht horizontale Fließrichtung vor, in der Emmerniederung steigt das Wasser auf (Abflußgebiet = Discharge Area; vgl. auch Abb. 23).

Das hydrogeologische System enthält Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer. Die Grundwasserbewegung findet in diesem System nicht nur innerhalb der Grundwasserleiter, sondern auch durch die gering leitenden (hemmenden) Schichten (z.B. Röt) hindurch statt (Abb. 24 u. 25). Die Gebirgsdurchlässigkeit der Grundwasserleiter ist dabei zehnfach bis tausendmal so groß wie die der Hemmschichten. Die gut durchlässigen Gesteinsschichten (Grundwasserleiter) setzen daher der Strömungsbewegung den geringsten Widerstand entgegen, mit dem Ergebnis, daß in ihnen für eine gegebene Durchflußrate der Höhenverlust pro Entfernung entlang einer Stromlinie zehnfach bis tausendmal geringer ist, als in der hemmenden Schicht. Folglich ist die horizontale Fließbewegungskomponente in den gering durchlässigen Gesteinsschichten vernachlässigbar gering. Es überwiegt die vertikale Fließkomponente.

### 6.3.2 Aufstiegsmechanismen der Sole in Wechselwirkung mit oberflächennahem Grundwasser

Die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers nimmt zur Tiefe hin stark ab. Dies ist im wesentlichen auf die nach unten abnehmende Gebirgsdurchlässigkeit sowie auf die höhere Dichte des stärker mineralisierten tieferen Grundwassers zurückzuführen. Das oberflächennahe Grundwasserfließsystem in den quartärzeitlichen Lockersedimenten bildet mit dem tiefer reichenden Grundwasserfließsystem im Festgesteinskörper eine hydraulische Einheit. Dagegen ist das nahezu stagnierende Tiefenwasser-Fließsystem, die Sole, hydraulisch gesondert zu betrachten. Wie u.a. durch neuere numerische Modellierungen am Salzstock Gorleben bestätigt (Vogel & Schelkes 1990), sind die Fließgeschwindigkeiten im Salzwasser generell erheblich geringer als im Süßwasser. Das Süß- bzw. Mineralwasser wird von der Sole durch eine Grenzfläche (Interface) getrennt. Durch Diffusion und hydromechanische Dispersion an der Grenzfläche und auch bei Auf- und Abbewegungen des Salzwasserkörpers kommt es zur Ausbildung einer, in seiner Dicke allerdings im Einzelnen unbekanntem Mischzone und somit zum Wasser- und Ionenaustausch zwischen beiden Fließsystemen. Als Dispersion wird hier ein Transportprozeß verstanden, der die durch unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten in verschiedenen Volumenelementen des porösen Mediums hervorgerufene Durchmischung beschreibt.

Die regionale Fließrichtung der Sole ist bisher unbekannt. Denkbar ist eine Bewegung in Richtung Weser, dem nächsten größeren Vorfluter (Hahn, Lüttig & Ortlam 1976; Kleefeldt 1983). Die Tiefenlage der Grenzfläche Süß-/Mineralwasser - Sole wird durch das Gewicht des auflagernden Süß- und Mineralwasserkörpers bestimmt. Dieses ist im Bereich der Bergumrahmung am höchsten. Im Gebiet der Emmer-Niederung, in der dieser Überlagerungsdruck infolge des Übertritts in die Vorflut (Emmer) abgebaut wird, bestehen Druckgefälle, die eine Aufwölbung des Salzwasserkörpers und Fließbewegungen in diese Richtung bewirken.

Wie die Ergebnisse der geoelektrischen Untersuchungen in der Emmer-Niederung (Brost & Rogge 1995) gezeigt haben, gelangt im Bereich hydraulisch wirksamer Störungen Salzwasser bis in Oberflächennähe und breitet sich in dem gut durchlässigen quartärzeitlichen Schotter seitlich aus (Abb. 13). Dieser Aufstieg wird vermutlich durch einen  $\text{CO}_2$ -Gaslift-Effekt unterstützt. Es handelt sich dabei um eine Sonderform des Quellauftriebs, die hier durch Kohlenstoffdioxid-Entgasung bewirkt wird. Der an sich sehr komplizierte Vorgang kann mit dem Öffnen einer Sprudelflasche verglichen werden. Das durch Überdruck in der Flasche gelöste

Gas entbindet bei Druckentlastung durch Öffnen des Verschlusses schlagartig in zahlreiche Bläschen, die zur Oberfläche aufsteigen und bei engem Flaschenhals Wasser mitreißen (Kampe 1922, Hölting 1992). Das tiefenvulkanisch gebildete Kohlenstoffdioxid gelangt im Subrosionsgebiet des Zechsteinsalzes in höher gelegene Gesteinsschichten und mischt sich dort mit der Sole und dem zirkulierenden Mineralwasser. Es trägt vielleicht in noch unbekanntem Ausmaß zur Vermischung von Sole und Mineralwasser bei.

Bei den Pyrmonter Heilquellen handelt es sich teils um natürlich austretende auch durch Bohrungen gefaßte Quellen, teils um künstlich durch Bohrungen erschlossene Vorkommen von Heilwasser, im technischen Sinn also um Brunnen, entweder mit artesischem Austritt oder Förderung durch Pumpenbetrieb. Im folgenden werden diese Brunnen zu den Heilquellen gerechnet.

Ordnet man die Quellen nach ihrer topographischen Lage, ihrer Wasserbeschaffenheit und ihrer Überlaufhöhe bzw. Entnahmetiefe zu NN, so ergibt sich folgende Gruppierung (Abb. 2):

1. mineralarme  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ -Säuerlinge; im nördlichen Stadtbereich unterhalb der Dunsthöhle in einer Höhe von etwa NN + 118 bis NN + 120 m im Mittleren Buntsandstein austretend:
  - TRAMPELSche Quelle (4 im Lageplan, Abb. 2, etc.)
  - Staatlich Pyrmonter Säuerling (10)
  - Eichenkeller-Quelle (13)
2. mineralreiche  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ -Säuerlinge im Kurparkbezirk in NN + 111 bis NN + 121 m im Mittleren Buntsandstein (unter jüngeren Deckschichten) austretend:
  - Friedrichs-Quelle (1)
  - Helenen-Quelle (2)
  - Hylliger Born (3)
3. mineralreicher  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ -Säuerling am Südwestrand des Pyrmonter Ortsteils Löwensen im Röt bei etwa NN + 96 m erbohrt:
  - Luisen-Quelle (7)
4. mineralreiches  $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-Cl-HCO}_3$ -Wasser in NN + 45 m bis NN + 81 m am Nordwesthang des Mühlenberges im Mittleren und Oberen Buntsandstein erbohrt:
  - Mühlenberg-Quelle (11)
  - Katharinen-Quelle (12)

5. Na-Cl-SO<sub>4</sub>-Säuerlinge im Emmertal südöstlich von Pyrmont zwischen NN + 93 m bis NN + 95 m im Mittleren und Oberen Buntsandstein erbohrt:

- Wolfgang-Quelle II (5)
- Hufeland-Quelle II (6)

6. Na-Cl-Säuerlinge (Sole) am nördlichen Hangfuß des Mühlenberges in Tiefen von NN - 1 m bis NN - 340 m im Unteren und Mittleren Buntsandstein erbohrt:

- Salinen-Quelle I (8)
- Salinen-Quelle II (9)

Die größten Entnahmetiefen werden in den Salinen-Quellen I und II erreicht. Ihre Filterstrecken bzw. offenen Bohrlöcher reichen bis in den aufgewölbten Salzwasserkörper. Die in den Quellen gefaßte Sole entstammt dem Zechsteinsalz, das unterhalb der Quellen, etwa zwischen 800 und 1100 m unter Gelände vorhanden ist. Als Hauptliefergebiet ist der heute noch in Ablaugung befindliche Salzhang anzunehmen. Im Subrosionsgebiet westlich des Salzhangs sinkt geringer mineralisiertes Wasser aufgrund des hohen Zerütungsgrades der Gesteinsschichten bis in große Tiefen ab. Dort löst es Zechsteinsalz und wandelt sich teils in Sole, teils in Mischwasser um. Vermutlich wird die Salzauflösung chemisch durch Kohlenstoffdioxid begünstigt, das in diesem Bereich aus dem paläozoischen Untergrund zuströmt. In Klüften des Unteren und Mittleren Buntsandsteins fließt das Süß-/Mineralwasser im Untergrund der Emmerniederung langsam nach Osten (Herrmann 1969a, Scherler & Hahn 1992). Eine ähnliche Fließrichtung ist auch für die Sole, allerdings mit geringerer Fließzeit anzunehmen. Vom Mühlenberg fließt den Salinen-Quellen im wesentlichen talwärts strömendes geringer mineralisiertes Grundwasser hinzu.

Die Entnahmetiefe der Wolfgang-Quelle und die Überlaufhöhe der Hufeland-Quelle liegen mit etwa NN + 93 m bis NN + 95 m deutlich höher als die Entnahmetiefen der Salinen-Quellen. Die Gesamtmineralisation des Quellwassers ist gegenüber derjenigen der Salinen-Quellen geringer.

Wolfgang-Quelle und Hufeland-Quelle liegen in der Emmerniederung nahe einer geologischen Verwerfungszone, in der eine erhebliche vertikale Anisotropie der Durchlässigkeit besteht. Wahrscheinlich durch Gaslift-Effekt hydraulisch unterstützt, gelangt hier Sole aus dem aufgewölbten Salzwasserkörper durch die Verwerfungszone nahezu vertikal bis in oberflächennahe Gesteinsschichten. Dort und vermutlich bereits während des Aufstiegs mischt sich das Salzwasser mit geringer mineralisiertem Wasser. Große Süßwasser- aufflast im Bereich der Bergumrahmung begünstigt den

Salzwasseraufstieg in der Emmerniederung. Periodisch auftretende hohe Grundwasserstände in der Emmerniederung wirken dem Aufstieg jedoch hydraulisch entgegen.

Die obere Filterstrecke der Katharinen-Quelle befindet sich in der Röt1-Folge, deren Gips- und Anhydrit-Lagen stellenweise subrodiert sind. Ihr strömt vom Mühlenberg talwärts geringmineralisiertes Grundwasser zu. Die untere Filterstrecke der Katharinen-Quelle und die durchgehende Filterstrecke der Mühlenberg-Quelle liegen im obersten Bereich des Mittleren Buntsandsteins. Sie erschließen Mischwasser aus talwärts strömendem, geringmineralisiertem und aufsteigendem höher mineralisiertem Wasser.

Bei der Quellengruppe am Südhang des Bomberges im nördlichen Stadtbereich handelt es sich ebenfalls um Mischwasser, entstanden aus erdoberflächennah talwärts strömendem, geringmineralisiertem Wasser und aus der Tiefe aufsteigendem, höher mineralisiertem Wasser. Profilschnitt C - D (Abb. 25) zeigt schematisch das Grundwasserfließsystem. Entlang einer den Stadtbereich etwa in Ost-West-Richtung querenden Verwerfung (Quellspalte), an der mineralwasserführendes Kluftgestein des Mittleren Buntsandsteins gegen gering durchlässigen Tonstein des Röt1 versetzt ist, treten diese kochsalzarmen Säuerlinge an mehreren Stellen zutage.

Wie die Darstellung des Grundwasserfließsystems (Abb. 24, 25) zeigt, liefern alle staatlich anerkannten Heilquellen von Bad Pyrmont ein Mischwasser aus talwärts strömendem, gering mineralisiertem Grundwasser und aufsteigendem, höher mineralisiertem tieferen Grundwasser. Die Differenzen in der Gesamtmineralisation ergeben sich aus variabler hydraulischer Wirksamkeit der Verwerfungszonen sowie verschiedenen Überlaufhöhen bzw. Entnahmetiefen. Mit zunehmender Überlaufhöhe bzw. höher gelegener Entnahme verringert sich der Anteil aufsteigenden Tiefenwassers zugunsten talwärts strömenden gering mineralisierten Grundwassers. Die Gesamtmineralisation des Wassers nimmt ab.

### 6.3.3 Grundwassereinzugsgebiet der Pyrmonter Quellen und Brunnen

Da es nicht möglich erscheint, innerhalb des Pyrmonter Gewölbes eine Grenze zu ziehen, an der die Kohlenstoffdioxid- und Mineralwasserführung ein seitwärtiges Ende findet, muß das gesamte Pyrmonter Gewölbe als Grundwasserfließsystem der Pyrmonter Heilquellen angesehen werden. Die Grundwasserneubildungsgebiete der Bergumrahmung stehen mit dem Abfluß-

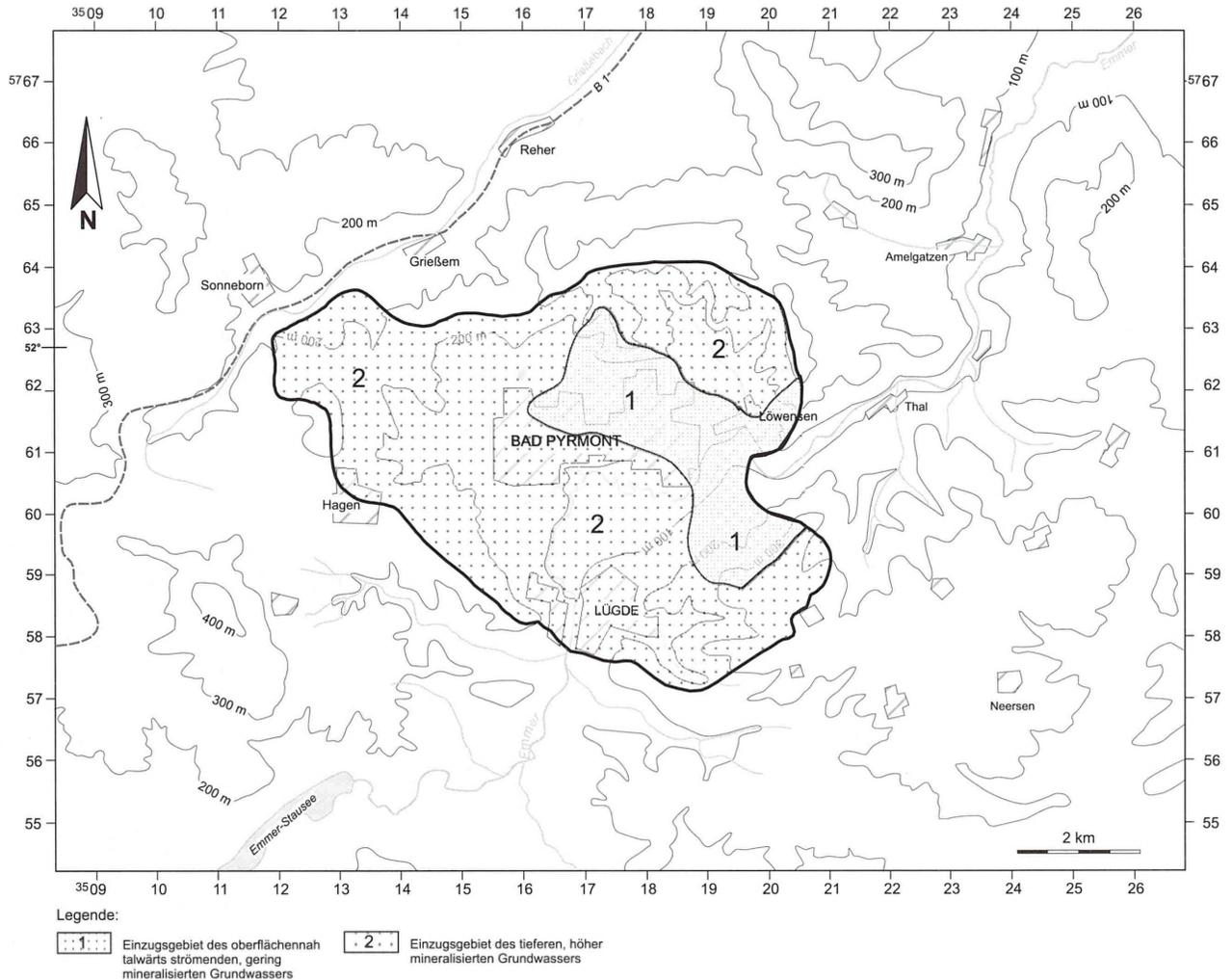


Abb. 26: - Grundwassereinzugsgebiet der Pyrmontener Quellen und Brunnen.

Fig. 26: - Subsurface catchment area of the Pyrmont sources and wells.

gebiet im Pyrmontener Talkessel und den darin gelegenen Brunnen und Quellaustritten in hydraulischer Verbindung. Wie die hydrogeologischen Profilschnitte (Abb. 24 u. 25) zeigen, besteht ein hydraulisches Gefälle zwischen den Grundwasserständen (Potentialen) in der Bergumrahmung und den Quell- bzw. Brunnenwasserspiegeln der Pyrmontener Heilquellen. Aufgrund der Durchlässigkeit des Gesteinskörpers fließt Grundwasser jeweils vom höheren zum niedrigeren Potential und somit generell von der Bergumrahmung in den Talkessel.

Wie die Darstellung des Grundwasserfließsystems weiterhin zeigt, ist die Grenze des Grundwassereinzugsgebietes und damit das Zuflußgebiet der Pyrmontener Heilquellen in der Bergumrahmung des Pyrmontener Talkessels zu suchen. Außer den morphologischen Kriterien sind zur Definition des Einzugsgebietes geologische Faktoren wie Lithologie, Verbreitung, Mächtigkeit und Lagerungsverhältnisse der relevanten Gesteinsschichten sowie das tektonische Inventar und

seine hydraulische Wirksamkeit zu berücksichtigen. Das Gesamt-Grundwassereinzugsgebiet der Pyrmontener Heilquellen teilt sich in ein

- Einzugsgebiet für das oberflächennah talwärts strömende, gering mineralisierte Grundwasser (Abb. 26 (1))
- und ein größeres,
- potentielles Einzugsgebiet des tieferen, höher mineralisierten Grundwassers (Abb. 26 (2)).

Da die die Grundwasserströmung bestimmenden Größen (z.B. hydraulischer Gradient u. Durchlässigkeit) hier im Festgestein nicht mit der gewünschten Genauigkeit zu erfassen sind, kann insbesondere das Einzugsgebiet des tieferen Grundwassers nur in grober Näherung bestimmt werden. Es wird daher als potentielles Einzugsgebiet bezeichnet.

Die Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes des oberflächennah talwärts strömenden, geringmine-

ralisierten Grundwassers wurde nach dem geologischen Aufbau des Untergrundes sowie den oberirdischen Abflußverhältnissen (oberirdische Wasserscheiden) vorgenommen.

Die Einzugsgebietsgrenze (Abb. 26) verläuft im N auf dem Kamm des Bomberges, zieht sich nach SE bis Löwensen, knickt dort nach NE in Richtung Hohe Stolle ab, verläuft südöstlich Löwensen, quert die Emmerniederung im Bereich westlich der Kläranlage, zieht sich hangaufwärts, um auf Höhe des Flugplatzes nach SW abzubiegen. Vom Mühlenberg verläuft die Grenze hangabwärts bis zur Bahnlinie, quert die Emmerniederung, biegt auf Höhe des Neubrunnenweges nach NW um, quert den Kurpark, verläuft weiter bis östlich Holzhausen, um dort nach NE zum Bomberg hin abzuknicken.

Bei dem Pyrmonter Ortsteil Holzhausen sowie im Bereich des Königs-Berges weicht aufgrund des Vorhandenseins von Verwerfungszonen die Einzugsgebietsgrenze vom Verlauf der oberirdischen Wasserscheiden (Abb. 17) ab. Infolge der hydraulisch wirksamen Anisotropie entlang der Verwerfung ist auch über die morphologische Hochlage hinaus ein direkter Zustrom zu den Pyrmonter Quellen nicht auszuschließen.

Als potentielles Einzugsgebiet bzw. Zuflußgebiet des tieferen höher mineralisierten Grundwassers kommt jedes bezüglich des Grundwasserstandes höher als das Quellspiegelniveau der Heilquellen gelegene Gebiet in Betracht. Dies gilt nicht nur dann, wenn neugebildetes Grundwasser in gut durchlässiges Gestein, sondern auch, wenn es in gering durchlässiges Gestein bis in größere Tiefen sickern kann. Die Durchlässigkeit der Gesteinsschichten im Einzugsgebiet beeinflusst hier nur Durchflußmenge und Geschwindigkeit des Grundwassers. Die Neubildung des tieferen Grundwassers erfolgt also flächenhaft (DVWK 1987, 1983).

Gemäß dieser Modellvorstellung und unter Berücksichtigung der wichtigsten geologischen und tektonischen Elemente wird für die Bad Pyrmonter Heilquellen das potentielle Einzugsgebiet des tieferen höher mineralisierten Grundwassers wie folgt abgegrenzt:

Die Einzugsgebietsgrenze verläuft im N auf dem Kamm des Pyrmonter Berges, der dort die oberirdische Wasserscheide bildet. Etwa auf Höhe des Eschenkampes biegt sie nach SE in Richtung Hohe Stolle ab, schließt sich dort dem o.g. Einzugsgebiet an, verläuft im SE weiter hangaufwärts, biegt kurz vor der Ortschaft Kleinenberg nach SW ab und verläuft über den Mittelberg bis zum Schildberg, quert die Emmerniederung im nördlichen Bereich der Stadt Lügde.

Vom Hamberg verläuft die Einzugsgebietsgrenze dann nach NW, um am Westrand der Ortschaft Hagen nach NNW zum Elkenberg abzubiegen. Sie deckt sich in diesem Teilabschnitt mit der Trinkwasserschutzgebietsgrenze des Wasserwerkes Hohenborn (Scherler 1967). Im Gebiet zwischen der Stadt Bad Pyrmont und den Ortschaften Hagen, Sonneborn und Gießem weist der Untergrund eine Vielzahl von Verwerfungen auf (Abb. 11). Zudem sind die Gesteinsschichten infolge des Nachsinkens über dem abgelaugten Zechsteinsalz zerrüttet und gegeneinander versetzt (Abb. 5). Somit wurde dieser Bereich aufgrund seiner erhöhten Wasserwegsamkeit und der hydraulischen Verbindung zum Pyrmonter Talkessel in das potentielle Einzugsgebiet des tieferen Grundwassers einbezogen.

Die Einzugsgebietsgrenze verläuft dann vom Elkenberg weiter nach Norden, biegt südlich der Bundesstraße 1 nach NE zum Ziebenberg und verläuft über den Gießemer Berg bis zum Kamm des Pyrmonter Berges.

## 7 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT

### 7.1 Isotopenhydrologische Ergebnisse

In Tab. 5 sind die Ergebnisse der  $\delta^{13}\text{C}$ -,  $^{14}\text{C}$ -,  $^3\text{H}$ -,  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^2\text{H}$ -Analysen des vom NLF (1991) durchgeführten isotopenhydrologischen Untersuchungsprogramms zusammengestellt. Die nachfolgende Auswertung basiert auf den Ergebnissen eines Fachgesprächs mit Prof. Dr. M.A. Geyh, Dr. J. Hahn und Prof. Dr. P.-Chr. Scherler, alle Hannover.

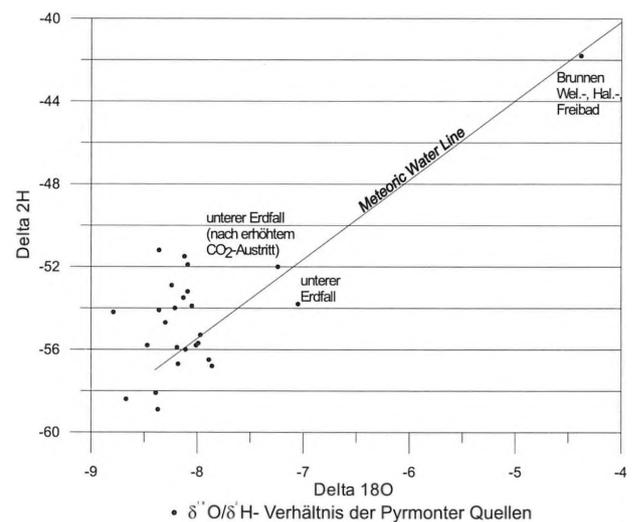


Abb. 27: - Isotopenverhältnis  $\delta^{18}\text{O} / \delta^2\text{H}$ .

Fig. 27: - Isotopic ratio  $\delta^{18}\text{O} / \delta^2\text{H}$ .

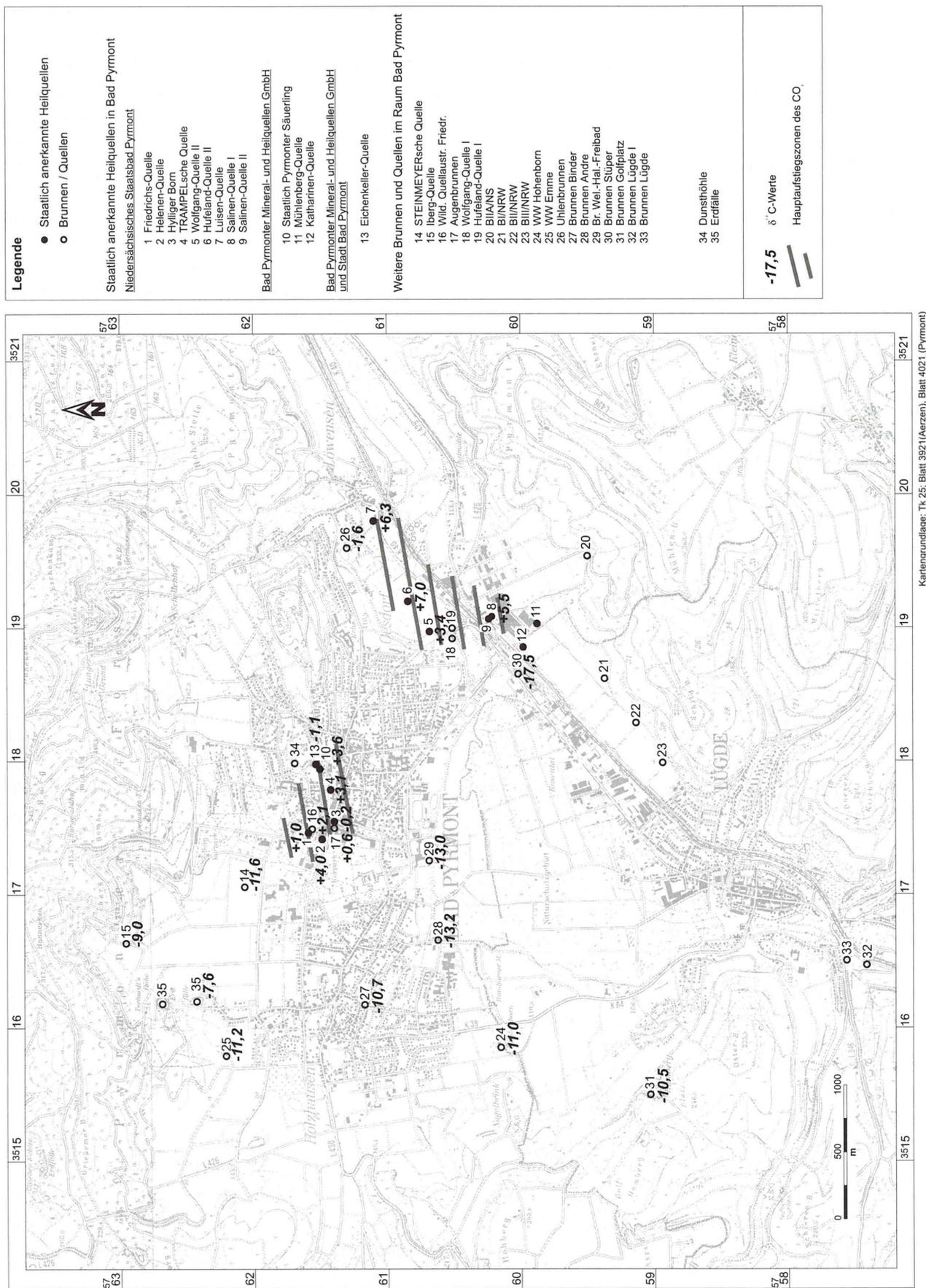


Abb. 28: – δ<sup>13</sup>C-Werte im Untersuchungsgebiet.

Fig. 28: – δ<sup>13</sup>C-values in the investigated area.

Nr.	Quellenbezeichnung	$\delta^{13}\text{C}$ [o/oo]	Konventionelle $^{14}\text{C}$ -Alter [Jahre vor 1950]	$^{14}\text{C}$ -Gehalt [% modern]	$^3\text{H}$ -Gehalt [T.U.] im: 08.88	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
1	FriedrichsQuelle	+1.0	23170 ± 360	5.6 ± 0.3	10.9 ± 0.8	-8.36	-51.2
2	Helenen-Quelle	+4.0	28345 ± 1655	2.9 ± 0.5	<1.9	-8.24	-52.9
3	Hylliger Born	-0.2	27730 ± 540	3.2 ± 0.2	<1.4	-8.12	-51.5
4	TRAMPELSche Quelle	+3.1	24630 ± 680	4.7 ± 0.4	21.6 ± 0.6	-8.67	-58.4
5	Wolfgang-Quelle II	+3.4	28020 ± 555	3.1 ± 0.2	7.5 ± 0.6	-8.09	-53.2
6	Hufeland-Quelle II	+7.0	22390 ± 810 22390 ± 735	6.2 ± 0.6	< 2.0	-8.37	-58.9
7	Luisen-Quelle	+6.3	43380 ± 3500 43380 ± 2400	0.5 ± 0.2	<1.9	-8.09	-51.9
8	Salinen-Quelle I	+5.5	27580 ± 1600 27580 ± 1250	3.2 ± 0.6	<1.9	-8.79	-54.2
10	Staatlich Pyrmonter Säuerling						
	Gewölbe-Quelle	+3.6	19815 ± 1090 19815 ± 910	8.4 ± 1.1	21.0 ± 0.9	-8.01	-55.8
	Turm-Quelle	+3.1	20050 ± 800	8.2 ± 0.8	16.7 ± 0.9	-7.99	-55.7
	Im Reservoir	+4.1	24890 ± 1140 24890 ± 1000	4.5 ± 0.6	15.8 ± 0.9	-8.05	-53.9
13	Eichenkeller-Quelle	-1.1	18340 ± 320	10.2 ± 0.4	28.5 ± 1.2	-7.86	-56.8
14	STEINMEYERsche Quelle	-11.6	2575 ± 60	72.6 ± 0.6	34.3 ± 0.8	-8.19	-55.9
15	Iberg-Quelle	-9.0	3310 ± 80	66.2 ± 0.7	24.7 ± 1.0	-8.36	-54.1
16	Wild. Quellenastr. Friedr.	+2.1	15620 ± 195	14.3 ± 0.3	26.6 ± 0.8	-7.89	-56.5
17	Augenbrunnen	+0.6	20800 ± 260	7.5 ± 0.3	16.9 ± 1.0	-8.21	-54.0
24	WW Hohenborn	-11.0	2950 ± 140	69.3 ± 1.2	31.3 ± 1.7	-8.39	-58.1
25	WW Emme	-11.2	3375 ± 110	65.7 ± 0.9	34.9 ± 1.6	-8.30	-54.7
26	Uhlenbrunnen	-1.6	16695 ± 210	12.5 ± 0.3	42.7 ± 1.5	-8.11	-56.0
27	Brunnen Binder (Ortsstr. 16)	-10.7	4115 ± 105	59.9 ± 0.8	37.7 ± 1.4	-8.13	-53.5
28	Brunnen Andre (Am Bruche 2)	-13.2	3235 ± 65	66.8 ± 0.5	17.0 ± 1.0	-7.97	-55.3
29	Br. Wel.-Hal.-Freibad	-13.0	1790 ± 120	80.1 ± 1.2	29.4 ± 1.5	-4.38	-41.8
30	Brunnen Stüper (Ladestr.)	-17.5	6355 ± 105	45.3 ± 0.6	27.4 ± 1.4	-8.18	-56.7
31	Brunnen Golfplatz (Lügde)	-10.5	3840 ± 100	62.0 ± 0.8	20.0 ± 2.1	-8.47	-55.8
35	unterer Erdfall	-7.6	850 ± 85	90.0 ± 0.9	31.8 ± 1.1	-7.05	-53.8
35	unterer Erdfall (nach erhöhtem CO <sub>2</sub> -Austritt Sept/1988)	-7.6	240 ± 75	97.1 ± 0.9	31.8 ± 1.1	-7.24	-52.0

Tab. 5: - Ergebnisse der  $\delta^{13}\text{C}$ -,  $^{14}\text{C}$ -,  $^3\text{H}$ -,  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^2\text{H}$ -Analysen.

Tab. 5: - Results of  $\delta^{13}\text{C}$ -,  $^{14}\text{C}$ -,  $^3\text{H}$ -,  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$ -analysis.

**$\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^2\text{H}$ -Analysen** (Abb. 27): Die meisten der  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^2\text{H}$ -Daten streuen um die *meteoric water line* (MWL) mit Ausnahme der der Proben vom Brunnen Wellen-,Hallen-,Freibad (29 in Abb. 28)) und dem unteren Erdfall (35). Das Bad liegt in der Nähe eines künstlichen Sees, der Erdfall hat eine freie Oberfläche. In beiden Fällen führt Verdunstung zu einer Isotopenanreicherung, die sich durch die Lage der Datenpaare auf der Verdunstungsgeraden widerspiegelt. Die relativ breite Streuung der übrigen Wertepaare belegt, daß einige der Wässer mittlere Verweilzeiten (MVZ) haben werden, die kleiner als 4 Jahre sind. Eine zeitliche Eingrenzung auf etwa zwei Monate genau innerhalb dieser Zeitspanne ließe sich mit monatlichen Messungen der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von ausgesuchten Punkten erreichen. Die wäre z.B. dann interessant, wenn die Frage geklärt werden soll, ob der Nitratgehalt im Grundwasser durch einen undichten Abwasserkanal oder durch flächenhafte Eintragung als Folge der anthropogener Nutzung zu erklären ist.

**$\delta^{13}\text{C}$ -Werte** (Abb. 28): Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte spiegeln den Ursprung der Kohlenstoffverbindungen im Grundwasser wider. Süßes Grundwasser weist normalerweise

Werte zwischen  $-10$  und  $-18$  ‰ auf. Die relativ positiven  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Proben aus dem Erdfall können mit Methan/CO<sub>2</sub>-Genese aus jungem Faulschlamm in Zusammenhang gebracht werden. Hierbei kommt es zu einer Anreicherung der schweren Kohlenstoff-Isotope.

Der negativste aller Werte von der Entnahmestelle Brunnen Stüper (30) kann zu Grundwasser aus dem Bausandstein der Solling-Wechselfolge gehören, der an dieser Stelle oberflächennah ansteht. Der hohe  $^3\text{H}$ -Wert bei niedrigem  $^{14}\text{C}$ -Gehalt läßt auf eine Mischung von sehr jungem und sehr altem Wasser schließen.

Die Proben aus den Brunnen der Wasserwerke Hohenborn (24) und Emme (25), des Golfplatzes (31) und der STEINMEYERschen Quelle (14) sowie einigen weiteren Brunnen weisen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen  $-10$  und  $-13$  ‰ auf. Diese sind für Karstgrundwasser charakteristisch.

Alle anderen Proben mit positiveren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten sind mit magmatischem CO<sub>2</sub> in Berührung gekommen, wobei Karbonat gelöst wird. Eine quantitative Aussa-

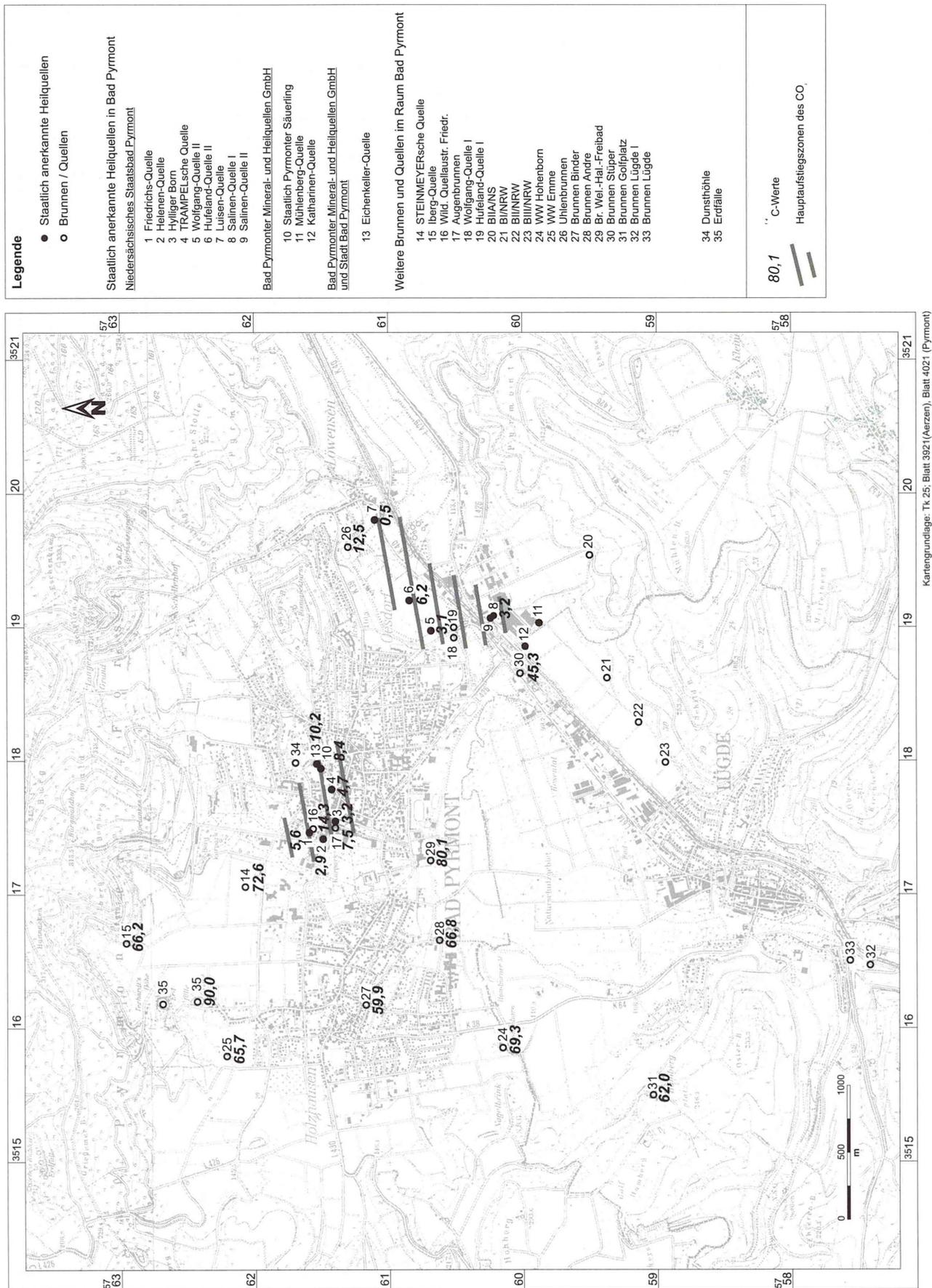


Abb. 29: - <sup>14</sup>C-Gehalte im Untersuchungsgebiet.

Fig. 29: - <sup>14</sup>C-contents in the investigated area.

ge ist schwer zu machen, weil Isotopenfraktionierungen und Mischungen zwischen den einzelnen Kohlenstoffkomponenten ein komplexes System bilden, das kaum quantitativ zu beschreiben ist. Eine Auftragung der Werte über die Fläche des Untersuchungsgebietes spiegelt aber die Hauptaufstiegszonen des CO<sub>2</sub> wider (Abb. 28). Noch besser dafür geeignet sind die <sup>14</sup>C-Gehalte: je kleiner, desto höher der Umsatz mit magmatischem CO<sub>2</sub> (Abb. 29).

**<sup>14</sup>C-Wert:** Der natürliche <sup>14</sup>C-Wert von jungem biogenen Kohlenstoff beträgt laut Definition 100 pMC (percent modern carbon). Seit Anfang der fünfziger Jahre werden höhere Gehalte bis 180 pMC gemessen, die eine Folge des Atombomben-Effektes sind. Die gelösten anorganischen Kohlenstoff-Verbindungen im Grundwasser bestehen nur zu einem Anteil von etwas über 50% aus biogenem Kohlenstoff. Der andere Teil wird von fossilem Bodenkalk beigesteuert. Als Folge betragen die sog. konventionellen <sup>14</sup>C-Alter für erst neugebildetes Grundwasser schon einige Jahrtausende.

Im Fall Bad Pyrmont sind die <sup>14</sup>C-Werte zwischen 60 und 70 pMC für Grundwasser typisch, das im nackten Karst auf den Hochflächen oder teilweise mit Sedi-ment-bedeckten Einzugsgebieten in der Bergum-rahmung des Pyrmonter Talkessels neugebildet worden ist (u.a. STEINMEYERsche Quelle, Iberg-Quelle, WW Hohenborn und Emme, Brunnen Golfplatz). <sup>14</sup>C-Werte darunter sind, wie schon gesagt, eine Folge von sekundären hydrochemischen Umsetzungen im Grundwasserleiter mit magmatischem CO<sub>2</sub>. In solchen Fällen ist keine <sup>14</sup>C-Altersbestimmung von Grundwasser möglich, nicht einmal eine Abschätzung. Die angegebenen konventionellen <sup>14</sup>C-Alter sind dann Maximalwerte.

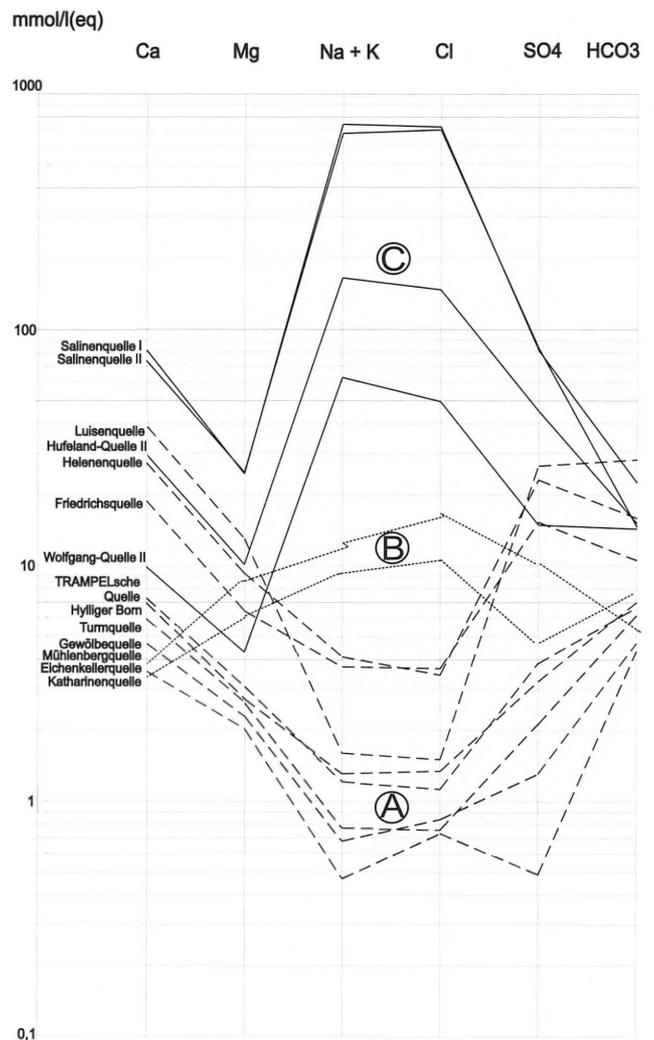
**<sup>3</sup>H-Gehalte:** Vorhandenes Tritium weist auf Grundwasser hin, das nach 1963 neugebildet worden ist. In Karstsystemen kann unter Anwendung des Exponentialmodells die mittlere Verweilzeit des Grundwassers abgeschätzt werden. Es ergeben sich folgende Bereiche:

<sup>3</sup> H-Werte (TU)	MVZ (a)
40 – 30	20 – 30
30 – 20	< 20 oder > 30
20 – 10	> 50
10 – <	> 100

Von den staatlich anerkannten Heilquellen Pyrmonts weisen die Eichenkeller-Quelle, der Staatlich Pyrmonter Säuerling (Gewölbe- u. Turmquelle), die TRAMPELsche Quelle, die Friedrichs-Quelle und die Wolfgang-Quelle erhöhte Tritium- und Nitrat-Gehalte auf

(Tab. 6). Dies läßt auf einen hohen Anteil an oberflächennah zirkulierendem Süßwasser mit geringer Fließzeit bzw. Verweildauer schließen.

Insgesamt bestätigen die vorliegenden Isotopendaten, daß die überwiegende Anzahl der untersuchten Quellen und Brunnen, insbesondere die Pyrmonter Heilquellen ein Mischwasser liefern aus jungem, oberflächennah zirkulierendem Grundwasser und altem, aus größerer Tiefe aufsteigendem Grundwasser. Diese Mischungen, unkontrollierbare Isotopenfraktionierungen (Michel 1997) und die Beimengung von tiefenvulkanisch gebildetem Kohlenstoffdioxid begrenzen hier die Anwendung isotopenhydrologischer Methoden auf die genannten Auswertungen.



**Abb. 30:** - Hydrochemische Befunde von Bad Pyrmonter Heilquellen (Darstellung nach Schoeller, 1962).

**Fig. 30:** - Hydrochemistry of the Bad Pyrmont medicinal springs (modified after Schoeller, 1962).

Nr.	Entnahmestelle	°C	pH	µS	Na+	K+	Mg++	Ca++	Fe++	Mn++	Cl-	SO4--	NO3-	HCO3-	CO2
1	Friedrichs-Quelle	11	5,8	1923	83,9	3,2	78,1	376	1,8	0,79	130	733	4,2	644	1650
2	Helenen-Quelle	12,2	5,6	2660	91,8	4,6	113	546	17,6	2,1	122	1112	0,4	970	2970
3	Hylliger Born	11,9	5,5	961	28,9	2,2	33	139	8,3	0,25	47,7	154,8	0,26	426	1650
4	Trampelsche Quelle	8,4	5,4	1010	26,6	2	37,2	146	0,87	0,39	39,9	185	10,7	403	1936
5	Wolfgang-Quelle II	10,7	5,7	6750	1430	14	52,4	198	1,7	0,67	1760	715	11,1	875	1584
6	Hufeland-Quelle II	11,4	5,8	14680	3770	35,7	123	590	7,7	1,3	5225	2173	0,9	924	330
7	Luisen-Quelle	10,4	6	3160	34	5,1	158	780	5	1	53,7	1270	0,6	1715	3960
8	Salinen-Quelle I	15,2	5,6	51700	16900	151	298	1640	21,3	2,2	25500	3920	3,4	1373	2640
9	Salinen-Quelle II	15,8	5,5	45000	15500	135,3	302,8	1470	20,2	1,9	24800	4002	5,8	891	1540
10	Pyrmonter Sauerling														
10a	Gewölbe-Quelle				14,6	1,6	27,8	93,5	<0,01	0,05	29,7	62,8	25,7	286	
10b	Turm-Quelle				16,7	1,7	31,6	119	<0,01	0,16	26,8	102	20,2	375	
11	Mühlenberg-Quelle	n.b.	6,9	2660	386	8,3	46,3	178	<0,05	0,08	365	655	9,4	329	n.b.
12	Katharinen-Q. unt. Fass.	n.b.	7,2	1683	239	5	41,4	122	<0,05	0,24	169	363	14,5	447	110
13	Eichenkeller-Quelle	11,9	5,2	549	10	1,3	24,5	71,2	<0,05	<0,05	26	23,4	37,7	264	726

Tab. 6: - Charakteristische Analysendaten der Bad Pyrmonter Heilquellen (in mg/l).

Tab. 6: - Characteristic data from analysis of medicinal sources of Bad Pyrmont (unit = mg/l).

Nr.	Entnahmestelle	°C	pH	µS	Na+	K+	Mg++	Ca++	Fe++	Mn++	Cl-	SO4--	NO3-	HCO3-	CO2
14	Steinmeyersche Quelle	9,3	7,6	632	7	1	29,5	83,7	<0,05	<0,05	23,4	34,2	15,8	335,5	
15	Iberg Quelle	9,3	7,9	471	5,1	0,8	19,4	68,8	<0,05	<0,05	11,8	39,6	11,6	237,5	
16	wilder Quellaust. Fried. Q.				31	1,8	28,5	155	0,66	0,19	58	193	9,4	371	
17	Augenbrunnen				39,7	8	36,5	284	12,3	0,59	68,6	242	0,3	793	
20	B II A / NS														
20a	B II A / NS ob. Fassung	n.b.	6,9	433	5,6	0,9	23,1	51,8	<0,05	<0,05	10	19,8	9,4	239	17,6
20b	B II A / NS unt. Fassung	12,7	6,8	2630	123	2,8	109	521	0,2	<0,01	181	1490	2,4	267	50
21	Brunnen B I / NRW	n.b.	n.b.	n.b.	477	6,8	49,9	158	0,02	0,15	348	685	4,8	540	n.b.
22	Brunnen B II / NRW														
22a	B II / NRW ob. Fassung	n.b.	6,8	464	5,6	0,84	25,4	55,7	<0,05	<0,05	14,6	11,4	7,3	261	49,3
22b	B II / NRW unt. Fassung	n.b.	7,65	2010	225	3,3	58,3	176	n.b.	n.b.	188	537	6,4	417	n.b.
23	Brunnen B III / NRW														
23a	B III / NRW ob. Fassung	n.b.	7	437	4,8	0,87	24,9	50	<0,05	<0,05	14,5	10,2	12,6	240	50,6
23b	B III / NRW unt. Fassung	11,1	6,7	3410	730	14,8	62	171	0,6	0,57	503	498	0,72	1153,28	n.b.
24	WW Hohenborn				4,8	0,8	17,4	93,1	0,03	<0,01	13,4	37,2	23,1	298	
25	WW Emme				5,4	0,8	19,3	107	0,01	<0,01	18,7	45,6	23,9	329	
26	Uhlenbrunnen				6,4	0,9	34,9	111	<0,01	0,01	17,4	40,8	21,5	444	
27	Brunnen Binder				7,8	0,8	24,7	92,1	0,01	<0,01	19,1	72,8	23,2	286	
28	Brunnen Andre				14,2	1	24,9	100	2,1	0,45	25	58,8	<0,3	350	
29	Br. Wel.-Hal.-Freibad				16,1	4,7	19,2	139	<0,01	0,02	234	38,4	27,4	113	
30	Brunnen Stüper				16,6	8	20,4	159	0,13	<0,01	20,2	35	15,2	564	
31	Brunnen Golfplatz				5,1	0,9	21,2	88	0,04	<0,01	15,1	34,1	31,2	295	
32	Brunnen Lügde I	9,9	7,1	648	n.b.	n.b.	32	98	<0,01	<0,02	26	106	27	n.b.	
33	Brunnen Lügde II	9,9	7,1	588	n.b.	n.b.	24	90	<0,01	<0,02	22	59	32	n.b.	

Tab. 7: - Charakteristische Analysendaten weiterer Quellen und Brunnen im Raum Pyrmont.

Tab. 7: - Characteristic data from analysis of other sources and wells in the Pyrmont area.

## 7.2 Hydrochemische Typisierung

Die in Bad Pyrmont gefaßten staatlich anerkannten Heilquellen lassen sich nach ihrer Mineralisation in drei Hauptgruppen zusammenfassen:

A. mineralarmes und mineralreiches Hydrogenkarbonat-Wasser vom Typ Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Sauerling:

- TRAMPELSche Quelle (4 im Lageplan, Abb. 2)
- Staatlich Pyrmonter Sauerling (10)
- Eichenkeller-Quelle (13)
- Friedrichs-Quelle (1)
- Helenen-Quelle (2)
- Hylliger Born (3)
- Luisen-Quelle (7)

B. mineralreiches Sulfat-Wasser vom Typ Na-Ca-SO<sub>4</sub>-Cl-HCO<sub>3</sub>:

- Mühlenberg-Quelle (11)
- Katharinen-Quelle (12)

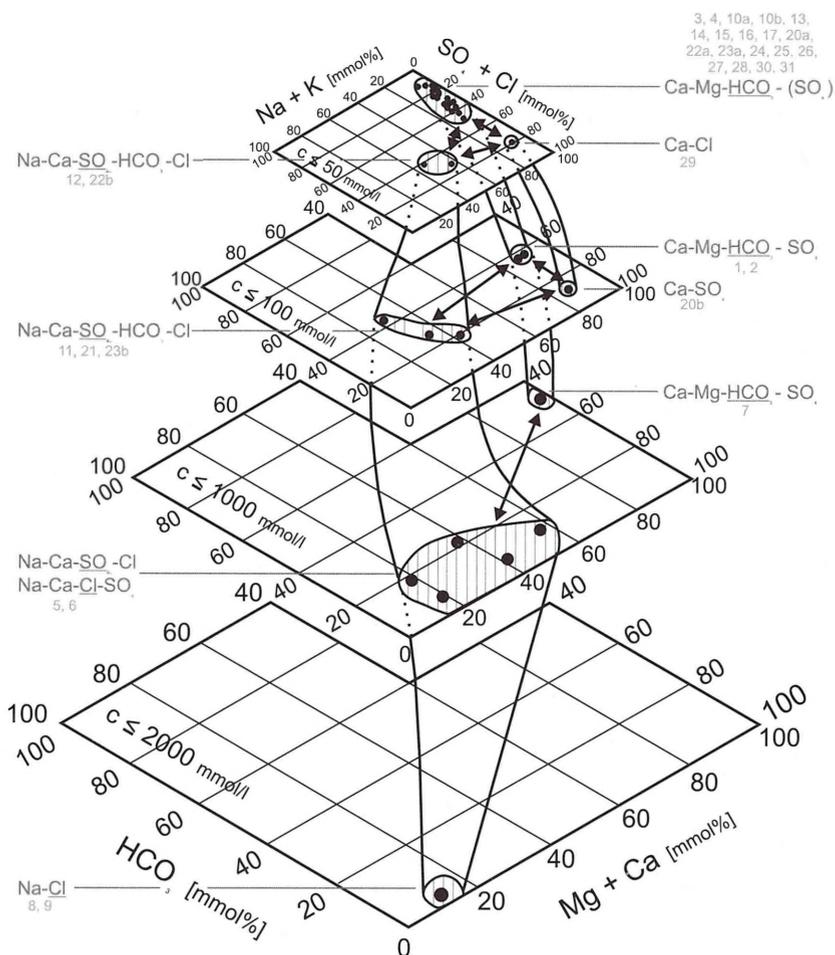
C. sehr hoch mineralisiertes Chlorid-Wasser vom Typ Na-Cl-SO<sub>4</sub>-Sauerling und Na-Cl-Sauerling (Sole):

- Wolfgang-Quelle II (5)
- Hufeland-Quelle II (6)
- Salinen-Quelle I (8)
- Salinen-Quelle II (9)

In Tab. 6 sind ausgewählte, charakteristische Analysendaten der Pyrmonter Heilquellen zusammengestellt. Bis auf Mühlenberg-, Katharinen-, Eichenkeller- und Hufeland-Quelle führen sämtliche Mineralquellen Kohlen-

**Abb. 31:** - Vergleich der Wasseranalysen unter Berücksichtigung der Konzentration und Mischungsvorgänge (Darstellung nach Herch, 1997).

**Fig. 31:** - Comparison of water analysis considering concentrations and mixture (modified after Herch, 1997).



stoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in Mengen größer 1000 mg/l, sind also nach balneologischen Begriffsbestimmungen Sauerlinge.

Tabelle 7 zeigt charakteristische Analysendaten weiterer Quellen und Brunnen im Untersuchungsgebiet. Zur Veranschaulichung der Ionenverteilung wurden die Analysendaten der Pyrmonter Heilquellen (Tab. 6) im semilogarithmischen Vertikaldiagramm nach Schoeller (1962) dargestellt (Abb. 30). Parallel verlaufende Linien zeigen Analysen mit gleicher Ionenverteilung unabhängig von der Gesamtkonzentration, während die Position in der Vertikalen ein qualitatives Maß für die Gesamtkonzentration ist. Es zeigen sich deutlich die drei o.g. Grundwassertypen mit ähnlichen Ionenverteilungen bei unterschiedlicher Gesamtkonzentration.

### 7.3 Genese

Mittels einer von Herch (1997) entwickelten neuen Darstellungsart lassen sich auch genetische Zusammenhänge zwischen verschiedenen Wassertypen aufzeigen (Abb. 31):

- „Die Wässer werden je nach Konzentration verschiedenen Gruppen zugeordnet.
- Jede Gruppe wird in einer separaten Piper-Raute, deren Flächen unterschiedlichen Gesamtlösungsinhalten entsprechen, dargestellt.
- Die Piper-Rauten werden so übereinander angeordnet, daß ein räumliches Bild entsteht.
- Die Mischung unterschiedlich konzentrierter Wässer wird durch Verbindungslinien gekennzeichnet.
- Die Mischung von Wässern innerhalb eines Konzentrationsintervalls, also innerhalb einer Raute, zeigen Pfeile an“.

Obwohl der Übergang von stark zirkulierendem, gering mineralisiertem Grundwasser zu tieferem, nahezu ruhendem, hoch mineralisiertem Grundwasser sehr verschieden und unregelmäßig sein kann (DVWK 1987; DVWK 1983), ist für den Pyrmonter Raum eine Gliederung in hydrochemische Zonen möglich. Diese konnte in genetischen Zusammenhang mit dem Grundwasserfließsystem gebracht werden. Im folgenden wird die hydrochemische Beschaffenheit des Wassers aus den einzelnen Zonen näher erläutert. Ergänzende Angaben sind den Abb. 24 und 31 zu entnehmen.

Im Gebiet der Bergumrahmung wird Grundwasser neugebildet und strömt zu einem gewissen Anteil und in langen Zeiträumen bis in Tiefen von 1000 m. Hierbei entfalten sich Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleiter und unterschiedlich beschaffenen Grundwassertypen. Die Beschaffenheit des Grundwassers ist das Ergebnis chemisch-physikalischer Prozesse, wie

- Auflösung und Ausfällung,
- Adsorption, Desorption und Ionenaustausch,
- Diffusion,
- Oxidation und Reduktion,
- Mischung.

Im Untergrund der Bergumrahmung wurde anhand der verschiedenen, erschlossenen Wassertypen (z.B. BIIA/NS (20), Mühlenberg-Quelle (11) u. Salinen-Quellen (8, 9)) eine vertikale hydrochemische Zonierung nachgewiesen (Abb. 24). Hydrogenkarbonat-Wasser wird hier von Sulfat-Wasser, dieses wiederum von Chlorid-Wasser unterlagert.

Versickerndes Niederschlagswasser (Grundwasserneubildung) nimmt während der Bodenpassage Kohlenstoffdioxid auf. Infolge Einwirkung des Kohlenstoffdioxides auf Karbonate des Muschelkalkes ( $\mu$ ) besteht der Lösungsinhalt im oberflächennahen Grundwasser vorherrschend aus Ca- und  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen (Abb. 31, oberste Raute). Das gering mineralisierte Hydrogenkarbonat-Wasser zirkuliert relativ rasch und ist in der Regel sauerstoffhaltig. Durch Auflösung von Gips und Anhydrit im Mittleren Muschelkalk ( $\mu\mu$ ) sowie in oberen und mittleren Rötfolgen ( $\text{so}_4$  bis  $\text{so}_2$ ) kann sich bereits ein erhöhter  $\text{SO}_4$ -Gehalt ergeben (Abb. 24; Abb. 31).

Während des Abstiegs in tiefere Bereiche des Aquifersystems löst das Wasser beim Durchströmen der Röt-Salinarelikte weitere größere Mengen Gips und Anhydrit.  $\text{SO}_4$  übernimmt die dominierende Rolle. Freier Sauerstoff verschwindet durch Sulfid-Oxidation und Abbau organischer Substanz. Der  $\text{HCO}_3^-$ -Anteil geht wegen der stark ansteigenden Gesamtmineralisation erheblich zurück.

Die Herkunft der hohen Na-Cl-Konzentration im quasi stagnierenden Wasser des tieferen Untergrundes kann im wesentlichen auf Auflösung (Subrosion) von Zechstein-Salzgestein, insbesondere am Zechsteinsalzhang zurückgeführt werden.

Durch Diffusion und hydromechanische Dispersion kommt es im Grenzbereich zwischen nahezu stagnierendem, hoch mineralisiertem Chlorid-Wasser (Sole) und dem noch deutlich zirkulierenden Sulfat-Wasser zur Mischung. Das resultierende Mischwasser strömt

dem Abflußgebiet des Pyrmonters Talkessels zu und mischt sich beim Aufstieg mit geringer und verschiedenartig mineralisiertem Grundwasser. Im Gebiet des Pyrmonters Talkessels (Abflußgebiet) steigt neben flachem Süß- bis intermediärem Mineralwasser auch Sole auf.

Infolge hydraulischer Gegebenheiten ist im tieferen Untergrund des Talkessels eine Aufwölbung des Sole-Körpers anzunehmen. Über Verwerfungszonen gelangt Sole bis in oberflächennahe Schichten und breitet sich im gut wasserdurchlässigen quartärzeitlichen Schotter seitlich aus. Der Aufstiegsbereich der Sole ist räumlich eng auf die Verwerfungszonen begrenzt (Brost & Rogge 1995). Das Chlorid-Wasser vom Typ Na-Cl- $\text{SO}_4$ -Säuerling der Wolfgang- und Hufeland-Quelle (5, 6) stammt aus dieser Salzwasseraufstiegszone.

Während des Aufstiegs von Sole und höher konzentriertem Mineralwasser mischt sich talwärts strömendes, gering mineralisiertes Grundwasser verschiedenen hydrochemischen Typs hinzu. Dies bewirkt eine Abnahme der Gesamtkonzentration (Verdünnung) und eine Änderung der Beschaffenheit in Richtung des beigemengten Wassertyps.

Die in den Salinen-Quellen I und II (8, 9) gefaßte kohlenstoffdioxidhaltige Sole stammt zum einen aus dem aufgewölbten Salzwasserkörper und ist zum anderen bereits das erste Ergebnis einer Mischungsreihe (Abb. 31; unterste Raute).

In höheren Bereichen des Aquifersystems mischt sich die aufsteigende Sole mit intermediärem Sulfat-Wasser und absteigendem, gering mineralisiertem Hydrogenkarbonat-Wasser. In den Entnahmetiefen der Mühlenberg- und Katharinen-Quelle (11, 12) führt diese Mischung bzw. Verdünnung zu einem Mineralwasser vom Typ Na-Ca- $\text{SO}_4$ -Cl- $\text{HCO}_3^-$ .

Beim weiteren Aufstieg verringert sich der Anteil an Chlorid-Wasser immer stärker zugunsten des beigemengten Hydrogenkarbonat-Wassers. Es entsteht ein Wasser vom Typ Ca-Mg- $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4$ -Säuerling (TRAMPELsche Quelle (4), Staatlich Pyrmonters Säuerling (10a, 10b), Eichenkeller-Quelle (13), Friedrichs-Quelle (1), Helenen-Quelle (2), Hylliger Born (3), Luisen-Quelle (7)).

## 8 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Durch die Auswertung vor allem neuerer Bohrergebnisse, insbesondere aus Aufschlußbohrungen zur Mineralwassererschließung am Nordwesthang des Mühlenberges, den Nachweis von Verwerfungs- und Zerüttungszonen durch geoelektrische Messungen und Bodenluftuntersuchungen sowie die Bearbeitung zeitweiliger Gesteinsaufschlüsse - z.B. im Neubaugebiet nordwestlich der Kernstadt Lügde - konnten die Kenntnisse vom geologischen Bau des Pyrmont Gewölbes, insbesondere der Schichtfolge, der Lagerungsverhältnisse, der Lage des Zechstein-Salzhangs sowie der Einfluß der Subrosion auf die Oberflächen-gestalt aktualisiert werden.

Über die bisher bekannten Fakten hinaus konnten folgende neue Erkenntnisse und Modellvorstellungen erarbeitet werden:

### Geologie

Durch Neuinterpretation geophysikalischer Bohrlochmessungen (Gamma-Ray) der Bohrungen „Pyrmont 2“ und „Salinen-Quelle II“ gelang für den Grenzbereich Zechstein/Buntsandstein, Unteren Buntsandstein und Mittleren Buntsandstein die Einbindung dieser Schichtfolgen in die z.Zt. für Südniedersachsen bestehenden detaillierten stratigraphisch/lithologischen Feingliederungen.

- Anhand des Gamma-Ray-Logs der Bohrung „Pyrmont 2“ wurde eine etwa 68 m mächtige Zechstein-Übergangsfolge abgegrenzt und weiter untergliedert in z5-z6-Äquivalent und Bröckelschiefer. Der Untere und Obere Bröckelschiefer wurde in 5 weitere stratigraphisch/lithologische Schichtglieder unterteilt.
- Die detaillierte kleinzyklische Gliederung des Unteren Buntsandsteins konnte auf das Profil der Bohrung „Pyrmont 2“ übertragen werden. Danach ist der Untere Buntsandstein in mindestens 18 Kleinzyklen unterteilbar.
- Vom Mittleren Buntsandstein lagen in den Bohrungen „Pyrmont 2“ und „Salinen-Quelle II“ vollständige und durch geophysikalische Bohrlochmessungen untersuchte Profile vor. Dies ermöglichte die Anwendung der stratigraphischen Viergliederung des Mittleren Buntsandsteins und dessen weitere Unterteilung in 13 Schichtglieder auch für den Raum Bad Pyrmont.

Für hydrogeologische Zwecke liefert die lithologische Interpretation der Gamma-Ray-Logs genaue Informa-

tionen über Verteilung und Mächtigkeit gering wasser-durchlässiger Tonsteinschichten und besser durchlässiger Sandsteinhorizonte.

Die im Frühjahr 1995 im Rahmen der Objektforschung der Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsaufgaben durchgeführten geoelektrischen Gleichstromuntersuchungen (Brost & Rogge 1995) erbrachten genauere Kenntnisse über die Mächtigkeit und Beschaffenheit der quartärzeitlichen Sedimente, sowie über Verbreitung und Dynamik der geogenen Grundwasser-  
versalzung:

- Die quartärzeitlichen Sedimente bestehen überwiegend aus fluvialem „Schotter“ (Kies/Sandablagerungen), der im Talbereich des Meißgebietes mit Auelehm bedeckt ist. Die Quartärmächtigkeit ist in der Emmerniederung relativ gleichbleibend und beträgt bis zu 30 m.
- Kenntnisse über den Verlauf einiger Verwerfungen konnten anhand der unterschiedlichen spezifischen Widerstände und der Tiefen der Schichtgrenzen auf benachbarten Meßkurven ergänzt, bestätigt und korrigiert werden.
- Der Salzwasseraufstieg ließ sich im Bereich einer Verwerfungszone nachweisen und die Verbreitung des Salzwassers in den quartärzeitlichen Schichten konnte genauer lokalisiert werden. Hinweise auf versalztes Grundwasser nahe der Geländeoberfläche ergaben sich auch in der Emmerniederung zwischen den Bad Pyrmont Stadtteilen Oesdorf und Löwen-sen sowie südlich des Hallenwellenbads.
- Tonhaltige Gesteine des Buntsandsteins sind unterhalb der Emmerniederung in weiten Teilen flächenhaft verbreitet. Unterhalb der quartärzeitlichen Sedimentüberdeckung deuten niedrige Widerstände auf Ton- und Schluffstein des Röts (Oberer Buntsandstein) und der Tonigen Grenzschichten (Mittlerer Buntsandstein) hin. Darunter folgen spezifische Widerstände; die Sandstein-Bereiche des Mittleren Buntsandsteins repräsentieren.
- Die Zerrüttung der Deckschichten über dem abgelaugten Zechsteinsalz im Subrosionsgebiet nordwestlich der Linie Holzhausen/Lügde und die von Herrmann (1969b) beschriebene Lage des Salzhangs wurden durch die Ergebnisse der geoelektrischen Messungen bestätigt.

Kenntnisse über Lage und Verlauf einiger Verwerfungen im Stadtbereich (Kurpark, Dunsthöhle), in dem die Durchführung geoelektrischer Untersuchungen nicht möglich ist, konnten durch Messungen der CO<sub>2</sub>-

Gehalte in der Bodenluft bestätigt und korrigiert werden.

Die Ergebnisse der geologischen Untersuchungen sind in Form geologischer Profilschnitte dargestellt. Sie dienen als Grundlage für die Darstellung der im Rahmen des Vorhabens entwickelten Modellvorstellung zum Grundwasserfließsystem der Pyrmonter Quellen.

### Hydrogeologie

Unter Berücksichtigung umfangreichen älteren Materials und Einbeziehung neuerer Untersuchungsergebnisse (Geoelektrik, Isotopenhydrologie, Bodenluftmessungen) konnten Vorstellungen von der Herkunft der Pyrmonter Quellwässer entwickelt werden, die die Ursachen der unterschiedlichen Beschaffenheit der Quellen aufhellen und den Schutz der Quellen verbessern.

Zur Ermittlung der Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß, Quellschüttung und einiger weiterer klimatischer und hydrochemischer Daten wurden deren Ganglinien aufgetragen und gegenübergestellt. Daraus lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Die Schüttung der frei auslaufenden Quellen weist einen Jahresgang auf - hohe Schüttungsmengen im Winter und Frühjahr sowie niedrige Schüttungsmengen im Sommer und Herbst. Dies ist darauf zurückzuführen, daß im Winterhalbjahr mehr Grundwasser neugebildet wird.
- Steigen die Grundwasserstände, erhöht sich der Anteil an geringmineralisiertem, oberflächennahem Grundwasser, die Leitfähigkeit (NaCl-Gehalt) nimmt ab und der Tiefenwasseranteil geht zurück. Sinken die Grundwasserstände, steigt die Leitfähigkeit, der Tiefenwasseranteil überwiegt.
- Ergiebige Niederschlagsereignisse führen insbesondere bei Quellen, die einen hohen Anteil an oberflächennahem Grundwasser aufweisen, zu kurzzeitigen Anstiegen der Quellschüttung.

Aufgrund der größeren Entnahmetiefe und des größeren Abstandes zum oberflächennahen Grundwasser sind bei den Heil- und Mineralwasserbrunnen keine signifikanten Änderungen der Wasserbeschaffenheit in Folge von Niederschlagsereignissen feststellbar.

### Grundwasserfließsystem

Unter Berücksichtigung der geologischen und hydrochemischen Untersuchungsergebnisse erbrachte insbesondere die Ermittlung und Auswertung hydraulischer Daten (Grundwasserstände u. Quellüberlaufhöhen) eine Modellvorstellung vom Grundwasserfließsystem

im Pyrmonter Gewölbe, die die bisherigen Beschreibungen (Herrmann 1969a, Scherler & Hahn 1992) wesentlich ergänzt. Bei Betrachtung der hydrogeologischen Situation der Pyrmonter Quellen muß analog zu heutigen hydraulischen Vorstellungen ein regionales, dreidimensionales Grundwasserfließsystem angenommen werden, das sich über das gesamte Pyrmonter Gewölbe erstreckt (Abb. 24 u. 25) und sich grob aufteilt in

- höher gelegene Grundwasserneubildungsgebiete (Bergumrahmung),
- verbindende Übergangs-Zonen (Transitzone)
- und tiefer gelegene Abflußgebiete (Talkessel/Emmerniederung).

Im Bereich der Bergumrahmung (Grundwasserneubildungsgebiet) überwiegt eine vertikale Komponente mit absteigender Fließrichtung, in einem Übergangsbereich herrscht horizontale Fließrichtung vor und in der Emmerniederung steigt das Wasser auf (Abflußgebiet).

### Aufstiegsmechanismen der Sole in Wechselwirkung mit oberflächennahem Grundwasser

- Das oberflächennahe Grundwasserfließsystem in den quartärzeitlichen Lockersedimenten bildet mit dem tiefer reichenden Grundwasserfließsystem im Festgesteinskörper eine hydraulische Einheit. Dagegen ist das nahezu stagnierende Tiefenwasserfließsystem (Sole) hydraulisch gesondert zu betrachten.
- Die Tiefenlage der Grenzfläche Süß-/Mineralwasser - Sole wird durch das Gewicht des auflagernden Süß- und Mineralwasserkörpers bestimmt. Dieses ist im Bereich der Bergumrahmung am höchsten. Im Gebiet der Emmerniederung, in der dieser Überlagerungsdruck infolge des Übertritts in die Vorflut (Emmer) abgebaut wird, bestehen Druckgefälle, die eine Aufwölbung des Salzwasserkörpers bewirken.
- Im Bereich hydraulisch wirksamer Verwerfungen gelangt Salzwasser bis in Oberflächennähe und breitet sich in dem gut durchlässigen quartärzeitlichen Schotter seitlich aus.
- Alle staatlich anerkannten Heilquellen von Bad Pyrmont liefern ein Mischwasser aus jungem, talwärts strömenden, gering mineralisiertem Grundwasser und altem, aufsteigenden, höher mineralisiertem tieferen Grundwasser.

### Einzugsgebiete der Heilquellen

Die Grenze des Grundwassereinzugsgebietes der Pyrmonter Heilquellen verläuft in der Bergumrahmung des Pyrmonter Talkessels. Das Gesamt-Grundwassereinzugsgebiet teilt sich in ein

- Einzugsgebiet für das oberflächennah talwärts strömende, gering mineralisierte Grundwasser
- und ein größeres,

- potentiell Einzugsgebiet des tieferen, höher mineralisierten Grundwassers.

### Hydrochemische Typisierung

Die in Bad Pyrmont gefaßten staatlich anerkannten Heilquellen lassen sich nach ihrer Mineralisation in drei Hauptgruppen zusammenfassen (Abb. 31).

A. mineralarmes und mineralreiches Hydrogenkarbonat-Wasser vom Typ Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Säuerling;

B. mineralreiches Sulfat-Wasser vom Typ Na-Ca-SO<sub>4</sub>-Cl-HCO<sub>3</sub>;

C. sehr hoch mineralisiertes Chlorid-Wasser vom Typ Na-Cl-SO<sub>4</sub>-Säuerling und Na-Cl-Säuerling (Sole);

- Differenzen in der Gesamtmineralisation ergeben sich aus variabler hydraulischer Wirksamkeit der Verwerfungszonen sowie verschiedenen Überlaufhöhen bzw. Entnahmetiefen. Mit zunehmender Überlaufhöhe bzw. höher gelegener Entnahme verringert sich der Anteil aufsteigenden Tiefenwassers zugunsten talwärts strömenden gering mineralisierten Grundwassers. Die Gesamtmineralisation des Wassers nimmt ab.

### Herkunft des CO<sub>2</sub>

Die bisher vertretene Auffassung der magmatischen Entstehung wurde durch neuere Isotopenuntersuchungen bestätigt. Für das Kohlenstoffdioxid im Untergrund von Bad Pyrmont ergaben sich  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von -2,0 (Dunsthöhle) und -4,1 ‰ (Helenen-Quelle), die sich deutlich von dem aus marinem Kalkstein entstandenem CO<sub>2</sub> unterscheiden, wenngleich ein gewisser Anteil daraus nicht völlig ausgeschlossen werden kann.

Inwieweit die Zufuhr des CO<sub>2</sub> im Zusammenhang mit der Entstehung des Vlothoer Massivs (Kreide) oder dem Basaltvulkanismus in Nordhessen/Südniedersachsen (Jungtertiär) steht, läßt sich anhand der bisher vorliegenden Isotopenwerte nicht abschließend klären.

Die bis heute gewonnenen, hier dargelegten Kenntnisse über die hydraulischen und hydrochemischen Zusammenhänge des Quellensystems von Bad Pyrmont ermöglichen ein dichtes Nebeneinander von Wasserentnahmestellen für unterschiedliche Nutzungen (Heil-, Mineral- und Trinkwasser). Eingriffe in den natürlichen Wasserkreislauf bleiben so kontrollierbar.

## 9 LITERATUR

- Baldschuhn, R., Frisch, U. and Kockel, F.** (1996) *Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland 1 : 300.000*, Teil 1-17. Bundesanst. Geowiss. Rohstoffe, Hannover.
- Best, G.** (1989) Die Grenze Zechstein/Buntsandstein in Nordwest-Deutschland nach Bohrlochmessungen. *Z. dt. geol. Ges.*, **140**, 73-85, Hannover.
- Bischof, G.** (1826) *Die vulkanischen Mineralquellen Deutschlands und Frankreichs*. Ed. Weber, Bonn.
- Boigk, H.** (1968) Gedanken zur Entwicklung des Niedersächsischen Tektogens. *Geol. Jb.*, **85**, 861-900, Hannover.
- Boigk, H.** (1961) Ergebnisse und Probleme stratigraphisch-paläogeographischer Untersuchungen im Buntsandstein Nordwestdeutschlands. *Geol. Jb.*, **78**, 123-134, Hannover.
- Boigk, H. und Stahl, W.** (1970) Zum Problem der Entstehung nordwestdeutscher Erdgaslagerstätten. *Erdöl u. Kohle*, **23**, 325-333; Hamburg.
- Brandes, Th.** (1912) Sandiger Zechstein am alten Gebirge an der unteren Werra und Fulda und die Kontinuität des Landwerdens in Mitteldeutschland. *Beil.-Bd. Centralbl. Mineral. usw.*, **43**, 190-249; Stuttgart.
- Brandes, K. und Krüger, F.** (1826) *Neue physikalisch-chemische Beschreibung der Mineralquellen zu Pyrmont*. Uslar, Pyrmont.
- Brand, E., Fricke, K. und Hedemann, H.-A.** (1981) *Die Vorkommen natürlicher Kohlensäure (CO<sub>2</sub>) in der Bundesrepublik Deutschland. DGMK-Projekt 202-1*, 1-90. Deutsche Gesellschaft für Mineralölwissenschaft und Kohlechemie e.V., Hamburg.
- Brost, E. und Rogge, A.** (1995) *Geoelektrische Messungen zur Erforschung der Quartärbasis und der geogenen Grundwasserversalzung im Raum Pyrmont*. Archiv NLFb, Hannover, 7 pp. [unpublished]
- Brüning, U.** (1984) *Zur Stratigraphie und Lithofazies des Unteren Buntsandstein in Südniedersachsen und Nordhessen*. Diss. Univ. Würzburg, Würzburg, 211 pp. [unpublished]
- Brüning, U.** (1986) Stratigraphie und Lithofazies des Unteren Buntsandstein in Südniedersachsen und Nordhessen. *Geol. Jb.*, **A 90**, 3-125, Hannover.
- Brüning, U.** (1988) Die Zechstein/Buntsandstein-Grenze in Niedersachsen und Hessen - Schwermineraluntersuchungen als Beitrag zur Geologie des Bröckelschiefers. *Geol. Jb. Hessen*, **116**, 23-44, Wiesbaden.
- Burghardt, Th.** (1996) *Quartär im Pyrmontes Kessel mit einer selbständigen geologischen Kartierung im Raum S Pyrmont (TK 25 Nr. 4021)*. Dipl.-Arbeit u. -Kartierung, Hannover, 47 pp. [unpublished]

- Carlé, W.** (1958): Kohlensäure, Erdwärme und Herdlage im Uracher Vulkangebiet und seiner weiteren Umgebung. *Z. dt. geol. Ges.*, **110**, 71-101, Hannover.
- Dahm, H.-D., Deutloff, O., Klostermann, J., Knapp, G., Kühn-Velten, H., Michel, G. und Skupin, K.** (1985) *Erl. Blatt C 4318 Paderborn. Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 100.000*. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf. (ed.), Krefeld, 55 pp.
- Delkeskamp, R.** (1906) Vadose und juvenile Kohlensäure. *Z. prakt. Geologie*, **14**, 33-47, Berlin.
- De Luc, J.** (1779) *Lettres physiques et morales sur l'histoire de la Terre etc.* Tom., 1-5, Paris.
- Dennert, U. und Mundry, E.** (1979) *Programm zur Inversion geoelektrischer Sondierungskurven für horizontal geschichteten Untergrund (INGESO)*. Bericht, NLFb Archiv-Nr. 78 972, Hannover. [unpublished]
- DIN 4049**, Teil 1 (1992) Hydrologie – Grundbegriffe. Berlin, 12 pp.
- DHV und DTV** (1998) *Begriffsbestimmungen – Qualitätsstandards für die Prädikatisierung von Kurorten, Erholungsorten und Heilbrunnen*. Bonn, 82 pp.
- Dörhöfer, G. und Josopait, V.** (1980) Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. *Geol. Jb.*, **C 27**, 45-65, Hannover.
- Duchrow, H.** (1968) Zur Keuper-Stratigraphie in Südostlippe (Trias, Nordwestdeutschland). *Z. dt. geol. Ges.*, **117**, 620-662, Hannover.
- Duchrow, H. und Groetzner, J.-P.** (1984) Oberer Muschelkalk. In: **Klassen, H.** (ed.), *Geologie des Osnabrücker Berglandes*, 169-219, Naturw. Museum Osnabrück, Osnabrück.
- Dünkel, H. und Vath, U.** (1990) Ein vollständiges Profil des Muschelkalks (Mitteltrias) der Dransfelder Hochfläche, SW Göttingen (Süd-niedersachsen). *Geol. Jb. Hessen*, **118**, 87-126, Wiesbaden.
- DVWK** [ed] (1983) Beiträge zu tiefen Grundwässern und zum Grundwasser-Wärmehaushalt. I. Tiefe Grundwässer – Bedeutung, Begriffe, Eigenschaften, Erkundungsmethoden. II. Untersuchungen zur Temperaturbeeinflussung von Grundwasser – Ergebnisse einer Umfrageaktion. *DVWK-Schriften*, **61**, Parey, Hamburg, Berlin.
- DVWK** [ed.] (1987) Erkundung tiefer Grundwasser-Zirkulationssysteme. Grundlagen und Beispiele. *DVWK-Schriften*, **81**, Parey, Hamburg, Berlin.
- Farrenschon, J.** (1995) *Erläuterungen zu Blatt 4020 Blomberg. Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 25 000, Erl. 4020 Blomberg*. Krefeld, 155 pp.
- Frebold, G.** (1929) Oeynhausien, Salzuflen und Pyrmont. *Jb. geogr. Ges. Hannover*, **1929**, 25-54, Hannover.
- Fricke, K.** (1952) Herkunft des Salz- und Kohlensäuregehaltes der Mineralwässer im weiteren Ruhrgebiet. *Bergbau-Rdsch.*, **4**, 1-6, Essen.
- Fricke, K.** (1968) Zur Entstehung von CO<sub>2</sub>-Gas-Lagerstätten. *XXIII. Intern. Geol. Kongr.* **17**, *Genesis of Mineral and Thermal Waters*, 205-212, Prag.
- Fricke, K.** (1979) <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C-Untersuchungen des CO<sub>2</sub>-Gases einer Mofette in Ostwestfalen sowie Vergleiche mit anderen <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C-Daten in Europa. *Mineralbrunnen* **29**, 2, 5-7, Bonn-Bad Godesberg.
- Fricke, K. and Querfurth, H.** (1972) Moderne Technik der geophysikalischen CO<sub>2</sub>-Prospektion. *Mineralbrunnen*, **22**, H. 2/1972, Bonn-Bad Godesberg.
- Freeze, R.A.** (1971) Three-Dimensional, Transient, Saturated-Unsaturated Flow in a Groundwater Basin. *Water resources res.*, **7**, 347-366, Richmond, Va.
- Freeze, R.A. and Witherspoon, P.A.** (1966, 1967, 1968) Theoretical Analysis of Regional Groundwater Flow. 1-3. *Water resources res.*, **2**, 641-656, **3**, 623-634, **4**, 581-590; Richmond, Va.
- Garfs, J.** (1969) *Bad Pyrmont - Ursprung, Vergangenheit, Gegenwart*. Gebr. Jacke, Bad Pyrmont.
- Gerling, P.** (1986) *Isotopengeochemische Gasuntersuchungen im südlichen Emsland und im Einflußbereich des Bramscher Massivs*. Diss. Westf. Wilhelmsuniv. Münster, Münster, 151 pp. [unpublished]
- Groetzner, J.-P. and Rogge, A.** (1994) *Geologie und Hydrogeologie des Pyrmonters Kessels*. Exkursionsführer, Hannover, 11 pp. [unpublished]
- Grupe, O.** (1927a) *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Geol. Kt. Preußen und benachbarten Bundesstaaten 1 : 25.000, Bl. Aerzen (3921)*, Preuß. Geol. L.-Anst., Berlin, 35 pp.
- Grupe, O.** (1927b) *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Geol. Kt. Preußen und benachbarten Bundesstaaten 1 : 25.000, Bl. Pyrmont (4021)*, Preuß. Geol. L.-Anst. (ed.), Berlin, 49 pp.
- Grupe, O.** (1931) *Schichtenverzeichnis der Bohrung „Pyrmont 2“*. Bohrarchiv NLFb/BGR, Hannover. [unpublished]
- Hahn, J.** (1982) Grundwasserbeschaffenheit bei Aquiferen in Lockergesteinen in Nordost-Niedersachsen. In: *Anthropogene Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit in Niedersachsen, Fallstudien. Veröff. Inst. Stadtbauwesen Techn. Univ. Braunschweig*, **34**, 145-159, Braunschweig.
- Hahn, J., Lüttig, G. and Ortlam, D.** (1976) *Endbericht des Forschungsausschusses „Kaliabwässer Fließende Welle“*, *Berichtszeitraum 1954-1976*. Archiv NLFb, Hannover, 54 pp. [unpublished]
- Haubold, H.** (1984) Saurierfährten. *Neue Brehm-Bücherei*, **479**, Wittenberg.

- Herch, A.** (1997) Das Pyramidendiagramm: Eine neuartige Darstellung von Mineralwasseranalysen mit großen Konzentrationsunterschieden. *Heilbad u. Kurort*, **49**, 275-278, Gütersloh.
- Herrmann, R.** (1968) Auslaugung durch aufsteigende Mineralwässer als Ursache von Erdfällen bei Bad Pyrmont. *Geol. Jb.*, **85**, 265-284, Hannover.
- Herrmann, R.** (1969a) Die Heilquellen von Bad Pyrmont, ihre Beschaffenheit und ihre Herkunft. *N. Arch. f. Nieders.*, **18** (1), 3-14, Göttingen.
- Herrmann, R.** (1969b) Die Auslaugung der Zechsteinsalze im niedersächsisch-westfälischen Grenzgebiet bei Bad Pyrmont. *Geol. Jb.*, **87**, 277-294, Hannover.
- Herrmann, R.** (1971) Natur und Geschichte der Dunsthöhle in Bad Pyrmont. *Ber. nat.-hist. Ges. Hannover*, **115**, 15-36, Hannover.
- Hinze, C.** (1967) Der Obere Buntsandstein (Röt) im südniedersächsischen Bergland. *Geol. Jb.*, **84**, 637-716, Hannover.
- Höltig, B.** (1996) *Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie*. Enke, Stuttgart.
- Höltig, B., Haertlé, Th., Hohberger, K.-H., Nachtigall, K.-H., Villinger, E., Weinzierl, W. and Wrobel, J.-P.** (1995) Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. *Geol. Jb.*, **C 63**, 5-24, Hannover.
- Hubbert, M.K.** (1940) The theory of ground-water motion. *J. Geol.*, **48**, 785 - 944, Chicago.
- Hülßenbeck, P.** (1920) Die Geologie des Pyrmont Beckens sowie die Entstehung seiner Mineralquellen. *Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1918*, **39**, 180-231, Berlin.
- Josopait, V.** (1991) Zur Kartendarstellung des Naturraumpotentials Grundwasser in Niedersachsen. *Nds. Akad. Geowiss. Veröff.*, **7**, 56-58, Hannover.
- Kaltwang J.** (1992) Die pleistozäne Vereisungsgrenze im südlichen Niedersachsen und im östlichen Westfalen. *Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover*, **33**, 161 pp., Hannover.
- Kampe, R.** (1922) Zur Mechanik gasführender Quellen. *Ing.-Z.*, **2**, 1-8, Teplitz-Schönau.
- Kleefeldt, M.** (1983) *Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen in der Wesertal- aue – Zum Auftreten versalzten Uferfiltrats und versalzter Tiefengrundwässer im Wesertal zwischen Hann.-Münden und Petershagen*. Diss. nat.-wiss. Fak., Friedrich-Alexander-Univ., Erlangen-Nürnberg, 137 pp.
- Leichtle, Th.** (1981) Hydrochemie und Hydrodynamik der mesozoischen Aquifere im Bereich der Heilbäder Oeynhaus und Salzuflen (Ostwestfalen). *Mitt. Ing.- u. Hydrogeol.*, **11**, 122 pp., Aachen.
- Lilge, A.** [ed.] (1992) *Bad Pyrmont - Tal der sprudelnden Quellen. Zur Geschichte der Pyrmont Heil- und Mineralquellen*. Bad Pyrmont.
- Ludwig, R.** (1881) *Geologische Beschreibung der Umgebung von Bad Pyrmont.* - Auszug aus der 1862 erschienenen Schrift: *Die Kochsalz- und Eisensäuerlinge zu Pyrmont*. Pyrmont.
- Marcard, H. M.** (1784) *Beschreibung von Pyrmont*. Band I, Weidmanns Erben u. Reich, Leipzig.
- Marcard, H. M.** (1810) *Über die kochsalzhaltigen Mineralwässer zu Pyrmont und deren Arzneigebrauch*. Perthes, Hamburg.
- Meinicke, F.** (1910) Das Liegende des Kupferschiefers. *Jb. preuß. geol. Landesanst.*, **31**, 253-296, Berlin.
- Menke, K. Th.** (1840) *Pyrmont und seine Umgebung mit besonderer Hinsicht auf seine Mineralquellen historisch, geographisch, physikalisch und medizinisch dargestellt*. G. Uslar, Pyrmont.
- Meyer, R.** (1987) *Geowissenschaftliche Karte des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen 1 : 200.000 Grundwasser – Grundlagen*, Bl. Hannover (3918). Nieders. L.-amt f. Bodenforsch. (ed.), Hannover.
- Michel, G.** (1963) Untersuchungen über die Tiefenlage der Grenze Süßwasser-Salzwasser im nördlichen Rheinland und anschließenden Teilen Westfalens, zugleich ein Beitrag zur Hydrogeologie und Chemie des tiefen Grundwassers. *Forsch.-Ber. Land Nordrh.-Westf.*, **1239**, 1-131, Köln u. Opladen.
- Michel, G.** (1994) Zur Genese der Thermalquellen. *Heilbad u. Kurort*, **46**, 42-47, Gütersloh.
- Michel, G.** (1995) Bad Pyrmont im Kessel der heilenden Wässer. *Schriften-R. dt. Bäderverb.*, **60**, 54-55, Gütersloh.
- Michel, G.** (1997): Mineral- und Thermalwässer – Allgemeine Balneogeologie. *Lehrbuch der Hydrogeologie*, **7**, 398 pp., Berlin, Borntraeger, Stuttgart.
- Michel, G., Adams, U. and Schollmayer, G.** (1998) Mineral- und Heilwasservorkommen in Nordrhein-Westfalen. *Veröff. GLA Nordrh.-Westf.*, 1-80, Krefeld.
- Mundry, E. and Homilius, J.** (1980) *Three-Layer Model Curves for Geoelectrical Resistivity Measurements, Schlumberger Array*. Schweizerbart, Stuttgart.
- NLFb** (1991) *Kommentar zu den Ergebnisse der  $\delta^{13}C$ - $^{14}C$ -,  $^3H$ -,  $\delta^{18}O$ - und  $\delta^2H$ -Analysen aus dem Raum Pyrmont*. Archiv NLFb, Hannover 2 pp. [unpublished]
- Pommerening, J.** (1992) Hydrogeologie, Hydrogeochemie und Genese der Aachener Thermalquellen. *Mitt. Ing.- u. Hydrogeol.*, **50**, 1-169, Aachen.
- Pryor, W.A.** (1971) Petrology of the Weissliegendes sandstones in the Harz and Werra-Fulda areas, Germany. *Geol. Rdsch.*, **60**, 524-552, Stuttgart.

- Richter G.** (1941) Paläogeographische und tektonische Stellung des Richelsdorfer Gebirges im Hessesischen Raume. *Jb. Reichsst. Bodenforsch.* 1940, **61**, 283-332, Berlin.
- Richter-Bernburg, G.** (1955) Der Zechstein zwischen Harz und Rheinischem Schiefergebirge. *Z. dt. geol. Ges.*, **105**, 876-899, Hannover.
- Röhling, H.-G.** (1986) Die Gliederung des Unteren und Mittleren Buntsandstein nach Bohrlochmessungen (Gamma-Ray und Sonic-Log) im Nordwestdeutschen Becken. *Ber. Bundesanst. Geowiss. Rohstoffe*, 92 pp., Hannover. [unpublished]
- Röhling, H.-G.** (1991a) A Lithostratigraphic subdivision of the Early Triassic in the Northwest German Lowlands and the German Sector of the North Sea, based on Gamma Ray and Sonic Logs. *Geol. Jb.*, **119**, 3-24, Hannover.
- Röhling, H.-G.** (1991b) *Lithostratigraphie und Paläogeographie des Unteren und Mittleren Buntsandstein im Nordwestdeutschen Becken - Eine Analyse der Schichtenfolge mit Hilfe geophysikalischer Bohrlochmessungen (Gamma-Ray und Sonic-Log)*. Diss. Univ. Heidelberg, Heidelberg, 336 pp. [unpublished]
- Röhling, H.-G.** (1993) Der Untere Buntsandstein in Nordwest- und Nordostdeutschland – Ein Beitrag zur Vereinheitlichung der stratigraphischen Nomenklatur. *Geol. Jb.*, **A 142**, 149-183, Hannover.
- Scherler, P.-Ch.** (1967) *Trinkwasserschutzgebiet für das Wasserwerk „Hohenborn“ der Stadt Bad Pyrmont*. Archiv NLFb, Hannover, 8 pp. [unpublished]
- Scherler, P.-Ch.** (1990) Rudolf Herrmann 1900 - 1989. Nachruf. *Geol. Jb.*, Mitt. **7**, 29-35, Hannover.
- Scherler, P.-Ch.** and **Hahn, J.** (1992) Balneologische Nutzung von Solequellen in Niedersachsen. *Nds. Akad. Geowiss. Veröff.*, **8**, 44-57, Hannover.
- Schoeller, H.** (1962) *Les eaux souterraines*. Mason, Paris.
- Schwerdtfeger, B.** and **Meyer, R.** (1989) *Geowissenschaftliche Karte des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen 1 : 200.000 Grundwasser – Grundlagen, Bl. Kassel (4718)*. Nieders. L.-Amt Bodenforsch. (ed.), Hannover.
- Seip, J. P.** (1750) *Beschreibung der Pyrmontischen Mineralwässer und Stahlbrunnen*. Försters u. Sohns Erben, Hannover und Pyrmont.
- Subkommission Perm-Trias** (1993) Beschlüsse zur Festlegung der lithostratigraphischen Grenzen Zechstein/Buntsandstein/Muschelkalk und zu Neubenennungen im Unteren Buntsandstein in der Bundesrepublik Deutschland. *Nachr. dt. geol. Ges.*, **49**, 76-81, Hannover.
- Stahl, W.** (1968) Zur Herkunft nordwestdeutscher Erdgase. *Erdöl u. Kohle*, **21**, 514-518, Hamburg.
- Stahl, W.** (1971) Isotopen-Analysen an Carbonaten und Kohlendioxid-Proben aus dem Einflußbereich und der weiteren Umgebung des Bramscher Intrusivs und an hydrothermalen Carbonaten aus dem Siegerland. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.* **18**, 429-438, Krefeld.
- Stark, H.** (1953) Tektonische Studien an der Piesberg-Pyrmont Achse im Bereich um Bad Pyrmont. *Z. dt. geol. Ges.*, **104**, 506-510, Hannover.
- Stein, V.** (1968) Stratigraphische Untersuchungen im Unteren Muschelkalk Südniedersachsens. *Z. dt. geol. Ges.*, **117**, 819-828, Hannover.
- Stille, H.** (1910) Der geologische Bau der Ravensbergischen Lande. *Jber. niedersächs. geol. Ver.*, **3**, 226-245, Hannover.
- Struckmeier, W.** (1990) Wasserhaushalt und hydrologische Systemanalyse des Münsterländer Beckens. *LWA Schriftenreihe*, **45**, 72 pp., L.-Amt Wasser u. Abfall Nordrh.-Westf., Düsseldorf.
- Tóth, J.** (1962) A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada. *J. geophys. Res.*, **67**, 4375-4387.
- Trampel, J. E.** (1794) *Beschreibung von den neuentdeckten salzhaltigen Mineralquellen in Pyrmont*. Pyrmont.
- Trusheim, F.** (1964) Über den Untergrund Frankens. *Geol. Bavarica*, **54**, 1-92, München.
- Vogel, P.** and **Schelkes, K.** (1990) *Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung mit variabler Dichte auf Modellschnitten in Norddeutschland – Dokumentation bisheriger Ergebnisse Fachbericht zum Forschungsvorhaben KWA 58020 des BMFT „Wissenschaftliche Grundlagen zur Erkundung und Berechnung des Endlagerbergwerks, Teilprojekt III: „Nachweis der Gültigkeit und Übertragbarkeit geohydraulischer und geochemischer Modelle“*. Bundesanst. Geowiss. Rohstoffe Archiv-Nr. 107 372, Hannover. [unpublished]
- Waldeck, H.** (1966) *Erläuterung und Zusammenfassung der Ergebnisse von Bohrungen im Stadtgebiet von Bad Pyrmont*. Archiv NLFb, Hannover, 11 pp. [unpublished]
- Weseloh, A.** (1994) *Muschelkalk und Quartär der Emmer im Raum Lügde (Pyrmont Becken) - mit einer Bearbeitung von Schlauchkernbohrungen*. Dipl.-Arb. u. -Kartierung der Univ. Hannover, Hannover, 84 pp. [unpublished]
- Westrumb, J. F.** (1787) Von der Dunsthöhle zu Pyrmont. *Kl. physik.-chem. Abh.*, **2**, 207-224, Leipzig.

## 10 ANHANG

## 10.1 Beschreibung der staatlich anerkannten Heilquellen in Bad Pyrmont

Die staatlich anerkannten Heilquellen sind Eigentum:  
 a. des Niedersächsischen Staatsbades Pyrmont  
 b. der Bad Pyrmont Mineral- und Heilquellen GmbH  
 c. der Stadt Bad Pyrmont

In Tab. A1 sind die jeweiligen Besitzverhältnisse, Fassungstypen, Quellschüttungs- und Entnahmemengen sowie Verwendungsarten der Heilquellen zusammengefasst.

Weitere Kenndaten wie Rechts-/Hochwerte, Gemarkungen, Flur- und Flurstücksnummern, Geländehöhen, Quellüberlaufhöhen sowie Tiefen der Filterstrecken sind in Tab. A2 zusammengestellt.

Nr.	Quelle/Brunnen	Betreiber	Art	Quellschüttung l/min	genehm. Entn. cbm/h	cbm/d	cbm/a	Verwendung
	<b>Staatl. anerkannte Heilquellen</b>							
1	FriedrichsQuelle	Nieders. Staatsbad Pyrmont	Quelle	35 - 50		50	24.000	Trinken/Baden
2	Helenen-Quelle	"	"	120 - 160		240	105.000	"
3	Hylliger Born	"	"	4		7	2.700	Trinken
4	TRAMPELsche Quelle	"	"	40 - 50		40	21.000	Trinken/Baden
5	Wolfgang-Quelle II	"	Brunnen			4	800	Trinken
6	Hufeland-Quelle II	"	Br./Qu.	180		350	70.000	Trinken/Baden
7	Luisen-Quelle	"	Brunnen			15	6.000	Baden
8	Salinen-Quelle I	"	Brunnen			300	80.000	"
9	Salinen-Quelle II	"	"		36	600	80.000	"
10	Staatlich Pyrmont Sauerling	Bad Pyrmont M&H GmbH	Quelle	ca. 160	ges. 10		ca. 90.000	Trinken
10a	Gewölbe-Quelle	"	"					"
10b	Turm-Quelle	"	"					"
11	Mühlenberg-Quelle	"	Brunnen		35	850	150.000	"
12	Katharinen-Quelle	"	"				Ges. 150.000	"
12a	obere Fassung	"	"		10	200	60.000	"
12b	untere Fassung	"	"		36	850	150.000	"
13	Eichenkeller-Quelle	Stadt Bad Pyrmont u. M&H	Quelle	130			ca. 70.000	"

**Tab. A1:** - Besitzverhältnisse, Fassungstypen, Quellschüttungs- u. Entnahmemengen sowie Verwendungsarten der Pyrmont Heilquellen.

**Tab. A1:** - Property conditions, catchworks, amount of spring discharge or withdrawal and use of the Pyrmont medicinal spring.

Nr.	Quelle/Brunnen	Rechtswert Hochwert	Gemarkung	Flur	Flurstück	Geländehöhe m NN	Quellüberlaufhöhe m NN	Filterstrecke m u. GOK	Filterstrecke m NN
1	FriedrichsQuelle	351747 576165	Pyrmont	14	56/3	123,84	121,98		
2	Helenen-Quelle	371741 576150	Pyrmont	14	68/5, 68/3	113,78	113,49		
3	Hylliger Born	351756 576141	Pyrmont	14	81/7	112,57	111,18		
4	TRAMPELsche Quelle	351776 576148	Pyrmont	6	77	118,6	118,33		
5	Wolfgang-Quelle II	351902 576073	Oesdorf	7	56/10	96,03		19 - 27	77 - 69
6	Hufeland-Quelle II	351921 576088	Oesdorf	7	73/2	95,94	94,93		
7	Luisen-Quelle	351983 576110	Löwensen	1	39/4	96,78		15,5 - 31,5	81 - 65
8	Salinen-Quelle I	351906 576016	Oesdorf	9	68/2	110,29		120 - 227,12	- 10 - - 117
9	Salinen-Quelle II	351905 576018	Oesdorf	9	68/2	109,2		110 - 450	- 1 - - 341
10	Staatlich Pyrmont Sauerling	351788 576154	Pyrmont	6	23				
10a	Gewölbe-Quelle	"	"	"	"	120,59	120,49		
10b	Turm-Quelle	"	"	"	"	121,85	120,23		
11	Mühlenberg-Quelle	351902 575989	Oesdorf	9	106/63	123,79		68 - 77	56 - 47
12	Katharinen-Quelle	351884 575997	Lügde	35	39	111,04			
12a	obere Fassung	"	"	"	"			30 - 40	81 - 71
12b	untere Fassung	"	"	"	"			60 - 66	51 - 45
13	Eichenkeller-Quelle	351792 576158	Pyrmont	5	37		119,73		

**Tab. A2:** - Kenndaten der Pyrmont Heilquellen.

**Tab. A2:** - Data of the Pyrmont sources.

## a) Staatlich anerkannte Heilquellen des Niedersächsischen Staatsbades Pyrmont

Die vom Niedersächsischen Staatsbad Pyrmont betriebenen Heilquellen werden überwiegend für Trink- und Badezwecke wie auch zur Abfüllung von Heilwasser verwendet.

### 1) Friedrichs-Quelle

Beim Abtragen von Torf für Moorbäder stieß man 1907 am Südhang des Bomberges auf eine Quelle, die nach dem damaligen Fürsten den Namen Friedrichs-Quelle erhielt. Die Quelle wurde 1914 gefaßt und ist für jedermann frei zugänglich. Ihre Fassung wurde bis in das Festgestein (Buntsandstein) abgesenkt. Die Geländehöhe an der Quelle beträgt NN + 123,84 m.

Als Fassung der Friedrichs-Quelle wurden Brunnenringe mit 2,2 m Durchmesser bis zu einer Tiefe von 7,6 m unter Geländeoberkante abgeteuft. In dieser Quellstube ist im Bereich der Sohle ein Kupfertrichter eingebaut, über dessen aufgesetztes Steigrohr das Wasser artesisch (frei) nach oben abfließt. 1953 wurde sie durch den jetzigen Sandsteinpavillon überbaut.

Das Wasser der Friedrichs-Quelle ist ein „Calcium-Magnesium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Säuerling“ mit einem Kohlenstoffdioxid-Gehalt von 1650 mg/l und

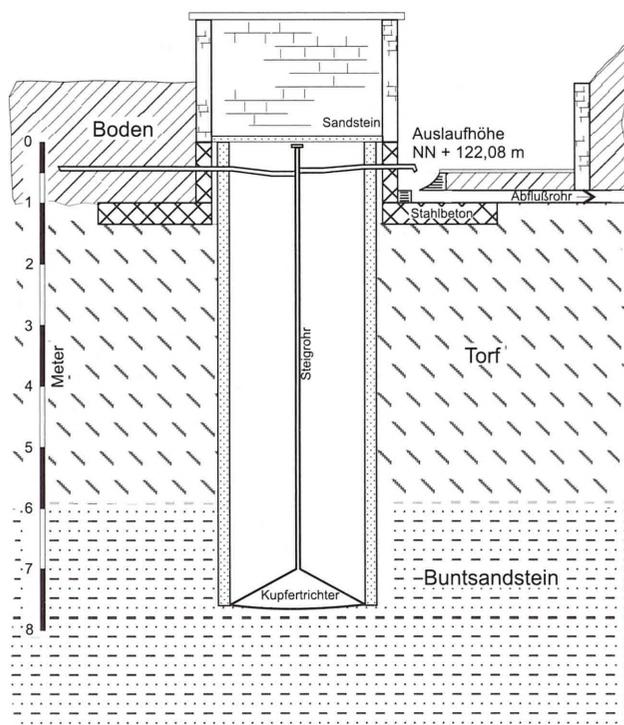


Abb. A1: - Friedrichs-Quelle.

Fig. A1: - Friedrichs-Quelle.

einem Gesamtlösungsinhalt von 2202 mg/l. Es weist eine einwandfreie mikrobiologische Beschaffenheit auf. Die Schüttung der Quelle beträgt im Durchschnitt 35 bis 50 Liter pro Minute.

Das Heilwasser der Friedrichs-Quelle wird zur Trinkkur und zu Badezwecken genutzt, kann jedoch auch vor Ort entnommen werden.

### 2) Helenen-Quelle

Die sehr ergiebige Helenen-Quelle wurde 1844 entdeckt und 1863/64 erstmalig gefaßt. Sie erhielt ihren Namen nach der damals regierenden Fürstin Helene von Waldeck. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts, zuletzt 1953 wurde sie mehrfach umgebaut. Die Geländehöhe an der Quelle beträgt NN + 113,78 m. Zur heutigen Fassung der Quelle wurde 1930 ein Stahlrohr (V2A) bis 14,73 m unter Geländeoberkante in den Oberen Buntsandstein abgesenkt. Die eigentliche Quellstube, in die das Steigrohr mündet, wurde oberhalb einer Betonplatte (mit Tonabdichtung) in Nähe der Geländeoberfläche errichtet. Hier treten sowohl das Wasser wie auch Kohlenstoffdioxid aus.

Das Heilwasser der Helenen-Quelle ist ein eisenhaltiger „Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Sulfat-

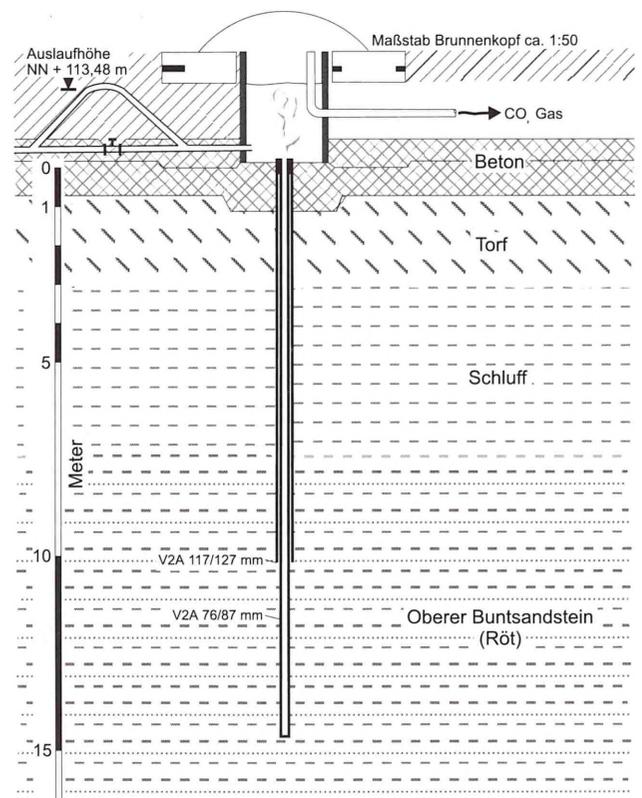


Abb. A2: - Helenen-Quelle.

Fig. A2: - Helenen-Quelle.

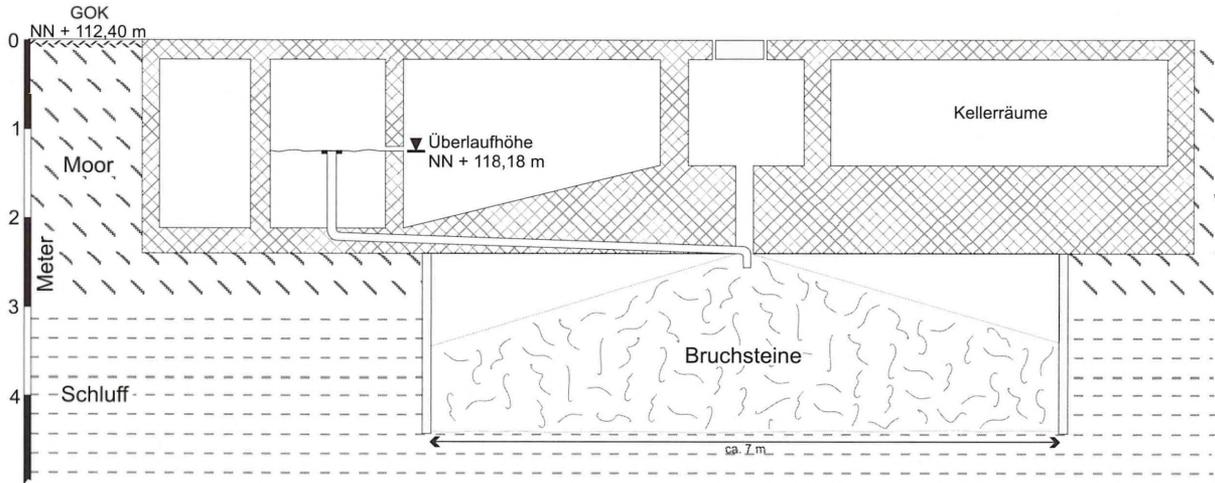


Abb. A3: - Hylliger Born.

Fig. A3: - Hylliger Born.

Säuerling“. Es enthält 2970 mg/l Kohlenstoffdioxid und 3226 mg/l gelöste feste Bestandteile. Die Quelle schüttet 120 bis 160 Liter pro Minute Wasser und etwa 120 Liter pro Minute freies Kohlenstoffdioxid. Das Heilwasser der Helenen-Quelle wird zu Trink- und Badekuren und das Kohlenstoffdioxid zur Speisung des CO<sub>2</sub>-Trockenbades verwendet.

### 3) Hylliger Born

Der Hyllige Born ist die berühmteste Pyrmontener Quelle. Der genaue Zeitpunkt seines Auffindens läßt sich nicht mehr ermitteln. Er wird um die Zeitenwende vermutet. 1556/57 war der Hyllige Born das Ziel eines großen Wundergeläufs. Viele tausend Kranke ström-

ten aus ganz Europa herbei und erhofften sich wundersame Heilung durch das Wasser des Hylligen Borns. Um 1600 wurde der Hyllige Born erstmals mit einem Brunnenhäuschen überbaut. Die heutige Fassung der Quelle besteht aus einer Brunnenstube mit einer Abmessung von 7 m, die bis 4,40 m unter Geländeoberkante reicht. Sie ist mit großen Bruchsteinen von quarzitischen Rät-Sandstein verfüllt. Von hier aus tritt das Wasser artesisch in einen darübergelegenen Quellschacht und fließt über Rohrleitungen den Verbrauchern zu.

Das Heilwasser des Hylligen Borns ist ein eisenhaltiger „Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Säuerling“ mit 821 mg/l Gesamtlösungsinhalt und 1650 mg/ Kohlenstoffdioxid. Es wird zu Trinkkuren verwendet. Die Schüttung der Quelle beträgt etwa 4 Liter pro Minute.

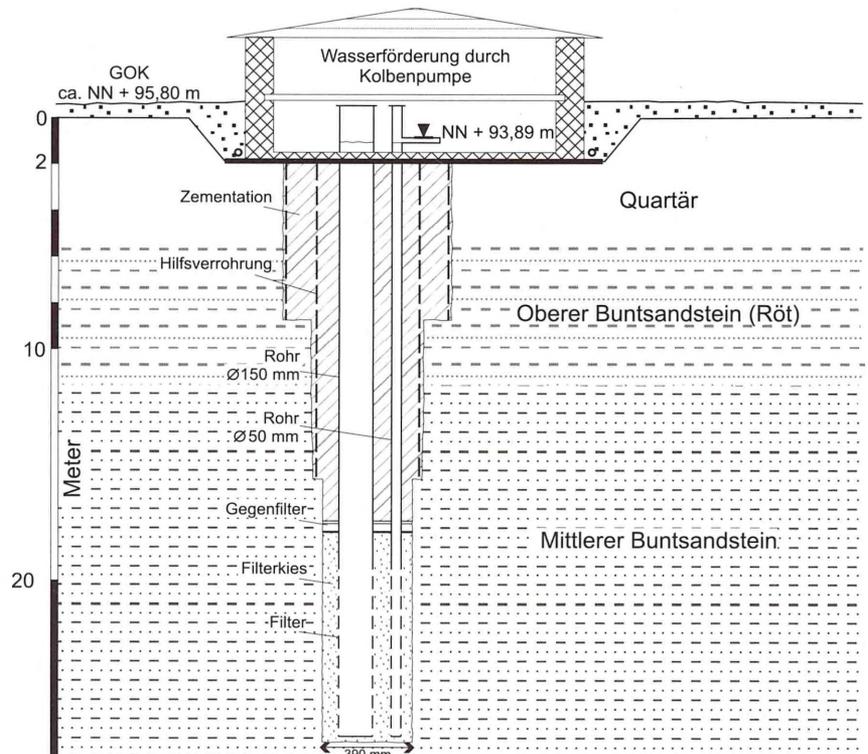
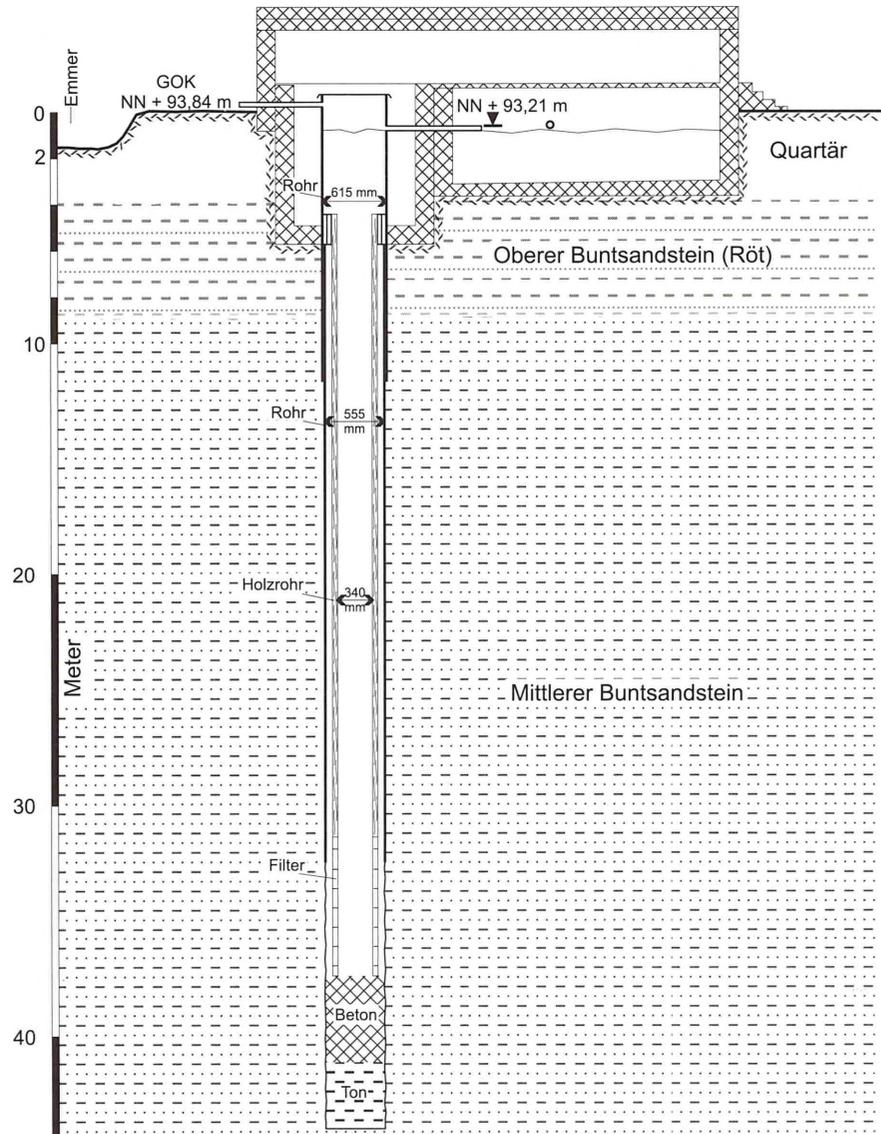


Abb. A4: - Wolfgang-Quelle.

Fig. A4: - Wolfgang-Quelle.

Abb. A5: - Hufeland-Quelle.

Fig. A5: - Hufeland-Quelle.



#### 4) TRAMPELSche Quelle

Die Quelle liegt am Südhang des Bomberges unterhalb der Hermannstraße inmitten der Bebauung. Der Überlauf liegt auf NN + 118,33 m. Die Fassung der TRAMPELSchen Quelle besteht aus einer in den Hang eingebauten Quellstube von 2,0 x 3,0 m Abmessung und einem davorliegenden Speicherschacht mit 12 m<sup>3</sup> Inhalt. In die Sohle der Quellstube sind 2 Holzkästen abgesenkt. Die übrige Sohlfläche ist mit Bruchsteinen bis zur Oberkante der Holzkästen verfüllt. Hier tritt das Quellwasser artesisch aus.

Das Heilwasser der Quelle ist ein mikrobiologisch einwandfreier „Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Säuerling“ mit 955 mg/l festen gelösten Bestandteilen und 1936 mg/l Kohlenstoffdioxid. Die Schüttung der Quelle beträgt 40 l/min. Das Wasser wird zu Trink- und Badezwecken eingesetzt.

#### 5) Wolfgang-Quelle II

Die als Brunnen erbohrte Wolfgang-Quelle II wurde 1956 als Ersatz für die Wolfgang-Quelle I niedergebracht, deren hydrochemische Beschaffenheit sich im Laufe der Jahre negativ verändert hatte. Die in der Emmerniederung niedergebrachte Bohrung hat unter Auenlehm und fluviatilen Sand-/Kiesablagerungen das Röt (Oberer Buntsandstein) durchteuft und den Mittleren Buntsandstein angeschnitten. Sie wurde zu einem 28 m tiefen Brunnen mit 8 m Filterrohren ausgebaut.

Das aus der Wolfgang-Quelle II gewonnene Heilwasser ist ein „Natrium-Chlorid-Sulfat-Säuerling“ mit einem Gesamtlösungsinhalt von 5245 mg/l und einem Gehalt an freiem Kohlenstoffdioxid von 1584 mg/l. Es wird zu Trinkzwecken verwendet.

## 6) Hufeland-Quelle II

Die Hufeland-Quelle II wurde 1938 als Ersatz für die Hufeland-Quelle I ausgebaut., deren hydrochemische Beschaffenheit sich im Laufe der Jahre negativ verändert hatte. Sie liegt unmittelbar am linken Emmerufer in der Gemarkung Oesdorf. Als Brunnen wurde das Bohrloch einer früheren Thermalbohrung verwandt. Dabei wurde ein Lärchen-Kernholz-Rohr mit 340 mm Durchmesser bis 37,25 m unter Gelände eingebaut. Von diesem wurden die unteren 6 m als Filterrohr eingerichtet.

Das Heilwasser der Hufeland-Quelle II ist ein „Natrium-Calcium-Chlorid-Sulfat-Säuerling“ mit einem Gehalt an festen Bestandteilen von 12582 mg/l. Die Schüttung der Quelle beträgt etwa 180 Liter pro Minute. Es wird zu Trink- und Badezwecken verwendet.

## 7) Luisen-Quelle

Die Luisen-Quelle wurde 1951 am Rande der Ortslage von Löwensen in der Gemarkung Löwensen am linken Emmerufer erbohrt. Die Bohrung steht mit ihrer Endteufe in ausgelaugten Gipslagen des Oberen Buntsandsteins. Die Geländehöhe an der Quelle beträgt NN + 96,78 m.

Der Brunnen wurde mit Steinzeugrohren wie folgt ausgebaut:

- bis 15,5 m u. Gok. Aufsatzrohre DN 200,
- bis 31,5 m u. Gok. Filterrohre DN 200.

Der Ringraum wurde mit Zement und Filterkies verfüllt. Im darüber erstellten Brunnenhaus wurde die technische Installation und die Kolbenpumpe untergebracht.

Das Heilwasser der Luisen-Quelle ist ein „Calcium-Magnesium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Säuerling“ mit 4357 mg/l festen gelösten Bestandteilen und 3960 mg/l freiem Kohlenstoffdioxid. Die Pumpe hat eine Leistung von 15 l/min. Das Wasser wird für Badekuren verwendet.

## 8) Salinen-Quelle I

Die Salinen-Quelle I wurde 1856 bis 1859 am Nordhang des Mühlenberges erbohrt. Die bis 227 m u. Gok. niedergebrachte Bohrung durchsank die Gesteine des Oberen Buntsandsteins (Röt) und endete im Mittleren Buntsandstein. Die Geländehöhe an der Quelle beträgt NN + 110,29 m.

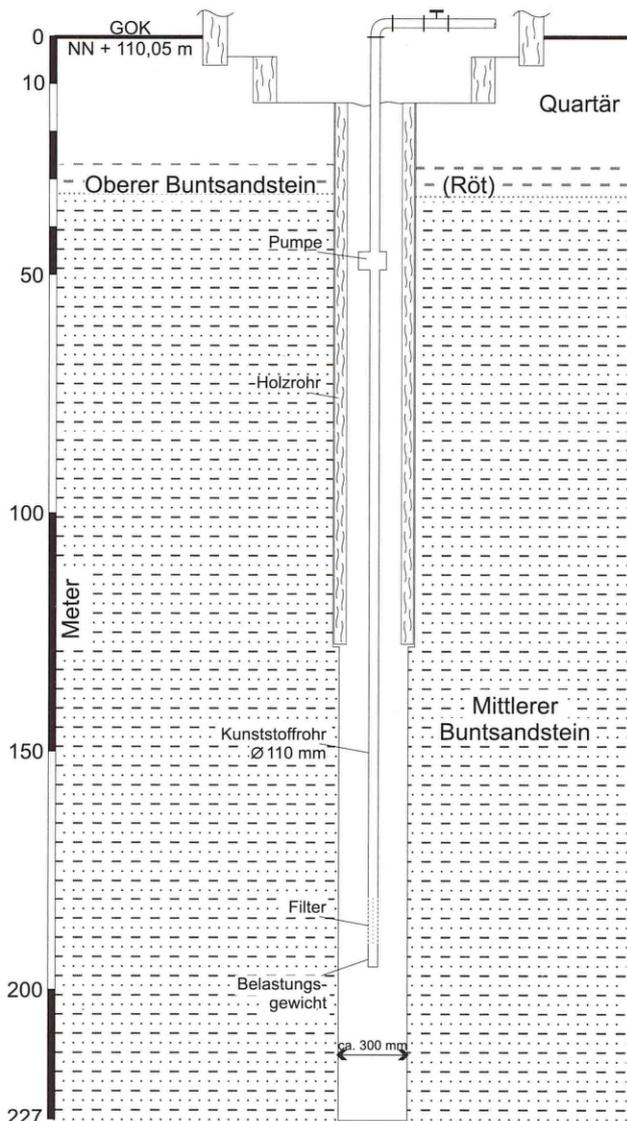


Abb. A6: - Salinen-Quelle I.

Fig. A6: - Salinen-Quelle I.

Die Bohrung wurde mit Holzrohren von 200/300 mm Durchmesser bis zu einer Tiefe von 120 m u. Gok. verrohrt. Darunter ist das Bohrloch unverrohrt. In einer Tiefe von ca. 50 m u. Gok. ist eine Unterwassermotorpumpe mit Druckmantel eingebaut. Der Druckmantel ist mit einem Saugrohr in Kunststoff PE DN 100 versehen, welches bis zu einer Tiefe von 190 m u. Gok. in das Bohrloch reicht. Das Brunnenhaus hat einen begehbaren Quellschacht, dessen Sohle bei 14 m u. Gok. liegt. Hier tritt Süßwasser in den Schacht und fließt in den Brunnen ab.

Das Heilwasser der Salinen-Quelle I ist ein „Natrium-Chlorid-Säuerling“. Der Gehalt an festen gelösten Bestandteilen beträgt 49626 mg/l und an freiem Kohlenstoffdioxid 2640 mg/l. Die in der Quelle eingebaute U-Pumpe hat eine Leistung von 300 l/min. Das Wasser wird für Badezwecke verwendet.

## 9) Salinen-Quelle II

Die 1968 bis 1970 abgeteufte Salinen-Quelle II liegt am Nordhang des Mühlenberges in unmittelbarer Nähe der Salinen-Quelle I (25 m nördlich). Mit der 450 m tiefen Bohrung wurden das geringmächtige Quartär und Röt sowie Gesteine des Mittleren Buntsandsteins durchteuft. Sie endet im Unteren Buntsandstein. Die Geländehöhe beträgt NN + 109,20 m.

In die Bohrung mit einem Durchmesser von ca. 160 mm wurde ein Entnahmerohr aus Kunststoff PE DN 100 eingebaut. Die Rohrstrecke ist im Bereich von 110 m u. Gok. bis 240 m u. Gok. als Filterrohr ausgebaut. Darunter ist das Bohrloch unverrohrt. In einer Tiefe von 48,5 m ist eine Unterwassermotorpumpe eingebaut. Der Brunnen besitzt einen begehbaren Quellschacht von 3 m Tiefe.

Das Heilwasser der Salinen-Quelle II ist ein „Natrium-Chlorid-Säuerling“ mit einem Gehalt an festen gelösten Bestandteilen von 48715 mg/l und freiem Kohlenstoffdioxid von 1540 mg/l. Die in der Quelle eingebaute Pumpe hat eine Leistung von 450 l/min. Das Wasser wird für Badezwecke verwendet.

### b) Staatlich anerkannte Heilquellen der Bad Pyrmonter Mineral- und Heilquellen GmbH

## 10) Staatlich Pyrmonter Säuerling

Die am Südhang des Bomberges gelegene Quelle wurde etwa 1717 gefaßt und wird seit dieser Zeit genutzt. Die Geländehöhe an der Quelle beträgt NN + 121 m. Die Fassung des Pyrmonter Säuerlings besteht aus einer in den Hang eingebauten Quellstube von 2,0 x 5,0 m Größe. Der Boden der Quellstube ist mit Kies aufgefüllt, durch den das kohlenstoffdioxidhaltige Wasser artesisch austritt.

Außer dieser ursprünglichen Quellfassung wurde 1972/73 in einem 6 m südlich gelegenen ehemaligen Wasserbehälter, dem sogenannten „Reservoir“, eine neue Fassung ausgebaut. Zur Unterscheidung beider Quellen hat die ursprüngliche Fassung den Zusatz „Gewölbe-Quelle“, die neue Fassung den Zusatz „Turm-Quelle“ erhalten.

Das in den Quellfassungen gefaßte Heilwasser ist ein „Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Säuerling“. Die Schüttung der Quellen beträgt insgesamt etwa 160 Liter pro Minute.

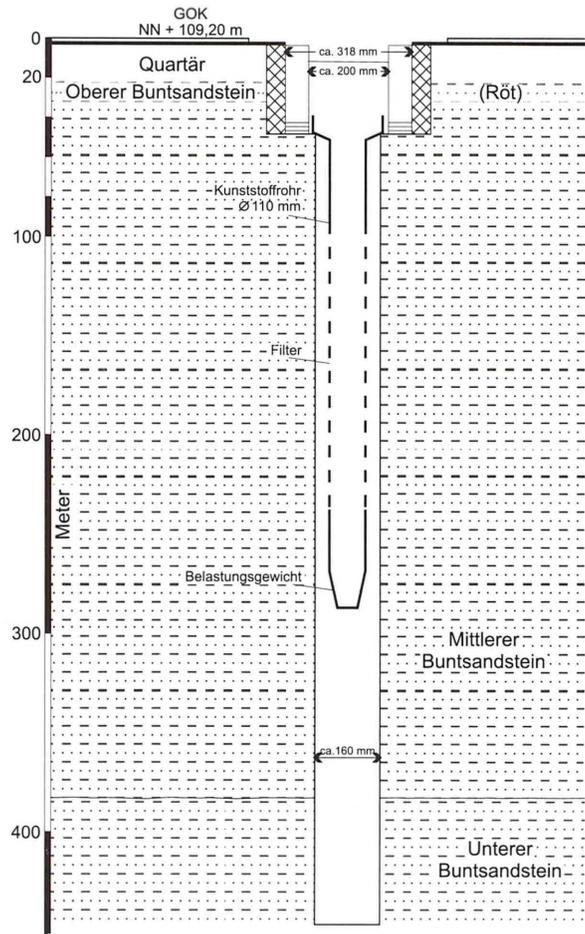


Abb. A7: - Salinen-Quelle II.

Fig. A7: - Salinen-Quelle II.

## 11) Mühlenberg-Quelle

Bei der Mühlenberg-Quelle handelt es sich um einen Rohrbrunnen, der 1978 ausgebaut wurde. Er liegt am Nordwesthang des Mühlenberges. Die Bohrung durchteufte unter quartärzeitlichen Lockersedimenten Gesteinsschichten des Röt und des Mittleren Buntsandsteins.

Der Brunnen liegt am Südwestrand des Betriebsgeländes in der Gemarkung Oesdorf, die Geländehöhe beträgt NN + 123,79 m. Der Brunnen wurde wie folgt ausgebaut:

2,0 bis 68,0 m u. Gok. Aufsatzrohr 238 mm äußerer  $\text{Ä}$   
 bis 77,0 m u. Gok. Filterrohr 238 mm  $\text{Ä}$   
 bis 79,0 m u. Gok. Sumpfrohr mit Bodenplatte 238 mm  $\text{Ä}$   
 bis 84,3 m u. Gok. Tonsperre

Als Rohrmaterial wurde V4A-Stahl verwandt. Der Ringraum wurde mit Zement, Filterkies und Tonabdichtungen verfüllt. Der obere Brunnenabschluß er-

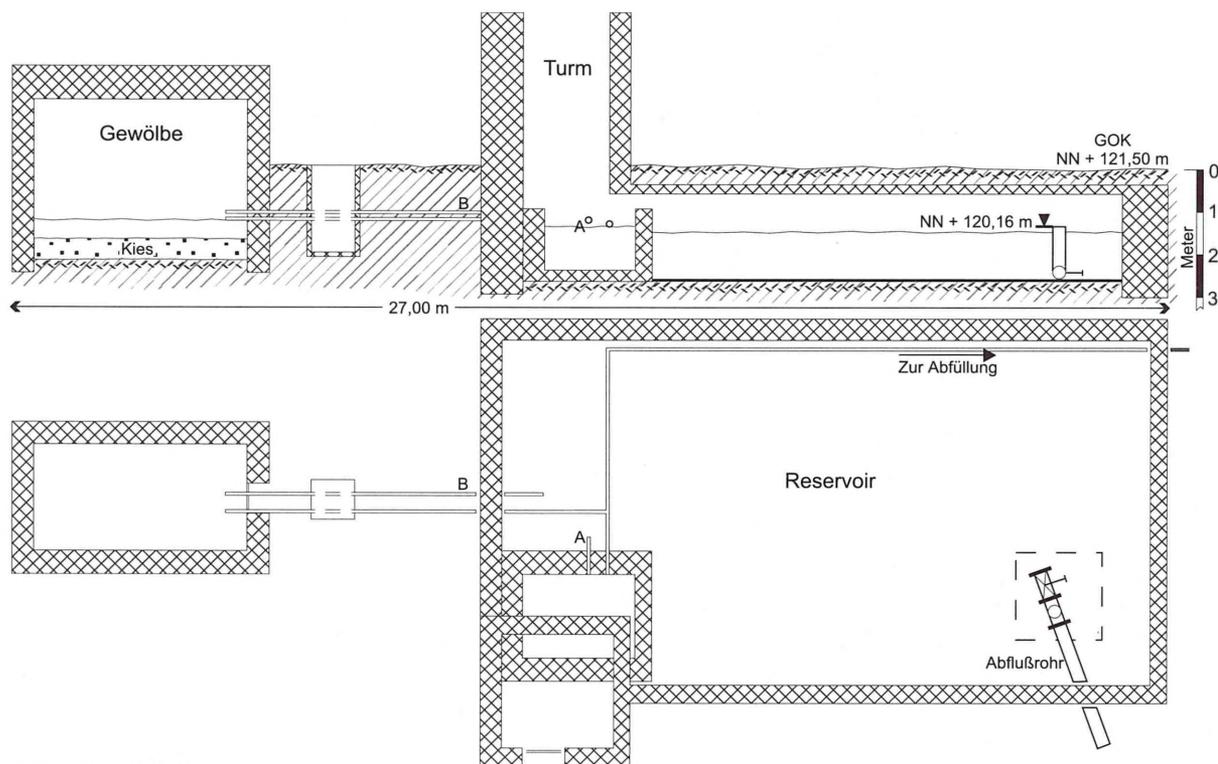


Abb. A8: - Staatlich Pyrmonter Sauerling.

Fig. A8: - Staatlich Pyrmonter Sauerling.

folgt durch einen Brunnenkopf, der einschließlich der technischen Installation in einem Brunnenschacht untergebracht ist. Die Förderung des Mineralwassers erfolgt durch eine Unterwasserpumpe.

Nach Brunnenausbau wurde die Leistungsfähigkeit in einem Pumpversuch (4,5 Wochen Dauer) ermittelt. Bei einer Leistung von  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  ergab sich eine Absenkung von  $0,55 \text{ m}$  bei einem Ruhewasserspiegel von  $\text{NN} + 94,70 \text{ m}$ .

Die vorliegenden Analysedaten weisen konstante Lösungsinhalte über längere Zeiträume nach. Bei dem hier erschlossenen Wasser handelt es sich um ein „Natrium-Calcium-Sulfat-Chlorid-Wasser“ mit einem Gehalt an gelösten Mineralstoffen von  $1988 \text{ mg/l}$ .

## 12) Katharinen-Quelle

Die Katharinen-Quelle wurde 1975 als Bohrbrunnen ausgebaut. Sie liegt am Nordwesthang des Mühlberges westlich des Betriebsgeländes in der Gemarkung Lügde. Die Geländehöhe an der Quelle beträgt  $\text{NN} + 111,04 \text{ m}$ .

Der Brunnen wurde mit einer Doppelfassung mit getrennten Entnahmestriegen ausgebaut. Die Flachfassung mit einer Tiefe von  $40,0 \text{ m}$  u. Gok. ist mit  $30 \text{ m}$  Aufsatzrohr,  $178 \text{ mm}$  äußerer  $\varnothing$  (V4A Stahl) und

$10 \text{ m}$  Filterrohr ausgebaut; die Tieffassung mit  $66,0 \text{ m}$  Tiefe ist mit einem  $60 \text{ m}$  Aufsatzrohr und  $6 \text{ m}$  Filterrohr ausgebaut. Beide Fassungen sind durch Zementation des Ringraumes voneinander getrennt. Den Brunnenabschluß bildet ein ein Brunnenkopf, der mit der technischen Installation in einem Brunnenschacht eingebaut ist. Die Förderung aus dem Brunnen erfolgt mit einer Unterwassermotorpumpe.

Nach Ausbau des Brunnens wurde die Leistungsfähigkeit durch einen Kurz-Pumpversuch von  $27 \text{ h}$  ermittelt. Bei einer konstanten Leistung von  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  betrug die Absenkung  $0,2 \text{ m}$  (Ruhewasserspiegel  $\text{NN} + 96,56 \text{ m}$ ).

Nach den vorliegenden Analysedaten handelt es sich bei dem erschlossenen Wasser um ein „Natrium-Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Chlorid-Wasser“ mit  $1418 \text{ mg/l}$  an festen gelösten Bestandteilen. Die eingebaute U-Pumpe hat eine Leistung von ca.  $14 \text{ m}^3/\text{h}$ . Das Wasser wird zur Herstellung von Mineralwasser und Mineralwassersüßgetränken verwendet.

## c) Staatlich anerkannte Heilquellen der Bad Pyrmonter Mineral- und Heilquellen GmbH und der Stadt Bad Pyrmont

Die Bad Pyrmonter Mineral- und Heilquellen GmbH und die Stadt Bad Pyrmont sind gemeinsame Eigentü-

Nr.	Weiter Grundwasserentnahmestellen	Betreiber	Anerkennung	Art	genehm. Entn. cbm/a	Verwendung
14	Steinmeyersche Quelle	Nieders. Staatsbad Pyrmont	Brauchwasser	Quelle	12.000	Brauchwasser
15	Ilberg Quelle	"	Trinkwasser	"	80.000	Trinken
16	wilder Quellaust. Fried. Q.	"		"		
17	Augenbrunnen	"		Brunnen		
18	Wolfgang-Quelle I	"		"		
19	Hufeland-Quelle I	"		"		
20	B II A / NS	Bad Pyrmont M&H GmbH	Mineralwasser	"		Trinken
20a	B II A / NS ob. Fassung	"	"	"	54.000	"
20b	B II A / NS unt. Fassung	"	"	"	90.000	"
21	Brunnen B I / NRW	"	"	"	150.000	"
22	Brunnen B II / NRW	"	"	"		"
22a	B II / NRW ob. Fassung	"	"	"	36.000	"
22b	B II / NRW unt. Fassung	"	"	"	120.000	"
23	Brunnen B III / NRW	"	"	"		"
23a	B III / NRW ob. Fassung	"	"	"	120.000	"
23b	B III / NRW unt. Fassung	"	"	"	60.000	"
24	WW Hohenborn	Stadtwerke Bad Pyrmont	Trinkwasser	"	1.400.000	"
25	WW Emme	Herr Emme	"	"	839.000	"
26	Uhlenbrunnen			"		
27	Brunnen Binder			"		
28	Brunnen Andre			"		
29	Br. Wel.-Hal.-Freibad			"		
30	Brunnen Stüper			"		
31	Brunnen Golfplatz			"		
32	Brunnen Lügde I	Stadt Lügde	Trinkwasser	Brunnen	120.000	Trinken
33	Brunnen Lügde II	"	"	"	130.000	"

Tab. A3: - Weitere Grundwasserentnahmen.

Tab. A3: - Other groundwater withdrawals.

mer der nachfolgend beschriebenen Eichenkeller-Quelle. Die Nutzung der Quelle liegt bei der Bad Pyrmont Mineral- und Heilquellen GmbH.

### 13) Eichenkeller-Quelle

Die am Südhang des Bomberges in der Ortslage gelegene Quelle wurde vor der Jahrhundertwende gefaßt, 1914 erneuert und letztmalig 1967/68 grundlegend saniert. Die Quelle gehört zu der nördlichen Quellengruppe mit salzarmem Mineralwasser/Säuerling. Das Gelände steigt im Bereich der Quellschneise stark an. Der Quellüberlauf liegt bei NN + 119,73 m.

Die Quellschneise besteht aus einer 11 m langen Quellschneise. Hier münden die Quellschneise Q1 bis Q4 ein. Bergwärts schließt sich die Quellschneise der Quelle Q5 an, die das Wasser ebenfalls in die Quellschneise ableitet. Das Mineralwasser aller Quellschneise tritt natürlich zutage. Der Boden der Quellschneise ist mit Kies aufgefüllt. Die Quellschneise dient gleichzeitig als Sammelbecken, in dem sich die einzelnen Quellschneise mischen und aus der eine Freigefälleleitung zum Abfüllbetrieb führt.

Bei dem Wasser der Eichenkeller-Quelle handelt es sich um einen „Calcium-Magnesium-Hydrogencar-

bonat-Sulfat-Säuerling“ mit geringer Gesamtminalisation. Das Wasser eignet sich für natriumarme Ernährung. Der Gehalt an gelösten festen Bestandteilen beträgt 522 mg/l und an freiem Kohlenstoffdioxid 726 mg/l. Die Schüttung der Quelle beträgt etwa 130 l/min.

### 10.2 Weitere Grundwasserentnahmen

Im Bereich des Pyrmonters Talkessels existieren eine Reihe weiterer Brunnen und Quellen. In Tab. A3 sind die jeweiligen Betreiber, wasserrechtlichen Anerkennungen, Fassungsarten, Entnahmemengen und Verwendungsarten zusammengestellt. Die Lage der Entnahmestellen ist der Abb. 2 zu entnehmen.

Aufgrund ihrer Entnahmemengen wurden insbesondere die Mineralwasserbrunnen der Bad Pyrmont Mineral- und Heilquellen GmbH, die Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung der Stadtwerke (WW) Hohenborn und Emme sowie die Süßwasserquellen des Staatsbades Pyrmont bei der Bilanzierung des Wasserhaushaltes berücksichtigt.

Die STEINMEYER'sche Quelle liegt in einer Geländemulde am Fuße des Bomberges. Sie ist bis zu einer Tiefe von ca. 4 m gefaßt und besitzt eine Quellschneise. Die

stark schwankende Schüttung der Quelle beträgt max. 40 l/min. Das Wasser dient der Speisung von Springbrunnenanlagen und der Bewässerung des Kurparks. Am Hang des Ibergs befindet sich die zweite Süßwasserquelle des Staatsbades Pyrmont. Die Stollenfassung der Iberg-Quelle reicht bis in ca. 4 bis 5 m Tiefe. Die stark niederschlagsabhängige Schüttungsmenge beträgt durchschnittlich 100 l/min. Das Quellwasser läuft einem Sammelbehälter zu und dient der Trink- und Brauchwasserversorgung des Staatsbades. In beiden Quellen wird natürlich zutage tretendes Süßwasser aus dem oberflächennahen Grundwasserfließsystem gefaßt. Eine nachteilige Beeinträchtigung der staatlich anerkannten Heilquellen ist hierdurch nicht gegeben.

Die Entnahmebrunnen der Wasserwerke Hohenborn und Emme liegen am Westrand des Pyrmonters Talkessels. Sie fördern Süßwasser aus dem oberflächennahen Fließsystem für die öffentliche Trinkwasserversorgung. Bei derzeitiger Entnahmemenge ist eine hydraulische Beeinträchtigung der Heilquellen auszuschließen.

Die Mineralwasserbrunnen der Bad Pyrmont Mineral- und Heilquellen GmbH befinden sich am südöstlichen Rand des Talkessels am Nordwesthang des

Mühlenberges. Die oberen Filterstrecken der Brunnen BII/NRW, BIII/NRW und BIIA/NS erschließen gering mineralisiertes Grundwasser aus den unteren Röt-Folgen. Mittels der unteren Filterstrecken wird höher mineralisiertes Wasser aus dem oberen Bereich des Mittleren Buntsandstein erschlossen. Der mit einer durchgehenden Filterstrecke versehene Brunnen BI/NRW fördert ebenfalls höher mineralisiertes Wasser aus dem Mittleren Buntsandstein.

Eine negative Beeinträchtigung der Mühlenberg- und Katharinen-Quelle durch die Grundwasserentnahme aus den beschriebenen Mineralwasserbrunnen wurde nicht festgestellt.

Die Grundwasserentnahme aus den Brunnen der Bad Pyrmont Mineral- und Heilquellen GmbH beeinflusst zwar die hydraulische Situation im Bereich der Salinen-Quellen, es ergibt sich jedoch keine nachteilige Beeinträchtigung hinsichtlich der Menge und des Solecharakters der Salinen-Quellen. Durch die Entnahme von gering mineralisiertem Grundwasser aus dem höheren Niveau des Fließsystems kommt es zur Druckentlastung, die den Aufstieg der Sole eher begünstigt.

ROGGE & Co. - Hydrogeologie - GmbH

Carl-Zeiss-Straße 2, 30827 Garbsen

Tel.: +49 (0)5131 - 4665-0

Fax.: +49 (0)5131 - 4665-60

email: [rogge-hydro@t-online.de](mailto:rogge-hydro@t-online.de)

ROGGE  & Co.  
- Hydrogeologie -

- Beratung
- Planung
- Gutachten
- Geologie/Hydrogeologie
- Grundwassernutzung
- Grundwasserschutz
- Grundwasserüberwachung
- Grundwassermodellierung
- Grundwassermanagement
- Wasseranalytik

# Geologische Beiträge Hannover

## Bereits erschienen:

### Band 1

**Wrobel, F.** 2000. Das Lorca-Becken (Obermiozän, SE-Spanien) - Faziesinterpretation, Sequenzstratigraphie, Beckenanalyse. 141 S., 103 Abb., 4 Anl., Hannover. ....EUR 25,00

### Band 2

**Schülke, I., Fischer, R. und Wrobel, F.** 2001. Henningsen - Festschrift. 174 S., 111 Abb., 11 Tab., Hannover. ....EUR 30,00

### Band 3

**Rogge, A.** 2001. Geologie und Hydrogeologie im Raum Bad Pyrmont unter besonderer Berücksichtigung des Quellensystems. 73 S., 39 Abb., 10 Tab., Hannover. ....EUR 15,00

## Instructions for Authors

Geologische Beiträge Hannover publishes monographs, such as PhD theses, collections of shorter manuscripts, and field guides. English and German manuscripts are accepted. The focus of the journal is research conducted in the Geological Department of Hannover University, but external manuscripts are also welcome. Prior to submission, please contact the editors. Three copies should be submitted to:

Immo Schülke  
Geologische Beiträge Hannover  
Institut für Geologie und Paläontologie  
Callinstraße 30  
30167 Hannover  
schuelke@geowi.uni-hannover.de

Papers submitted to Geologische Beiträge Hannover are accepted on the basis that they have not been, and will not be, published elsewhere. If accepted, papers become copyright of the journal. Submitted manuscripts will be reviewed by internal referees, no full peer review procedure is followed. For manuscripts that are not theses of the Department of Geology and Paleontology of the Hannover University, please submit a first version with double spaced lines and figures not included in the text but on separate sheets. For theses from the department, submission of the finalized thesis is possible.

For German manuscripts, please provide additionally to the German title, abstract, and figure captions also English translations. Please ask a native speaker to prove read the English translations.

For details on the format, please check out our internet site:  
[http://www.unics.uni-hannover.de/igp/instructions\\_GBH.html](http://www.unics.uni-hannover.de/igp/instructions_GBH.html)

### Electronic format

Manuscripts are submitted fully layouted and are reproduced „as is“. Therefore please prepare the manuscript carefully. Preferred format is PageMaker (Mac or PC), but .pdf files are also accepted. Import all fonts you use. Figures should be saved as tiff files. Use cmyk colors for color figures. To keep costs low, please organize halftones and photographs as plates in the end of the manuscript.

### Format

Page size of the journal is A4. The format of Geologische Beiträge Hannover broadly follows that of Sedimentology with some modifications.

Font: Times New Roman  
Size: 11 pt  
Lines: spacing 13 pt  
Columns: 2  
Margins at all sides: 2 cm  
Final editing is done by the publisher.  
Indents for each paragraph, but not if new chapter.

## References

Authors should use the system illustrated below. Only full articles that have been published or are 'in press' may be included in the reference list. In the text, references should be cited by giving the author's name with the year of publication in parentheses, and should be given in date order (e.g. Jones, 1982; Adams, 1985). When reference is made to a work by three or more authors, the first name followed by et al. should be used in the text on all occasions. If several papers by the same author and from the same year are cited, a, b, c, etc. should be put after the year of publication. If you cite books, the page or figure or plate you specifically refer to should be given (e.g. Leinfelder, 1993: 85; Schülke, 1999: Fig. 7, Plate 3).

References should be listed in alphabetical order at the end of the paper in the following standard form. Please note that authors names should be shown in bold.

In the references, papers with two authors should follow those of the first named author, arranged in alphabetical order according to the name of the second author. Papers with three or more authors should be ordered following the name of the first author in chronological order. If you cite several papers of the same author, do not replace the name by hyphen but always write authors names in full.

The reference list (heading: Literature) has to be prepared in the following way:

**Potter, I.C. and Hilliard, R.W.** (1987) A proposal for the functional and phylogenetic significance of differences in the dentition of lampreys (Agnatha: Petromyzontiformes). *Zool. J. London*, **212**, 713-737, London.

**Young, J.Z.** (1950) *The life of vertebrates*. Clarendon press, Oxford.

**Dreesen, R.J.M.** (1987) Event-stratigraphy of the Belgian Famennian (Uppermost Devonian, Ardennes Shelf). In: **Vogel, A., Miller, H., and Greiling, R.** (eds.), *The Rhenish Massif, structure, evolution, mineral deposits and present geodynamics*, 22-36, Vieweg & Sohn, Braunschweig.

### Charges and Reprints

For theses, the department bears part of the print charges. The author receives reprints in exchange for covering the rest of the charges. Colour figures can be published but will incur an additional page charge. Please contact the editor for details.

