©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen
Band 20/21, S. 205–224, 1995

Schwefelquellen von Bad Iburg

Dag Nieke

Kurzfassung: Die Schwefelquellen von Bad Iburg, von denen früher eine balneologisch genutzt wurde, sind mit Hilfe von hydrophysikalisch-hydrochemischen Untersuchungen und Schwefel-Isotopenbestimmungen hydrogeologisch bearbeitet worden. Das für die mikrobielle Sulfatreduktion notwendige Sulfat ist auf gipshaltige Horizonte im Münder Mergel zurückzuführen. Die für die Schwefelbakterien entscheidende organische Substanz entstammt bituminösen Einschaltungen des Serpulits bzw. kohligen Lagen der Bückeberg-Folge.

Abstract: A hydrophysical-hydrochemical analysis as well as sulphur-isotope-determination has been carried out at the sulphur-springs of Bad Iburg, one of which has been operating as a medicinal spring. The sulphate required for microbiotic sulphate-reduction is to be found in gypsum-bearing layers of the Münder Mergel. The organic substance essential for the activity of the sulphur-bacteria originated from bituminous layers within the Serpulit as well as coal-bearing layers within the Bückeberg-Folge.

Key words: sulphur springs, northern Germany, hydrophysical and hydrochemical analysis, sulphur-isotope-determination, microbiotic sulphate-reduction

Autor:
D. Nieke, Gellertstraße 22, D-30175 Hannover

1 Einleitung

Bad Iburg – seit 1967 anerkannt als Kneippheilbad, früher bekannt wegen seiner Schwefelquelle – liegt im westlichen Niedersachsen an der Grenze zu Nordrhein-Westfalen (Abb. 1). Die am Südhang des Teutoburger Waldes gelegene Stadt befindet sich im südlichen Teil des Landkreises Osnabrück (TK 3814 Bad Iburg).

Im Mittelalter sollen Mönche des Iburger Klosters eine Schwefelquelle bereits zu Heilzwecken genutzt haben (Grebing 1987: 17). An dieser Schwefelquelle wurde 1925 das „Mineralbad Iburg" eingerichtet (Hamm 1976: 208), das vom Besitzer K. Bäumker geleitet wurde. Der kleine Badebetrieb, der vier Badewannen umfaßte, wurde in den sechziger Jahren eingestellt.

Eine Untersuchung zur Genese der Schwefelquellen stand bislang aus. Daher erfolgte in den Jahren 1992 bis 1994 eine umfassende hydrogeologische Bearbeitung der Quellen (Nieke 1994).

2 Geologisch-morphologischer Überblick

Der Raum Bad Iburg wird durch den Teutoburger Wald und das Ostmünsterland morphologisch geprägt. Der an der Nordgrenze der Stadt gelegene Dörenberg bildet die höchste Erhebung (331,1 m ü. NN) in der Umgebung von Bad Iburg. Nach Süden schließen sich zwei Ost-West verlaufende Höhenzüge – der 1. und 2. Teutoburger Waldkamm – an, die durch ein breites Längstal getrennt werden.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

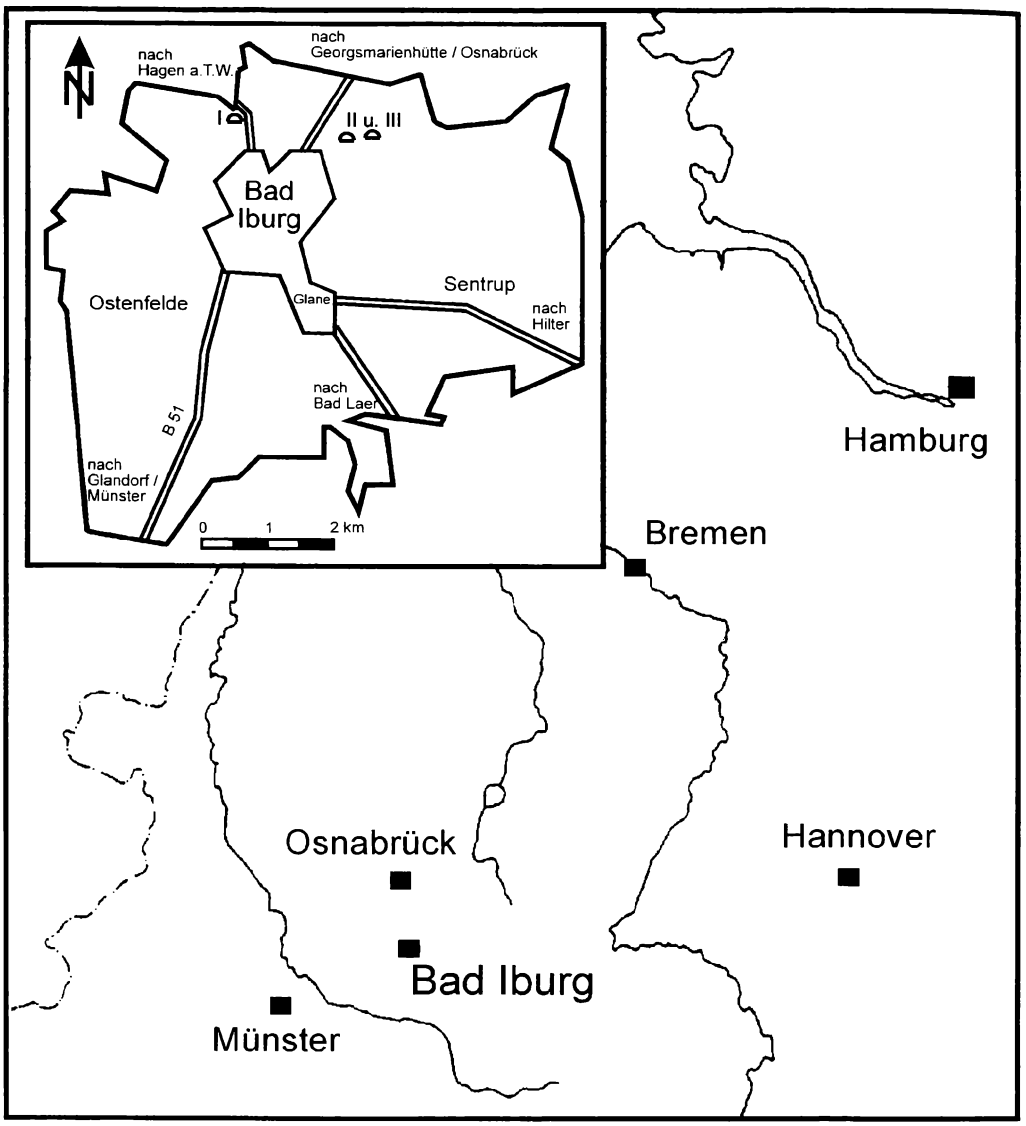


Abb. 1 Lage und Übersichtskarte von Bad Iburg
I. Schwefelquelle „Bäumker" (ehemaliges „Mineralbad Iburg"), II. Schwefelquelle „Limberg 1" und III. Schwefelquelle „Limberg 2"

Bad Iburg liegt im Grenzbereich Osnabrücker Bergland (Niedersächsisches Tektogen) und Münsterländer Kreide-Becken. Die Grenze dieser geologisch-tektonischen Einheiten ist durch die Ostsüdost-Westnordwest streichende Osning-Überschiebung gekennzeichnet, die sich im östlichen Teutoburger Wald (Osning) bis in den Iburger Raum nachweisen läßt. Entlang dieser „Osning-Zone" treten im Teutoburger Wald, der das Münsterländer Kreide-Becken im Nordosten umrandet, überwiegend mesozoische Schichten zutage (Abb. 2). Tabelle 1 gibt einen Überblick über stratigraphische Ein-

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

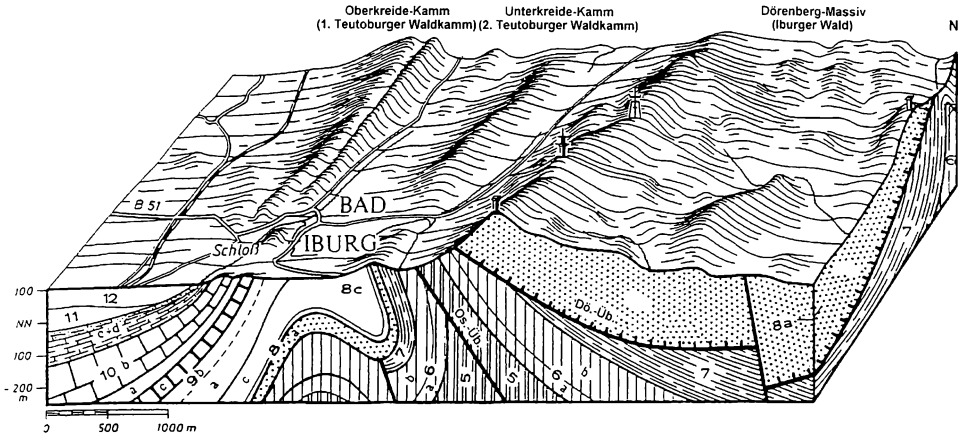


Abb. 2 Geologisches Blockbild von Bad Iburg (verändert nach Rose 1993)
4: Lias, 5: Dogger, 6a: Malm, 6b Jura/Kreide-Grenzbereich, 7 u. 8: Unterkreide (7: Bückeberg-Folge, 8a: Osning-Sandstein, 8b: Osning-Grünsand u. *minimus*-Ton, 8c: Flammenmergel), 9, 10 u 11: Oberkreide (9a: Cenoman-Mergel, 9b: Cenoman-Pläner, 9c: Cenoman-Kalk, 10a: *labiatus*-Pläner, 10b: *lamarcki*-Pläner, 10c: Scaphiten-Pläner, 10d: *schloenbachi*-Pläner, 11: „Emscher-Mergel"), 12: Quartär, Os.-Üb.: Osning-Überschiebung, Dö.-Üb.: Dörenberg-Überschiebung.

stufung, Gesteinsausbildung und Mächtigkeit der hier anstehenden Gesteinsserien.

Am Dörenberg, der von Norden nach Süden auf den Nordrand des Münsterländer Kreide-Beckens überschoben wurde, treten mächtige Ablagerungen der Unterkreide (Osning-Sandstein) auf. In dem südlich anschließenden Tal, in dem die Osning-Überschiebung verläuft, findet sich unter quartärer Bedeckung überwiegend Jura-Tonstein sowie gipshaltige und z. T. bituminöse Sedimente des Jura/Kreide-Grenzbereiches (Münder Mergel und Serpulit). Da Münder Mergel und Serpulit in der Umgebung von Bad Iburg aufgrund fehlender Aufschlüsse nicht weiter untergliedert werden können, wird die Abfolge als Jura/Kreide-Grenzbereich zusammengefaßt.

Die südlich der Osning-Überschiebung steil bis überkippt lagernden Schichten der Bückeberg-Folge („Wealden") und des Osning-Sandsteins bilden den 2. Teutoburger Waldkamm (Unterkreide-Kamm). Nach Süden tauchen die Unterkreide-Schichten in eine Muldenstruktur ab und gehen dann in eine sattelförmige Hochlage über. Auf diesen Iburger Sattel weisen die Erdöl-Aufschlußbohrungen „Iburg 1–4" (Harms 1992: 7) und weitere Bohrungen hin. Die sattelförmige Struktur unterlagert eine breite Ausräumungsniederung, d. h. hier liegt Reliefumkehr vor.

Der südlich anschließende 1. Teutoburger Waldkamm wird von Kalk- und Mergelsteinen der Oberkreide aufgebaut (Oberkreide-Kamm). Die nach Süden einfallenden Schichten tauchen unter quartären Lockersedimenten ab. Der vollständig vom Quartär bedeckte „Emscher-Mergel" stellt die jüngste Ablagerung der Oberkreide in Bad Iburg dar.

3 Hydrogeologische Verhältnisse

Bad Iburg gehört dem Grenzbereich zweier Grundwasserlandschaften an: im Norden dem Teutoburger Wald und im Süden dem Nordrand des Münsterländer Kreide-Bekkens. Im Teutoburger Wald besteht je nach

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Tab.1 Stratigraphie, Gesteinsausbildung, Mächtigkeit und hydrogeologische Merkmale der Festgesteine in Bad Iburg

Stratigraphie			Schichten	Gesteinsausbildung u. Mächtigkeit	hydrogeologische Merkmale
KREIDE	Oberkreide	Mittel-Santon bis Mittel-Coniac	"Emscher- Mergel"	dunkler Ton- u. Mergelstein, ca. 50 m	sehr geringe bis geringe Durchlässigkeit
		Unter-Coniac bis Unter-Turon	*schloenbachi*-, Scaphiten- u. *larmarcki*-Pläner	Kalksteine mit Mergelsteinlagen u. Einschaltungen von Grünsandstein, ca. 420 m	gute bis sehr gute Kluftdurchlässigkeit, teilw. verkarstet, wichtiger Grundwasserleiter
			labiatus-Pläner	Tonmergel- u. Mergelkalkstein, a. d. Basis Rotpläner, z.T. bituminös, 60 m	geringe bis mäßige Durchlässigkeit
		Cenoman			
			Cenoman-Kalk u. Cenoman-Pläner	Kalkmergel- u. Kalkstein mit Mergesteinlagen, 100-140 m	gute bis sehr gute Kluftdurchlässigkeit, teilw. verkarstet, wichtiger Grundwasserleiter
			Cenoman-Mergel	dunkler Mergelstein, 50 m	geringe Durchlässigkeit
	Unterkreide	Ober-Alb	Flammenmergel	dunkler Mergelstein, ca. 250 m	geringe Durchlässigkeit
		Mittel-Alb	*minimus*-Ton u. Osning-Grünsand	Ton- und feinkörniger Sandstein mit Glaukonit, 60 m	geringe bis mäßige Durchlässigkeit
		Unter-Alb bis Valangin	Osning-Sandstein	Sandstein, 40-280 m	gute Kluft- u. mäßige Porendurchlässigkeit, wichtiger Grundwasserleiter
		Berrias 3	Bückeberg-Folge ("Wealden")	"Oberer Wealden": Ton- u. Kalksteine, 300 m "Unterer Wealden": Wechselfolge Ton- u. Siltstein mit Kalk- u. Sandsteinlagen, z.T. bituminös, Kohleflöze, ca. 200 m	sehr geringe bis geringe Durchlässigkeit im Tonstein, mäßige Kluftdurchlässigkeit im Sandstein
Jura/Kreide-Grenzbereich (Berrias 2 bis Mittel-Thiton)			Serpulit und Münder Mergel	Wechselfolge aus Ton-, Mergel- u. Kalkstein mit Gipslagen, z.T bituminös, 150 m	geringe Kluftdurchlässigkeit, im Resiudialgestein nach Gipsauslaugung größer, Bildungsbereich von sulfatischem Mineral- u. Schwefelwasser
JURA	**Malm**		ungegliedert	Sand-, Kalk-, Tonstein, z.T. bituminös, max. 75 m	geringe bis gute Durchlässigkeit, keine Bedeutung als nutzbarer Grundwasserleiter
	Dogger		ungegliedert	Ton-, Siltstein mit Kalksandsteinlagen, ca. 200 m ?	sehr geringe bis geringe Durchlässigkeit
	Lias		ungegliedert	Tonstein, z.T. bituminös	sehr geringe bis geringe Durchlässigkeit

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

petrographischer Ausbildung der Festgesteine und den Lagerungsformen ein engräumiger Wechsel von Kluftgrundwasser-, Grundwassergering- und Grundwassernichtleitern[1]. Im Münsterländer Kreide-Becken sind zwei Grundwasserstockwerke ausgebildet: Das obere Stockwerk wird von Süßwasser-führenden Lockergesteins-Grundwasserleitern eingenommen. Das untere Festgesteins-Stockwerk (Oberkreide) führt in der Regel versalztes Grundwasser (Sole).

Im Teutoburger Wald bedeckt Lößlehm, in stark wechselnden Mächtigkeiten, nahezu vollständig die Festgesteine. Aufgrund seiner Filterwirkung hat dieser eine wichtige Schutzfunktion für die Festgesteins-Aquifere.

Am Dörenberg-Massiv nimmt der als wichtiger Grundwasserleiter einzustufende Osning-Sandstein ein großes Ausstrichgebiet ein. In den zahlreichen Trennfugen des Sandsteins ist das Grundwasser frei beweglich, zusätzlich ist Wasser in seinen Poren gespeichert. Der Dörenberg kann als eigene hydrogeologische Einheit abgegrenzt werden, da der Osning-Sandstein schüsselförmig von gering bis mäßig durchlässigen Gesteinen des Jura/Kreide-Grenzbereiches und der oberen Bückeberg-Folge unterlagert wird. Nach Richter & Wager (1950: 12) fließt der überwiegende Teil des Grundwassers in nördliche und südliche Richtungen. Am Südhang liegen mehrere Überlaufquellen, da hier Osning-Sandstein an geringdurchlässige Dogger- und Malm-Serien grenzt. Zwei dieser Quellen, die Sunderbach- und Dörenbergquelle, werden u. a. zur Trinkwasserversorgung von Bad Iburg genutzt.

Der Begriff Grundwassernichtleiter wird nach DIN 4049 Teil 5 (1990: 8) verwendet: „Gesteinskörper, der wasserundurchlässig ist oder unter der jeweiligen Betrachtungsweise als wasserundurchlässig angesehen werden darf"

Entlang der Osning-Überschiebung bieten die Jura/Kreide-Grenzschichten günstige Voraussetzungen für die Entstehung von Schwefelwasser (Carlé 1975: 90). Die Schwefelquelle „Bäumker" entspringt im Bereich der Überschiebungsbahn (Haack 1930: 66). Zwei weitere Schwefelquellen – die „Limberg"-Quellen – finden sich weiter östlich, zwischen dem Dörenberg und dem Westausläufer des Limberges, im Liegenden der Überschiebung.

Am Unterkreide-Kamm besitzt der Osning-Sandstein, bedingt durch seine geringe Mächtigkeit und seinen schmalen Ausstrich im Vergleich zum Dörenberg eine geringere Bedeutung als nutzbarer Grundwasserleiter. Aufgrund der starken Zerklüftung des Gebirges ist der Sandstein mit benachbarten Aquiferen hydraulisch verbunden und kann hieraus Zuflüsse erhalten. Als mäßig durchlässig einzustufen ist der kalkige Feinsandstein der Bückeberg-Folge, während der „Wealden"-Tonstein sehr gering wasserwegsam ist. Am Südhang des Unterkreide-Höhenzuges entwässern mehrere kleinere (z. T. intermittierende) Quellen den mäßig grundwasserführenden Osning-Grünsand an der Grenze zum geringer durchlässigen *minimus*-Ton bzw. Flammenmergel.

In dem südlich anschließenden Längstal – im Bereich des Iburger Sattels – werden Osning-Sandstein und Osning-Grünsand von einer Deckschicht aus *minimus*-Ton und Flammenmergel überlagert. Aufgrund dieser geringdurchlässigen Deckschicht und des morphologisch höher gelegenen Osning-Sandstein-Ausstriches am Unterkreide-Kamm kommt es im Bereich des Iburger Sattels, je nach Höhe der Grundwasseroberfläche, zu gespanntem Grundwasser. Daher trat 1972 aus einer an der Nordflanke der Sattelstruktur niedergebrachten Bohrung artesisches Wasser zutage (Preul 1975: 2).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Am Oberkreide-Höhenzug bildet der schwer durchlässige Cenoman-Mergel die Sohlschicht des gut bis sehr gut wasserleitenden Kalksteins, der als wichtiger Grundwasserleiter mit guter Trennfugendurchlässigkeit einzustufen ist. Zusammen mit dem Flammenmergel verhindert der Cenoman-Mergel weitgehend einen hydraulischen Kontakt zwischen dem Kalkstein-Aquifer und den grundwasserführenden Sandsteinen der Unterkreide. Die schützenden Deckschichten aus Lößlehm fehlen teilweise am Oberkreide-Kamm, so daß Niederschlagswasser direkt in den Grundwasserleiter eindringen kann. Starke Zerklüftung und lokale Verkarstung des Aquifers bedingen, je nach morphologischer Lage zur Vorflut, einen großen Grundwasserflurabstand. Da die *labiatus*-Pläner nur im oberen Auflockerungsbereich gering wasserleitend sind, bildet sich mit zunehmender Tiefe eine Stockwerksgliederung innerhalb des Oberkreide-Aquiferes aus.

Generell fließt das Grundwasser im Oberkreide-Zug in südliche Richtung und tritt am Südhang teilweise in quartäre Lockergesteins-Grundwasserleiter über. Größere Quellen fehlen daher am Oberkreide-Kamm. Am Hangfuß überlagern quartäre Lockersedimente den Kalkstein-Aquifer. Weiter südlich wird das obere Quartär-Stockwerk durch den als Grundwassernichtleiter einzustufenden „Emscher-Mergel" vom unteren Oberkreide-Stockwerk getrennt.

4 Schwefelquellen

Die Schwefelquelle „Bäumker" (TK 3814: R 34.34.520 H 57.82.050, 140 m ü. NN) – an der sich das ehemalige „Mineralbad Iburg" befand (Abb. 1) – liegt in einem Tal zwischen dem Dörenberg-Massiv und dem südlich anschließenden Unterkreide-Kamm (Abb 8). An der hier verlaufenden Osning-Überschiebung grenzt Dogger-Tonstein an Schichten der unteren Bückeberg-Folge (Haack 1930). In geringer Tiefe folgen die gipshaltigen und z. T. bituminösen Jura/Kreide-Grenzschichten (Münder Mergel und Serpulit).

In einer Schlucht zwischen dem Dörenberg und dem Westausläufer des Limberges entspringen die zwei „Limberg"-Schwefelquellen (TK 3814: R 34.36.140 H 57.82.060 u. R 34.36.150 H 57.82070, 155 m ü. NN). Die Quellen finden sich im Liegenden der Osning-Überschiebung, an der Grenze Jura/Kreide-Grenzschichten zur unteren Bückeberg-Folge.

4.1 Entstehung von Schwefelwassser

Schwefelwasser entsteht durch endogene als auch durch exogene Vorgänge. Zu den endogenen Prozessen gehören postvulkanische Wasserdampf-Exhalationen mit Schwefelwasserstoff, der in Verbindung mit Grundwasser Schwefelwasser bilden kann. Exogener Herkunft ist schwefelhaltiges Wasser, das durch mikrobielle Sulfatreduktion und Fäulnisprozesse entsteht.

Die mikrobielle Sulfatreduktion im Grundwasser erfolgt durch anaerob lebende Schwefelbakterien. Voraussetzungen für die Sulfatreduktion durch Mikroorganismen, die man auch als Desulfurikation bezeichnet, sind:

- Sulfat
- organische Substanz bzw. molekularer Wasserstoff
- Schwefelbakterien
- anaerobes Milieu

Organische Stoffe und molekularer Wasserstoff werden mit Sulfat durch anaerobe Schwefelbakterien unvollständig oder vollständig zu Kohlenstoffdioxid und Wasser

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

oxidiert (Dvwk 1988: 173). Sulfat wird dabei zu Sulfid reduziert (Baumann 1973: 9), welches mit Wasser zu Schwefelwasserstoff und Hydrogensulfid reagiert. Folgendes Reaktionsschema (Dvwk 1988: 173) veranschaulicht diesen biochemischen Prozeß:

(1) Vollständige Reaktion mit organischer Substanz:

		Schwefelbakterien			
organische Substanz	+ Sulfat	⟶	Kohlenstoffdioxid	+ Hydroxid	+ Schwefelwasserstoff
$CH_3 \cdot COOH$	+ SO_4^{2-}	⟶	$2CO_2$	+ $2OH^-$	+ H_2S

(2) Vollständige Reaktion mit molekularem Wasserstoff:

		Schwefelbakterien			
Wasserstoff	+ Sulfat	⟶	Wasser	+ Hydroxid	+ Schwefelwasserstoff
$4H_2$	+ SO_4^{2-}	⟶	$2H_2O$	+ $2OH^-$	+ H_2S

Schwefelbakterien benötigen für ihren Stoffwechsel Sauerstoff aus dem Sulfat und Energie aus organischer Substanz bzw. molekularem Wasserstoff. Sie betreiben einen oxidativen Energiestoffwechsel mit Sulfat als Oxidationsmittel (Elektronenakzeptor) und organischer Substanz bzw. molekularem Wasserstoff als Reduktionsmittel (Elektronendonator).

Die Desulfurikation erfolgt durch verschiedene Gattungen von Schwefelbakterien: *Desulfovibrio, Desulfotomaculum, Desulfosarcina, Desulfonema, Desulfobacter, Desulfococcus und Desulfobulbus* (Dvwk 1988: 173). Im Grundwasser kommt überwiegend die Art *Desulfovibrio desulfuricans* vor. Diese Schwefelbakterien ermöglichen unter „normalen" Temperaturen die Entstehung von Schwefelwasser. Eine chemische Sulfatreduktion ist nach Quentin & Pachmayr (1964: 5) an der Erdoberfläche nicht möglich, da hierzu Temperaturen von 700 bis 1000 °C nötig wären. Im Gegensatz dazu beschrieb Machel (1987, 1989), daß eine thermochemische (abiologische) Sulfatreduktion bereits von 100°C bis 140 °C möglich ist und vermutet, daß Temperaturen von ca. 80 °C ausreichen.

Dvwk (1988: 174), Udluft & Weil (1974: 13) und Wallhäuser & Puchelt (1966: 17) geben folgende für die Sulfatreduktion entscheidende Lebensbedingungen der Desulfurikanten an: Neben einem ausreichenden Angebot an Sulfat und organischen Stoffen sollte der pH-Wert von 6 bis 9, das Redoxpotential zwischen 0 und –150 mV und der Temperaturbereich zwischen 10 und 60 °C liegen. Die Höhe des Sulfidschwefel-Gehaltes hängt weitgehend vom Gehalt an gelöster organischer Substanz ab. Bei Sauerstoffanwesenheit sind Schwefelbakterien noch lebensfähig, stellen allerdings die Sulfatreduktion ein. Stickstoffverbindungen sollten in Spuren zum Aufbau der Zellsubstanz vorhanden sein, während der Natriumchlorid-Gehalt unter 60 g/kg liegen sollte. Einige Desulfovibrionen sind bei einem hydrostatischen Druck von 10^8 Pa noch lebensfähig.

Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, stellt die mikrobielle Sulfatreduktion einen Teil des exogenen Schwefelkreislaufes dar. Das für die Schwefelbakterien notwendige Sulfat entstammt entweder gipshaltigen Gesteinen (z. B. Münder Mergel) oder der oxidativen Verwitterung von Sulfid (z. B. Pyrit).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

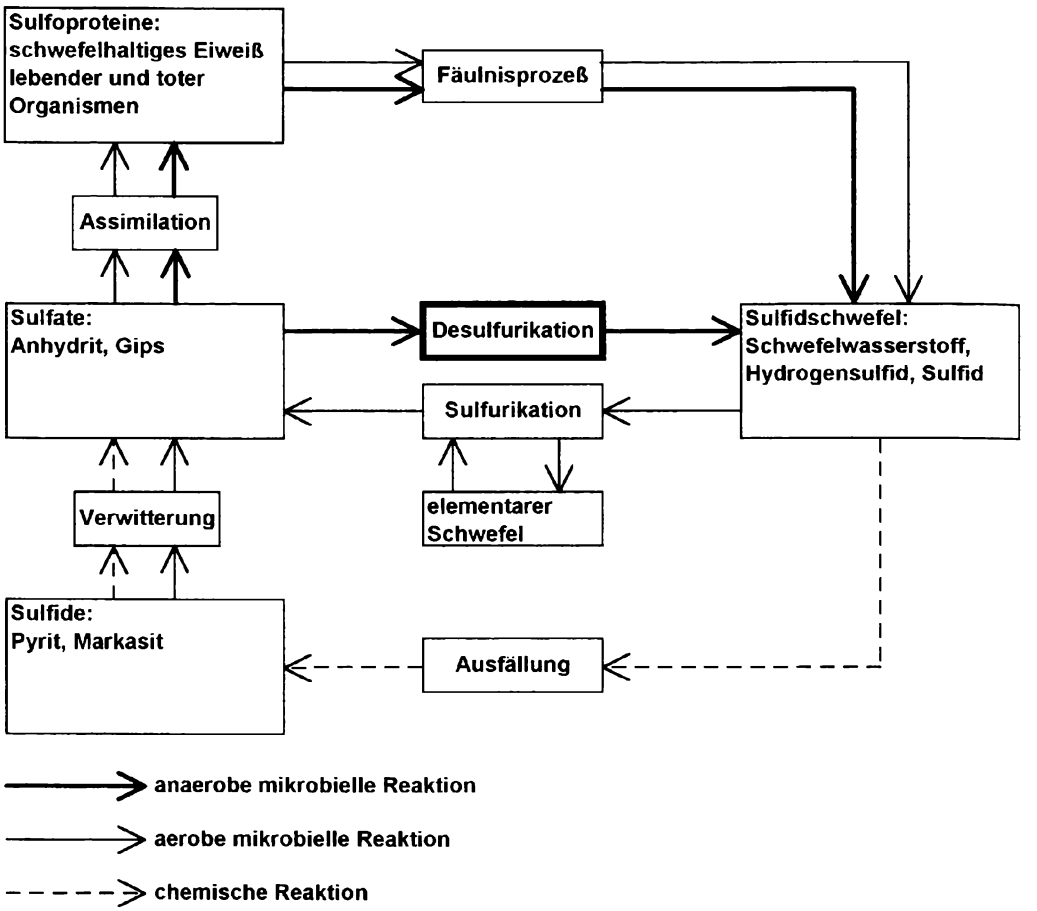


Abb. 3 Schwefelkreislauf im Grundwasserbereich.

Der gegenläufige Prozeß zur Desulfurikation wird als Sulfurikation bezeichnet, die im aeroben Milieu die bakterielle Oxidation von Sulfidschwefel zu elementarem Schwefel und Sulfat beschreibt. Unter aeroben und anaeroben Bedingungen werden schwefelhaltige Eiweißverbindungen lebender und abgestorbener Organismen mikrobiell zu Sulfidschwefel umgewandelt. Bei diesen Fäulnisprozessen entstehen nach Wallhäuser & Puchelt (1966: 12) nur geringe Gehalte an Sulfidschwefel; sie sind daher für die Genese von Schwefelquellen unbedeutend.

4.2 Modifikation des Sulfidschwefels

Der reduzierte zweiwertige Sulfidschwefel liegt – je nach pH-Wert und Temperatur des Wassers – als gelöstes Schwefelwasserstoff-Gas (H_2S), Hydrogensulfid-Ion (HS^-) und als Sulfid-Ion (S^{2-}) vor (Quentin 1978: 240). Abbildung 4 zeigt, daß der Stabilitätsbereich für Sulfid-Ionen im stark alkalischen Bereich liegt, während die wasserlösliche Gasform Schwefelwasserstoff alleine nur im sauren Wasser vorkommen kann. Bei natürlichem Wasser, dessen pH-Wert in der Regel

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

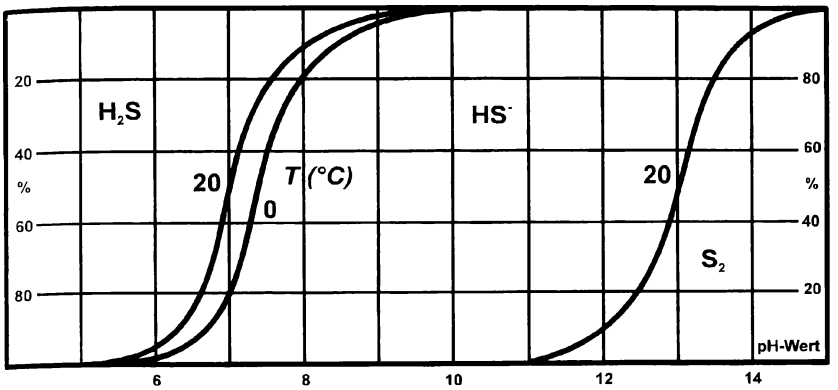


Abb. 4 Stabilitätsbereiche des Sulfidschwefels (aus Hütter 1992: 364).

6 bis 8 beträgt, kommt Schwefelwasserstoff neben Hydrogensulfid-Ionen vor.

Da Schwefelwasserstoff sich durch pH-abhängige Flüchtigkeit auszeichnet und bei Anwesenheit von Sauerstoff zu elementarem Schwefel oxidiert, nimmt der Sulfidschwefel-Gehalt ständig ab. Der durch den Geruchsinn wahrnehmbare Schwefelwasserstoff ist daher kein Maß für die Gesamthöhe des Sulfidschwefels, sondern kann nur der orientierenden Bewertung dienen.

4.3 Definition und Nutzung von Schwefelwasser

Laut Definition des Deutschen Bäderverbandes (1991: 32) ist schwefelhaltiges Wasser ein natürliches Heilwasser, das einen Sulfidschwefel-Gehalt von mindestens 1 mg/l enthält. Dieser Mindeswert muß nicht nur am Quellaustritt, sondern auch am Anwendungsort (Trinkausschank oder Badewanne) erreicht werden.

Nach Höll (1991: 237) gehören Schwefelquellen zu den ältesten genutzten Heilwässern. In der Balneologie findet Schwefelwasser in Form von Trink- und Badekuren Anwendung. Therapiert werden Hautleiden (z. B. Schuppenflechte und Ekzeme), rheumatische Erkrankungen und Arthrosen. Die Behandlung von Bechterew-Erkrankungen und Polyarthrithis ist das Hauptanwendungsgebiet von Schwefelwasser (Höll 1991: 238). Schwefelhaltiges Heilwasser wird in Niedersachsen z. B. in Bad Bentheim, Bad Eilsen, Bad Nenndorf und Bad Münder balneologisch genutzt.

4.4 Schwefel-Isotopenverteilung

Mit Hilfe der Schwefel-Isotopenverteilung kann entschieden werden, ob das für die Desulfurikation entscheidene Sulfat aus oxidierten sedimentären Sulfiden (z. B. Pyrit) oder von abgelaugten Gipshorizonten stammt. In gewissen Umfang ermöglicht eine Schwefel-Isotopenmessung die Zuordnung des Sulfates zu einer Evaporitformation (Michel & Nielsen 1977: 189).

Grundlagen der Schwefel-Isotopenmessung

Das Element Schwefel besteht aus vier stabilen Isotopen, die in der Sulfidphase von Meteoriten in folgenden Mengenverhältnissen vorliegen:

^{32}S	94,960 %	^{34}S	4,273 %
^{34}S	0,750 %	^{36}S	0,017 %

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Da sich die Isotopenverteilungen des irdischen Schwefels verschiedener geologischer Formationen erheblich voneinander unterscheiden (Nielsen & Rambow 1969: 252), werden die Verhältnisse der beiden häufigsten Schwefel-Isotope ^{32}S und ^{34}S in einer Probe und einem Bezugsstandard mit folgender Formel verglichen:

$$\delta^{34}S\ (‰) = \frac{^{34}S/^{32}S\ \text{Probe} - ^{34}S/^{32}S\ \text{Standard}}{^{34}S/^{32}S\ \text{Standard}}\ 1.000$$

Als Bezugsstandard dient meteoritischer Schwefel, dessen Isotopenverteilung nach Puchelt & Nielsen (1967: 352) mit einem $^{34}S/^{32}S$-Verhältnis von 22,2 und demzufolge einem $\delta^{34}S$-Wert von ±0 ‰ etwa dem irdischen Mittelwert entspricht, d. h. der $\delta^{34}S$-Wert gibt die Abweichung vom irdischen Mittelwert an.

Ursache für schwankende Schwefel-Isotopenverhältnisse auf der Erde sind hauptsächlich sulfatreduzierende Bakterien, die bevorzugt das leichtere Isotop ^{32}S aus dem Sulfat reduzieren. Daher enthalten mikrobiell reduzierter Sulfidschwefel und die daraus ausgefällten Sulfide (z. B. Pyrit) geringere $\delta^{34}S$-Werte als das Ausgangs- und Restsulfat, d. h. sie sind isotopisch leichter. Dies führt zu negativen $\delta^{34}S$-Gehalten (–5 bis max. –50 ‰) in sedimentären Sulfiden und in den durch Sulfidoxidation entstehenden Sulfat-Verbindungen. In der globalen geochemischen Bilanz wird dieser leichte Schwefelanteil durch einen Überschuß an schweren ^{34}S im Sulfat des heutigen Meerwassers ($\delta^{34}S \approx +20$ ‰) kompensiert (Nielsen 1965: 161).

Die ohne wesentliche Isotopenfraktionierung aus dem Ozeanwasser abgeschiedenen Evaporite stellen neben den gelösten marinen Sulfaten ebenfalls ein Reservoir des schweren Sulfatschwefels dar. Da die Sulfate dieser Evaporitvorkommen im Grundwasserbereich ebenfalls ohne wesentliche Fraktionierung in Lösung gehen, kann man mit Hilfe der Schwefel-Isotopenmessung entscheiden, ob das Sulfat aus oxidierten sedimentären Sulfiden oder von abgelaugten Evaporiten stammt (Michel & Nielsen 1977: 189).

In der geologischen Vergangenheit kam es zu erheblichen Änderungen der $\delta^{34}S$-Werte im Meerwasser und damit auch in den Evaporitvorkommen (Abb. 7). Nach Hoefs (1987: 138–140) wurden diese Schwankungen neben unterschiedlichen mikrobiellen Reduktions- und Verwitterungsraten auch durch Einflüsse verschiedener Evaporitformationen und Änderungen des Meerwasser-Chemismus im Bereich der mittelozeanischen Rücken verursacht.

5 Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

Im Zeitraum August 1992 bis August 1993 wurde an den Schwefelquellen wöchentlich, neben der Quellschüttung, folgende hydrophysikalisch-hydrochemische Parameter ermittelt: Wassertemperatur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit. Da die Schwefelquelle „Limberg 2“ später bei einer Geländebegehung entdeckt wurde, begannen hier die Untersuchungen im Dezember 1992. Ab März 1993 wurden zusätzlich Chlorid-, Sulfat- und Sulfidschwefel-Gehalt sowie der Gehalt an organischer Substanz ($KMnO_4$-Verbrauch) bestimmt. Weiterhin wurde den Quellen jeweils drei Wasserproben für hydrochemische Analysen und zweimal für Schwefel-Isotopenuntersuchungen entnommen. Die Schwefel-Isotopenbestimmung führte Herr Prof. Dr. J. Hoefs vom Geochemischen Institut der Universität Göttingen durch.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

5.1 Ergebnisse

In Abbildung 5 sind exemplarisch für die Iburger Schwefelquellen die Ganglinien des Abflusses, der Wassertemperatur, des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit der Schwefelquelle „Bäumker" dargestellt.

Die Schüttungen der Schwefelquellen sind insgesamt sehr gering und unterlagen im Beobachtungszeitraum erheblichen Schwankungen. Im Winterhalbjahr ist die Abflußmenge deutlich höher als in den Sommermonaten. Bei der Quelle „Bäumker" sind die Schwankungen zusätzlich durch Zunahme des Abflusses nach mehrtägigen Niederschlägen begründet. Der höchste Abfluß betrug 0,12 l/s (432 l/h), der niedrigste 0,05 l/s (180 l/h). Mit einem Schüttungsquotienten von 1 3 zeigt die Quelle das ausgeglichenste Abflußverhalten der Iburger Schwefelquellen.

Obwohl die „Limberg"-Quellen nur 15 m voneinander entfernt liegen, zeigen sie ein abweichendes Schüttungsverhalten. Die „Limberg 1"-Quelle weist die geringste Wasserführung auf, die Quelle fällt jedoch im Gegensatz zur Quelle „Limberg 2" nicht trocken (Tab. 2). An der „Limberg 2"-Quelle nahm der Abfluß seit Ende Februar ab und die Quelle fiel schließlich in den Monaten Juni/Juli zeitweise trocken. Erst Ende Juli/Anfang August konnte sich aufgrund hoher Niederschläge im Juli wieder eine geringe Wasserführung einstellen.

Die Quelltemperaturen lassen einen Jahresgang erkennen. Insgesamt schwankte der Temperaturbereich aller Schwefelquellen von 6,8 °C im Winterhalbjahr bis ca. 13,9 °C in den Sommermonaten. Die im Sommer 1992 an der „Limberg 2"-Quelle ermittelten Temperaturen (17 bis 19°C) repräsentieren nicht die Grundwassertemperaturen, da sich das Quellwasser aufgrund niedriger Wasserführung und intensiver Sonneneinstrahlung in der Quellfassung erwärmen konnte. Wegen der geringen Schüttung und der dadurch bedingten langen Verweildauer des Grundwassers im oberflächennahen Bereich kann sich das Wasser der jahreszeitlich schwankenden Bodentemperatur anpassen. Deshalb kann mit Hilfe der Quellwassertemperatur keine genaue Aussage über die Zirkulationstiefe des Schwefelwassers getroffen werden.

Die pH-Werte der Quellen liegen in ähnlichen Größenordnungen (ca. pH 7 bis 7,5) und variieren nur wenig. Es handelt sich um neutrale bis leicht basische Wässer, deren pH-Werte günstige Voraussetzungen für eine mikrobielle Sulfatreduktion darstellen.

Die für die Aktivität der Desulfurikanten entscheidende organische Substanz konnte mittels des $KMnO_4$-Verbrauches in den Quellwässern nachgewiesen werden. Bei allen drei Quellen schwankt der Gehalt an gelöster organischer Substanz. Der bei der „Bäumker-Quelle" mit 38,7 mg/l ($KMnO_4$-Verbrauch) ermittelte Maximalwert stellt eine Ausnahme dar und ist als Analysenfehler zu deuten.

Die Leitfähigkeit, als Anhaltspunkt für die Mineralstoffmengen, unterlag bei allen drei Quellen geringfügigen Schwankungen. Dabei ist weder eine Abhängigkeit von der Wasserführung im Jahresverlauf noch nach Starkniederschlägen zu erkennen. Die Summe der gelösten Inhaltsstoffe beträgt bei der „Bäumker"-Quelle etwa 1390 mg/l. Auffällig ist der höhere Mineralstoff-Gehalt der „Limberg 1"-Quelle (ca. 2501 mg/l) gegenüber der Quelle „Limberg 2" (ca. 1287 mg/l).

Abbildung 6 verdeutlicht die nahezu einheitliche hydrochemische Zusammensetzung der Schwefelwässer. Bei allen Quellen herschen unter den Kationen Calcium (Ca^{2+}) und Magnesium (Mg^{2+}), unter den Anionen Sulfat (SO_4^{2-}) und Hydrogencarbonat (HCO_3^-) vor. Bemerkenswert sind die niedrigen Na-

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

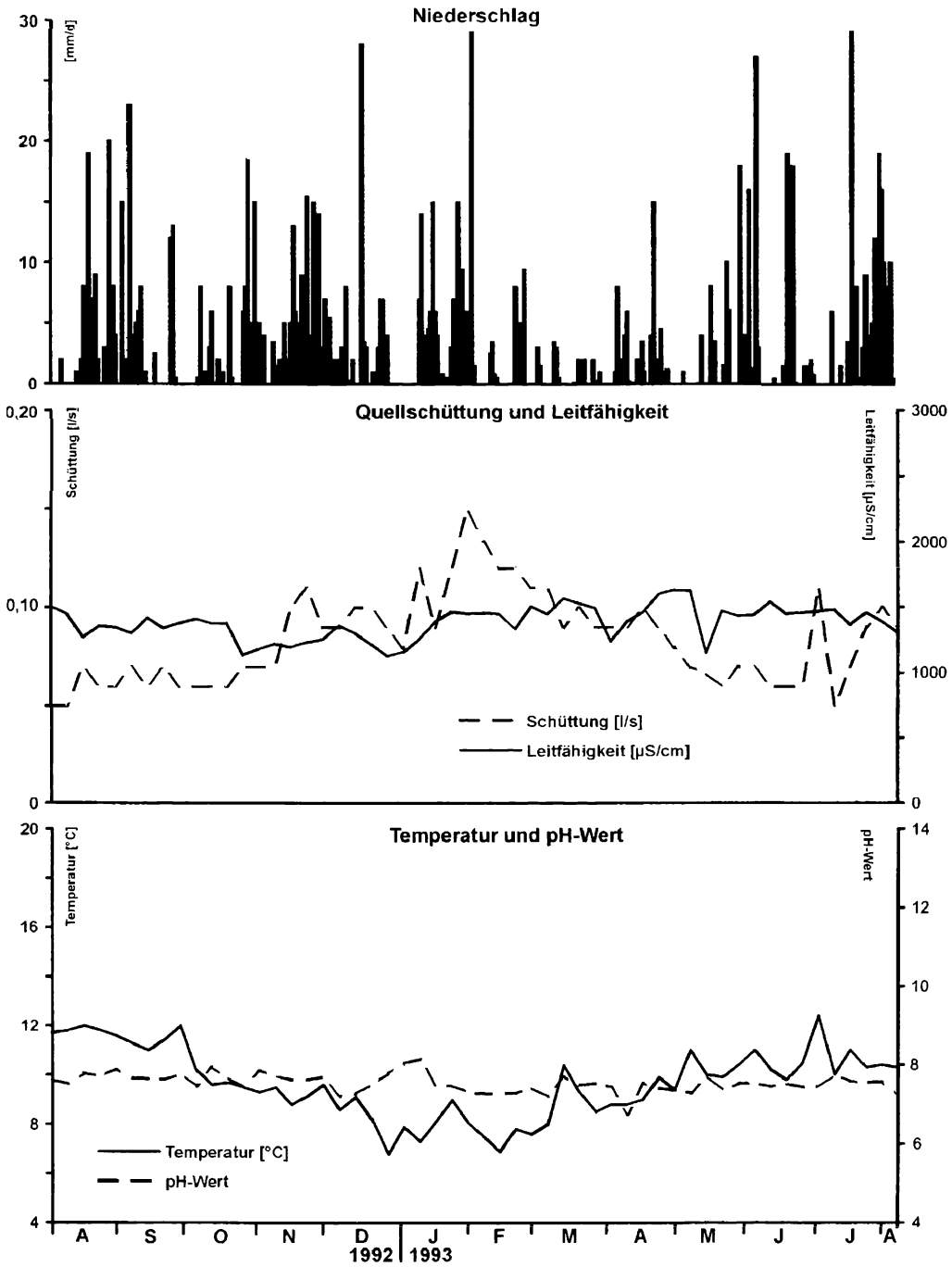
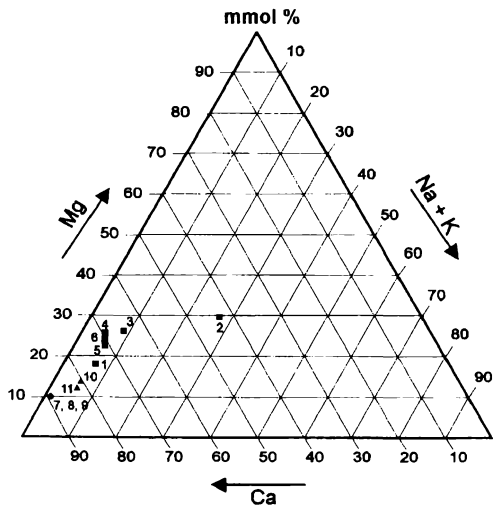


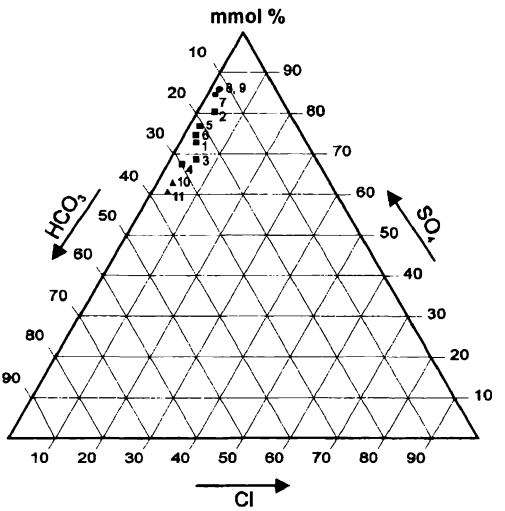
Abb. 5 Niederschlag und Ganglinien der hydrophysikalisch-hydrochemischen Meßwerte der Schwefelquelle „Bäumker“

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Tab. 2 Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der hydrophysikalisch-hydrochemischen Meßdaten

Quelle	Bäumker			Limberg 1			Limberg 2		
Parameter	max.	min.	mittel	max.	min.	mittel	max.	min.	mittel
Abfluß [l/s]	0,12	0,05	0,08	0,02	0,001	0,007	0,20	0,0	0,051
Quelltemperatur [°C]	12,4	6,8	9,7	19,0	6,8	10,5	12,2	7,0	10,2
pH-Wert	8,2	6,7	7,5	7,9	5,7	7,0	7,7	6,0	7,2
Leitfähigkeit [µS/cm]	1633	1130	1390	3020	1540	2501	1648	1038	1287
Sulfat-Gehalt [mg/l]	618	440	551	1520	955	1427	450	168	328
Chlorid-Gehalt [mg/l]	24,1	12,1	20,3	35,9	14,2	26,9	32,0	16,1	22,3
$KMnO_4$-Verbrauch [mg/l]	(38,7)	2,8	8,8	18,6	2,8	7,9	11,7	2,5	6,4
Schwefelwasserstoff-Gehalt [mg/l]	2,3	1,0	1,0	8,6	2,5	3,0	2,7	0,0	1,0





Schwefelquelle "Bäumker"

- ■ 1 H_2S 3,5 mg/l (1947)
- ■ 2 H_2S 2,3 mg/l (1947)
- ■ 3 H_2S 0,8 mg/l (15.05.1973)
- ■ 4 H_2S 1,1 mg/l (26.10.1992)
- ■ 5 H_2S 2,3 mg/l (03.05.1993)
- ■ 6 H_2S 1,6 mg/l (09.08.1993)

Schwefelquelle "Limberg 1"

- ● 7 H_2S 2,6 mg/l (26.10.1992)
- ● 8 H_2S > 6,0 mg/l (03.05.1993)
- ● 9 H_2S 8,0 mg/l (09.08.1993)

Schwefelquelle "Limberg 2"

- ▲10 H_2S 2,7 mg/l (03.05.1993)
- ▲11 H_2S 2,1 mg/l (09.08.1993)

Abb. 6 Kationen- und Anionen-Dreiecksdiagramm (Osannsches Diagramm) der Iburger Schwefelwässer (Die Analyse 1 wurde aus Andrée (1904: 19) und Analyse 2 aus Carlé (1975: 90) übernommen.).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Tab. 3 $\delta^{34}S$-Werte der Iburger Schwefelquellen
(n. b. nicht bestimmbar)

Quelle	Bäumker		Limberg 1		Limberg 2	
Datum	SO_4^{2-}	H_2S	SO_4^{2-}	H_2S	SO_4^{2-}	H_2S
03 05 1993	+20,5 ‰	+17,2 ‰	+19,1 ‰	-22,8 ‰	+15,3 ‰	+13,9 ‰
20 09 1993	+21,0 ‰	+19,5 ‰	+19,2 ‰	-2,5 ‰	+15,1 ‰	n. b.

trium- (Na^+) und Chlorid-Gehalte (Cl^-). Durch die insgesamt hohen Sulfat-Gehalte ist ein ausreichendes Angebot für die bakterielle Sulfatreduktion gegeben. Im Mittel lauten die Sulfatwerte: „Bäumker" 551 mg/l, „Limberg 1" 1427 mg/l und „Limberg 2" 328 mg/l.

An der Quelle „Bäumker" wird der vom Deutschen Bäderverband (1991: 32) geforderte Mindeswert von 1 mg/l Sulfidschwefel erreicht und z. T. überschritten. Unter Berücksichtigung der vorherrschenden Ionen (≥ 20 mmol%) handelt es sich, bis auf Analyse 2, um ein schwefelhaltiges Ca-Mg-SO_4-HCO_3-Wasser. In dem schwefelhaltigen Ca-SO_4-Wasser der „Limberg 1"-Quelle wird der Mindeswert im Mittel um das Dreifache überschritten. Die Quelle „Limberg 2" schüttet schwefeliges Ca-SO_4-HCO_3-Wasser, da der Sulfidschwefel-Gehalt zeitweise unter 1 mg/l lag. Wie aus Abbildung 4 hervorgeht, liegt der reduzierte zweiwertige Schwefel bei den neutralen bis leicht alkalisch reagierenden Quellwässern etwa zu 70 % als Schwefelwasserstoff (H_2S) und zu 30 % als Hydrogensulfid-Ion (HS^-) vor. Insgesamt handelt es sich um niedrige Sulfidschwefel-Gehalte.

Ergebnisse der Schwefel-Isotopenuntersuchung

In Tabelle 3 sind die am gelösten Sulfat und reduzierten Schwefel bestimmten $\delta^{34}S$-Werte aufgeführt. Die $\delta^{34}S$-Gehalte des Sulfates zeigen für jede einzelne Quelle gute Übereinstimmung. Dagegen stellen die am Sulfidschwefel ermittelten $\delta^{34}S$-Gehalte, bis auf den am 03.05.1993 an der Quelle „Limberg 1" analysierten Wert (–22,78 ‰), Mischwerte dar. Aufgrund der geringen Gehalte an Sulfidschwefel konnten keine korrekten $\delta^{34}S$-Werte am reduzierten Schwefel ermittelt werden.

6 Genese und Herkunft der Schwefelwässer

Aufgrund der geologisch-hydrogeologischen Position der Schwefelquellen und der hydochemischen Zusammensetzung der Quellwässer liegt es nahe, die Herkunft der schwefelhaltigen Mineralwässer aus den gipsführenden und bituminösen Lagen der Jura/Kreide-Grenzschichten (Münder Mergel und Serpulit) abzuleiten. Darauf weisen vor allem die erhöhten Gehalte an Calcium, Magnesium, Sulfat und Hydrogencarbonat hin. Diese Deutung steht im Einklang mit den Ergebnissen der Schwefel-Isotopenbestimmung. Die Malm-Werte liegen nach Michel & Nielsen (1977) etwa zwischen +15,0 und +20,5 ‰ (Abb. 7) und stimmen gut mit den ^{34}S-Gehalten der Iburger Schwefelquellen (+15,1 bis +21,0 ‰) überein. Die für den Malm im oberen Grenzbereich liegenden Gehalte der „Limberg 1"-(+19,1 u. +19,2 ‰) und „Bäumker"-Quelle (+20,5 u. +21,0 ‰) sind auf die durch Sulfatreduktion bedingte Isotopenfraktionierung zurückzuführen, die zur Anreicherung

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

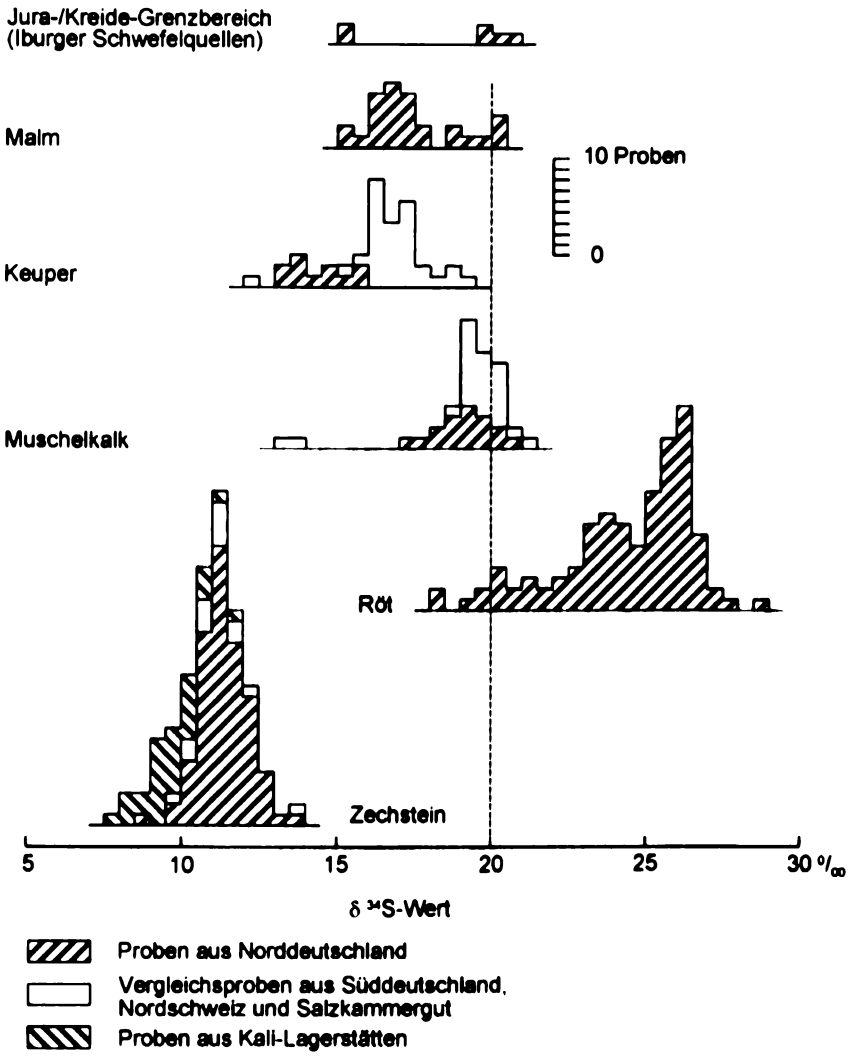


Abb. 7 Schwefel-Isotopenverteilung in Evaporitsulfaten aus Nordwestdeutschland. Die gestrichelte Linie entspricht dem heutigen Meerwasser-Sulfat. (aus Michel & Nielsen 1977: 188, verändert).

von isotopisch schwerem Schwefel im Ausgangssulfat führt. Anhand der $\delta^{34}S$-Werte kann ein Ursprung des gelösten Sulfates aus oxidierten sedimentären Sulfiden ausgeschlossen werden, da derartige Sulfate ein ^{34}S-Defizit aufweisen. Diese Möglichkeit wäre grundsätzlich durch feinverteilten Pyrit in den Gesteinsserien der Bükkeberg-Folge denkbar.

Abbildung 7 verdeutlicht, daß eine Sulfat-Herkunft aus dem Zechstein nicht möglich ist. Auch wenn sich die $\delta^{34}S$-Gehalte der Quellen „Bäumker" und „Limberg 1" mit den Röt- und Muschelkalk-Werten und der „Limberg 2"-Quelle mit den δ-Werten des Gipskeupers überschneiden, kann wegen der hydrogeologischen Position der Quellen ein Aufstieg von sulfathaltigem Tiefen-

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

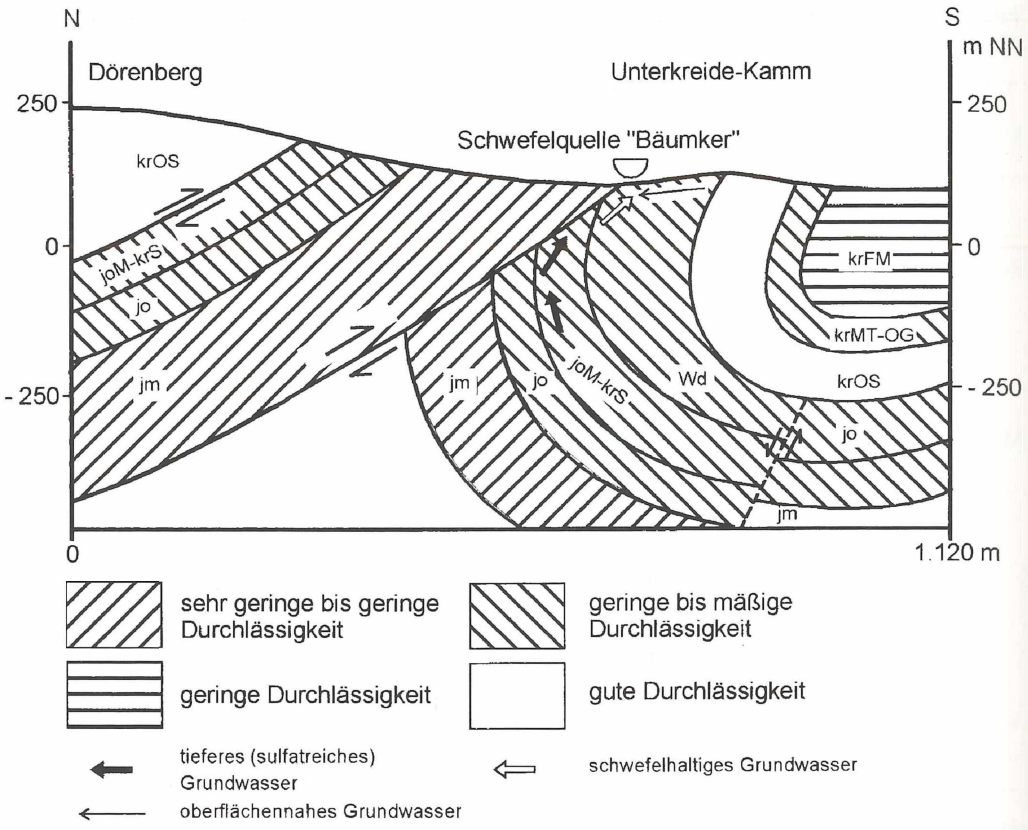


Abb. 8 Hydrogeologischer Schnitt im Bereich der Schwefelquelle „Bäumker"
jm: Dogger, jo: Malm, joM-krS: Jura-/Kreide-Grenzschichten, Wd: Bückeberg-Folge ("Wealden"), krOS: Osning-Sandstein, krMT-OG: *minimus*-Ton u. Osning-Grünsandstein, krFM: Flammenmergel.

grundwasser aus diesen Evaporitformationen ausgeschlossen werden. Die Sulfat-Herkunft ist auf die gipshaltigen Horizonte im Münder Mergel zurückzuführen.

Schwefelquelle „Bäumker"

Im Bereich der Schwefelquelle „Bäumker" grenzen entlang der Osning-Überschiebung Dogger-Schichten an Gesteine der unteren Bückeberg-Folge (Abb. 8). Da diese überwiegend tonig ausgebildeten, sehr geringdurchlässigen Dogger-Sedimente bei intensiver tektonischer Beanspruchung nur örtlich gering wasserleitend sein können, liegt das Einzugsgebiet der Quelle am südlich anschließenden Unterkreide-Kamm im Ausstrichgebiet der Bückeberg-Folge. Durch starke Zerrüttung des Gebirges ist ein hydraulischer Kontakt zwischen diesen „Wealden"-Schichten und den im Untergrund folgenden Münder Mergel/Serpulit gegeben. Das Grundwasser fließt durch zahlreiche Trennfugen in die gipshaltigen Jura/Kreide-Grenzschichten.

Aufgrund des geringeren hydraulischen Schweredruckes dieses süßen Grundwassers ist anzunehmen, daß tieferes, sulfatreiches Mineralwasser an der Überschiebungsbahn aufsteigt. Durch Mischungs-

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

und Lösungsvorgänge wird das oberflächennahe Grundwasser zunehmend mineralisiert und damit sulfatreicher. Die Sulfat-Ionen werden von Schwefelbakterien im anaeroben Milieu bei Anwesenheit von organischer Substanz, die bituminösen Einschaltungen des Serpulits oder kohligen Schichten der Bückeberg-Folge entstammt, zu Sulfidschwefel reduziert. Da am Unterkreide-Kamm die Grundwasseroberfläche höher liegt als in der Talung, steigt dieses Schwefelwasser entlang der Zerrüttungszone der Osning-Überschiebung auf und tritt in der morphologischen Senke an der Schwefelquelle „Bäumker" zutage.

„Limberg"-Quellen

Die „Limberg"-Quellen entspringen zwischen Dörenberg und Limberg in einer Nord-Süd verlaufenden Talsenke an der Grenze Münder Mergel/Serpulit zur unteren Bückeberg-Folge. Das abweichende Schüttungsverhalten und die unterschiedliche Mineralisation der nur 15 m voneinander entfernt liegenden Quellen deutet auf unterschiedliche Herkunft (Tiefe) der schwefeligen bis schwefelhaltigen Wässer hin.

Von den Kämmen der Talung fließt Grundwasser im oberen Auflockerungsbereich talwärts und tritt an der Quelle „Limberg 2" aus. Die niedrigere Mineralisation des Quellwassers ist durch geringeres Rückhaltevermögen der Auflockerungszone und die dadurch kürzere Verweildauer des Grundwassers begründet. Hinzu kommt, daß im oberflächennahen Bereich bereits mehr Mineralstoffe abgelaugt sind. Im Sommerhalbjahr, bei niedriger bis fehlender Grundwasserneubildung, sinkt die Grundwasseroberfläche soweit ab, daß die Quelle zeitweise trocken fällt.

Der hydraulische Schweredruck dieses geringer mineralisierten Grundwassers läßt tieferes, höher mineralisiertes Grundwasser an Klüften und Spalten aufsteigen. Diese sulfatreichen Wässer treten an der „Limberg 1"-Quelle an die Erdoberfläche. Die Quellschüttung ist abhängig vom jahreszeitlich schwankenden hydraulischen Schweredruck, der im Sommerhalbjahr soweit abfällt, daß die Quelle nur sehr wenig Wasser führt. Durch längere Verweildauer und höhere Zirkulationstiefe kann dieses tiefere Grundwasser mehr Mineralstoffe aufnehmen.

7 Möglichkeiten zur Schwefelwasser-Erschließung

Eine Nutzung der „Limberg"-Quellen kommt aufgrund ihrer niedrigen und wechselnden Wasserführung nicht in Betracht. An der Schwefelquelle „Bäumker" wäre eine eingeschränkte Nutzung in Form eines Trinkausschankes denkbar. Allerdings müßte der Ausschank in unmittelbarer Nähe der Quellfassung liegen, da wegen des geringen Sulfidschwefel-Gehaltes und der ständigen Entgasung von Schwefelwasserstoff das Quellwasser nur wenige Meter abgeleitet werden kann.

Eine Erschließung von Schwefelwasser ist in geologischen Positionen möglich, in denen im Untergrund gipshaltiger Münder Mergel und bituminöser Serpulit anstehen, da durch diese Schichtenfolge günstige Voraussetzungen für die Entstehung von schwefelhaltigem Wasser gegeben sind.

Mögliche Erschließungspunkte wären am Südhang des Dörenberg-Massivs im Bereich der Osning-Überschiebung anzusetzen. Durch die hier, an der Überschiebungsbahn, entspringenden Schwefelquelle „Bäumker" wird deutlich, daß die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse für die Entstehung von schwefelhaltigen Heilwasser besonders günstig sind.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Im tieferen Untergrund – an der Nordflanke des Iburger Sattels – sind die geologisch-hydrogeologischen Gegebenheiten für die Entstehung von schwefelhaltigem Wasser ebenfalls günstig, da hier gipshaltiger Münder Mergel und bituminöser Serpulit bzw. kohlige Schichten der Bückeberg-Folge anstehen (vergl. Abb. 8). Daß Schwefelwasser in größerer Tiefe erschlossen werden kann, zeigt die in vergleichbarer geologischer Position am Nordhang des Musenberges in Kloster Oesede niedergebrachte Bohrung „Musenberg". Die Bohrung traf in 300 m Tiefe frei aufsteigendes Schwefelwasser an (Haack 1930: 66). Nach Richter & Wager (1950: 76) stieg aus einer weiteren, in Wellendorf, abgeteuften Bohrung artesisches Schwefelwasser zutage.

Literatur

Andrée, K. (1904): Der Teutoburger Wald bei Iburg. 49 S. – Inaug.-Diss., Göttingen.

Baumann, M. (1973): Beitrag zur Klärung der Genese der Schwefelwässer an der Donau am Beispiel einer Schwefelwasserbohrung zu Bad Gögging/Niederbayern. – Heilbad und Kurort 1: 8–16, 6 Abb., 1 Tab.

Carlé, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. Geologie, Chemismus, Genese. 643 S., 14 Abb., 15 Kt. – Stuttgart: Wissenschaftl. Verlagsges..

Deutscher Bäderverband (1991): Begriffbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen. 69 S. – Bonn.

Din 4049 Teil 5 (1990): Hydrologie. Begriffe, Unterirdisches Wasser. 32 S. – Berlin: Beuth.

Dvwk (1988): Bedeutung biologischer Vorgänge für die Beschaffenheit des Grundwassers. – DVWK-Schriften 80: 1–332, 91 Abb., 37 Taf.

Grebing, H. (1987): Stein(e)zeit in Bad Iburg, Eine kurze Reise durch die Geologie und den Abbau von Bodenschätzen. 30 S., 16 Abb., 3 Tab. – Bad Iburg (Eigenverlag).

Haack, W. (1930):, mit Beitr. von Görz, G.: Erläuterungen zu Blatt Iburg. – Geologische Karte von Preußen und benachbarten Ländern, Erl. 3814: 95 S.; Berlin.

Hamm, F. (1976): Naturkundliche Chronik Nordwestdeutschlands. 370 S. – Hannover: Landbuch-Verlag.

Harms, F.-J. (1992): Erläuterungen zu einem geologischen Schnitt vom Dörenberg zum Kleinen Freden bei Bad Iburg. – Ber. Arch. nieders. L.-Amt Bodenforsch., 110066: 10 S., 4 Abb., 1 Tab.; Hannover [Unveröff.].

Hoefs, J. (1987): Stable Isotope Geochemistry. 241 S. – 3. Aufl.,, 62 Fig.; Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Höll, K. (1991): 100 Jahre lang konstante Schwefel-Heilquellen. – Heilbad u. Kurort 43: 236–238, 3 Tab.

Hütter, L. A. (1992): Wasser und Wasseruntersuchung. 528 S. – 5. Aufl.,, 60 Abb., 52 Tab.; Frankfurt a. M. (Otto Salle) und Aarau, Frankfurt a. M., Salzburg: Sauerländer.

Machel, H. G. (1987): Some aspects of diagenetic sulphate-hydrogencarbon redox reactions. – In Marshall, J. D. [Hrsg.]: Diagenesis of sedimentary sequences. Geological Society Special Publication 36: 15–28, 1 Abb., 1 Taf.; London.

Machel, H. G. (1989): Relationships between sulphate reduction and oxidation of organic compounds to carbonate diagenesis, hydrocarbon accumulations, salt domes, and metal sulphide deposits. – Carbonates and Evaporites 2: 137–151, 11 Abb., 2 Taf.

Michel, G. & Nielsen, H. (1977): Schwefel-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten ostwestfälischer Mineralwässer. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 26: 185–227, 16 Abb., 1 Taf.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Nielsen, H. (1965): Schwefelisotope im marinen Kreislauf und das ^{34}S der früheren Meere. – Geol. Rdsch. 55: 160–172, 5 Abb.

Nielsen, H. & Rambow, D. (1969): S-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten hessischer Mineralwässer. – Notitzbl. hess. L.-Amt Bodenforschung. 97: 352–366, 2 Abb., 2 Tab.

Nieke, D. (1994): Zur Hydrogeologie von Bad Iburg (Osnabrücker Bergland). – Dipl.-Arbeit u. Selbst. Dipl.-Kartierung Uni. Hannover: 77 S., 15 Abb., 18 Tab., 6 Anh., 2 Anl.; Hannover [Unveröff.].

Preul, F. (1975): Gutachten über eine artesische Bohrung bei Bad Iburg. – Ber. Arch. nieders. L.-Amt Bodenforsch. 68487: 13 S.; Hannover [Unveröff.].

Puchelt, H. & Nielsen, H. (1967): Untersuchungen über die Verteilung der Schwefelisotope in den Grubenwassern des Ruhrreviers. – Glückauf Forsch.-H. 28 (6): 303–310, 4 Abb., 3 Tab.

Quentin, K. (1978): Möglichkeiten und Grenzen der balneotherapeutischen Nutzung von Schwefelquellen. – Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 3: 240–245, 3 Abb.

Quentin, K. E. & Pachmayer, F. (1964): Die Zusammensetzung der Schwefelquellen und ihre Veränderung in den technischen Anlagen der Heilbäder. – Fund. baln.-bioclim. 3: 66–94, 6 Abb., 5 Tab.

Richter, W. & Wager, R. (1950): Die hydrogeologischen Grundlagen für wasserwirtschaftliche Planungen im mittleren Teil des Landkreises Osnabrück. – Ber. Arch. nieders. L.-Amt Bodenforsch. 15619: 85 S., 16 Anl.; Hannover [Unveröff.].

Rose, K.-H. (1993), mit Beitr. von Klassen, H. u. Rossmanith, M.: Exkursionsführer zur VFMG-Sommertagung. 99 S. – Osnabrück.

Udluft, P. & Weil, W. (1974): Bedingungen für die biogene Bildung von Schwefelwasserstoff in natürlichen Wässern. – Zeitschr. f. Wasser- und Abwasser-Forschung. 1: 10–13, 5 Abb., 1 Tab.

Wallhäuser, K. H. & Puchelt, H. (1966): Sulfatreduzierende Bakterien in Schwefel- und Grubenwässern Deutschlands und Österreichs. – Contr. Mineral. and Petrol. 13: 12–30, 8 Abb., 3 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 20-21

Autor(en)/Author(s): Nieke Dag

Artikel/Article: Schwefelquellen von Bad Iburg 205-223