

Beiträge zur Hydrogeologie von Hessen

Von

MADJID ALIZADEH AZIMI

EL-ARBI HILALI

ALIAKBAR HUSCHMAND

HORST KRÜGER

HANS-JÜRGEN PICKEL

HANS-JÜRGEN SCHARPFF

LUTZ SCHEWE

HANS-ROBERT WAGNER

Mit 60 Abbildungen, 37 Tabellen und 2 Tafeln

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9

Wiesbaden 1974

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.	70	198 S.	60 Abb.	37 Tab.	2 Taf.	Wiesbaden 1974
--------------------------------	----	--------	---------	---------	--------	----------------

IN DIESER REIHE BISHER ERSCIENEN :

- 1: JOHANNSEN, A.: Die geologischen Grundlagen der Wasserversorgung am Ostrand des Rheinischen Gebirges im Raume von Marburg-Frankenberg-Borken. 1950. 87 S., 8 Abb., 10 Taf., vergriffen.
- 2: SCHÖNHALS, E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit einer bodenkundlichen Übersichtskarte 1:300000. 1954. 288 S., 25 Abb., 60 Tab., 15 Taf., vergriffen.
- 3: KUBELLA, K.: Zum tektonischen Werdegang des südlichen Taunus. 1951. 81 S., 14 Abb., 2 Taf., DM 5,-.
- 4: GÖRGES, J.: Die Lamellibranchiaten und Gastropoden des oberoligozänen Meeressandes von Kassel. 1952. 134 S., 3 Taf., DM 7,50.
- 5: SOLLE, G.: Die Spiriferen der Gruppe *arduennensis-intermedius* im Rheinischen Devon. 1953. 156 S., 45 Abb., 7 Tab., 18 Taf., DM 20,-.
- 6: SIMON, K.: Schrittweises Kern- und Messen bodenphysikalischer Kennwerte des ungestörten Untergrundes. 1953. 63 S., 19 Abb., 3 Taf., DM 7,-.
- 7: KEGEL, W.: Das Paläozoikum der Lindener Mark bei Gießen. 1953. 55 S., 3 Abb., 3 Taf., DM 6,-.
- 8: MATTHES, S.: Die Para-Gneise im mittleren kristallinen Vor-Spessart und ihre Metamorphose. 1954. 86 S., 36 Abb., 8 Tab., DM 12,50.
- 9: RABIEN, A.: Zur Taxonomie und Chronologie der Oberdevonischen Ostracoden. 1954. 268 S., 7 Abb., 4 Tab., 5 Taf., DM 17,-.
- 10: SCHUBART, W.: Zur Stratigraphie, Tektonik und den Lagerstätten der Witzenhäuser Grauwacke. 1955. 67 S., 8 Abb., 4 Taf., DM 8,-.
- 11: STREMMER, H. E.: Bodenentstehung und Mineralbildung im Neckarschwemmler der Rheinebene. 1955. 79 S., 35 Abb., 28 Tab., 3 Taf., DM 7,-.
- 12: v. STETTEN, O.: Vergleichende bodenkundliche und pflanzensoziologische Untersuchungen von Grünlandflächen im Hohen Vogelsberg (Hessen). 1955. 67 S., 4 Abb., 2 Tab., 1 Taf., DM 5,50.
- 13: SOHENK, E.: Die Mechanik der periglazialen Strukturböden. 1955. 92 S., 21 Abb., 13 Tab., 10 Taf., DM 12,-.
- 14: ENGELS, B.: Zur Tektonik und Stratigraphie des Unterdevons zwischen Loreley und Lorchhausen am Rhein (Rheinisches Schiefergebirge). 1955. 96 S., 31 Abb., 2 Tab., 15 Diagr., 5 Taf., DM 12,60.
- 15: WIEGEL, E.: Sedimentation und Tektonik im Westteil der Galgenberg-Mulde (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1956. 156 S., 41 Abb., 7 Tab., 7 Taf., DM 18,60.
- 16: RABIEN, A.: Zur Stratigraphie und Fazies des Ober-Devons in der Waldecker Hauptmulde. 1956. 83 S., 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf., DM 7,-.
- 17: SOLLE, G.: Die Watt-Fauna der unteren Klerfer Schichten von Greimerath (Unterdevon, Südost-Eifel). Zugleich ein Beitrag zur unterdevonischen Mollusken-Fauna. 1956. 47 S., 7 Abb., 6 Taf., DM 5,-.
- 18: BEDERKE, E., u. a.: Beiträge zur Geologie des Vorspessarts. 1957. 167 S., 65 Abb., 18 Tab., DM 13,-.
- 19: BISCHOFF, G.: Die Conodonten-Stratigraphie des rheno-herzynischen Unterkarbons mit Berücksichtigung der *Wocklumeria*-Stufe und der Devon/Karbon-Grenze. 1957. 64 S., 1 Abb., 2 Tab., 6 Taf., DM 8,-.
- 20: PILGER, A. & SCHMIDT, Wo.: Die Mullion-Strukturen in der Nord-Eifel. 1957. 53 S., 42 Abb., 1 Tab., 8 Taf., DM 9,80.
- 21: LEHMANN, W. M.: Die Asterozoen in den Dachschiefern des rheinischen Unterdevons. 1957. 160 S., 31 Abb., 55 Taf., DM 30,-.
- 22: BISCHOFF, G. & ZIEGLER, W.: Die Conodontenchronologie des Mitteldevons und des tiefsten Oberdevons. 1957. 136 S., 16 Abb., 5 Tab., 21 Taf., DM 20,-.
- 23: ZÖBELEIN, H. K.: Kritische Bemerkungen zur Stratigraphie der Subalpinen Molasse Oberbayerns. 1957. 91 S., 2 Abb., DM 8,-.
- 24: GUNZERT, G.: Die einheitliche Gliederung des deutschen Buntsandsteins in der südlichen Beckenfazies. 1958. 61 S., 14 Abb., 7 Tab., DM 14,-.
- 25: PAULY, E.: Das Devon der südwestlichen Lahnmulde und ihrer Randgebiete. 1958. 138 S., 41 Abb., 6 Taf., DM 20,-.
- 26: SPERLING, H.: Geologische Neuaufnahme des östlichen Teiles des Blattes Schaumburg. 1958. 72 S., 14 Abb., 5 Tab., 10 Taf., DM 10,-.
- 27: JUX, U. & PFLUG, H. D.: Alter und Entstehung der Triasablagerungen und ihrer Erzvorkommen am Rheinischen Schiefergebirge, neue Wirbeltierreste und das Chirotheriumproblem. 1958. 50 S., 11 Abb., 3 Taf., DM 5,60.
- 28: SCHMIDT, H.: Die Cornberger Fährten im Rahmen der Vierfüßler-Entwicklung. 1959. 137 S., 57 Abb., 9 Taf., DM 15,-.

Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

Herausgegeben vom
Hessischen Landesamt für Bodenforschung

Heft 70

Beiträge zur Hydrogeologie von Hessen

Von

MADJID ALIZADEH AZIMI

EL-ARBI HILALI

ALIAKBAR HUSCHMAND

HORST KRÜGER

HANS-JÜRGEN PICKEL

HANS-JÜRGEN SCHARPFF

LUTZ SCHEWE

HANS-ROBERT WAGNER

Mit 60 Abbildungen, 37 Tabellen und 2 Tafeln

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9

Wiesbaden 1974

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.	70	198 S.	60 Abb.	37 Tab.	2 Taf.	Wiesbaden 1974
--------------------------------	----	--------	---------	---------	--------	----------------

Mit der Schriftleitung beauftragt:

Regierungsdirektor Dr. ARNOLD RABIEN, ALBERT KARSCHNY

Hessisches Landesamt für Bodenforschung

62 Wiesbaden, Leberberg 9

Vorwort

Der Abhandlungsband vereinigt die Ergebnisse von Diplom-Arbeiten und Dissertationen, die unter Leitung von Professor Dr. F. NÖRING an der Technischen Hochschule Darmstadt und an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt a. Main angefertigt wurden. Der Blick auf eine Karte zeigt, daß die untersuchten Gebiete — Kinzig-Gebiet, Gebiet von Neuen-Gronau, Lauterbacher Graben, Buntsandsteingebiet der Frankenger Bucht nördlich des Amöneburger Beckens und Gebiet des Bl. Kirtorf — sich um den Vogelsberg gruppieren und auch eine Bearbeitung der oberflächennahen Mineralwässer der Wetterau einschließen. Innerhalb dieses regionalen Rahmens gelten die Untersuchungen der Frage nach den Zusammenhängen zwischen verfügbarer Menge und Beschaffenheit des Grundwassers und dem geologischen Bau des Gebietes. Bestimmend für die Themenwahl war die Erfahrung, daß in zunehmendem Maße das Grundwasser in den Festgesteinen dieses Gebietes genutzt werden muß, vor allem also in den Sandsteinen des Buntsandsteins und im Basalt des Vogelsberges. Dadurch rückte das Problem der Abschätzung der auf Dauer gewinnbaren Mengen und die Wechselbeziehung des süßen Grundwassers zu den im tieferen Untergrund zirkulierenden hochmineralisierten Grundwässern zunehmend in den Vordergrund des Interesses.

In Festgesteinen ist das Vorkommen und die Bewegung des Grundwassers an die wasserwegsamten Hohlräume geknüpft, die nicht statistisch homogen im Gebirge verteilt sind, sondern eine deutliche Abhängigkeit vom tektonischen Bau und von der Gesteinsbeschaffenheit aufweisen. Demnach waren quantifizierende Methoden zu suchen und anzuwenden, um diese tektonischen und petrofaziellen Eigenschaften herauszuarbeiten. Die vorliegenden Beiträge spiegeln verschiedene Stufen der Entwicklung von Fragestellung und Methodik wider. Neben vorzugsweise hydrochemischen Untersuchungen enthalten sie auch hydrogeologische Bestandsaufnahmen, die an eine geologische Kartierung anknüpfen. Sie zeigen damit die Impulse an, die Herr Professor NÖRING seinen Schülern und Mitarbeitern gegeben hat und zugleich der Hydrogeologie in Deutschland. Kennzeichnend ist dabei das Bemühen, das Vorkommen und den unterirdischen Abfluß des Grundwassers als Teil des Wasserkreislaufes durch Beobachtung und Messung im Gelände zu erkennen und diese Ergebnisse für wissenschaftliche und praktische Aussagen nutzbar zu machen.

Die Zusammenfassung der vorliegenden Beiträge in dieser Abhandlung ist demnach als Dokumentation einer dynamischen Entwicklung und als Fundgrube für künftige wissenschaftliche und praktische Arbeiten zu betrachten.

Georg Mattheß, Kiel

Inhaltsverzeichnis

AZIMI, MADJID ALIZADEH:

Geologisch-hydrogeologische Untersuchung der Bröckelschiefer-Gebiete bei Bad Orb und Lohrhaupten (Spessart). Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle 9

HILALI, EL-ARBI:

Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet Ahlersbach (Kreis Schlüchtern). Mit 3 Abbildungen und 6 Tabellen 23

HUSCHMAND, ALIAKBAR:

Stratigraphie des Oberen Buntsandsteins und hydrogeologische Untersuchungen bei Steinau (NE-Spessart). Mit 3 Abbildungen und 1 Tabelle 43

KRÜGER, HORST:

Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Lauterbacher Graben bei Angersbach. Mit 11 Abbildungen und 1 Tabelle 51

PICKEL, HANS-JÜRGEN:

Der Grundwasserabfluß der Frankenberger Bucht (Ostrand Rheinisches Schiefergebirge). Mit 15 Abbildungen und 12 Tabellen 63

SCHARPFF, HANS-JÜRGEN:

Verbreitung und Dynamik der mineralwasserbeeinflussten Grundwässer der Wetterau/Hessen. Mit 14 Abbildungen, 8 Tabellen und Tafel 1 . 103

SCHEWE, LUTZ:

Hydrogeologische Untersuchungen im Einzugsgebiet der oberen Gleen (Hessen). Mit 7 Abbildungen und 3 Tabellen 159

WAGNER, HANS-ROBERT:

Geologisch-hydrologische Kartierung im Gebiet des Grabens von Neuen-
gronau und Mottgers. Mit 3 Abbildungen, 5 Tabellen und Tafel 2 . . 179

Geologisch-hydrogeologische Untersuchung der Bröckelschiefer-Gebiete bei Bad Orb und Lohrhaupten (Spessart)

Von

MADJID ALIZADEH AZIMI *

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

Kurzfassung: Die Bröckelschiefer-Folge des Unteren Buntsandsteins wird in 4 stratigraphische Einheiten unterteilt. In ihr und in der tieferen Gelnhausen-Folge wurden durch eine Quellkartierung 6 Quellhorizonte erkannt. Die Hydrochemie des Grundwassers wird beschrieben und die Grundwasserspende mittels Abflußmessungen bestimmt.

Abstract: The Bröckelschiefer, lowest part of the Unterer Buntsandstein, is divided in 4 units. By means of spring-investigation in field 6 spring lines are found in the Bröckelschiefer- and the deep Gelnhausen-Folge. The chemistry of the groundwater is described and the groundwater-runoffs are determined by dry-weather flow-measurements.

Inhalt

1. Einleitung	10
2. Geologisch-stratigraphischer Teil	11
2.1. Buntsandstein	11
2.1.1. Bröckelschiefer-Folge	11
2.1.2. Gelnhausen-Folge	14
2.2. Quartär	14
2.2.1. Jungpleistozäne Sedimente	14
2.2.2. Holozäner Auelehm	15
3. Hydrogeologischer Teil	15
3.1. Klima	16
3.2. Vegetation und Böden	17
3.3. Wasserwegsamkeit der Gesteine	17
3.4. Hydrochemie	19
3.5. Abflußmessungen und Grundwasserneubildung	20
4. Zusammenfassung	21
5. Schriftenverzeichnis	22

*) Dr. M. A. AZIMI, Dipl.-Geologe, Geological Survey of Iran, Sasman Samin Schenosi, rue de l'aéroport, Teheran/Iran.

1. Einleitung

Im nordwestlichen Buntsandsteinspessart liegen die letzten Bröckelschiefer-Vorkommen am weitesten im NE im oberen Orbital und im oberen Lohrbachtal (Bl. 5722 Salmünster und 5822 Wiesen der TK 25). Das Vorkommen im Orbital erstreckt sich von der Stadt Bad Orb über ca. 6 km nach SE bis zur Orbquelle, das andere von Lohrhaupten das Lohrbachtal und unterhalb Flörsbach das Flörsbachtal abwärts bis zur Einmündung des Flörsbaches in den Lohrbach SE Kempfenbrunn.

Der Bröckelschiefer bildet die einleitende Folge des Unteren Buntsandsteins. Er besitzt ganz überwiegend eine tonig-schluffige Ausbildung und zeigt daher an seinem Ausstrich meist flache Hänge mit feuchten und nassen Böden. Die darüber folgenden reinen Sandsteine (Heigenbrückener und ECKScher Geröllsandstein der Gelnhausen-Folge) verursachen morphologisch einen bedeutend steileren Anstieg. Die Untersuchungsgebiete und ihre Umgebung sind durch Wasserläufe größtenteils tief zertalt und zeigen so den Charakter einer typischen Mittelgebirgslandschaft.

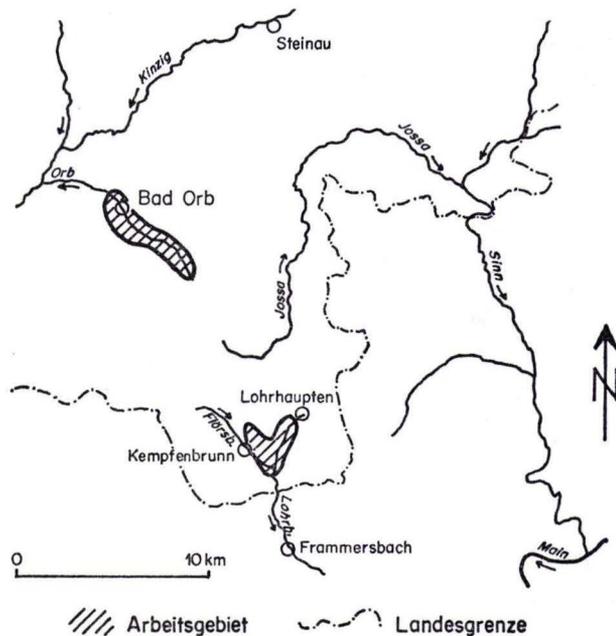


Abb. 1. Lage des Arbeitsgebietes.

Die Bearbeitung dieses Gebietes hatte die stratigraphische Gliederung und hydrogeologische Untersuchung des Bröckelschiefers zum Ziele. Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1963 — 1965 durchgeführt. Die Ergebnisse stellen einen Auszug aus der 1967 am Geologisch-Palaeontologischen Institut der Universität Frankfurt a. M. eingereichten Diplomarbeit (AZIMI 1967) dar.

Für die Anregung zu dieser Arbeit und der eingehenden Betreuung im Gelände danke ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. NÖRING, recht herzlich.

Ebenso danke ich den Direktoren des Geologisch-Palaeontologischen Institutes der Universität Frankfurt a. M., Herrn Prof. Dr. KREJCI-GRAF und Herrn Prof. Dr. MURAWSKI für anregende Diskussionen, Hinweise und Ratschläge. Besonderer Dank gebührt auch Herrn Dr. REUL, Wiesbaden, für tatkräftige Unterstützung und Förderung der Geländearbeiten.

2. Geologisch-stratigraphischer Teil

2.1. Buntsandstein

2.1.1. Bröckelschiefer-Folge

Die Mächtigkeit des Bröckelschiefers ist im Arbeitsgebiet um Lohrhaupten nicht feststellbar, da die tiefsten Schichten der Folge dort nicht zutage ausgehen und auch in Bohrungen nicht durchörtert wurden. Bei Bad Orb ist dagegen die Untergrenze des Bröckelschiefers einige Meter unter der Talsohle erbohrt worden. Als Gesamtmächtigkeit ergeben sich dort für den Bröckelschiefer etwa 70 m.

Auf den älteren geologischen Karten, so auch auf dem von BÜCKING (1891) aufgenommenen Bl. Lohrhaupten und dem Bl. Salmünster von VON SEYFRIED (1912), bildet der Bröckelschiefer stratigraphisch eine Einheit. Erst DIEDERICH (1962, 1965, 1969) hielt im Bröckelschiefer einen stärker sandigen Abschnitt aus und untergliederte danach in:

Oberen Bröckelschiefer
Schluffstein-Sandstein-Horizont
Unteren Bröckelschiefer.

Eine solche Dreiteilung läßt sich, z. T. mit weiteren Untergliederungen, auch im Gebiet Lohrhaupten / Bad Orb durchführen (Abb. 2).

2.1.1.1. Unterer Bröckelschiefer

Der Untere Bröckelschiefer besteht aus rotbraunen bis dunkelrotbraunen schluffhaltigen Tonsteinen mit einer Mächtigkeit von ca. 25 m (Abb. 2). Die Tonsteinbänke werden ca. 10 — 30 cm stark. Das Gestein enthält reichlich Glimmer, hellgrüne Entfärbungsflecken von 2 — 3 mm ϕ sind dagegen nur vereinzelt vorhanden. Auf Klüftflächen sind Anflüge von Psilomelan häufig.

In beiden Teilgebieten streicht Unterer Bröckelschiefer nur noch mit seinen obersten Metern zutage aus, doch ist er meist vom Hangschutt verhüllt. Größere Aufschlüsse fehlen.

2.1.1.2. Mittlerer Bröckelschiefer

(= Schluffstein-Sandstein-Horizont DIEDERICH 1962, 1965, 1969)

Die etwa 5 — 7 m mächtigen Schichten bestehen aus einer Folge von 10 — 30 cm dicken Sandsteinbänken und zwischengelagerten Tonsteinen (Abb. 2). Aufgrund der Gesteinsausbildung ist morphologisch meist eine steilere Böschung oder Geländekante entwickelt.

Die Farbe der feinkörnigen, vorwiegend tonig, vereinzelt aber auch kieselig gebundenen Sandsteine (Korn- ϕ bis 0,2 mm) ist hellrot, gelbgrau bis grünlich; Eisen-Manganoxidflecken sind häufig. Die Tonsteine sind rotbraun, teilweise auch dunkelrotbraun. Sie werden in den unteren Lagen bis 20 cm mächtig, in den oberen bis 60 cm. Der Glimmergehalt sowohl in den Tonsteinen wie auch in den Sandsteinen, dort jedoch besonders auf den Schichtflächen, ist hoch.

Bei der Ablagerung herrschten recht unruhige Sedimentationsverhältnisse, wie die in diesen Schichten verbreitete Kreuz-, Schräg-, Rippel- und Flaserschichtung anzeigt. Obwohl einzelne Sandsteinlagen in Tonsteine übergehen, halten jedoch im großen gesehen die Sandsteinbänke aus. Gerölle, die DIEDERICH (1962, 1969) aus der Gegend von Bieber in diesen Schichten beschrieb, wurden im Gelände nicht, aber in der Wasserbohrung der Gemeinde Flörsbach (R 35 30 07, H 55 54 35) gefunden.

Aufschlüsse bestehen im Lohrbachtal im Hohlweg am SE-Hang des Geldküppel und an der B 276 unterhalb km 25,0 und 25,95.

2.1.1.3. Oberer Bröckelschiefer

Der etwa 35 — 40 m mächtige Obere Bröckelschiefer wird in einen unteren Teil mit schluffigen Tonsteinen (Oberer Bröckelschiefer 1) und einen oberen Teil mit tonigen Schluffsteinen und Sandsteinbänken (Oberer Bröckelschiefer 2) unterteilt (Abb. 2).

Oberer Bröckelschiefer 1

Dieser Teil erreicht 15 — 20 m. Die schluffhaltigen Tonsteinlagen werden 10 — 30 cm stark, sind von blaßroter bis rotbrauner Farbe, zeigen häufig weißgraue Flecken und zerbröckeln am Ausgehenden in kleine, unregelmäßige Stückchen. Bis 2 cm dicke, weißgraue bis rotbraune, schluffhaltige Feinsandsteinlagen sind häufiger eingeschaltet. Im obersten Teil des Oberen Bröckelschiefers 1 können diese Sandsteinlagen zu einem Paket bis 0,5 m Mächtigkeit anschwellen (N-Hang des Molken-Berges bei Bad Orb). In SE-Richtung nach Lohrhaupten zu scheint gegenüber dem Gebiet um Bad Orb der Schluffgehalt ab- und der Tonanteil zuzunehmen.

Oberer Bröckelschiefer 2

Der obere Teil des Oberen Bröckelschiefers besteht aus tonigen Schluffsteinen mit Sandsteinbänkchen, deren ursprünglicher Feldspatanteil meist zersetzt ist, so daß der Sandstein eine tonig-schmierige Beschaffenheit hat. In der Basisregion, ca. 15 — 20 m unter der Grenze zum hangenden Heigenbrückener Sandstein, können die Sandsteine bis 1 m mächtig werden. Häufig aber ist in diesem Bereich auch eine bis 8 cm starke, unreine, hellgraue Dolomitbank mit Dolomitknollen und -sternen entwickelt (NW-Hang des Melesrain, 30 m SE km 25,7 an der B 276; R 35 33 67, H 55 53 36). Die Feinschichtung wechselt zwischen mm- und 2 cm Stärke; das Gefüge wechselt zwischen porig und dicht. Die chemische Untersuchung¹ ergab 45,42% reinen Dolomit und 37,4% reinen Kalzit.

¹) Analytiker: Dipl.-Chem. DITTMAR, Geol.-Palaeontol. Inst. Univ. Frankfurt a. M.

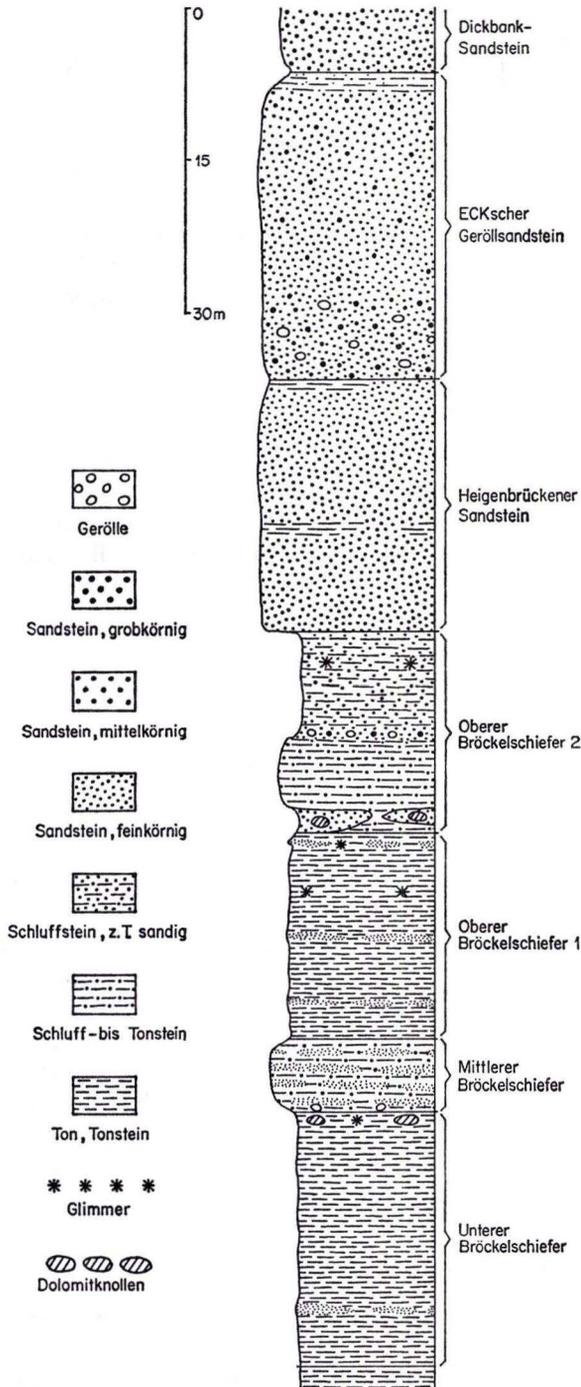


Abb. 2. Normalprofil und stratigraphische Gliederung der Bröckelschiefer-Folge und des tieferen Teils der Gelnhausen-Folge.

Im Dünnschliff besteht die Grundmasse aus untereinander xenomorph verzahnten Dolomitekriställchen ($\phi \sim 0,02 - 0,04$ mm), Kalzit scheint zu fehlen. Aufgelockert wird das feinkristalline Gefüge durch große, lappige Kalzite, die erst nach Weglösen des Dolomits in den Porenräumen gebildet wurden. Unregelmäßig verteilt sind eckige Quarzkörner. Über und unter der Dolomitbank kommen graugrüne, aber praktisch karbonatfreie Tone (nur 0,7 % Ca und 0,5 % Mg nach Analyse) vor. Die Genese des Dolomites dürfte in örtlichen kleinen Lagunen erfolgt sein.

Über dieser Basisregion folgen 6—10 m tonhaltige Schluffsteinbänke von 10—60 cm Stärke und rotbrauner, z. T. auch dunkelroter Farbe, die mit blaßrotbraunen, auffallend harten Schluffsteinen und dünnen Sandsteinbänkchen wechsellagern. Das Dach des Bröckelschiefers bilden die 5—10 m mächtigen Übergangsschichten, die aus einer Folge von Schluffstein-Sandsteinbänken bestehen. An der Basis liegt häufig, wie auch von DIEDE- RICH (1962, 1965, 1969) beschrieben, eine fein- bis mittelkörnige, etwas kieselige Sandsteinlage mit Kleingeröllen bis 0,5 cm ϕ (Lohrbachtal am Geierschnabel, R 35 33 45, R 55 51 74). Die Gerölle bestehen meist aus weißen, teilweise aber auch roten Quarzen.

Die hangenden Schluffstein-Sandsteinbänke wechseln zwischen 3—10 cm Dicke. Sie bestehen überwiegend aus Grobschluff, sind weißlich-hellrosa bis rötlichgrau gefärbt und reich an Entfärbungsflecken. Das Gefüge ist durch feine Rippel- und Flaser- schichtung gekennzeichnet. Die Schichtflächen sind oft von Glimmer bedeckt. Wulstige Sedimentgebilde, wie Sedimentrollen bzw. Pseudoknollen nach PETTIJOHN & POTTER (1964) sind nahe der Hangendgrenze häufiger.

Aufschlüsse bietet im Lohrbachtal der Hohlweg östlich der Ziegelhütte (bei R 35 33 45, H 55 51 74 die geröllführende Basisregion).

2.1.2. Gelnhäusen-Folge

Mit scharfer Grenze, die morphologisch durch eine deutliche Hangversteilung gekennzeichnet ist, setzt über den tonig-schluffigen Gesteinen des Bröckelschiefers die Sandsteinfolge des Heigenbrückener Sandsteins und des ECKSchen Geröllsandsteins ein. Der Heigenbrückener Sandstein mit einer Mächtigkeit von 25—30 m ist noch feinkörnig und besitzt ein toniges Bindemittel, zeigt aber eine ausgesprochene Dickbankigkeit. Im darüber folgenden ECKSchen Geröllsandstein ist das Korn etwas größer (Korn- ϕ ca. 0,3—0,35 mm), das Bindemittel dagegen häufig kieselig und die Bankstärke etwas geringer. Weitere Angaben zur Lithologie siehe bei DIEDERICH & LAEMM- LEN (1964) und DIEDERICH (1966/67).

2.2. Quartär

2.2.1. Jungpleistozäne Sedimente

Im Lohrbachtal sind in einer ehemaligen Sandgrube an der Ziegelhütte Terras- sensande und -kiese aufgeschlossen. Die geschichteten Sande enthalten auch einzelne Tonlagen. Die Ablagerung wird als Relikt der Niederterrasse gedeutet.

Die talnahen Hangbereiche im Arbeitsgebiet sind meist von einer mehrere Meter mächtigen — örtlich bis 10 m! — Schuttdecke verhüllt. Die Schuttmasse besteht aus eckigen Sandsteinbrocken, umgeben von einer lehmigen Grundmasse, und entstand hauptsächlich im Pleistozän durch die Frostverwitterung und Solifluktion. Beide bewirkten ein langsames Hinabwandern mächtiger Lockermassen an den Hängen.

In der Umgebung von Bad Orb tritt an einigen Stellen ein blaßgelber, stark sandiger Lehm auf. Dieser Gehängelehm enthält wahrscheinlich eine Lößkomponente; jedoch wurde ein Kalkgehalt nicht beobachtet.

Schwemmkegel entstanden und entstehen auch bis heute überall dort, wo Seitentäler mit stärkerem Gefälle in ein schwächer geneigtes, breiteres Haupttal einmünden. Die Ablagerungen setzen sich aus sandig-lehmigen Lockermassen und kleinstückigem, kantigem und unsortiertem Schuttmaterial zusammen.

2.2.2. Holozäner Auelehm

Die jüngsten Sedimente der Orb, des Lohrbaches und ihrer Seitenbäche bestehen aus stark sandigem, schluffigem Ton. Sandlagen kommen nur vereinzelt vor. Die Mächtigkeit beträgt zwischen 1 und 3 m.

3. Hydrogeologischer Teil

Die beiden Teile des Arbeitsgebietes entwässern in unterschiedlicher Richtung zum Main hin. Während das südliche Teilgebiet um Lohrhaupten über den N—S fließenden Lohrbach als Nebenlauf der Lohr zum nördlichen Einzugsgebiet des Mains gehört, bildet das nördliche Teilgebiet um Bad Orb über die Orb und die bei Hanau rd. 142 km unterhalb der Lohr in den Main mündende Kinzig das östliche Hinterland dieses Flusses.

Um einen Überblick über die hydrogeologischen Verhältnisse in den beiden Gebieten zu bekommen, wurde entsprechend der bei MATTHESS & THEWS (1959) und NÖRING, MATTHESS & THEWS (1967) beschriebenen Methode bei Trockenwetter eine Quellkartierung durchgeführt (Abb. 4, 5). Die Schüttungen der Quellen und die Abflüsse der Bäche wurden mehrmals gemessen und die Abhängigkeit des Wasserdargebots vom örtlichen Klima, dem Bewuchs und der Wasserwegsamkeit der Gesteine zu ermitteln versucht.

Die Beeinflussung der Wasserbeschaffenheit durch örtliche Faktoren war dagegen weniger Gegenstand der Untersuchung. In Quellen und Bächen wurden nur pH-Wert und Temperatur bestimmt. Weitergehende Aussagen stützen sich auf die Wasseranalysen der regelmäßigen chemisch-hygienischen Untersuchungen gemeindlicher Wassergewinnungsanlagen.

Die Mineralwasservorkommen von Bad Orb sollten im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt werden.

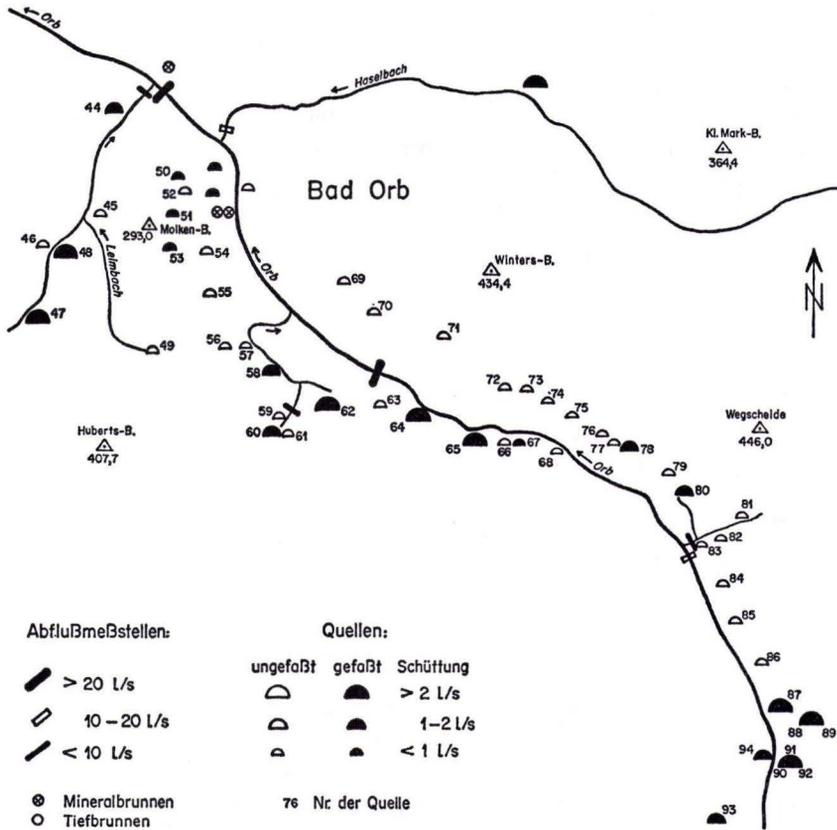


Abb. 3. Die Quellen des oberen Orbgebietes im Sommer 1964.

3.1. Klima

Die Angaben sind dem Klima-Atlas von Hessen entnommen. Den Mittelwerten liegt der Beobachtungszeitraum von 1891 — 1930 zugrunde.

Der Spessart liegt noch im ozeanischen Einflußbereich mit einem ausgesprochenen Mittelgebirgsklima. Das Klima des Spessarts wird dem gemäßigten ozeanischen Typ, dessen Kennzeichen ein kühler Sommer und ein mäßig kalter Winter sind, zugerechnet.

Die mittlere jährliche Lufttemperatur liegt im Arbeitsgebiet bei + 7° C. Allgemein können die Temperaturen im Monat Januar mit - 2° C und im Monat Juli mit + 15,5° C angegeben werden.

Die Hauptvegetationszeit beträgt ca. 135 Tage (Tage mit > 10° C).

Die Niederschlagshöhe schwankt zwischen 900 und 1000 mm im Jahr. Das Niederschlagsmaximum liegt normalerweise im Winterhalbjahr, und zwar in den Monaten Dezember und Januar. Ein Nebenmaximum tritt im Sommer in den Monaten Juli und August auf.

Von den gesamten Niederschlägen fallen 15 — 20 % als Schnee. Es werden im Jahr ca. 60 Schneetage, bis zu 120 Frosttage und bis zu 40 Eistage verzeichnet. Nebel wird etwa an 80 Tagen im Jahr beobachtet.

3.2. Vegetation und Böden

Der im Arbeitsgebiet ausstreichende fein- bis mittelkörnige Sandstein bildet meist steile Hänge und Bergrücken und ist überwiegend von Nadelwald bestanden.

Im oberen Lohrbach- und im Orbtal, wo der Bröckelschiefer zutage ausgeht und der Untergrund daher auch gut durchfeuchtet ist, werden die flachen Hänge als Weiden genutzt.

Dort, wo eine periglaziale Schuttdecke vorhanden ist, herrschen lehmige Sandböden vor, während über anstehenden Sandsteinen höchstens anlehmige Sandböden entwickelt sind (SCHÖNHALS 1954: 224). Landwirtschaftlich genutzt werden vornehmlich die lehmigen Sandböden, z. B. im Flörsbachtal und an einigen Stellen des Orbtals.

3.3. Wasserwegsamkeit der Gesteine

Der sandige Verwitterungsboden der fein- bis mittelkörnigen Sandsteine im Unteren Buntsandstein ist verhältnismäßig gut wasserdurchlässig. In den obersten Bodenschichten findet daher eine gute Wasseraufnahme und Versickerung statt. Das im Oberboden versickerte Wasser wird an unterlagernde Grundwasserleiter abgegeben.

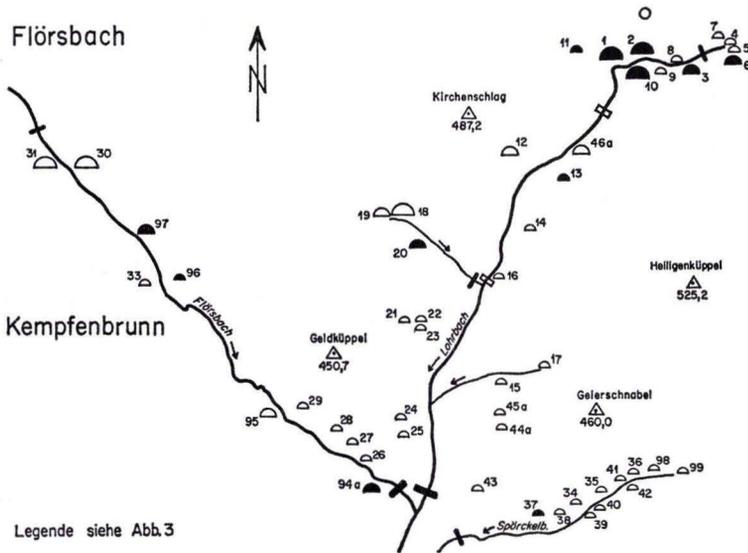


Abb. 4. Die Quellen des oberen Lohrbachgebietes im Sommer 1964.

Die wichtigsten Grundwasserleiter im Kartiergebiet bilden die Sandsteine des Unteren Buntsandsteins. Sie sind, da Porenräume kaum vorhanden sind, Kluftgrundwasserleiter, in denen sich das Grundwasser auf Klüften, Spalten, Schicht- und Bankungsfugen bewegt. Die Wasserwegsamkeit der Sandsteine wird somit hauptsächlich von der

Gesteinszerklüftung bestimmt. Unterschiede in der Wasserwegsamkeit zwischen den Sandsteinen der Gelnhausen-Folge (Heigenbrückener Sandstein, ECKScher Geröllsandstein, Dickbank-Sandstein) und den in der Bröckelschiefer-Folge eingelagerten Sandsteinen wurden nicht beobachtet.

Im Arbeitsgebiet in der Bedeutung hinter den klufftgrundwasserführenden Sandsteinen zurückstehend sind die Porengrundwasserleiter. Als solche treten auf: der in unterschiedlicher Mächtigkeit verbreitete Hangschutt, die Terrassensedimente, Schuttfächer und der Auelehm (s. 2.2.). Hangschutt ist als nahezu lückenlose Decke weit verbreitet und bildet an vielen Stellen einen recht guten Grundwasserleiter.

Seine Durchlässigkeit reicht von hohen Werten bei grober Ausbildung bis zu niedrigen bei starker Lehmbeimengung. Die Auesedimente sind wegen ihres hohen Anteils an Schluff und Ton dagegen weniger wasserwegsam. Die Schluff- und Tonsteine des Bröckelschiefers sind praktisch undurchlässig und wirken wasserstauend.

Aufgrund der unterschiedlichen Wasserwegsamkeit von Sand- und Schluff-Tonsteinen sind entsprechend der Schichtenfolge im Arbeitsgebiet mehrere Quellhorizonte entwickelt. Sie treten aber nicht nur an der Grenze Bröckelschiefer/Heigenbrückener Sandstein, sondern auch innerhalb der fein- und mittelkörnigen Sandsteinfolge und im Bröckelschiefer selbst (MATTHESS & THEWS 1959: 421, DIEDERICH 1969: 309) auf.

Der oberste Quellhorizont tritt ca. 60 — 75 m oberhalb des Bröckelschiefers im fein- bis mittelkörnigen Sandstein des Dickbank-Sandsteins auf. Tonsteinlagen in diesem stratigraphischen Niveau lassen das Grundwasser austreten und geben Veranlassung zu einem, allerdings nicht sehr ergiebigen Quellhorizont. Hierzu gerechnet werden im Arbeitsgebiet 14 von 100 kartierten Quellen.

Der nächsttiefere Quellbereich liegt an der Grenze des ECKSchen zum Heigenbrückener Sandstein, d. h. ca. 25 — 30 m über dem Bröckelschiefer. Er ist allerdings, wie die wenigen Quellen in diesem Niveau belegen (nur 5 von 100 kartierten), nicht durchgehend ausgeprägt.

Wieder als Quellhorizont anzusprechen ist dagegen eine Häufung von Grundwasser-austritten 10 m über dem Bröckelschiefer. Dort stauen schwache Tonlagen im Heigenbrückener Sandstein das zirkulierende Grundwasser und verursachen, wenn sie kräftiger entwickelt sind, Quellaustritte (12 von 100).

Der bedeutendste und wichtigste Quellhorizont des Untersuchungsgebietes ist der an der Bröckelschieferoberkante. Der darüberliegende Heigenbrückener Sandstein und die hangenden Sandsteinschichten sind gute Kluffgrundwasserleiter und erlauben ein Tiefersickern des neugebildeten Grundwassers bis auf die kaum durchlässigen Schluff- und Tonsteine des Bröckelschiefers. An der Oberkante des Bröckelschiefers sind daher zahlreiche und häufig stark schüttende Schichtquellen entwickelt (22 von 100 Quellen). Ein gutes Beispiel bilden die Orbquellen.

Weiterhin geben noch die Sandsteineinschaltungen im Bröckelschiefer (S. 12 — 14) Anlaß zu Quellaustritten.

Aufgrund der geringen Mächtigkeit der grundwasserleitenden Sandsteinlagen ist ihre Schüttung meist nur gering, jedoch ist der Schüttungsgang recht ausgeglichen. Die über-

lagernden Schluffsteine des Oberen Bröckelschiefers 1 und 2 sind nämlich doch nicht völlig undurchlässig, so daß aus der hangenden Sandsteinfole eine geringe, bei deren Mächtigkeit aber sehr ausgeglichene und gleichmäßige Zusickerung erfolgt. Bei intensiver Gebirgszerrüttung werden solche Quellen vereinzelt auch stärker und schneller aus den den Bröckelschiefer überlagernden Sandsteinen genährt (Beispiel Kaiserborn bei Bad Orb mit größerer Schüttung, aber auch unausgeglichenem Schüttungsgang). Stratigraphisch sind die Quellen an zwei Sandsteinlagen im Bröckelschiefer gebunden:

- a) 15 — 20 m unterhalb der Obergrenze (10 von 100 Quellen im Kartiergebiet)
- b) 40 m unterhalb der Obergrenze (7 Quellen)

Andere Quellen werden aus Schuttbildungen und damit aus Porengrundwasserleitern gespeist. Ihr Einzugsgebiet wird aber nur vereinzelt durch die Hangschuttverbreitung begrenzt; häufig beziehen sie auch Grundwasser aus einem Quellhorizont innerhalb der hangenden Sandsteinfole. Die Schüttung und die Stetigkeit der Schüttung solcher Quellen wird stark von den Eigenheiten des speisenden Quellhorizontes bestimmt, so daß sich in der Schuttquelle Auswirkungen verschiedener Grundwasserleiter überlagern.

Dieser Typ wurde bei der Quellkartierung relativ häufig angetroffen (29 von 100 Quellen).

3.4. Hydrochemie

Nach den vorliegenden Wasseranalysen ist die Gesamthärte des Grundwassers mit $0,6 - 1,6^\circ d$ äußerst gering. Die Karbonathärte lag zwischen $0,3$ und $1,4^\circ d$. Die geringen Härten des Grundwassers sind auf das fast völlige Fehlen von Erdalkalikalarbonaten in den Grundwasserleitern und auch auf den nur geringen Gehalt des Gesteins an Erdalkalien zurückzuführen. Die Werte für freie Kohlensäure sind dagegen allgemein verhältnismäßig hoch. In den meisten Quellfassungen wurden zwischen $5,5$ und $14,4$ mg/l freie Kohlensäure bestimmt. Das Quellwasser der Gemeinde Kempfenbrunn enthält sogar bis 73 mg CO_2 pro l. Die hohen Gehalte an freier Kohlensäure ergeben sich aus der Armut des Grundwassers an CO_2 -bindenden Mineralien.

Beim pH-Wert ergibt sich im Quellwasser eine Zunahme von stratigraphisch höher zu stratigraphisch tiefer gelegenen Niveaus. So zeigten die Quellen bei $60 - 75$ m über der Bröckelschiefer-Folge pH-Werte zwischen $5,8$ und $6,1$, bei $25 - 30$ m oberhalb und an der Oberkante des Bröckelschiefers im Hauptquellhorizont dagegen Werte von $6,0 - 6,3$ und im oberen Quellniveau innerhalb des Bröckelschiefers solche von $6,0 - 6,4$, im tieferen dagegen zwischen $6,2$ und $6,4$. Wahrscheinlich spielt bei der Zunahme des pH-Wertes sowohl der längere Kontakt des Grundwassers mit dem Speichergestein wie auch die steigende chemische Reaktionsfähigkeit der tieferen Grundwasserleiter eine Rolle. Im Jahresgang fällt der pH-Wert vom Winter- zum Sommerhalbjahr ab, was durch den Anstieg des CO_2 -Gehaltes in der Bodenluft durch Wurzel- und Bakterienproduktion und damit auch im Grundwasser verursacht sein dürfte.

Der Chloridgehalt der Grundwässer ist allgemein sehr niedrig. Zwar liegt der Wert im Wasser einer Quelle mit landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet (Leimbachquelle mit $9,9$ mg/l Cl^-) deutlich über dem des aus einem reinen Waldgebiet gespeisten Kaiserborns ($5,5$ mg/l Cl^-), jedoch ist der Unterschied im Chloridgehalt auch hier weniger auffällig als zu erwarten.

3.5. Abflußmessungen und Grundwasserneubildung

In Trockenzeiten werden die Oberflächengewässer nur aus dem Grundwasser gespeist. Mißt man daher die Wasserführung der Bäche bei Niedrigwasser und bezieht sie auf die Niederschlagsgebietsgröße, so erhält man die Grundwasserabflußspenden.

Im Arbeitsgebiet wurden vom 20. — 22. 7. 1964 während einer ausgesprochenen Trockenwetterperiode die oberirdischen Abflüsse aus den beiden Teilgebieten Bad Orb und Lohrhaupten gemessen. Dazu wurde an günstigen Meßstellen der Bachquerschnitt genau ermittelt, die Fließgeschwindigkeit des Wassers mit Stoppuhr und Schwimmer an mehreren Stellen der Wasseroberfläche bestimmt und aus dem Durchschnitt mehrerer Messungen die Abflußmenge errechnet. Wenn also auch das Meßverfahren nicht sehr genau ist, lassen die in Tab. 1 zusammengestellten Ergebnisse doch einige Aussagen zu.

Tab. 1. Trockenwetterabflüsse der Orb und des Lohrbaches im Juli 1964

Gewässer	Meßstelle		F _N km ²	NQ l/s	q l/skm ²
	R H	über NN m			
a) Teilgebiet Bad Orb					
Orb	35 28 04/05	276	6,8	15,6	2,3
	55 63 15/18				
Orb	35 25 75	193	5,5	36,5	6,6
	55 64 40				
Orb	35 24 75	162,5	4,3	33,7	7,8
	55 66 16				
Leimbach	35 24 43	167	1,6	2,3	1,4
	55 66 09				
Hasel	35 25 02	170	13,1	14	1,1
	55 65 03		31,3	102,1	3,26
b) Teilgebiet Lohrhaupten					
Lohrbach	35 34 20	325	13,1	17,9	1,4
	55 54 30				
Steinbach	35 33 31	305	1,7	5,1	3,0
	55 53 30				
Lohrbach	35 33 05	270	3,2	3,4	1,1
	55 51 75				
Flörsbach	35 32 95	270	14,1	15,8	1,1
	55 51 75				
Spörckelbach	35 32 96	275	5,5	4,1	0,7
	55 51 75		37,6	46,3	1,23

Bei Beurteilung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß das Abflußjahr 1964 ein sehr trockenes Jahr war, wie die gewässerkundliche Beschreibung „normal temperiert, niederschlagsarm, geringe Wasserführung, fallende Grundwasserstände“ (Ergänzungsh. Deutsch. Gewässerkdl. Jb., Ld. Hessen) angibt. Die Niederschläge lagen durchschnittlich um 25 — 30 % unter dem langjährigen Mittel. Grundwasserstände und Quellschüttungen blieben ebenfalls deutlich unter den Normalwerten. Die gemessenen Trockenwetterabflüsse im Arbeitsgebiet dürften daher bereits dem unteren Grenzwert der Grundwasserspense recht nahe kommen.

Die mittleren Abflüsse der beiden Teilgebiete sind aber mit 3,26 l/s km² für das Orbgebiet und nur 1,23 l/s km² für das Lohrbachgebiet dennoch recht verschieden. Da jedoch orographisch und geologisch praktisch gleichartige Verhältnisse vorliegen, dürften die Unterschiede in der Abflußspense auf das ungleiche Vorflutniveau der Oberflächengewässer zurückzuführen sein. So hat sich z. B. die Orb an der letzten Meßstelle bereits bis auf 162,5 m über NN eingeschnitten, der Lohrbach aber hat am Zusammenfluß mit Flörsbach und Spörckelbach erst rd. 270 m über NN erreicht.

4. Zusammenfassung

Die Bröckelschiefer-Folge des Unteren Buntsandsteins wurde in 4 stratigraphische Einheiten untergliedert. Hydrogeologisch wurde eine Quellkartierung durchgeführt. Die Quellen verteilen sich auf 6 Quellhorizonte. Der wichtigste liegt an der Oberkante der Bröckelschiefer-Folge, 2 weitere innerhalb dieser Folge und die restlichen im hangenden Sandstein. Hydrochemisch nimmt der pH-Wert vom stratigraphisch höchstgelegenen zum tiefsten Quellhorizont zu. Kohlensäuregehalt, Gesamt- und Karbonathärte des Grundwassers sind allgemein gering. Nach Trockenwetterabflußmessungen wurde die Grundwasserspense mit 3,3 und 1,2, im Mittel 2,2 l/s km² bestimmt.

5. Schriftenverzeichnis

- AZIMI, M. A. (1967): Geologische und hydrogeologische Untersuchungen des Bröckelschiefers um Bad Orb und Lohrhaupten. — Unveröff. Dipl.-Arb., 86 S., 6 Abb., 3 Tab., 1 Taf., 12 Anl.; Frankfurt a. M.
- BÜCKING, H. (1891): Geol. Spec.-Kte. Preußen u. thür. St., Lfg. 49, Bl. Lohrhaupten mit Erl.; Berlin.
- DIEDERICH, G. (1962): Die Geologie der Umgebung von Bieber (NW-Spessart). Mit besonderer Berücksichtigung der Stratigraphie und Petrographie des Unteren Buntsandstein (su, Trias). — Unveröff. Dipl.-Arb., 181 S., 24 Abb., 10 Tab., 1 Taf., 3 Anl.; Frankfurt a. M.
- (1965): Stratigraphie des Unteren Buntsandstein norddeutscher Auffassung im südlichen Beckenbereich. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 93: 141—146, 1 Tab.; Wiesbaden.
- (1966/67): Zur Stratigraphie des Unteren Buntsandstein im deutschen Buntsandsteinbecken. — Z. deutsch. geol. Ges. 1964, 116: 875—890, 2 Tab.; Hannover.
- (1969): Geologische Verhältnisse und Probleme bei Bieber. — Natur u. Museum, 99: 307—316, 3 Abb., 2 Tab.; Frankfurt a. M.
- & LAEMMLEN, M. (1964): Das obere Biebental im Nordspessart. Neugliederung des Unteren Buntsandstein, Exkursionsführer und geologische Karte. Mit einem Beitrag von R. VILLWOCK. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 48, 34 S., 2 Abb., 5 Tab., 4 Taf., 1 Kte.; Wiesbaden.
- MATTHESS, G. & THEWS, J.-D. (1959): Erfahrungen bei der hessischen hydrogeologischen Spezialkartierung 1 : 25 000 in den Jahren 1957 und 1958. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 87: 417—428, 4 Abb.; Wiesbaden.
- (1963): Hydrogeologie. — Erl. geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. 5223 Queck: 245—281, 4 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- NÖRING, F. (1951 a): Ausgewählte Fragen der Grundwasserchemie in Beziehung zu Oberfläche und Untergrund. — Z. deutsch. geol. Ges., 102: 123—128; Hannover.
- (1951 b): Einflüsse der Kunstdüngung auf den Chemismus des Grundwassers. — Gesundh.-Ing., 72: 190—191; München.
- MATTHESS, G. & THEWS, J. D. (1967): Die hydrogeologische Feldkartierung. — Mém. I. A. H.-Kongreß 1965, 7: 240—244; Hannover.
- PETTJOHN, F. J. & POTTER, P. E. (1964): Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures. — XV + 370 S., 117 Taf.; Berlin-Göttingen-Heidelberg-New York (Springer).
- SCHÖNHALS, E. (1954): Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit einer bodenkundlichen Übersichtskarte 1 : 300 000. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 2, 288 S., 25 Abb., 60 Tab., 15 Taf.; Wiesbaden.
- SEYFRIED, E. v. (1912): Geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St., Lfg. 172, Bl. Salmünster mit Erl.; Berlin.
- Hess. L.-Amt Gewässerkde. u. wasserwirtsch. Planung (1966): Ergänzungsheft zum Deutschen gewässerkundlichen Jahrbuch, Land Hessen, Rhein- und Weseranteil, Abtlußjahr 1964. — 105 S., 1 Kte.; Wiesbaden.
- Deutscher Wetterdienst (1950): Klima-Atlas von Hessen. — 75 Ktn., 9 Diagr., 20 S. Erl.; Bad Kissingen.

Manuskript eingegangen am 16. 8. 1973

Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet Ahlersbach (Kreis Schlüchtern)

Von

EL-ARBI HILALI

Mit 3 Abbildungen und 6 Tabellen

Kurzfassung: Im SE-Teil des Schlüchterner Beckens (Hessen) wurde der Obere Buntsandstein stratigraphisch neu gegliedert. Bei der hydrogeologischen Untersuchung wurden 3 Quellenhorizonte mit chemisch verschiedenen Wässern unterschieden. Aufgrund von Niedrigwasserabflußmessungen wurde die Grundwasserneubildung zu ermitteln versucht.

Abstract: In the southeast of the basin of Schlüchtern (Hesse) the Oberer Buntsandstein is stratigraphically revised. The hydrogeological exploration found three spring lines with different groundwater. By dry weather runoff the recharge of groundwater is estimated.

Inhalt

Vorwort	23
1. Zur Stratigraphie des Oberen Buntsandsteins	24
2. Hydrogeologie	28
2.1. Grundwasserleiter	28
2.2. Grundwasserneubildung	31
2.3. Beschaffenheit des Grundwassers	33
2.4. Wassergewinnung	40
3. Zusammenfassung	40
4. Schriftenverzeichnis	41

Vorwort

Die geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen im SE-Teil des Schlüchterner Beckens wurden 1963 im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt, die von Herrn Professor Dr. NÖRING angeregt und betreut wurde. Für die liebenswürdige Hilfe und die vielen wertvollen Ratschläge und Anregungen bin ich ihm zu großem Dank verpflichtet.

*) E.-A. HILALI, Dipl.-Geologe, Chef du Service d'Etude des Gîtes Minéraux, Direction des Mines et de la Géologie, Rabat, Royaume du Maroc.

1. Zur Stratigraphie des Oberen Buntsandsteins

In dieser Arbeit kann nur zusammenfassend auf die wichtigsten Ergebnisse eingegangen werden, ausführlichere Angaben in HILALI 1964.

Die Solling-Folge setzt sich im Arbeitsgebiet (Abb. 1) hauptsächlich aus einem dickbankigen, mittel- bis grobkörnigen, z. T. konglomeratischen Teil, der Dickbankigen Sandsteinserie, und der darüber folgenden, aus braunrotem bis violettem, z. T. weißlichem plattigem Feinsandstein bestehenden Wechselfolge zusammen. Die Dickbankige Sandsteinserie geht ohne deutlichen Übergang in die obere Wechselfolge über; jedoch läßt sich die Wechselfolge bei günstigen Aufschlüssen nicht nur durch plattige Ausbildung, sondern auch durch Einschaltung von braunroten, blätterigen Tonsteinlinsen und weißlichem, fein- bis mittelkörnigem Sandstein, der leicht zu Sand zerfällt, erkennen.

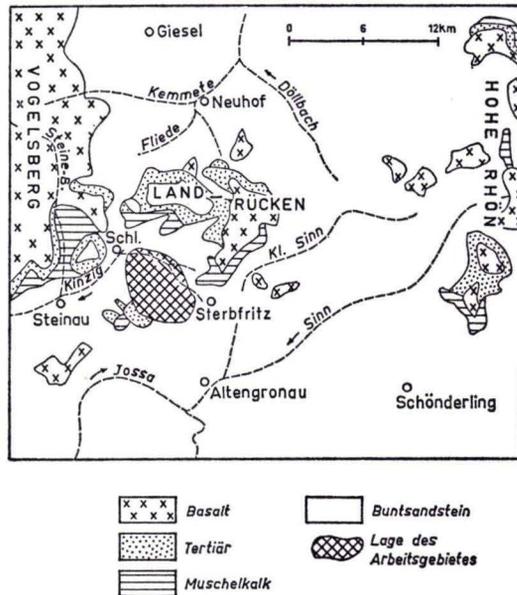


Abb. 1. Geologische Übersicht und Lage des Arbeitsgebietes.

Diese Ausbildung paßt zu der Vorstellung, daß die Faziesdifferenzierung des Oberen Buntsandsteins zum Beckeninneren hin mehr und mehr zur Geltung kommt, während zum Beckenrand hin eine mehr einheitliche Entwicklung auf Kosten des oberen Teiles vorhanden ist. Nach v. SEYFRIED (1911: 8—10) ist bei Steinau die Wechselfolge schwach entwickelt und wahrscheinlich nur durch eine schmutzig-weiße, mürbe Sandsteinbank vertreten.

Bei Salmünster ist nach FRANTZEN (1889) keinerlei Differenzierung mehr vorhanden. Dagegen berichtet BÜCKING (1899: 12) von Bl. Gelnhausen, daß im oberen Teil der heutigen Solling-Folge fein- bis mittelkörnige, weiß und gelblich-weiß gefärbte Sandsteine mit vereinzelt Quarzgeröllen auftreten. Im N-Teil des Bl. Neuhof (BECKER 1962) ist der obere Teil der Solling-Folge nach BECKER (1962) und LAEMMLEN (1964) gut entwickelt und von den unterlagernden Schichten deutlich unterschieden. Auch die Feststellung, daß die Mächtigkeit der Solling-Folge im Arbeitsgebiet in westlicher Richtung zunimmt, läßt sich in dem benachbarten Gebiet weiter verfolgen: v. SEYFRIED (1911) gibt von Steinau 20 m, bei Bad Orb (Salmünster) 25 m und bei Gelnhausen ca. 45 m Mächtigkeit an.

Während die Geröllführung sowohl im Arbeitsgebiet als auch im nördlichen, südlichen und östlichen Nachbargebiet auf die sogenannten Bausandsteine beschränkt ist, führt der obere Teil der Solling-Folge im westlichen bzw. südwestlichen Nachbargebiet, beispielsweise bei Gelnhausen, Quarzgerölle.

Aus der Mächtigkeit, der Geröllführung und der feinstratigraphischen Entwicklung läßt sich schließen, daß das Liefergebiet für die Sedimente der Solling-Folge weit im W bzw. SW des Schlüchterner Beckens lag.

E Brückenau zeigt nach SCHUSTER (1932) der Bausandstein eine Zweiteilung, die durch die Einschaltung von tonigem Sandstein verursacht ist. Diese Zweiteilung ist auch NW Neuhof beobachtet worden (BECKER 1962, LAEMMLEN 1964). Im SE-Teil des Schlüchterner Beckens erkennt man diese Zweiteilung ebenfalls, und zwar dadurch, daß die obere Bank der Dickbankigen Sandsteinserie vom unteren Teil derselben durch Feinsandstein und sogar durch eingeschaltete, sandige Tonsteinlinsen (z. B. Bg. 3 Herolz, zwischen 34 m und 35,5 m unter Gelände) getrennt ist.

Im Vergleich mit der Gliederung, die HERRMANN (1962) und LAEMMLEN (1962) von der Solling-Folge geben, entspricht der obere, als Wechselfolge ausgebildete Teil der Solling-Folge im Arbeitsgebiet dem Thüringischen Chirotheriensandstein. Im Vergleich mit SCHUSTER (1932) und REIS (1914, 1923 a, 1923 b, 1924) umfaßt die Solling-Folge den Felsandstein und den Thüringischen Chirotheriensandstein.

Das Röt, bzw. der Obere Buntsandstein im alten Sinne, das sich im Arbeitsgebiet in die Plattensandstein-Folge und die Röt-Folge aufgliedert, beginnt mit einer durchgehend entwickelten Tonsteinlage, dem Grauen Basiston. Darüber folgt zunächst die sandige Fazies des Plattensandsteins, die dann wieder von pelitischen Gesteinen, z. T. mit Einlagerung psammitischer Lagen, abgelöst wird. In den Unteren Röttonen herrschen pelitische Gesteine vor, sandige Sedimente sind dagegen nur vereinzelt ange deutet.

Mit Einsetzen der Rötquarzitserie macht sich der Festlandseinfluß dann noch einmal stärker bemerkbar. In den Oberen Röttonen herrscht jedoch wiederum Beckenfazies vor. Sandige Fazies tritt nur noch stark abgeschwächt in den bunten, quarzitischen Sandsteinen zwischen unterem und oberem Teil der Oberen Röttone auf. Danach ge-

winnt die Beckenfazies mehr und mehr an Einfluß, bis mit dem Einsetzen des Muschelkalks das Meer dann vorherrscht.

Die faziellen Untersuchungen haben gezeigt, daß sowohl die Meininger Fazies mit ihrem Becken-Charakter als auch die Main-Saale-Fazies mit ihrem Festlands-Charakter im Schlüchterner Becken vertreten sind. Die Vorherrschaft der pelitischen Sedimente im hangenden Teil der Plattensandstein-Folge spricht für Meininger Fazies, während die Entwicklung der festen Sandsteinbänke an der Basis des Plattensandsteins und die Ausbildung von Quarzitbänken in der Rötquarzitserie und im liegenden Teil der Oberen Röttone an die Main-Saale-Fazies erinnern. Daraus läßt sich schließen, daß wir im untersuchten Gebiet einen Übergang zwischen Festland- und Becken-Fazies haben. Zugleich zeigt die fazielle Entwicklung, daß feinstratigraphisch im Oberen Buntsandstein (im alten Sinne) ein deutlicher rhythmischer Aufbau vorliegt, der sich zweimal wiederholt. Während der erste Rhythmus, die Plattensandstein-Folge, von plattigen Sandsteinen und den liegenden Röttonen gebildet wird, beginnt der zweite Rhythmus, die Röt-Folge, mit der Rötquarzitserie als basalem, klastischem Glied und wird durch die Oberen Röttone als tonigem Endglied abgeschlossen. Neben diesen Hauptrhythmen (Folgen) lassen sich außerdem innerhalb eines großen Rhythmus noch weitere kleine Teilrhythmen feststellen.

Der Graue Basiston nimmt im Arbeitsgebiet in W- bzw. SW-Richtung in seiner Mächtigkeit ab, so daß von 6,0 m bei Bg. 1 (Vollmerz) bis zur Ziegeleigrube von Sannerz eine Abnahme auf 4,5 m erfolgt. In der Bg. 4 (Tuchfabrik Schäfer) beträgt die Mächtigkeit nur noch 4 m und in der Bg. 5 (Schlüchtern) schließlich nur noch 3 m. Diese Mächtigkeitsabnahme setzt sich nach Westen außerhalb des Arbeitsgebietes fort. Bei Steinau erreicht der Graue Basiston eine Mächtigkeit von 1 — 2,5 m (v. SEYFRIED 1911), bei Salmünster von 2,5 m und bei Gelnhausen eine Mächtigkeit von 2 — 3 m (BÜCKING 1889).

Innerhalb der Plattensandstein-Folge tritt von SW nach NE die sandige Fazies zugunsten der tonigen mehr und mehr zurück. Dies geschieht in der Art, daß psammische Gesteine in dem Bereich um Vollmerz vor allem noch im höheren Teil des eigentlichen Plattensandsteins auftreten, und daß in den Unteren Röttonen pelitische Gesteine gegenüber der Entwicklung bei Schlüchtern stark überwiegen. Die festen Sandsteine sind in den tiefen Schichten, wenn auch nur in geringer Mächtigkeit, ausgebildet. In E- bzw. NE-Richtung nehmen die Sandsteinlagen in ihrer Mächtigkeit weiterhin ab, so daß sie z. B. bei Fulda nur noch in dünnen Zwischenlagen vorhanden sind.

Die dolomitischen Linsen, die an der Grenze Plattensandstein/Untere Röttone auftreten, sind wohl als Vertretung des Grenzquarzits anzusehen, der bei Gambach am Main und bei Thüngersheim in Unterfranken (SCHUSTER 1934: 37, REIS 1928: 10) den Plattensandstein abschließt. Es handelt sich um bunte, dolomitische Gesteine, die den Plattensandstein zwar nicht unmittelbar überlagern, sondern im Hangenden mit einer Zwischenlage aus grünlichgrauem und rötlichem Tonstein einsetzen. Diese Entwicklung erinnert stark an die der Gegend von Hammelburg und Gräfendorf (SCHUSTER 1921: 13) und ganz besonders an die Entwicklung bei Bad Kissingen, wo der

Grenzquarzit karbonatisch ausgebildet ist (REIS 1914: 6). Die dolomitischen Lagen, die im Arbeitsgebiet dagegen an der Grenze der Unteren Röttone gegen die Rötquarzitserie auftreten, dürften wohl dem oberen Dolomit-Horizont im Odenwald (vgl. BACKHAUS 1960) entsprechen.

Die fazielle Ausbildung, die der Obere Buntsandstein im Schlüchterner Becken zeigt, und die einen Übergang zwischen Main-Saale-Fazies und Meininger Fazies darstellt, erleichtert die Korrelation der einzelnen im Arbeitsgebiet auftretenden Schichtglieder mit denjenigen der benachbarten Gebiete. Vor allem läßt sich die Grenzquarzitserie mit dem Rötquarzit Unterfrankens korrelieren. Die Ergebnisse haben gezeigt, daß die Plattensandstein-Folge des Arbeitsgebiets mit dem Plattensandstein und den Unteren Röttonen oder Zwischenschichten nach der Gliederung von SCHUSTER (1932 — 1936) und REIS (1928) bzw. mit der Unteren Röt-Folge oder Plattensandstein-Folge nach HERRMANN (1962) und LAEMMLEN (1962) gleichgesetzt werden muß. Nach der Gliederung von BACKHAUS (1960) im Odenwald umfaßt sie den unteren Plattensandstein, den Steinbacher Ton, den oberen Plattensandstein und den oberen Dolomit-Horizont.

Die Röt-Folge ist im bayerischen Gebiet dem Fränkischen Chirotheriensandstein und den Oberen Röttonen gleichzusetzen (SCHUSTER 1932 — 1936, LAEMMLEN 1962); im Odenwald (BACKHAUS 1960) umfaßt sie den Fränkischen Chirotheriensandstein und das Röt. Die Rötquarzitserie im Schlüchterner Becken umfaßt aber nicht nur den Fränkischen Chirotheriensandstein oder Rötquarzit SCHUSTERS, sondern auch noch die darunter und darüber liegenden Bänke und Lagen mit den Zwischenschichten. Die Entwicklung der Rötquarzite geht in NE-Richtung stark zurück, so daß bei Fulda nur noch stellenweise eine schmale Quarzitbank entwickelt ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Faziesentwicklung im Oberen Buntsandstein des Schlüchterner Beckens eine Zwischenstellung zwischen der Beckenentwicklung der Meininger-Fazies und der randnahen Entwicklung der Main-Saale-Fazies einnimmt, so daß im Plattensandstein die tonige Ausbildung allmählich überwiegt, während die sandige Entwicklung nach NE mehr und mehr zurückgeht. Am Aufbau der Unteren und Oberen Röttone sind Tonsteine bis zur Vorherrschaft beteiligt. Andererseits ist die Ausbildung der Rötquarzite und die Einschaltung von sandiger Fazies im unteren Teil der Oberen Röttone als stärkerer Einfluß der Randfazies zu betrachten. Der Grenzquarzit, der als Abschluß des Plattensandsteins eine wichtige Rolle im Main-Saale-Gebiet spielt, ist im Arbeitsgebiet durch karbonatische Sedimente vertreten. Der obere Dolomit-Horizont, der im Odenwald weit verbreitet ist, tritt auch im Schlüchterner Becken auf. Der Fränkische Chirotheriensandstein ist als Rötquarzit gut entwickelt.

Die Mächtigkeit des Röts im eigentlichen Sinne nimmt in ähnlicher Weise wie die fazielle Ausbildung zwischen unterfränkischem und thüringischem Raum im Schlüchterner Becken ebenfalls eine Zwischenstellung ein. Während die Mächtigkeit in Unterfranken ca. 90 m beträgt (z. B. bei Gambach am Main), ist sie im Arbeitsgebiet auf ca. 100 m angewachsen, von hier aus bis nach Thüringen hinein erfolgt dann eine weitere Mächtigkeitszunahme bis auf ca. 130 m (z. B. bei Meiningen). In SE-Richtung nimmt

die fazielle Entwicklung mehr und mehr randlichen Charakter an, was sich bereits im Arbeitsgebiet mehr oder weniger augenfällig andeutet.

Eine wesentliche Grundlage für die stratigraphischen Ergebnisse waren 5 im Untersuchungsgebiet niedergebrachte Tiefbohrungen, deren Schichtenverzeichnisse von Herrn Prof. Dr. NÖRING aufgenommen wurden. Die Bohrprotokolle wurden in meiner Diplomarbeit (HILALI 1964) aufgeführt und gedeutet.

2. Hydrogeologie

2.1. Grundwasserleiter

Das hydrogeologisch untersuchte Gebiet liegt im südlichen Teil des Quellgebietes der Kinzig und an deren Oberlauf. Es umfaßt Höhenlagen zwischen 280 und 480 m über NN. Für diesen Raum wurden aus langjährigen Beobachtungen (1891 — 1955) folgende hydrologische und meteorologische Durchschnittswerte registriert. Im langjährigen Mittel fällt die größte Niederschlagsmenge (470 mm von insgesamt 891 mm) im Sommerhalbjahr. Die größte Grundwasserneubildung findet jedoch aufgrund des niedrigen Verdunstungsgrades und der Schneeschmelze im Winterhalbjahr statt. Die Verdunstung beträgt ca. 441 mm, der Abfluß 450 mm und die durchschnittliche Jahrestemperatur $+ 7^{\circ}\text{C}$ (Klima-Atlas von Hessen).

Das untersuchte Gebiet gehört nahezu vollständig dem Einzugsgebiet der Kinzig an (Abb. 1 u. 2).

Im Untersuchungsgebiet weichen die oberirdischen von den unterirdischen Einzugsgebieten stark ab, so daß z. B. ein großer Teil des Niederschlagsgebiets im Einzugsgebiet des Auerbachs zum unterirdischen Einzugsgebiet des Ahlersbaches gehört. In ähnlicher Weise fließt am Hohenzeller Berg ein Teil des versickerten Niederschlagswassers zum Auerbach ab, obwohl die Bergoberfläche zum Kinzigeinzugsbereich gehört. Die Ursachen für diese Abweichungen sind in der allgemeinen Tektonik des Gebietes und im speziellen tektonischen Gefüge des Muschelkalks mit seiner starken Klüftung und seinen stark wechselnden Einfallrichtungen zu suchen; auch die wechselnde Schuttüberdeckung spielt dabei eine gewisse Rolle (Abb. 2).

Im SE-Teil des Schlüchterner Beckens lassen sich drei Hauptquellhorizonte unterscheiden. Der oberste Horizont ist an die Basis des Basalts gebunden und liegt über den tonigen Schichten des Burdigals. Die absolute Höhe dieses Horizonts liegt südlich der Gitterlinie 55 76 00 bei 440 — 420 m über NN, nördlich davon zwischen 340 und 320 m über NN. Der nächsttiefer Horizont liegt an der Basis des Muschelkalks über den tonigen Schichten des Röts. Seine absolute Höhenlage schwankt zwischen 360 und 320 m über NN, soweit die Quellen nicht gefaßt sind; infolge der Schuttüberdeckung entspringen die Quellen aber vorwiegend etwas unter der Muschelkalk/Röt-Grenze. Der dritte und unterste Hauptquellhorizont liegt zwischen dem Grauen Basiston des Röts und ist an die erste Sandsteinbank des Plattensandsteins geknüpft. Seine absolute Höhenlage beträgt südlich der Gitterlinie 55 77 00 zwischen 360 und 320 m über NN,

nördlich davon weniger als 270 m über NN. Die Quellen dieses Horizontes sind meist periodische Quellen. Zu diesen drei Hauptquellhorizonten kommen noch einige intermittierende Quellen, die aus verschiedenen, sandig ausgebildeten Bänken des Röts, wie beispielsweise dem Rötquarzit, entspringen.

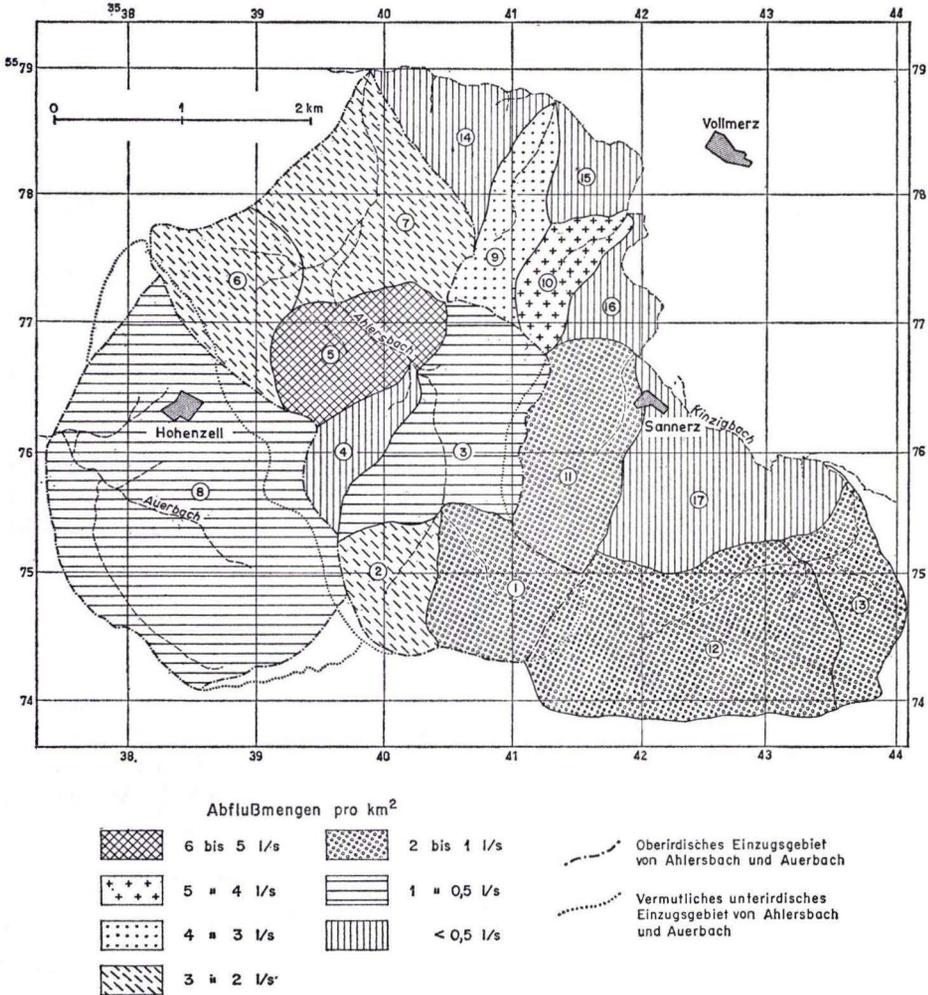


Abb. 2. Abflußpenden bei Niedrigwasser.

Zur Erfassung des oberirdischen Abflusses wurden am 4. 9. 1963 Abflußmessungen durchgeführt. Die gemessenen Abflußwerte wurden für die verschiedenen Niederschlagsgebiete in l/s km² umgerechnet und in Abb. 2 zur Darstellung gebracht. Die einzelnen Werte sind der Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1. Abflußspenden im September 1963

Teilniederschlagsgebiet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ahlersbach (1—7)
Fläche in 10 ⁻³ km ²	969	656	1612	500	981	1084	1728	4687	669	494	1281	2656	787	7530
Abfluß l/s	1	1,5	1,25	—	5	2,8	3,5	3,2	2,2	2,2	1,5	3,2	1,2	15,05
Abflußspende l/s km ²	1,03	2,29	0,78	—	5,1	2,58	2,03	0,68	3,28	4,45	1,17	1,21	1,53	2,0
Abflußhöhe mm	32,5	72,1	24,5	—	161	81,3	63,8	21,5	103,5	140	36,9	38	48	63

Zu den Teilniederschlagsgebieten 14 — 17 s. diese Seite unten.

Die höchste Abflußspende liefert die bei Ahlersbach liegende Fläche Nr. 5 mit 5,1 l/s km². Dies steht in unmittelbarem Zusammenhang damit, daß der Muschelkalk in diesem Gebiet stark verbreitet ist. Vor allem aber trägt die halbschüsselförmige Lagerung der Schichten zwischen dem Ursprung des Ahlersbachs und dessen Mündung wesentlich dazu bei, daß der oberirdische Abfluß hier so groß ist. Das unterirdische Einzugsgebiet des Ahlersbachs erstreckt sich durch die tektonische Lagerung der Schichten über die oberirdische Wasserscheide hinweg nach W und erfaßt noch einen Teil des im Einzugsgebiet des Auerbachs versickernden Wassers und zugleich einen größeren Teil des unterirdischen Einzugsgebietes der südlich anschließenden Fläche 4.

Die kleinste Abflußspende liefert die Fläche 4 mit weniger als 0,2 l/s km². Dies steht in ursächlichem Zusammenhang damit, daß die Muschelkalkfläche im Einzugsgebiet nach W und NE einfällt, so daß über der Fläche 4 ein flacher Luftsattel zu denken ist. Im April 1963 z. B. lieferte die an dieses Niederschlagsteilgebiet gebundene Quelle 25 noch rund 1,5 l/s, Ende Mai war sie aber bereits versiegt, weil sie ihr Wasser zum großen Teil aus Muschelkalk-Rutschmassen bezieht.

Der Auerbach führt auch nur 0,68 l/s km² ab, denn der Hauptteil seines im Bereich des Muschelkalks versickernden Niederschlagswassers fließt infolge der Schichtenlagerung dem Ahlersbach zu. Außerdem wirkt im Einzugsbereich des Auerbachs die starke Überdeckung mit periglazialelem lehmig-tonigem Gehängeschutt abdichtend und damit als ein Hindernis für die Ausbildung von Quellen.

Die Flächen 14, 15, 16 und 17 liefern nur eine außerordentlich geringe Abflußspende von 0,2 l/s km². Die Ursache dafür liegt wohl größtenteils in dem Vorhandensein einer tonigen Kulturoberfläche in diesen Teilgebieten. Es sind dadurch ein höherer oberirdischer Abfluß, ein stärkerer Verdunstungsgrad und eine geringere Infiltration zu erwarten, und eng damit verbunden ist die über das Jahr gesehen nur kurzfristige Wasserabgabe der Quellen dieser Niederschlagsteilgebiete.

Der Ahlersbach, der von der Quelle bis zur Mündung durchweg einer Einmündung der Schichten folgt und damit in einer sehr günstigen geologischen Position verläuft, zeigt dagegen eine Abflußspende von $2,0 \text{ l/s km}^2$. Das allgemeine Gefälle der Muschelkalkuntergrenze von Weiperz über Ahlersbach hinaus bedingt die Abweichung des unterirdischen Einzugsgebietes vom Niederschlagsteilgebiet der benachbarten Wasserläufe (Abb. 2). Diese Ursache führt auch zu dem starken Auftreten von Muschelkalkwasser in der Umgebung der Ortschaft Ahlersbach.

Diese markanten Unterschiede in den Abflußspenden lassen sich auch zu anderen Zeiten in derselben Form wiederfinden, wie das folgende Beispiel zeigt. Die im September 1963 gemessenen Abflußspenden werden denjenigen gegenübergestellt, die der Kinzig-Rahmenplan für den Oktober 1959 gibt:

Meßzeit	Auerbach	Ahlersbach
Oktober 1959	$0,5 \text{ l/s km}^2$	$1,2 \text{ l/s km}^2$
September 1963	$0,68 \text{ l/s km}^2$	$2,0 \text{ l/s km}^2$

2.2. Grundwasserneubildung

Die Muschelkalkgesteine verfügen sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung über eine sehr gute Durchlässigkeit. Es kommt dadurch zu einem raschen Abfluß des neugebildeten Grundwassers; im Gegensatz dazu zeigt aber der Basalt einen hohen Durchflußwiderstand, er besitzt daher ein großes Speichervermögen.

Die Bestimmung der Grundwasserneubildung stützt sich auf den Niedrigwasserabfluß und auf die bodenkundlichen, geologischen und klimatologischen Unterlagen. Da bei den vom Verfasser im September 1963 durchgeführten Abflußmessungen höhere Werte ermittelt worden sind als die im Oktober 1959 nach dem damaligen extrem trockenen Sommer gemessenen amtlichen Werte, werden als Unterlage für die Ermittlung der Grundwasserneubildung im folgenden die Werte des Trockenwetterabflusses vom Oktober 1959 benutzt (vgl. Tab. 2).

Tab. 2. Trockenwetterabfluß Oktober 1959

Wasserlauf	Abflußmenge	Abflußspende	Abflußhöhe
Grennelbach	4,5 l/s	$0,5 \text{ l/s km}^2$	16,5 mm
Ramholzwasser	8,0 l/s	$1,6 \text{ l/s km}^2$	52,8 mm
Semenbach	10,4 l/s	$1,3 \text{ l/s km}^2$	42,9 mm
Ahlersbach	9,6 l/s	$1,2 \text{ l/s km}^2$	39,6 mm
Kinzig oberhalb Schlüchtern	81,7 l/s	$1,9 \text{ l/s km}^2$	62,7 mm
Auerbach	3,5 l/s	$0,5 \text{ l/s km}^2$	16,5 mm

Aus Tab. 2 ist zu ersehen, daß die Wassermenge der Kinzig, die unterhalb von Sterbfritz (in der Tabelle als Semenbach bezeichnet) noch bei $10,4 \text{ l/s}$ liegt, bis oberhalb Schlüchtern stark zugenommen hat und dort schon 81 l/s überschreitet. Berücksichtigt

man die Abflußmengen der Wasserläufe, die zwischen diesen beiden Meßpunkten in die Kinzig einmünden, so kommt man zu dem Schluß, daß die Abflußmenge zwischen diesen Punkten im Vergleich zu den hydrogeologischen Verhältnissen anormal stark angewachsen ist. Sehr wahrscheinlich ist dies auf die nachfolgend aufgeführten Ursachen zurückzuführen:

- a) Die Gesteine der Solling-Folge, die unmittelbar unterhalb Sterbfritz eine ausgedehnte Fläche einnehmen, nehmen einen großen Teil des Kinzigwassers auf, geben es aber bei Sannerz wieder an den Vorfluter ab.
- b) Ähnlich verhält es sich beim Ramholzwasser und beim Grennelbach. Auch hier versickert der Abfluß zum größten Teil in den Gesteinen der Solling-Folge und tritt dann unterhalb von Vollmerz im Kinziglauf wieder aus.
- c) Zwischen Sterbfritz und Herolz wird die Kinzig aus Gesteinen der Solling-Folge mit Wasser gespeist, das nicht aus dem Niederschlagsgebiet der Kinzig stammt. Durch die schüsselförmige Lagerung der Schichten in der Schlüchterner Mulde fließt es der Kinzig von E her aus dem Niederschlagsgebiet der Schmalen Sinn im Untergrund zu.
- d) Schließlich trägt auch das Abwasser der Tuchfabrik Schäfer, das unterhalb von Herolz in die Kinzig eingeleitet wird, zu der geschilderten anormal starken Abflußzunahme bei.

Für die Berechnung der Grundwasserneubildung im Kinziggebiet ist also folgendes zu beachten:

- a) Die Wassergewinnung aus Brunnenbohrungen dürfte durch Uferfiltration entlang der Kinzig ausgeglichen sein.
- b) Das Wasser, das aus fremden unterirdischen Einzugsgebieten in der Hauptsache durch Gesteine der Solling-Folge, z. T. aber auch durch Gesteine des Mittleren Buntsandsteins innerhalb des Arbeitsgebiets der Kinzig zugute kommt, kann quantitativ nicht erfaßt werden.

Damit läßt sich die Grundwasserneubildung für das südöstliche und z. T. auch für das südwestliche Quellgebiet der Kinzig in vereinfachter Form wie folgt ermitteln:

Die Niedrigwasserspense (Grundwasserspense oder Trockenwetterabfluß) für die obere Kinzig beträgt $1,9 \text{ l/s km}^2$ oder 63 mm Abflußhöhe. Die minimale Grundwasserneubildung beträgt also $2,5767 \text{ hm}^3/\text{a}$. Die vereinfachte Wasserhaushaltsgleichung lautet:

$$N = A_0 + A_u + V$$

Dabei bedeutet: N die Niederschlagshöhe in Millimeter pro Jahr; sie beträgt für das Arbeitsgebiet 891 mm . A_u den unterirdischen Abfluß in Millimeter pro Jahr; er beträgt für die obere Kinzig innerhalb des Arbeitsgebietes 63 mm . V die Verdunstungshöhe in Millimeter pro Jahr; sie beträgt für das Arbeitsgebiet 441 mm . A_0 stellt den oberirdischen Abfluß in Millimeter pro Jahr dar.

Es ergibt sich danach folgende Bilanzrechnung:

$$A_u = N - V - A_0$$

Mit eingesetzten Zahlenwerten:

$$63 = 891 - 441 - 387$$

In Prozentteilen ausgedrückt:

$$7,5\% = 100\% - 52,5\% - 40\%$$

Dies bedeutet: von einer jährlichen Niederschlagsmenge von 891 mm verdunsten 441 mm oder $52,5\%$, 387 mm oder 40% fließen oberflächlich ab und nur 63 mm oder $7,5\%$ kommen durch Versickerung dem Grundwasser zugute, fließen also unter-

irdisch ab. Diese geringe Menge des unterirdischen Abflusses kennzeichnet bei den hohen Niederschlagswerten ein relativ ungünstiges hydrogeologisches Verhältnis. Dies ist so zu deuten, daß sehr große Flächen des Untersuchungsgebietes von den außerordentlich schlecht durchlässigen Röt- und Tertiärgesteinen (Tonsteine und Tone) eingenommen werden. Dazu kommt außerdem, daß der stark zerklüftete Muschelkalk einen geringen Durchflußwiderstand besitzt, also kein Rückhaltevermögen hat.

Für den Ahlersbach beträgt die Niedrigwasserspense $1,2 \text{ l/s km}^2 = 40 \text{ mm}$ Abflußhöhe. Die Grundwasserneubildung beträgt also $0,299 \text{ hm}^3/\text{km}^2$. Obgleich dem Ahlersbach ein Teil des im Bereich des Auerbach-Niederschlagsgebiets fallenden Regens zugute kommt (s. o.), beträgt die Abflußhöhe trotzdem nur 40 mm oder $6,5 \%$ des Gesamtniederschlags. Dieser niedrige Prozentsatz ist so zu erklären, daß der Ahlersbach im Gegensatz zur Kinzig nicht durch Grundquellen aus der Solling-Folge verstärkt werden kann, weil er dieses tiefe stratigraphische Niveau noch nicht angeschnitten hat. Außerdem spielen auch die relativ steilen Hänge, die das Ahlersbach-Tal begleiten, eine Rolle.

Der Trockenwetterabfluß des Auerbaches ist außerordentlich gering und beträgt nur 17 mm oder 2% vom Jahresniederschlag. Dieser niedrige Wert ist in erster Linie eine Folge des ungünstigen unterirdischen Einzugsgebiets. Weiterhin muß berücksichtigt werden, daß die obere Röt-Folge einen großen Teil des Niederschlagsgebiets einnimmt und außerdem wenig durchlässige, tonige Schuttmassen des Tertiärs die Muschelkalkhänge überdecken.

Die — im Vergleich mit den beiden zuletzt ermittelten Werten — relativ günstige Niedrigwasserspense der oberen Kinzig ist in erster Linie darauf zurückzuführen, daß der Untergrund in dem betrachteten Raum zu einem sehr großen Teil von den durchlässigen Gesteinen der Solling-Folge und des Plattensandsteins eingenommen wird.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich, daß bei bekannter Niederschlagsmenge und Verdunstungshöhe der Trockenwetterabfluß eines Gebietes die hydrogeologischen Verhältnisse des Bodens und des Untergrunds, d. h. dessen Durchlässigkeit und Speicherefähigkeit widerspiegeln kann.

2.3. Beschaffenheit des Grundwassers

Zu Beginn der hydrogeologischen Untersuchungen war geplant, den eventuellen Einfluß der Außentemperatur auf die Temperatur des Grundwassers durch vergleichende Messungen zu untersuchen. Das durch die außergewöhnlichen meteorologischen Verhältnisse verursachte Versiegen der meisten für diese Messungen ausgewählten Quellen läßt es im folgenden aber lediglich zu, allgemeine Feststellungen zu machen.

So scheint z. B. die Temperatur des Basaltwassers nur sehr wenig von der Temperatur der Luft abhängig zu sein. Die gemessenen Temperaturwerte bei Quellen im Basalt nähern sich sehr stark der mittleren Jahrestemperatur und schwanken unabhängig vom Meßdatum um höchstens 1°C . Als Beispiele seien die Quellen 68 und 47 (Abb. 3) angeführt:

	Datum	Wassertemperatur	Lufttemperatur
Quelle 68	20. 3. 63	7,8° C	3,0° C
Quelle 47	26. 3. 63	8,5° C	7,0° C
Quelle 47	23. 7. 63	9,0° C	24,0° C

Beim Muschelkalkwasser ist der Einfluß der Außentemperatur dagegen wesentlich größer, vor allem bei nahe an der Erdoberfläche liegenden Quellen. Allgemein schwankt hier die Temperatur um -3°C . Als Beispiele sollen hier die Quellen 87 und 37 (Abb. 3) dienen:

	Datum	Wassertemperatur	Lufttemperatur
Quelle 87	28. 3. 63	9,0° C	7,0° C
Quelle 87	24. 7. 63	11,0° C	26,0° C
Quelle 37	25. 3. 63	7,6° C	4,0° C
Quelle 37	26. 7. 63	8,5° C	20,0° C

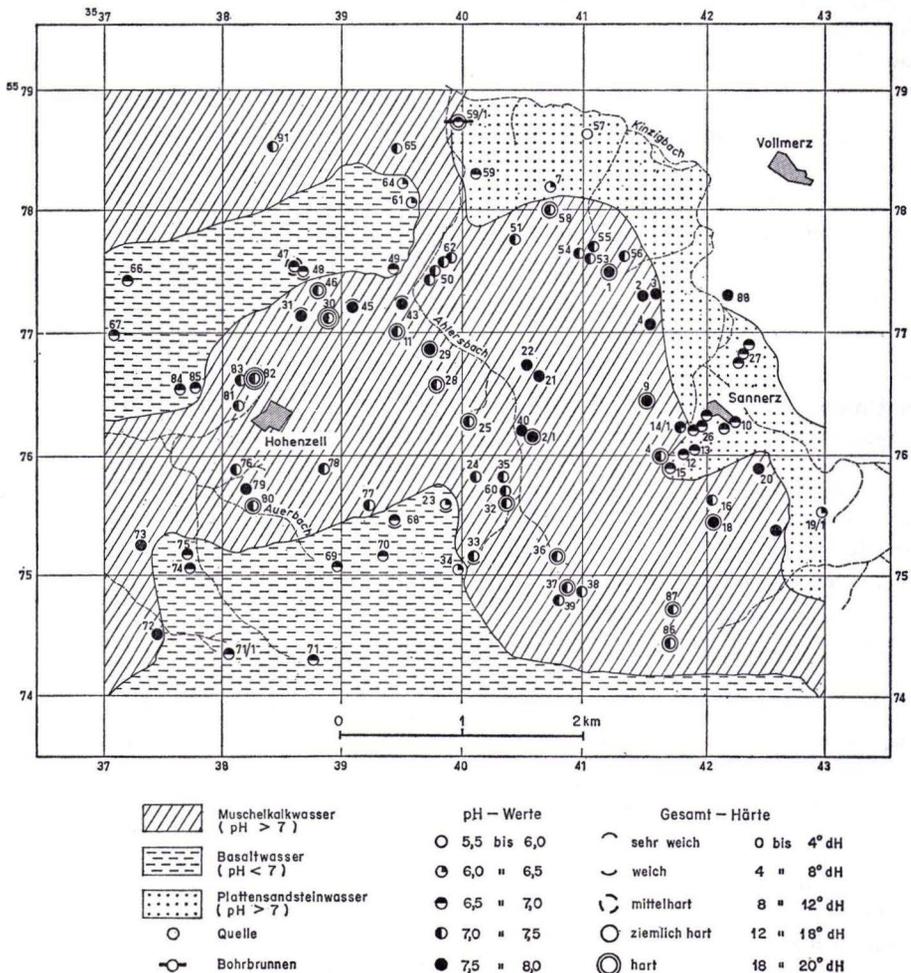


Abb. 3. Grundwasserbeschaffenheit.

Abgesehen von Spaltenwässern schwankt die Temperatur von Muschelkalkwässern zwischen 7,5 und 12,0 °C, die Temperatur von Basaltwässern zwischen 7,0 und 9,0 °C. Der Grund für diese unterschiedlichen Temperaturspannen ist darin zu suchen, daß das Wasser im Basalt langsam zirkuliert und damit mehr Zeit hat, sich der Gesteinstemperatur anzupassen, wogegen das Wasser im Muschelkalkgestein durch dessen starke Zerklüftung von der Versickerung bis zum Wiederaustritt nur eine relativ kurze Zeit benötigt; es kann seine Temperatur deshalb weniger gut an die Gesteinstemperatur angleichen.

Tab. 3. Analysenergebnisse von Quellwässern des Arbeitsgebietes
Tag der Entnahme: 24. 4. 1963

Quelle	pH	KH °d	GH °d	Cl ⁻ mg/l	Fe ²⁺	Ca ²⁺ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
1	7,9	12,9	13,4	9	—	64	24
2/1	7,6	15,7	17,1	10	—	64	27
9	7,5	17,4	18,2	10	—	45	28
11	7,4	13,7	16,7	14	—	61	28
14	7,3	14,6	15,6	10	—	86	30
18	7,7	15,1	16,1	11	—	66	24
20	7,5	11,5	12,4	11	—	66	30
22	7,7	17,4	18,6	10	—	73	27
23	6,4	4,5	5,7	11	Sp.	24	24
25	7,4	15,7	16,9	9	Sp.	94	26
28	7,3	15,1	17,1	10	—	92	22
29/1	7,5	15,1	17,0	12	—	87	27
30	7,2	14,8	18,8	15	—	109	29
32	7,4	13,2	14,5	10	Sp.	89	28
33	7,4	6,2	7,5	9	Sp.	41	35
36	7,2	14,8	15,1	8	—	97	32
37	7,3	14,6	15,4	10	—	90	28
46	7,2	7,3	11,0	15	0,2	44	58
47	6,8	7,0	8,5	12	—	34	28
48	6,9	6,2	7,4	13	Sp.	31	28
53	7,4	15,7	16,5	10	neg.	71	25
58	7,5	16,5	17,4	10	—	98	31
59/1	6,8	10,1	11,8	9	Sp.	61	12
68	6,5	5,6	7,1	13	—	27	40
71	6,6	2,8	3,6	9	—	14	26
80	7,2	15,1	16,6	11	—	94	31
82	7,2	15,4	19,4	16	—	111	33
86	7,2	14,0	14,7	9	—	91	24
87	7,2	14,6	15,8	10	—	83	29
90	7,1	9,5	11,8	11	—	46	51

Tab. 4. Analysenergebnisse von Quellwässern des Arbeitsgebietes
Tag der Entnahme: 20. 7. 1963

Quelle	pH	KH °d	GH °d	Cl ⁻ mg/l	Fe ²⁺	Ca ²⁺ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
9	7,7	15,4	15,9	9	—	90	13
11	7,6	13,2	15,9	14	—	101	21
14	7,7	15,8	16,4	9	—	86	19
22	7,8	16,0	17,4	10	—	79	29
23	6,55	5,6	6,6	11	Sp.	29	20
27	7,5	14,8	16,3	12	—	101	26
28	6,9	15,8	17,5	12	—	111	18
30	7,1	14,8	18,4	17	Sp.	114	28
36	7,4	14,3	14,5	9	—	82	15
37	7,65	14,6	15,5	8	—	92	23
47	7,9	8,1	9,4	12	—	21	21
53	7,5	15,8	16,5	10	—	79	25
68	6,4	5,6	7,2	10	—	26	27
82	7,3	16,5	18,2	11	—	91	19
87	7,4	14,3	15,2	10	—	86	22
90	6,9	9,8	12,4	12	—	28	47

Sehr stark artesisch überlaufendes Wasser wurde in einigen Brunnenbohrungen (Bg. 3 Herolz, Bg. 4 Tuchfabrik Schäfer, Bg. 5 Schlüchtern) beim Durchstoßen der Grenze Plattensandstein-Folge/ Solling-Folge angetroffen. Es handelt sich dabei also um ein Grundwasserstockwerk, das an die Solling-Folge geknüpft ist und durch deren schüsselförmige Lagerung innerhalb des Schlüchterner Beckens eine natürliche Spannung besitzt.

Das Grundwasser im Untersuchungsgebiet läßt sich aufgrund der Wasserstoffionen-Konzentration (pH-Wert) in zwei große Gruppen einteilen. Dabei unterscheidet sich das Muschelkalkwasser mit Werten, die über pH 7 liegen, sehr deutlich von den Wässern aus den übrigen Gesteinen; der pH-Wert dieser Wässer liegt durchweg unter pH 7 (Abb. 3). In der letztgenannten Gruppe lassen sich nach der zunehmenden Wasserstoffionen-Konzentration, d. h. nach dem absteigenden pH-Wert, folgende Unterschiede treffen:

- 1) Basaltwasser
- 2) Mischwasser aus Basalt- und Muschelkalkwasser
- 3) Wasser aus Gesteinen der Solling-Folge und des Mittleren Buntsandsteins mit Beimengung von Muschelkalkwasser
- 4) Wasser aus dem Plattensandstein
- 5) Reines Wasser, d. h. Wasser ohne andersartige Wasserbeimengung, aus Gesteinen der Solling-Folge und des Mittleren Buntsandsteins.

Aufgrund der chemischen Analysen vom 24. 4. und 20. 7. 63 (Tab. 3 und 4), konnte festgestellt werden, daß die Härte der Wässer aus dem Untersuchungsgebiet innerhalb der Härtebereiche „weich“ bis „hart“ variieren. So liegt z. B. das Basaltwasser stets im weichen Bereich zwischen 4 — 8°dH, während das Muschelkalkwasser mit 12,4 —

18,8° dH in den Bereich zwischen ziemlich hart bis hart fällt. Die Ursache für die Variation in der Härte dürfte bei den Muschelkalkwässern darin zu suchen sein, daß die Menge der im Wasser gelösten Kohlensäure und der Zirkulationsweg des Wassers sowie die Wassermenge sehr unterschiedlich sein können; außerdem spielt dabei auch die Temperatur des Wassers eine Rolle. Beim Basaltwasser ist als Ursache der Härteunterschiede die verschiedene mineralogische Zusammensetzung des durchflossenen Basalts zu berücksichtigen.

Die Mischwässer fallen in den Bereich zwischen „mittelhart“ bis „ziemlich hart“; hierher gehören z. B. solche aus Muschelkalkwasser mit Wässern aus Gesteinen der Solling-Folge und/oder dem Mittleren Buntsandstein. Ein Beispiel hierfür bietet der Wasserversorgungsbrunnen für den Ort Herolz. Außerdem gehören hierher Basalt-Muschelkalk-Mischwässer, ein Beispiel dafür bietet die Quelle 46.

Ganz besonders weich sind schließlich noch die reinen Wässer aus Gesteinen der Solling-Folge und/oder des Mittleren Buntsandsteins; ein Musterbeispiel dafür bietet der Bohrbrunnen der Tuchfabrik Schäfer bei Herolz.

Tab. 5. Chemismus des unteren Grundwasserstockwerks
(Solling-Folge und Mittlerer Buntsandstein)

Bohrung	Datum	20. 2. 57	4. 9. 57	21. 8. 59	29. 7. 60	12. 5. 61	3. 10. 62	19. 4. 63
Herolz	KH °d	10,9	10,32	10,6	10,4	10,6	10,6	10,1
	GH °d	12,3	12,1	11	11,2	11,2	11,6	11,7
	Cl ⁻ (mg/l)	9	12	10	11,2	7,5	5,9	11,7
	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	12	17	12	8	16	17	11
	pH	7	7,1	7	7,1	7	6,9	6,8
Sannerz	Datum				29. 7. 60	12. 5. 61	3. 10. 62	19. 4. 63
	KH °d				15,4	14,3	13,7	14,9
	GH °d				16,5	16,5	15,1	16,2
	Cl ⁻ (mg/l)				5,5	4,5	5,8	6
	SO ₄ ²⁻ (mg/l)				16	19	14	18
pH				7,5	7,2	7,6	7,3	
Tuchfabrik Schäfer, Herolz	Datum			3. 10. 58	9. 9. 60			22. 7. 63
	KH °d			6,4	6,7			6,4
	GH °d			6,4	7,6			6,6
	Cl ⁻ (mg/l)			18	17			15,3
	SO ₄ ²⁻ (mg/l)			17	15			11,5
pH			6,6	6,5			6,1	
Vollmerz	Datum				25. 7. 60	17. 8. 60		
	KH °d				15,4	15,9		
	GH °d				16,5	16,2		
	Cl ⁻ (mg/l)				6,4	5,5		
	SO ₄ ²⁻ (mg/l)				18,0	6,0		
pH				7,4	7,2			

Nach Unterlagen des Wasserwirtschaftsamtes Wiesbaden, Außenstelle Hanau.
Analytiker: Staatliches Medizinaluntersuchungsamt Fulda.

Tab. 6. Änderungen im Grundwasserchemismus mit der Schüttung

Quelle	Datum	pH	GH °d	KH °d	Cl ⁻ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Q l/min	Schüttungs- quotient
9	25. 4. 63	7,5	17,4	18,2	10	45	28	—	25	4,5
	20. 7. 63	7,7	15,9	15,4	9	90	13	—	5,5	
11	25. 4. 63	7,2	16,7	13,7	14	61	28	—	78	3,9
	20. 7. 63	7,6	15,2	13,2	14	101	21	—	20	
14	25. 4. 63	7,3	15,6	14,6	10	86	30	—	110	84
	20. 7. 63	7,7	16,4	15,8	9	86	19	—	1,3	
22	25. 4. 63	7,7	18,6	17,4	10	73	27	—	60	
	20. 7. 63	7,8	17,4	16,9	10	79	29	—		
23	25. 4. 63	6,4	5,7	4,5	11	24	24	sp.	12	2
	20. 7. 63	6,55	6,6	5,6	11	29	20	sp.	6	
28	25. 4. 63	7,3	17,1	15,1	10	92	22	—		
	20. 7. 63	7,5	17,5	15,8	12	111	18	—		
30	25. 4. 63	7,2	18,8	14,8	15	109	29	—	60	3
	20. 7. 63	7,2	18,4	14,8	17	104	28	—	20	
36	25. 4. 63	7,2	15,1	14,8	8	97	32	—	16	2,66
	20. 7. 63	7,4	14,5	14,3	9	82	15	—	6	
37	25. 4. 63	7,3	15,4	14,6	10	90	28	—	80	4,4
	20. 7. 63	7,65	15,5	14,6	8	92	23	—	18	
47	25. 4. 63	6,9	8,5	7,0	12	34	28	—	50	1,25
	20. 7. 63	6,8	9,4	8,1	12	21	21	—	40	
68	25. 4. 63	6,5	7,1	5,6	13	27	24	—	5	0,71
	20. 7. 63	6,4	7,2	5,6	10	26	27	—	7	
82	25. 4. 63	7,2	19,4	15,4	16	111	39	—		
	20. 7. 63	7,3	18,2	16,5	11	91	19	—		
90	25. 4. 63	7,0	11,8	9,5	11	46	51	—		
	20. 7. 63	6,9	12,4	9,8	12	28	47	—		

Aus Tab. 6 ist zu ersehen, daß der Chemismus des Grundwassers sich im allgemeinen ständig ändert. Dabei sind die Änderungen bei den Basaltgewässern geringer als bei den Muschelkalkwässern. Die Ursache für dieses verschiedenartige Verhalten ist wahrscheinlich darin zu suchen, daß der Schüttungskoeffizient (Verhältnis zweier hintereinander gemessener Werte einer Quelle) bei beiden Wasserarten verschieden ist. Er liegt bei Quellen mit Basaltwasser unter 2, bei Quellen mit Muschelkalkwasser über 2.

Wenn man die chemischen Analysen des unteren, an die Solling-Folge und den Mittleren Buntsandstein gebundenen Grundwasserstockwerks betrachtet (Tab. 5) und daraus die Karbonathärte als vergleichendes Merkmal herausnimmt, so kann man nach der Wasserbeschaffenheit drei räumlich getrennte Bereiche unterscheiden, die sich vor allem hinsichtlich ihrer Karbonathärte im Grundwasser unterscheiden.

Im ersten Bereich liegt ein fast neutral reagierendes Wasser von ziemlicher Karbonathärte ohne aggressive Eigenschaften vor. Wasser dieser Art wurde in den Bohrungen von Sannerz und Vollmerz angetroffen. Die Abweichung dieses Wassers in seinen Eigenschaften von den normalen Eigenschaften der Wässer aus der Solling-Folge oder dem Mittleren Buntsandstein, die weich, aggressiv und sauer sind, ist in erster Linie auf folgende Ursachen zurückzuführen: Die Gesteine der Solling-Folge nehmen im Bereich von Sannerz und Vollmerz Wasser in horizontaler und in vertikaler Richtung in sich auf, das vorher Muschelkalkschichten durchflossen hat. Gesteine der Solling-Folge treten hier nämlich sowohl bei Vollmerz als auch E von Hinkelhof zutage; sie stehen außerdem unmittelbar unter dem Talboden des von Ramholz kommenden Wasserlaufes an, und damit ist die Möglichkeit einer Infiltration von Muschelkalkwasser sehr leicht gegeben. Schließlich bildet die Solling-Folge den Talboden der Kinzig ober- und unterhalb von Sannerz, wodurch das Wasser in beiden Bohrungen mit dem Wasser der Kinzig in Kontakt steht.

Im zweiten Bereich ist das Wasser fast neutral, mittelhart und besitzt einen mäßig erhöhten Gehalt an aggressiver Kohlensäure, ein Beispiel bildet der Bohrbrunnen von Herolz. Die relativ hohe Karbonathärte in diesem Bereich ist hauptsächlich auf die Einlagerung von Kalkstein- und Dolomitbänken in den wasserführenden Schichten (hier: unterste Plattensandstein-Folge) zurückzuführen. Hinzu kommt noch der wahrscheinliche Einfluß horizontaler Infiltration fremder Wässer, denn der normalerweise schlecht durchlässige Graue Basiston des Röts dichtet das Grundwasserstockwerk der Solling-Folge nach oben ab, wodurch eine Infiltration in vertikaler Richtung sehr gering sein dürfte. Auch die benachbarten Verwerfungslinien üben wohl keinen großen Einfluß aus, da sie in ihren Zerrüttungszonen durch die Röttone dicht sein dürften.

Im dritten Bereich ist das Wasser im Gegensatz zu den beiden anderen Bereichen weich und schwach sauer ausgebildet, außerdem ist es meist aggressiv. Musterbeispiele sind der Bohrbrunnen der Tuchfabrik Schäfer bei Herolz und der Bohrbrunnen von Schlüchtern. Die auffälligen Eigenarten der Wässer der genannten beiden Bohrbrunnen entspricht den Eigenschaften des unvermischten Buntsandsteinwassers, d. h., das Wasser dieses dritten Bereiches steht unter keinem äußeren Einfluß.

Aus dem Vorhergehenden ist zu ersehen, daß die chemischen Eigenschaften des Grundwassers sich bereits im kleinen Bereich unter dem Einfluß verschiedener Bedingungen ändern können, obwohl die Speichergesteine (hier Gesteine der Solling-Folge und des Mittleren Buntsandsteins) dieselben sind. Diese Tatsache, nämlich die Einteilung in Bereiche mit unterschiedlich hartem Grundwasser im selben Grundwasserleiter, führt zu der Annahme, daß zwischen den einzelnen Bereichen mit ihrer verhältnismäßig geringen Ausdehnung kein enger Kontakt existiert. Weiterhin kann vermutet werden, daß in dem vorliegenden Fall der Kontakt zwischen den ersten beiden Bereichen wesentlich stärker ist als zwischen diesen beiden einerseits und dem zuletzt beschriebenen Bereich andererseits mit seinem unbeeinflussten Wasser. Als Erklärung für die Einteilung in mehr oder weniger scharf voneinander getrennte Bereiche bietet sich der tektonische Bau des Gebietes an. Die Abgrenzung zwischen den einzelnen Grundwasserzonen fällt zusammen mit dem Vorhandensein bedeutender Verwerfungslinien, die eine natürliche

Aufteilung des Grundwasserleiters in verschiedene, mehr oder weniger stark voneinander getrennte Zonen bedingen. Nach den Ergebnissen der geologischen Kartierung läßt sich unter diesem Blickwinkel weiterhin sagen, daß der erste Bereich mit seinem relativ stark aufgehärteten Wasser die größte Verbreitung haben dürfte; er zieht sich von E her bis an die NE — SW streichende Störungslinie unterhalb von Vollmerz heran. Der zweite Bereich, der sich durch neutrales und mittelhartes Wasser auszeichnet, besitzt die geringste Ausdehnung. Er erstreckt sich von der genannten NE — SW streichenden Störung unterhalb Vollmerz bis an die rheinisch streichende Verwerfung oberhalb von Herolz. Der dritte Bereich schließlich, der sich durch sein weiches und schwach sauer reagierendes, aggressives Grundwasser auszeichnet, zieht sich von der rheinisch streichenden Bruchlinie oberhalb Herolz nach W über Schlüchtern bis außerhalb des Arbeitsgebietes. Er ist an die tiefste Einsenkung der Schlüchterner Mulde gebunden.

2.4. Wassergewinnung

Nach den hydrogeologischen Gegebenheiten kann Wasser aus drei Grundwasserstockwerken gewonnen werden:

- a) Aus dem Basalt als Quellwasser.
- b) Aus dem Muschelkalk als Quellwasser, wobei hier infolge des geringen Reinigungsvermögens, das das Muschelkalkgestein besitzt, die Gefahr der Verschmutzung des Wassers nicht auszuschalten ist.
- c) Aus den Gesteinen der Solling-Folge und des Mittleren Buntsandsteins durch Bohrburgen. Dieses Grundwasserstockwerk ist vor allem für die Entnahme bei größerem Bedarf geeignet, zeichnet sich außerdem durch ein gleichmäßiges Dargebot aus und ist hygienisch einwandfrei.

3. Zusammenfassung

Im SE-Teil des Schlüchterner Beckens (Umgebung Ahlersbach) wurden 1963 geologische und hydrogeologische Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Stratigraphie des Oberen Buntsandsteins durchgeführt (Diplomarbeit E. HILALI 1964). Zum Oberen Buntsandstein wurden die Schichten von der Basis der Solling-Folge an gerechnet.

Die Solling-Folge konnte nach Tagesaufschlüssen und Tiefbohrprofilen in eine untere, dickbankige Sandsteinserie und eine obere Wechselfolge gliedert werden.

Aufgrund der lithologischen Ausbildung läßt sich der Obere Buntsandstein in eine Plattensandstein- und eine Röt-Folge untergliedern. Die Plattensandstein-Folge, die mit dem Grauen Basiston beginnt, wird in den Plattensandstein und in die Unteren Röttone unterteilt. Die Röt-Folge beginnt mit der Rötquarzitserie und setzt sich dann mit den Oberen Röttonen fort. Die Ausbildung des Oberen Buntsandsteins im Schlüchterner Becken zeigt, daß es sich hier um eine Übergangsfazies zwischen der Main-Saale Fazies und der Meininger Fazies handelt.

Durch die hydrogeologischen Untersuchungen im Einzugsgebiet der Kinzig ließen sich 3 Hauptquellhorizonte unterscheiden.

Der oberste Horizont ist an die Basis des Basalts gebunden, der mittlere Horizont liegt an der Grenze Röt/Muschelkalk und der untere in den Gesteinen der Solling-Folge und des Mittleren Buntsandsteins. Das Wasser aus diesem tiefen Grundwasserstockwerk ist artesisch gespannt, es reagiert meist mehr oder weniger stark sauer und ist durch freie Kohlensäure aggressiv. In diesem Stockwerk lassen sich in Übereinstimmung mit dem tektonischen Bau des Gebiets drei Zonen aushalten, die durch die chemische Beschaffenheit, vornehmlich die unterschiedliche Härte des Grundwassers, deutlich unterschieden sind; dabei treten z. T. Mischwässer aus Muschelkalk- und Buntsandsteinwasser auf.

Durch Abflußmessungen ergaben sich in Verbindung mit der tektonischen Lagerung für verschiedene Niederschlagsteilgebiete Abweichungen zwischen Niederschlagsgebiet einerseits und unterirdischem Einzugsgebiet andererseits.

Mit Hilfe des Niedrigwasserabflusses wurde die Grundwasserneubildung ermittelt, die in dem betrachteten Gebiet außerordentlich gering ist. Ursachen dafür sind die weite Verbreitung schlecht durchlässiger Gesteine und auch das geringe Speichervermögen der Muschelkalkgesteine.

4. Schriftenverzeichnis

- BACKHAUS, E., LOHMANN, H. & REGENHARDT, H. (1958): Der Mittlere Buntsandstein im Reinhardswald (Nordhessen). — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **86**: 192—201, 2 Abb.; Wiesbaden.
- (1960): Zur Neugliederung des Odenwälder Buntsandsteins und ein Vergleich mit Nordhessen und Thüringen. — N. Jb. Geol. Paläontol., 1960, Mh.: 292—313, 2 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- BECKER, E. (1960): Bericht über die geologische Neuaufnahme des nördlichen Teiles von Blatt Neuhof (Kreis Fulda). Unveröff. Ber. Archiv Hess. L.-Amt Bodenforsch.; Wiesbaden.
- BÜCKING, H. (1878): Über Basalt vom südöstlichen Vogelsberg und Schwarzenfels in Hessen. — Mineral. petrogr. Mitt., N. F., **1**: 101—106; Wien.
- (1889): Mitteilung über Aufnahmen auf den Blättern Gelnhausen, Langenselbold, Bieber und Lohrhaupten. — Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. f. 1888: 81—86; Berlin.
- (1893): Wissenschaftliche Ergebnisse der geologischen Aufnahme der Blätter Gersfeld/Rhön und Kleinsassen. — Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst., **12**: 51—52; Berlin.
- (1911): Erl. geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St., Lfg. **184**, Bl. Fulda, 74 S.; Berlin.
- (1916): Geologischer Führer durch die Rhön. — Samml. geol. Führer, **21**: 1—262, 46 Abb., 1 Eisenbahn- und Routenkarte, 3 Taf.; Berlin (Borntraeger).
- FRANTZEN, W. (1884): Über *Chirotherium*-Sandstein und die carneol-führenden Schichten des Buntsandsteins. — Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst.: 347—382; Berlin.
- (1889): Erl. geol. Kte. Preußen u. thüring. St., Lfg. **37**, Bl. Meiningen; Berlin.
- (1889): Beiträge zur Kenntnis der Schichten des Buntsandsteins und der tertiären Ablagerungen am Nordrand des Spessart. — Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. f. 1888: 243—258; Berlin.

- HERRMANN, A. (1962): Epirogene Bewegungen im germanischen Buntsandsteinbecken und deren Bedeutung für lithostratigraphische Parallelisierungen zwischen Nord- und Süddeutschland. — *Geol. Jb.*, **81**: 11—72, 13 Abb., 2 Tab., 3 Taf.; Hannover.
- HILALI, E. A. (1964): Geologische und hydrogeologische Untersuchungen bei Ahlersbach (Kreis Schlüchtern) unter besonderer Berücksichtigung der Stratigraphie des Oberen Buntsandstein. — Unveröff. Dipl.-Arb., 117 S., 12 Abb., 12 Tab., 3 Taf.; Darmstadt.
- LAEMMLEN, M. (1962): Profil durch den Buntsandstein im Spessart. — HERMANN-ALDINGER-Festschr.: 105—124, 1 Abb., 2 Tab., 1 Beil.; Stuttgart.
- NÖRING, F. (1950): Ausgewählte Fragen der Grundwasserchemie in Beziehung zu Oberfläche und Untergrund. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **102**: 123—128; Hannover.
- (1951): Die Fortsetzung der Saar-Senke in Hessen. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, (VI) **2**: 22—40, 1 Taf.; Wiesbaden.
- REIS, O. M. (1914): *Erl. geol. Kte. Königreich Bayern 1*: 25 000, Bl. Nr. 4 Kissingen; München.
- (1915): *Erl. geol. Kte. Königreich Bayern 1*: 25 000, Bl. Nr. 66 Euerdorf; München.
- (1923 a): *Erl. geol. Kte. Königreich Bayern 1*: 25 000, Bl. Nr. 22 Brückenau; München.
- (1923 b): *Erl. geol. Kte. Königreich Bayern 1*: 25 000, Bl. Nr. 23 Geroda; München.
- (1924): *Erl. geol. Kte. Königreich Bayern 1*: 25 000, Bl. Nr. 39 Schönderling; München.
- (1928): Der unterfränkische Buntsandstein. — In: *Abriß der Geologie von Bayern r. d. R.*, **6**: 21—28; München (Hrg. v. M. SCHUSTER).
- SCHUSTER, M. (1921): *Erl. geol. Kte. Königreich Bayern 1*: 25 000, Bl. Nr. 65 Hammelburg-Nord; München.
- (1924): *Erl. geol. Kte. Königreich Bayern 1*: 25 000, Bl. Nr. 9/10 Motten-Wildflecken; München.
- (1932): Die Gliederung des Unterfränkischen Buntsandsteins. I. Der Untere und Mittlere Buntsandstein. — *Abh. geol. L.-Unters. bayer. Oberbergamt*, **7**, 60 S., 9 Abb., 4 Taf., 1 Kte.; München.
- (1933): II. Der Obere Buntsandstein oder das Röt. a) Grenzsichten zwischen Mittlerem und Oberem Buntsandstein. — *Abh. geol. L.-Unters. bayer. Oberbergamt*, **9**, 58 S., 9 Abb., 2 Taf.; München.
- (1934): II. Der Obere Buntsandstein oder das Röt. b) Das untere Röt oder die Stufe des Platten-sandsteins. — *Abh. geol. Unters. bayer. Oberbergamt*, **15**, 64 S., 10 Abb., 4 Taf.; München.
- (1935): II. Der Obere Buntsandstein oder das Röt. c) Das obere Röt oder die Stufe der Röttone; 1. die unteren Röttone und der Rötquarzit. — *Abh. geol. L.-Unters. bayer. Oberbergamt*, **22**, 43 S., 7 Abb., 7 Taf.; München.
- (1936): II. Der Obere Buntsandstein oder das Röt. c) Das obere Röt oder die Stufe der Röttone; 2. die oberen Röttone mit den Myophorienschichten. — *Abh. geol. L.-Unters. bayer. Oberbergamt*, **23**, 53 S., 6 Abb., 2 Taf.; München.
- SEYFRIED, E. v. (1904): Über die vulkanischen Gebilde auf den Blättern Schlüchtern und Oberzell und ihre Beziehungen zur Tektonik des Grundgebirges. — *Jb. preuß. geol. L.-Anst.*, **25**; Berlin.
- (1911): *Erl. geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St.*, Lfg. **172**, Bl. Steinau; Berlin.
- (1913): *Erl. geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St.*, Lfg. **172**, Bl. Schlüchtern; Berlin.
- (1914 a): *Erl. geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St.*, Lfg. **172**, Bl. Altengronau; Berlin.
- (1914 b): *Erl. geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St.*, Lfg. **172**, Bl. Oberzell/Güntershof; Berlin.
- VÖLKER, K. (1928): Beiträge zur Morphologie der Kinziglandschaft. — *Frankfurter geogr. H.*, **2**, 2: 7—51; Frankfurt a. M.

Stratigraphie des Oberen Buntsandsteins und hydrogeologische Untersuchungen bei Steinau (NE-Spessart)

Von

ALIAKBAR HUSCHMAND *

Mit 3 Abbildungen und 1 Tabelle

Kurzfassung: Am W-Rand des Schlüchterner Beckens wurde der Obere Buntsandstein neu gegliedert. Die hydrogeologischen Eigenschaften der einzelnen Schichtglieder werden beschrieben.

Abstract: At the western boundary of the basin of Schlüchtern the Upper Buntsandstein was divided in 7 new units and the hydrogeological characters of the units were described.

Inhalt

1. Einleitung		43
2. Stratigraphischer Überblick		45
2.1. Trias		45
2.1.1. Mittlerer Buntsandstein		45
2.1.2. Oberer Buntsandstein		45
2.1.3. Unterer Muschelkalk		46
2.2. Tertiär		47
2.3. Quartär		47
3. Tektonischer Überblick		47
4. Hydrogeologie		47
5. Zusammenfassung		50
6. Schriftenverzeichnis		50

1. Einleitung

Das Arbeitsgebiet liegt am nordöstlichen Rande des Spessarts auf den Bl. 5622 Steinau, 5623 Schlüchtern, 5722 Salmünster und 5723 Altengronau der TK 25. Zutage stehen vor allem Gesteine der Trias, vom Mittleren Buntsandstein bis zum Unteren Muschelkalk, an. Nur auf dem höchsten Berg, dem Eisenkopf mit 450 m über NN, sind darüber auch tertiäre Sedimente und Basalt erhalten. Quartärablagerungen sind als Schuttbildungen und Talfüllungen vertreten.

*) A. HUSCHMAND, Dipl.-Geologe, Pastor Sq. Ave. Eskasi 7, Teheran/Iran.

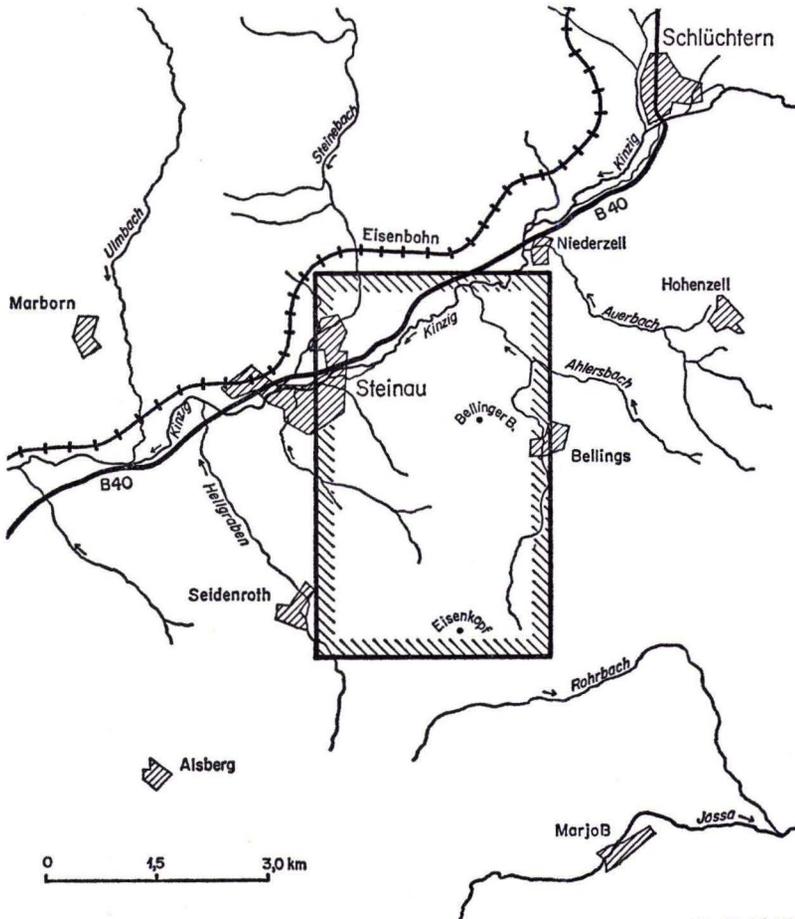


Abb. 1. Lage des Arbeitsgebietes.

Geologisch kartiert wurde das Gebiet von E. VON SEYFRIED, dessen Aufnahmen der Bl. Steinau, Schlüchtern, Salmünster und Altengronau in den Jahren 1911 — 1914 erschienen sind¹⁾. Die Fortschritte in der Buntsandsteinstratigraphie gerade in letzter Zeit gaben Anlaß, auch für den Oberen Buntsandstein, der im Arbeitsgebiet die verbreitetste Schichtfolge bildet, eine Feingliederung zu erarbeiten. Außerdem sollten die hydrogeologischen Grundzüge der anstehenden Schichten dargestellt werden.

Zu diesem Zwecke wurde eine geologische Aufnahme des Arbeitsgebietes im Maßstab 1 : 10 000 durchgeführt. Dabei konnte eine Aufgliederung des anstehenden Buntsandsteins in mehrere Kartiereinheiten erreicht werden. Zur Klärung der hydrogeologi-

¹⁾ Die 2. Auflage des Bl. 5623 Schlüchtern der Geologischen Karte von Hessen 1 : 25 000 von EHRENBURG & HICKETHIER erschien erst 6 Jahre nach Fertigstellung der eigenen Arbeit im Jahre 1971.

schen Verhältnisse wurden eine Quellkartierung mit der Messung der Quellschüttungen und Wassertemperaturen und Abflußmessungen vorgenommen.

Für die Vergabe des Arbeitsthemas und die ständige Förderung möchte ich Herrn Prof. Dr. NÖRING, Wiesbaden, mit der Widmung dieser Arbeit, die ein Auszug aus meiner Diplomarbeit aus dem Jahre 1965 ist, herzlich danken.

Herrn Prof. Dr. KREJCI-GRAF, Geol.-Palaeontol. Institut der Universität Frankfurt am Main, danke ich für die Zustimmung zum Arbeitsthema und für vielfache Anregungen bei der Bearbeitung.

Für zahlreiche wertvolle Ratschläge und klärende Diskussionen gebührt Herrn Dr. REUL, Wiesbaden, mein aufrichtiger Dank.

2. Stratigraphischer Überblick

2.1. Trias

2.1.1. Mittlerer Buntsandstein

Nur im SW des kartierten Gebietes streichen noch die obersten Teile der Spessart-Wechselfolge zutage aus. Die Schichten bestehen vorwiegend aus einer Tonstein-/Sandsteinwechselfolge mit mittelkörnigem (ϕ 0,2 — 0,5 mm), vereinzelt auch grobkörnigem Sandstein, der sehr fest und gelb bis rot ist. Der Zementgehalt ist unterschiedlich, weshalb neben harten Sandsteinbänken auch zu Sand zerfallende vorkommen.

2.1.2. Oberer Buntsandstein

Nach der modernen Buntsandsteinstratigraphie wird der oberste Teil des Mittleren Buntsandsteins alter Gliederung (v. SEYFRIED 1911 — 1914), der einen selbständigen Sedimentationsrhythmus bildet, als basale Folge zum Oberen Buntsandstein gerechnet. Das Normalprofil des Oberen Buntsandsteins zeigt Abb. 2.

2.1.2.1. Solling-Folge

Im Arbeitsgebiet nimmt die 30 — 45 m mächtige Folge weite Flächen ein. Sie besteht aus meist mittelkörnigen, dickbankigen, festen bis kieseligen Sandsteinen, die im basalen Teil und am Dach der Folge häufig Quarzgerölle (ϕ bis 2 cm) führen. Grobkornlagen und Glimmer sind auf Schichtflächen angereichert. Die Farbe ist in den untersten Bänken violettstichig braunrot und wird zum Hangenden heller.

2.1.2.2. Unteres Röt (Plattige Folge)

Die Mächtigkeit des einleitenden (Thüringischen) Chirotheriensandsteins beträgt nur 1 — 4 m. Der grauweiße bis schmutziggelbe, mittel- bis schwach grobkörnige Sandstein spaltet stets plattig bis dünnplattig auf und enthält zahlreiche Rippelmarken. Eisen- und Mangantupfen sowie Karbonatgehalt sind verbreitet.

Darüber folgt der „Rote und graue Ton“ in einer Mächtigkeit von 5 — 7 m. Die Tonsteine sind in feuchtem Zustand plastisch und lagenweise hellrot oder grau gefärbt.

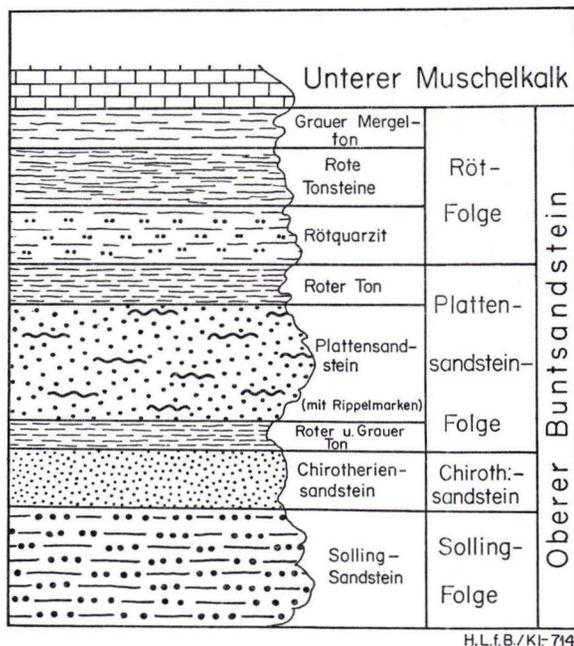


Abb. 2. Normalprofil des Oberen Buntsandsteins bei Steinau.

Der hangende „Plattensandstein“ erreicht 20 — 30 m und ist im Untersuchungsgebiet sehr verbreitet. Der dunkel- bis violettrote, bankige bis plattige, glimmerschichtige, feinkörnige Sandstein (Korn- ϕ 0,1 — 0,2 mm) enthält zwischengelagert rote Tonsteinlagen. Sedimentstrukturen und Rippelmarken sind häufig.

Der „Rote Ton“ überlagert in einer Mächtigkeit von 5 — 10 m den Plattensandstein und bildet mit seiner Oberkante die Grenze zum Oberen Röt.

2.1.2.3. Oberes Röt (Röt-Folge)

Die Folge beginnt mit dem „Rötquarzit“, einer bis 10 m mächtigen Wechsellagerung von rotbraunen Ton- und Schluffsteinen mit weißgrauen, grünlichen und rosaroten Quarzitbänkchen (Korn- ϕ 0,2 — 0,4 mm).

Hangend folgen die „Roten Tonsteine“ von gut 20 m Mächtigkeit. Sie sind dunkel- bis bräunlichrot, z. T. auch violett gefärbt.

Das letzte Glied der Oberen Röt-Folge bildet der „Graue Mergelton“. Er besteht aus roten und grauen Ton- und Mergelsteinen mit kleinen feinkristallinen Kalklinsen. Die Mächtigkeit beträgt ca. 10 m.

2.1.3. Unterer Muschelkalk

Die grauen, plattigen bis bankigen, meist welligen Kalksteine und Mergelsteine sind in einer Mächtigkeit bis 25 m nur an 2 Stellen des Arbeitsgebietes (Bellinger Berg und Bellinger Warte) erhalten.

2.2. Tertiär

Gelbliche Sande und Tone kommen, bis 10 m mächtig, unter dem Basalt des Eisenkopfes und an der Bellinger Warte vor.

Basalt, blaugrau und blasig, bedeckt 50 — 60 m mächtig die Höhe des Eisenkopfes.

2.3. Quartär

Sandig-kiesige Terrassenablagerungen (Gerölle aus Quarz, Buntsandstein, Muschelkalk und Basalt) wurden nur in einer Höhe von 5 m über der heutigen Kinzigaue gefunden. Sie werden der Niederterrasse zugerechnet.

Lößlehm liegt in einem kleinen Vorkommen W Bellings vor.

Hanglehm bedeckt in unterschiedlicher Mächtigkeit vor allem die Buntsandsteinschichten. In einer lehmigen Grundmasse ist Sandstein- und in den Verbreitungsgebieten des Muschelkalks und Basaltes Kalkstein- und Basaltschutt eingemengt.

Die jungen bis zu 5 m mächtigen Talfüllungen bestehen aus Schluff, Lehm, Sand und Kies.

3. Tektonischer Überblick

Das Arbeitsgebiet liegt am W-Rande des Schlüchterner Beckens. Dementsprechend fallen, wie die Kartierung ergab, die triassischen Schichten generell von SW nach NE ein. Die Fallwerte schwanken zwischen 4° und 7° . Vor allem in den Tälern, wie Ahlersbach, Ansbach, Erlenbach, Steinesgraben und Wolfsgrund, verlaufen Störungen mit Sprunghöhen von 10 — 20 m. Einen Überblick der tektonischen Verhältnisse im größeren Rahmen und eine Erklärung für die Lagerungsverhältnisse haben in neuester Zeit DIEDERICH & HICKETHIER (1970) gegeben.

4. Hydrogeologie

Die hydrogeologischen Verhältnisse eines Gebietes werden in starkem Maße von den klimatischen Faktoren bestimmt. Im Kartiergebiet, das zum südwestdeutschen Klimabereich gehört und daher durch milde Winter und warme Sommer gekennzeichnet ist, fallen im Jahresmittel 800 — 900 mm Niederschlag, davon ca. 15 % als Schnee (aus Klima-Atlas von Hessen, bezogen auf die Jahresreihe 1891 — 1930). Eine Schneedecke liegt zwischen 40 und 60 Tagen im Jahr. Bei einer mittleren jährlichen Lufttemperatur um 8°C erreicht die jährliche Verdunstung² im Mittel der Jahre 1891 — 1955 ca. 440 — 450 mm. Der mittlere jährliche Trockenheitsindex liegt im Arbeitsgebiet bei 40. Bei den Böden herrscht die sandig-lehmige Braunerde vor.

Die Wasserwegsamkeit der verschiedenen Gesteinsschichten im Arbeitsgebiet ist recht unterschiedlich. Die Solling-Folge einschließlich des Chirotheriensandsteins, wie auch die Spessart-Wechselfolge, deren Werte nur wenig ungünstiger sind, bestehen aus gut geklüftetem Sandstein. In ihren sandigen Verwitterungsböden werden hohe Sickerraten erreicht. Eingeschaltete Tonlagen und -linsen behindern den vertikalen Sickertransport nur unwesentlich.

²) Nach HAUSCHULZ 1959.

Im Gegensatz dazu besitzt der schluff- und tonreiche Plattensandstein eine deutlich schlechtere Wasserwegsamkeit. Die Feinkörnigkeit des Sediments bewirkt eine schlechte Durchlässigkeit, wenn auch Klüfte und Spalten in begrenztem Umfange Wasser weiterleiten können. Quellen im Plattensandstein zeigen meist deutliche jahreszeitliche Schüttungsschwankungen. Der Rötquarzit ist dagegen wieder aufgrund seiner zahlreichen Klüfte ein guter Grundwasserleiter. Die übrigen tonigen Schichten des Röts wie auch die Tertiärsedimente sind allerdings kaum durchlässig und wirken wasserstauend. Im Röt sind zwar Klüfte noch recht häufig, jedoch sind sie meist mit tonig-schluffigem Material verschmiert, so daß die Wasserwegsamkeit sehr gering ist.

Der Muschelkalk bildet im Untersuchungsgebiet den besten Grundwasserleiter. Die gute Klüftung und teilweise Verkarstung schufen ein beachtliches Hohlraumvolumen, so daß Niederschläge sofort aufgenommen und weitergeleitet werden können.

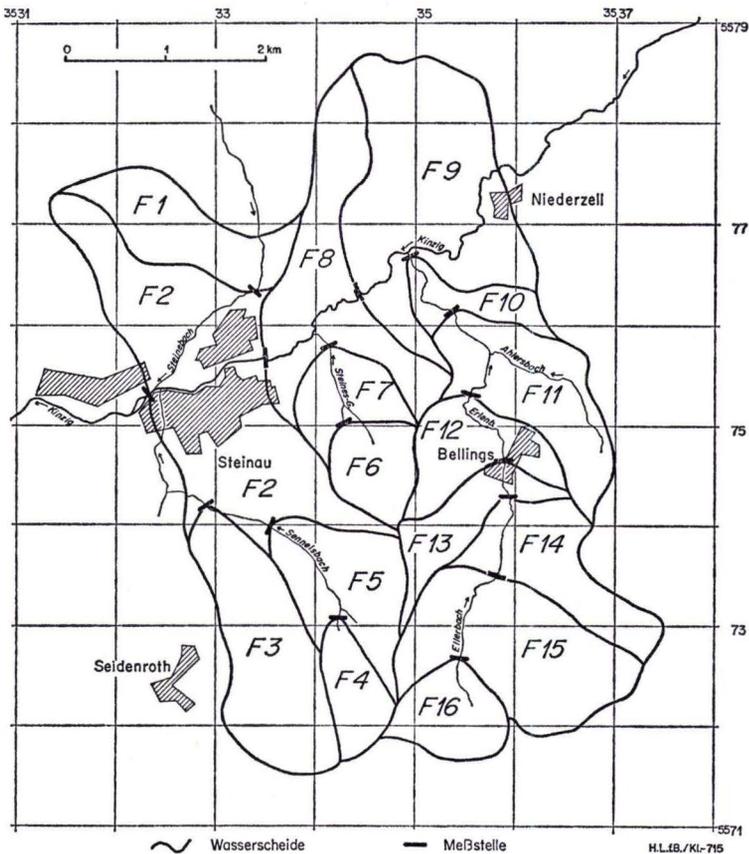


Abb. 3. Niederschlagsteilgebiete im Gebiet um Steinau (Abflußpenden s. Tab. 1).

Der Basalt nimmt als Grundwasserleiter eine Zwischenstellung ein. Sein Hohlraumgehalt beträgt ca. 1 0/0. Bei sommerlichen Gewittern und Ruckregen fließt der meiste Niederschlag oberflächlich ab, bei anhaltenden Niederschlägen aber werden größere Mengen aufgenommen.

Abflußmessungen in den Bachläufen erlauben Rückschlüsse auf die Wasserwegsamkeit der Gesteine, ihr Retentionsvermögen und den unterirdischen Abfluß, sofern sie bei Trockenwetter, wenn der gesamte oberirdische Abfluß aus dem Grundwasser gespeist wird, durchgeführt werden (MATTHESS & THEWS 1959: 417, 418). Im Kartiergebiet wurden die oberirdischen Abflüsse nach einer mehrwöchigen Trockenperiode vom 10. — 12. 7. 1965 an 16 Stellen gemessen. Einen Überblick über die Lage der Niederschlagsteilgebiete gibt Abb. 3, die Ergebnisse zeigt Tab. 1.

Tab. 1. Abflüsse und Abflußspenden im Gebiet um Steinau vom 10. — 12. 7. 1965

Niederschlags- teilgebiet	Meßstelle über NN m	F_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²
F 1	190	1,15	4,0	3,4
F 2	170	19,24	91	4,7
F 3	220	2,0	1,8	0,9
F 4	340	0,66	0,8	1,2
F 5	260	1,49	1,0	0,7
F 6	220	0,73	0,9	1,2
F 7	190	1,02	0,6	0,5
F 8	170	3,45	3,1	0,9
F 9	180	4,04	23,3	5,8
F 10	190	0,44	1,6	3,6
F 11	200	1,66	6,9	4,2
F 12	220	0,80	0,8	1,0
F 13	240	0,72	3,7	5,1
F 14	260	1,35	— 0,3	0
F 15	300	2,30	1,0	0,4
F 16	360	0,73	2,8	3,8

Bei den relativ hohen Abflußspenden der Niederschlagsteilgebiete F 1 und 2 dürfte die Einleitung von Abwässern verschiedener Industriebetriebe, die dort ihren Standort haben, das natürliche Bild verfälschen. Für das übrige Gebiet gilt, daß im W-Teil mit den Teilgebieten F 2 — 8 trotz anstehender günstiger Grundwasserleiter (Spessart-Wechselfolge, Solling-Folge, Chirotheriensandstein) die Abflußspenden niedriger liegen als im E-Teil (F 9 — 16, mit hohen Spenden in F 9 — 11 und F 13). Wahrscheinlich bildet die mehr plateauartige Landschaft und die geringe Zertalung des westlichen Gebietes die Ursache dafür, während im E der in der Hauptsache anstehende Platten-sandstein zwar als Grundwasserleiter weniger günstig ist, seine geringe Durchlässigkeit aber doch zu einem gleichmäßigen, langsamen Ausfließen und damit im Anfang einer Trockenperiode zu einer höheren Spende führt.

5. Zusammenfassung

Im W-Teil des Schlüchterner Beckens wurde der Obere Buntsandstein in 7 stratigraphische Einheiten untergliedert. Ihre Anwendung bei der Kartierung läßt neue Lagerungsstörungen erkennen. Die Wasserwegsamkeit der Gesteine wird nach ihrer petrographischen Ausbildung, den Ergebnissen einer Quellkartierung und nach Trockenwetterabflußmessungen beschrieben.

6. Schriftenverzeichnis

- DIEDERICH, G. & HICKETHIER, H. (1970): Zur Tektonik des Schlüchterner Beckens und seiner Umrahmung. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **98**: 187—197, 5 Abb., 2 Taf.; Wiesbaden.
- EHRENBERG, K.-H. & HICKETHIER, H. (1971 a): Geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. 5623 Schlüchtern; Wiesbaden.
- (1971 b): Erl. geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. 5623 Schlüchtern, 2. Aufl., 298 S., 46 Abb., 16 Tab., 1 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- HAUSCHULZ, J. (1959): Gewässerkundliches Kartenwerk Hessen, Teil I. — 6 Ktn., 3 Tab.; Wiesbaden (Hess. Min. Landwirtsch. u. Forsten, Abt. Wasserwirtsch.).
- HUSCHMAND, A. (1965): Geologische und hydrogeologische Untersuchungen von Steinau (NE-Spesart) unter besonderer Berücksichtigung der Stratigraphie der Rötfolge. — Unveröff. Dipl.-Arb., 107 S., 10 Abb., 26 Tab., 15 Fot., 4 Anl.; Frankfurt a. M.
- MATTHESS, G. & THEWS, J.-D. (1959): Erfahrungen bei der hessischen hydrogeologischen Spezialkartierung 1 : 25 000 in den Jahren 1957 und 1958. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **87**: 417—428, 4 Abb.; Wiesbaden.
- NÖRING, F. (1950): Grundsätzliches betreffend hydrogeologische Karten. — Z. deutsch. geol. Ges., **101**: 222—229; Hannover.
- SEYFRIED, E. v. (1911): Geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St., Lfg. **172**, Bl. Steinau mit Erl.; Berlin.
- (1912): Geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St., Lfg. **172**, Bl. Salmünster mit Erl.; Berlin.
- (1913): Geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St., Lfg. **172**, Bl. Schlüchtern mit Erl.; Berlin.
- (1914): Geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St., Lfg. **172**, Bl. Altengronau mit Erl.; Berlin.
- Deutscher Wetterdienst (1950): Klima-Atlas von Hessen. — 75 Ktn., 9 Diagr., 14 S. Erl.; Bad Kissingen.
- Hess. Min. Landwirtsch. u. Forsten, Abt. Wasserwirtsch. (1961): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Kinzig. — 9 + 68 S., 53 Ktn.; Wiesbaden.

Manuskript eingegangen am 29. 9. 1973

Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Lauterbacher Graben bei Angersbach

Von

HORST KRÜGER *

Mit 11 Abbildungen und 1 Tabelle

Kurzfassung: Am Ortsrand von Angersbach wurden bisher nicht bekannte jüngere Lias-schichten nachgewiesen und im Bad Salzschlirfer Wald ein Buntsandsteingebiet neu kartiert. Anhand 2^{1/2}-jähriger Quellbeobachtungen wurden hydrologische Eigenheiten einzelner Quelltypen und Zusammenhänge zwischen dem Jahrgang, den Niederschlägen und der Schüttung erkannt.

Abstract: Previously unknown younger sediments of Lias were found near Angersbach and in the forest of Bad Salzschlirf a Buntsandstein area was mapped. 2^{1/2} years of spring observations showed hydrological characteristics of some springtypes and connections between the seasons, precipitations and discharge rates of the springs.

Inhalt

1. Einleitung	. . . . .	51
2. Geologie	. . . . .	52
3. Hydrogeologie	. . . . .	53
4. Zusammenfassung	. . . . .	61
5. Schriftenverzeichnis	. . . . .	62

1. Einleitung

Die Anregung zu dieser Arbeit verdanke ich Herrn Prof. Dr. F. NÖRING. Er wies auf die auffallende Häufigkeit von Quellen im östlichen Teil des Bl. 5322 Lauterbach hin und empfahl eine Untersuchung ihrer Entstehungsursachen. Für stete Förderung, Anregungen und klärende Diskussionen während der Bearbeitung danke ich Herrn Prof. Dr. F. NÖRING sehr herzlich.

Bei den Untersuchungen zur Lösung der Frage nach der Quellhäufigkeit im E-Teil des Bl. 5322 Lauterbach wurden zwei Arbeitsmethoden nebeneinander angewendet.

1. Eine detaillierte geologische Neukartierung des Gebietes sollte die Schichtenfolge selbst in Feinheiten klären. Ein besonderer Schwerpunkt wurde dabei auf die Wasserwegsamkeit der Gesteine gelegt.

*) Dr. H. KRÜGER, Dipl.-Geologe, 43 Essen 12, Lierfeldstr. 49.

2. Eine regelmäßige Untersuchung der Quellen auf Schüttung, Temperatur und Wasserchemismus sollte Erkenntnisse über die Grundwasserleiter und den hydraulischen Zusammenhang zwischen ihnen und dem Einzugsbereich bringen.

Im Arbeitsgebiet ist durch die Staffelbrüche des Lauterbacher Grabens fast die gesamte Triasfolge aufgeschlossen. Während Muschelkalk und Keuper im wesentlichen in der Kartierung von DIEHL (1935) richtig dargestellt sind, war besonders in den großen Flächen des Buntsandsteins eine genaue Neukartierung notwendig. Nach dem heutigen Stande der Buntsandsteinforschung sind nämlich große Teile des Buntsandsteingebietes sowohl stratigraphisch als auch lithologisch falsch eingestuft. Wegen der sehr unterschiedlichen Wasserwegsamkeit von Unterem und Mittlerem Buntsandstein konnte auch die hydrogeologische Aufgabenstellung nur mit Hilfe einer äußerst genauen geologischen Aufnahme gelöst werden.

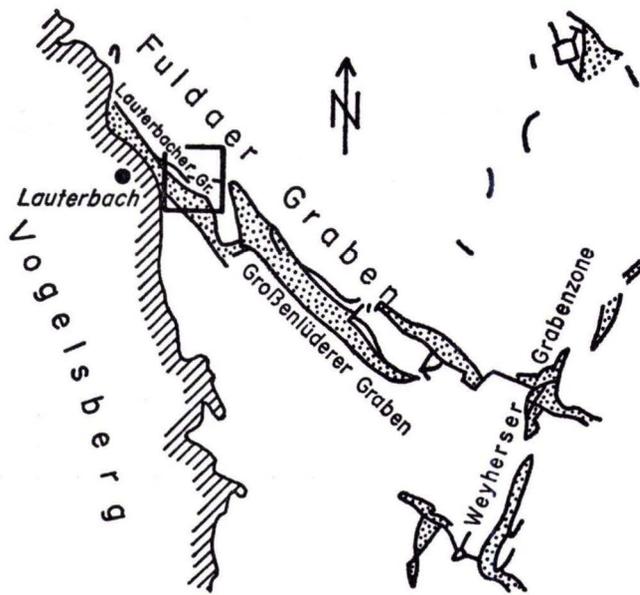


Abb. 1. Lage des Arbeitsgebietes.

2. Geologie

Buntsandstein

Nördlich des Lauterbacher Grabens wurden durch die Neugliederung des Buntsandsteins 2 neue N-S-Störungen mit Sprunghöhen von 175 und 210 m erkannt. Der Buntsandstein wird dadurch in 3 Schollen, in denen von E nach W jüngere Schichten anstehen, gestaffelt. In der östlichsten konnte erstmalig die Salmünster-Folge des Unteren Buntsandsteins nach dem Feingliederungsschema von DIEDERICH & LAEMMLEN (1966) nachgewiesen werden. Auf der westlich anschließenden Scholle des Mittleren

Buntsandsteins ließen sich alle Folgen mit der üblichen Untergliederung aushalten. In der westlichsten Scholle bestätigt Oberer Buntsandstein das Bild einer E-W-Staffelung.

Fast quer zu diesem Bruchsystem streicht der Lauterbacher Graben. Bei den Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß zwischen der NE- und SW-Seite des Grabens eine Höhendifferenz von ca. 155 m besteht. die Grabenrandverwerfungen weisen demzufolge auf der SW-Seite wesentlich geringere Sprunghöhen auf als auf der NE-Seite.

Muschelkalk

Muschelkalk ist ausschließlich auf die Randstufen des Lauterbacher Grabens beschränkt. Während die Vorkommen dieser schmalen Schollen meist nur an Lesesteinen erkennbar sind, bietet ein Wasserriß am Sonnberg in Angersbach einen guten Aufschluß von der Grenze Unterer Muschelkalk/Röt.

Keuper

Die 3 Keuperstufen bilden mit einer Ausstrichbreite von 1,5 km den Kern des Lauterbacher Grabens. Bestimmend für das Ausstreichen der Schichten sind 2 Strukturen: Die große Keupermulde, deren Achse parallel zum Graben verläuft, und der Sattel, dessen Kern 200 m nördlich vom Angersbacher Friedhof liegt. Wie schon erwähnt, konnte die geologische Karte im Bereich des Keupers gegenüber der Aufnahme von DIEHL (1935) nur geringfügig verbessert werden.

Jura

Beim Aushub der Baugrube für den Schulneubau in Angersbach konnten jüngere als die bisher bekannten Schichten des Lias $\alpha 1$ aufgenommen werden. Es erscheint jetzt möglich, daß in Angersbach auch noch Lias $\alpha 2$ ansteht. Lediglich das Ende der Baugrube verhinderte eine Verfolgung des Profils ins Hangende.

Weiterhin zeigte der Baugrubenaushub eine parallel zur Grabenachse streichende Erosionsdiskordanz zwischen den Liastonen und einer mit Lößlehm überdeckten Basaltschotterdecke.

3. Hydrogeologie

Den wichtigsten Kluftgrundwasserleiter bildet der Buntsandstein. Der vorwiegend tonige Untere Buntsandstein enthält nur geringmächtige wasserwegsame Gesteine, so daß Schichtquellen, wie sie häufig an der Grenze von Wasserstauer zu Wasserleiter festgestellt werden können, hier nicht auftreten. Der tonige und somit recht plastische Gesteinscharakter des Unteren Buntsandsteins könnte auch wohl dafür verantwortlich sein, daß im Gebiet des Unteren Buntsandsteins keine Verwerfungsquellen vorhanden sind.

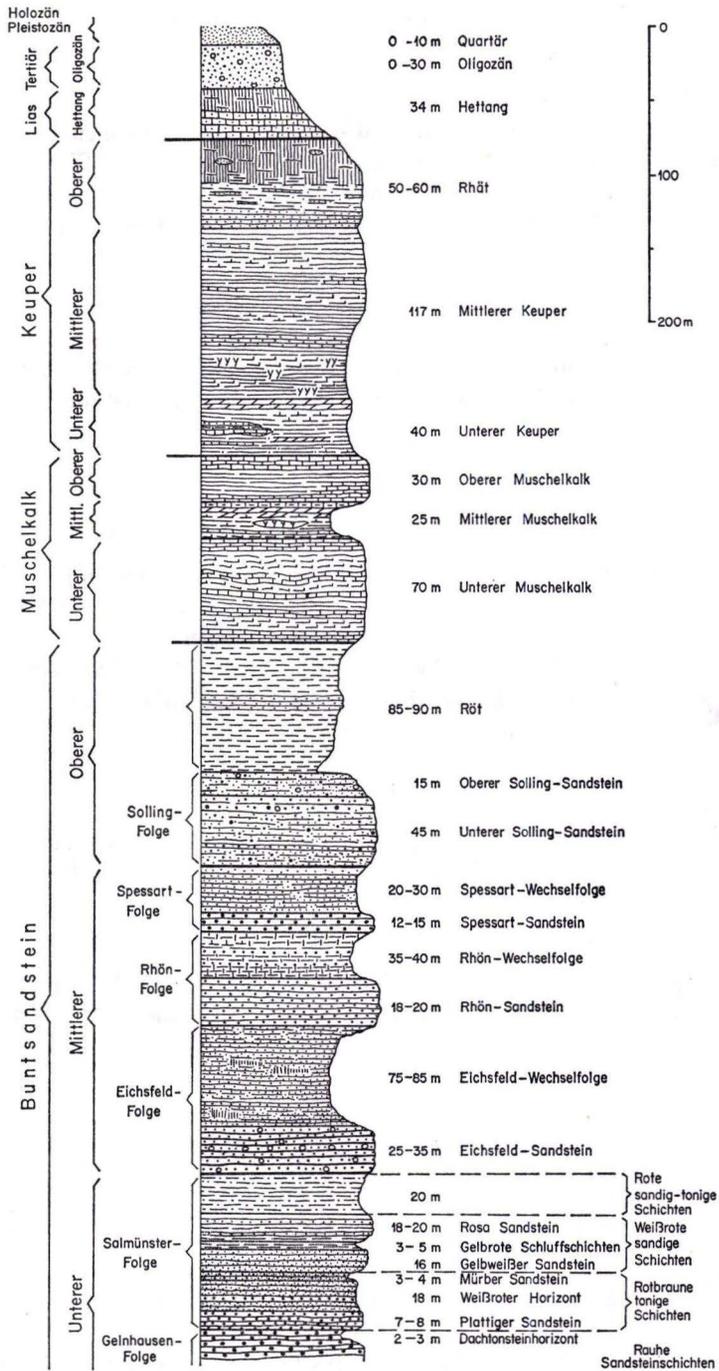


Abb. 2. Normalprofil der Schichtenfolge.

Im Gegensatz dazu enthält das Gebiet des Mittleren Buntsandsteins mit seinen klüftigen, wasserwegsamen Sandsteinfolgen und den wasserstauenden Wechselfolgen häufig deutlich ausgeprägte Schichtquellen. Wegen der oberflächennahen Lage und geringeren Einzugsfläche ihrer Speichergesteine schütten diese Quellen z. T. nur temporär und sind, wenn sie perennieren, starken Schüttungs- und Temperaturschwankungen unterworfen.

Ein noch besserer Kluftgrundwasserleiter sind die relativ mächtigen Schichten des grobkörnigen Oberen Buntsandsteins (Solling-Folge). Ist die Grenze Röt/grobkörniger Oberer Buntsandstein aufgeschlossen, wie am Sonnberg in Angersbach, sind kräftig schüttende Quellen vorhanden.

Tab. 1. Lage der Quellen

Nr.	R	H	Nr.	R	H
1	35 33 42	56 12 43	18	35 30 80	56 13 65
2	35 33 42	56 12 45	19	35 30 97	56 12 40
3	35 33 24	56 12 63	20	35 31 08	56 09 57
4	35 33 60	56 12 45	21	35 31 02	56 09 13
5	35 33 40	56 13 53	22	35 31 02	56 11 65
7	35 34 73	56 12 80	23	35 32 67	56 10 94
8	35 34 67	56 13 23	24	35 33 08	56 10 91
10	35 31 07	56 11 68	25	35 33 52	56 12 90
11	35 31 35	56 13 14	26	35 30 69	56 10 02
12	35 32 70	56 13 45	27	35 30 43	56 10 19
13	35 32 37	56 14 10	28	35 32 12	56 09 15
14	35 31 98	56 13 66	29	35 33 90	56 09 56
17	35 31 59	56 14 17	30 a	35 31 13	56 09 67

Auf die günstige Wasserwegsamkeit des Muschelkalks, der schon überwiegend als Karstgrundwasserleiter anzusprechen sein dürfte, deuten die häufigen Grundwasseraustritte an den Grenzen Muschelkalk/toniger Keuper hin, und zwar an den Stellen, wo im Grabenbereich Muschelkalk im gleichen oder höheren Niveau wie der Keuper vorliegt. Aus dem Keuper selbst sind keine größeren Grundwasseraustritte bekannt.

Die Schüttungskurven (Abb. 4) lassen erkennen, daß eine Periode verstärkter Schüttungen ungefähr Anfang November einsetzt, ihren Höhepunkt Anfang März erreicht und dann so lange abfällt, bis sie Anfang Juni von einer Zeitspanne relativ geringfügig schwankender Niedrigabflüsse abgelöst wird. Eine Beziehung zwischen Schüttungs- und Niederschlagskurve ist nicht erkennbar.

Bei den Temperaturschwankungen der Quellen im Vergleich zu den jahreszeitlichen Monatsmitteln der Lufttemperatur (Abb. 5) zeigt sich, daß sich der Höhepunkt der Lufttemperatur mit einer Verzögerung von ca. 60 — 80 Tagen im Grundwasseraustritt bemerkbar macht. Am wenigsten betroffen sind die auf tiefgreifenden Störungen liegenden Quellen 21 und 22, während die mehr oberflächennahen Schichtquellen, wie Q 5, Q 11, den stärksten Schwankungen unterworfen sind.

Typisch für die Schichtquellen des Buntsandsteins ist der geringe Härtegrad von 3 — 5° und der dagegen hohe Härtegrad von 8 — 90° dH der Verwerfungsquellen 21 und 22 (Abb. 6 — 11).

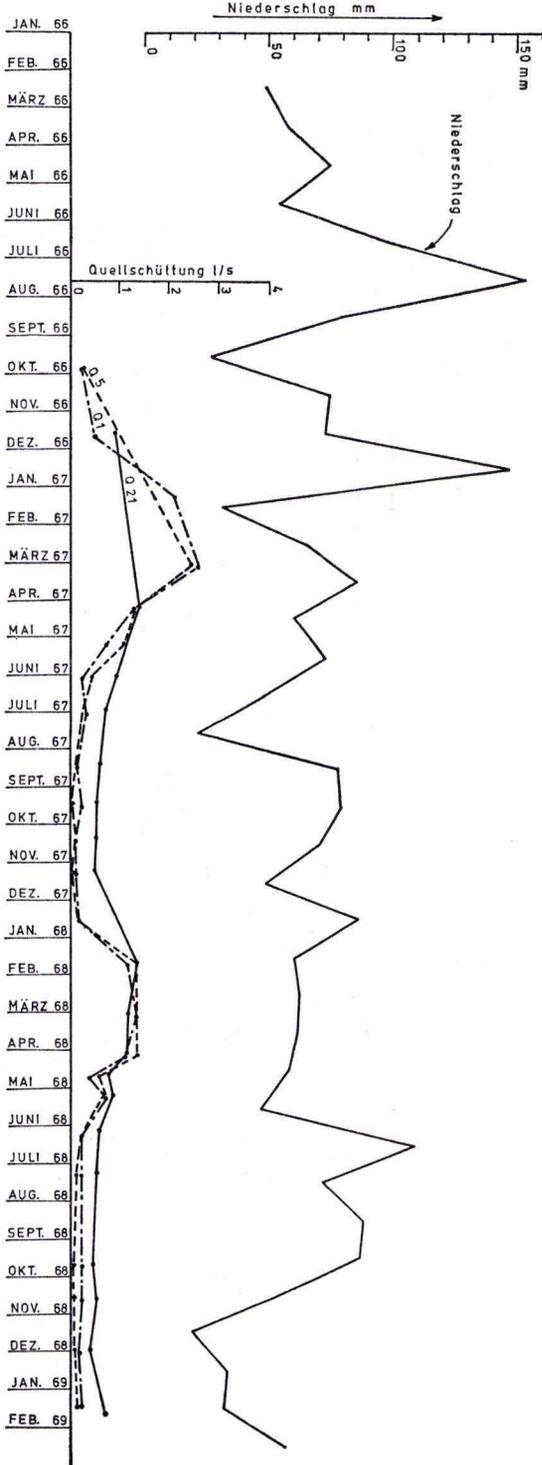


Abb. 4. Monatlicher Niederschlag (Meßstelle Angersbach) im Verhältnis zu den Schüttungskurven der Quellen 1, 5 und 21.

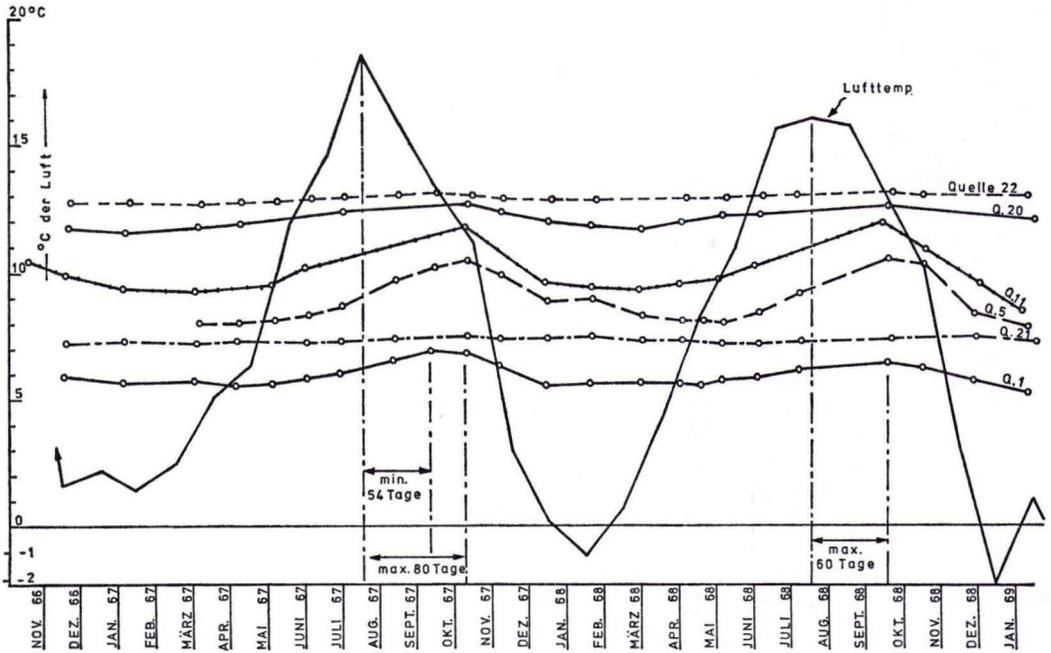


Abb. 5. Temperaturschwankungen der Quellen im Vergleich zu den jahreszeitlichen Monatsmitteln der Lufttemperatur.

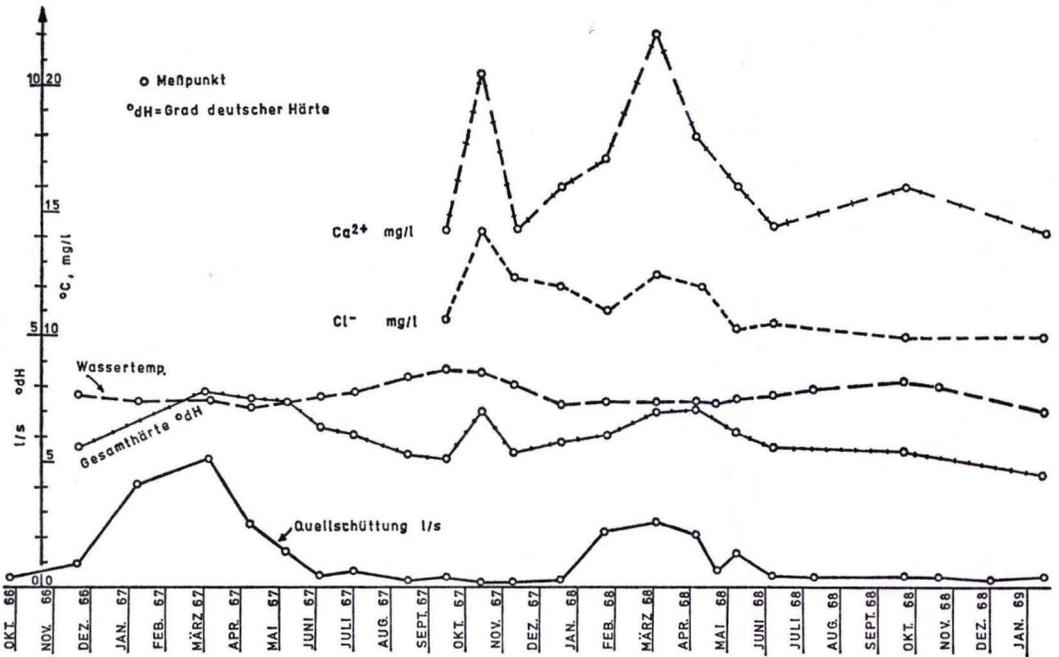


Abb. 6. Temperatur und Wasserbeschaffenheit der Quelle 1.

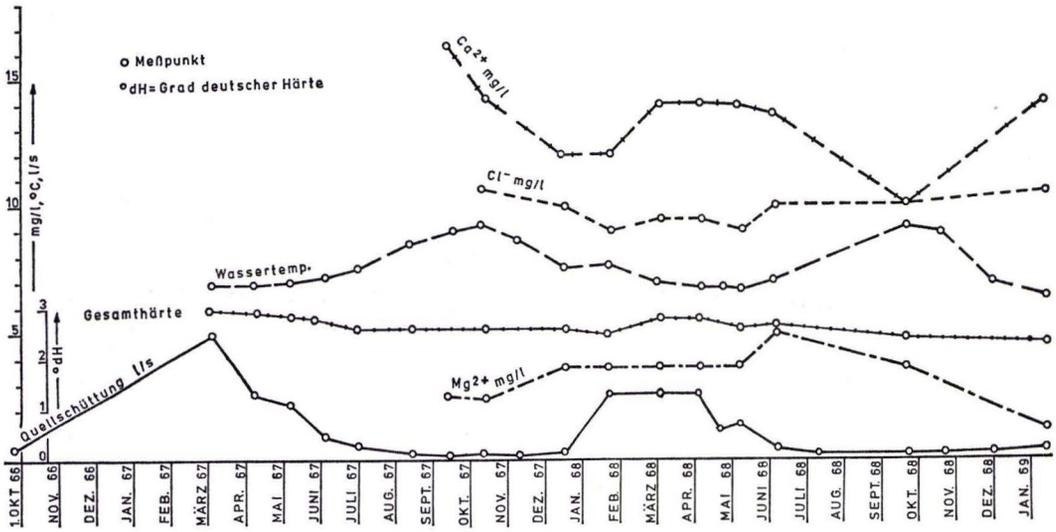


Abb. 7. Temperatur und Wasserbeschaffenheit der Quelle 5.

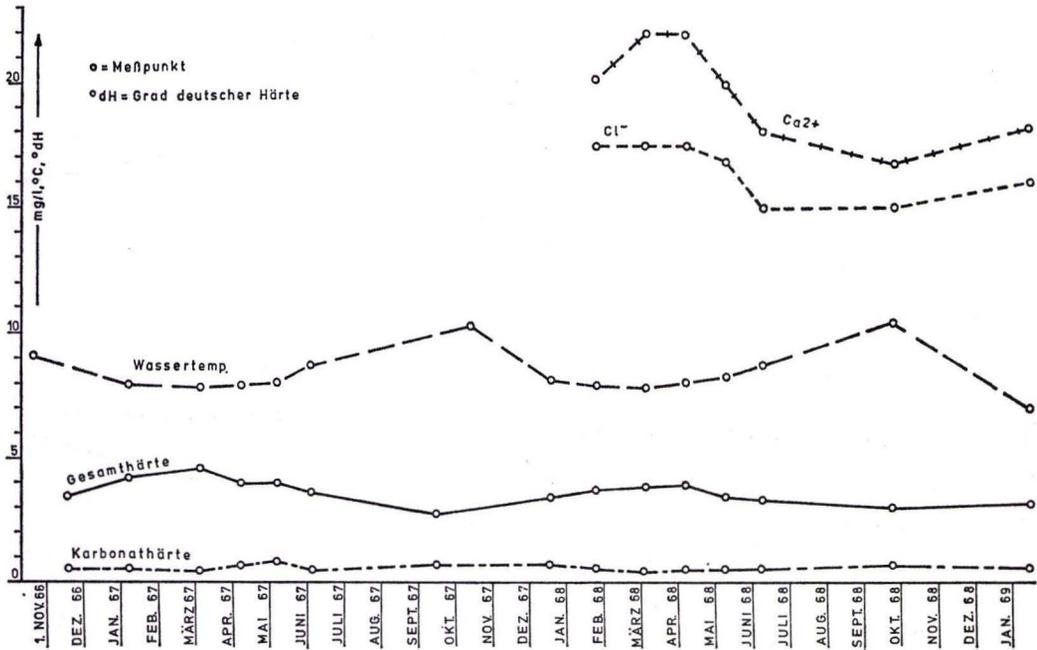


Abb. 8. Temperatur und Wasserbeschaffenheit der Quelle 11.

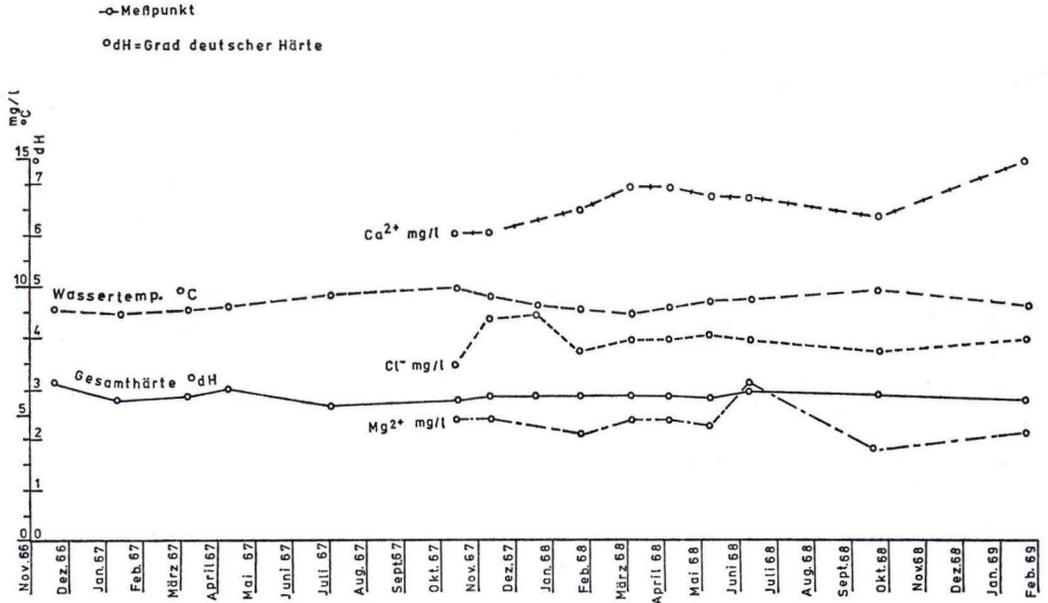


Abb. 9. Temperatur und Wasserbeschaffenheit der Quelle 20.

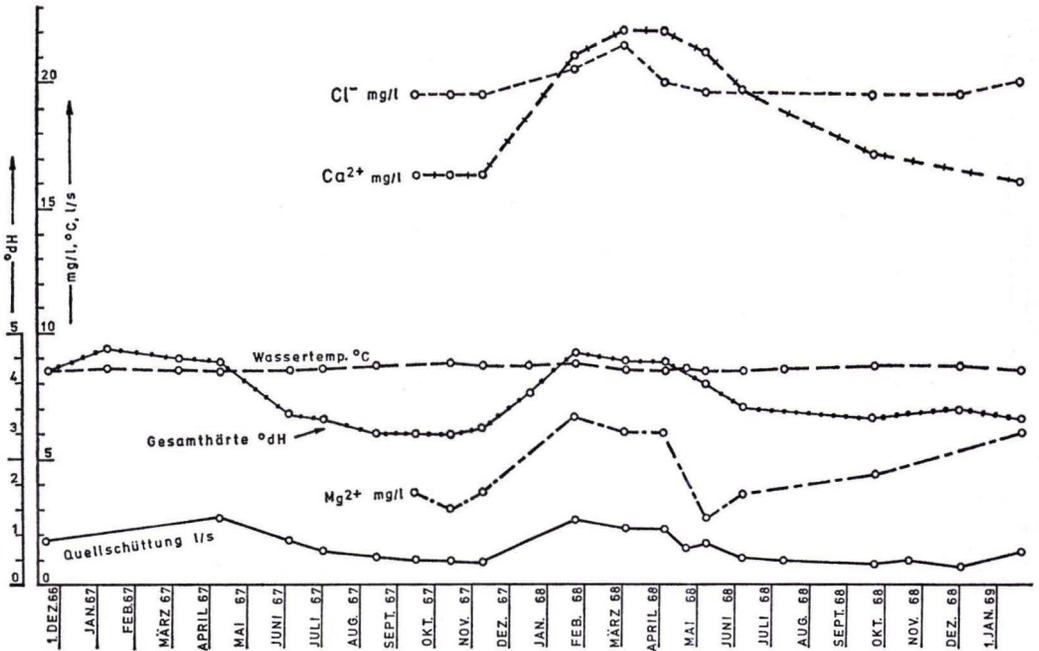


Abb. 10. Temperatur und Wasserbeschaffenheit der Quelle 21.

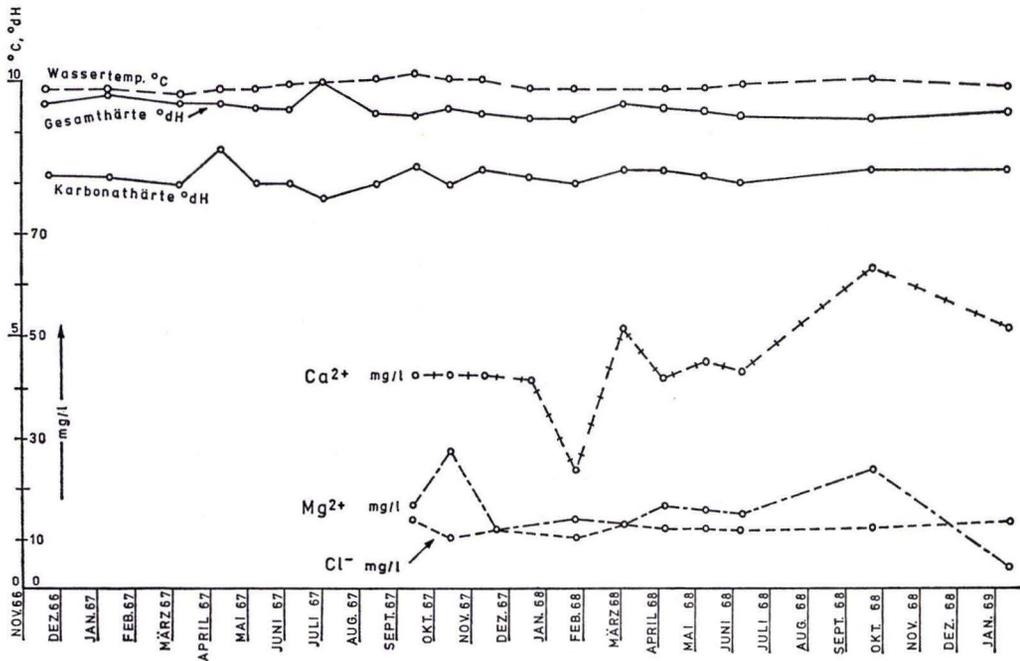


Abb. 11. Temperatur und Wasserbeschaffenheit der Quelle 22.

4. Zusammenfassung

Bei der Kartierung im Buntsandstein wurde mit Hilfe der modernen Stratigraphie eine detaillierte Feingliederung erreicht. Besonders im Unteren Buntsandstein konnten nach dem Gliederungsschema von DIEDERICH & LAEMMLEN (1966) größere Fortschritte in der Kartendarstellung erzielt werden. Im NE-Teil des Arbeitsgebietes wurde eine Staffelung größerer rheinisch gerichteter Verwerfungen erkannt. Bei Angersbach wurden bisher unbekannte jüngere Liasschichten gefunden.

Hydrogeologisch wurde ein höheres weniger ergiebiges Grundwasserstockwerk im Rhön-Sandstein und ein tieferes, ausgedehnteres und ergiebigeres im Eichsfeld-Sandstein festgestellt. Eine 2¹/₂-jährige Untersuchung mehrerer Quellen ließ die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Einzugsgebiet, Lagerungsverhältnissen, Niederschlags-höhe und Schüttung erkennen und zeigte deren Einfluß auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Quellwässer.

5. Schriftenverzeichnis

- BECKSMANN, E. (1954) : Grundwasserchemismus und Speichergestein. — Z. deutsch. geol. Ges., **106**: 23—35; Hannover.
- BEETZ, W. (1912) : Beiträge zur Tektonik und Stratigraphie des Lauterbacher Grabens. — Notizbl. Ver. Erdkde. u. großherz. geol. L.-Anst., (IV) **33**: 103—151; Darmstadt.
- DIEDERICH, G. (1966) : Fazies, Paläogeographie und Genese des Unteren Buntsandstein norddeutscher Auffassung im südlichen Beckenbereich. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **94**: 132—157, 7 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- & LAEMMLEN (1966) : Der Untere Buntsandstein auf Blatt Grebenau in Hessen. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **94**: 158—172, 1 Abb., 1 Tab., Taf. 13; Wiesbaden.
- DIEHL, O. (1927) : Der Lauterbacher Graben. — Notizbl. Ver. Erdkde. u. hess. geol. L.-Anst., (V) **9**: 30—48, 2 Taf.; Darmstadt.
- (1935) : Geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. Lauterbach, mit Erl., 105 S., 1 Taf.; Darmstadt.
- HÖLTING, B. & MATTHESS, G. (1964) : Grundwasserleiter und Grundwasserhöflichkeit. — Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Fulda, E 91—92, 1 Kte. 1 : 300 000; Wiesbaden (Hess. Min. Landwirtschaft u. Forsten, Abt. Wasserwirtsch.).
- JÜNGST, H. (1928) : Zur *Planorbiszone* von Angersbach. — Notizbl. Ver. Erdkde. u. hess. geol. L.-Anst., (V) **10**: 168—179, 1 Taf.; Darmstadt.
- KÖBRICH, C. (1926) : Die Tiefbohrungen nach Salz in Oberhessen in den Jahren 1905/07. — Notizbl. Ver. Erdkde. u. hess. geol. L.-Anst., (V) **8**: 197—223; Darmstadt.
- KOENEN, A. v. (1875) : Über Lias bei Lauterbach am Vogelsberge. — Z. deutsch. geol. Ges., **27**: 706—742; Berlin.
- KRÜGER, H. (1972) : Zur Geologie und Hydrogeologie des Lauterbacher Grabens bei Angersbach (zwischen Vogelsberg und Rhön). — Lauterbacher Samml., **55**: 1—92, 20 Abb., 6 Anl.; Lauterbach.
- KUPFAHL, H.-G. (1965) : Erl. geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. 5323 Schlitz: 1—258, 32 Abb., 26 Tab., 4 Diagr., 14 Taf.; Wiesbaden.
- LEMKE, F. (1937) : Der tektonische Bau des Gebiets zwischen Vogelsberg und Rhön. — Geotekt. Forsch., **1**: 27—68, 22 Abb., 5 Taf.; Berlin.
- MATTHESS, G. & THEWS, J.-D. (1963) : Hydrogeologie. — Erl. geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. 5223 Queck: 245—281, 4 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- MEYER, H. L. F. & LANG, R. (1913) : Keuperprofile bei Angersbach im Lauterbacher Graben. — Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilkde. Gießen, N. F., naturwiss. Abt., **5**: 1—44, 2 Abb.; Gießen.
- NÖRING, F. (1950) : Grundsätzliches betreffend hydrogeologische Karten. — Z. deutsch. geol. Ges., **101**: 222—229; Hannover.
- (1951) : Ausgewählte Fragen der Grundwasserchemie in Beziehung zu Oberfläche und Untergrund. — Z. deutsch. geol. Ges., **102**: 123—128; Hannover.
- MATTHESS, G. & THEWS, J.-D. (1967) : Die hydrogeologische Feldkartierung. — Mém. IAH-Kongreß 1965, **7**: 240—244; Hannover.
- SCHENK, F. (1955) : Ein neues Muschelkalkvorkommen bei Angersbach und die Quertektonik des Lauterbacher Grabens. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **83**: 205—219, 2 Abb.; Wiesbaden.

Der Grundwasserabfluß der Frankenberger Bucht (Ostrand Rheinisches Schiefergebirge)

Von

HANS-JÜRGEN PICKEL *

Mit 15 Abbildungen und 12 Tabellen

Kurzfassung: Die durchgeführten Untersuchungen geben eine Übersicht über den Grundwasserabfluß des Buntsandstein-Kerngebietes der Frankenberger Bucht und ihres paläozoischen Rahmens.

Ausgehend von Trockenwetter-Abflußmessungen und Pegel-Auswertungen wurde der minimale Grundwasserabfluß einzelner Teilgebiete ermittelt. Das minimal nutzbare Grundwasserdargebot der Triasanteile beträgt, ohne Berücksichtigung und Ausweisung versorgungstechnisch relevanter Bereiche, etwa 1236 l/s (entsprechend einer minimalen Abflußspende von etwa 2,1 l/s km²).

Durch detaillierte Ermittlung von Abfluß- und Zuwachsspends konnte eine zum Teil erhebliche Abweichung zwischen Niederschlags- und Einzugsgebieten festgestellt werden.

Abstract: The investigations described in this paper provide a general view of groundwater runoff from the "Frankenberger Bucht" consisting of Buntsandstein as well as its palaeozoic frame.

Based on measurements of base flow and analysis of data obtained from water-level gauges base groundwater runoff of different areas is evaluated. Safe yield of the triassic area is 1236 l/s (corresponding to a groundwater discharge of 2,1 l/s km²) without considering the technical and economic factors of groundwater catchment.

Detailed evaluation of runoff per unit area and its increase proved partially a considerable difference between subterranean catchment area and drainage area.

Inhalt

1. Einleitung	64
2. Morphologische und topographische Übersicht	64
3. Geologische Übersicht	66
3.1. Stand der geologischen Erkundung	67
3.2. Schichtenfolge und Gesteinsausbildung	68
4. Tektonische Situation	69
5. Hydrogeologische Übersicht	70
6. Gemessene Werte der Grundwasserneubildung	71
6.1. Zuwachsspends im Niederschlagsgebiet der Wohra	72
6.2. Zuwachsspends im Niederschlagsgebiet des Roten Wassers	76
6.3. Zuwachsspends im Niederschlagsgebiet der Wetschaft	78
6.4. Zuwachsspends im Niederschlagsgebiet beiderseitig der Eder	82
6.5. Zuwachsspends im Niederschlagsgebiet der Nunne	84
7. Abhängigkeit der Abfluß- und Zuwachsspende vom Niederschlagsgebiet	86

*) Dr. H.-J. PICKEL, Dipl.-Geologe, 35 Kassel, Heckenpfad 9 c.

8. Abhängigkeit des unterirdischen Zuflusses im Vorfluterniveau vom Gesamtabfluß	88
9. Grundwasserscheiden und Grundwasserfließrichtung in der Frankenger Bucht	88
10. Auswertung der Pegelmessungen	89
11. Minimal nutzbares Grundwasserdargebot	92
11.1. Vergleich des minimal nutzbaren Grundwasserdargebotes mit dem minimalen Grundwasserabfluß min. A_0 nach WUNDT	95
12. Zusammenfassung	95
13. Schriftenverzeichnis	97

1. Einleitung

Die vorliegenden Untersuchungen sind Teil einer Dissertation, in deren Rahmen u. a. die regionale Verteilung grundwasserhöffiger Gebiete in der Frankenger Bucht erkundet wurde.

Basierend auf diesen Ergebnissen war es möglich, in Verbindung mit maßgeblichen Geofaktoren (u. a. Klüftung, Permeabilität, Porosität) Überlegungen zur Ermittlung von Grundwasserfließrichtungen und damit des großräumigen Zusammenhangs der Grundwasserbewegung anzustellen.

Wesentliches Ziel der Untersuchungen ist es, basierend auf ca. 450 Trockenwetter-Abflußmessungen vom Herbst 1971, eine Bestandsaufnahme des vorhandenen minimalen Grundwasserdargebotes vorzunehmen. Im Hinblick auf die auf Mengenprobleme begrenzte Themenstellung werden hier jedoch nur die hydrogeologischen Aspekte behandelt und die hydrochemischen Verhältnisse nicht berücksichtigt.

Die Anregung zu dieser Arbeit, die methodisch auf den Ergebnissen der Diplomarbeit (PICKEL 1971, 1972) aufbaut, erhielt ich von Herrn Professor Dr. NÖRING, Wiesbaden. Ihm danke ich auch für seine stete Förderung, die zahlreichen Ratschläge und klärenden Gespräche sowie sein Interesse am Gelingen und Fortgang dieser Arbeit.

2. Morphologische und topographische Übersicht

Die Lage des Untersuchungsgebietes ist aus Abb. 1 ersichtlich. Dabei sind im wesentlichen die Niederschlagsgebiete

der Wetschaft,

der Eder zwischen Battenberg und Schreufa,

der Nuhne,

der Eder (rechtsseitig zwischen Schreufa und Ederbringhausen),

der Wohra und

des Roten Wassers (einschließlich der rechts der Ohm liegenden, kleineren Niederschlagsgebiete zwischen Kirchhain und Cölbe)

einbezogen.

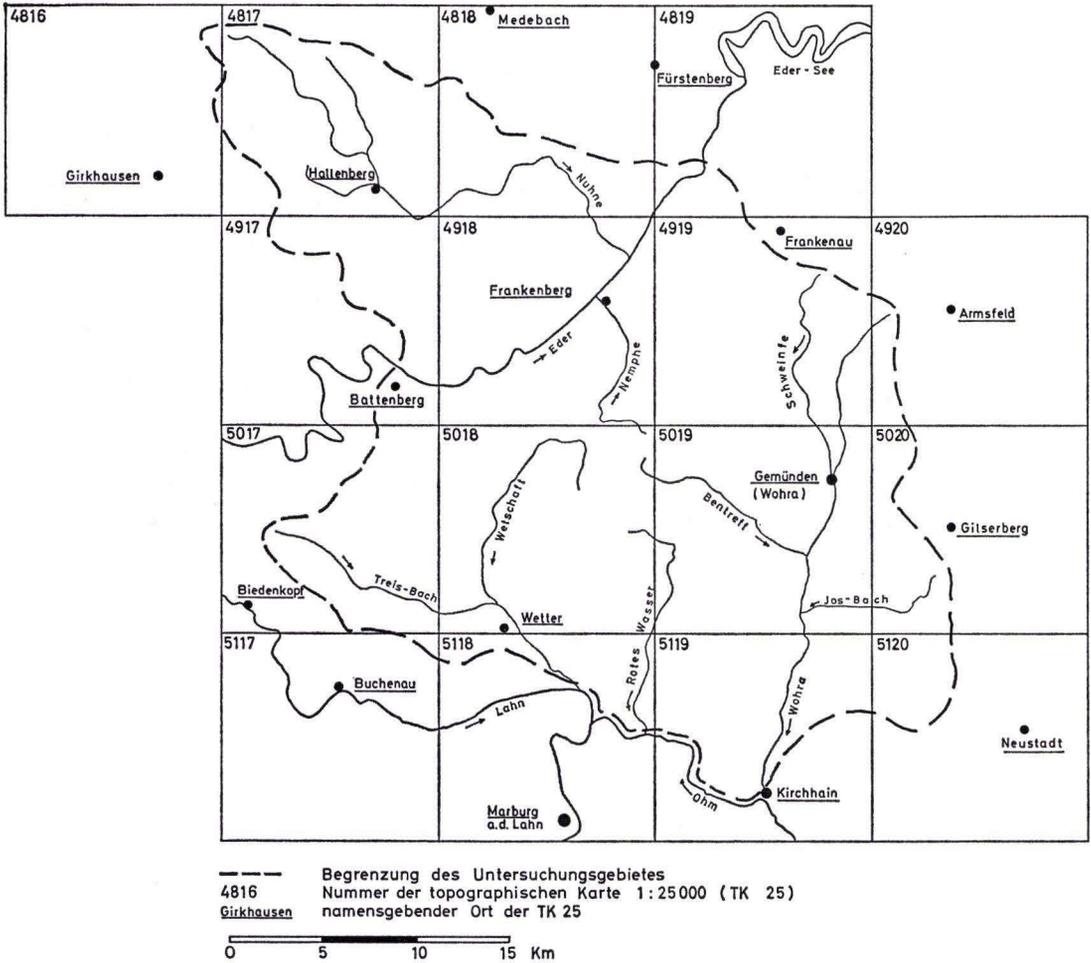


Abb. 1. Übersicht über das Untersuchungsgebiet.

Im E und NE begrenzen die Höhen des Kellerwaldes (bis 675 m), im N und W die des Rothaargebirges (bis 841 m) das Arbeitsgebiet.

Zwischen dem Schiefergebirgssporn des Kellerwaldes im E und dem geschlossenen Rheinischen Schiefergebirge im W liegt das Gebiet der Frankenerger Bucht, welches das Trias-Bergland inmitten des paläozoischen Rahmens, also den Burgwald im N und W (bis 390 m) und den Mönchwald im SE (bis 350 m) umfaßt.

Die südliche Grenze bildet die Ohm zwischen Kirchhain und Cölbe.

3. Geologische Übersicht

Die geologisch-großtektonischen Einheiten stimmen mit der morphologischen Gliederung weitgehend überein:

- bis auf den südlichen Teil bildet den Rahmen das Rheinische Schiefergebirge aus Schichten des gefalteten Paläozoikums,
- jungpaläozoische Gesteine (Zechstein) sind an staffelförmigen Verwerfungssystemen in die Tiefe gesunken, sie formen mit Ausnahme weniger Gebiete
- einen schmalen Saum und grenzen an
- die Gesteinsserien der unteren Trias (Buntsandstein), die die Frankenerger Bucht ausfüllen.

In Abb. 2 ist die geologische Übersicht großräumig und schematisch dargestellt.

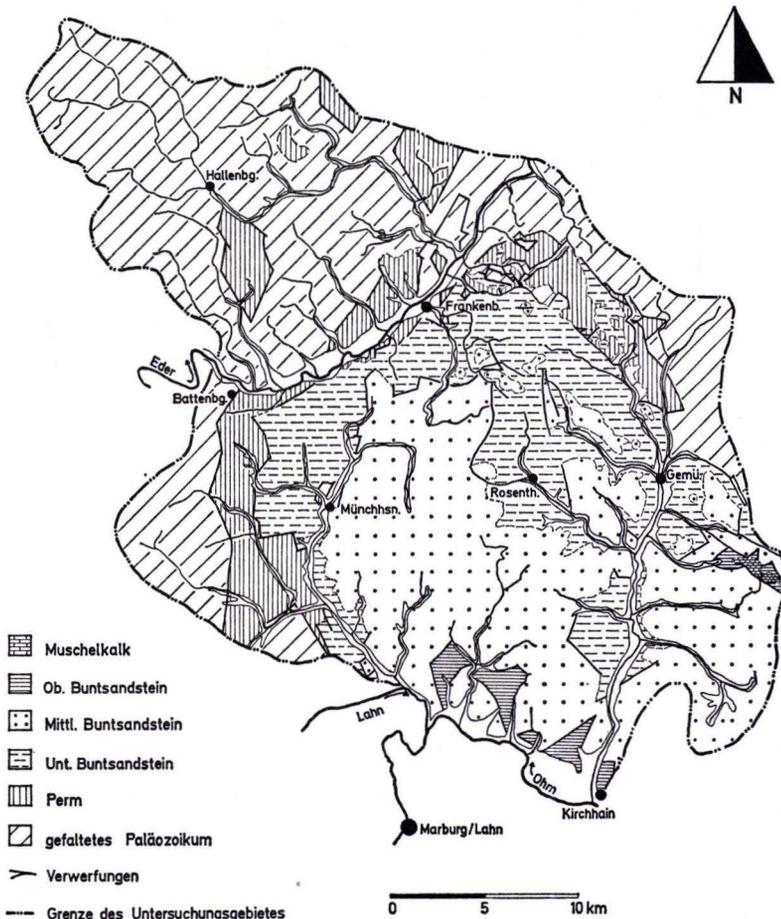


Abb. 2. Schematische geologische Übersicht.

3.1. Stand der geologischen Erkundung

Infolge des seit Jahrhunderten betriebenen und erst vor einigen Jahrzehnten eingestellten Silber- und Kupfererzbergbaus im Geismarer Bergbaurevier (E Frankenberg) sind die permischen Schichten am Schiefergebirgsrand oft bergmännisch-geognostisch und paläontologisch bearbeitet worden, so u. a. von CANCRIN (1767), WALDIN (1778), RIES (1791), ULLMANN (1803), JORDAN (1803), GEINITZ (1848), GÖPPERT (1850), WÜRTEMBERGER (1867), LEIMBACH (1869), v. KOENEN (1875), HOLZAPFEL (1879), STAMM (1891), DREVERMANN (1901), STILLE (1902), DENCKMANN (1891, 1901, 1902) und H. L. F. MEYER (1910).

Neuere Veröffentlichungen über den Zechstein in der Frankenger Bucht stammen u. a. von WALGER (1928), GRUPE (1935) und SOBOTH (1951, 1953 a, 1953 b). Die letzte eingehende Bearbeitung des Perms am Schiefergebirgsrand nahm SAUER (1964) vor, eine Detailaufnahme im Gebiet von Haina (Bl. 4919 Frankenau) mit zum Teil veränderter Einstufung gibt PICKEL (1971).

Einen unterschiedlichen Stand der Erforschungsgeschichte weist der Buntsandstein der Frankenger Bucht auf. Erst in den letzten Jahren konnte im Südteil (Bereich Marburg — Kirchhain) durch die Arbeiten von LANG (1959), GRAUL, HIEKE & RITZKOWSKI (1965), ROTH (1966), GRAUL (1967) und GRAUL & HÖLTING (1968) eine gewisse Einheitlichkeit in der Buntsandsteingliederung erreicht werden. Der Untere Buntsandstein wurde von KULICK (1966) bei der Bearbeitung der Bg. Schiffelbach (TK 25, Bl. 5019 Gemünden/Wohra) beschrieben und der bestehenden Waldecker Gliederung angeglichen. Auf den Bereich TK 25, Bl. 4919 Frankenau, übertrug PICKEL (1971) die KULICK'sche Gliederung.

Nicht so entscheidend für die hydrogeologische Fragestellung dieser Arbeit ist das Gebiet des Rheinischen Schiefergebirges selbst. Eine Zusammenstellung der geologischen Schichtenfolge für den Kellerwald gibt STOPPEL (1961). Zahlreiche Göttinger Diplomarbeiten, u. a. AHRENDT (1965), GEISSLER (1965), beschäftigen sich mit der Geologie des Kellerwaldes, die letztmals eingehend von MEISCHNER & SCHNEIDER (1968) dargestellt ist.

Eine Gesamtbearbeitung der Umrahmung der Frankenger Bucht einschließlich Kellerwald gab KOCKEL (1958) in seinem Geologischen Führer von Marburg und Umgebung. Hier finden sich auch weitere, vertiefende Literaturhinweise.

Kartenmäßig wurden Teile des Untersuchungsgebietes schon Ausgang des vorigen Jahrhunderts dargestellt, so u. a. in den Geologischen Karten 1 : 80 000, Section Berleburg (1879), Section Laasphe (1883) und Section Waldeck-Cassel (BEYSCHLAG, DENCKMANN, KAYSER & LEPPLA 1892). Im Rahmen der geologischen Landesaufnahme im Maßstab 1 : 25 000 erschienen die ersten Blätter um die Jahrhundertwende, denen topographische Aufnahmen, z. T. auf Fußbasis, aus dem ehemaligen Kurfürstentum Hessen zugrunde lagen.

3.2. Schichtenfolge und Gesteinsausbildung

Die geologisch im Arbeitsgebiet wichtigsten Schichtenfolgen sind der Buntsandstein und die Sedimente des Perms. Hinsichtlich der genaueren petrographischen Beschreibung sei auf die Spezialliteratur verwiesen.

Devonische Schichten treten im Gebiet W Wetter, bei Battenberg, im oberen Niederschlagsgebiet der Nuhne und im Kellerwald auf. Es handelt sich vorwiegend um mittel- und oberdevonische Tonschiefer, Quarzite, Sandsteine und Grauwacken.

Schichten des Unterkarbons finden sich in der gesamten Umrahmung der Frankenger Bucht. Es sind überwiegend Kulmgrauwacken und Kulmtonschiefer (meist in Wechsellagerung), Kiesel-schiefer und im Kellerwald der Kellerwaldquarzit.

Diabase — meist oberdevonische Intrusiv- oder unterkarbonische Effusiv-Diabase — sind in größerer Verbreitung im westlichen Niederschlagsgebiet der Wetschaft (W Wetter) und im Kellerwald anzutreffen.

Überwiegend durch Störungen vom Schiefergebirge abgetrennt, teilweise aber auch transgressiv auflagernd, liegt das Perm als schmaler Saum zwischen der Trias der Frankenger Bucht und dem Rheinischen Schiefergebirge. Lediglich SE Haina und S Gilserberg sind die permischen Schichten nicht vertreten.

Es sind unterschiedlich mächtige Basiskonglomerate (Älteres Konglomerat) mit tonigen Beimengungen entwickelt. Darüber lagern die Geismarer Schichten, die tonig-karbonatisch oder sandig ausgebildet sind. Isolierte Perm-vorkommen, z. T. in kalkiger Fazies, sind im Raum N Allendorf/Eder und Sachsenberg—Neukirchen anzutreffen.

Der Buntsandstein baut fast vollständig die Füllung der Frankenger Bucht auf.

Der Untere Buntsandstein zeigt im Marburg-Kirchhainer Gebiet einen unterschiedlichen Aufbau und eine differierende Mächtigkeit gegenüber dem im Gebiet Haina — Gemünden. Die Basis des Unteren Buntsandsteins wird vom Bröckelschiefer gebildet, der zwischen 0 und > 30 m Mächtigkeit schwankt. Von KULICK (1966) und PICKEL (1971) wird im Gegensatz zu SAUER (1964) das Jüngere Konglomerat als beckenrandnahe, fazielle Vertretung des Bröckelschiefers aufgefaßt.

Über dem Bröckelschiefer lagert eine Folge von Bausandsteinen die zum Hangenden in glimmer- sowie ton- und schluffreiche Feinsandsteine übergeht.

Der Mittlere Buntsandstein besteht aus einer Folge von mürben, überwiegend buntstreifigen Mittel- und Grobsandsteinen mit zwischengelagerten Wechselfolgen. Nach GRAUL & HÖLTING (1968) läßt sich eine Dreiteilung in Volpriehausen-(Stubensand-) Folge, Detfurth-(Formsand-) Folge und Hardeggen-(Marburg-) Folge vornehmen. Die Solling-(Bauerbach-) Folge wird von den Autoren als Basis des Oberen Buntsandsteins aufgefaßt.

Die tonigen Partien des Oberen Buntsandsteins (Röt) streichen nur an wenigen Stellen im südlichen Teil des Arbeitsgebietes aus. Das Röt besteht vorwiegend aus Ton- und Schluffsteinen, untergeordnet aus feinkörnigen, quarzitischen Feinsandsteinbänken.

Im E des Untersuchungsgebietes tritt am NW-Ende des Momberger Grabens ein nur 1 — 2 km² großes Muschelkalkvorkommen auf. Es umfaßt oberflächlich zu etwa 85 % Unteren, zu etwa 15 % Mittleren und Oberen Muschelkalk.

Der Untere Muschelkalk ist etwa 50 m mächtig und besteht aus grauen, geringmächtigen, welligen Kalksteinbänken. Eingelagert sind Oolith- und Schaumkalkbänke.

Tertiäre Sedimente treten in wenig ausgedehnten Vorkommen im Gebiet N Kirchhain zwischen Langenstein und Erksdorf auf. Es handelt sich um Tone und Sande oligozänen bis pliozänen Alters.

SOBOTH (1961) erwähnt fragliche pliozäne Schotter aus dem Stadtgebiet von Frankenberg; über die Einstufung der Schotter im Untersuchungsgebiet veröffentlichten u. a. BLANCKENHORN & KURTZ (1929), LANG (1955), SANDNER (1956) und HUCKRIEDE & ZACHOS (1969).

Vulkanische Gesteine tertiären Alters (Basalte) sind nur von zwei Stellen bekannt, wo sie die Kuppen des Großen und Kleinen Badensteins NW Bracht aufbauen.

Wichtigste pleistozäne Ablagerung ist der würmzeitliche Löß, der heute z. T. als Lößlehm weite Gebiete mit einer Mächtigkeit bis über 10 m überzieht. Auf möglicherweise ältere Lössse weist SOBOTH (1961) hin.

Im Quartär bildeten sich periglazial die Schuttdecken, die z. B. an den W-Hängen des Kellerwaldes zwischen Gemünden/W. und Haina die Morphologie überprägen und mehrere Meter Mächtigkeit erreichen können.

Schuttmächtigkeiten über 15 m sind auch aus Buntsandsteingebieten bekannt.

Die holozänen Ablagerungen sind auf die Talniederungen beschränkt, wo durch die Sedimentation verschiedenartiger Abtragungsprodukte ein heterogenes Lockersediment entstanden ist.

4. Tektonische Situation

Die Frankenger Bucht wird weitgehend durch Störungen vom Rheinischen Schiefergebirge getrennt. Während im variszisch gefalteten Paläozoikum generell ein erzgebirgisches Schichtenstreichen (NE — SW) vorherrscht, sind die Streichrichtungen in den jüngeren Sedimenten sehr unterschiedlich.

Die Störungen sind im Schiefergebirge meist als senkrecht zum Streichen stehende, NW — SE verlaufende Querstörungen ausgebildet. NW — SE verlaufen auch die Störungen, die die Frankenger Bucht im NE bzw. SW vom Schiefergebirge abtrennen. Dabei fallen die Schichten mehr oder weniger stark antithetisch ein, so daß z. B. im Gebiet Haina — Frankenau in mehreren Kilometern Entfernung vom Schiefergebirgsrand nochmals gefaltetes Paläozoikum austreicht.

Nach N wird die Trias von einer erzgebirgisch streichenden Störung begrenzt.

Die Bruchtektonik der Frankenberger Bucht gehört in den Bereich der saxonischen Faltung. Nach den älteren Aufnahmen ist die Trias des Burgwaldes nur relativ wenig gestört. Neuere Untersuchungen, wie sie im Gebiet Marburg — Kirchhain — Allendorf aufgrund zahlreicher Bohrungen (HÖLTING & GRAUL 1968, ENGEL & HÖLTING (1970) durchgeführt werden konnten, lassen eine stärker als bisher angenommene Schollenzergliederung erkennen.

Ein tektonisch bedeutendes Element ist im E neben der Kellerwaldrandverwerfung die rheinisch streichende „Wohratal-Linie“ (DIENEMANN 1915), die sich vom Kellerwaldrand bis zur Ohmtal-Depression (HÖLTING & STENGEL-RUTKOWSKI 1964) am N-Ende des Amöneburger Beckens hinzieht.

Im W verwirft eine im Wetschaft-Tal verlaufende Störung Unteren Buntsandstein und Zechstein gegen Mittleren Buntsandstein. Diese N — S verlaufende Störungszone setzt sich im generellen Streichen bis ins Edertal fort.

Etwa parallel zum Edertal schließen im N mehrere in erzgebirgischer Richtung streichende Störungen die Frankenberger Bucht ab. Sie verwerfen teils Zechstein, teils Buntsandstein gegen gefaltetes Paläozoikum.

Im Burgwaldkomplex sind innerhalb des Mittleren Buntsandsteins mehrere Aufwölbungen von Unterem Buntsandstein zu erkennen, so u. a. die von Rosenthal und Albshausen — Halsdorf. Nach S zu sinkt die Buntsandsteinplatte ab, so daß N der Ohmtal-Depression im Gebiet von Schönstadt Oberer Buntsandstein (Röt) austreicht.

5. Hydrogeologische Übersicht

Hydrogeologisch sind neben weitreichenden Verwerfungssystemen vor allem kompetente Schichtpakete wirksam. In diesem Zusammenhang ist die Trennfugendurchlässigkeit von Bedeutung, also die Durchlässigkeit des Gebirges aufgrund der Zerlegung im wesentlichen mechanischer oder chemischer Vorgänge. Daneben müssen jedoch noch die Schichtkomplexe Beachtung finden, die wegen ihrer Porosität einen hohen Permeabilitätsgrad aufweisen und wegen der damit verbundenen Gesteinsdurchlässigkeit als Porenaquifer gelten.

Gute Grundwasserleiter aufgrund der Trennfugendurchlässigkeit sind im wesentlichen Diabase sowie die kompetenten Sandsteinfolgen des Buntsandsteins. Am Beispiel des Wasserwerks Wohra wird von ENGEL & HÖLTING (1970) beschrieben, wie sich der Absenkungstrichter in Form vorgezeichneter tektonischer Linien (z. B. in eegischer und rheinischer Richtung) ausbildet.

Die Mittel- und Grobsandsteine können teilweise auch als Porengrundwasserleiter gelten, da sie in einigen Gebieten völlig bindemittelfrei sind. In den Basissandsteinen des Mittleren Buntsandsteins können bis 25 % einer Brunnenleistung auf die Gesteinsdurchlässigkeit gegründet sein. Als Durchlässigkeitsbeiwerte in der Frankenberger

Bucht ergeben sich für grobsandige Folgen im Mittel $2 - 3 \times 10^{-4}$ m/s. Auf die damit verbundenen technischen Förderprobleme (Sandgehalt bis 14,5 g pro 100 l geförderttes Grundwasser) weisen ENGEL & HÖLTING (1970) hin.

Karstgrundwasserleiter sind im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden.

Eine zusammenfassende Einstufung der im Arbeitsgebiet vorkommenden Schichten gemäß der Wasserwegsamkeit wird schematisch in Tab. 1 gegeben.

Tab. 1. Einstufung der hydrogeologischen Einheiten gemäß ihrer Wasserwegsamkeit

Hydrogeologische Einheiten	Wasserwegsamkeit			
	gut	wechselnd	gering	sehr gering
Talfüllungen		×	×	×
Hangschutt		×	×	×
Röt			×	×
Solling-Folge	×	×		
Hardegsener Wechselfolge	×	×		
Hardegsener Sandstein	×			
Detfurth-Folge	×			
Volpriehausener Wechselfolge	×	×		
Volpriehausener Sandstein	×			
Waldeck-Folge	×	×		
Korbacher Flaserschichten		×	×	
Korbacher Sandstein	×	×		
Jüngeres Konglomerat	×	×		
Frankenberger Sandstein	×	×		
Geismarer Schichten				
tonig-karbonatische Fazies				×
sandige Fazies		×	×	
Älteres Konglomerat		×	×	
Grauwacke			×	
Grauwacken-Tonschiefer-Wechsellagerung			×	×
Kieselschiefer			×	
Diabas	? ×	×		

6. Gemessene Werte der Grundwasserneubildung

Basierend auf der Voraussetzung, daß durch Messungen des Niedrigwasserabflusses nach einer längeren Trockenperiode das gesamte in oberirdischen Wasserläufen abfließende Wasser aus dem unterirdischen Wasservorrat stammt, wurden im Sommer und Herbst des Trockenjahres 1971 im Bereich der Frankenberger Bucht und ihres paläozoischen Rahmens an ca. 450 Meßstellen die Abflüsse meist mehrmals bestimmt und die zugehörigen Abflußspenden errechnet.

Unter Berücksichtigung hydrogeologischer und geologischer Faktoren wurde angestrebt, im Bereich der Frankenberger Bucht die Niederschlagsgebiete bis teilweise $< 1 \text{ km}^2$ zu untergliedern, damit eine optimale Auswertung der ermittelten Werte gewährleistet war.

Im Bereich des Rheinischen Schiefergebirges war es möglich, größere Niederschlagsgebiete zu erfassen, da in diesen Gebieten „die Grundwasserbewegung im wesentlichen auf die aufgelockerte Schuttdecke beschränkt ist“ (MATTHESS 1970: 89). Daher weisen die Dimensionen der Grundwasserneubildung bzw. das Abflußverhalten der Vorfluter im gefalteten Paläozoikum und in den Buntsandsteingebieten völlig unterschiedliches Verhalten auf.

Durch Auswertung der Pegel
 Gemünden/Wohra (Wohra, Schweinfe, Holzbach)
 Bartenhausen (Wohra)
 Niederwetter (Wetschaft)

standen die Werte des mittleren Grundwasserabflusses A_u (MNq) und des mittleren kleinsten Grundwasserabflusses min. A_u (SoMNq) nach WUNDT (1958) zur Verfügung.

Im Hinblick auf die Fragestellung werden im folgenden nicht die Ergebnisse der Trockenwetter-Abflußmessungen, sondern die Zuwachsspenden tabellarisch aufgeführt. Als Größen ergeben sich (MATTHESS & THEWS 1963):

ΔF_N = Zuwachs des Niederschlagsgebietes in km^2 gegenüber der nächsten oberhalb gelegenen Meßstelle (= Niederschlagsteilgebiet)

ΔQ = Zuwachs des gemessenen Abflusses in l/s gegenüber der nächsten oberhalb gelegenen Meßstelle (= Abflußzuwachs)

q = Abflußspende im Niederschlagsteilgebiet = $\frac{\Delta Q}{\Delta F_N}$ (= Zuwachsspende)

Durch Bestimmung der Zuwachsspenden und des Abflußzuwachses sind Differenzierungen der Niederschlagsgebiete und damit bereits Hinweise auf mögliche Grundwasserfließrichtungen gegeben.

Bei der folgenden Auswertung werden, um Klarheit und Übersichtlichkeit zu erhalten, 5 Abstufungen unterschieden:

0	—	0,99 l/s km^2
1,0	—	2,49 l/s km^2
2,5	—	4,99 l/s km^2
5,0	—	9,99 l/s km^2
$\geq 10,0$		l/s km^2

Nach MATTHESS (1970: 86) können die überaus differierenden Abflußspenden „auch bei Berücksichtigung der Niederschläge und der Verdunstung nicht durch verschieden hohe Grundwasserneubildung“ erklärt werden. Es ist vielmehr so, daß aus Gebieten mit geringer oder keiner Abflußspende das Wasser unterirdisch in die Gebiete hoher Abflüsse fließen muß.

6.1. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Wohra

Gebiete hoher Abflußspende befinden sich im Niederschlagsgebiet der Schweinfe zwischen den Ortschaften Kirschgarten und Sehlen sowie N der Eisenbahnbrücke Gemünden/W. (Gebiet 194).

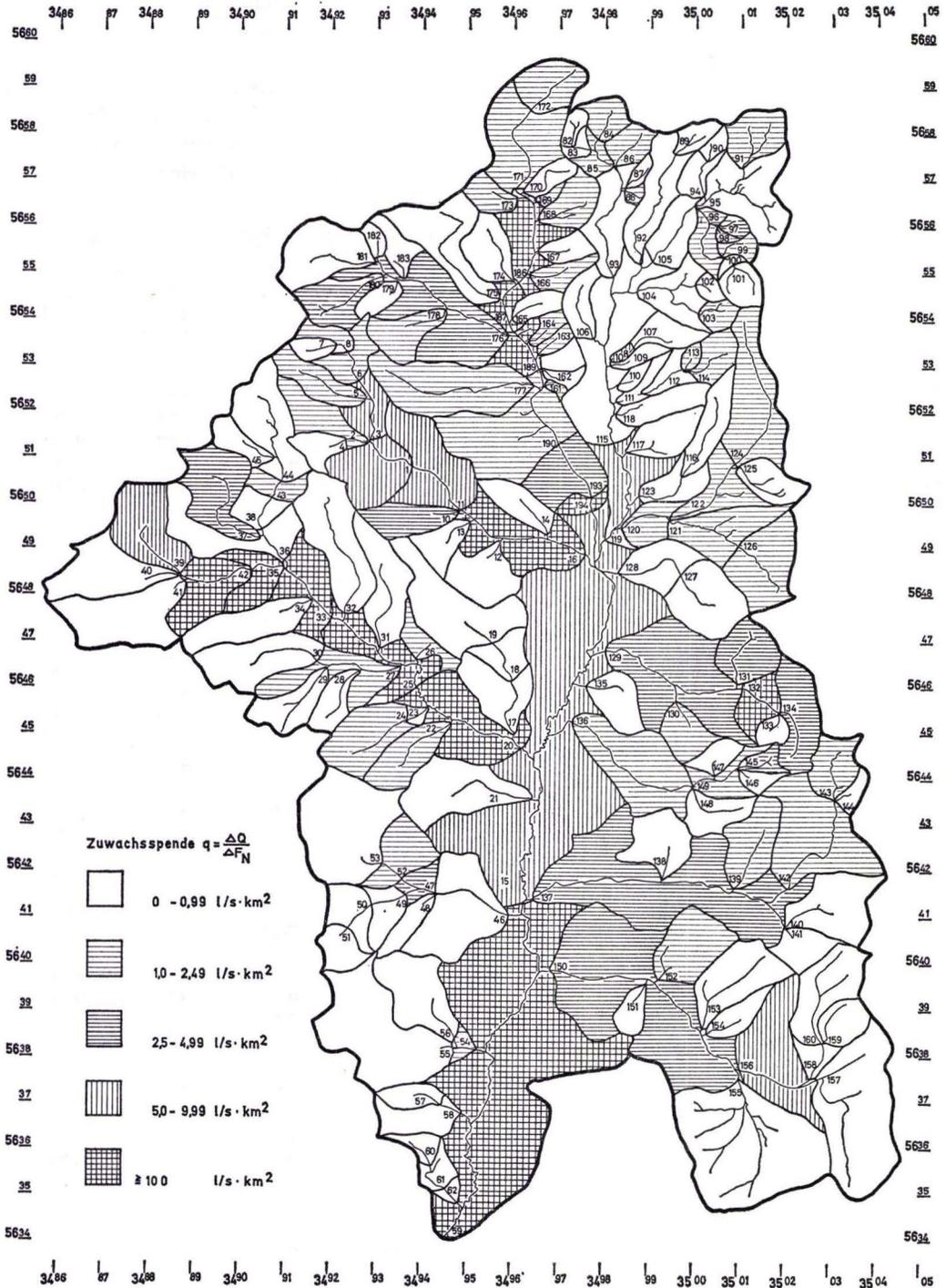


Abb. 3. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Wohra.

Im Niederschlagsgebiet der Wohra bis Gemünden/W. fallen die Gebiete 97 (2,9 l/skm², Diabas!), 108 (4,15 l/skm², pleistozäner Schutt!) und 119 (8,52 l/skm², hydrogeologischer Zusammenhang mit den Gebieten 16, 193, 194) auf. Die in Tab. 2 eingeklammerten Werte (Gebiet 95, 105, 109) können für die Berechnungen nicht verwandt werden, da Fremdeinflüsse (Kläranlage, Aufstau, Teiche) vorliegen. In den Gebieten 112 und 123 sind geringfügige Abflußverluste beim Übertritt des Wassers aus der Tonschiefer- und Grauwackenserie in pleistozänen Schutt festzustellen.

Tab. 2. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Wohra

F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²	F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²
1	1,96	10,10	5,16	41	2,90	1,30	0,44
2	1,27	2,60	2,04	42	1,72	19,00	11,04
3	0,94	7,66	8,14	43	0,53	1,30	2,45
4	0,63	0	0	44	2,25	1,10	0,48
5	1,13	1,40	1,23	45	0,63	0	0
6	0,84	1,77	2,10	46	2,90	1,70	0,59
7	0,38	0,10	0,26	47	0,55	1,70	3,10
8	0,44	0,77	1,75	48	0,67	0,20	0,29
10	1,15	3,75	3,26	49	0,88	0,80	0,90
11	2,72	19,60	7,21	50	1,05	0,80	0,76
12	0,90	0,54	0,60	51	0,81	0,50	0,61
13	1,62	1,55	0,95	52	1,37	2,75	2,00
14	0,97	0	0	53	4,10	3,25	0,79
15	17,90	94,00	5,25	54	0,25	0,62	2,48
16	2,72	50,16	18,95	55	4,60	0	0
17	1,62	0,49	0,30	56	2,12	0,68	0,32
18	0,78	0,34	0,43	57	0,59	0	0
19	3,20	0,70	0,21	58	1,12	0	0
20	2,70	50,17	19,15	59	15,00	165,00	11,00
21	2,59	0,30	0,11	60	0,44	0,06	0,13
22	1,47	1,80	1,22	61	0,47	0,07	0,14
23	0,16	1,90	11,87	62	0,44	— 0,13	— 0,29
24	1,96	4,60	2,34	82	0,31	0,24	0,77
25	1,90	34,40	18,10	83	0,22	0,22	1,00
26	0,63	1,40	2,22	84	0,65	0,99	1,52
27	1,62	2,50	1,54	85	0,47	0,65	1,38
28	0,75	0	0	86	0,70	0,75	1,28
29	1,15	0,30	0,26	87	0,25	0,14	0,56
30	2,25	0,10	0,04	88	0,15	0,20	1,33
31	1,93	0,40	0,20	89	0,48	0,17	0,35
32	2,81	0,90	0,32	90	0,28	0,26	0,92
33	1,59	46,60	29,30	91	1,28	2,50	1,95
34	1,72	0,50	0,29	92	1,70	1,63	0,95
35	0,72	13,50	18,75	93	1,50	1,20	0,80
36	2,00	1,20	0,60	94	0,53	0,18	0,33
37	2,15	6,00	2,79	95	2,37	(8,66)	
38	0,69	— 0,70	— 1,01	96	0,70	1,24	1,77
39	2,20	8,50	3,86	97	0,22	0,64	2,90
40	2,18	1,70	0,77	98	0,10	0,20	2,00

F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²	F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²
99	0,31	0,32	1,03	145	0,34	1,20	3,52
100	0,13	0,08	0,61	146	0,28	0,40	1,42
101	0,69	0,02	0,02	147	0,59	0,30	0,50
102	0,28	0,13	0,46	148	0,97	0,10	0,10
103	0,44	0,65	1,47	149	0,81	1,80	2,22
104	1,31	0,92	0,70	150	7,73	24,20	3,13
105	1,06	(4,40)		151	0,56	0,10	0,17
106	0,79	0,75	0,94	152	1,87	3,30	1,76
107	0,79	0,31	0,39	153	2,24	0,10	0,04
108	0,12	0,59	4,15	154	0,72	0,10	0,13
109	0,28	(5,50)		155	6,50	4,20	0,64
110	0,25	0,13	0,52	156	3,06	17,80	5,81
111	0,34	0,10	0,29	157	5,06	1,40	0,27
112	0,50	— 0,10	— 0,20	158	0,40	— 0,50	— 1,25
113	0,15	0,20	1,33	159	0,81	0,60	0,74
114	0,78	0,80	1,02	160	2,05	1,70	0,82
115	4,08	2,62	0,64	161	0,18	0,30	1,66
116	1,13	0,45	0,39	162	0,27	0,13	0,48
117	1,15	1,85	1,60	163	0,33	0,55	1,66
118	1,17	0,40	0,34	164	0,35	0,80	2,28
119	1,72	14,65	8,52	165	0,52	0,50	0,96
120	0,81	1,80	2,22	166	0,72	1,00	1,39
121	1,75	3,40	1,94	167	0,64	0,10	0,16
122	1,31	1,75	1,33	168	0,89	1,73	1,94
123	0,87	— 0,45	— 0,51	169	0,18	0,30	1,66
124	2,94	5,50	1,87	170	0,56	0,46	0,82
125	0,95	0,25	0,26	171	2,49	2,90	1,16
126	2,13	3,80	1,78	172	1,68	1,70	1,01
127	1,90	1,70	0,89	173	0,72	1,00	1,39
128	1,37	0,30	0,21	174	1,31	0,73	0,55
129	4,60	22,45	4,88	175	2,41	0,50	0,27
130	0,91	1,85	2,03	176	2,48	9,07	3,65
131	1,43	5,70	3,98	177	3,26	4,80	1,47
132	0,88	10,40	11,81	178	1,31	2,20	1,68
133	0,31	0	0	179	0,57	0,01	0,02
134	1,62	7,60	4,69	180	1,43	4,65	3,25
135	1,12	0	0	181	2,42	2,20	0,91
136	3,25	4,30	1,32	182	0,23	0,15	0,65
137	7,80	23,80	3,05	183	0,72	0,12	0,17
138	1,62	0,10	0,06	186	1,32	21,21	16,06
139	1,71	2,40	1,40	187	0,51	6,27	12,29
140	2,28	1,00	0,43	189	1,01	26,75	26,48
141	0,94	0,40	0,42	190	3,68	4,87	1,32
142	4,15	4,55	1,09	193	2,29	7,40	3,23
143	1,25	1,50	1,20	194	0,27	23,60	87,40
144	0,37	0,25	0,67				
				Summe:	274,12	914,20	3,34

Die höchste Zuwachsspende weist beim Holzbach Gebiet 16 mit 18,95 l/s km² auf, Spenden > 5 l/s km² zeigen ebenfalls die im Vorfluterniveau liegenden Gebiete 1, 3 und 11.

Im Teilgebiet 132 des Schiffelbaches wird die Zuwachsspende von $11,81 \text{ l/skm}^2$ durch die intensive Tektonik im Mittleren Buntsandstein verursacht. Es überschneiden sich herzynisch streichende Störungen des auslaufenden Momberger Grabens mit den N — S verlaufenden Strukturen der Wohratal-Linie. Dadurch sind auch bei den übrigen Teilniederschlagsgebieten Zuwachsspenden $> 2,5 \text{ l/skm}^2$ vorhanden.

Im gesamten Talgebiet der Bentreff (Gebiete 20, 23, 25, 33, 35, 42) treten dem Vorfluter $> 10 \text{ l/skm}^2$ zu. Dies ist um so erstaunlicher, als in weiten Strecken der Gebiete 25, 33 und 35 Unterer Buntsandstein ansteht. Die in die Bentreff mündenden Nebenbäche zeigen fast ausschließlich Spenden $< 1 \text{ l/skm}^2$. Im Gebiet 39 ist die für einen Nebenvorfluter hohe Abflußspende von $3,86 \text{ l/skm}^2$ durch eine N — S streichende Verwerfung verursacht.

Beim Hatzbach ist im Gebiet 156 eine Abflußspende von $5,81 \text{ l/skm}^2$ zu beobachten, die durch die allgemeine Grundwasserfließrichtung zu diesem hydrologischen Tiefpunkt verursacht wird.

Im Bereich der Wohra zwischen Gemünden/W. und Kirchhain wurde an 2 derart gewählten Stellen, daß etwa 2 gleich große Teilgebiete (Gebiete 15, 59) entstanden, der Abfluß gemessen. Im Gebiet 15 beträgt der Abflußzuwachs $5,25 \text{ l/skm}^2$, im Gebiet 59 $11,0 \text{ l/skm}^2$.

Für das gesamte Niederschlagsgebiet der Wohra ergibt sich als Mittelwert des Trockenwetterabflusses von $914,2 \text{ l/skm}^2$ eine Abflußspende von $3,34 \text{ l/skm}^2$ ($= 105 \text{ mm/a}$). Die vom Wohrapegel Bartenhausen (271 km^2 in Tab. 2) geringfügig abweichende Flächengröße von $274,12 \text{ km}^2$ resultiert aus der südlicheren Lage der Meßstelle.

Die Zuwachsspenden sind tabellarisch in Tab. 3 und graphisch in Abb. 3 dargestellt.

6.2. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet des Roten Wassers

Das Niederschlagsgebiet besteht im wesentlichen aus Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins, nur im S-Teil (Gebiete Schönstadt — Betziesdorf) aus Oberem Buntsandstein.

Niederschlagsteilgebietsgrößen, Abflußzuwachs und Abflußspenden sind in Tab. 3 zusammengefaßt und in Abb. 4 dargestellt. Dabei sind auch die der Ohm zufließenden Bäche Stausebach, Wohlgraben, Teufelsgrund und Reddehäuser Bach miteinfaßt.

Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß im Bereich des Hauptvorfluters die höchsten Werte des Abflußzuwachses anzutreffen sind. Im Gebiet 202 steigt er auf $10,09 \text{ l/skm}^2$ an, während er in den nördlich angrenzenden Gebieten noch $> 5 \text{ l/skm}^2$ beträgt.

Der Abflußzuwachs der Randgebiete mit Werten $< 1 \text{ l/skm}^2$ deutet schon darauf hin, daß im Vorflutniveau höhere Werte zu erwarten sind.

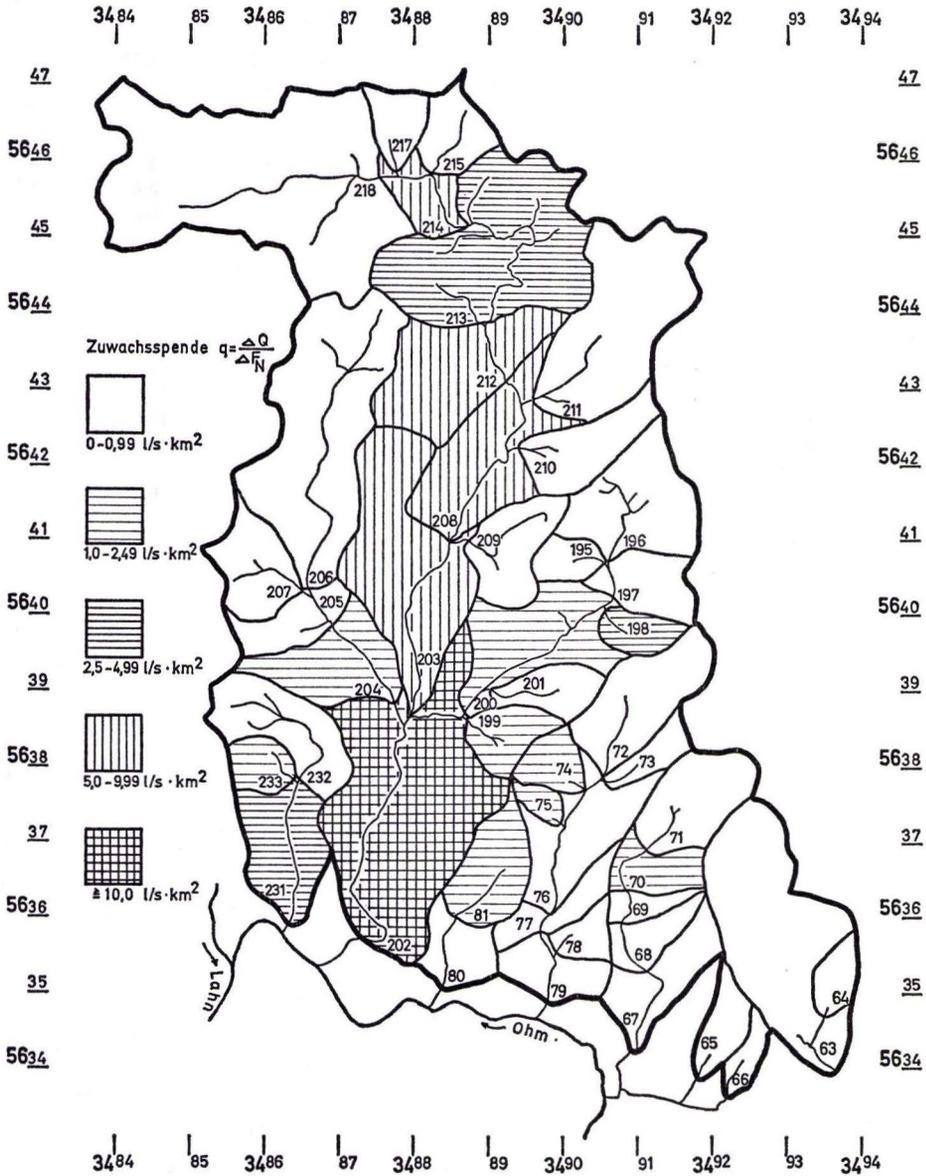


Abb. 4. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet des Roten Wassers.

Tab. 3. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet Rotes Wasser

F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²	F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²
63	3,94	0,28	0,07	199	0,75	1,70	2,26
64	0,47	0,27	0,57	200	2,03	3,40	1,67
65	0,65	0,17	0,26	201	0,75	0	0
66	0,34	0	0	202	5,75	62,07	10,09
67	1,25	-0,40	-0,32	203	3,75	24,00	6,40
68	0,65	-0,84	-1,29	204	1,56	3,80	2,43
69	0,31	-0,96	-3,09	205	0,75	0,50	0,66
70	0,75	1,80	2,40	206	4,90	0	0
71	1,46	0,40	0,27	207	1,16	0	0
72	1,84	0	0	208	2,37	23,35	9,85
73	0,44	0	0	209	1,22	0	0
74	0,56	0,96	1,71	210	1,28	0,20	0,15
75	0,25	0,33	1,32	211	3,43	0,45	0,13
76	1,65	0,18	0,10	212	2,50	18,00	7,20
77	0,65	0,57	0,87	213	4,50	14,00	3,11
78	0,47	0	0	214	0,88	7,05	8,02
79	0,88	0,16	0,18	215	1,12	0,35	0,31
80	0,81	0,20	0,24	217	0,36	0,10	0,15
81	1,28	1,65	1,28	218	7,60	7,30	0,96
195	0,48	0,25	0,52	231	1,63	5,70	3,49
196	2,19	0,30	0,13	232	1,60	0,10	0,06
197	0,97	0,55	0,56	233	0,50	1,00	2,00
198	0,50	1,80	3,60				
				Summe:	73,45	180,74	2,46

6.3. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Wetschaft

Die Zuwachsspenden, Abflußspenden und Teilniederschlagsgebietsgrößen sind in Tab. 4 zusammengefaßt und in Abb. 5 dargestellt.

Im Niederschlagsgebiet Rospfer Bach ist in den Gebieten 229 und 230 ein Abflußzuwachs von > 5 l/s km² erkennbar, der als Schichtabfluß des grobkörnigen unteren Mittleren Buntsandsteins über dem mehr sandig-tonigen, oberen Teil des Unteren Buntsandsteins aufgefaßt werden kann.

Beim Treisbach zeigen die Gebiete 285 und 288 einen Abflußzuwachs von etwa 1 l/s km², wahrscheinlich verursacht durch einen austreichenden Diabaszug. Gebiet 275 hat, obwohl es als Gesamtgebiet nur eine Flächenspende von 1,12 l/s km² aufweist, im südlichen Teil eine Abflußspende von 2,85 l/s km², die auf der Wasserführung von parallel zum Wetschafttal verlaufenden kleineren Störungen begründet ist.

Der Abflußzuwachs von 5,13 l/s km² im Gebiet 261 (Wollmar) ist durch die tektonische Situation zu erklären: mehrere, N—S verlaufende Verwerfungen ermöglichen eine gute Wasserwegsamkeit. Der höchste Abflußzuwachs ist dabei N der Ortschaft Münchhausen zu vermuten, wo ein Zechsteinhorst im Unteren Buntsandstein vorliegt.

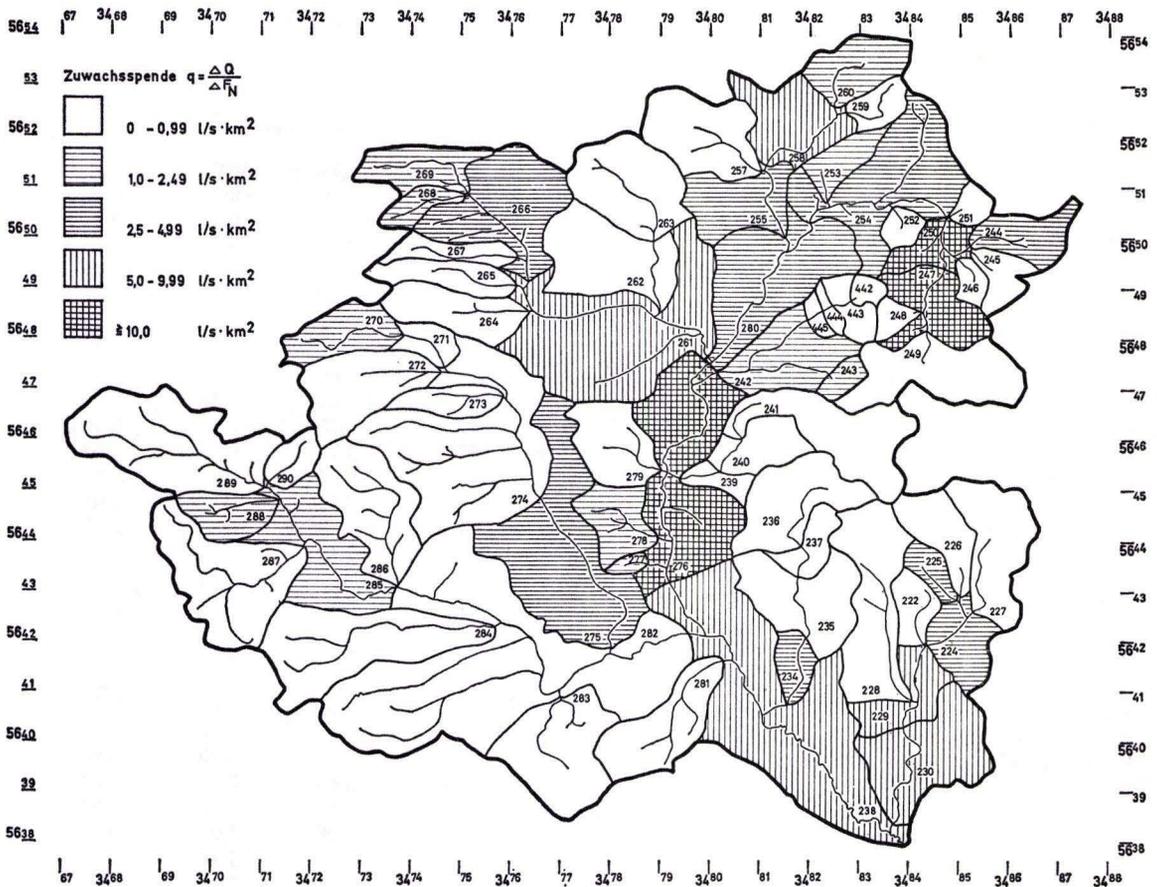


Abb. 5. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Wetschaft.

Von der großen Randstörung der Frankenerger Bucht, die hier Mittleren gegen Unteren Buntsandstein verwirft, werden im oberen Wetschafttal die Gebiete 280, 258 und 255 durchzogen. Demgemäß liegt der Abflußzuwachs zwischen 3, 5 und 4,9 l/s·km², wobei er im Gebiet 258 auf 5,07 l/s·km² ansteigt. Im Gebiet S und W Roda (Gebiet 247, 250) sind Zuwachsspenden > 10 l/s·km² zu erkennen, die nur durch großräumige Grundwasserfließrichtungen zu diesem Areal hin erklärt werden können.

Wie schon im Wohratal, ist auch im Wetschafttal S Münchhausen ein sehr hoher Abflußzuwachs (> 10 l/s·km²) beobachtbar. Dazu trägt wesentlich eine starke Quelle (Schüttung am 24. 8. 1971 etwa 45 l/s) bei, die S Münchhausen bei der Fischbrut-Anstalt liegt. Mit 9,03 l/s·km² ist der Abflußzuwachs S Meßstelle 276 bis zur Mündung in die Lahn nicht ganz so hoch.

In einigen Gebieten (239, 444, 445) ist ein geringer Wasserverlust festzustellen, dessen Dimensionen (< 1 l/s·km²) unerheblich sind. Es handelt sich dabei um Versickerungen im Mittleren Buntsandstein.

Tab. 4. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Wetschaft

F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²	F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²
222	1,06	0,50	0,47	261	8,77	45,00	5,13
224	1,84	9,15	4,97	262	3,70	0,20	0,05
225	0,75	3,00	4,00	263	3,63	0	0
226	1,85	1,30	0,70	264	2,13	0,80	0,37
227	3,18	0,55	0,17	265	1,50	0	0
228	4,45	2,60	0,58	266	4,38	12,40	2,83
229	1,90	16,25	8,55	267	1,00	0	0
230	4,12	22,00	5,37	268	0,66	0,80	1,21
234	0,90	3,40	3,77	269	1,69	1,80	1,06
235	3,42	1,85	0,54	270	1,81	2,20	1,21
236	3,18	0	0	271	0,75	0,60	0,80
237	1,06	0,35	0,33	272	1,78	0,16	0,08
238	10,50	94,95	9,03	273	0,94	0,20	0,21
239	0,55	— 0,10	— 0,18	274	8,71	0,14	0,01
240	1,56	1,30	0,83	275	7,26	20,70	2,85
241	3,69	0,90	0,24	276	7,10	105,70	14,90
242	2,63	3,80	1,44	277	0,25	0,45	1,80
243	0,50	1,20	2,40	278	1,75	4,10	2,34
244	1,56	4,40	2,82	279	2,18	0,35	0,16
245	1,00	3,00	3,00	280	5,06	24,00	4,85
246	0,40	2,50	6,25	281	3,00	0,85	0,28
247	2,15	22,35	10,39	282	14,55	11,60	0,79
248	0,47	0,10	0,21	283	4,00	1,00	0,25
249	3,56	0,55	0,15	284	5,06	0,20	0,03
250	1,28	30,05	23,47	285	3,86	3,96	1,02
251	0,56	0,15	0,26	286	3,68	1,20	0,32
252	0,50	0,40	0,80	287	5,00	1,20	0,24
253	1,12	1,40	1,25	288	1,40	1,40	1,00
254	5,14	16,20	3,15	289	5,75	5,30	0,23
255	2,37	8,70	3,67	290	0,88	0,14	0,15
256	2,40	0	0	442	0,44	0,13	0,34
257	3,06	0,30	0,09	443	0,75	0,10	0,13
258	2,78	14,10	5,07	444	0,25	— 0,08	— 0,32
259	0,88	0,20	0,22	445	0,25	— 0,15	— 0,60
260	2,00	2,70	1,35				
				Summe:	192,29	516,55	2,68

Für das gesamte Niederschlagsgebiet der Wetschaft (192,3 km²) beträgt bei einem Abfluß von 516,6 l/s die Trockenwetter-Abflußspende 2,68 l/s km² (= 84,5 mm/a).

Die Differenz der Flächengröße von 192,3 km² zur Niederschlagsgebietsgröße von 168 km² am Pegel Niederwetter ist darauf begründet, daß der Rospher Bach nicht mit in das Pegelgebiet einbezogen wird.

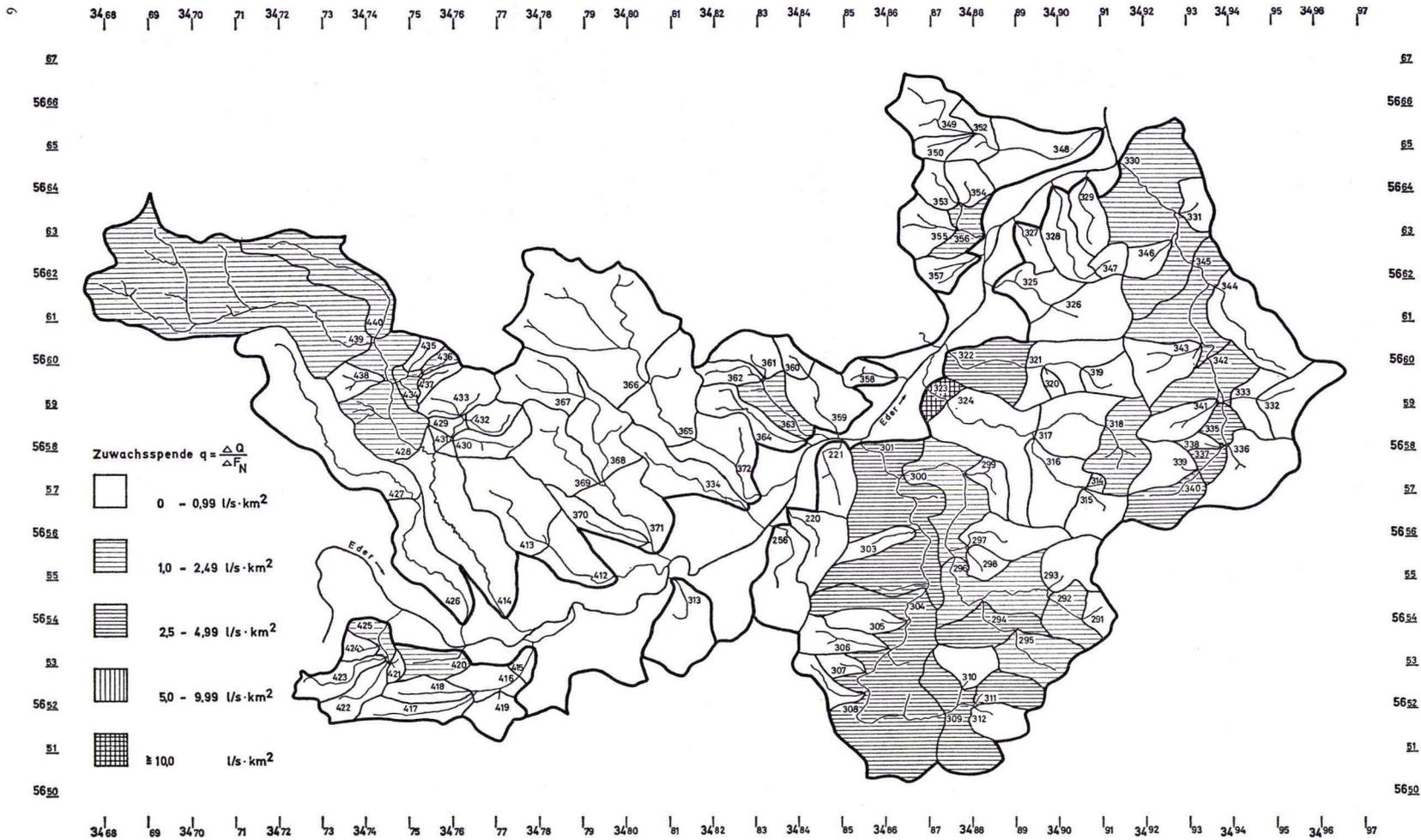


Abb. 6. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet beiderseitig der Eder.

6.4. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet beiderseitig der Eder

Bei den Zuwachsspenden im Gebiet von Battenberg (Flächen 415 — 425) ist der Wert von Gebiet 421 mit $2,85 \text{ l/s km}^2$ sicherlich infolge zugeleiteten Wassers erhöht. Die Flächenspende von $1,88 \text{ l/s km}^2$ im Gebiet 420 resultiert aus den stark verworfenen Sandsteinen und Konglomeraten des Älteren Konglomerats, bei Gebiet 425 ist der Wert von $1,83 \text{ l/s km}^2$ auf den erhöhten Anteil an mächtigem Gehängeschutt begründet.

Der Linspher Bach weist im N-Teil Zuwachsspenden $> 1 \text{ l/s km}^2$ auf. Im Gebiet des Älteren Konglomerats steigt die Zuwachsspende zum Teil auf 2 l/s km^2 , in Fläche 429 sogar auf $> 4 \text{ l/s km}^2$, wobei das Grundwasser der Flächen 430 — 433 in diesem Gebiet offensichtlich mit austritt. Bemerkenswert ist der Wasserverlust von $2,65 \text{ l/s}$ im unteren Teil des Linspher Baches, wo Älteres Konglomerat und pleistozäner Schutt anstehen.

Die Versickerung von Wasser in Gesteine des Älteren Konglomerats läßt sich auch bei den Gebieten 415/416 ($1,46 \text{ l/s km}^2$), 412 ($0,24 \text{ l/s km}^2$) und 426 ($0,18 \text{ l/s km}^2$) beobachten.

Im Gebiet des Rodenbaches ist nur im unteren Teil (Fläche 363), wo Älteres Konglomerat und Frankenberger Sandstein anstehen, eine Spende von $> 1 \text{ l/s km}^2$ zu beobachten.

Wesentliche Zuwachsspenden treten im Gebiet der Nemphe auf, wo aufgrund der tektonisch-geologischen Situation (s. DENCKMANN 1901, JOHANNSEN 1951) bedeutende Wasseraustritte, z. B. die Wolkersdorfer Quellen im Gebiet von Wolkersdorf — Bottendorf, vorkommen. Die Zuwachsspenden der Gebiete 301, 304, 309 und 311 liegen sämtlich zwischen 3 und 4 l/s km^2 . Im Gebiet 294 (Niederschlagsgebiet Kalte Wasser) beträgt die Zuwachsspende $2,77 \text{ l/s km}^2$. Sie wird durch mehrere Verwerfungen von Unterem gegen Mittleren Buntsandstein verursacht.

Im unteren Teil des Gernhäuser Baches (Gebiet 323) treten auf einer Fläche von $0,5 \text{ km}^2$ $74,2 \text{ l/s}$ dem Vorfluter zu ($q = 148,4 \text{ l/s km}^2$). Wesentlich trägt zu dieser Menge die neben dem Bach entspringende Quelle an der Papiermühle bei, die zwischen 60 und 65 l/s schüttet. Verursacht wird diese Quelle durch die große Randverwerfung der Frankenberger Bucht. In diesem Bereich splittert die Verwerfung auf (SOBOTH 1971); Zechstein, Unterer Buntsandstein und gefaltetes Paläozoikum liegen im gleichen Niveau nebeneinander.

Tab. 5. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet beiderseitig der Eder

F_N Nr.	ΔF_N km^2	ΔQ l/s	q l/s km^2	F_N Nr.	ΔF_N km^2	ΔQ l/s	q l/s km^2
220	1,65	0	0	294	1,55	4,30	2,77
221	1,27	0	0	295	1,62	1,90	1,17
256	2,40	0	0	296	2,78	5,00	1,80
291	0,59	0,36	0,61	297	1,55	0,40	0,25
292	1,25	1,54	1,23	298	0,53	0	0
293	1,27	0,90	0,70	299	0,75	0,38	0,50

Nr.	km ²	l/s	l/s km ²	Nr.	km ²	l/s	l/s km ²
F _N	△F _N	△Q	q	F _N	△F _N	△Q	q
300	3,00	3,22	1,08	353	0,78	0,56	0,71
301	6,10	22,00	3,61	354	0,81	0,11	0,13
303	0,69	0,20	0,28	355	1,28	0,38	0,29
304	7,56	28,00	3,72	356	1,00	1,25	1,25
305	0,72	0,10	0,13	357	0,84	0,75	0,89
306	1,12	0,60	0,53	358	0,62	0,10	0,16
307	0,37	0,30	0,81	359	2,00	1,44	0,72
308	0,65	0	0	360	0,60	1,21	0,35
309	2,25	6,85	3,04	361	1,16	0,60	0,51
310	0,97	0,20	0,20	362	0,72	0,10	0,13
311	1,05	3,50	3,33	363	1,19	1,60	1,34
312	0,97	0,45	0,46	364	1,44	0	0
313	2,37	0,80	0,33	365	3,00	0,36	0,12
314	0,15	(0,90)		366	8,60	0,12	0,01
315	1,25	0,10	0,08	367	2,12	0,30	0,14
316	2,10	0,60	0,28	368	2,08	0,15	0,07
317	2,30	0,40	0,17	369	2,53	0,40	0,15
318	2,15	2,90	1,34	370	1,10	0	0
319	0,97	0,30	0,30	371	2,47	0,25	0,10
320	0,22	0,14	0,63	372	2,40	0,12	0,05
321	2,20	1,36	0,61	412	1,69	— 0,42	— 0,24
322	2,14	6,60	3,08	413	3,14	0,42	0,13
323	0,50	74,20	148,40	414	4,63	— 2,65	— 0,57
324	3,66	2,90	0,79	415	0,31	— 0,35	— 1,12
325	1,56	1,45	0,92	416	0,95	— 0,33	— 0,34
326	2,56	0,65	0,25	417	1,12	0,13	0,11
327	0,72	0,10	0,13	418	0,88	0	0
328	1,50	0,53	0,35	419	1,00	0,55	0,55
329	1,15	0,25	0,21	420	0,90	1,70	1,88
330	5,86	6,83	1,16	421	0,28	0,80	2,85
331	0,78	0,67	0,85	422	1,05	0,25	0,23
332	1,66	0,40	0,24	423	1,00	0	0
333	1,03	— 0,40	— 0,38	424	0,40	0,10	0,25
334	2,15	0	0	425	0,68	1,25	1,83
335	0,53	1,86	3,50	426	2,50	— 0,45	— 0,18
336	2,63	0,64	0,24	427	5,95	0,90	0,15
337	0,47	1,20	2,55	428	3,28	7,60	2,31
338	0,25	0	0	429	0,31	(1,30)	
339	1,06	1,00	0,94	430	1,05	0,15	0,14
340	1,43	3,80	2,65	431	0,25	0	0
341	1,06	0,28	0,26	432	0,72	0,20	0,27
342	1,75	4,62	2,46	433	1,40	0	0
343	1,56	0,90	0,57	434	0,40	0,85	2,12
344	2,81	1,40	0,49	435	0,34	0,20	0,58
345	2,75	6,30	2,08	436	0,22	0,25	1,13
346	0,60	0,50	0,83	437	0,34	0,10	0,29
347	0,53	0,37	0,69	438	0,63	0,10	0,15
348	2,56	0,47	0,18	439	12,80	16,00	1,35
349	1,87	0,55	0,29	440	2,88	3,90	1,35
350	0,53	0,10	0,18				
352	1,00	0,80	0,80				
Summe:	192,87	247,92	1,28				

Der hohe Abfluß von 0,9 l/s ($q = 6,0 \text{ l/s km}^2$) im Gebiet 314 kann nur durch Fremdzuflüsse (anthropogene Beeinflussung) erklärt werden, er wird daher in Tab. 5 in () gesetzt und für weitere Aussagen nicht verwertet.

Der N des Gernhäuser Baches fließende Heimbach weist im unteren Teil (Gebiet 322) eine erhöhte Zuwachsspende von $3,08 \text{ l/s km}^2$ auf. Wie auch im Gebiet 323 ist dieser Wert auf die Wasserführung der Randverwerfung zurückzuführen.

Im oberen Teil des Lengel-Baches (Flächen 335, 337, 340) liegen die Zuwachsspenden zwischen $2,5$ und $3,6 \text{ l/s km}^2$. In diesem Bereich tritt das in der Bausandsteinzone und im Jüngeren Konglomerat (Bröckelschiefer) des Unteren Buntsandsteins gebildete Grundwasser (JOHANNSEN 1950) über den als Sohlschicht wirkenden Tonen der Geismarer Schichten aus. Die Wasserführung der N angrenzenden Flächen (Gebiete 342, 345, 330) wird durch die Randverwerfung mit ihren zahlreichen, parallel verlaufenden Nebenverwerfungen verursacht.

Für das Niederschlagsgebiet beiderseitig der Eder zwischen Battenberg und Ederbringhausen (Fläche $192,9 \text{ km}^2$) beträgt bei einem Trockenwetter-Gesamtabfluß von $247,9 \text{ l/s}$ die Abflußspende $1,28 \text{ l/s km}^2$ ($= 40 \text{ mm/a}$). In Tab. 5 sind die jeweiligen Zuwachsspenden zusammengestellt und in Abb. 6 graphisch ausgewertet.

6.5. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Nuhne

Das Niederschlagsgebiet der Nuhne liegt überwiegend im Schiefergebirge, nur in einigen Bereichen stehen Sandsteine und Konglomerate des Älteren Konglomerats an.

Die Zuwachsspenden liegen daher bis auf wenige Ausnahmen unter 1 l/s km^2 . Im Gebiet 392 des Brücke-Baches laufen dem Vorfluter $4,14 \text{ l/s}$ zu ($q = 19,71 \text{ l/s km}^2$). Dieser Abflußwert ist durch anthropogene Beeinflussung verfälscht. Die Spende von $2,72 \text{ l/s km}^2$ der Fläche 394 läßt sich dadurch erklären, daß ein Teil des Älteren Konglomerats aus dem Bereich des Brücke-Baches in Fläche 394 entwässert.

Bei einem Trockenwetter-Gesamtabfluß von etwa 108 l/s ergibt sich bei einem Niederschlagsgebiet von $155,7 \text{ km}^2$ eine Trockenwetter-Abflußspende von $0,69 \text{ l/s km}^2$ (22 mm/a). Diese Zahl liegt allerdings noch über dem im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Fulda angegebenen Trockenwetterwert von $0,4 \text{ l/s km}^2$ (5. 10. 1961).

Die Darstellung der Zuwachsspenden findet sich in Abb. 7, die Werte sind in Tab. 6 zusammengefaßt.

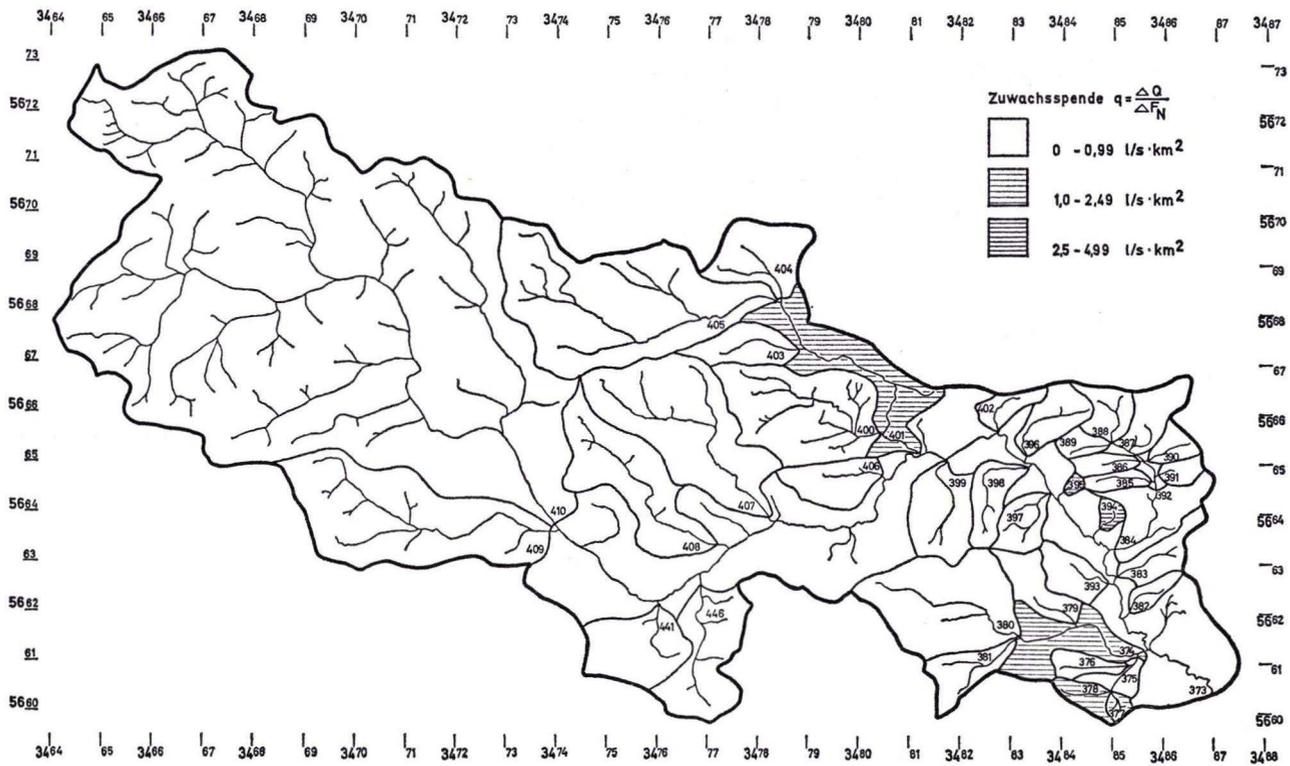


Abb. 7. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Nuhne.

Tab. 6. Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet der Nuhne

F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²	F_N Nr.	ΔF_N km ²	ΔQ l/s	q l/s km ²
373	22,80	18,00	0,78	393	0,94	0,10	0,10
374	2,00	2,30	1,15	394	0,22	0,60	2,72
375	0,37	0	0	395	0,12	0,20	1,66
376	0,56	0,37	0,66	396	1,22	0	0
377	0,18	0,38	2,11	397	0,91	0,32	0,35
378	0,53	0,55	1,03	398	1,06	0,10	0,09
379	1,25	0,20	0,16	399	2,00	0,70	0,35
380	4,95	0,70	0,14	400	5,20	0,60	0,11
381	1,05	0,30	0,28	401	3,50	4,95	1,41
382	4,10	0,12	0,02	402	0,56	0,23	0,41
383	1,00	0,23	0,23	403	1,35	0,30	0,22
384	1,80	1,20	0,66	404	2,18	0,65	0,29
385	0,45	0,15	0,33	405	10,56	9,50	0,90
386	0,50	0,10	0,20	406	1,31	0,33	0,25
387	1,12	0,20	0,17	407	6,32	2,20	0,34
388	0,87	0,70	0,80	408	4,25	1,90	0,44
389	0,40	0,25	0,62	409	7,88	7,70	0,98
390	0,57	0,16	0,28	410	55,65	45,00	0,80
391	0,38	0,10	0,26	441	2,44	0,55	0,22
392	0,21	(4,14)		446	3,00	2,04	0,68
				Summe:	155,76	108,12	0,69

7. Abhängigkeit der Abfluß- und Zuwachsspende vom Niederschlagsgebiet

Je nach den geologisch-tektonischen Gegebenheiten ist eine Abhängigkeit der Abflußspende vom Niederschlagsgebiet zu beobachten, die bei einer graphischen Auswertung verdeutlicht werden kann.

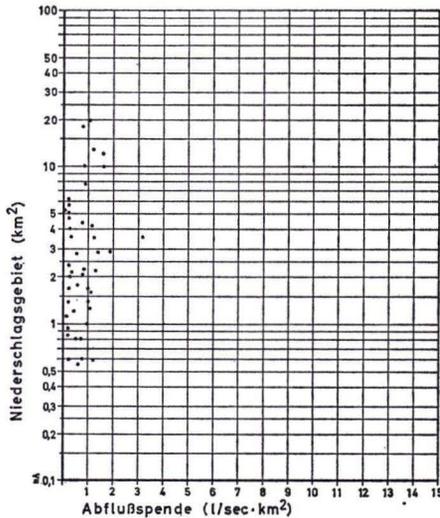


Abb. 8. Abhängigkeit von Abflußspende und Niederschlagsgebiet im gefalteten Paläozoikum.

In Abb. 8 ist die Größe von Niederschlagsgebieten im gefalteten Paläozoikum gegen die Abflußspenden aufgetragen. Es zeigt sich, daß unabhängig von der Größe des Niederschlagsgebietes nur geringe Abflußspenden auftreten. Der einzige abweichende Wert von $> 3 \text{ l/s km}^2$ ist auf ein Einzugsgebiet im Diabas zurückzuführen.

Grundsätzlich anders sieht die Abhängigkeit in Gebieten des Buntsandsteins aus. In Abb. 9 sind wegen der Übersichtlichkeit die Abflußspenden von Niederschlagsgebieten des Unteren und des Mittleren Buntsandsteins eingezeichnet. Es tritt eine große Streuung der Abflußspenden auf, die unabhängig von der Größe des Niederschlagsgebietes ist.

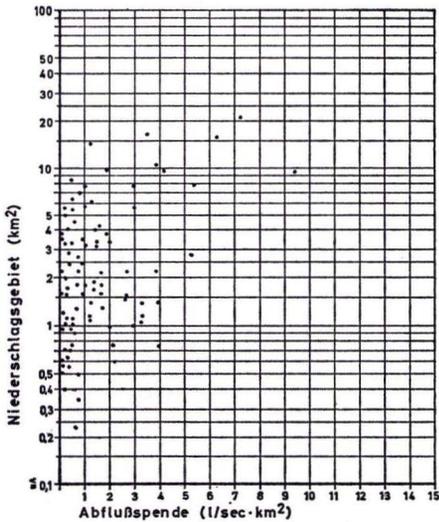


Abb. 9. Abhängigkeit von Abflußspende und Niederschlagsgebiet im Buntsandstein.

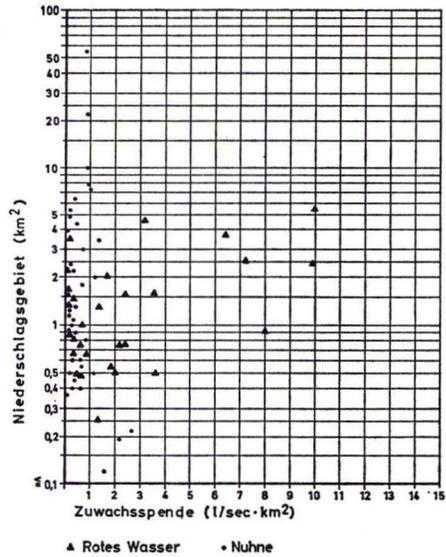


Abb. 10. Abhängigkeit von Zuwachsspende und Niederschlagsgebiet.
▲ Rotes Wasser • Nuhne

Die ermittelte Tendenz ist auch bei Betrachtung der Abhängigkeit von Zuwachsspende und Niederschlagsgebiet ersichtlich. In Abb. 10 ist dieses Verhältnis am Beispiel der Zuwachsspenden im Niederschlagsgebiet von Nuhne und Rotem Wasser erläutert.

Die Zuwachsspenden der Nuhne sind durchweg gering. Einige Werte liegen etwas höher (zwischen $1,5$ und $2,7 \text{ l/s km}^2$). Das jeweilige Einzugsgebiet besteht hier aus Sandsteinen und Konglomeraten des Älteren Konglomerats.

Große Streuung zeigen die Zuwachsspenden des Roten Wassers unabhängig von der Größe des Niederschlagsgebietes. Diese Tatsache verdeutlicht, daß im Bereich des Buntsandsteins weitreichende Grundwasserbewegungen stattfinden.

8. Abhängigkeit des unterirdischen Zuflusses im Vorfluterniveau vom Gesamtabfluß

In Abb. 11 ist die Abhängigkeit des meßtechnisch nicht erfaßten Anteils am Gesamtabfluß vom meßtechnisch nicht erfaßten Anteil an der Gesamtfläche dargestellt. Bei den Buntsandsteingebieten ist die Tendenz zu erkennen, daß ein hoher Prozentsatz des Gesamtabflusses in einem nur geringen Anteil der Gesamtfläche des Niederschlagsgebietes austritt.

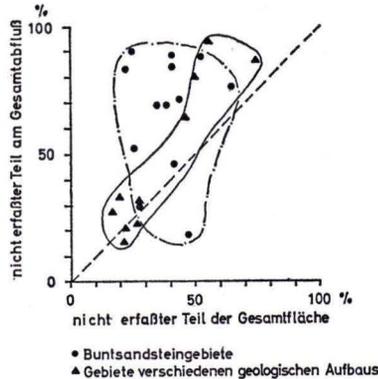


Abb. 11. Abhängigkeit von meßtechnisch nicht erfaßten Gebieten zum Gesamtabfluß.

Der Abfluß aus Gebieten mit wechselnden geologischen Verhältnissen differiert dagegen etwas. Er erstreckt sich etwa entlang einer Ausgleichsgeraden. Das bedeutet, daß der Prozentsatz von nicht erfaßter Fläche und nicht erfaßtem Abfluß ungefähr gleich ist.

In den Buntsandsteingebieten spielt zumindest bei Trockenwetter-Abflußmessungen der Deckschichtenabfluß (= A_d sensu EINSELE 1970) und der Abfluß von Schicht- und Kluftquellen über dem Hauptgrundwasserspiegel (= A_s sensu EINSELE 1970) aufgrund der meist guten Durchlässigkeit keine wesentliche Rolle. Entscheidend ist der direkte Grundwasserabfluß (einschließlich dem Abfluß aus Talbodenquellen) in den Vorfluter.

9. Grundwasserscheiden und Grundwasserfließrichtung in der Frankfurter Bucht

Unter Berücksichtigung des Abflusses sowie der mittleren Grundwasserspense ist es möglich, vom oberirdischen Niederschlagsgebiet ausgehend gemäß der Formel (MATHESS & THEWS 1959)

$$F_E = \frac{Q}{q_G}$$

mit: F_E = Einzugsgebiet (km^2)
 Q = Abfluß der Teilniederschlagsgebiete (l/s)
 q_G = mittlere Grundwasserspense des Teilniederschlagsgebietes ($l/s \text{ km}^2$)

das unterirdische Einzugsgebiet zu ermitteln.

In Abb. 12 sind die Gebiete mit Zuwachsspenden $> 5 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ und $10 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ dargestellt und die dazugehörigen Einzugsgebiete ausgewiesen. Größere Abweichungen von Niederschlags- zu Einzugsgebieten sind vorhanden und aus der Abbildung klar ersichtlich.

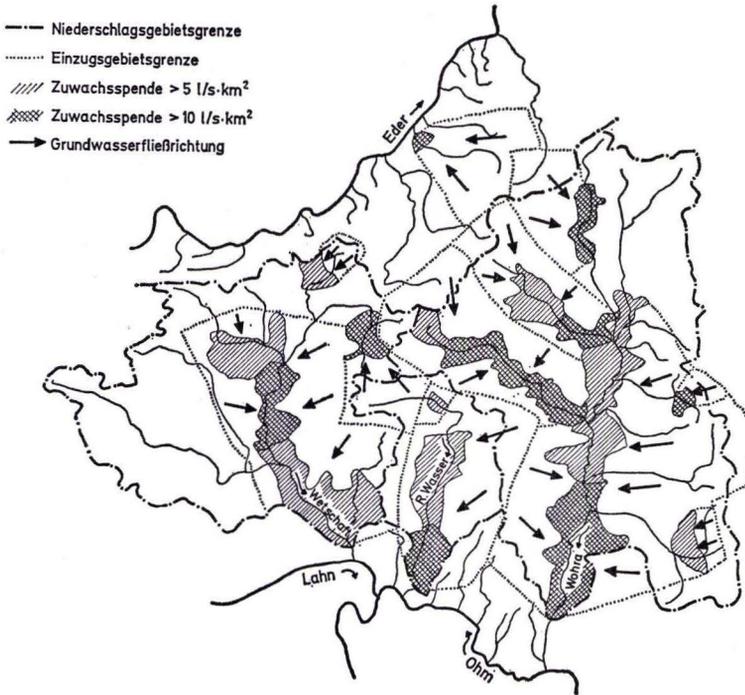


Abb. 12. Niederschlags- und Einzugsgebiete in der Frankenerger Bucht.

Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß in der Karte der Grundwasserverhältnisse die unterirdischen Wasserscheiden und Grundwasserfließrichtungen nur vereinfacht dargestellt sind. Genauere Aufnahmen sind nur dann möglich, wenn ein (in der Frankenerger Bucht nicht vorhandenes) dichtes Netz von Grundwassermeßstellen, Bohrbrunnen und weitere hydrologische Daten (Grundwasserhöhenplan etc.) vorhanden sind.

10. Auswertung der Pegelmessungen

Für die Abschätzung des Grundwasserabflusses sind neben den Trockenwetter-Abflußmessungen die Beobachtungen an den Pegeln Gemünden/Wohra, Bartenhausen und Niederwetter berücksichtigt.

Die Pegelmessungen wurden nach dem Verfahren von WUNDT (1953, 1958) ausgewertet und der mittlere Grundwasserabfluß A_u (= MoMNq) sowie der mittlere kleinste Grundwasserabfluß $\text{min. } A_u$ (= SoMNq) bestimmt.

In den Abbildungen 13 — 15 stellt die MNq-Gerade die obere Begrenzung für den durchschnittlichen Grundwasserabfluß dar, die Gerade des Sommer-MNq (SoMNq) das Maß für den Mindestwert des Grundwasserabflusses. Die Fläche zwischen der MNq- und der SoMNq-Geraden bezeichnet die Schwankungsbreite des Grundwasserabflusses.

Der noch im Arbeitsgebiet liegende Pegel Schreufa, dessen zugehöriges Niederschlagsgebiet im Rheinischen Schiefergebirge liegt, wurde nicht ausgewertet. Die Berechnung des mittleren Grundwasserabflusses nach WUNDT liefert bei diesem Pegel zu hohe Werte, da nach KELLER (1961: 396) in regenreichen Gebieten dem Oberflächenabfluß kaum genügend Zeit zum Abfließen bleibt, bevor der nächste Niederschlag wieder einsetzt.

Nach MATTHESS (1970: 79) kann „außerdem durch zeitweises Eindringen von oberirdischem Wasser in die quartären Talfüllungen bei Hochwasser“ der Abfluß unverhältnismäßig gesteigert werden. Es entsteht „unechtes Grundwasser“ (riverbank storage) nach SCHROEDER (1952), das zu hohe Abflußwerte vorspiegelt.

Der Pegel Gemünden/Wohra umfaßt die Niederschlagsgebiete der Wohra, Schweinfe und des Holzbaches mit einer Gesamtfläche von 102 km². Zur Auswertung gelangten die Pegelmessungen der Jahresreihe 1961/1971. MNq beträgt 5,82 l/s km², SoMNq 2,25 l/s km².

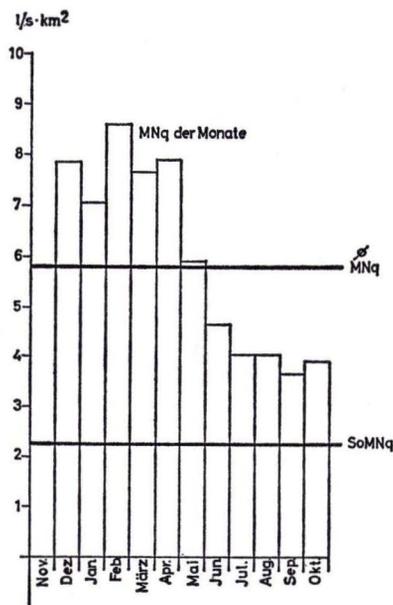


Abb. 13. Darstellung des Pegels Gemünden/Wohra.

Der Pegel Bartenhausen umfaßt mit einer Fläche von 271 km² nahezu das gesamte Niederschlagsgebiet der Wohra. Er wurde 1966 eingerichtet, so daß nur eine 5-Jahres-Reihe (1966/1971) zur Verfügung stand. Der MNq-Wert beträgt 5,72 l/s km², der SoMNq-Wert 3,68 l/s km².

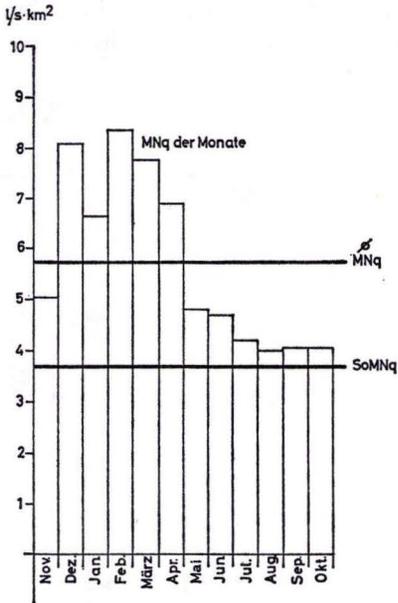


Abb. 14. Darstellung des Pegels Bartenhausen.

Der Pegel Niederwetter besteht seit 1966. Er umfaßt mit 168 km² das Niederschlagsgebiet der Wetschaft ohne Rospher Bach. Ausgewertet wurde die Jahresreihe 1966/1971. MNq beträgt 5,83 l/skm², SoMNq 3,77 l/skm².

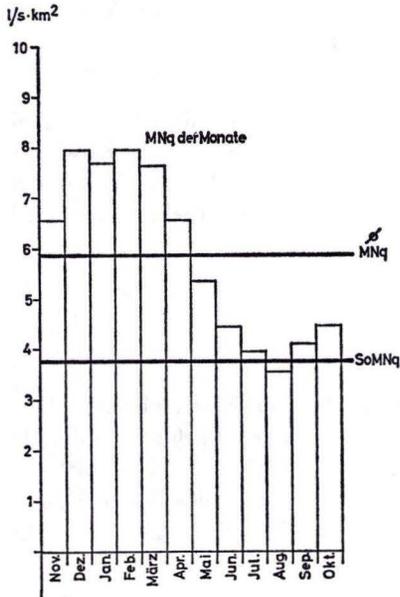


Abb. 15. Darstellung des Pegels Niederwetter.

In Tab. 7 sind die ermittelten Werte der 3 Pegel gegenübergestellt, wobei aus dem mittleren Grundwasserabfluß A_u die Grundwasserneubildung errechnet wurde.

Tab. 7. Grundwasserabfluß und Grundwasserneubildung

Flußgebiet	Wohra bis Gemünden, Schweinf, Holzbach	Wohra gesamt	Wetschaft
Mittl. Grundwasserabfluß (l/s km ²) = A_u	5,82	5,72	5,83
Grundwasserabfluß (l/s km ²) = min. A_u	2,25	3,68	3,77
Grundwasserneubildung (mm/a) aus A_u errechnet	183	180	184

11. Minimal nutzbares Grundwasserdargebot

Ausgehend von den Trockenwetter-Abflußwerten der einzelnen Teilniederschlagsgebiete wird in den Tab. 8 — 11 das minimal nutzbare Grundwasserdargebot errechnet. Als minimal nutzbares Grundwasserdargebot ist der Anteil des Wassers zu verstehen, der auch nach sehr langen Trockenperioden aus den jeweiligen Niederschlagsgebieten abfließt. Er entspricht dem Anteil des Grundwassers, der sich nach Lage und Beschaffenheit mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand ohne Berücksichtigung transporttechnischer Fragen und evtl. Folgen auf Beschaffenheit und Menge von Oberflächengewässern erschließen und gewinnen läßt. Dabei ist der hydrogeologische Ausgleichswert B (Bodenspeicherung) in seiner Auswirkung mit erfaßt, da der erhaltene Meßwert für ein größeres Areal gilt.

Alle Ergebnisse sind unter dem Einfluß der z. T. beträchtlichen Förder- und Ableitungsmengen von Grundwassergewinnungsanlagen (z. B. WW Wohratal, Kirschgarten, Bottendorf/Wolkersdorf) gewonnen. Würden diese Mengen nicht gefördert und abgeleitet, läge der Wert des minimal nutzbaren Grundwasserdargebots wesentlich höher.

Die Reduktionsfaktoren in den Tabellen 8 — 11 ergaben sich aufgrund der niedrigsten bisher ermittelten Abflußwerte. Wo diese nicht vorlagen, wurde der Reduktionsfaktor unter Berücksichtigung aller bekannten Geo-Faktoren geschätzt.

Um die Menge des minimalen Grundwasserdargebotes der Frankenberger Bucht i. e. S. zu ermitteln, fanden die linksseitig der Eder zufließenden Vorfluter in der Berechnung keine Berücksichtigung. Das der Berechnung zugrunde liegende Gebiet umfaßt demgemäß das Niederschlagsgebiet der Wohra, der Wetschaft, des Roten Wassers mit den rechtsseitig der Ohm zwischen Kirchhain und der Ohmmündung zufließenden Vorflutern sowie der rechtsseitig der Eder zufließenden Vorfluter zwischen Battenberg und Ederbringhausen.

Das minimal nutzbare Grundwasserdargebot beträgt 1 235,8 l/s, was einer Jahresmenge von 38,97 hm³ entspricht.

Bei einer Gesamtfläche des Berechnungsgebietes von etwa 604 km² ergibt sich bei einem Abfluß von ca. 1 236 l/s eine minimale Abflußspende von 2,05 l/s km². Dementsprechend beträgt die minimale Grundwasserneubildung etwa 65 mm/a.

Tab. 8. Minimal nutzbares Grundwasserdargebot im Niederschlagsgebiet der Wohra

Teilgebiet	km ²	Trockenwetterabfluß 1971 l/s	niedrigster gemess. Abfluß (WWA Marburg) l/s	Reduktionsfaktor * = geschätzt	Abfluß, reduziert l/s	Jahresmenge hm ³
1. Wohra bis Gemünden	40,14	65,0	—	*0,5	32,5	1,03
2. Schweinfe	35,78	127,0	95,0	0,75	95,0	3,02
3. Holzbach	17,67	100,0	39,0	0,39	39,0	1,24
4. Schiffelbach	9,75	40,0	24,0	0,6	24,0	0,76
5. Heimbach	6,24	8,1	3,0	0,27	3,0	0,1
6. Josbach	20,12	34,0	—	*0,7	24,0	0,76
7. Bentreff	46,21	200,0	137,0	0,68	137,0	4,25
8. Wohra bis Josbach einschl., ohne 1—7	24,88	96,3	—	*0,8	77,0	2,45
9. Wadebach	12,33	11,7	6,0	0,51	6,0	0,19
10. Hatzbach	31,0	53,0	—	*0,9	47,7	1,51
11. Wohra ab Josbach, ohne 9 und 10	25,03	166,6	—	*0,9	150,0	4,75
				Summe	635,2	20,06

Tab. 9. Minimal nutzbares Grundwasserdargebot im Niederschlagsgebiet Rotes Wasser

Teilgebiet	km ²	Trockenwetterabfluß 1971 l/s	niedrigster gemess. Abfluß (WWA Marburg) l/s	Reduktionsfaktor * = geschätzt	Abfluß, reduziert l/s	Jahresmenge hm ³
1. Rotes Wasser	51,07	170,0	110,0	0,65	110,0	3,49
2. Rechtsseitig der Ohm entwässernde Gebiete zwischen Wohra und Lahn, ohne 1	22,58	11,57	—	*0,6	7,0	0,22
				Summe	117,0	3,71

Tab. 10. Minimal nutzbares Grundwasserdargebot im Niederschlagsgebiet der Wetschaft

Teilgebiet	km ²	Trockenwetterabfluß 1971 l/s	niedrigster gemess. Abfluß (WWA Marburg) l/s	Reduktions- faktor * = ge- schätzt	Abfluß, reduziert l/s	Jahres- menge hm ³
1. Wetschaft (einschließl. Wollmar) bis Münchhausen	61,35	191,0	—	*0,7	133,5	4,25
2. Wetschaft bis Todenhausen, ohne 1	21,9	117,7	—	*0,8	94,5	3,0
3. Treisbach	65,43	50,0	13,0	0,26	13,0	0,41
4. Rospher Bach	19,15	50,0	30,0	0,6	30,0	0,96
5. Wetschaft bis Lahn ohne 1—4	22,06	101,4	—	*0,8	81,2	2,58
				Summe	352,2	11,2

Tab. 11. Minimal nutzbares Grundwasserdargebot im Niederschlagsgebiet rechtsseitig der Eder zwischen Battenberg und Papiermühle

Teilgebiet	km ²	Trockenwetterabfluß 1971 l/s	niedrigster gemess. Abfluß (WWA Marburg) l/s	Reduktions- faktor * = ge- schätzt	Abfluß, reduziert l/s	Jahres- menge hm ³
1. Nemphe	37,34	81,0	40,0	0,5	40,0	1,27
2. Lengel-Bach bis Lengelhof N' Allendorf/Frankenau	18,99	22,0	—	*0,7	15,4	0,49
3. Rechtsseitig der Eder entwässernde Gebiete zwischen Battenberg und S' Ederbringhausen	35,33	95,0	—	*0,8	76,0	2,31
				Summe	131,4	4,07

Mit Hilfe der Methode der Abflußzuwachsbestimmung können demgemäß konkrete Angaben über Gebiete gemacht werden, in denen die Gebirgsdurchlässigkeit einen versorgungstechnisch günstigen Standort für Wassergewinnungsanlagen ermöglicht. Wird in diesen Gebieten vom Trockenwetterabfluß ausgegangen, so kann der Trockenwetterabfluß als gewinnbares Grundwasserdargebot gelten.

11.1. Vergleich des minimal nutzbaren Grundwasser-
dargebotes mit dem minimalen Grundwasserabfluß
min. A_u nach WUNDT

Betrachtet man für die in Kap. 9 beschriebenen Pegel das minimale Grundwasser-
dargebot im Vergleich zum minimalen Grundwasserabfluß nach WUNDT, so ergibt sich
das in Tab. 12 zusammengefaßte Bild.

Tab. 12. Vergleich des Wasserdargebotes

Pegel	min. A_u (WUNDT)			min. GW-Dargebot			Differenz %
	l/s	hm ³ /a	mm/a	l/s	hm ³ /a	mm/a	
Gemünden/W.	229,5	7,23	71	166,5	5,29	51,5	28
Bartenhausen	997,0	31,44	116	635,2	20,06	74,0	37
Niederwetter	633,0	19,96	118	352,2	11,20	66,0	44

Alle Werte des minimalen Grundwasserdargebotes liegen erheblich unter dem min.
 A_u -Wert nach WUNDT. Im Bereich der Wetschaft beträgt die Differenz etwa 44 %, was auf den Einfluß der Niederschlagsgebiete im Rheinischen Schiefergebirge (Treis-
bach, z. T. Wollmar) zurückzuführen ist. Für den reinen Buntsandstein-Anteil läge
dieser Wert sicherlich um etwa 7 — 10 % niedriger.

12. Zusammenfassung

Die Frankenberger Bucht, die vorwiegend aus Gesteinen des Unteren und Mittleren
Buntsandsteins aufgebaut ist, wird von 3 Seiten vom Rheinischen Schiefergebirge bzw.
Kellerwald umgeben. Zwischen Buntsandstein und gefaltetem Paläozoikum lagert ein
schmaler Saum permischer Sedimente, oft durch Störungen gegen Schiefergebirge und
Buntsandstein verworfen.

Das gesamte bearbeitete Gebiet (etwa 883 km²) wurde in etwa 450 Teilnieder-
schlagsgebiete unterteilt und im Sommer und Herbst 1971 der Trockenwetterabfluß
gemessen. Für jeden Vorfluter wurden die Einzelabflüsse mit den entsprechenden Ab-
flußspenden (l/s km²) und den Abflußhöhen (mm/a) ermittelt.

Dabei ergibt sich für das Niederschlagsgebiet der Wohra bis zur Meßstelle N Kirch-
hain ($F_N = 274,12$ km²) bei einem Abfluß von 914,2 l/s eine Trockenwetter-Abfluß-
spende von 3,34 l/s km² (Abflußhöhe = 105 mm/a).

Für das Niederschlagsgebiet der Wetschaft bis zur Meßstelle N Göttingen bei Mar-
burg ($F_N = 192,3$ km²) ist bei einem Abfluß von 516,6 l/s eine Trockenwetter-Abfluß-
spende von 2,68 l/s km² (Abflußhöhe = 84,5 mm/a) festgestellt.

Im Niederschlagsgebiet des Roten Wassers ($F_N = 51,07 \text{ km}^2$) liegt bei einem Abfluß von $170,0 \text{ l/s}$ die Trockenwetter-Abflußspende bei $3,32 \text{ l/skm}^2$ (Abflußhöhe = $104,5 \text{ mm/a}$).

Das beiderseitig der Eder zwischen Battenberg und Ederbringhausen gelegene Niederschlagsgebiet ($F_N = 192,87 \text{ km}^2$) weist bei einem Abfluß von $247,92 \text{ l/s}$ eine Trockenwetter-Abflußspende von $1,28 \text{ l/skm}^2$ (Abflußhöhe = 41 mm/a) auf.

Im Niederschlagsgebiet der Nuhne liegt bei einer Fläche von $155,76 \text{ km}^2$ und einem Abfluß von $108,12 \text{ l/s}$ die Trockenwetter-Abflußspende bei $0,69 \text{ l/skm}^2$ (Abflußhöhe = 22 mm/a).

Um einen detaillierten Überblick über den Grundwasserzulauf und die Abflußspenden zu erhalten, wurden zusätzliche, nach geologisch-hydrogeologischen Aspekten bestimmte Meßstellen eingerichtet. Mit Hilfe daraus gewonnener Werte war es möglich, über den Abflußzuwachs (l/s) die Zuwachsspende (l/skm^2) einzelner Gebiete zu ermitteln.

Im Niederschlagsgebiet der Wohra ergeben sich Gebiete erhöhten Grundwasserzutritts ($> 10 \text{ l/skm}^2$) im oberen Scheinfetal, im Gebiet W Gemünden/W., im Tal der Bentreff und im Wohratal, insbesondere zwischen Halsdorf und Kirchhain.

Beim Roten Wasser ist eine höhere Zuwachsspende von $> 5 \text{ l/skm}^2$ im Gebiet nördlich Bracht und zwischen Bracht und Schönstadt, $> 10 \text{ l/skm}^2$ zwischen Schönstadt und der Mündung in die Ohm festzustellen.

Höhere Grundwasserzuflüsse sind bei der Wetschaft ($> 5 \text{ l/skm}^2$) im Gebiet von Wiesenfeld, W Ernsthäuser und zwischen Todenhausen und der Wetschaft-Mündung zu beobachten. Zwischen Todenhausen und Ernsthäuser sowie S Roda steigen die Zuwachsspenden auf $> 10 \text{ l/skm}^2$ an.

Im Gebiet der Eder ist in bezug auf eine hohe Zuwachsspende im wesentlichen das Gebiet N Frankenberg (Papiermühle) zu nennen. Die Quellen von Wolkersdorf — Bottendorf werden zu Versorgungszwecken abgeleitet und sind daher als Abfluß nicht zu erfassen.

Nur geringe Zuwachsspenden zeigt das Niederschlagsgebiet der Nuhne.

Ausgehend von Abfluß- und Zuwachsspenden ergab sich eine Abhängigkeit in bezug auf die Niederschlagsgebiete. In Gebieten des gefalteten Paläozoikums treten unabhängig von der Größe des Niederschlagsgebietes nur geringe Abfluß- und Zuwachsspenden auf, während in Buntsandsteingebieten unabhängig von der Niederschlagsgebietsgröße die Spenden stark schwanken. Die Tatsache verdeutlicht, daß im Buntsandstein auf größere Entfernungen Grundwasserbewegungen stattfinden.

Diese Grundwasserbewegungen konnten durch Berechnung der Flächendifferenzen von Niederschlags- zu Einzugsgebieten nachgewiesen werden. Dabei war es möglich, Flächen mit größeren Zuwachsspenden ($> 5 \text{ l/skm}^2$, $> 10 \text{ l/skm}^2$) definierten Einzugsgebieten zuzuordnen.

Durch Auswertung der Pegel Gemünden/Wohra, Bartenhausen (Wohra) und Niederwetter (Wetschaft) mit Hilfe des A_u - und min. A_u -Verfahrens nach WUNDT wurde der minimale Grundwasserabfluß min. A_u ermittelt. So ergeben sich für Pegel Gemünden/Wohra 2,25 l/skm² (= 71 mm/a), für Pegel Bartenhausen 3,68 l/skm² (= 116 mm/a) und für Pegel Niederwetter 3,77 l/skm² (= 118 mm/a).

Ausgehend von den Trockenwetter-Abflußwerten war es möglich, für die einzelnen Teilniederschlagsgebiete eine Übersicht über das minimal nutzbare Grundwasserdargebot zu erstellen und diese mit den nach WUNDT ermittelten Werten zu vergleichen. Für das Gebiet der Frankenberger Bucht i. e. S. (F etwa 604 km²) ergibt sich bei einem minimalen Abfluß von 1236 l/s eine Minimal-Abflußspende von 2,05 l/skm² (= 65 mm/a). Das kleinste nutzbare Grundwasserdargebot für die Frankenberger Bucht i. e. S. beträgt 38,97 hm³/a. Daran ist das Gebiet der Wohra mit 20,06 hm³/a, das Wetschaftgebiet mit 11,2 hm³/a und das Niederschlagsgebiet des Roten Wassers mit 3,49 hm³/a beteiligt.

Die Werte des min. A_u nach WUNDT (Bartenhausen 31,44 hm³/a, Niederwetter 19,96 hm³/a) liegen um 28 — 44 % höher als die aufgrund der Trockenwetter-Abflußmessungen gewonnenen Werte des minimalen Grundwasserdargebotes (Bartenhausen 20,06 hm³/a, Niederwetter 11,20 hm³/a).

15. Schriftenverzeichnis

- AHRENDT, H. (1965): Devon und Karbon zwischen Altenhaina und Armsfeld (Mtbl. 4919 Frankenau und 4920 Armsfeld, Kellerwald). — 70 S., 4 Taf., 5 Anl., 1 Kte.; Göttingen.
- & GEISSLER, H. (1970): Das Alter der Grauwacken im nördlichen Kellerwald (Rheinisches Schiefergebirge). — Göttinger Arb. Geol. Paläontol. 5, H. MARTIN-Festschr.: 3—14, 3 Abb.; Göttingen.
- BEYSCHLAG, F., DENCKMANN, A., KAYSER, E. & LEPPLA, A. (1892): Geol. Kte. Section Waldeck-Cassel 1: 80 000. — Kgl. preuß. geol. L.-Anst.; Berlin.
- BLANCKENHORN, M. (1930): Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Kirchhain, Lfg. 299; Berlin.
- (1930): Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Neustadt — Arnshain, Lfg. 299; Berlin
- & KURTZ, E. (1929): Die Flußläufe der Tertiärzeit in der Umgegend von Marburg a. d. Lahn. — Sber. Ges. Beförderung ges. Naturwiss. Marburg, 64: 9—47, 1 Taf.; Marburg.
- BOGOMOLOV, G. W. (1958): Grundlagen der Hydrogeologie. — 2. Aufl., 178 S., 104 Abb., 18 Tab.; Berlin (VEB Deutsch. Verl. Wissenschaften).
- BURRE, O. (1960): Untersuchung über die Berechnung der aus dem Grundwasser von den Niederschlägen zugehenden Wassermengen aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 30, 68 S., 1 Abb., 8 Tab., 5 Taf.; Wiesbaden.
- CANCRINUS (1767): Beschreibung der vorzüglichsten Bergwerke in Hessen, in dem Waldeckischen, an dem Harze etc. — Frankfurt. (Faksimile bei Lometsch, Kassel 1971)
- CARLÉ, W. (1955): Bau und Entwicklung der Südwestdeutschen Großscholle. — Beih. geol. Jb., 16, 272 S., 4 Taf., 45 Abb.; Hannover.
- CORRENS, C. W. (1930): Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Buchenau, Lfg. 272; Berlin.
- DAHLGRÜN, F. & GRUPE, O. (1937): Variscische und saxonische Strukturen des Kellerwaldes und seiner Umgebung. — Z. deutsch. geol. Ges., 1936, 88: 591—605, 5 Abb.; Berlin.
- DENCKMANN, A. (1892): Über die Aufnahmen auf den Blättern Frankenau und Kellerwald. — Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. f. 1890, 11: LXII—LXVII; Berlin.
- (1893): Die Frankenberger Permabteilungen. — Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. f. 1891, 12: 234—267; Berlin.

- (1901): Der geologische Bau des Kellerwaldes. — Abh. preuß. geol. L.-Anst., N. F., **34**, 88 S.; Berlin.
- (1901): Geologische Untersuchung der Wolkersdorfer Quelle bei Frankenberg in Hessen. — Z. prakt. Geol., **9**: 1—9, 5 Abb.; Berlin.
- (1902): Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Kellerwald, Lfg. **116**; Berlin.
- (1902): Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Gemünden, Lfg. **116**; Berlin.
- (1902): Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Gilserberg, Lfg. **116**; Berlin.
- (1902): Excursion im Zechstein bei Frankenberg. — Z. deutsch. geol. Ges., Verh., **54**: 169—174; Berlin.
- & v. LINSTOW, O. (1902): Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Frankenau, Lfg. **116**; Berlin.
- DIEDERICH, G. (1966): Fazies, Paläogeographie und Genese des Unteren Buntsandstein norddeutscher Auffassung im südlichen Beckenbereich. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **94**: 132—157, 8 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- (1966): Zur Stratigraphie des Unteren Buntsandstein im deutschen Buntsandsteinbecken. — Z. deutsch. geol. Ges., **116**, 3: 875—890, 2 Tab., Hannover.
- & LAEMMLEN, M. (1968): Kritische Betrachtungen zur Arbeitsweise im Buntsandstein und zu den Grundlagen einer einheitlichen Buntsandsteinstratigraphie. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **96**: 85—110, 2 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- DIENEMANN, W. (1913): Das oberhessische Buntsandsteingebiet. — Jb. preuß. geol. L.-Anst., **34**: 317—404; Berlin.
- DITZEL, H. (1905): Quellenstudien aus der Umgebung von Marburg. — Diss., 109 S.; Marburg.
- DREVERMANN, F. (1901): Über ein Vorkommen von Frankenger Kupferletten in der Nähe von Marburg. — Cbl. Miner. etc., **1901**: 427—428; Stuttgart.
- DÜRBAUM, H. J. (1969): Porosität und Durchlässigkeit von Gesteinen. — In: A. BENTZ: Lehrbuch der Angewandten Geologie, **1**: 934—949, 10 Abb.; Stuttgart (Enke).
- MATTHES, G. & RAMBOW, D. (1969): Untersuchung der Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit des Buntsandsteins in Nordhessen. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **97**: 258—274, 10 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.
- EINSELE, G., BOZORGZAD-ARBAE, D., HEITEL, H., KLOCK, M. & SEILER, U.-P. (1969): Hydrogeologische Untersuchungen in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes. Allgemeiner Teil. Neubildung und Speicherung von Grundwasser. — Geol. Mitt., **9**: 1—74, 24 Abb., 15 Tab.; Aachen.
- (1970): Ober- und unterirdischer Abfluß im saarländischen Buntsandstein. — Z. deutsch. geol. Ges., Sonderheft Hydrogeochem.: 43—67, 10 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- EISELE, K. (1966): Über Grundwasserbewegung in klüftigem Buntsandstein. — Jh. geol. L.-Amt Baden Württemberg, **8**: 105—111, 2 Abb.; Freiburg i. Br.
- ENGEL, F. & HÖLTING, B. (1970): Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse und die Erschließung des Grundwassers der Wasserwerke Stadt Allendorf und Wohratal (Landkreis Marburg). — Wasser u. Boden, **5**: 105—111, 8 Abb.; Hamburg.
- ENGELHARDT, W. v. & PITZER, H. (1951): Über die Zusammenhänge zwischen Porosität, Permeabilität und Korngröße bei Sanden und Sandsteinen. — Heidelb. Beitr. Miner. u. Petrogr., **2**: 477—491, 2 Abb.; Heidelberg.
- (1960): Der Porenraum der Sedimente. — 207 S., 83 Abb., 39 Tab.; Göttingen - Heidelberg (Springer).
- FLIEGEL, G., SCHOTTLER, W. & DIEHL, O. (1935): Geol. Übersichtskte. von Deutschland 1 : 200 000, Bl. Marburg. — Preuß. geol. L.-Anst.; Berlin.
- GEINITZ, H. B. (1861): Dyas oder die Zechsteinformation und das Rotliegende. — Leipzig.
- GEISSLER, H. (1965): Ober-Devon und Unter-Karbon im nordwestlichen Kellerwald zwischen Frankenu und Löhnbach und um Frebershausen (Mtbl. 4919 Frankenu und 4819 Fürstenberg). — 60 S., 3 Abb., 14 Tab., 1 Kte.; Göttingen.
- GISSLER, A. (1952): Durchführung hydrogeologischer Beobachtungen und hydrologischer Vorarbeiten. — Wasserwirtschaft — Wassertechnik, **2**: 273—274; Berlin.
- (1952): Probleme und Wege hydrologischer und hydrogeologischer Forschung. — Wasserwirtschaft — Wassertechnik, **2**: 89—90; Berlin.
- (1957): Das unterirdische Wasser. — 187 S., 82 Abb.; Berlin (VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften).

- GÖPPERT, H. R. (1864): Die fossile Flora der permischen Formation. — *Palaeontographica*, **12**; Kassel.
- GRAHMANN, R., mit einem Beitrag von W. WUNDT (1958): Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung. — 198 S., 48 Abb., 3 Taf., 2 Ktn.; Remagen/Rhein (B.-A. Landes.).
- GRAUL, H., HIEKE, W. & RITZKOWSKI, S. (1965): Der „Niederhessische Chirotherien-Sandstein“ im Westteil der Hessischen Senke und die sog. „Rötellezone“ bei Marburg/Lahn (Buntsandstein, nördliches Hessen). — *N. Jb. Geol. Paläontol.*, 1965, Mh.: 321—333; Stuttgart.
- (1967): Zur Stratigraphie des höheren Buntsandsteins bei Kirchhain am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges. — *Geologica et Palaeontologica*, **1**: 49—56, 3 Abb., 1 Tab.; Marburg.
- & HÖLTING, B. (1968): Buntsandsteinstratigraphie und Tektonik im Gebiet Stadt Allendorf und Neustadt (Ldkr. Marburg). — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **96**: 120—136, 2 Abb.; Wiesbaden.
- GRUPE, O. (1935): Zechstein am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges. — *Handbuch der vergleichenden Stratigraphie Deutschlands: Zechstein*: 332—369; Berlin.
- GUNZERT, G. (1958): Die einheitliche Gliederung des deutschen Buntsandsteins in der südlichen Beckenfazies. — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **24**, 61 S., 14 Abb., 7 Tab.; Wiesbaden.
- HAUSCHULZ, J. (1959): Gewässerkundliches Kartenwerk Hessen, Tl. 1, 6 Ktn., 3 Tab.; Wiesbaden (Hess. Min. Landw. u. Forsten, Abt. Wasserwirtschaft).
- HAUTHAL, U. (1967): Zum Wasserleitvermögen von Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins. — *Z. angew. Geol.*, **13**, 8: 405—407, 2 Tab.; Berlin.
- HEITFELD, K. H. (1965): Hydro- und baueologische Untersuchungen über die Durchlässigkeit des Untergrundes an Talsperren des Sauerlandes. — *Geol. Mitt.*, **5**, 210 S., 71 Abb., 18 Tab., 4 Taf.; Aachen.
- HOCH, U. (1959): Der Momberger Graben im oberhessischen Buntsandstein. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **87**: 133—161, 6 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- HÖLTING, B. (1963): Die Grundwasserneubildung in Oberdevon- und Unterkarbonschichten in der Gemarkung Wirmighausen (Landkreis Waldeck). — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **91**: 351—352, 1 Tab.; Wiesbaden.
- & STENDEL-RUTKOWSKI, W. (1964): Beiträge zur Tektonik des nordwestlichen Vorlandes des basaltischen Vogelsberges, insbesondere des Amöneburger Beckens. — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **47**, 37 S., 2 Taf.; Wiesbaden.
- (1969): Hydrogeologie. — *Erl. geol. Kte. Hessen 1*: 25 000, Bl. 4720 Waldeck: 156—189, 2 Abb., 9 Tab.; Wiesbaden.
- HOLL, K. (1964): Langjährige chemische Untersuchungen unbeeinflusster Quellen und Quellbäche. — *Vom Wasser*, **31**: 26—42, 5 Abb., 8 Tab.; Weinheim.
- HOLZAPFEL, E. (1879): Die Zechsteinformation am Ostrand des Rheinisch-Westfälischen Schiefergebirges. — *Diss.*; Marburg.
- HUCKRIEDE, R. & ZACHOS, S. (1969): Die pliozänen Flußschotter auf den Lahnbergen bei Marburg — ein wichtiges Dokument zur hessischen Landschafts- und Flußgeschichte. — *Geologica et Palaeontologica*, **3**: 195—206, 3 Abb.; Marburg.
- JOHANNSEN, A. (1950): Die geologischen Grundlagen der Wasserversorgung am Ostrand des Rheinischen Gebirges im Raume von Marburg — Frankenberg — Borken. — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **1**, 87 S., 10 Taf., 8 Abb.; Wiesbaden.
- JORDAN, J.-L. (1803): Mineralogische, berg- und hüttenmännische Reisebemerkungen, vorzüglich in Hessen etc. — Göttingen (Dietrich).
- KARRENBERG, H. & WEYER, K. U. (1970): Beziehungen zwischen geologischen Verhältnissen und Trockenwetterabfluß in kleinen Einzugsgebieten des Rheinischen Schiefergebirges. — *Z. deutsch. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeochem.*: 27—41, 13 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- KAYSER, E. & PAECKELMANN, W. (1915): *Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Marburg, Lfg. 212*; Berlin.
- KELLHACK, K. (1935): *Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde*. — 3. Aufl., 575 S., 308 Abb., 1 Taf.; Berlin (Borntraeger).
- KELLER, G. (1969): *Angewandte Hydrogeologie*. — 412 S., 240 Abb., 38 Taf.; Hamburg (Verl. Wasser u. Boden, Axel Lindow & Co.).

- KELLER, R. (1961): Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. — 520 S., 298 Abb.; Berlin (Haude & Spender).
- KOCKEL, C. W. (1958): Schiefergebirge und Hessische Senke um Marburg/Lahn. — Sammlg. geol. Führer, **37**; Berlin (Borntraeger).
- KOENEN, A. v. (1875): Die Zechsteinformation von Frankenberg und Umgegend. — Verh. naturhist. Ver. Rheinld. u. Westf., **32**: 58—61; Bonn.
- KULICK, J. (1961): Die Gliederung des Unteren Buntsandsteins und der Volpriehausen-Folge des Mittleren Buntsandsteins in Waldeck (Nordhessen). — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **89**: 276—309, 8 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- (1966): Der Untere Buntsandstein am Südrande des Kellerwaldes (Nordhessen). — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **94**: 182—200, 1 Abb., 3 Taf.; Wiesbaden.
- LANG, H. D. (1955): Zur Flußgeschichte der Lahn. Ergebnisse geröllanalytischer Untersuchungen in der Umgebung von Marburg/L. — Diss., Marburg.
- (1959): Der Mittlere Buntsandstein der Lahnberge. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **87**: 328—332; Wiesbaden.
- LANGGUTH, H. R. (1966): Die Grundwasserverhältnisse im Bereich des Velberter Sattels (Rheinisches Schiefergebirge). — 127 S., 4 Taf., 13 Tab., 8 Abb., 23 Diagr.; Düsseldorf (Min. Ernährung, Landwirtsch. u. Forsten Land Nordrhein-Westfalen).
- LEIMBACH, A. L. G. (1869): Die permische Formation bei Frankenberg in Kurhessen. — Diss.; Marburg.
- MATTHES, G. & THEWS, J.-D. (1959): Erfahrungen bei der hessischen hydrogeologischen Spezialkartierung 1 : 25 000 in den Jahren 1957 und 1958. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **87**: 417—428, 4 Abb.; Wiesbaden.
- (1963): Hydrogeologie. — Erl. geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. 5223 Queck: 245—281, 4 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- (1964): Niedrigwasser und Grundwasserneubildung. — Wasserwirtschaftl. Rahmenplan Fulda, E 84—90, 4 Tab., 1 Kte. 1 : 300 000 (MATTHES & BUSCHNER); Wiesbaden (Hess. Min. Landwirtsch. u. Forsten, Abt. Wasserwirtsch.).
- (1968): Hydrogeologie. — Erl. geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. 4719 Korbach: 187—206, 2 Abb., 6 Tab.; Wiesbaden.
- (1970): Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **58**, 105 S., 20 Abb., 18 Tab., 4 Taf.; Wiesbaden.
- MEISCHNER, D. (1968): Stratigraphische Gliederung des Kellerwaldes. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **96**: 18—30, 5 Abb.; Wiesbaden.
- & SCHNEIDER, J. (1967): Art und Alter des Deckdiabas-Vulkanismus im Kellerwald. — Geologie, **16**, 1: 5—28, 4 Abb.; Berlin.
- MEYER, H. L. F. (1913): Frankenberger Zechstein und grobklastische Bildungen an der Grenze Perm—Trias. — Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. f. 1910, **31**: 383—447, 2 Ktn., 2 Taf.; Berlin.
- NÖRING, F. (1950): Grundsätzliches betreffend hydrogeologische Karten. — Z. deutsch. geol. Ges., **101**: 222—229; Hannover
- (1951): Die Fortsetzung der Saar-Senke in Hessen. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., (VI) **2**: 22—40, 1 Taf.; Wiesbaden.
- (1952): Die Geologie als Grundlage der Grundwasserkunde. — Neuere Methoden der Grundwassererschließung, Sonderh. DVGW: 7—11, 3 Abb.; Hannover.
- (1954): Die regionale Paläogeographie und Tektonik als Hilfsmittel beim Aufsuchen von Grundwasservorkommen. — Roemeriana, **1** (Dahlgrün-Festschr.): 195—208, 6 Abb.; Clausthal-Zellerfeld.
- (1958): Methods of production a map subterranean waters of Hesse. — Ass. int. Hydrol. sci., **44**, 2: 68—69; Gentbrugge.
- (1961): Hydrogeologie des Kinziggebietes. — In: Wasserwirtschaftl. Rahmenplan Kinzig, E 27—28, 1 Kte. 1 : 150 000; Wiesbaden (Hess. Min. Landwirtsch. u. Forsten, Abt. Wasserwirtsch.).
- MATTHES, G. & THEWS, J.-D. (1967): Die hydrogeologische Feldkartierung. — Mem. Congr. Int. Ass. Hydrogeol., **7**: 240—243; Hannover.
- (1969): Geologische Grundlagen für die Wassererschließung in Hessen. — Wirtschafts-R., Staatsanz. Land Hessen: 30—35, 1 Abb.; Wiesbaden.

- PICKEL, H.-J. (1971): Geologische, hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen am Ostrand der Frankenberger Bucht im Gebiet Altenhaina — Gemünden/Wohra. — Unveröff. Dipl.-Arb. TH Darmstadt, 206 S., 77 Abb., 4 Taf.; Darmstadt.
- (1971): Das Profil der Bohrung Altenhaina und Bemerkungen zur Grenze Zechstein — Buntsandstein im Osten der Frankenberger Bucht. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **99**: 106—123, 7 Abb., 1 Tab., Taf. 11—13; Wiesbaden.
- (1972): Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Niederschlagsgebiet der Schweinfelder (Ostrand der Frankenberger Bucht). — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **100**: 207—253, 17 Abb., Taf. 11—14; Wiesbaden.
- (1972): Hydrogeologische Untersuchungen am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges (Frankenberger Bucht). — Unveröff. Diss. TH Darmstadt, 120 S., 47 Abb., 42 Tab.; Darmstadt.
- REICH, H. (1930): Erl. Geol. Kte. Preußen, Bl. Battenberg, Lfg. **331**; Berlin.
- RICHTER-BERNBURG, G. (1950): Zwei Beiträge zur Fazies, Tektonik und Kupferführung des Zechsteins. I. Waldeck, II. Nordsudeten. — Geol. Jb. f. 1949, **65**: 145—212; Hannover.
- (1955): Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. — Z. deutsch. geol. Ges., **105** (1953): 843—854, 1 Abb., 1 Taf.; Hannover.
- ROTH, W. (1966): Der Untere Buntsandstein bei Marburg/Lahn. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **94**: 173—181, 2 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- SANDNER, G. (1956): Der Kellerwald und seine Umrahmung. — Eine geomorphologische Untersuchung. — Marburger geogr. Schr., **4**, 184 S., 60 Abb., 7 Bild.; Marburg.
- SAUER, E. (1964): Das Perm am Schiefergebirgsrand zwischen Gilserberg und Lollar. — Diss., 115 S., 59 Abb., 8 Tab., 9 Taf.; Marburg.
- SCHARFF, H.-J. (1968): Hydrogeologie. — Erl. geol. Kte. Hessen 1: 25 000, Bl. 5913 Preßberg: 110—125, 1 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- SCHÄLICKE, W. (1965): Der sogenannte Dodenhäuser Graben und das Unter-Karbon von Haina (Mtbl. 4919 Frankenau und 4920 Armsfeld, Kellerwald). — 49 S., 7 Anl., 1 Kte.; Göttingen.
- SCHNEFFER & SCHACHTSCHABEL (1970): Lehrbuch der Bodenkunde. — 7. Aufl., 121 Abb., 70 Tab., 1 Farbtaf.; Stuttgart (Enke).
- SCHMIDT, H. (1926): Der Kellerwaldquarzit — eine Fazies des Unterkarbons. — Z. deutsch. geol. Ges., 1925, **77**: 201; Berlin.
- SCHMIERER, T. (1930): Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Biedenkopf, Lfg. **272**; Berlin.
- SCHNEIDER, H. & THIELE, S. (1965): Geohydrologie des Ertfgebietes. — 185 S., 2 Taf., 75 Abb.; (Min. Ernährung, Landwirtschaft, u. Forsten Land Nordrhein-Westfalen).
- SCHOELLER, H. (1962): Les eaux souterraines. — 642 S., 187 Abb.; Paris (Masson).
- SCHROEDER, G. (1952): Die Wasserreserven des oberen Emsgebietes. — Bes. Mitt. deutsch. gewässerk. Jb., **5**, 70 S., 2 Ktn., 9 Abb., 63 Taf.; Bielefeld.
- SCHRÖTER, H. (1971): Erfahrungen bei Abflußmessungen in kleinen Vorflutern für hydrogeologische Spezialuntersuchungen. — bbr, **2**, **3**, 11 S., 9 Abb.; Köln.
- SCHWILLE, F. (1969): Kluft- und Porenwasser im Mittleren Buntsandstein des südlichen Saarlandes. — Geol. Mitt., **9**: 75—96, 14 Abb., 3 Tab.; Aachen.
- SITTE, F. (1954): Neuere Methodik der Grundwasserkartierung. — Ass. int. Hydrogeologie sci. Assemblee generale de Rome 1954, **2**: 276—290, pub. 37.
- SOBOTH, E. (1950): Gestein und Landschaft rings um Frankenau. — 700 Jahre Stadt Frankenau-Frankenberger: 91—96; Frankenau.
- (1951): Neue Beobachtungen zur Geologie des Frankenberger Raumes. — Z. deutsch. geol. Ges., **102**: 149—150; Hannover.
- (1953): Kupfererz- und alter Bergbau bei Frankenberger. — Hess. Heimat: 19—21, 2 Abb.; Melungen.
- (1953): Beiträge zur Kenntnis der Lagerungsverhältnisse und Ausbildung des kupfererzführenden Oberen Zechsteins im Osten von Frankenberger/Eder. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **81**: 160—163, 1 Abb.; Wiesbaden.
- (1955): Die Schüttungen der Listenbachquellen in den Abflußjahren 1952/53 und 1953/54. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **83**: 267—274, 2 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- (1956): Junge Hohlformen (Becken) und alte Schwächelinien. — Z. deutsch. geol. Ges., **106**, **2**: 378—386, 8 Abb.; Hannover.

- (1956): Geologische Übersicht. — Strukturuntersuchung Landkreis Frankenberg/Eder: 2—16; Frankenberg.
 - (1958): Zur Lage der Extremwerte bei den 10-jährigen Quellbeobachtungen im Frankenger Raum. — Z. deutsch. geol. Ges., **110**: 143; Hannover.
 - (1961): Streifenblockbildreihen zur Darstellung der Talausbildung (Fuldatal bei Fulda und Ederdal bei Frankenberg). — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **89**: 360—364, 3 Abb.; Wiesbaden.
 - (1961): Neue Beobachtungen über Pliozän (?) und Pleistozän im Randbereich der Frankenger Bucht. — Z. deutsch. geol. Ges., **111**, 1: 248—251, 3 Abb.; Hannover.
 - (1971): Exkursionsführer Frankenger Bucht. Sonderexkursion der AIH (IAH). Eigendruck, 4 S.; Frankenberg.
 - STAMM, A. G. (1891): Über das Alter der rothen Conglomerate zwischen Frankenberg und Lollar. — Diss.; Marburg.
 - STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1968): Grundwassererschließung im hessischen Anteil des Rheinischen Schiefergebirges in den letzten 15 Jahren. — Z. deutsch. geol. Ges., **117**: 913—914; Hannover.
 - STILLE, H. (1902): Über Schürfungen im Gebiet des Frankenger Perm und dessen Vertretung weiter nördlich. — Z. deutsch. geol. Ges., **54**; Hannover.
 - STOPPEL, D. (1959): Das Oberdevon und Unterkarbon im südlichen Kellerwald. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **87**: 89—119, 6 Abb.; Wiesbaden.
 - (1961): Geologie des südlichen Kellerwaldgebirges. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **34**, 114 S., 21 Abb., 2 Tab., 4 Taf., 1 Kte.; Wiesbaden.
 - THEWS, J.-D. (1966): Karte der Grundwasserbeschaffenheit in Hessen 1 : 300 000. — Hess. L.-Amt Bodenforsch., mit Erl., 12 S., 1 Kte.; Wiesbaden.
 - THURNER, A. (1967): Hydrogeologie. — 350 S., 187 Abb., Wien — New York (Springer).
 - TICHY, F. (1951): Die Lahn — Geographische Grundlagen einer Wasserwirtschaft. Marburger geogr. Schr., **2**, 124 S., 31 Tab., 21 Abb.; Marburg.
 - UDLUFT, H. (1951): Über den tektonischen Aufbau der Buntsandsteinlandschaft zwischen Marburg und Kirtorf. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., (VI) **2**: 5—14; Wiesbaden.
 - (1957): Hydrogeologische Übersichtskarte 1 : 500 000, Bl. Frankfurt, mit Erl., 123 S., 24 Tab., 5 Abb., 14 Taf.; Remagen (B.-Anst. Landesk.).
 - VOLLRATH, A. (1950): Der Untere Buntsandstein und die Gesteine der Zechstein-Buntsandstein-Grenze zwischen Vogelsberg und Kellerwald. — N. Jb. Miner., Mh.: 262—276, 2 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
 - WALDIN (1778): Die Frankenger Versteinerungen nebst ihrem Ursprung. — Marburg.
 - WALGER, T. (1928): Zur Struktur des Frankenger Zechsteins. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-Anst., (V) **11**: 197—202; Darmstadt.
 - WÜRTTEMBERGER, G. (1867): Über die Zechsteinformation, deren Erzführung und den Unteren Buntsandstein bei Frankenberg in Kurhessen. — N. Jb. Miner., Geol., Paläontol.; Stuttgart.
 - WUNDT, W. (1953): Gewässerkunde. — 320 S., 185 Abb.; Berlin — Göttingen — Heidelberg.
 - (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. — Forsch. deutsch. Landesk., **104**: 47—54, 2 Abb.; Remagen.
- Deutscher Grundwasserausschuß (1961): Grundwasser. Richtlinien für Beobachtung und Auswertung.
- Deutscher Normenausschuß (1954): DIN 4049, Bl. 1. Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen, Tl. 1: quantitativ, 26 S., 10 Abb.; Berlin — Köln.
- Deutscher Wetterdienst (1950): Klima-Atlas von Hessen. — 75 Ktn., 9 Diagr., Erl.; Bad Kissingen.
- Hess. Min. Landwirtsch. u. Forsten, Abt. Wasserwirtschaft (1961): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Kinzig. — 9 + 68 S., 53 Ktn.; Wiesbaden.
- (1964): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Fulda. 15 + 197 + 49 + 60 + 15 + 2 S., 136 Tab., 74 Abb., 1 Atlas (2 S., 78 Ktn.); Wiesbaden.
 - (1965): Sonderplan Wasserversorgung Mittelhessen. — 41 S., 7 Abb., 11 + 14 Tab., 15 Ktn., 5 Diagr.; Wiesbaden.

Verbreitung und Dynamik der mineralwasserbeeinflussten Grundwässer der Wetterau/Hessen

Von

HANS-JÜRGEN SCHARPFF *

Mit 14 Abbildungen, 8 Tabellen ** und Tafel 1

Kurzfassung: Die in der weiteren Umgebung der bekannten Mineralquellen der Wetterau zirkulierenden Grundwässer wurden mittels Proben, die aus 140 bekannten Quellen und Brunnen sowie aus 450 eigens niedergebrachten Handbohrungen entnommen wurden, chemisch und physikalisch untersucht. Während von den Quellen nur 13 schwachen Mineralwasser-Einfluß aufweisen, zeigte sich auf einem Drittel der mittels Bohrungen untersuchten ca. 60 km langen Talstrecken deutliche Salinitäts-erhöhung des oberflächennahen Grundwassers. Sie übersteigt z. T. die Werte nahegelegener Mineralquellen. Es werden die örtlich nachweisbaren Vorgänge der Verdünnung, der Lösung und des Ionenaustausches betrachtet.

Abstract: Samples of ground water in the neighbourhood of the known mineral springs of the Wetterau were taken from 140 wells and springs as well as from 450 specially hand-drilled bore holes. Chemical and physical analyses proved that only 13 springs are weakly influenced by mineral water. One third of 60 km valley line investigated by bore holes, however, showed distinct increase of salinity in shallow ground water. Locally salinity even exceeds the rates of nearby mineral springs. Processes of dilution, solution and ionic exchange which were shown to be locally active are discussed.

Inhalt

1.	Einleitung	104
2.	Geologische Übersicht	104
3.	Hydrogeologische Verhältnisse	106
3.1.	Bekannte Mineralquellen und -brunnen	106
3.2.	Grundwasser in der Umgebung bekannter Mineralquellen	107
3.2.1.	Untersuchungsmethoden	107
3.2.2.	Quellwässer	108
3.2.3.	Oberflächennahes Grundwasser der Talauen mit neuen Vorkommen von Mineralwasser	113
4.	Ergebnisse und Übersicht der im Grundwasser ablaufenden Vorgänge	138
5.	Schriftenverzeichnis	142

*) Dr. H.-J. SCHARPFF, Dipl.-Geologe, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, 62 Wiesbaden, Leberberg 9.

**) Die Tabellen 5 und 6 befinden sich im Tafelteil, die Tabellen 7 und 8 auf den Seiten 145—158.

1. Einleitung

In der weiträumig gegliederten, vorwiegend von der Nidda und ihren Seitenbächen entwässerten Landschaft zwischen Taunus, Vogelsberg, Büdinger Wald, Kinzig und Main, der Wetterau, treten zahlreiche, z. T. schon seit frühgeschichtlicher Zeit bekannte Mineralquellen aus. Durch die intensive Nutzung der am höchsten konzentrierten Wässer — zu der z. T. seit der Latène-Zeit ununterbrochen betriebenen Salzsiederei (Bad Nauheim) trat seit der Mitte des 19. Jahrhunderts die Nutzung als Kurmittel (Bad Nauheim, Bad Salzhausen, Selters, Bad Vilbel) — richtete sich das wissenschaftliche Interesse bisher vorwiegend auf die Hauptquellaustritte. Dies schlug sich in zahlreichen, meist aber nur auf einzelne genutzte Quellen bezogene Veröffentlichungen nieder. Die übrigen, oft ungefaßt und unscheinbar ausfließenden Quellen fanden in der Regel keine oder nur beiläufige Erwähnung. Über ihre chemische Beschaffenheit liegen nur wenige exakte Angaben vor. Die Betrachtung großräumiger Zusammenhänge war deshalb erheblich erschwert. Andererseits wurden in den vergangenen Jahrzehnten bei Versuchen zur Erschließung von Süßwasser auch in größerer Entfernung von Mineralquellen immer wieder Anzeichen von Mineralwasser gefunden, so daß mit einer tatsächlich wesentlich größeren Verbreitung der Grundwasserversalzung zu rechnen war.

Von dieser Situation her verfolgten die vorliegenden Untersuchungen das Ziel, durch systematische Geländeuntersuchungen genauere Vorstellungen über das im weiteren Umkreis der Mineralquellen zirkulierende Grundwasser und damit über die tatsächliche Verbreitung und die Fließwege der Mineralwässer sowie ihre wechselseitigen Beziehungen zum übrigen Grundwasser und zum Grundwasserleiter zu erhalten.

In einer weiteren Veröffentlichung sollen neben einer umfassenden Dokumentation der in der vorliegenden Arbeit nur kurz erwähnten Mineralwasseraustritte (technische Beschreibung, bisher erfolgte chemische Untersuchungen, historische Übersicht) großräumige Vergleiche über die Beschaffenheit der Mineralwässer zwischen Zechstein-Salinar im Raum Fulda und dem Oberrheingraben angestellt sowie Überlegungen über Herkunft und Wanderweg der Solen im tieferen Untergrund zur Diskussion gestellt werden.

Die gesamte Arbeit ist die Dissertation des Verfassers (SCHARPFF 1972). Für die Anregung hierzu möchte ich Herrn Prof. Dr. NÖRING, Wiesbaden, ebenso wie Herrn Prof. Dr. SOLLE für die Möglichkeit, die Arbeit am Geologisch-Paläontologischen Institut der TH Darmstadt durchzuführen, sehr herzlich danken. Besonders danke ich auch Herrn Prof. Dr. MATTHESS, Kiel, der die Arbeit betreute und mich stets freundschaftlich mit Anregungen und Diskussionen unterstützte. Herrn Prof. Dr. FRESENIUS, Wiesbaden, danke ich für die Gelegenheit, zur Einführung in die chemische Wasseranalyse mehrere Wochen an seinem Institut zu praktizieren. Bei der Beschaffung von Analysen und sonstigen Unterlagen waren mir zahlreiche Privatpersonen, Betriebe und Behörden sowie meine Kollegen beim Hessischen Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, stets zuvorkommend behilflich. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlichst gedankt.

2. Geologische Übersicht

Der geologische Bau der Wetterau wird im wesentlichen durch die Kreuzung der NNE — SSW (rheinisch) streichenden Mittelmeer-Mjösen-Zone mit der SW — NE (erzgebirgisch) streichenden Saar-Nahe-Senke bestimmt, wodurch das Gebiet in mehrere Großstrukturen unterschiedlicher tektonischer Höhenlage gegliedert ist.

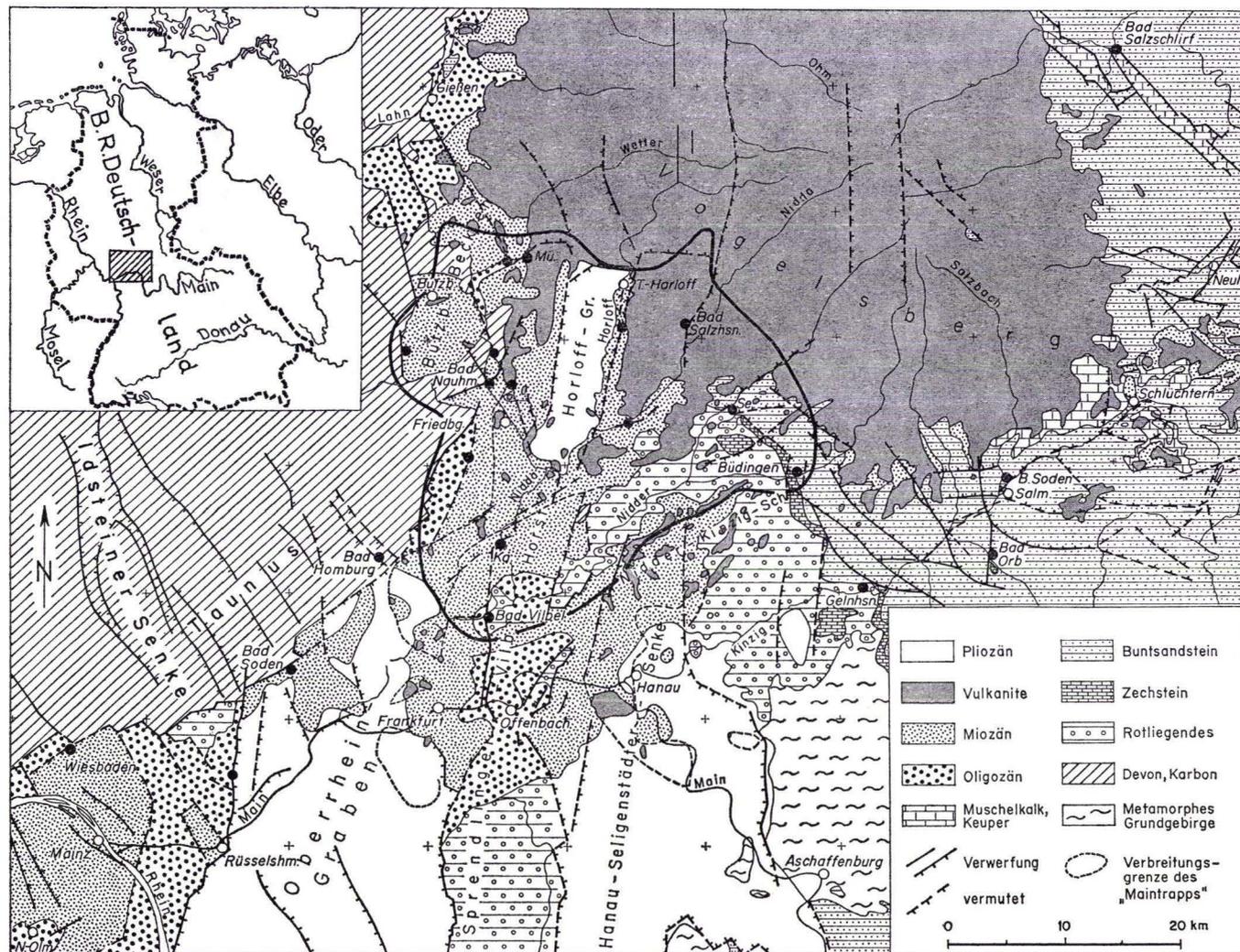


Abb. 1. Geologische Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes (umrandet) und seiner näheren Umgebung (Quartär abgedeckt). — Nach: Geologische Übersichtskarte von Hessen 1 : 300 000, RÖSING 1960; ANDERLE 1970; DIEDERICH & HICKETHIER, mündl. Mitt.; NÖRING 1960; SCHOTTLER 1925, 1937. ● Wichtigste natürliche Mineralwasseraustritte

Als höchste Scholle bilden im Taunus die variscisch gefalteten und geschuppten paläozoischen Gesteine den W-Rand des Untersuchungsgebietes (Abb. 1). An erzgebirgisch und rheinisch bis eggisch (SSE — NNW) streichenden Verwerfungen sinken sie zur differenziert ausgebildeten, rheinisch verlaufenden Grabenstruktur der Wetterau-Senke hin ab. In dieser wurden seit dem Oligozän die zur östlichen Randfazies des Mainzer Beckens gehörenden Schichten des Tertiärs — vorwiegend Tone, Sande und Kiese, untergeordnet Kalksteine und Mergel sowie Basalte — abgelagert. Als bedeutendste tektonische Teilelemente sind dieser Senke der Horloffgraben und das Butzbacher Becken zuzurechnen.

Der östlich angrenzende Teil der Wetterau stellt ein tektonisch höheres Gebiet dar, in dem teils an der Oberfläche, teils unter geringmächtigen, vorwiegend klastischen miozänen Sedimenten und Basalten Schichten des Rotliegenden (Schiefertone und konglomeratführende Sandsteine) anstehen. Gegen die Wetterau-Senke ist dieser Bereich durch den ebenfalls rheinisch streichenden und von einem Spezialgraben gegliederten Horst von Bad Vilbel und Erbstadt abgegrenzt. Als älteste Schichten treten hier variscisch gefaltete Gesteine des Paläozoikums auf. Im östlich anschließenden Nidder-Kinzig-Gebiet kommen durch Absinken von Teilschollen an vorwiegend N — S streichenden Verwerfungen nach E hin immer jüngere Schichten zum Ausstrich. Der östliche Rand des betrachteten Raumes wird von geringmächtigen Schichten des Zechsteins in tonig-sandiger und kalkig-mergeliger Beckenrandfazies gebildet. Diese werden von den Schichtenfolgen des Unteren und Mittleren Buntsandsteins überlagert.

Am N-Rand der Wetterau werden die beschriebenen Strukturen von den Vulkaniten des Vogelsberges, mächtigen Basaltdecken und Tuffen miozänen Alters, überdeckt. Die tektonischen Elemente im Vogelsberg zeigen die gleichen Richtungen wie in den umgebenden Gebieten.

3. Hydrogeologische Verhältnisse

3.1. Bekannte Mineralquellen und -brunnen

Die Mineralquellen der Wetterau treten bevorzugt im Bereich junger tektonischer Hauptrichtungen auf, die z. T. von den größeren Tälern nachgezeichnet werden. So liegen in eggisch verlaufenden bzw. von dieser Richtung beeinflussten Teilen des Wettertales die Mineralquellen von Münzenberg, Eberstadt, Ober-Hörgern, Rockenberg, Steinfurth, Wisselsheim und Dorheim (Abb. 1, Taf. 1). An dem durch eine erzgebirgisch streichende Randstörung geprägten S-Rand des Taunus liegen die Mineralwässer von Nieder-Rosbach und am Kreuzungspunkt dieser Störung mit einer markanten rheinischen Verwerfung im Usatal die Mineralquellen von Bad Nauheim. Einer morphologisch stark ausgeprägten, ebenfalls rheinisch gerichteten Verwerfung am E-Rand des Horloffgrabens sitzen Mineralquellen bei Trais-Horloff, Grund-Schwalheim, Echzell und Staden auf. Im gleichsinnig verlaufenden südlichen Niddatal sind die Mineralquellen von Kloppenheim, Groß-Karben und Bad Vilbel bekannt. Die Mineralquellen von

Bad Salzhausen sind dagegen an eine eng begrenzte Horststruktur gebunden, die vermutlich durch Kombination der genannten Richtungen entstanden ist. Am E-Rand der Wetterau sind bei Selters und Büdingen mehrere Quellen an den Ausstrichbereich verkarsteter Zechsteinkalke gebunden.

Bezüglich ihres Stoffbestandes gehören die hochkonzentrierten Wässer dem Typ der Natrium-Chlorid-Solen an (vgl. Begriffsbestimmungen für Kurorte . . . 1968). Nur in den geringer konzentrierten Wässern übersteigt der Anteil der Erdalkalien und des Hydrogenkarbonates 20 mval⁰/₁₀ und geht daher in die Typisierung ein. Je nach den überwiegenden Ionenanteilen treten dann als wichtigste Gruppen die folgenden Typen auf: Natrium-Calcium-Chlorid-Hydrogenkarbonat-Wasser, Natrium-Calcium-Hydrogenkarbonat-Chlorid-Wasser, Calcium-Natrium-Hydrogenkarbonat-Chlorid-Wasser und Calcium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Chlorid-Wasser.

In den Mineralwässern sind in der Regel erhebliche Mengen an freiem, gelösten Kohlendioxid enthalten, die bei den meisten Mineralquellen Werte über 1000 mg/l erreichen. Sie sind daher als Säuerlinge zu bezeichnen.

3.2. Grundwasser in der Umgebung bekannter Mineralquellen

3.2.1. Untersuchungsmethoden

Zur Betrachtung des im Untergrund zwischen den bekannten Mineralquellen zirkulierenden Mineralwassers wurde zunächst eine systematische Untersuchung aller Quellen vorgenommen, die auf den die westliche und zentrale Wetterau einnehmenden Blättern der TK 25 5518 Butzbach, 5519 Hungen, 5618 Friedberg, 5619 Staden, 5718 Ilbenstadt sowie einigen randlich anschließenden kleineren Gebieten dargestellt sind. Im Bereich des Bl. 5618 Friedberg, des am dichtesten mit Mineralquellen besetzten Blattes, wurden darüber hinaus bei einer gezielten Kartierung alle Grundwasseraustritte erfaßt und jeweils eine Vollanalyse ihrer Wässer vorgenommen (Tab. 6). Bei den übrigen genannten Blättern wurden im Hinblick auf die Fragestellung — Ergründung der Einflußnahme erhöht mineralisierten Wassers — unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Mittel als typische Kriterien der bekannten Mineralwässer die Gehalte an Chlorid, Hydrogenkarbonat (Karbonathärte), Erdalkalien (Gesamthärte), Eisen (II) und gelöstem Kohlendioxid bestimmt, sowie pH-Wert, Leitfähigkeit, Wassertemperatur und Schüttung gemessen (Tab. 7).

Mit Ausnahme der Erdalkali-(Gesamthärte-)Bestimmung, die nach der Anweisung der Fa. Merck, Darmstadt, mit Titriplex A durchgeführt wurde, und der Eisen (II)-Bestimmung, die nach FRESENIUS & SCHNEIDER (1965) erfolgte, wurden bei allen Untersuchungen die „Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung“ (1960) angewandt. Außer der Erdalkali-Bestimmung wurden alle Untersuchungen an Ort und Stelle durchgeführt.

Im Hinblick auf die, im Verhältnis zur betrachteten Fläche, geringe Zahl der natürlichen Grundwasseraustritte war die Aussagekraft der aus Quellen gewonnenen Werte gering. In Gebieten mit hochstehendem Grundwasser wurden daher Versuche unternommen, durch eigens angelegte Aufschlüsse Proben des oberflächennahen Grundwassers zu entnehmen. Hierbei erwies sich die Anwendung eines Handbohrers mit schneckenartig gewundener Spitze als vorteilhaft (SCHARPFF 1970 a). Mit diesem 1 m langen, auf einige Meter erweiterbaren Gerät, lassen sich bei lehmigem Untergrund in wenigen Minuten (in vorliegendem Falle 8 cm weite) Bohrlöcher bis zur Grundwasseroberfläche niederbringen.

Das sich in der Regel schnell sammelnde Grundwasser wird mittels einer an steifem Draht befestigten Flasche entnommen und in größere Behälter umgefüllt. Durch den Bohrvorgang ist die Probe meistens stark getrübt, so daß eine titrimetrische Schnellbestimmung erst nach ungefähr einer Stunde möglich ist. Die Untersuchung dieser Wässer wurde daher erst im Labor vorgenommen. Da eine größere Anzahl von Analysen durchzuführen war, wurden nur Chlorid, Erdalkalien (Gesamthärte), Hydrogenkarbonat (Karbonathärte) und Leitfähigkeit bestimmt. Wie bei den Quellwässern wurde der Wert der Nichtkarbonathärte aus Gesamthärte und Karbonathärte errechnet.

3.2.2. Quellwässer

In Tab. 7 sind die Ergebnisse von 127 orientierenden Wasseranalysen der auf dem Gebiet der oben genannten topographischen Blätter gelegenen Grundwasseraustritte zusammengestellt. Hinzu kommen in Tab. 6 13 Vollanalysen von Süßwasserquellen und -brunnen aus dem Gebiet des Bl. 5618 Friedberg.

Die wichtigsten Werte sind in einem Dreiecksdiagramm (Abb. 2) mit anhängendem Chlorid/Gesamthärte-Diagramm dargestellt.

Entsprechend der für die Problemstellung geringen Bedeutung der hochgelegenen westlichen und östlichen Randbereiche des Arbeitsgebietes liegen aus Quellen, deren Einzugsgebiet aus Gesteinen des Devons (Taunusrand) besteht, 9 Proben und aus Quellen, die aus tertiären Basalten (Vogelsbergtrand) entspringen, 17 Proben vor (Tab. 1).

Tab. 1. Analysendaten süßer Quellwässer aus Devon- und Basaltgesteinen

		Devon	(Mittel)	Basalt	(Mittel)
Gesamthärte	°d	1,7 — 17,9	6,4	8,4 — 25,3	17,7
Karbonathärte	°d	1,7 — 11,8	5,0	4,2 — 25,5	14,6
Nichtkarbonathärte	°d	0,4 — 6,1	1,4	0,1 — 4,9	2,6
Chloridgehalt	mg/l	7,1 — 26,1	13,2	11 — 41	24

Sowohl bei den Härtegraden als auch bei den Chloridgehalten wird die verhältnismäßig geringe Mineralisierung der beiden Gruppen deutlich. Neben der primär gerin-

gen Löslichkeit der Herkunftsgesteine ist die Ursache hierfür in der vorwiegend forstlichen Nutzung und daher geringen anthropogenen Beeinflussung der Quellen-Einzugsgebiete zu suchen.

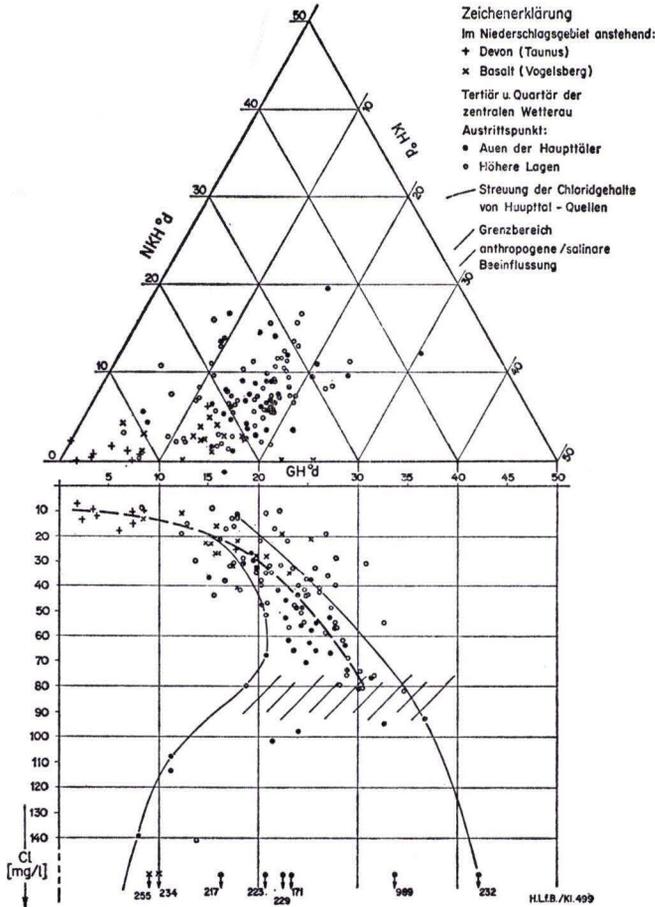


Abb. 2. Beziehungen zwischen Gesamthärte (GH), Karbonathärte (KH), Nichtkarbonathärte (NKH) und Chloridgehalt bei den Quellwässern der Wetterau.

Nach den „Begriffsbestimmungen...“ (1968) liegen die Wässer vorwiegend als Calcium (-Magnesium)-Hydrogenkarbonat-Wässer vor.

Mit 98 Quellen entfällt die größte Zahl der Untersuchungen auf die Grundwasseraustritte der zentralen Wetterau. Obwohl diese Wässer Gesteinshorizonten verschiedenster lithologischer Beschaffenheit entspringen, ist eine weitere Differenzierung nach stratigraphischen Gesichtspunkten im Hinblick auf die fast überall vorhandene mächtige Überdeckung von kalkhaltigem Löß nicht sinnvoll. Die Extremwerte sind in Tab. 2 wiedergegeben.

Tab. 2. Analysendaten süßer Quellwässer in der zentralen Wetterau

		Extremwerte	Mittelwert
Gesamthärte	°d	7,9 — 36,6	23,3
Karbonathärte	°d	4,9 — 23,6	15,3
Nichtkarbonathärte	°d	0,4 — 19,4	7,7
Chloridgehalt	mg/l	9 — 98	44

Die meisten Wässer dieser Gruppe liegen als Calcium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Wässer vor. Die häufig sehr hohen Härte-Werte bei meist hohem Karbonathärte-Anteil lassen sich z. T. durch den Einfluß der im Einzugsgebiet anstehenden kalkhaltigen Schichten, insbesondere des Lösses, erklären. Erheblicher Einfluß auf den Grundwasser-Chemismus ist bei der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung der zentralen Wetterau jedoch auch der künstlichen Düngung zuzuschreiben (vgl. NÖRING 1951, SCHWILLE 1953, MATTHESS 1958, 1971, THEWS 1972).

Vergleiche alter und jetziger Analysendaten von Quellwässern aus landwirtschaftlich genutzten Lößgebieten zeigen, daß diese Grundwässer heute kaum noch ihre natürliche chemische Beschaffenheit aufweisen. Bisweilen nähern sich die Konzentrationen denen von Mineralwässern. So beträgt die Summe der festen gelösten Bestandteile im Pfingstbrunnen S Friedberg 838 mg/l (Tab. 6, SV 1). Mit den Mineralwässern des Natrium-Chlorid-Typs besteht in diesem Falle jedoch kein Zusammenhang.

Insbesondere bei den Werten der lößbedeckten zentralen Wetterau zeigt sich bei den Chloridgehalten deutlich eine direkte Proportionalität zur Gesamthärte (Abb. 2), was in Anbetracht der primären Chlorid-Armut des Grundwasserleiters ebenfalls auf eine überwiegend anthropogene Herkunft dieser Ionen hinweist. Bei Chloridgehalten über 80 mg/l tritt eine deutliche Verbreiterung der Chloridstreuung ein, d. h. es besteht keine Abhängigkeit mehr von der Gesamthärte. Alle höheren Chloridwerte gehören Quellen an, die an Auenrändern der tiefgelegenen Haupttäler austreten. Da in gleicher Lage auch fast alle chloridischen Mineralquellen des Untersuchungsgebietes austreten, ist anzunehmen, daß die Chloriderhöhung auf den Einfluß hochmineralisierten Talgrundwassers zurückzuführen ist.

Wie die Werte der höhergelegenen und sämtlich in ackerbaulich genutzten Flächen austretenden Quellen zeigen, verursacht landwirtschaftliche Düngung in diesem Gebiet in der Regel keine höheren Chloridgehalte als 80 mg/l. Im Untergrund geschlossener Ortschaften muß infolge versickernder Abwässer aus Fäkalgruben und undichten Kanälen mit Chloridgehalten von 300 mg/l und mehr gerechnet werden (MATTHESS 1958). Da die untersuchten Quellen jedoch alle außerhalb solcher intensiver anthropogener Einflüsse liegen, weisen *Gehalte von mehr als 100 mg/l Chlorid mit hoher Sicherheit auf Beimischung chloridischer Mineralwässer im Untergrund hin.*

Insgesamt sind nach diesem Kriterium 13 der untersuchten Quellen als mineralwasserbeeinflußt bzw. nach ihrem 1 g/l übersteigenden Lösungsinhalt 2 Quellen als Mineralquelle zu bezeichnen. In der Mehrzahl liegen die Vorkommen in der Nähe bekannter Mineralquellen.

So tritt bei M ün z e n b e r g die Quelle Q 5 (Tab. 7, Taf. 1) mit 139 mg Cl⁻/l ca. 430 m östlich der Mineralquelle an der Junkermühle (Tab. 5, MV 2; 6345 mg Cl⁻/l) und Q 6 mit 106 mg Cl⁻/l ca. 200 m südwestlich der Quelle in den „Ober-Hörgerner Salzwiesen“ (Tab. 5, MV 4) aus. Das Wasser der Quelle Q 8 drang ca. 100 m nördlich der gefaßten Mineralquelle in den „Ober-Hörgerner Salzwiesen“ (mit seltener Halophytenflora; W. LUDWIG 1957) aus einem verfallenden Schacht (bis zum Jahre 1968, inzwischen durch eine Müllhalde verschüttet). Dieser stellt möglicherweise den Rest einer im 18. Jahrhundert der Salzsiederei dienenden Anlage dar. Die Chloridkonzentration seines Wassers übertraf mit 5876 mg/l noch die der nahe gelegenen Mineralquelle.

Die Quellen Q 24, Q 25, Q 27 und Q 127 sind 580 — 1400 m von der nächsten bekannten, jedoch verhältnismäßig gering konzentrierten (1269 mg Cl⁻/l) Mineralquelle R o c k e n b e r g entfernt. Sie treten mit Chloridgehalten zwischen 171 und 229 mg/l zu beiden Seiten des Wettertales westlich und nordwestlich von O p p e r s h o f e n auf. Wie durch Bohrungen nachgewiesen werden konnte (s. Abschn. 3.2.3.1.) umgrenzen sie eine intensiver entwickelte Zone der Grundwasserversalzung in der Talmitte.

Ein mit 102 mg Cl⁻/l nur schwach mineralisiertes Einzelvorkommen stellt das in einem Schacht südlich des Ortes vorkommende Wasser Q 32 dar.

Echtes Mineralwasser (989 mg Cl⁻/l und 524 mg HCO₃⁻/l) tritt dagegen 600 m weiter im S aus (bereits in der Gemarkung S t e i n f u r t h , Q 33). Hier finden sich wieder in der Talmitte höher konzentrierte Mineralwässer, die weiter unten beschrieben werden.

Der weiter südlich gelegene Abschnitt des Wettertales weist neben den bekannten Mineralquellen von Wisselsheim, Rödgen und Dorheim nur wenige Süßwasserquellen auf. Sie zeigen keinerlei Salzwassereinfluß.

Ähnliche Verhältnisse liegen im Horlofftal vor, das jedoch im Vergleich zum oberen Wettertal eine auffallend geringe Quelldichte besitzt.

Am SW-Rand des Vogelsberges deutet sich im Niddertal Mineralwassereinfluß noch ca. 1,8 km nordöstlich der genutzten Mineralquellen von Selters an. Hier hat die „Stadtbrunnen“-Quelle in O r t e n b e r g (MV 76) 234 mg Cl⁻/l bei nur 10,0° dGH.

Eine Besonderheit ist die 2,8 km weiter nordöstlich am SE-Rand von L i ß b e r g gelegene und vermutlich derselben tektonischen Zerrüttungszone aufsitzende Quelle (MV 86). Sie fließt am Hang ca. 6 m über dem Niveau der Talsohle innerhalb eines künstlich aufgestauten Sees von rd. 15 m Durchmesser mit ca. 20 l/s Schüttung aus. Das Empordringen des Wassers ist, insbesondere am S-Rand des Sees, mit dem Aufstieg von Gasblasen verbunden. Die Vermutung, daß es sich dabei um Kohlendioxid handelt, liegt nahe, doch ist die Menge des im Wasser gelösten Kohlendioxids mit 44 mg/l vergleichsweise sehr gering.

Der Salzgehalt weist mit 255 mg Cl⁻/l und äquivalent hohem Alkaligehalt bei im übrigen geringer Mineralisierung auf den Einfluß chloridischen Mineralwassers hin. Dieser wird besonders bei Betrachtung der durch die Quelle transportierten Stoffmenge deutlich. *Die Salzfracht beträgt nämlich infolge der hohen Schüttung 13,9 g/s. Sie ist daher, mit Ausnahme der Bad Nauheimer Sprudel VII, XII und XIV, des Bad Nauheimer Karlsbrunnens sowie des Benediktussprudels in Selters (Tab. 5), höher als bei allen übrigen in der Wetterau austretenden Einzelquellen. Die Lißberger Quelle ist daher in ihrer Bedeutung den Mineralquellen zuzuordnen.*

Auf den Einfluß tiefgründig zirkulierenden Grundwassers weist auch die mit 14,2 °C um rd. 6 °C über dem Jahresmittel der Lufttemperatur liegende Wassertemperatur hin.

Diese in jüngerer Zeit bezüglich ihrer Besonderheit unbekannt gebliebene Quelle ist vermutlich identisch mit dem bereits von KLIPSTEIN (1970: 30) erwähnten „kleinen See, dessen Wasser eine nähere Untersuchung verdient“, und das „die benachbarten Müller zu Winterszeiten auf die Mühlgräben leiten und erwürken dadurch, daß sie selten einfrieren . . .“. Möglicherweise bezieht sich u. a. auch der kurze Hinweis von LUDWIG (1852: 51) auf sie: „schwache Säuerlinge, welche bei Lißberg (Nidda und Ortenberg) in der Nähe des Basaltes zu Tage kommen“. Sie sollen wenige Jahre später nach JOCHHEIM (1858: 132) jedoch bereits zugeworfen gewesen sein. Auch SCHOTTLER (1937: 13) erwähnt ohne genauere Ortsangabe eine „schwach thermale Quelle“ bei Lißberg.

Im unteren Teil des Niddatales ist die erhöht mineralisierte Quelle Q 77 mit 232 mg Cl⁻/l wegen ihrer geringen Entfernung von 350 m nordwestlich des Groß-Karben-er Ludwigbrunnens als Nebenaustritt dieser seit Jahrhunderten bekannten Quelle zu betrachten.

Der einzige Nachweis von Salinareinfluß außerhalb der tiefliegenden Talbereiche wurde mit 141 mg Cl⁻/l in vermutlich wenigen Zehner Metern Entfernung von der heute nicht mehr bestehenden Mineralquelle an der Harbmühle S Ober-Rosbach festgestellt. (Q 81; die ursprüngliche Mineralquelle setzte nach zwei in der Nähe niedergebrachten Bohrungen zur Süßwassererschließung aus.) Das Wasser tritt in unmeßbar geringer Menge diffus aus einem Sumpfbereich am Talanfang hervor.

Südlich Kloppenheim fällt eine Quelle (Q 91) ohne irgendwelchen salinaren Einfluß durch ihren hohen Gehalt an gelöstem Kohlendioxid (255 mg/l) auf. In Verbindung mit dem ca. 1,6 km benachbarten Okarbener Selzerbrunnen ist hier mit einem getrennten Aufstieg von Kohlendioxid zu rechnen. Im Sinne der Definition (QUENTIN 1969) ist auch dieses Wasser als Mineralwasser zu bezeichnen.

Bei allen genannten schwach erhöht mineralisierten Quellen läßt sich zusammenfassend sagen, daß sich (mit Ausnahme von Q 8 und Q 23) der Mineralwassereinfluß nur in den Chloridgehalten, nicht jedoch in den übrigen Bestandteilen auswirkt. Dies ist auf die Ionenverhältnisse der aus der Tiefe empordringenden Primärsole zurückzuführen, bei der, bezogen auf die Ionen des Natriums und des Chlorids, alle übrigen Bestandteile in relativ geringer Konzentration vorliegen. Bei der starken Verdünnung durch oberflächenbürtige Süßwässer (bei 100 mg Cl⁻/l besteht gegenüber der Bad Nauheimer Sole eine Verdünnung von ca. 1 : 195) werden die Verhältnisse der übrigen Bestandteile vollständig vom Süßwasser überprägt.

Insgesamt lassen sich in Anbetracht der relativ geringen Zahl und der niedrigen Konzentration der neu erkundeten salinar beeinflussten Quellen kaum über das bisher Bekannte hinausgehende Gesetzmäßigkeiten zu Verbreitung und Verhalten des Mineralwassers im Untergrund ableiten. Die weiteren Untersuchungen richteten sich daher auf das oberflächennahe Grundwasser der Talauen.

3.2.3. Oberflächennahes Grundwasser der Talauen mit neuem Vorkommen von Mineralwasser

Alle großen Täler der Wetterau sind mit mehrere Meter mächtigem, fast steinfreiem Hochflutlehm erfüllt. Grundwasser tritt stets zwischen 0 und 2 m Tiefe auf. Mit der oben beschriebenen Handbohrmethode (Abschn. 3.2.1.) lassen sich daher leicht Wasserproben des oberflächennahen Grundwassers entnehmen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden im Abstand bis zu maximal 250 m insgesamt mehr als 450 Handbohrungen mit Wasserprobenentnahme in den folgenden 3 Gebieten durchgeführt:

Im Wettertal zwischen Muschenheim und Ossenheim (rd. 26 km Tallänge),

im Horlofftal zwischen Trais-Horloff und der Horloffmündung in die Nidda (rd. 13 km Tallänge),

im Niddatal zwischen Ober-Mockstadt und Assenheim (rd. 11 km Tallänge).

Untersuchungen kürzerer Talstrecken wurden im Fauerbachtal unterhalb Fauerbach v. d. H. (rd. 2,5 km Tallänge), im Niddatal zwischen Ludwigsbrunnen und ehemaligem Wöllstädter Sauerbrunnen (ca. 1,3 km Tallänge) sowie im Niddertal zwischen Ortenberg und Selters (rd. 2,8 km Tallänge) durchgeführt.

An zahlreichen Stellen höherer Mineralwasserkonzentration wurde die seitliche Entwicklung des Grundwasservorkommens durch engerständig abgebohrte Querprofile ermittelt. Als Beispiel einer genaueren Grundwasser- und Mineralwasserkartierung wurde die rd. 900 m lange und rd. 200 m breite Fläche der Talaue zwischen Steinfurther Sauerbrunnen und Selzerbrunnen N Wisselsheim in 50 — 70 m großen Abständen flächenhaft untersucht (SCHARPFF 1970 a).

Die aus den Handbohrungen gewonnenen Werte stellen die Hauptunterlage für die nachstehend vom Oberlauf zum Unterlauf der Gewässer beschriebenen Grundwasserhältnisse dar (Abb. 3 — 14, Tab. 8, Taf. 1). Zusätzlich wurden Analysenergebnisse von Wässern der in diesem Bereich liegenden Wassergewinnungsanlagen, Brunnen- und Grundwasserbeobachtungsbohrungen verwandt.

3.2.3.1. Wettertal (vgl. Abb. 3 — 9, Taf. 1)

Das nördlichste bisher in der Wetterau festgestellte Mineralwasser wurde vom Verf. im Gemeindebezirk Trais-Münzenberg in Bg. 90 nachgewiesen. Es enthielt 763 mg Cl⁻/l und 644 mg HCO₃⁻/l bei 44,5° d Gesamthärte.

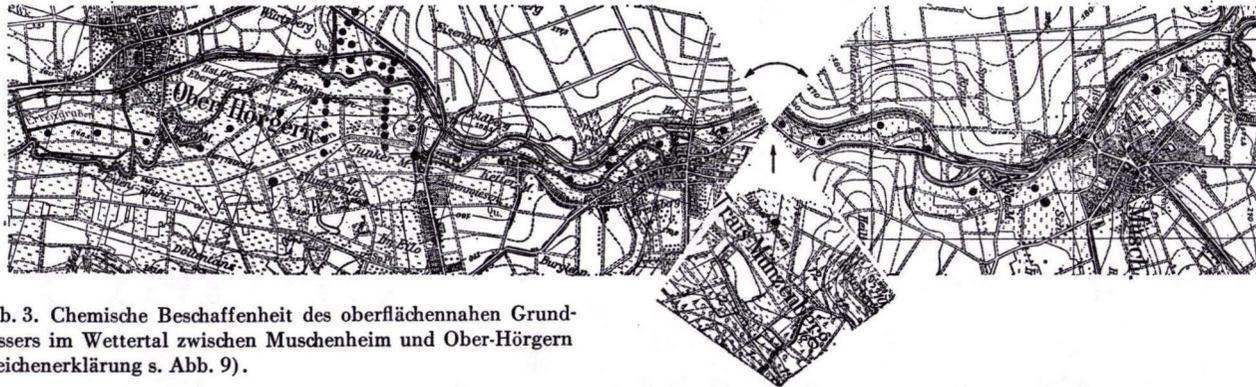
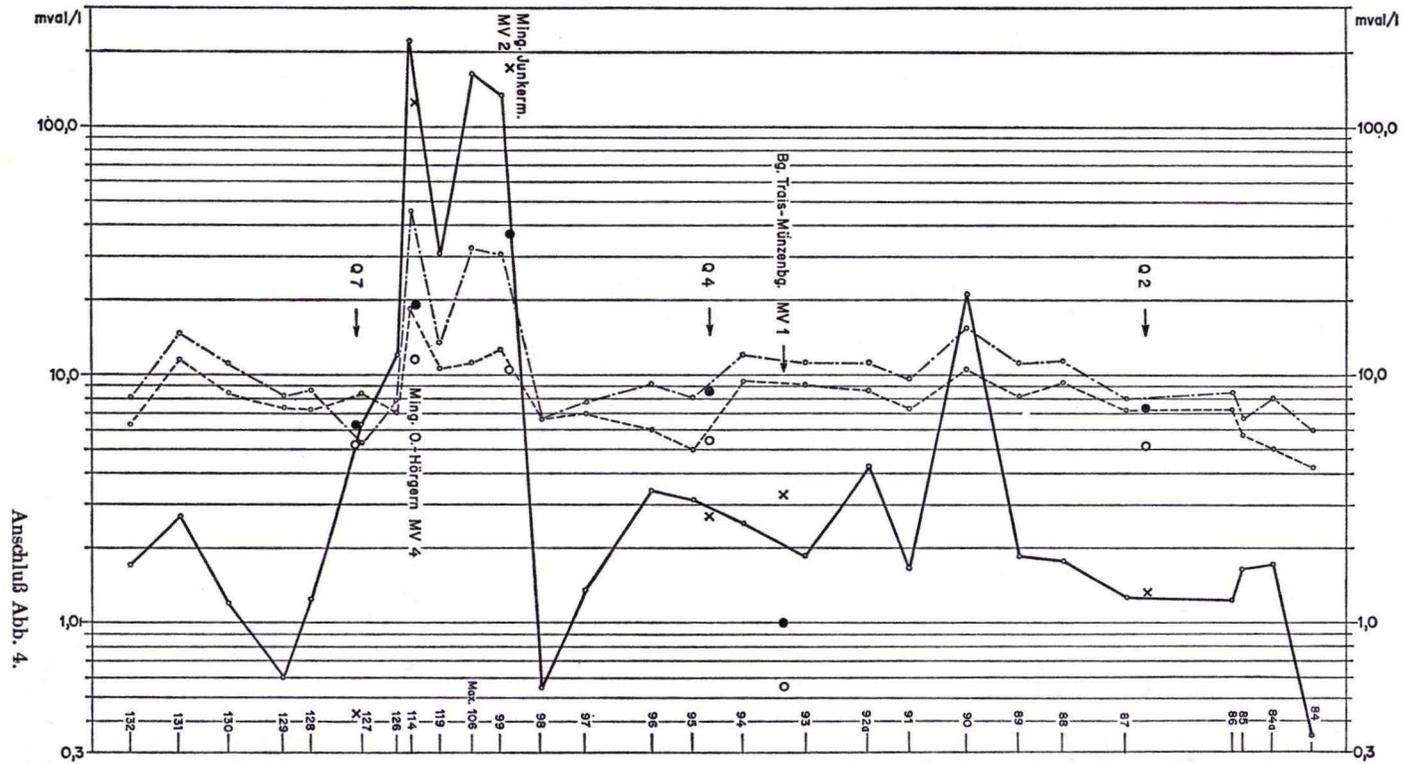


Abb. 3. Chemische Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers im Wettertal zwischen Muschenheim und Ober-Hörgerm (Zeichenerklärung s. Abb. 9).

Ca. 850 m südlich stieß im Jahre 1955 eine Brunnenbohrung (R 34 85 59, H 55 92 23) für die Gemeinde Trais-Münzenberg in 55 m Tiefe auf Mineralwasser mit 1180 mg Cl⁻/l und 79,2 mg/l gelöstem Kohlendioxid, wobei die Gesamthärte 28,7°, die Karbonathärte 16,0° d betrug. Am 28. 11. 1955 wurden im gleichen Bohrloch 840,0 mg Cl⁻/l, 13,9° dGH, 12,9° dKH und 132,0 mg/l gelöstes Kohlendioxid festgestellt. Auch die von diesem Punkt in ca. 250 m Entfernung im Jahre 1956 niedergebrachte 2. Brunnenbohrung wies in 28,5 m Tiefe mit 132 mg Cl⁻/l, 0,53 mg Fe²⁺/l, jedoch nur 32 mg/l gelöstem Kohlendioxid Mineralwassereinfluß auf. In Zusammenhang mit diesem Vorkommen steht möglicherweise der mit 156 mg/l etwas erhöhte Chloridgehalt in Bg. 92 a.

Die Bg. 99 — 127 zeigen, daß das Grundwasser der gesamten Talfläche zwischen Junkersmühle (Gemeindebezirk Münzenberg) und dem Würtzberg (Gemeindebezirk Eberstadt und Ober-Hörgern) bis ca. 600 m E Ober-Hörgern hohe Mineralgehalte aufweist, die mit 7824 mg Cl⁻/l (Bg. 114) und 6776 mg Cl⁻/l (Bg. 113) z. T. wesentlich den Mineralgehalt der nahegelegenen Mineralquelle übersteigt (vgl. Abschn. 3.2.2.). Das Gebiet ist wegen seiner vom Mineralwasser abhängigen Florengemeinschaft unter dem Namen Ober-Hörgern — Münzenberger Salzwiesen bekannt (FABER 1930; W. LUDWIG 1951, 1957, dort jeweils zahlreiche weitere Literaturangaben).

Das oberflächennahe Grundwasser im erzgebirgisch verlaufenden Talgrund zwischen Ober-Hörgern und Griedel ist nach Handbohrergebnissen frei von Mineralwassereinflüssen (Bg. 128 — 146, Abb. 3 u. 4).

In der Nähe des Talumbiegens in die eggische Richtung treten jedoch in 9 Bohrbrunnen bis zu 9 m Tiefe, die 1921 von der Stadt Butzbach am nördlichen Ortsrand von Griedel (Gelände zwischen Landstraße Griedel — Ober-Hörgern und Bahnlinie bei R 34 78 90, H 55 89 80) errichtet wurden, wieder erhöhte Mineralgehalte auf. Wegen geringer Ergiebigkeit dieser Anlagen wurde 1934 eine Versuchsbohrung von 40 m Tiefe niedergebracht, deren Wasser jedoch einen Trockenrückstand von 3 g/l bei 1,3 g Cl⁻/l aufwies. Das Bohrloch wurde daher verfüllt. Auch 2 weitere, 1947 wenige Meter südöstlich der Brunnenreihe gebohrte 13 — 15 m tiefe Brunnen (genaue Lage unbekannt) erbrachten Mineralwasser, das bis zu 644 mg Cl⁻/l bei ca. 1656 mg/l festen gelösten Bestandteilen (Tab. 5, MV 5) enthielt. Sie wurden deshalb verfüllt. Die gesamte Wassergewinnungsanlage wurde im Jahre 1961 stillgelegt.

Auf der SE-Talseite liegen ca. 700 m nordöstlich des Ortes Griedel ein im Jahre 1928 abgeteufter 14 m tiefer Bohrbrunnen (R 34 79 54, H 55 90 22) und ein 1947 niedergebrachter 18,5 m tiefer Bohrbrunnen (R 34 79 45, H 55 90 24), von denen seit 1962 nur noch der erste (Brunnen 1) zur Wasserversorgung der Gemeinde Griedel herangezogen wird. Aus der in Tab. 3 aufgeführten Analysenauswahl ist eine zumindest zeitweilige starke Beeinflussung des Brunnens durch chloridreiches Grundwasser erkennbar. Die starke Schwankungsbreite der Chloridwerte wird durch wechselnde Beanspruchung des Grundwasserleiters bei unterschiedlicher Grundwasserentnahme und damit verbundener Hebung oder Senkung der Süßwasser/Salzwassergrenze verursacht. Die gegenüber den Chloridwerten umgekehrt proportionalen Härteveränderungen weisen auf einen geringfügig niedrigeren Härtebildner-Gehalt des Salzwassers gegenüber dem Süßwasser hin.

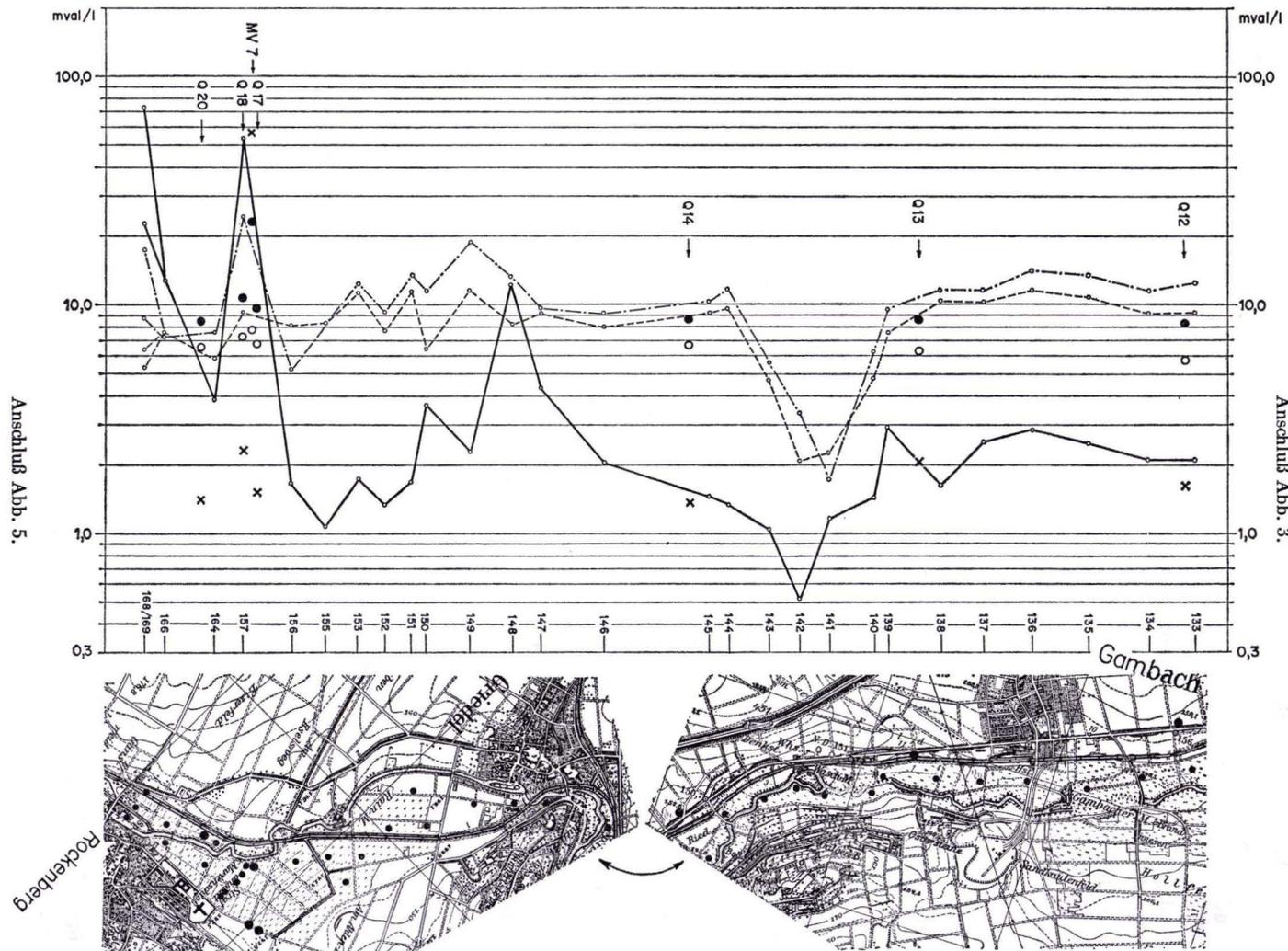


Abb. 4. Wettertal zwischen Ober-Hörgern und Rockenberg (Zeichenerklärung s. Abb. 9).

Tab. 3. Zeitliche Änderung der chemischen Wasserbeschaffenheit im Brunnen I bei Griedel

Datum	Cl ⁻ mg/l	GH °d	KH °d	CO ₂ mg/l
14. 5. 57	741	22,8	15,1	51,7
25. 5. 58	104	22,9	16,2	67,1
23. 3. 60	451	—	13,7	(24,2) (belüftet)
17. 4. 64	92	21,3	16,6	45
8. 11. 66	236	17,7	15,4	56,1
27. 7. 67	231	—	15,1	(50) (belüftet)

Erhöhte Mineralgehalte erscheinen in Flachbohrungen E Griedel in Bg. 147 (155 mg Cl⁻/l), Bg. 148 (431 mg Cl⁻/l) und Bg. 150 (128 mg Cl⁻/l).

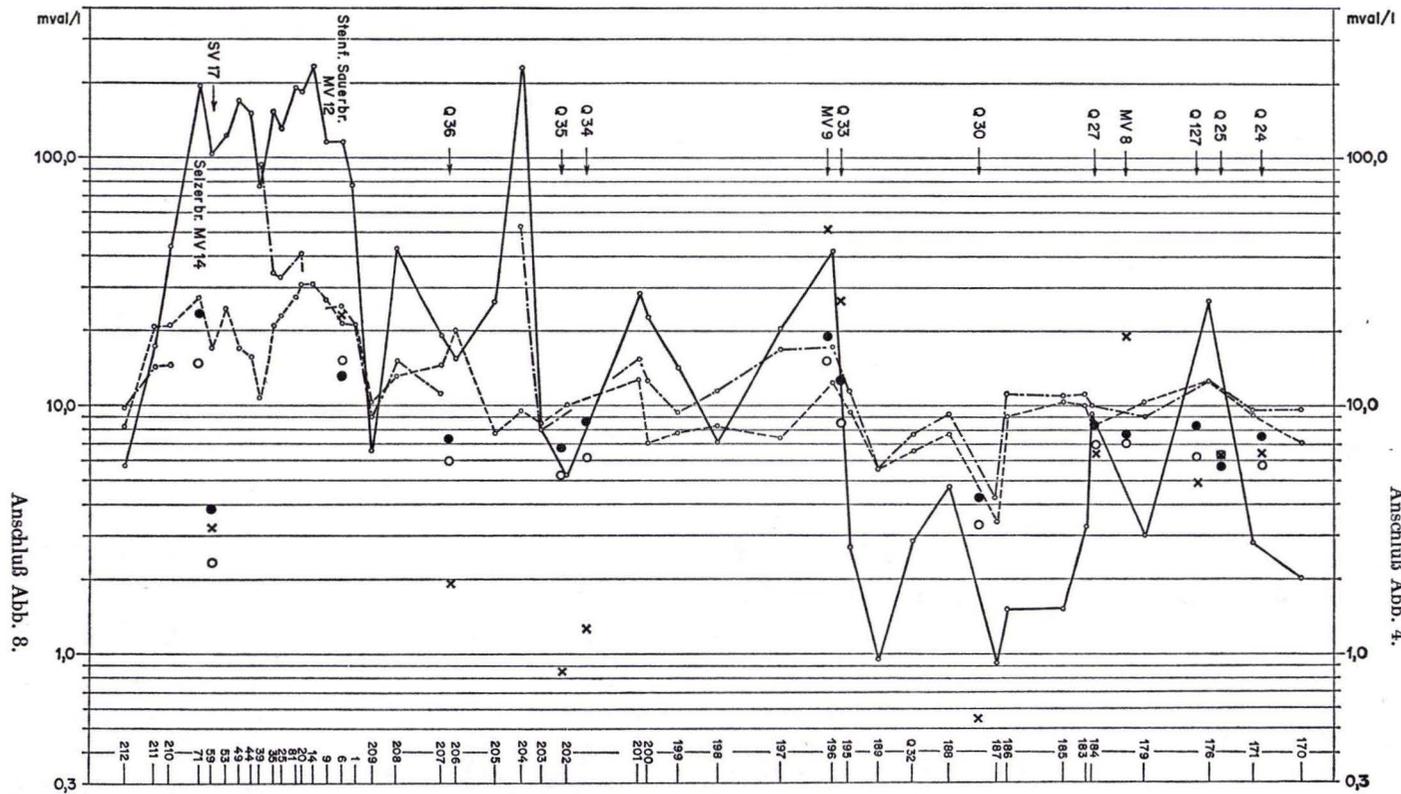
In SE-Richtung tritt Mineralwasser erst wieder ca. 300 m westlich der Strafanstalt im Gemeindebezirk R o c k e n b e r g auf. Hier jedoch in besonderer Intensität in Bg. 158 (3996 mg Cl⁻/l). In einem quer zur Talrichtung gelegten Profil (Bg. 157 — 162) konnte das Abnehmen der Versalzung in W- und E-Richtung nachgewiesen werden. Bei Bg. 157 — 159 fallen die hohen Härtegrade, insbesondere die Nichtkarbonathärte, auf. Aus der Vollanalyse des Grundwassers, das zwischen Bg. 157 und 158 entnommen wurde (Tab. 5, MV 7), geht hervor, daß diese Nichtkarbonathärte von einem hohen chloridäquivalenten Erdalkali-Anteil herrührt, das Wasser also (Ca, Mg)Cl₂ aufweist. Dieser Anteil ist relativ höher als z. B. bei den Bad Nauheimer Sprudeln, weshalb hier entweder eine (Ca, Mg)Cl₂-reichere Primärsole oder aber Ionenaustausch im Sinne eines Regenerationswassers (ØDUM & CHRISTENSEN 1936) angenommen werden muß. Da sich jedoch in näherer Umgebung in zahlreichen Bohrungen Ionenaustauschvorgänge nachweisen lassen (so in Bg. 156, deren Wasser 2,98 mval Alkali-Hydrogenkarbonat, entsprechend 250 mg Natriumhydrogenkarbonat/l, aufweist; vgl. Abschn. 4), ist letztgenannte Möglichkeit zumindest wahrscheinlich.

Weiter südlich sind die Mineralgehalte in Bg. 164 und 166 geringer, wenn auch noch eindeutig von Salzwasser beeinflusst.

Auf der rechten Seite der Wetter lassen sich in Bg. 168 und 169 mit 794 mg Cl⁻/l und 2654 mg Cl⁻/l wieder höhere Mineralgehalte nachweisen als in der auf der linken Seite der Wetter austretenden bekannten Rockenberger Mineralquelle (vgl. Abschn. 3.2.2.).

Im Jahre 1952 traten in einer ca. 350 m ostnordöstlich der Klappermühle bei R 34 81 96, H 55 88 14 niedergebrachten Tiefbohrung in 50 m Tiefe 800 mg Cl⁻/l bei 39,2° dGH und 19,6° dKH sowie 154 mg/l gelöstes Kohlendioxid auf.

Südlich Rockenberg liegt zwischen den am Talrand entspringenden Quellen Q 24, Q 25 und Q 127 mit schwach erhöhter Salinität (vgl. Abschn. 3.2.2.) in der Talaue eine erhebliche Grundwasserversalzung vor (Abb. 5). Sie erreicht ihr Maximum in der Talmitte bei Bg. 174 (1022 mg Cl⁻/l) und nimmt sowohl in Richtung Talrand (Querprofil Bg. 172 — 178) als auch in beiden Richtungen der Talachse ab. Die Gesamthärte ist hier fast ausschließlich durch Karbonathärte vertreten.



Anschluß Abb. 4.

Anschluß Abb. 8.

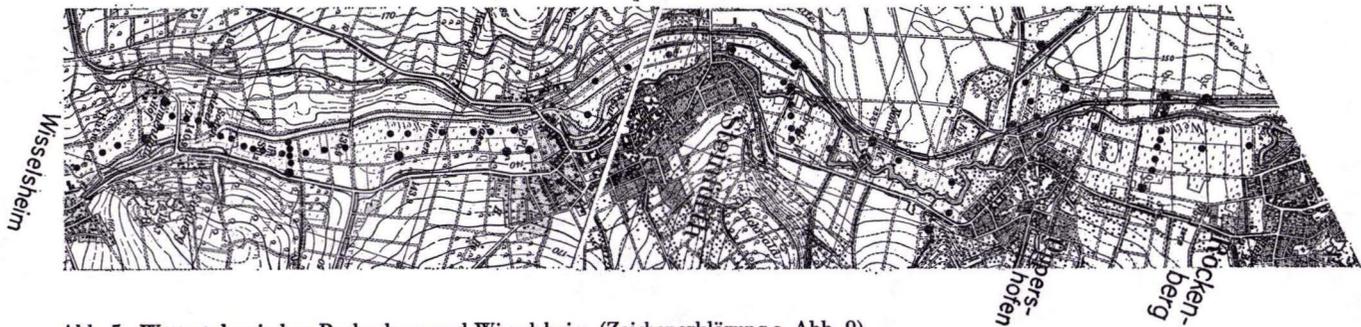


Abb. 5. Wettertal zwischen Rockenberg und Wisselshheim (Zeichenerklärung s. Abb. 9).

Im Gemeindebezirk **Oppershofen** stieß 1958 eine Versuchsbohrung (R 34 81 10, H 55 86 89) zur Erschließung von Süßwasser ca. 350 m westlich des Ortes in ca 15 m Tiefe auf Mineralwasser mit 672 mg Cl⁻/l, 21,1° dGH, 20,7° dKH bei 60,5 mg/l gelöstem Kohlendioxid. Im oberflächennahen Grundwasser konnte eine leichte Mineralisationserhöhung in Bg. 179 (108 mg Cl⁻/l) sowie in der von den Bg. 180 und 182 — 184 umschlossenen Fläche (maximal 335 mg Cl⁻/l) nachgewiesen werden. Auch die etwas weiter entfernt, in der Mündung eines Seitentälchens gelegene leicht mineralisierte Quelle Q 27 (s. Abschn. 3.2.2.) dürfte hiermit im Zusammenhang stehen.

Südlich Oppershofen ist in Bg. 188 Mineralwassereinfluß (168 mg Cl⁻/l) nur schwach feststellbar.

An der Gemeindegrenze **Steinfurth** beginnt eine erhebliche Versalzung des oberflächennahen Talgrundwassers, welche sich in geschlossener Fläche über ca. 4 km Tal-länge bis an den N-Rand von **Wisselsheim** erstreckt. Die Höchstgehalte (Bg. 204 und Bg. 14) betragen z. T. das 1,6fache der bisher im Wettertal bekanntgewordenen Höchstkonzentration (SCHARFF 1970 a). Der südlichste Teil dieses Gebietes umfaßt die „Wisselsheimer Salzwiesen“, deren salzhaltiges Grundwasser seit langem durch den Selzerbrunnen und den Steinfurth Sauerbrunnen (Tab. 5, MV 12, MV 14) bekannt war. Dort wurde über Jahrhunderte aus Quelfassungen und Schachtbrunnen Mineralwasser für die Salzproduktion entnommen. Die flächenhafte Ausdehnung des Vorkommens wurde durch das Auftreten vieler seltener Halophyten-Gattungen bekannt, was sich in umfangreicher Literatur (zuletzt u. a. durch OSSWALD 1926; FABER 1930; BÜCKNER 1943, 1954; W. LUDWIG 1951, 1957, mit zahlreichen Literaturangaben) niederschlug. Alle Arbeiten behandeln fast ausschließlich die Floren auf der W-Seite der Wetter. Auch auf der linken Seite der Wetter sind jedoch bis nach Steinfurth hin zahlreiche Halophytenstandorte festzustellen.

Die geschlossen mineralwasserhaltige Fläche beginnt N Steinfurth auf der rechten Seite der Wetter mit einem stark sumpfigen Gebiet von ca. 300 x 100 m Ausdehnung, an dessen W-Rand am Hangfuß eine bisher unbekannte Mineralquelle mit 989 mg Cl⁻/l und 524 mg HCO₃⁻/l (24,1° dKH) bei 77 mg/l gelöstem Kohlendioxid entspringt (Tab. 7, Q 33). Der Hauptgrundwasseraustritt vollzieht sich jedoch flächenhaft im Sumpfbereich selbst. Dies geht aus einer Abflußmessung vom 28. 7. 1969 hervor. Dabei wurden in dem die gesamte Fläche entwässernden Graben (bei R 34 81 44, H 55 85 18) bei einem Abfluß von 3,0 l/s 270 mg Cl⁻/l und 575 mg HCO₃⁻/l und damit eine Chloridfracht von 810 mg/s und vermutlich rund 3 g Gesamtlösungsfracht pro Sekunde festgestellt. Der größte Teil des Gebietes steht während des ganzen Jahres unter flacher Bedeckung von Mineralwasser, das durch Niederschlagswasser verdünnt wird. An zahlreichen Stellen, insbesondere im Graben, lassen sich durch Zonen besonders intensiver Eisenhydroxid-Fällung Punkte beobachten, an denen vermutlich Mineralwasser aus dem Untergrund empordringt. Die chemische Beschaffenheit geht aus einer im Juli 1968 durchgeführten Vollanalyse eines dicht neben Bg. 196 gewonnenen Grundwassers hervor (Tab. 5, MV 9). Es weist 4102 mg/l feste gelöste Bestandteile bei 1801 mg Cl⁻/l und 916 mg HCO₃⁻/l auf. Auch hier wird ein Teil der Ca/Mg-Valenz durch Chlorid aus-

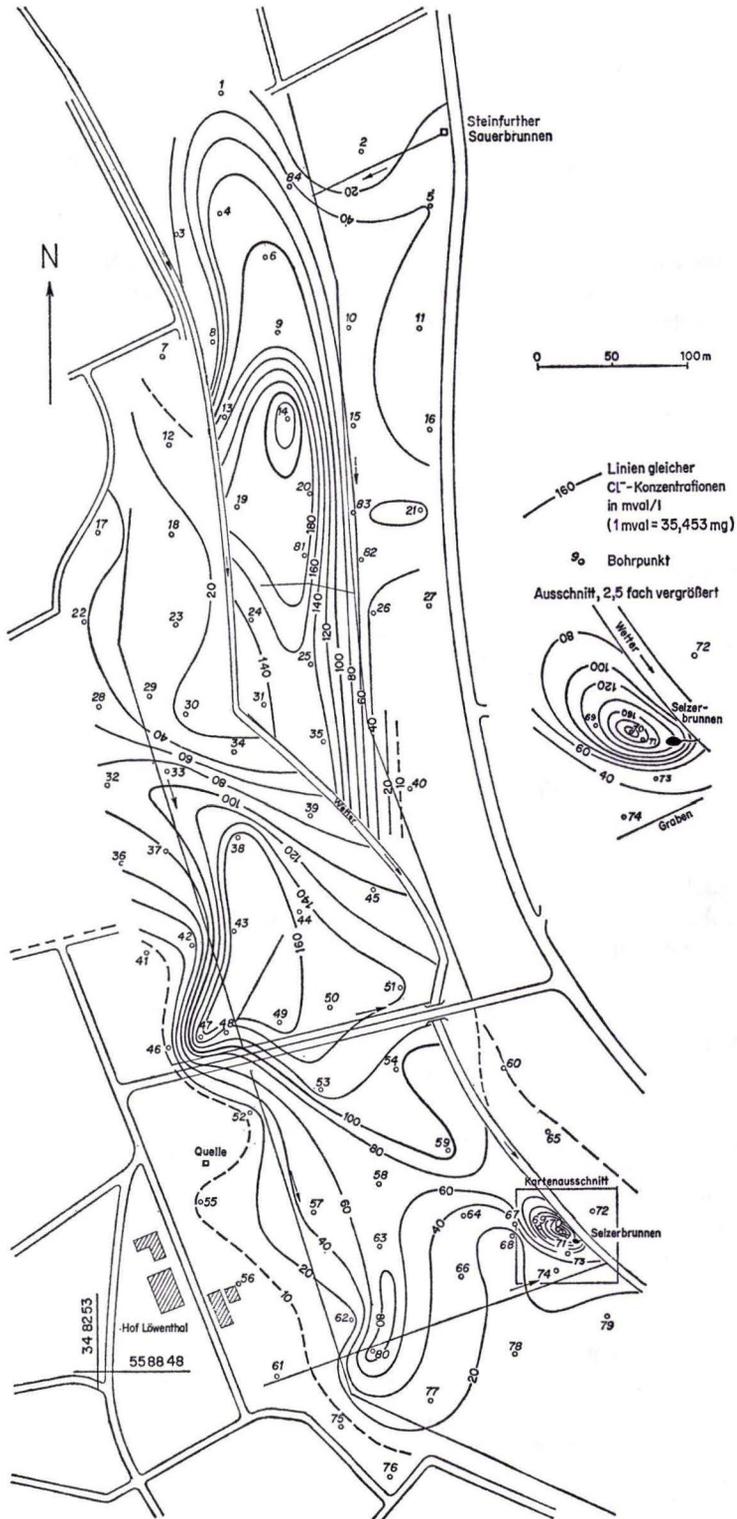


Abb. 6. Verteilung der Chlorid-Ionenkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser im Wettertal zwischen Wisselsheim und Steinfurth.

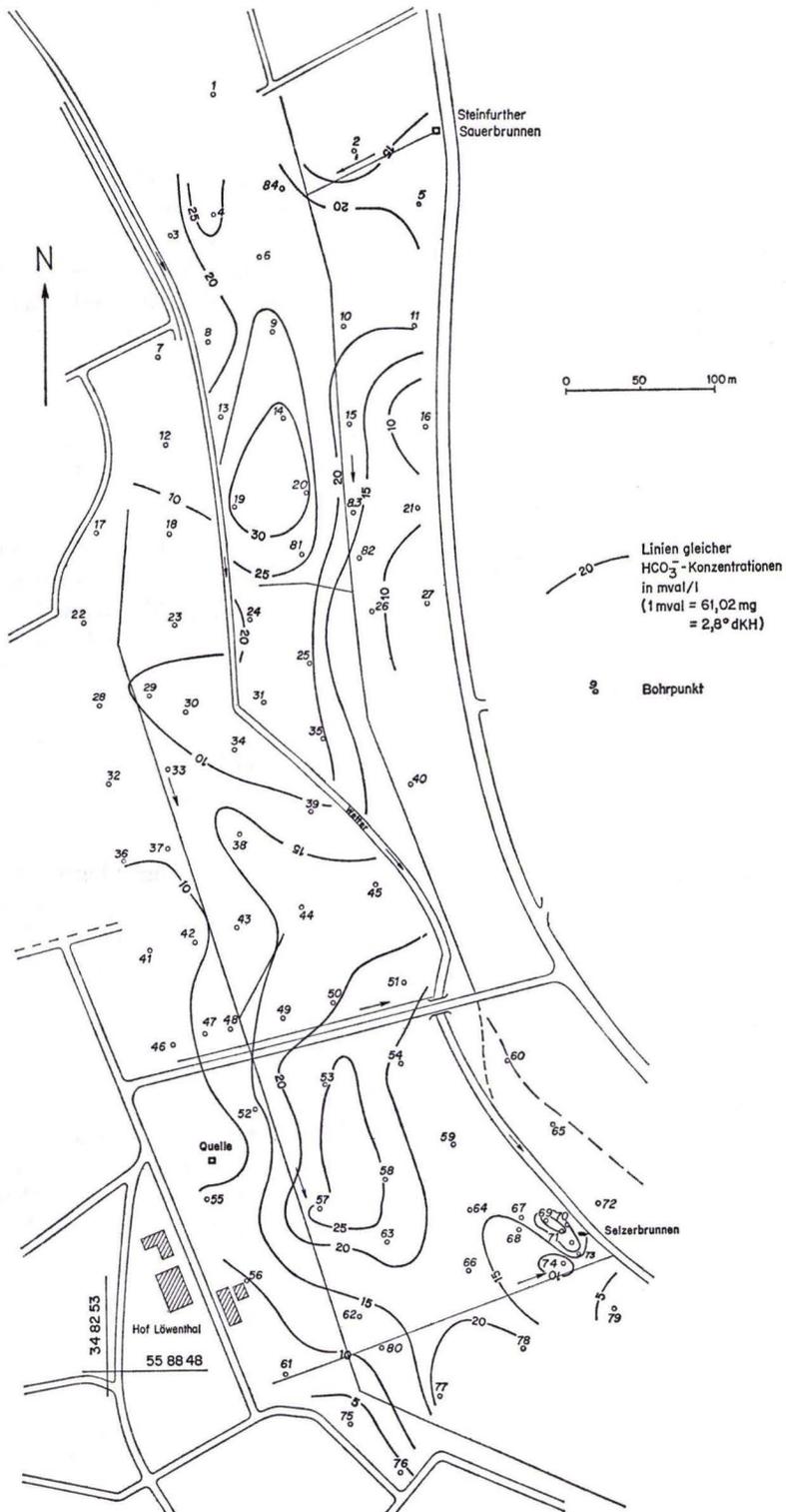


Abb. 7. Verteilung der Hydrogenkarbonat-Ionenkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser im Wettetal zwischen Wisselsheim und Steinfurth.

geglichen (3,49 mval/l; vgl. Bg. 157a). Von den südlich anschließenden Bohrungen fällt Bg. 201, die durch eine später daneben durchgeführte und genauer untersuchte Bohrung ergänzt wurde (Tab. 5, MV 10), wegen ihres ungewöhnlichen Kaliumgehaltes auf. In Bg. 204, ca. 350 m südsüdöstlich des S-Ortsrandes von Steinfurth, wurde mit 8274 mg/l der höchste Chloridgehalt des Wettertales und mit 125,6° d der höchste bisher in der Wetterau festgestellte Nichtkarbonathärtewert ermittelt. Eine Vollanalyse des Wassers liegt nicht vor. Doch ist zu vermuten, daß analog den übrigen Analysen des Wettertales der Sulfatgehalt gering ist und daher mindestens 120 mval/l der Nichtkarbonathärte als Calcium/Magnesium ausgleichende Chlorid-Valenzen vorliegen. D. h., daß in diesem Wasser vermutlich ca. 6600 mg (Ca, Mg) Cl₂ gelöst sind.

Die Mineralwasserzone im Talabschnitt zwischen Bg. 202 und 207 scheint sehr schmal zu sein, da die nur 100 m östlich gelegenen Quellen Q 34, 35 und 36 (s. Tab. 7) keinerlei Mineralwassereinfluß zeigen.

Der südlich anschließende Talbereich zwischen „Steinfurth Sauerbrunnen“ und „Selzerbrunnen“ (Tab. 5, MV 12, 14) wurde in geringen Abständen abgebohrt. Die jeweils ermittelten Chlorid- und Hydrogenkarbonatwerte sind in Abb. 6 und 7 in Linien gleicher Konzentration dargestellt. Der gesamte Talgrund ist hiernach von Mineralwasser erfüllt, welches im Maximum mit 230,5 mval/l (= 8172 mg/l, Tab. 8, Bg. 14) Chlorid die 9,6fache Konzentration des Steinfurth Sauerbrunnens und die 1,6fache des Selzerbrunnens aufweist. Die Bikarbonatgehalte steigen bis zu 31,66 mval/l (1931 mg/l = 88,7° dKH) an, wobei nicht in allen Bereichen direkte Proportionalität zu den Chloridgehalten besteht. Die Maxima beider Ionen liegen z. T. an verschiedenen Stellen.

In beiden Darstellungen wird deutlich, wie das von den Talhängen her eindringende Süßwasser das Mineralwasser an den Rändern verdünnt und Wasser mit hohen Mineralgehalten nur in der Talmitte auftreten läßt. Nur an der W-Seite des Tales, nördlich des Fahrweges zum Hof Löwenthal, dürfte der Zutritt von konzentriertem Mineralwasser den des Hangwassers übertreffen.

In 8 und 10 m Entfernung vom Selzerbrunnen wurden in 1 m Tiefe Chloridgehalte von 199 mval/l (7043 mg/l) und 202 mval/l (7172 mg/l) und damit Werte, die das 1,4fache des Wertes im Wasser der Quelle selbst betragen, festgestellt. Hiernach finden im Quellbereich auf engstem Raume sehr unterschiedliche Vorgänge statt. Die Quelle liefert ein Mischwasser eines in nächster Nähe aufdringenden Mineralwassers mit einem Süßwasser, das möglicherweise aus dem naheliegenden Bach oder aus größerer Entfernung vom östlich gelegenen Hang des Eichberges stammt. Außerdem finden örtlich Ionenaustauschvorgänge statt (s. Abschn. 4).

Südlich des Selzerbrunnens klingt in der Hutweide die Versalzung des Grundwassers verhältnismäßig schnell bis auf 6 mval/l (208 mg/l) ab und kann unterhalb Wisselshaus nicht mehr nachgewiesen werden (Abb. 8). Erst bei der nördlichen Wetterbrücke von Rödgen macht sich erneut der Einfluß von Mineralwasser (Tab. 5, MV 15) mit 483 mg Cl⁻/l und 1866 mg/l festen gelösten Bestandteilen bemerkbar. Ein als Quelle austretendes Mineralwasser, wie es von WILLE (1828: 138), LUDWIG (1852: 49) und JOCHHEIM (1858: 119) beschrieben wird, ist heute an dieser Stelle nicht mehr bekannt.

Im Gemeindebezirk Schwalheim treten leicht erhöhte Mineralgehalte im Wettertal zwischen P. 132,1 (Bg. 225) und ca. 300 m südlich des Schwalheimer Sauerbrunnens auf. Die Chloridgehalte steigen jedoch nur bis 5,70 mval/l (197 mg/l; 50 m nordnordöstlich des Fußgängersteiges nördlich der Ortschaft), die Hydrogenkarbonate dagegen bis 12,84 mval/l (783 mg/l; Bg. 231) im SW der Ortschaft an. In dem zuletzt genannten Wasser liegen 9,52 mval/l Alkalihydrogenkarbonat vor (bei Berechnung als NaHCO_3 800 mg/l). Auf Anzeichen von Mineralwasser beim Ausgraben der Radstube des nahegelegenen Kunstrades Nr. 7 am rechten Wetterufer wies bereits WILLE (1828: 143) hin.

Ein Einfluß des Mineralwassers läßt sich wetterabwärts der Schwalheim-Dorheimer Mineralquellen mit Ausnahme des bei Ossenheim (s. Abschn. 4) erbohrten Mineralwassers nicht mehr nachweisen (Abb. 9).

3.2.3.2. Fauerbach- und Usatal (Taf. 1)

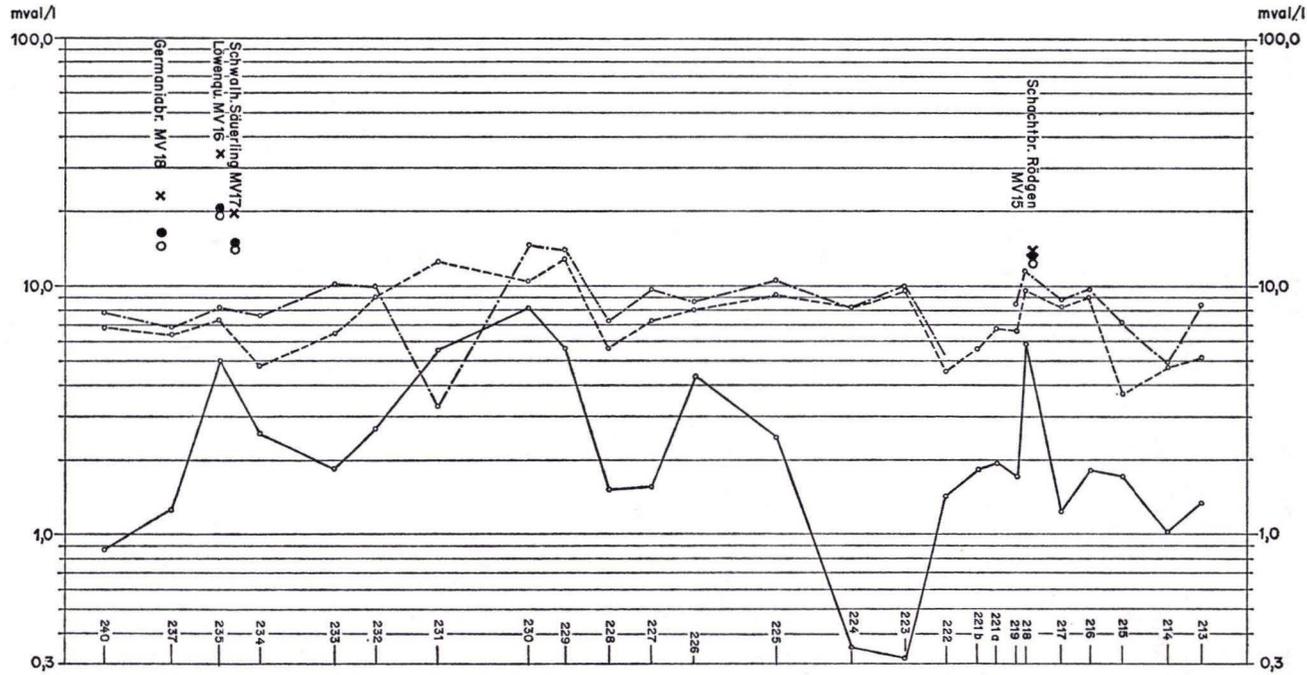
Im Tal des Fauerbaches tritt Mineralwasser möglicherweise bereits W Fauerbach bei Münster auf, da nach KLIPSTEIN (1790: 75) ein Apotheker 1776 beim Graben Salzwasser angetroffen haben soll. Mittels Handbohrungen wurde vom Verf. der Talgrund unterhalb der seit langem bekannten Fauerbacher Mineralquelle auf 2,5 km Länge untersucht (Bg. 253 — 268). Eine Beteiligung von Mineralwasser an der Grundwasserbildung konnte aufgrund schwacher (bis 204 mg/l), jedoch über 1,6 km Länge zwischen Bg. 258 und Bg. 267 nachgewiesener Chloriderhöhung bei verhältnismäßig niedriger übriger Mineralisierung (bis 22,5° dGH) festgestellt werden.

In einem Großteil der Ortslage Nieder-Mörlen dürfte ebenfalls eine erhebliche Versalzung des Grundwassers vorliegen. Am Ende des letzten Jahrhunderts wurde bei einer 8 m tiefen Brunnengrabung im Keller des heutigen Hauses Hauptstraße 31 (R 34 80 11, H 55 82 83) Mineralwasser angetroffen (LEPSIUS 1900: 30; die Örtlichkeit wurde vom Hausbesitzer im Jahre 1968 näher angegeben). Noch 1940 berichtete KÖBRICH (1939/40: 351) über 2 hier vorhandene Brunnen, deren Wasser 400 mg/l Salzgehalt aufwies. Die Brunnen sind heute verfüllt. Im Grundwasserunterstrom dieser Stelle liegt vermutlich auch der Brunnen eines Nieder-Mörlener Hauses nahe der Usa (R 34 80 14, H 55 82 66), dessen Wasser nach einer Untersuchung des Verf. vom 5. 4. 1969 einen Chloridgehalt von 619 mg/l bei einer Gesamthärte von 14,3° d aufweist.

An der südöstlichen Gemarkungsgrenze von Nieder-Mörlen macht sich der Einfluß des Mineralwassers bei den zur Süßwasser-Erschließung errichteten Bohrbrunnen der Stadt Bad Nauheim im „Säckelgraben“ in einem von der Grundwasser-Entnahmemenge abhängigen Chloridgehalt bemerkbar. Der Chloridgehalt nimmt mit wachsender Förderung zu. Es wurden Werte bis zu 294 mg Cl/l bei 24,3° dGH (Brunnen 10 am 11. 1. 1961; Lage: R 34 81 72, H 55 82 52) festgestellt.

Im Stadtgebiet von Bad Nauheim (Tab. 5, MV 23 — 32) weist das oberflächennahe Grundwasser im Bereich der Usatalaue auch in größerer Entfernung von den zu

Anschluß Abb. 5.



Anschluß Abb. 9.



Abb. 8. Wettertal zwischen Wisselsheim und Dorheim (Zeichenerklärung s. Abb. 9).

Anschluß Abb. 8.

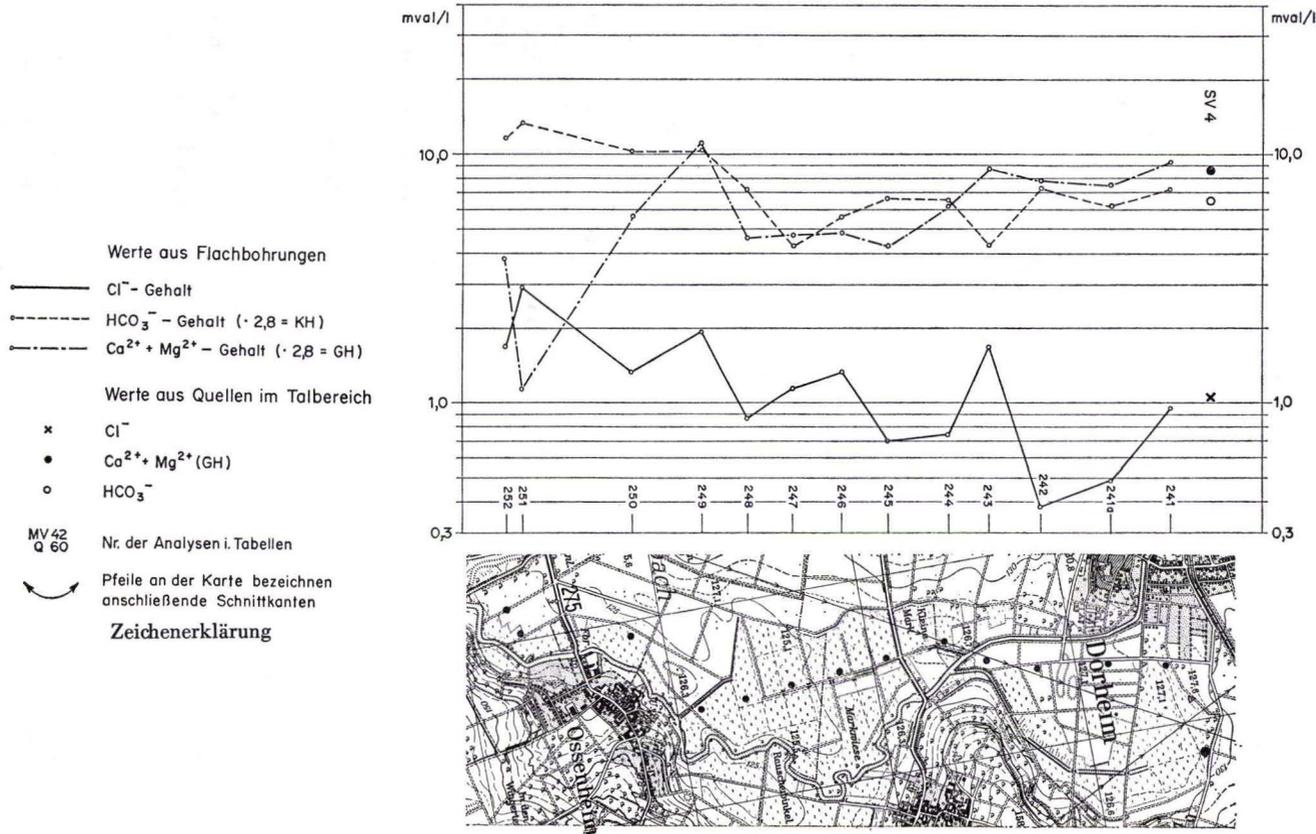


Abb. 9. Wettetal zwischen Dorheim und Ossenheim.

Kurzwecken genutzten Mineralquellen fast überall hohe Mineralisation auf. Wie bei den Mineralwasserbrunnen und -quellen wird sein Verhalten mittels zahlreicher Grundwasserbeobachtungsbrunnen durch die Chemische Abteilung der Klinik und des Instituts für Physikalische Medizin und Balneologie der Universität Gießen in Bad Nauheim überwacht.

Ca. 400 m südsüdöstlich des Güterbahnhofes wurde im Jahre 1969 auf der Wasserscheide (R 34 82 47, H 55 80 36) in mehreren Baugrunduntersuchungsbohrungen Mineralwasser erschlossen, das in einer 15 m tiefen Bohrung einen maximalen Chloridgehalt von 6 180 mg/l bei 11 024 mg/l festen gelösten Stoffen zeigte (Tab. 5, MV 27).

Südlich Bad Nauheim wurde im Gebiet des Usatales an 3 Punkten Mineralwasser bekannt:

Bei einer Brunnenbohrung an der Bundesstraße 3 N Friedberg ein Mineralwasser mit 332 mg Cl⁻/l und 1983 mg/l festen gelösten Bestandteilen (Tab. 5, MV 33); bei einer Tiefbohrung der Wetterauer Zuckerfabrik in Friedberg in 150 m Tiefe ein mit 753,5 mg Cl⁻/l und 963,8 mg/l Hydrogenkarbonat stark mineralisiertes Grundwasser (Tab. 5, MV 35); in einer 3 m tiefen Handbohrung im Wettertal W Ossenheim ein Mineralwasser geringen Chlorid- (71,0 mg/l), jedoch sehr hohen Hydrogenkarbonatgehaltes (772,9 mg/l; Tab. 5, MV 21; auch Tab. 8, Bg. 251).

Die 3 letztgenannten Wässer sind wegen ihres von Ionenaustauschvorgängen geprägten Chemismus von Interesse (vgl. Abschn. 4).

Der Pfaffenborn NW Friedberg (R 34 81 20, H 55 78 90) wird bei einigen älteren Autoren wegen seines hohen Eisengehaltes in der Reihe der Mineralquellen bzw. Sauerlinge genannt (WILLE 1828: 120; R. LUDWIG 1852: 47, 1855 d: 70, 1858: 114; TASCHÉ 1853 a: 73). Bei SCHÖNHALS (1936) ist er auf der Karte als Mineralquelle eingetragen. Er bildet heute ein meist abflußloses Sumpfgelände. Die im Riedgraben 600 m unterhalb ausfließende und vermutlich den gesamten flachen Talkessel entwässernde Drän-Quelle weist mit 54 mg/l Chlorid, 350 mg/l Hydrogenkarbonat und nicht nachweisbarem Eisengehalt nicht auf Mineralwasser hin.

3.2.3.3. Horlofftal (Abb. 10 — 12, Taf. 1)

Im Horloff-Tal wurde das nördlichste Mineralwasservorkommen in den Braunkohle-Tagebauen der Preußischen Elektrizitäts AG (früher „Gewerkschaft Friedrich“) festgestellt. Nach SCHOTTLER (1919: 71, 1921: 81) sowie Unterlagen des Staatsbades Bad Nauheim, des Institutes für physikalische Medizin und Balneologie der Justus-Liebig-Universität Gießen in Bad Nauheim sowie der Preußischen Elektrizitäts AG, Abt. Wölfersheim (z. T. von DENGLER 1965 in einem unveröffentlichten Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zusammengestellt), wurden zur Zeit der ersten Betriebsperiode des ca. 500 m nordwestlich des Ortskernes Trais-Horloff gelegenen Braunkohlentagebaues am Ende des 2. Jahrzehnts dieses Jahrhunderts starke

Thermalquellen mit hohem Salzgehalt und viel Kohlensäure angefahren (Mittelpunkt des Abbaues bei ca. R 34 92 99, H 55 90 43; genaue Lage der Quellen unbekannt). Nach POPP (Analyse Tab. 5, MV 43; wiedergegeben in SCHOTTLER 1921: 21) wiesen sie 8168 mg/l feste gelöste Bestandteile auf. Die Ionenbilanz dieser Analyse weist jedoch so große Differenzen zwischen Kationen- und Anionensumme auf, daß der Charakter des Mineralwassers vermutlich zuverlässiger aus der Analyse eines Wassers zu ersehen ist, das aus einer im Jahre 1917 niedergebrachten Bohrung entnommen wurde (Tab. 5, MV 42, genaue Lage der Bohrung unbekannt; Analyse aus einem unveröffentlichten Gutachten von SALOMON CALVI 1929). Hierbei wurde Mineralwasser mit 8098 mg/l festen gelösten Bestandteilen festgestellt. Während einer zweiten Abbauperiode des Tagebaues (1927 — 1930) wurden zu Beginn des Jahres 1929 auf dessen Sohle ebenfalls zwei kohlenstoffreiche Salzquellen angefahren (Tab. 4).

Tab. 4. Analysen der Mineralquellen im Tagebau Trais-Horloff

	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂ gel.	Abdampf- rückstand	gelöste Bestandteile	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	fest mg/l	gesamt mg/l
Quelle 1	1500	3447	1327	6728	8451	9778
Quelle 2	2000	3233	1510	5667	7283	8793

(Tag der Probenahme 2. 12. 1929)

Nach der zweiten Abbauperiode des Tagebaues 1 füllte sich dieser mit Wasser. Die Quellen machten sich erst wieder durch aufsteigende Kohlendioxid-Gasblasen bemerkbar, als 1937 wegen des nordöstlich benachbarten Tagebaues 2 in Tagebau 1 die Wasseroberfläche abgesenkt wurde. Nach vollständiger Leerung des Sees war nur noch Quelle 2 vorhanden. Durch starken Schlammauswurf wurde ihr Austritt mehrfach verlagert. In den folgenden 2 Jahren wurde der Tagebau und mit ihm die Mineralquelle zugeschüttet.

Beim Vergleich der vorliegenden Analysen der Quellen 1 und 2 mit der Analyse POPPs fällt die starke Verschiebung der Ionenverhältnisse zugunsten des Hydrogenkarbonats bei ungefähr gleichbleibendem Gesamtlösungsinhalt auf. In Anbetracht der hohen Differenz in der Ionenbilanz der POPPschen Analyse (die auch eine Berechnung der Millivalprozent-Werte zweifelhaft erscheinen läßt) ist ein Berechnungsfehler, vermutlich beim Hydrogenkarbonat-Ion, wahrscheinlich. Berechnet man die fehlenden 27,22 mval Anionen als Hydrogenkarbonat, so ergibt sich mit einem Chlorid/Hydrogenkarbonat-Verhältnis von 1,6 eine Annäherung an das entsprechende Verhältnis bei Quelle 1 und 2 (0,8 und 1,1). Die Summe der festen gelösten Bestandteile müßte dann mit 9829 mg/l angenommen werden.

Im Bereich der Talaue N Trais-Horloff sind die hydrogeologischen Verhältnisse durch zahlreiche Bohrungen des „Zweckverbandes Oberhessischer Versorgungsbetriebe“ (ZOV), jetzt: „Oberhessische Versorgungsbetriebe AG“ (OVAG), hinreichend bekannt. Hier werden im Wasserwerk In h e i d e n großen Mengen süßen Grundwassers entnommen, das keinerlei Einflüsse von Mineralwasser bei seiner Entstehung erkennen läßt, obwohl die relativ hohe Wassertemperatur (12° C) eine Herkunft aus größerer Tiefe andeutet (SCHOTTLER 1912: 34).

Wegen der zahlreichen schon früher bekannten Mineralwasseraustritte wurden S Trais-Horloff bis ca. 500 m S Grund-Schalweim zur Untersuchung oberflächennahen Grundwassers in je einem westlich und östlich der Horloff gelegenen N-S-Profil Handbohrungen vorgenommen (Abb. 10, 11).

Im westlichen Profil konnten in der Nähe des Trais-Horloffler Mineralbrunnens (Tab. 5, MV 40, 41) keine erhöhten Salzgehalte festgestellt werden (Bz. 270, 271, 271 a). Dagegen tritt in einem wenig östlich gelegenen Grabenanfang mit kaum meß-

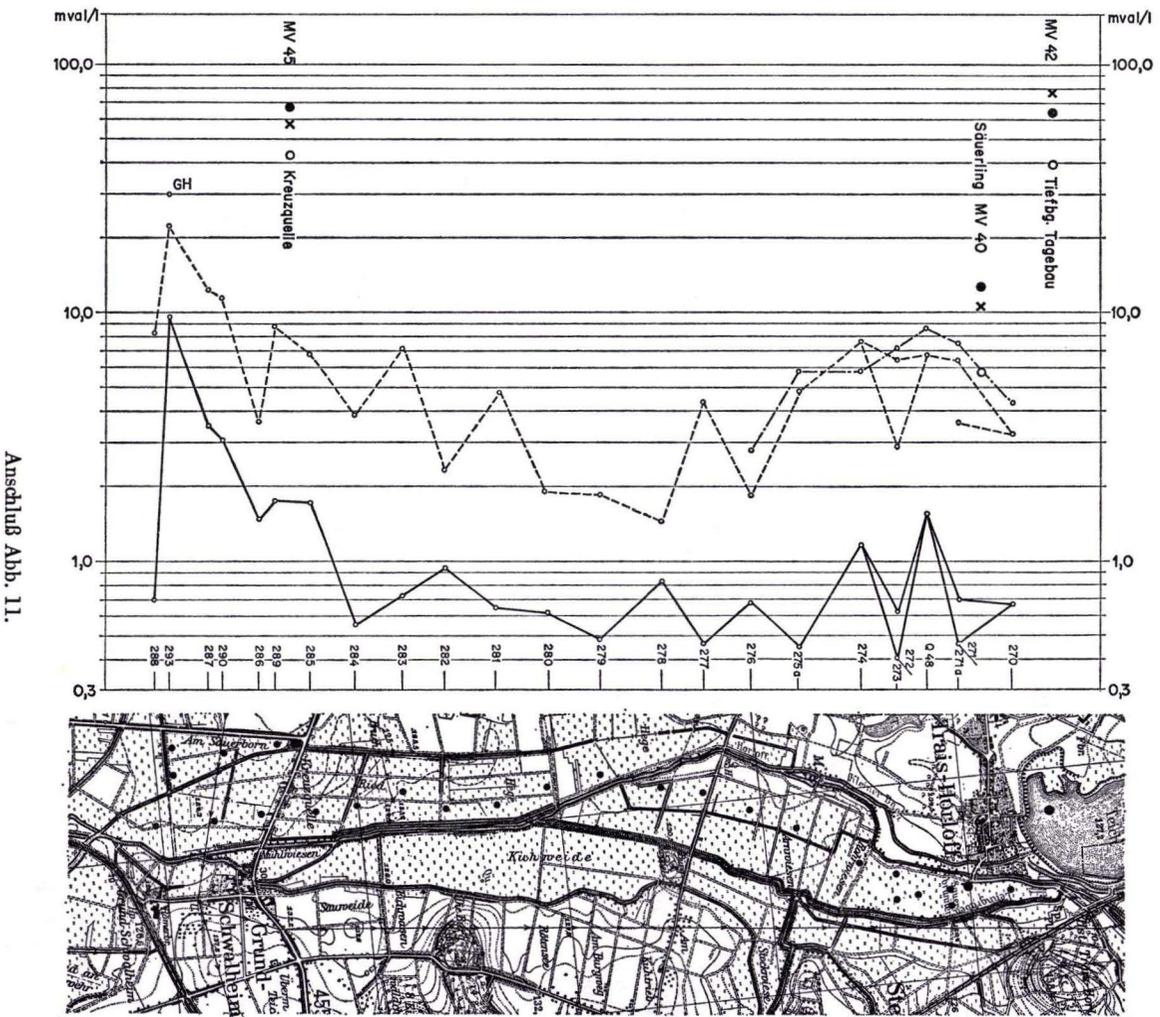


Abb. 10. Chemische Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers im Horlofftal zwischen Trais-Horloff und Grund-Schalweim, westliche Talseite (Zeichenerklärung s. Abb. 14).

barer Schüttung unter starker Eisenhydroxid-Ausscheidung recht kohlendioxidhaltiges (310 mg/l) Wasser auf, das mit 84 mg Cl⁻/l einen gewissen Mineralwasseranteil erkennen läßt. Weiter südlich kommen in der westlichen Talhälfte bis zur Straße Grund-Schalheim — B e r s t a d t ausschließlich normal mineralisierte Süßwässer vor. Selbst in den im Grundwasserunterstrom der Kreuzquelle (Tab. 5, MV 45) gelegenen Bg. 286, 287 und 290 ist nur eine geringe Chloriderhöhung zu verzeichnen. Auffällig steigt sie dagegen ca. 650 m südlich der Mineralquelle in den Bg. 293 und 294 in Verbindung mit starker Härtezunahme an, woraus auf eine hier bestehende gesonderte Mineralwasseraufstiegszone geschlossen werden könnte. Aus dem Rahmen fällt hierbei besonders Bg. 293 durch einen absolut und relativ hohen Anteil der Nichtkarbonathärte.

Im östlich der Horloff abgebohrten Profil (Abb. 11) fällt südlich des normal süßen und im Gegensatz zur westlichen Horloffalseite verhältnismäßig weichen Grundwassers (Einfluß der östlich gelegenen Basaltwässer) in Bg. 302 (Gemeindebezirk Unter-Widdersheim) der plötzliche Anstieg des Hydrogenkarbonatgehaltes auf, der nur durch sekundäre Aufhärtung infolge Kohlendioxid-Aufstiegs und Auflösung kalkhaltigen Auensedimentes zu erklären ist. Die Summe der Erdalkalien ist um 2,22 mval/l niedriger (Alkali-Hydrogenkarbonat), was auf Ionenaustauschvorgänge hinweist. Verstärkter Einfluß chloridischer Wässer macht sich erst in Bg. 303 und in besonderer Intensität von Bg. 307 bis Bg. 317 bemerkbar. Die Profillinie quert hier einen großflächigen Mineralwasseraustritt, von dem bisher die östlich der „Burg“ gelegene Sauerquelle (s. Top. Kte. sowie Geol. Kte. 1 : 25 000, Bl. Hungen, SCHOTTLER 1921; R 34 93 27, H 55 87 57) bekannt war. Nach eigenen Beobachtungen scheint diese weniger ein punktförmiger Wasseraustritt als vielmehr eine Stelle mit konzentriertem Kohlendioxidgasaustritt zu sein. Die in dem sumpfigen und dicht mit Schilf und Seggen bewachsenen Gelände nur schwer aufzufindende Quelle tritt in einer schlammgefüllten, schlecht auslotbaren Mulde von ca. 1,50 m Durchmesser aus, deren Wasseroberfläche durch heftige Gasentwicklung und Eisenhydroxid-Ausscheidung meist mit hellbraunem Schaum bedeckt ist. Eine am 18. 5. 1966 entnommene Wasserprobe enthielt 1061 mg/l gelöstes Kohlendioxid, 377 mg Cl⁻/l und 1232 mg HCO₃⁻/l. Die Wassertemperatur war mit 17,0 °C stark atmosphärisch beeinflusst (26 °C Lufttemperatur). Ein Wasserabfluß ist nur schwer zu beobachten, da die Abflußwege durch die Sumpflvegetation führen. In niederschlagsarmer Zeit (so am 18. 5. 1966 und am 13. 6. 1968) floß auch über die naheliegenden Entwässerungsgräben kein Wasser zu dem ca. 80 m östlich gelegenen Flutgraben ab. In niederschlagsreicher Zeit, meistens während des Winters, steht die gesamte Sumpffläche knietief unter Wasser und der zu beobachtende Abfluß entstammt zu einem großen Teil aus der Retention der Sumpffläche.

Die Breite des flächenhaften Mineralwasseraustritts wurde mittels 6 in W-E-Richtung angeordneter Bohrlöcher festgestellt (Bg. 309 — 314). Hiernach liegt das Mineralisationsmaximum mit 2209 mg Cl⁻/l ca. 500 m westlich der beschriebenen Quelle (Bg. 311) und weist damit die 1,8fache Chloridkonzentration des bisher in der näheren Umgebung bekannt gewordenen höchstkonzentrierten Mineralwassers, des Römerbrunnens in Grund-Schalheim, auf. Ebenso ist der absolute und relative Hydrogenkarbonatgehalt wesentlich höher als beim Römerbrunnen.

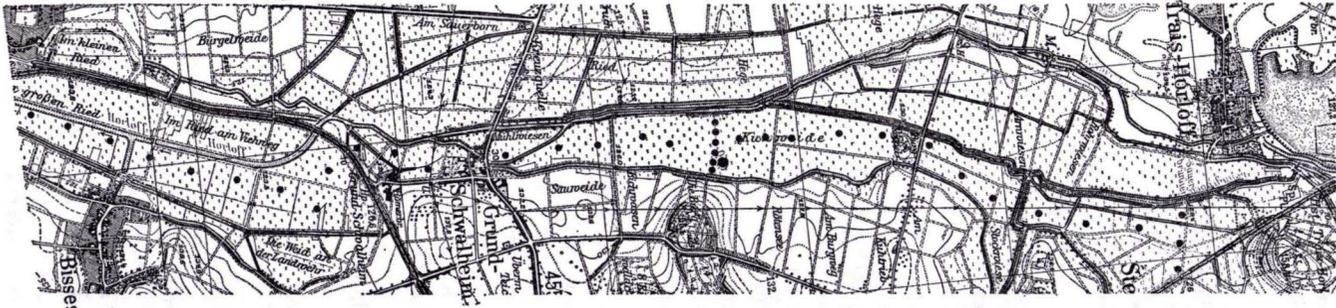
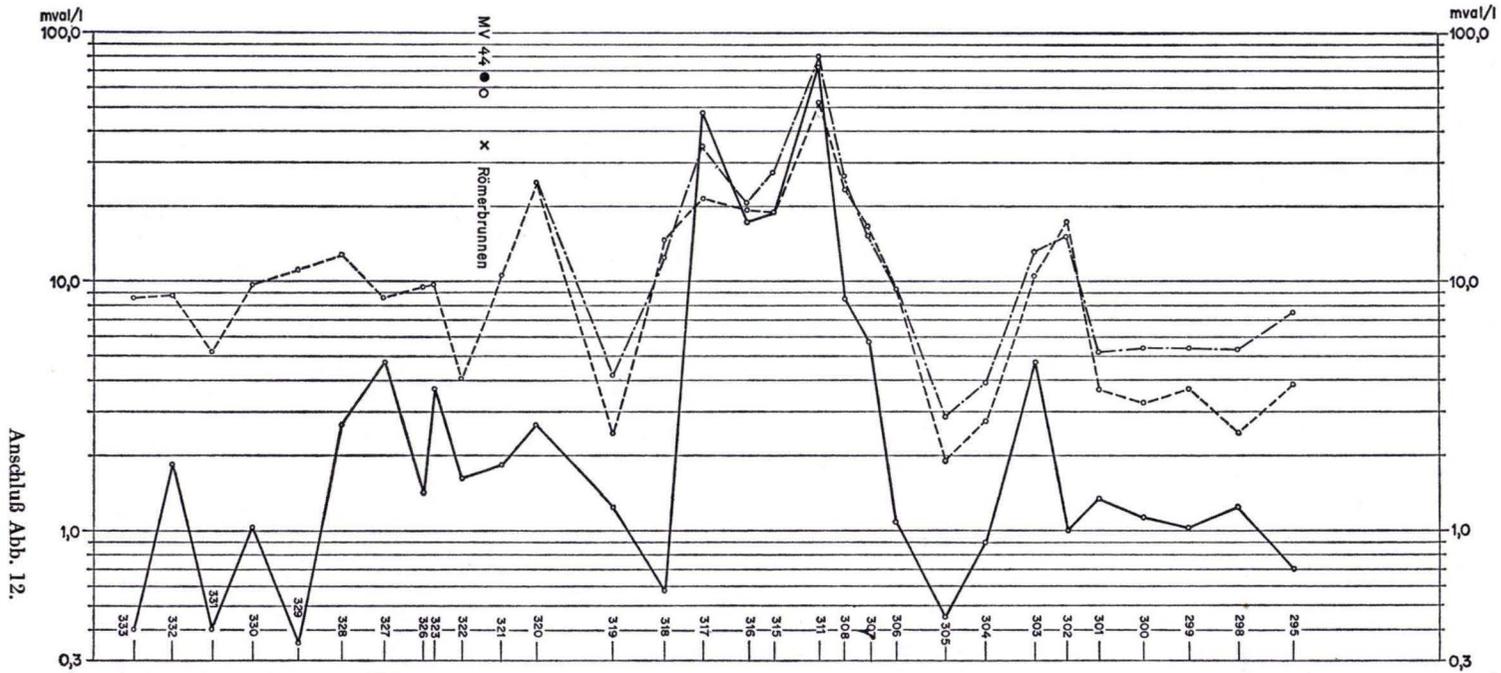


Abb. 11. Horlofftal zwischen Trais-Horloff und Grund-Schwalheim, östliche Talseite (Zeichenerklärung s. Abb. 14).

In Grund-Schwalheim waren noch im letzten Jahrhundert neben dem zum Mineralwasserversand genutzten Römerbrunnen (Tab. 5, MV 44) zahlreiche andere Sauerbrunnen bekannt (WILLE 1928). Sie sind heute in der Mehrzahl zugeschüttet bzw. außer Gebrauch. Nach einer am 28. 7. 1969 erfolgten Untersuchung des Verfaßten weist der bei R 34 93 16, H 55 86 36 gelegene 8,90 m tiefe Brunnen ein stark durch Öl verunreinigtes Wasser mit nur 54 mg Cl^-/l und 79 mg gelöstem Kohlendioxid/l auf. Auch in den Handbohrungen 320 — 327 tritt erhöhte Mineralisierung trotz der Nachbarschaft des Römerbrunnens nur wenig hervor. Dies ist möglicherweise auf die tiefe Fassung und den ständigen Entzug des gewerblich genutzten Mineralwassers zurückzuführen.

Weiter südlich ist bis Echzell Salinarwassereinfluß nicht nachzuweisen. Mit Bg. 336 (Abb. 12) beginnt südöstlich des heute nicht mehr bestehenden Echzeller Sauerbrunnens (Tab. 5, MV 46) eine Mineralisierungszone im Grundwasser, deren Höchstkonzentration in Bg. 341 des Querprofils (Bg. 338 — 346) 315 mg Cl^-/l , 780 mg HCO_3^-/l und 37,5°dGH erreicht. In der Nähe dieser Bohrung könnte die von TASCHÉ (1853: 113) erwähnte Sauerquelle entsprungen sein. Vermutlich verdankt auch der ehemals ca. 600 m nördlich gelegene Echzeller Sauerbrunnen demselben Mineralwasservorkommen seine Entstehung.

In südlicher Fortsetzung ist die Talaue auf ca. 2,5 km Länge oberflächennah abschließlich von mineralarmem, verhältnismäßig weichem Grundwasser erfüllt. In 60 m Tiefe wurde dagegen im Gemeindebezirk Bingenheim in einer auf Süßwasser angesetzten Bohrung (R 34 92 70, H 55 82 54) Mineralwasser mit 770 mg HCO_3^-/l und 330 mg gelöstem Kohlendioxid/l erschlossen (s. Tab. 5, MV 47). Dieses kann jedoch nur auf engem Raum — vermutlich durch Zutritt von Kohlendioxid und Auflösung von Kalk aus dem Nebengestein — entstanden sein, da mit 24,6 mg Cl^-/l Anzeichen von chloridischen Mineralwässern fehlen.

Zwischen Reichelsheim und dem Horloff-Hochflutgraben kommt es zu einer weiteren Grundwasser-Mineralisierung zwischen den Bg. 358 und 371 mit dem Maximum in Bg. 363, wo 299 mg Cl^-/l und 1074 mg HCO_3^-/l , von letzterem 0,44 mval, bedingt durch Ionenaustausch, an Alkali-Ionen gebunden, beobachtet wurden.

Nach einer weiteren, ca. 1,5 km langen Süßwasserzone steigen die Chloridgehalte in der Flur Mähried in Bg. 377 auf 458 mg Cl^-/l bei 1319 mg HCO_3^-/l (60,6°dKH) an sowie auf 491 mg Cl^-/l in Bg. 384 bei besonders hohem Hydrogenkarbonatanteil (1440 mg/l = 66,1°dKH). Das Mineralwasservorkommen erstreckt sich in geringerer Konzentration auf einer Länge von ca. 600 m bis Bg. 388, weist jedoch, wie das Querprofil (Bg. 378 — 383) zeigt, nur ca. 200 m Breite auf. Es wird durch den Horloff-Flutgraben oberflächennah abgeschnitten.

3.2.3.4. Niddatal (Abb. 13 — 14)

In den Gemeindebezirken Ober- und Nieder-Florstadt wurde in zahlreichen Bohrungen Mineralwasser (Bg. 393, 394, 399) bzw. Süßwasser mit deutlichem Mineralwassereinfluß (Bg. 396, 397, 401 — 404) angetroffen. Eine Zugehörigkeit zu

größeren geschlossenen Mineralwasserzonen ließ sich hier nicht nachweisen, da zwischenliegende Bohrungen süßes Grundwasser erbrachten. Im Gemeindebezirk Nieder-Florstadt war bereits im Jahre 1939 in dem ca. 750 m südwestlich des Ortes gelegenen Basalt-Steinbruch austretendes Mineralwasser beobachtet worden, das nicht genauer untersucht worden war. Nach Stilllegung des Bruches ertrank die Quelle jedoch im ansteigenden Steinbruchsee.

Im Gemeindebezirk B ö n s t a d t steigen die Chloridgehalte in Bg. 407 auf 227 mg/l an und lassen sich erhöht bis ca. 1050 m südwestlich in Bg. 411 nachweisen. Höhere Hydrogenkarbonatgehalte treten besonders in Bg. 408 — 410 auf. 10 m östlich des in Bg. 410 vorkommenden Mineralwassers wurde eine weitere Probe entnommen und eine Vollanalyse durchgeführt (Bg. 410, Tab. 5, MV 50). Sehr wahrscheinlich steht dieses Mineralwasservorkommen in Verbindung mit der von R. LUDWIG (1852: 51) beschriebenen „ziemlich guten“ Sauerquelle, die jedoch schon zu seiner Zeit „durch ungeschickte Hand“ verdorben war. Sie lag nach JOCHHEIM (1858: 108) ungefaßt mitten im Wiesengrund und wurde in den 50er Jahren des 19. Jahrhunderts zugeworfen (s. auch R. LUDWIG 1855: 70, TASCHE 1858: 70, CHELIUS 1905: 105).

Am südlichen Ende des durch Flachbohrungen untersuchten Profils tritt in Bg. 412 und 413 nur noch gering mineralisiertes Süßwasser auf.

Im weiter nördlich gelegenen, in Basalten des Vogelsberges verlaufenden Niddatal wurde in größerer Tiefe Grundwasserversalzung zwischen Unter-Schmitten, Nidda und Dauernheim in 8 Tiefbohrungen des ZOV festgestellt (von N nach S in den Bg. Kohden I, Orbes I, Orbes III, Nr. 98, Stehfelder Sumpf I und III, Wallernhausen und Dauernheimer Hof; Lagepunkte und Analysen s. Tab. 5, MV 71 — 75). Der höchste Mineralgehalt wurde dabei in Bg. Stehfelder Sumpf III mit 4810 mg Cl/l und 11642 mg/l festen gelösten Bestandteilen nachgewiesen.

Wie zahlreiche zwischen den genannten Tiefbohrungen liegende reine Süßwasser-Tiefbrunnen mit z. T. hohen Leistungen erkennen lassen, ist der Untergrund in diesem Gebiet jedoch nicht einheitlich mit Mineralwasser erfüllt. Hochkonzentriertes Salzwasser zirkuliert vermutlich in den hier 100 — 150 m tief liegenden klastischen Sedimenten des vorbasaltischen Tertiärs. Es ist großräumig durch Tufflagen, die besonders häufig den Basalten an der Basis eingelagert sind, gegen das höhergelegene Süßwasserstockwerk abgedichtet. Nur an einzelnen tiefgreifenden Kluftzonen, die in den genannten Bohrungen angefahren wurden, steigt Mineralwasser in höhere Zonen empor.

Von besonderem Interesse ist hierbei, daß der bei Bg. Orbes I (ca. 127 m über NN) festgestellte artesische Überdruck des Mineralwassers von 1,7 atü (freundl. Mitteilung von Herrn Dr. SCHENK, OVAG) fast genau dem aus der Höhendifferenz (Niddatal/Kurpark) errechenbaren theoretischen Überdruck der rd. 2 km nördlich gelegenen Mineralquellen Bad Salzhausens (ca. 140 m über NN) entspricht. Es besteht hiernach zwischen den beiden Orten ein direkter hydraulischer Zusammenhang.

Oberflächennah waren bisher in diesem nördlichen Niddatal-Bereich keine natürlichen Mineralwasservorkommen bekannt. Mittels der vom Verf. von SW her bis ca.

Anschluß Abb. 12 u. 14.

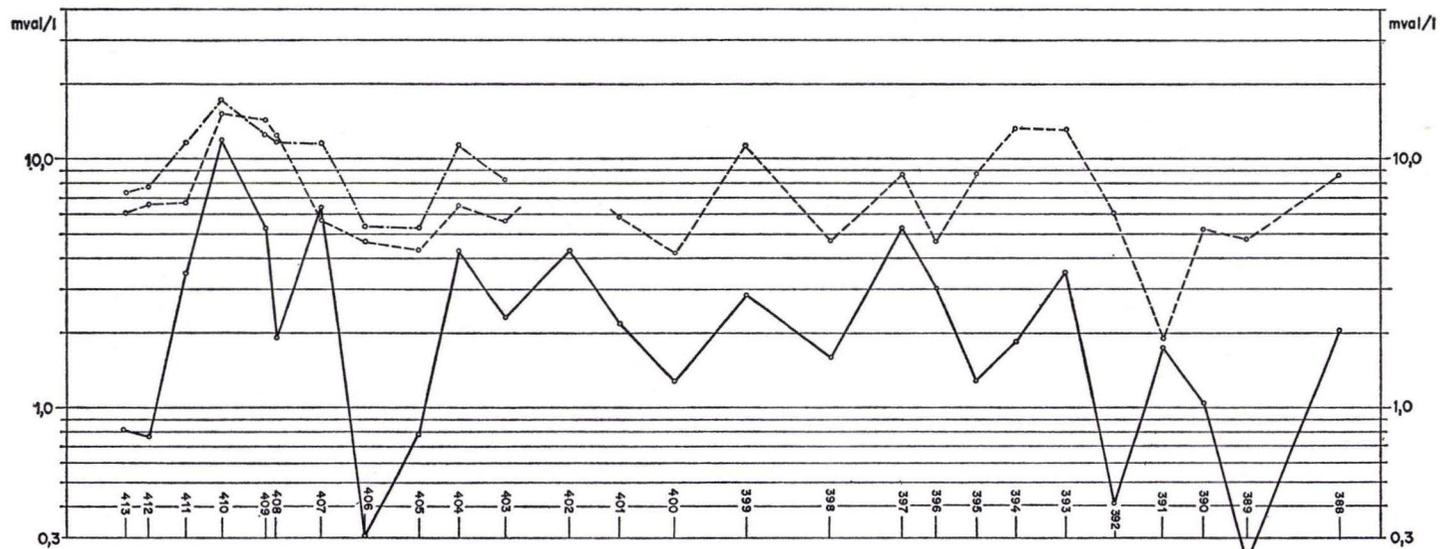


Abb. 13. Niddatal zwischen Ober-Florstadt und Assenheim (Zeichenerklärung s. Abb. 14)

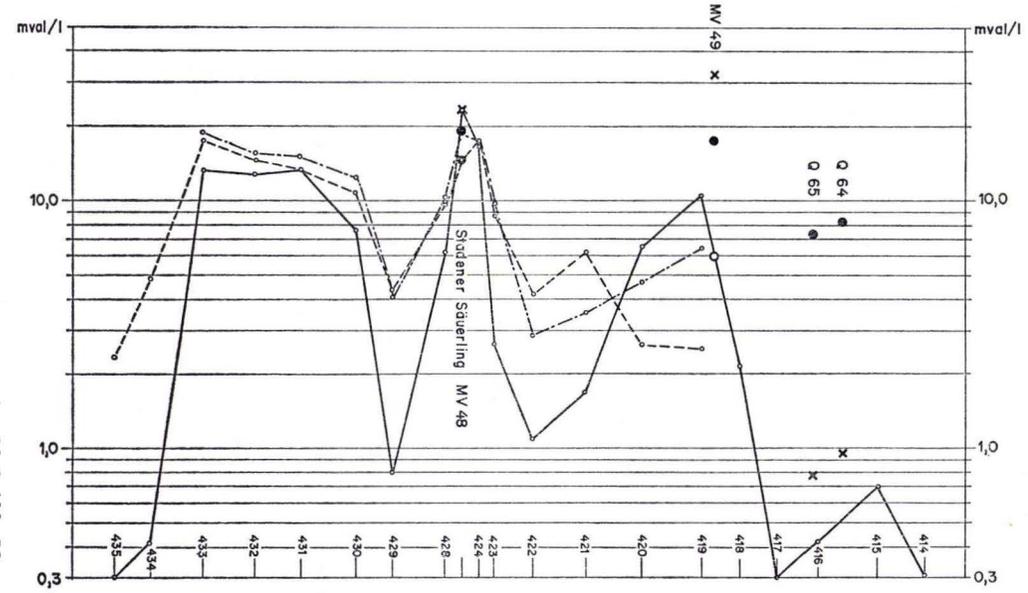
2,5 km unterhalb Dauernheim durchgeführten Handbohrungen (Abb. 16) konnte Versalzung jedoch bis 1200 m nordöstlich des Säuerlings von S t a d e n (s. Tab. 5, MV 48) nachgewiesen werden (Abb. 14, Bg. 419). Ebenso wurde sie mit 1136 mg Cl⁻/l in einer 14 m tiefen Untersuchungsbohrung ca. 150 m südöstlich der Handbohrung 419 ermittelt (Tab. 5, MV 49). Auf der N-Seite des Stadener Schlosses wird links der Nidda in Bg. 424 mit 16,64 mval/l (590 mg/l) 72 % des Chloridgehaltes des Säuerlings und mit 16,76 mval/l (1022 mg/l) sogar 91 % dessen Hydrogenkarbonatgehaltes erreicht. Möglicherweise lag einer der früher links der Nidda erwähnten Säuerlinge in der Nähe der Bg. 424.

Neben der zu vermutenden Mineralisierung des Grundwassers in der näheren Umgebung (Bg. 426 — 428) des Stadener Säuerlings fällt talabwärts die sich von Bg. 430 — 433 erstreckende ca. 1 km lange Mineralwasserzone mit verhältnismäßig gleichmäßig hohen Chloridgehalten und besonders hohen Hydrogenkarbonatgehalten auf (1089 mg HCO₃⁻/l = 50,0° dKH), die fast völlig als Gesamthärte vorliegen. Letztgenannte werden vermutlich auch hier durch hohe Kohlendioxid-Zutritte und gesteigerte Kalklösung im Untergrund im näheren Bereich des Vorkommens gebildet. In Bg. 431 konnte mit dem Karat-Schüttelrohr 560 mg/l gelöstes Kohlendioxid nachgewiesen werden. Mit mineralarmem Grundwasser in Bg. 434 und 435 geht das Profil in den oben bereits beschriebenen Talauenbereich bei Ober-Florstadt über.

Von Assenheim bis Ilbenstadt wurden im Rahmen der Nidda-Regulierung 8 Grundwasserbeobachtungsbrunnen angelegt, die Aufschluß über die Grundwasser- verhältnisse geben. Von diesen jeweils rechts und links der Nidda liegenden, wenige Meter tiefen Bohrbrunnen (in Höhe des Assenheimer Schlosses; unterhalb der Stadt- Mühle; in der Gemarkung Kleinfeld; unterhalb der Ilbenstädter Brücke) wies lediglich der ca. 600 m westnordwestlich des Ilbenstädter Klosters liegende Brunnen (R 35 85 37, H 55 85 72) mit 125 mg Cl⁻/l bei 25,1° dGH einen erhöhten Salzgehalt auf. Leicht erhöhte Kohlendioxidgehalte wurden dagegen mit 70,5 mg/l im Brunnen (R 35 86 77, H 55 73 40) bei der Stadtmühle, sowie mit 97,0 und 88,0 mg/l gelöstem Kohlendioxid in den Brunnen (R 35 86 11, H 55 72 50 und R 35 86 17, H 55 72 17) im Kleinfeld festgestellt.

Im südlicheren Niddatal wurden außer einem Profil von Flachbohrungen (Bg. 436 — 443) zwischen dem heute nicht mehr bestehenden Nieder-Wöllstadter Sauerbrunnen und dem Ludwigsbrunnen (s. Tab. 5, MV 55) Groß-Karben vom Verf. keine Spezialuntersuchungen durchgeführt und daher Mineralwasser bzw. Kohlendioxidvorkommen an anderer Stelle nur durch Zufall bekannt.

Aus den letztgenannten Profiluntersuchungen ergab sich, daß das Grundwasser nordwestlich des Ludwigsbrunnens nur noch bis zu ca. 300 m Entfernung schwach erhöht mineralisiert ist. Im Oberflächenwasser (schwach fließendes Sumpfwasser) wurden ca. 220 m nordnordwestlich des Ludwigsbrunnens 232 mg Cl⁻/l, 30,2° dKH und 42,3° dGH festgestellt (Tab. 7, Q 77), was auf eine N — S gestreckte Mineralisierungszone hinweisen könnte. Im Gegensatz hierzu sind in bis zu 600 m Entfernung nordöstlich des Ludwigsbrunnens unmittelbar aus dem Hangfuß austretende Wässer mit max. 68 mg Cl⁻/l und 25,7° dGH als Süßwasser zu bezeichnen (Tab. 7, Q 75 — 76). Eine Bestim-



Anschluß Abb. 13.

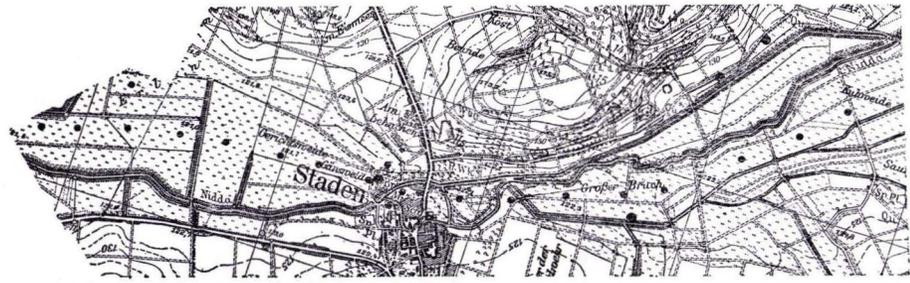


Abb. 14. Niddatal bei Staden.

mung des gelösten Kohlendioxids war wegen des flächenhaften Grundwasseraustritts nicht sinnvoll.

Nach einer Trockenwetter-Abflußmessung vom 28. 7. 1969 an dem das gesamte Quellgebiet entwässernden Graben (R 34 83 34, H 55 68 04) weist die Umgebung des Ludwigsbrunnens einen Abfluß von 2,7 l/s auf, wobei aufgrund des festgestellten Chloridgehaltes von 2,24 mval/l die Chloridfracht 6,05 mval/s (entspr. 214 mg/s) beträgt. Bezogen auf die Mineralwasserspense ist dieser Betrag als Maximalwert zu betrachten, da der anthropogene Einfluß durch einen am N-Rand des Quellgebietes liegenden Müllplatz besonders hoch ist. Aus dem Vergleich mit der aus der Analyse des Ludwigsbrunnens errechneten Chloridfracht (5,3 mval/s = 188 mg/s) ergibt sich, daß die Quelle selbst den größten Teil der Mineralstoffmenge stellt, d. h. keine anderen bedeutenden Mineralwasseraustritte in dem Sumpfgebiet verborgen sind.

Auf dem Gelände der W Groß-Karben an der Nidda gelegenen Dögelmühle wurde im Jahre 1944 in einem 4 m tiefen Schachtbrunnen erhöht mineralisiertes Grundwasser (106 mg Cl⁻/l, 26,1 ° dGH) erschlossen, welches der Aufstiegszone des nur ca. 400 m westlich entfernt gelegenen Selzerbrunnens zuzurechnen ist.

In K l o p p e n h e i m wurde im Jahre 1955 in dem bei der Milchlieferungsgenossenschaft niedergebrachten Bohrbrunnen ein Grundwasser mit max. 205 mg/l gelöstem Kohlendioxid bei sonst normaler Mineralisation angetroffen.

Zur Gewinnung von Süßwasser wurde im Jahre 1955 im Gemeindebezirk R e n d e l an der Scharmühle eine Bohrung (R 34 84 68, H 55 03 06) abgeteuft. In ca. 90 m Tiefe trat jedoch Mineralwasser des Natrium-Hydrogenkarbonat-Typs auf (Tab. 5, MV 57), bei dem rd. 92 % der Natrium-Ionen in Äquivalenz mit Hydrogenkarbonat-Ionen vorliegen. Der Chloridgehalt geht dagegen mit 52,2 mg/l nicht über den eines Süßwassers hinaus.

Im Erlenbachtal erbrachte ein im Jahre 1967 ca. 500 m südlich N i e d e r - E r l e n - b a c h ebenfalls zur Süßwassererschließung errichteter Bohrbrunnen (R 34 79 55, H 55 62 39) in 99 m Tiefe Salzwasser, weshalb er bis auf 56 m Tiefe verfüllt und abdichtet wurde. Der Mineralgehalt seines Wassers ging darauf auf 984 mg/l feste gelöste Bestandteile bei 108,9 mg/l gelöstem Kohlendioxid zurück (Tab. 5, MV 58).

3.2.3.5. Niddertal

Im Niddertal ließen sich mit Flachbohrungen Chloriderhöhungen bei S e l t e r s ca. 180 m nordnordöstlich des Benediktus-Sprudels (Tab. 5, MV 77; Tab. 7, Bg. 449) und in bis zu 350 m Entfernung vom Klosterbrunnen (Tab. 5, MV 78; Tab. 7, Bg. 451 — 453) nachweisen. Die oberhalb gelegene nordwestliche Niddertal-Seite weist normal mineralisiertes Grundwasser auf (Bg. 444 — 448).

Erhöhte Salinität zeigten auch die auf Bl. 5620 O r t e n b e r g gelegenen Tiefbohrungen des ZOV: Hirzenhain (R 35 09 36, H 55 83 81; 475 m tief), Ortenberg-Kennelwiesen (R 35 05 15, H 55 81 17, 186,50 m tief), Ranstadt (R 35 00 82, H 55 80 78; 184 m tief) und Bleichenbach-Steinberg (R 35 02 74, H 55 76 34; 260,50 m tief). Analysen standen dem Verfasser nicht zur Verfügung.

4. Ergebnisse und Übersicht der im Grundwasser ablaufenden Vorgänge

Wie aus der linien- und flächenhaft vorgenommenen Untersuchung der Talauengrundwässer hervorgeht, erhöht sich nicht nur — wie theoretisch zu vermuten ist und durch zahlreiche Tiefbohrungen bestätigt wird — der Einfluß des Mineralwassers mit zunehmender Tiefe, sondern seine Auswirkungen sind auch im oberflächennahen Grundwasser erheblich größer, als bisher aus dem z. T. weitgestreuten Auftreten der Mineralquellen zu erkennen war.

Bei der insgesamt rd. 60 km langen untersuchten und beschriebenen Talstrecke wurden auf rd. 20 km Erstreckung, also rd. einem Drittel, Chloridgehalte über 100 mg/l und damit eindeutig Mineralwassereinfluß nachgewiesen. Da bereits zahlreiche an den Talrändern gelegene Quellen, ebenso wie stets das Grundwasser der zwischen den Tälern gelegenen Höhenrücken, keine solchen Einflüsse zeigen, kann angenommen werden, daß der Untergrund der Täler den eigentlichen Aufstiegsraum der in großer Tiefe zirkulierenden Sole darstellt.

Setzt man für die gesamte Wetterau eine in der Tiefe wandernde einheitliche Primärsole voraus, so müßte sie sich nach der in Bad Nauheim auftretenden Maximaltemperatur von 33°C und einer zu vermutenden geothermischen Tiefenstufe von 30 m pro 1°C Temperaturzunahme in einer Tiefe von mindestens 800 m bewegen.

Eine Diskussion der Soleherkunft ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht vorgesehen. Seit CHELIUS (1904) betrachtet sie die Mehrzahl der in der Wetterau tätigen Wissenschaftler als zugewandertes Auslaugungsprodukt der mehrere hundert Meter mächtigen Salzlager im Werra-Salinar des Zechsteins östlich des Vogelsberges (STEUER 1912, MICHELS 1926, NÖRING 1952, OTT & DOMBROWSKI 1959, SCHARPFF 1972).

Es fällt dabei auf, daß Mineralwasserbeeinflussungen des oberflächennahen Grundwassers nur in rheinisch bis eggisch verlaufenden oder — durch Quertäler erkennbar — in dieser Richtung stark beeinflussten Talabschnitten auftritt. Diese in der Wetterau dominierenden Talrichtungen gehen auf Verwerfungszonen zurück, auf denen sich vermutlich die von KUTSCHER, PRINZ & SCHWARZ (1968) untersuchten starken rezenten Senkungstendenzen abspielen. Die Solen nutzen somit gut wasserwegsame und sich ständig regenerierende Aufstiegsbahnen.

Die Bewegung des in der Tiefe zirkulierenden Wassers dürfte fast ausschließlich den großräumig wirkenden hydraulischen Druckdifferenzen unterworfen sein. Bei einer Herkunft aus dem Bereich östlich des Vogelsberges dürfte die Differenz des Druckes der relativ hochliegenden Grundwasseroberfläche z. B. im Auslaugungsgebiet bei NeuhoF/Krs. Fulda (ca. 270 m über NN; SCHARPFF 1970b) und der tiefliegenden Grundwasseroberfläche im Mineralquellenaustrittsgebiet der Wetterau (ca. 140 m über NN) die bestimmende Auftriebsenergie abgeben.

Auf die zu Beginn des Aufstieges großräumig vermutlich noch weitgehend homogen vorliegende Sole wirken im höheren Bereich zunehmend Einflüsse des oberflächenbürtigen Süßwassers ein. Je nach dem anteiligen Wirkungsgrad des von unten oder von oben wirkenden Regimes tritt mit Annäherung an die Grundwasseroberfläche eine mehr oder weniger starke Verdünnung der Sole ein. Im oberflächennahen Bereich übertrifft

im allgemeinen die Hydraulik des Süßwassers erheblich die des tiefenbürtigen Mineralwassers, da letztgenannte in der Nähe des Austrittes ihr Minimum erreicht, die erstgenannte aber durch den hydraulischen Überdruck des sich auf benachbarten Höhen bildenden Grundwassers hohe Werte aufweisen kann. Von Ort zu Ort derartig wechselnde hydraulische Einflüsse führen zu der beschriebenen Erscheinung des sich im Talverlauf schnell ändernden Mineralisationsgrades. Das in allen Querprofilen festgestellte Abnehmen der Konzentration zu den Talflanken hin ist auf den von den Talhängen her stärker wirksamen hydraulischen Einfluß zurückzuführen. Infolge der im Vergleich zum Hangschutt geringeren Wasserwegsamkeit der lehmigen Talfüllung kommt es an den Talrändern zum Austritt von Quellen. Sie zeigen meist nur schwache oder überhaupt keine Anzeichen von Mineralwassereinfluß, obwohl oft wenige Zehner Meter entfernt in der Talmitte konzentrierte Mineralwässer vorliegen.

Bei normaler kontinuierlicher Verdünnung einer Sole mit einem Süßwasser verschieben sich die in der Sole bestehenden Ionenverhältnisse entsprechend dem Verdünnungsgrad in Richtung der im Süßwasser bestehenden Ionenverhältnisse. Schon anhand der orientierenden Analysen läßt sich feststellen, daß dies in der Wetterau nicht überall der Fall ist. So besteht im Wasser des Selzerbrunnens im Wettertal bei Wisselsheim (146 mval Cl^-/l) ein Hydrogenkarbonat/Chlorid-Verhältnis von $14,97 : 146,23 = 0,12$; im erheblich geringer konzentrierten Wasser der ca. 180 m entfernt niedergebrachten Handbohrung 57 steigt dagegen der Hydrogenkarbonatgehalt trotz erheblich verringertem Chlorid-Gehalt (58,00 mval/l) auf 27,40 mval/l an, was einem Hydrogenkarbonat/Chlorid-Verhältnis von $27,40 : 58,00 = 0,47$ entspricht. Da Süßwässer mit Hydrogenkarbonatgehalten von 27,40 mval/l ($= 76,7^\circ \text{dKH}$) in der Wetterau nicht auftreten, muß hier eine Lösung karbonatischer Nebengesteine erfolgt sein, was bei der Menge des meistens im Mineralwasser gelösten Kohlendioxids zwanglos zu erklären ist. In den Wisselsheimer Salzwiesen ist die Verschiebung des Hydrogenkarbonat-Maximums (Abb. 7) gegenüber dem Chlorid-Maximum in der Nähe des Selzerbrunnens nur auf solche verstärkt in diesem Talbereich ablaufende Lösungsvorgänge zurückzuführen.

Gleichartige Prozesse lassen sich an zahlreichen anderen Stellen der untersuchten Talabschnitte nachweisen. Wie bereits in Abschn. 3.2.3. erwähnt wurde, finden sie besonders auffallend z. B. im Horlofftal im Bereich von Unter-Widdersheim, in der Tiefbohrung bei Bingenheim (MV 47) sowie im Niddatal westlich Staden (Bg. 430 — 433) statt.

Erhebliche Verschiebungen der Ionenverhältnisse werden jedoch auch durch Ionenaustauschvorgänge hervorgerufen. So wurde in der bereits erwähnten Flachbohrung SW Ossenheim ein Wasser angetroffen, das bei einem Chloridgehalt von 2,00 mval/l und einem Hydrogenkarbonatgehalt von 12,67 mval/l einen Erdalkaligehalt von lediglich 1,54 mval/l aufweist (Tab. 5, MV 21). 88 % des Hydrogenkarbonates sind daher durch Alkali-Ionen abgesättigt. Das Wasser stellt somit eine Natriumhydrogenkarbonat-(Soda-) Lösung dar. Da diese Substanz weder in den Gesteinen der Wetterau enthalten ist, noch durch menschliche Einflüsse eingebracht worden sein dürfte, muß das chemische Bild des Wassers durch langfristige Ionenaustauschvorgänge entstanden sein.

Es ist wahrscheinlich, daß früher ein Natrium-Chlorid-reiches Mineralwasser die oberflächenaktiven Teile des Untergrundes mit Alkali-Ionen belegte, die später nach Verdrängung des Natrium-Chlorid-Wassers durch Erdalkali-reiches Hydrogenkarbonat-Wasser die Alkali-Ionen unter Bindung der Erdalkali-Ionen (und damit Entfernung aus dem Wasser) wieder abgaben.

In den Wisselsheimer Salzwiesen wurde in der 42 m nordwestlich des Selzerbrunnen-Quellteiches gelegenen Handbohrung 67 mit 10,12 mval Erdalkalien/l und 17,64 mval HCO_3^- /l ebenfalls Alkali-(Natrium-)Hydrogenkarbonat enthaltendes Wasser nachgewiesen. Dagegen wurde in der nur 17 m südöstlich gelegenen Bg. 69 mit einem Gehalt von 30,04 mval Erdalkalien/l und 21,72 mval HCO_3^- /l normal erdalkalisches Wasser festgestellt. Vergleichbare Verhältnisse herrschen südwestlich des Selzerbrunnens, wo in Bg. 73 in 10 m Entfernung vom Quellteich 13,56 mval Erdalkalien/l bei 21,54 mval HCO_3^- /l und in weiteren 15 m Entfernung (Bg. 74) 7,44 mval Erdalkalien/l bei 6,64 mval HCO_3^- /l auftraten.

Obwohl im letztgenannten Fall möglicherweise durch heute nicht mehr sichtbare menschliche Eingriffe (Grabungen für ehemalige Salinenbauten und Quellfassungen) im näheren Umkreis des Selzerbrunnens gestörte Fließwege entstanden sein könnten, zeigen diese Beispiele, daß auf engstem Raum bis in den Meterbereich Wässer völlig unterschiedlicher Ionenverhältnisse auftreten können.

Ähnliche Vorgänge des Ionenaustausches wurden erstmalig von RENIK (1926) aus Tiefbohrungen beschrieben und ihre Entstehung u. a. von SCHWILLE (1953) genauer untersucht. Letzterer zeigte, daß Natriumhydrogenkarbonat führende Grundwässer als Übergang zwischen tiefliegenden Natrium-Chlorid-Wässern und hochliegenden süßen Calcium-(Magnesium-)Hydrogenkarbonat-Wässern aufzufassen sind. In ihnen wurden die Erdalkali-Ionen der süßen Grundwässer gegen die in früherer Zeit aus hochkonzentrierten Natrium-Chlorid-Wässern absorptiv im Sediment (Ionenaustauscher) gebundenen Natrium-Ionen ausgetauscht. Sie waren bisher nur aus tiefen Grundwasserhorizonten bekannt (SCHWILLE 1953, s. auch HECHT 1964, LÖHNERT 1967).

Im behandelten Gebiet dürfte das Austauschwasser jedoch nicht aus tiefen Zonen aufsteigen, da das aus der Tiefe empordringende und z. B. im Selzerbrunnen austretende hochkonzentrierte Mineralwasser kein an Alkali gebundenes Hydrogenkarbonat mitbringt. Deshalb müssen die zu den Analysenbildern von Bg. 67, 69 und 73 führenden Austauschvorgänge im oberflächennahen Talbereich stattgefunden haben. Die von SCHWILLE (1953) in der Vertikalen erkannte Zonierung findet sich hier in horizontaler Erstreckung an der Grundwasseroberfläche. Sie bildet den Übergang zwischen süßen Erdalkali-Hydrogenkarbonat-Wässern am Talrand und hochkonzentrierten Natrium-Chlorid-Wässern in der Talmitte. Je nach den bestehenden hydraulischen und physikalisch-chemischen Gleichgewichtsbedingungen treten somit von Bohrung zu Bohrung Übergänge zwischen schwachen und intensiven Austauschverhältnissen auf.

Über den zeitlichen Ablauf der Ionenaustauschvorgänge in der Natur liegen keine Untersuchungen vor. Es ist anzunehmen, daß die erwähnten Grundwässer kurz-

fristigen chemischen Veränderungen unterworfen sind. Setzt man gute Wasserwegsamkeit des Grundwasserleiters voraus, müßte durch das zum (wenige Zehner Meter entfernt gelegenen) Vorfluter (Wetter) bestehende Grundwassergefälle ein schneller Abtransport der Alkali-Ionen durch eindringendes mineralarmes Niederschlagswasser erfolgen. Bei Annahme geringerer Wasserwegsamkeit müßte die dem Konzentrationsgefälle folgende Ionendiffusion den gleichen Endzustand bringen und dadurch auf größerem Raum einheitliche chemische Verhältnisse entstehen lassen. Soll der Ionenaustauscher nicht in kurzer Zeit ermüdet sein, muß daher in gewissen Abständen eine neue Zufuhr (Regeneration) des auszutauschenden Ions erfolgen. Dieser Vorgang ist unter der Annahme, daß in niederschlagsarmer Jahreszeit der Anteil des höher mineralisierten Grundwassers größere Flächen einnimmt und örtlich den Austauscher neu mit Alkali-Ionen belegt, vorstellbar.

Analoge Verhältnisse deuten sich in zahlreichen anderen Bereichen der untersuchten Talstrecken an. Sie sind stets anzunehmen, wenn der Gehalt an Erdalkalien unter den des Hydrogenkarbonates absinkt, und daher leicht aus der graphischen Darstellung der Abb. 3 — 14 abzulesen.

Als diesbezüglich besonders auffallend wurden bereits in Abschn. 3.2.3. auf die Talbereiche der Wetter SW Schwalheim (Bg. 231), der Horloff E Reichelsheim (Bg. 363) und auf die Tiefbohrung bei Rendel (MV 57) hingewiesen.

Natrium-Hydrogenkarbonat-Wasser stellt jedoch nur den Extremfall besonders intensiven Ionenaustausches dar. Geringere, durch Austausch bedingte Verschiebungen im Ionenverhältnis lassen sich durch rechnerische Vergleiche der Analysen nachweisen. So zeigte auch das Wasser des Selzerbrunnens (Natrium-Chlorid-Säuerling; Tab. 5, MV 14) — setzt man seine Entstehung als Ergebnis der Verdünnung aus einer höchstkonzentrierten Sole vom Typ der Bad Nauheimer Natrium-Chlorid-Solen (z. B. Sprudel XIV) voraus — Anzeichen von Ionenaustausch. Sein Wasser führt nämlich eine im Verhältnis zum Chloridgehalt erheblich geringere Menge an Erdalkalien und eine entsprechend größere Menge an Alkalien.

5. Schriftenverzeichnis

- ANDERLE, H.-J. (1970) : Outlines of the Structural Development at the Northern End of the Upper Rhine Graben. — Graben Problems, Intern. Upper Mantle Proj., Scient. Rep. No. 27: 97—102, 1 Abb.; Stuttgart.
- BÜCKNER, E. (1943) : Die pflanzensoziologischen und ökologischen Verhältnisse der Salzwiesen von Wisselsheim bei Bad Nauheim. — Diss., TH Darmstadt, 40 gez. Bl. m. Fig. (Maschinenschr.); Darmstadt.
- (1954) : Beiträge zur Soziologie und Ökologie westdeutscher Halophytenstandorte der Wetterau mit besonderer Berücksichtigung der Beziehungen zur Strandvegetation der Nordseeküste. — Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilkde., **26**: 27—50, 11 Abb.; Gießen.
- CHELIUS, C. (1904) : Der vulkanische Vogelsberg in seinen Beziehungen zu den Sol- und Heilquellen an seinem Rande. — Balneol. Ztg., wiss.-techn. T., **15**: 9—10; Berlin.
- (1905) : Geologischer Führer durch den Vogelsberg, seine Bäder und Heilquellen. — 108 S., Abb., 2 Prof., 1 Kte.; Gießen.
- FABER, K. (1930) : Die Salzstellen und die Salzflora der Provinz Hessen-Nassau und ihrer Nachbargebiete. — Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilkde., **13**: 49—130, 14 Abb., 2 Tab., 4 Taf.; Gießen.
- HECHT, G. (1964) : Über das Vorkommen natriumhydrogenkarbonathaltiger Wässer in Thüringen. — Z. angew. Geologie, **10**, 5: 250—255, 2 Abb., 2 Tab.; Berlin.
- JOCHHEIM, PH. (1858) : Die Mineralquellen des Grossherzogthums Hessen, seiner Enclaven und der Landgrafschaft Hessen-Homburg. — 138 S., 1 Abb., 1 Tab.; Erlangen (Enke).
- KLIPSTEIN, PH. E. (1790) : Versuch einer mineralogischen Beschreibung des Vogelsgebirgs in der Landgrafschaft Hessen-Darmstadt. — 96 S.; Berlin (Nicolai).
- KÖBRICH, C. (1939/1940) : Die Mineralstoffmengen der Mineralquellen in Oberhessen. — Fundgrube, **14**, 80: 343—344; **81**: 347—348; **82**: 351—352; **83**: 355, 356, 358; **84**: 359—362; **15**, 85: 365—366; **86**: 369—372; **87**: 375—377; Darmstadt.
- KUTSCHER, F., PRINZ, H. & SCHWARZ, E. (1968) : Bodenbewegungen in Hessen und ihre geologische Deutung. — Z. Vermessungswesen, **93**, 2: 45—54, 6 Abb.; Stuttgart.
- LEPSIUS, R. (1900) : Festschrift zur Weihe des neuen Solsprudels zu Bad Nauheim. — 35 S., 4 Abb., 1 geol. Prof.; Darmstadt.
- LÖHNERT, E. (1967) : Grundwasser-Typen tieferer Stockwerke in Hamburg. — N. Jb. Geol. Paläontol., Abh., **129**: 113—136; Stuttgart.
- LUDWIG, R. (1852) : Geognostische Beobachtungen in der Gegend zwischen Gießen, Fulda, Frankfurt a. M. und Hammelburg. — 52 S., 2 Ktn.; Darmstadt (Jonghaus und Venator).
- (1855) : Geol. Spec.-Kte. Grosshzhgth. Hessen u. angr. Landesgeb., 1 : 50 000, Sect. Friedberg, mit Erl., 76 S. (Hrsgeb. mittelrhein. geol. Ver.); Darmstadt.
- (1858) : Geognosie und Geogenie der Wetterau. — Naturhist. Abh. a. d. Geb. d. Wetterau, Festgabe Wetterau. Ges. ges. Naturkde.; Hanau.
- LUDWIG, W. (1951) : Über die frühere Verbreitung und das heutige Vorkommen des Quellers (*Salicornia europaea* L. S. *herbacea* L.) in der Wetterau. — Jb. nass. Ver. Naturkde., **89**: 31—45, 1 Abb., 1 Kte.; Wiesbaden.
- (1957) : Über einige unwahrscheinliche Angaben zur Flora der Wetterauer Salzstellen. — Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilkde., N. F., naturwiss. Abt., **28**: 1—11; Gießen.
- MATTHESS, G. (1958) : Geologische und hydrochemische Untersuchungen in der östlichen Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **86**: 335—378, 11 Abb., 5 Tab.; Wiesbaden.
- MICHELS, F. (1926) : Der Ursprung der Mineralquellen des Taunus. — Natur u. Museum, **56**: 225—238; Frankfurt/M.

- NÖRING, F. (1951): Einflüsse der Kunstdüngung auf den Chemismus des Grundwassers. — Gesundheits-Ing., **72**: 190—191; München.
- (1952): Die Solquellen in Gelnhausen. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., (VI) **3**: 278—293, 1 Abb.; Wiesbaden.
- ØDUM, H. & CHRISTENSEN, W. (1936): Danske Grundvandstyper og deres geologiske Optraeden. — Danm. geol. Unders., **3**, 26, 184 S., 20 Abb., 19 Taf.; Kopenhagen.
- OSSWALD, H. (1926): Die Bad Nauheimer und Wisselsheimer Salzpflanzen und ihr Schutz. — Bad Nauheimer Jb., **4/5**: 93—116, 14 Abb., 2 Pläne, Bad Nauheim.
- OTT, V. R. & DOMBROWSKI, H. J. (1959): Mikrofossilien in den Mineralquellen zu Bad Nauheim. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **87**: 415—416; Wiesbaden.
- QUENTIN, K.-E. (1969): Beurteilungsgrundsätze und Anforderungen an Mineral- und Heilwässer. — Handb. Lebensmittelchemie **8**, 2 (Wasser u. Luft): 1043—1056, 4 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- RENICK, B. C. (1924): Base Exchange in ground Water by Silicates as illustrated in Montana. — U. S.-Geol. Surv. Water Supply Paper 520—D: 53—72; Washington.
- RÖSING, F. (1960): Geologische Übersichtskarte von Hessen 1 : 300 000. — Hess. L.-Amt Bodenforsch., Wiesbaden.
- SCHARPFF, H.-J. (1970 a): Mineralwasserkartierung mit dem Handbohrgerät, dargestellt am Beispiel der „Wisselsheimer Salzwiesen“/Hessen. Heilbad u. Kurort, **22**: 289—293, 2 Abb., 1 Tab.; Gütersloh.
- (1970 b): Hydrogeologie. — Erl. geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. 5523 Neuhof: 164—182, 1 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- (1972): Die Mineralwässer der Wetterau (Hessen). Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Niederschlagsgebiet der Nidda. — Diss., Maschinenschr., 256 S., 32 Abb., 18 Tab., 1 Taf.; Darmstadt.
- SCHÖNHALS, E. (1936): Geologie der Umgebung von Bad Nauheim und Friedberg (Oberh.) unter besonderer Berücksichtigung der Tertiärablagerungen. — Abh. hess. geol. L.-Anst. **9**, 1, 134 S., 23 Abb., 8 Taf., 1 geol. Kte.; Darmstadt.
- SCHOTTLER, W. (1912): Beiträge zur Geologie und Hydrologie des Inheidener Quellengebietes. — Festschr. Errichtung Inheidener Provinzialwasserwerk: 29—37; (o. O.).
- (1919): Beiträge zur Geologie der nördlichen Wetterau auf Grund neuer Bohrungen. — Notizbl. Ver. Erdkde. u. großh. hess. L.-Anst. (V) **4**: 57—87; Darmstadt.
- (1921): Erl. geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Bl. Hungen. 106 S.; Darmstadt.
- (1925): Die Geologie von Salzhausen nebst einem Überblick über den Bau der Wetterau und des Vogelsberges. Mit einer tektonischen Kartenskizze im Maßstab 1 : 250 000. — Notizbl. Ver. Erdkde. u. hess. geol. L.-Anst., (V) **7**: 23—55, 1 Kte.; Darmstadt.
- (1937): Der Vogelsberg. — Notizbl. hess. geol. L.-Anst., (V) **18**: 3—86, 2 Taf., 2 Abb.; Darmstadt.
- SCHWILLE, F. (1953): Natriumhydrogenkarbonat- und Natriumchlorid-Wässer im tieferen Untergrund des Mainzer Beckens. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **81**: 314—335, 2 Abb., 2 Tab.; Wiesbaden.
- STEUER, A. (1912): Über die Bildung von Mineral- und Grundwasser in der Wetterau. — J. Gasbeleuchtung u. verwandte Beleuchtungsarten sowie für Wasserversorgung, **43**: 1054—1057; München.
- TASCHE, H. (1853): Über einige Sauer- und Gasquellen am südwestlichen Rande des Vogelsberges. — Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilkde., **3**: 105—116; Gießen.
- (1858): Kurzer Überblick über das Berg-, Hütten- und Salinen-Wesen im Grossherzogthum Hessen. — 92 S.; Darmstadt (Jonghaus'sche Hofbuchhandlung).

- THEWS, J.-D. (1972) : Zur Typologie der Grundwasserbeschaffenheit im Taunus und Taunusvorland. Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **63**, 42 S., 27 Abb., 7 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden.
- WILLE, G. A. (1828) : Geognostische Beschreibung der Gebirgsmassen zwischen dem Taunus- und Vogelsgebirge, von der Lahn nach dem Main, Rhein und der Nahe, nebst besonderer Betrachtung der daselbst vorkommenden verschiedenartigen Mineralquellen. — 168 S., 1 Tab., 2 Ktn.; Mainz (F. Kupferberg).
- Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen. Hrsg. Deutscher Bäderverband u. Deutscher Fremdenverkehrsverband. (1968) : 30 S.; Bonn/Frankfurt a. M.

Manuskript eingegangen am 25. 2. 1974

Tab. 7. Orientierende Analysen von Quellwässern

Lfd. Nr.	Gemeinde	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ + Mg ²⁺		KH °d	NKH °d	Fe ²⁺ mg/l	CO ₂ mg/l	pH	Leitf. µS	Temp. °C	Q ¹ l/s	Datum d. Entnahme
		Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l	°dGH									
Q 1	Muschenheim	8631	9406	1,33	47	4,91	300	7,46	20,9	13,7	7,2	0,0	36	6,8	655	11,6	0,7	8. 7. 67
Q 2	Muschenheim	8582	9385	1,36	48	5,03	307	7,24	20,3	14,1	6,2	0,69	51	6,8	715	12,3	0,1	8. 7. 67
Q 3	Tr.-Münzenb.	8584	9212	0,86	30	4,10	250	4,86	13,6	11,5	2,1	0,0	n.b.	—	510	—	—	8. 7. 67
Q 4	Tr.-Münzenb.	8473	9214	2,76	98	5,48	334	8,58	24,0	15,3	8,7	0,0	n.b.	—	860	—	—	8. 7. 67
Q 5	Münzenberg	8420	9170	3,92	139	1,70	103	2,82	7,9	4,8	3,1	0,0	49	6,6	700	13,0	0,1	8. 7. 67
Q 6	Münzenberg	8322	9147	3,06	108	1,98	121	3,96	11,1	5,5	5,6	0,0	70	6,4	540	12,5	0,2	8. 7. 67
Q 7	Münzenberg	8315	9145	0,44	16	5,26	321	6,24	17,5	14,7	2,8	0,73	72	6,7	545	10,4	0,1	8. 7. 67
Q 8	Ob.-Hörgern	8316	9236	165,83	5879	12,49	762	31,90	89,3	35,0	54,3	4,94	574	6,0	17200	13,2	—	1. 7. 67
Q 9	Ob.-Hörgern	8302	9210	2,18	77	7,32	447	11,18	31,3	20,5	10,8	0,0	49	7,1	1150	10,8	0,1	25. 6. 67
Q 10	Münzenberg	8289	9085	1,00	35	5,19	317	7,62	21,3	14,5	6,8	0,0	47	6,9	820	11,8	0,2	1. 7. 67
Q 11	Münzenberg	8238	9096	0,91	32	6,54	399	7,54	21,1	18,3	2,8	0,20	45	7,0	755	11,9	0,1	1. 7. 67
Q 12	Gambach	8155	9153	1,60	57	5,77	352	8,26	23,1	16,2	6,9	0,0	28	7,0	795	10,7	0,5	25. 6. 67
Q 13	Gambach	8023	9092	2,01	71	6,44	393	8,86	24,8	18,0	6,8	0,0	66	6,8	920	12,1	0,5	25. 6. 67
Q 14	Griedel	7914	9019	1,39	49	6,62	404	8,70	24,4	18,5	5,9	0,0	55	7,0	855	11,0	0,7	24. 6. 67
Q 15	Gambach	8152	8973	1,62	57	5,75	351	9,86	27,6	16,1	11,5	0,0	62	6,9	910	11,5	0,1	18. 6. 67
Q 16	Rockenberg	8079	8916	1,36	48	7,19	439	—	—	20,1	—	0,0	—	6,8	905	—	0,01	24. 6. 67
Q 17	Rockenberg	8085	8906	1,50	53	6,75	412	9,70	27,2	18,9	8,3	+	—	7,0	1000	—	0,01	24. 6. 67
Q 18	Rockenberg	8087	8800	2,29	81	7,40	451	10,74	30,1	20,7	9,4	0,08	—	7,0	2260	12,5	0,01	24. 6. 67
Q 19	Rockenberg	8093	8883	—	—	6,72	410	9,18	25,7	18,8	6,9	0,0	53	7,0	930	10,8	0,01	24. 6. 67
Q 20	Rockenberg	8071	8849	1,38	49	6,42	392	8,48	23,7	18,0	5,7	0,01	50	7,0	805	10,8	0,1	17. 6. 67
Q 21	Rockenberg	8196	8812	1,94	69	4,78	292	10,34	29,0	13,4	15,6	0,0	54	6,8	1000	11,1	0,4	18. 6. 67
Q 22	Münzenberg	8427	8960	1,00	35	6,15	375	7,08	19,8	17,2	2,6	0,0	51	6,7	695	10,8	0,2	8. 7. 67
Q 23	Münzenberg	8460	8921	1,19	42	3,54	216	6,48	18,1	9,9	8,2	0,0	64	(6,5)	690	11,5	0,1	8. 7. 67
Q 24	Rockenberg	8096	8750	6,30	223	5,98	365	7,44	20,8	16,7	4,1	0,0	51	6,8	1440	10,5	0,5	17. 6. 67
Q 25	Rockenberg	8101	8733	6,12	217	6,40	390	5,84	16,4	17,9	—	0,13	64	6,8	1370	10,2	0,4	17. 6. 67
Q 26	Oppershofen	8112	8684	2,27	80	5,70	348	6,72	18,8	16,0	2,8	0,0	44	7,0	775	10,2	0,4	17. 6. 67
Q 27	Oppershofen	8098	8665	6,45	229	6,80	415	8,04	22,5	19,0	3,5	0,05	56	6,9	1380	10,5	1,0	17. 6. 67
Q 28	Oppershofen	8013	8587	1,14	40	6,59	402	8,56	24,0	18,5	5,5	0,10	63	6,9	855	10,6	0,1	17. 6. 67
Q 29	Oppershofen	8028	8604	1,37	49	7,15	436	9,76	27,3	20,0	7,3	0,0	52	6,9	1010	10,1	0,2	17. 6. 67
Q 30	Oppershofen	8203	8643	0,55	19	3,38	206	4,38	12,3	9,5	2,8	0,0	40	6,9	445	11,0	0,01	18. 6. 67
Q 31	Oppershofen	8257	8617	1,06	38	5,35	326	5,92	16,6	15,0	1,6	0,0	91	6,7	630	7,9	0,4	18. 6. 67
Q 32	Oppershofen	8170	8601	2,87	102	6,53	398	7,64	21,4	18,3	3,1	0,0	49	—	1040	12,0	0,0	18. 6. 67
Q 33	Steinfurth	8143	8552	27,90	989	8,59	524	12,02	33,7	24,1	9,6	2,74	77	6,9	3450	16,3	0,1	18. 6. 67
Q 34	Steinfurth	8225	8442	1,24	44	6,24	381	8,58	24,0	17,5	6,5	0,0	59	6,8	—	12,7	0,3	11. 9. 67
Q 35	Steinfurth	8230	8431	0,85	30	5,32	325	6,96	19,5	14,9	4,6	0,0	65	6,8	—	12,9	0,4	11. 9. 67

Lfd. Nr.	Gemeinde	Lage		Cl ⁻ mval/l	mg/l	HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ + Mg ²⁺ mval/l	°dGH	KH °d	NKH °d	Fe ²⁺ mg/l	CO ₂ mg/l	pH	Leitf. µS	Temp. °C	Q ¹⁾ l/s	Datum d. Entnahme
		Rechts 34+	Hoch 55+			mval/l	mg/l											
Q 36	Steinfurth	8250	8380	1,91	68	6,06	370	7,40	20,7	17,0	3,7	0,0	113	6,6	990	—	0,2	9. 10. 68
Q 37	Steinfurth	8333	8370	0,93	33	6,60	403	9,18	25,7	18,5	7,2	0,0	60	—	785	—	0,1	9. 10. 68
Q 38	Rödgen	8390	8097	0,35	12	6,01	367	6,40	17,9	16,8	1,1	+	53	6,7	605	—	0,3	20. 5. 67
Q 39	Ob.-Rosbach	7757	7422	0,50	18	1,56	95	2,14	6,0	4,4	1,6	0,0	84	5,8	290	8,6	0,2	10. 6. 67
Q 40	Ob.-Rosbach	7764	7419	0,34	12	1,08	66	1,32	3,7	3,0	0,7	0,0	74	6,0	215	8,3	0,1	10. 6. 67
Q 41	Ob.-Rosbach	7761	7411	0,43	15	2,20	134	2,66	7,4	6,2	1,2	0,0	70	6,2	380	9,4	0,1	10. 6. 67
Q 42	Ulfa	9943	9318	—	—	5,41	330	—	—	15,1	—	0,0	35	7,1	440	15,0	0,1	2. 9. 67
Q 43	Rodheim-Horl.	9734	9038	0,35	12	4,40	268	—	—	12,3	—	0,0	23	7,3	445	12,7	0,1	29. 7. 67
Q 44	Inheiden	9135	9134	0,63	22	5,26	321	7,18	20,1	14,7	5,4	2,22	141	7,2	625	20,0	0,0	2. 9. 67
Q 45	Obbornhofen	8881	8955	1,55	55	5,84	356	8,80	24,6	16,4	8,2	0,0	32	7,0	685	12,4	0,1	8. 7. 67
Q 46	Berstadt	9076	8768	0,92	33	6,20	378	7,10	19,9	17,4	2,5	0,0	30	7,0	715	12,4	0,2	9. 7. 67
Q 47	Berstadt	9130	8760	0,48	17	6,51	397	6,00	16,8	18,2	—	0,0	—	—	595	—	0,01	9. 7. 67
Q 48	Tr.-Horloff	9356	8973	1,59	56	6,72	410	8,68	24,3	18,8	5,5	2,14	—	—	—	—	0,3	9. 7. 67
Q 49	U.-Widdersh.	9326	8757	10,67	377	17,40	1061	24,90	69,7	48,7	21,0	+	1214	—	2140	17,0	0,0	9. 5. 66
Q 50	O.-Widdersh.	9472	8678	0,91	32	4,50	275	6,24	17,5	12,6	4,9	0,0	50	6,8	625	14,2	0,1	9. 7. 67
Q 51	O.-Widdersh.	9575	8677	0,92	33	6,20	378	7,10	19,9	17,4	2,5	0,0	924	5,4	560	9,9	0,03	9. 7. 67
Q 52	O.-Widdersh.	9612	8688	0,32	11	4,40	268	4,40	12,3	12,3	0,0	0,15	57	6,7	430	12,1	0,2	29. 7. 67
Q 53	O.-Widdersh.	9827	8757	0,66	23	4,65	284	5,46	15,3	13,0	2,3	0,0	11	7,6	530	—	0,4	29. 7. 67
Q 54	Berstadt	9399	8555	0,55	19	7,98	487	8,00	22,4	22,3	0,1	0,0	147	—	780	11,2	0,0	9. 7. 67
Q 55	Berstadt	9384	8541	0,59	21	9,10	555	9,02	25,3	25,5	0	0,48	167	—	845	12,1	0,7	9. 7. 67
Q 56	Berstadt	9581	8515	0,38	13	1,50	92	3,00	8,4	4,2	4,2	0,0	55	6,5	940	9,9	0,01	15. 7. 67
Q 57	Echzell	9576	8426	0,61	22	5,41	330	6,40	17,9	15,1	2,8	0,0	53	7,0	630	9,3	0,3	15. 7. 67
Q 58	Gettenau	9282	8275	0,64	23	4,27	260	5,30	14,8	12,0	2,8	0,22	41	—	490	10,2	0,2	6. 5. 67
Q 59	Bingenheim	9235	8107	1,16	41	4,95	302	6,40	17,9	13,9	4,0	0,0	22	7,1	660	11,2	1,2	15. 7. 67
Q 60	Bingenheim	9237	8090	0,76	27	4,74	289	5,62	15,7	13,3	2,4	0,0	21	7,4	590	12,5	1,0	15. 7. 67
Q 61	Leidhecken	9319	7999	0,44	16	5,30	323	5,66	15,8	14,8	1,0	0,39	50	7,0	525	11,7	0,2	15. 7. 67
Q 62	Leidhecken	9334	8007	0,80	28	6,02	367	7,04	19,7	16,9	2,8	0,0	57	6,9	655	13,8	1,0	15. 7. 67
Q 63	Geiß-Nidda	9645	8339	0,76	27	4,37	267	5,72	16,0	12,2	3,8	0,0	55	6,8	560	13,3	0,3	15. 7. 67
Q 64	Dauernheim	9508	7877	0,98	35	—	—	8,26	23,1	—	—	—	—	—	665	—	0,1	6. 5. 67
Q 65	Dauernheim	9494	7855	0,78	28	—	—	7,44	20,8	—	—	—	—	—	595	—	0,1	6. 5. 67
Q 66	Ilbenstadt	8757	7109	0,88	31	3,76	229	6,25	17,5	10,5	7,0	0,0	—	—	435	11,8	0,4	2. 10. 66
Q 67	Ilbenstadt	8668	7120	1,75	62	3,39	207	8,22	23,0	9,5	13,5	0,0	—	—	635	12,5	0,3	2. 10. 66
Q 68	Ilbenstadt	8656	7111	1,04	37	2,68	163	5,36	15,0	7,5	7,5	0,0	—	—	—	9,8	0,2	2. 10. 66
Q 69	Ilbenstadt	8666	7058	1,43	51	6,45	393	8,65	24,2	18,1	6,1	0,0	—	—	—	11,0	1,0	2. 10. 66
Q 70	Ilbenstadt	8574	7019	1,18	42	5,46	333	7,87	22,0	15,3	6,7	0,0	13	7,3	590	14,2	0,2	2. 10. 66

Lfd. Nr.	Gemeinde	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ + Mg ²⁺ mval/l °dGH	KH °d	NKH °d	Fe ²⁺ mg/l	CO ₂ mg/l	pH	Leitf. µS	Temp. °C	Q 1) l/s	Datum d. Entnahme	
		Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l											
Q 71	Burggräfenr.	8499	7001	1,30	46	5,49	335	8,15	22,8	15,4	7,4	0,0	26	7,1	—	10,5	1,5	2. 10. 66
Q 72	Burggräfenr.	8493	6995	0,75	27	4,92	300	6,86	19,2	13,8	5,4	1,26	4	6,8	510	10,0	0,1	20. 9. 66
Q 73	Burggräfenr.	8460	6913	1,81	64	5,22	318	10,25	28,7	14,6	14,1	0,0	5	6,9	810	10,9	0,3	20. 9. 66
Q 74	Groß-Karben	8414	6810	1,56	55	5,68	346	9,17	25,7	15,9	9,8	0,0	17	6,6	525	11,3	0,2	20. 9. 66
Q 75	Groß-Karben	8436	6846	1,06	38	5,80	353	9,02	25,2	16,2	9,0	0,0	7	6,8	—	10,3	0,2	20. 9. 66
Q 76	Groß-Karben	8439	6850	1,50	53	4,97	303	8,18	22,9	13,9	9,0	0,46	—	—	655	—	0,0	20. 9. 66
Q 77	Groß-Karben	8415	6843	6,55	232	10,80	658	15,12	42,3	30,2	12,1	5,02	—	—	1400	—	0,0	20. 9. 66
Q 78	Groß-Karben	8420	6830	1,65	58	3,16	193	9,07	25,4	8,8	16,6	0,0	13	—	—	—	0,0	20. 9. 66
Q 79	Okarben	8258	6928	0,99	35	4,55	278	7,38	20,7	12,7	8,0	—	—	—	565	—	0,8	20. 9. 66
Q 80	Nd.-Rosbach	7880	7226	0,25	9	2,80	171	2,93	8,2	7,8	0,4	—	0	6,5	245	10,9	0,0	19. 5. 66
Q 81	Nd.-Rosbach	7882	7223	3,98	141	4,00	244	4,89	13,7	11,2	2,5	++	0	6,2	—	—	0,0	19. 5. 66
Q 82	Nd.-Rosbach	7817	7169	0,81	29	4,60	281	6,60	18,5	12,9	5,6	0,0	0	7,3	680	—	0,3	10. 6. 67
Q 83	Rodheim v.d.H.	7976	6903	0,25	9	4,72	288	5,50	15,4	13,2	2,2	—	48	6,8	350	—	0,6	8. 10. 66
Q 84	Rodheim v.d.H.	8085	6854	0,49	17	6,33	386	7,70	21,6	17,7	3,9	0,0	52	6,9	725	9,0	1,0	10. 6. 67
Q 85	Okarben	8128	6814	0,91	32	3,68	224	6,12	17,1	10,3	6,8	0,0	—	7,0	680	8,7	0,1	10. 6. 67
Q 86	Okarben	8124	6793	0,42	15	3,78	231	4,58	12,8	10,6	2,2	0,0	41	6,9	475	8,1	0,2	10. 6. 67
Q 87	Petterweil	8109	6783	0,29	10	7,26	443	7,88	22,1	20,3	1,8	0,0	67	6,9	770	8,2	0,1	10. 6. 67
Q 88	Okarben	8112	6760	0,31	11	3,50	214	7,40	20,7	9,8	10,9	0,0	20	—	480	10,1	0,5	21. 5. 66
Q 89	Ob.-Erlenb.	7678	6582	0,38	13	5,47	334	6,18	17,3	15,3	2,0	0,0	42	7,0	520	10,5	3,5	4. 6. 67
Q 90	Kloppenheim	8162	6612	1,23	44	6,28	383	8,90	24,9	17,6	7,3	0,0	46	7,0	920	10,8	0,4	10. 6. 67
Q 91	Kloppenheim	8231	6540	1,78	63	7,72	471	8,96	25,1	21,6	3,5	0,0	255	6,4	700	10,1	—	21. 9. 66
Q 92	Dortelweil	8318	6407	2,09	74	6,04	368	10,32	28,9	16,9	12,0	0,0	16	—	815	11,7	0,4	21. 9. 66
Q 93	Rendel	8455	6446	0,86	31	4,31	263	6,52	18,5	12,1	6,4	0,0	—	—	500	10,2	1,2	19. 5. 66
Q 94	Rendel	8574	6411	1,08	38	3,82	233	7,25	20,3	10,7	9,6	0,0	40	7,1	575	13,2	0,3	8. 10. 66
Q 95	Rendel	8536	6353	1,25	44	4,94	301	8,93	25,0	13,8	11,2	0,0	—	6,9	595	13,8	0,1	8. 10. 66
Q 96	Rendel	8502	6318	2,15	76	8,30	506	11,28	31,6	23,2	8,4	0,0	48	—	—	13,5	0,6	8. 10. 66
Q 97	Rendel	8556	6295	1,14	40	6,57	401	9,92	27,7	18,4	9,3	0,0	47	7,0	805	8,9	0,1	4. 5. 66
Q 98	Rendel	8623	6355	—	—	2,71	165	8,40	23,5	7,6	15,9	0,0	38	6,9	560	13,2	0,1	8. 10. 66
Q 99	Dortelweil	8237	6331	1,85	66	6,00	366	9,22	25,8	16,8	9,0	0,0	35	—	655	10,6	0,9	8. 10. 66
Q 100	Dortelweil	8227	6328	1,90	67	4,56	278	9,75	27,3	12,8	14,5	0,0	—	—	715	10,7	0,4	8. 10. 66
Q 101	Dortelweil	8220	6318	1,85	66	3,43	209	8,40	23,5	9,6	13,9	0,0	—	—	680	10,9	0,2	8. 10. 66
Q 102	Nd.-Erlenb.	8026	6406	2,26	80	5,90	360	10,02	28,1	16,5	11,6	0,0	28	6,8	825	8,7	0,2	28. 5. 67
Q 103	Nd.-Erlenb.	7972	6402	1,55	55	6,19	378	9,94	27,8	17,3	10,5	0,0	29	7,0	805	8,4	0,3	28. 5. 67
Q 104	Nd.-Erlenb.	7954	6404	0,90	32	5,98	365	7,98	22,3	16,7	5,6	0,0	14	7,3	670	10,1	0,1	28. 5. 67
Q 105	Nd.-Eschbach	7689	6342	1,47	52	4,64	283	7,44	20,8	13,0	7,8	0,0	52	7,0	670	10,1	0,8	4. 6. 67

Fortsetzung Tabelle 7

Lfd. Nr.	Gemeinde	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ + Mg ²⁺		KH °d	NKH °d	Fe ²⁺ mg/l	CO ₂ mg/l	pH	Leitf. µS	Temp. °C	Q ¹⁾ l/s	Datum d. Entnahme
		Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l	°dGH									
Q 106	Nd.-Eschbach	7651	6392	1,56	55	7,15	436	11,64	32,6	20,0	12,6	0,0	70	6,9	1010	13,0	0,1	8. 10. 66
Q 107	Nd.-Eschbach	7658	6316	1,74	62	6,13	374	10,18	28,5	17,2	11,3	0,0	69	6,9	860	8,7	0,5	4. 6. 67
Q 108	Nd.-Eschbach	7686	6333	1,12	40	4,96	303	7,26	20,3	13,9	7,4	0,0	60	6,8	650	10,5	0,2	4. 6. 67
Q 109	Nd.-Eschbach	7719	6260	1,19	42	6,31	385	8,80	24,6	17,7	6,9	0,0	59	7,0	815	10,0	2,0	4. 6. 67
Q 110	Nd.-Erlenb.	7963	6279	1,62	57	6,32	386	9,96	27,9	17,7	10,2	0,0	22	7,2	775	10,3	0,5	27. 5. 67
Q 111	Nd.-Eschbach	7533	6390	1,20	43	6,04	368	9,32	26,1	17,0	9,1	0,0	74	6,9	810	9,3	0,5	4. 6. 67
Q 112	Harheim	7733	6190	0,94	33	5,81	354	8,38	23,5	16,3	7,2	0,0	51	6,9	725	9,7	0,5	4. 6. 67
Q 113	Harheim	7868	6107	1,17	41	6,11	373	9,34	26,1	17,1	9,0	0,0	16	7,0	765	9,7	2,0	27. 5. 67
Q 114	Massenheim	7943	6077	2,69	95	5,70	348	11,64	32,6	16,0	16,6	0,0	30	7,0	1045	9,8	0,5	27. 5. 67
Q 115	Bad Vilbel	7960	6054	2,62	93	6,13	374	13,08	36,6	17,2	19,4	0,19	23	6,9	1035	10,6	3,5	27. 5. 67
Q 116	Nd.-Erlenb.	7968	6231	2,15	76	5,85	357	10,30	28,8	16,4	12,4	0,0	40	6,9	835	10,1	0,2	28. 5. 67
Q 117	Nd.-Erlenb.	7976	6228	2,29	81	6,24	381	10,88	30,5	17,5	13,0	0,0	51	6,9	935	10,5	0,3	28. 5. 67
Q 118	Bad Vilbel	8069	5956	1,67	59	7,23	441	9,54	26,7	20,2	6,5	+	20	7,4	780	—	<0,1	27. 5. 67
Q 119	B.-Enkheim	8225	5904	1,01	36	5,86	357	9,64	27,0	16,4	10,6	+	38	6,9	825	9,5	1,0	27. 5. 67
Q 120	Bad Vilbel	8251	5953	0,53	19	6,98	426	9,58	26,8	19,5	7,3	0,0	42	7,2	—	—	0,1	27. 5. 67
Q 121	Bad Vilbel	8263	5974	0,82	29	3,50	214	8,10	22,7	9,8	12,9	0,0	38	6,8	725	—	0,2	27. 5. 67
Q 122	Bad Vilbel	8257	5986	1,23	44	1,75	107	5,52	15,5	4,9	10,6	0,0	27	6,6	560	11,5	<0,2	27. 5. 67
Q 123	Rodheim v.d.H.	7978	7132	1,35	48	4,80	293	8,43	23,6	13,4	10,2	0,0	33	—	625	11,8	0,1	2. 10. 66
Q 124	Bönstadt	8849	7210	0,62	22	6,48	395	8,18	22,9	18,1	4,8	—	35	—	620	9,8	2,5	6. 5. 67
Q 125	Assenheim	8728	7290	0,82	29	6,29	384	—	—	17,6	—	—	31	—	—	9,6	0,2	15. 5. 67
Q 126	Nd.-Eschbach	7678	6344	0,98	35	5,19	317	7,38	20,7	14,5	6,2	0,0	48	7,0	660	9,9	0,7	4. 6. 67
Q 127	Rockenberg	8149	8234	4,82	171	6,29	384	8,36	23,4	17,6	5,8	0,0	55	6,9	1190	—	0,3	18. 6. 67

1) Schüttung, geschätzt

Tab. 8. Orientierende Analysen von Wässern aus Flachbohrungen

Bohrung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Ent- nahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
1	8262	8334	79,00	2801	21,34	1302	21,68	60,7	59,7	1,0	7910	9. 67
2	8270	8330	14,13	501	13,46	821	11,88	33,3	37,7	0	—	9. 67
3	8260	8325	27,27	967	11,96	730	19,52	54,7	33,5	21,2	—	9. 67
4	8263	8326	88,63	3142	25,80	1574	22,76	63,7	72,2	0	—	9. 67
5	8273	8326	39,93	1416	19,56	1193	—	—	54,7	—	5830	9. 67
6	8265	8324	116,10	4116	21,89	1335	24,76	69,3	61,3	8,0	11190	9. 67
7	8256	8316	2,55	90	8,12	495	9,00	25,2	22,7	2,5	1550	9. 67
8	8263	8319	35,90	1273	7,80	476	17,40	48,7	21,8	26,9	4584	9. 67
9	8267	8320	116,80	4141	26,64	1625	25,68	71,9	74,6	0	13090	9. 67
10	8271	8318	49,07	1740	21,82	1331	20,24	56,7	61,1	0	4760	9. 67
11	8274	8318	34,30	1216	20,23	1234	13,36	37,4	56,6	0	5415	9. 67
12	8256	8311	13,11	465	9,60	586	12,74	35,7	26,9	8,8	2142	9. 67
13	8264	8314	140,47	4980	23,52	1435	35,36	99,0	65,9	33,1	13690	9. 67
14	8267	8315	230,53	8172	31,66	1931	—	—	88,7	—	14459	9. 67
15	8272	8312	46,43	1646	18,52	1130	19,92	55,8	51,9	3,9	4641	9. 67
16	8275	8312	34,53	1224	5,80	354	11,20	31,4	16,3	15,1	3511	9. 67
17	8254	8305	60,76	2154	10,18	621	16,72	46,8	28,5	18,3	5240	9. 67
18	8256	8305	32,80	1162	10,82	660	13,40	37,5	30,3	7,2	3927	9. 67
19	8264	8309	187,40	6643	31,48	1920	35,72	100,0	88,1	11,9	17255	9. 67
20	8269	8321	181,90	6448	31,08	1896	35,48	99,3	87,0	12,3	16600	9. 67
21	8274	8307	60,53	2146	13,78	841	—	—	38,6	—	5950	9. 67
22	8254	8299	39,56	1402	11,84	722	13,56	38,0	33,2	4,8	3870	9. 67
23	8256	8299	34,93	1238	11,12	678	12,80	35,8	31,1	4,7	4230	9. 67
24	8264	8303	139,00	4928	20,12	1227	34,56	96,8	56,3	40,5	14880	9. 67
25	8268	8296	139,80	4956	22,78	1390	31,40	87,9	63,8	24,1	13100	9. 67
26	8271	8298	35,93	1274	11,08	676	16,96	47,5	31,0	16,5	4230	9. 67
27	8275	8301	31,20	1106	7,67	468	12,00	33,6	21,5	12,1	3270	9. 67
28	8254	8292	43,56	1544	12,16	742	11,68	32,7	34,0	0	4170	9. 67
29	8257	8293	60,37	2140	9,83	600	—	—	27,5	—	4580	9. 67
30	8256	8295	12,15	431	7,26	443	12,48	34,9	20,3	4,6	3150	9. 67
31	8264	8296	140,97	4997	22,16	1352	29,16	81,6	62,0	19,6	14280	9. 67
32	8254	8288	93,61	3318	13,35	814	20,32	56,9	37,4	—	9280	9. 67
33	8258	8288	90,10	3194	11,03	673	—	—	30,9	—	5590	9. 67
34	8264	8289	26,40	936	7,16	437	12,04	33,7	20,1	13,6	2920	9. 67
35	8268	8297	154,93	5492	20,84	1271	34,12	95,5	58,3	37,2	14280	9. 67
36	8254	8283	62,67	2224	10,71	653	20,06	56,4	30,0	26,4	6490	9. 67
37	8257	8284	80,17	2842	12,67	773	20,65	57,8	35,4	22,4	7850	9. 67
38	8262	8284	163,30	5789	15,38	938	24,44	68,6	43,1	25,5	1490	9. 67
39	8267	8285	75,87	2689	10,83	660	9,28	26,0	30,3	0	7620	9. 67
40	8274	8288	8,00	284	12,42	758	11,44	32,0	34,8	0	2080	9. 67
41	8255	8278	7,90	280	6,49	396	—	—	18,2	—	1440	9. 67
42	8258	8278	25,40	900	5,52	337	9,33	26,1	15,5	10,6	3090	9. 67
43	8263	8279	164,23	5822	14,38	877	—	—	40,3	—	13390	9. 67
44	8266	8281	154,73	5484	15,93	972	—	—	44,6	—	14280	9. 67
45	8270	8282	103,77	3678	16,58	1011	—	—	46,4	—	10120	9. 67

Bohrung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Ent- nahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
46	8256	8271	12,93	458	4,10	250	—	—	11,5	—	1900	9. 67
47	8259	8271	155,97	5529	11,84	722	—	—	33,2	—	13090	9. 67
48	8260	8272	125,90	4463	11,60	708	—	—	32,5	—	11310	9. 67
49	8264	8273	171,97	6096	16,93	1033	—	—	47,4	—	14880	9. 67
50	8268	8274	148,10	5250	19,54	1192	—	—	54,7	—	14100	9. 67
51	8271	8276	140,23	4971	22,47	1371	—	—	62,9	—	13570	9. 67
52	8262	8268	10,53	373	15,03	917	—	—	42,1	—	2300	9. 67
53	8267	8269	122,50	4342	24,48	1493	—	—	68,5	—	12200	9. 67
54	8273	8270	100,27	3355	18,20	1110	—	—	50,9	—	9700	9. 67
55	8262	8260	12,68	450	12,00	732	13,00	36,4	33,6	2,8	2380	9. 67
56	8265	8252	1,97	70	9,98	609	9,60	26,9	27,9	0	1130	9. 67
57	8267	8262	58,00	2056	27,40	1671	—	—	76,7	—	6840	9. 67
58	8272	8262	64,04	2270	24,50	1495	15,36	43,0	68,6	0	6490	9. 67
59	8276	8264	102,43	3631	17,23	1057	—	—	48,5	—	10060	9. 67
60	8280	8270	9,15	324	16,38	999	—	—	45,8	—	2560	9. 67
61	8265	8250	2,85	101	9,42	575	47,80	133,8	26,4	107,4	1220	9. 67
62	8270	8256	18,73	664	14,40	878	—	—	40,3	—	2920	9. 67
63	8271	8257	76,28	2704	23,92	1459	16,84	47,2	67,0	0	7850	9. 67
64	8276	8258	24,64	873	16,42	1002	12,00	33,6	46,6	0	3690	9. 67
65	8283	8265	4,94	175	12,58	767	—	—	35,2	—	1550	9. 67
66	8277	8257	34,50	1223	17,12	1044	—	—	48,0	—	4050	9. 67
67	8278	8258	29,16	1034	17,64	1076	10,12	28,3	49,4	0	4110	9. 67
68	8280	8258	15,32	543	14,88	908	11,40	31,9	41,7	0	2260	9. 67
69	8281	8257	131,10	4647	21,72	1325	30,04	84,1	60,8	23,3	11300	9. 67
70	8282	8257	202,30	7172	18,66	1138	34,16	95,6	52,2	43,4	17250	9. 67
71	8280	8259	198,67	7043	27,44	1674	—	—	76,9	—	17550	9. 67
72	8286	8260	15,98	566	17,35	1058	—	—	48,5	—	2560	9. 67
73	8281	8257	32,90	1166	21,54	1314	13,56	38,0	60,3	0	3750	9. 67
74	8279	8257	2,23	79	6,64	405	7,44	20,8	18,6	2,2	810	9. 67
75	8265	8247	1,51	54	2,64	161	6,36	17,8	7,9	9,9	680	9. 67
76	8271	8242	1,70	60	4,66	284	4,72	13,2	13,1	0,1	547	9. 67
77	8274	8246	27,44	972	26,84	1637	25,68	71,9	75,1	0	3450	9. 67
78	8278	8250	16,56	587	20,94	1277	11,60	32,5	58,6	0	2620	9. 67
79	8283	8252	8,68	308	14,05	857	12,00	33,6	39,3	0	1750	9. 67
80	8269	8252	87,77	3111	18,16	1108	20,96	58,7	50,8	7,9	8930	9. 67
81	8268	8308	188,93	6698	27,56	1681	41,24	115,5	77,1	38,4	16070	9. 67
82	8272	8306	40,57	1438	13,44	820	14,56	40,8	37,6	3,2	4760	9. 67
83	8266	8328	53,73	1905	20,44	1247	16,92	47,4	57,2	0	—	9. 67
84	8511	9474	0,35	12	4,32	264	6,00	16,8	12,1	4,7	1350	6. 68
84 a	8514	9455	1,71	61	5,00	304	8,06	22,1	14,0	8,1	760	6. 68
85	8526	9441	1,62	57	5,78	353	6,98	19,5	16,2	3,3	714	6. 68
86	8520	9436	1,21	43	7,22	440	8,60	24,1	20,2	3,9	833	6. 68
87	8576	9379	1,23	44	7,28	444	8,00	22,4	20,4	2,0	696	11. 67
88	8574	9352	1,80	64	9,32	569	11,68	32,7	26,1	6,6	970	11. 67
89	8552	9328	1,86	66	8,14	497	11,12	31,1	22,8	8,3	893	11. 67
90	8544	9304	21,51	763	10,56	644	15,88	44,5	29,6	14,9	—	11. 67

Bohrung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Ent- nahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
91	8549	9275	1,69	60	7,14	434	9,84	27,6	19,9	7,7	738	11. 67
92	8560	9245	1,37	49	6,18	377	7,52	21,1	17,3	3,8	619	11. 67
92 a	8542	9255	4,40	156	8,92	544	11,24	31,5	25,0	6,5	1070	11. 67
93	8519	9240	1,94	69	9,16	559	11,44	32,0	25,6	6,4	976	11. 67
94	8494	9227	2,55	90	9,60	586	12,04	33,7	26,9	6,8	958	11. 67
95	8476	9208	3,18	113	5,00	305	8,20	23,0	14,0	9,0	696	11. 67
96	8454	9197	3,47	123	6,06	370	9,12	25,5	17,0	8,5	779	11. 67
97	8420	9193	1,37	49	7,12	434	7,72	21,6	19,9	1,7	626	11. 67
98	8399	9186	0,55	19	6,76	412	6,68	18,7	18,9	0	559	11. 67
99	8374	9194	137,73	4883	12,50	763	31,16	87,2	35,0	52,2	12440	11. 67
100	8351	9225	21,89	776	18,00	1098	—	—	50,4	—	2975	4. 68
101	8348	9222	36,80	1304	19,50	119	13,64	39,2	54,6	0	4106	4. 68
102	8354	9217	69,26	2455	12,32	752	14,16	39,6	34,5	5,1	6250	4. 68
103	8355	9212	62,51	2216	8,68	529	16,40	45,9	24,3	21,6	5890	4. 68
104	8355	9206	60,67	2151	8,50	519	16,80	47,0	23,8	23,2	5540	4. 68
105	8355	9202	138,72	4918	13,40	817	31,25	87,5	37,5	50,0	11900	4. 68
106	8356	9197	161,97	5742	11,40	696	33,24	93,1	31,9	61,2	13690	4. 68
107	8359	9192	19,44	689	8,60	525	8,76	24,5	24,1	0,4	3270	4. 68
108	8360	9188	1,68	60	3,80	232	6,86	19,2	10,6	8,6	732	4. 68
109	8362	9183	2,70	96	3,64	222	5,50	15,4	10,2	5,2	547	4. 68
110	8343	9221	11,17	396	11,54	704	9,78	27,4	32,3	0	1760	4. 68
111	8339	9219	12,55	445	11,73	716	7,40	20,7	32,8	0	2140	4. 68
112	8327	9245	37,27	1321	13,98	853	21,80	61,0	39,1	21,9	4110	4. 68
113	8326	9237	191,13	6776	19,36	1181	45,80	128,2	54,2	74,0	16960	4. 68
114	8326	9232	220,70	7824	18,56	1132	45,20	126,6	52,0	74,6	17850	4. 68
115	8326	9227	112,40	3985	14,82	904	23,52	65,0	41,5	23,5	10413	4. 68
116	8332	9229	43,27	1534	14,74	899	15,92	44,6	41,3	3,3	4640	4. 68
117	8334	9221	46,07	1633	12,98	792	14,76	41,3	36,3	5,0	4760	4. 68
118	8335	9215	49,23	1745	11,46	699	14,86	41,6	32,1	9,5	4760	4. 68
119	8342	9198	31,07	1101	10,82	660	13,88	38,9	30,3	8,6	3040	11. 67
120	8325	9205	24,30	861	8,12	495	8,08	22,6	22,7	0	2800	6. 68
121	8326	9205	20,93	741	7,40	451	8,52	23,9	20,7	3,2	2800	6. 68
122	8336	9192	8,51	302	6,20	378	6,60	18,5	17,4	1,1	1550	6. 68
123	8331	9184	11,12	394	7,10	433	8,02	22,5	19,9	2,6	1610	6. 68
124	8334	9178	0,37	13	5,34	326	5,36	15,0	15,0	0	530	6. 68
125	8335	9174	0,31	10	4,94	301	5,12	14,3	13,8	0,5	1000	6. 68
126	8321	9194	12,05	427	7,02	428	7,88	22,1	19,7	2,4	1666	11. 67
127	8306	9185	6,43	228	8,60	525	5,24	14,7	24,1	0	1964	11. 67
128	8285	9171	1,23	44	7,14	436	8,64	24,2	20,0	4,2	756	11. 67
129	8271	9155	0,60	21	7,32	447	8,12	22,7	20,5	2,2	887	11. 67
130	8245	9152	1,21	43	8,50	519	11,28	31,6	23,8	7,8	934	11. 67
131	8221	9150	2,71	96	11,88	725	14,56	40,8	33,3	7,5	1190	11. 67
132	8198	9142	1,78	63	6,44	393	8,08	22,6	18,0	4,6	678	11. 67
133	8171	9133	2,11	75	9,38	572	12,40	34,7	26,3	8,4	988	11. 67
134	8146	9118	2,13	76	9,28	566	11,92	33,4	26,0	7,4	952	11. 67
135	8118	9103	2,49	88	10,92	666	13,52	37,9	30,6	7,3	1070	11. 67

Boh- rung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Ent- nahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
136	8086	9097	2,84	101	11,94	728	14,08	39,4	33,4	6,0	1200	11. 67
137	8063	9089	2,49	88	10,30	628	11,44	32,0	28,8	3,2	1040	11. 67
138	8041	9083	1,60	57	10,34	631	11,84	33,2	29,0	4,2	916	11. 67
139	8013	9076	2,98	106	7,50	458	9,68	27,1	21,0	6,1	988	11. 67
140	8008	9064	1,41	50	4,94	301	6,16	17,2	13,8	3,4	577	11. 67
141	7984	9055	1,15	41	2,28	139	1,76	4,9	6,4	0	309	11. 67
142	7969	9053	0,51	18	2,08	127	3,40	9,5	5,8	3,7	339	11. 67
143	7955	9043	1,03	37	4,74	289	5,60	15,7	13,3	2,4	619	11. 67
144	7938	9028	1,35	48	9,60	586	11,96	33,5	26,9	6,6	1000	11. 67
145	7934	9002	1,44	51	9,20	561	10,24	28,7	25,8	2,9	1030	11. 67
146	7910	8999	2,05	73	8,14	497	9,20	25,8	22,8	3,0	898	11. 67
147	7924	8966	4,40	155	9,34	570	9,80	27,4	26,1	1,3	1190	11. 67
148	7937	8954	12,17	431	8,30	506	13,36	37,4	23,2	14,2	1580	11. 67
149	7954	8938	2,27	80	11,76	717	18,84	52,8	32,9	19,9	1520	11. 67
150	7979	8930	3,61	128	6,50	397	11,76	32,9	18,2	14,7	1130	11. 67
151	7971	8911	1,62	57	11,32	691	13,80	38,6	31,7	6,9	1190	11. 67
152	7997	8916	1,33	47	7,74	472	9,12	25,5	21,7	3,8	797	11. 67
153	8017	8917	1,75	62	11,44	698	12,44	34,8	32,0	2,8	1070	11. 67
154	8032	8919	0,84	30	2,50	153	3,80	10,6	7,0	3,6	363	10. 67
155	8030	8903	1,05	38	8,38	511	8,40	23,5	23,5	0,0	774	11. 67
156	8045	8893	1,63	58	8,10	494	5,12	14,3	22,7	0	797	11. 67
157	8066	8877	54,50	1932	9,34	570	24,26	68,0	26,2	41,8	5120	10. 67
158	8064	8877	112,73	3996	7,90	482	19,56	54,8	22,1	32,7	—	5. 68
159	8069	8878	91,66	3249	7,08	432	22,96	64,3	19,8	54,5	—	5. 68
160	8074	8879	11,50	408	7,12	434	14,20	39,8	19,9	19,9	1790	5. 68
161	8081	8879	0,91	32	3,32	203	4,36	12,2	9,3	2,9	506	5. 68
162	8085	8881	2,68	95	4,26	260	5,46	15,3	11,9	3,4	—	5. 68
163	8068	8855	0,98	35	8,55	522	9,80	27,4	23,9	3,5	762	10. 67
164	8079	8859	3,91	139	5,68	347	7,52	21,1	16,4	4,7	1040	6. 68
165	8081	8830	1,30	46	8,86	540	9,46	26,5	24,8	1,7	904	10. 67
166	8087	8837	12,96	459	7,58	462	7,22	20,2	21,2	0	1850	6. 68
167	8076	8811	8,12	288	10,92	666	11,44	32,0	30,6	1,4	1370	10. 68
168	8086	8812	22,40	794	6,46	394	8,68	24,3	18,1	6,2	2260	10. 68
169	8086	8811	74,87	2654	5,21	318	17,04	47,7	14,6	33,1	6900	10. 67
170	8111	8778	2,02	72	7,10	433	9,90	27,7	19,9	7,8	910	10. 67
171	8120	8758	2,81	100	9,13	556	9,58	26,8	25,5	1,3	1080	10. 67
172	8106	8733	8,20	291	8,36	510	7,70	21,6	23,4	0	1190	10. 68
173	8110	8733	3,84	136	9,00	549	7,40	20,7	25,2	0	1070	10. 68
174	8118	8735	28,83	1022	12,80	781	12,88	36,1	35,9	0,2	—	5. 68
175	8127	8736	14,31	507	8,52	520	9,36	26,2	23,9	2,3	—	5. 68
176	8124	8735	26,47	938	12,54	764	12,72	35,6	35,0	0,6	3210	10. 67
177	8132	8736	4,73	168	10,73	655	11,44	32,0	30,0	2,0	—	5. 68
178	8137	8736	5,31	188	9,40	573	10,76	30,1	26,3	3,8	1010	5. 68
178 a	8143	8736	6,49	230	8,00	488	9,32	26,1	22,4	3,7	—	5. 68
179	8127	8703	3,06	108	10,22	623	9,00	25,2	28,6	0	1250	10. 67
180	8122	8679	6,71	238	10,56	644	9,28	26,0	29,6	0	1490	10. 67

Bohrung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Ent- nahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
181	8115	8664	1,89	67	10,88	664	12,64	35,4	30,5	4,9	810	5. 68
182	8124	8671	3,03	107	10,18	621	10,40	29,1	28,5	0,6	—	5. 68
183	8131	8674	3,26	116	10,06	614	11,02	30,9	28,2	2,7	—	5. 68
184	8137	8681	9,45	335	8,14	497	9,96	27,9	22,8	5,1	—	5. 68
185	8135	8669	1,55	55	10,39	634	10,68	29,9	29,1	0,8	988	10. 67
186	8174	8647	1,50	53	9,15	558	11,46	32,1	25,6	6,5	988	10. 67
187	8191	8647	0,92	33	3,40	207	440	12,3	9,5	2,8	446	10. 67
188	8173	8616	4,74	168	7,79	475	9,42	26,4	21,8	4,6	1160	10. 67
189	8178	8580	0,97	34	5,18	316	6,46	18,1	14,5	3,6	583	9. 67
190	8179	8561	0,63	22	6,84	417	7,62	21,4	19,2	2,2	726	10. 67
191	8163	8574	2,93	104	8,17	498	8,20	23,0	22,9	0,1	803	9. 67
192	8174	8559	2,79	99	9,92	605	11,32	31,7	27,8	3,9	—	5. 68
193	8169	8557	2,28	81	10,57	645	7,44	20,8	29,6	0	—	5. 68
194	8163	8556	1,34	48	7,15	436	7,74	21,7	20,0	1,7	—	5. 68
195	8154	8553	42,44	1504	12,44	759	17,80	49,8	34,8	15,0	4400	10. 67
196	8266	8328	57,60	2041	18,00	1098	22,52	63,1	50,4	12,7	6426	9. 67
197	8146	8521	20,53	728	7,45	454	16,78	47,0	20,8	26,2	2380	10. 67
198	8158	8492	7,10	251	8,34	509	11,78	33,0	23,4	9,6	1140	9. 67
199	8171	8473	14,42	511	7,88	481	9,28	26,0	22,1	3,9	1960	9. 67
200	8185	8465	22,53	799	7,08	431	12,48	34,9	19,8	15,1	—	5. 68
201	8200	8465	28,44	1008	12,82	782	15,58	43,6	35,9	7,7	3330	9. 67
202	8218	8432	5,30	188	10,04	612	—	—	28,1	—	1430	9. 67
203	8222	8421	8,90	316	8,58	523	8,40	23,5	24,0	0	1550	9. 67
204	8225	8413	233,40	8274	9,53	581	54,40	152,3	26,7	125,6	1900	9. 67
205	8230	8396	26,28	932	7,92	483	—	—	22,2	—	2860	9. 67
206	8236	8381	15,92	564	20,46	1248	—	—	57,3	—	13700	9. 67
207	8240	8375	19,60	695	14,25	869	11,28	31,6	39,9	0	2620	9. 67
208	8258	8344	44,27	1569	13,25	808	15,00	42,0	37,1	4,9	4520	9. 67
209	8260	8336	6,66	236	10,14	619	8,76	24,6	28,4	0	1430	9. 67
210	8289	8243	44,16	1565	21,00	1281	14,50	40,6	58,7	0	3330	9. 67
211	8293	8240	17,40	617	20,74	1265	14,68	41,1	58,1	0	2680	9. 67
212	8304	8231	5,87	208	8,42	514	9,70	27,2	23,6	3,6	1370	9. 67
213	8318	8210	1,37	49	5,19	317	8,40	23,5	14,5	9,0	702	9. 67
214	8328	8195	1,01	36	4,75	290	4,86	13,6	13,3	0,3	506	9. 67
215	8326	8172	1,76	62	3,69	225	7,14	20,0	10,3	9,7	583	9. 67
216	8324	8153	1,85	66	9,00	549	9,60	26,9	25,2	1,7	762	9. 67
217	8317	8137	1,22	43	8,31	507	8,92	25,0	23,3	1,7	732	9. 67
218	8322	8120	5,93	210	9,51	580	11,42	32,0	26,6	5,4	—	5. 68
219	8326	8117	1,71	61	6,63	404	8,16	22,8	18,6	4,2	833	5. 68
220	8322	8115	2,22	79	5,72	349	8,54	23,9	16,0	7,9	—	5. 68
221	8220	8117	0,62	22	4,84	295	6,64	18,6	13,6	5,0	601	9. 67
221 a	8330	8105	1,97	70	7,04	429	—	—	19,7	—	892	10. 67
221 b	8339	8100	1,85	66	5,86	357	—	—	16,4	—	791	10. 67
222	8362	8090	1,43	51	4,53	276	5,42	15,2	12,7	2,5	702	10. 67
223	8392	8078	0,31	11	9,51	580	9,58	26,6	26,6	0	756	10. 67
224	8415	8056	0,35	12	8,16	498	8,20	23,0	22,8	0,2	660	10. 67
225	8413	8018	2,42	86	9,22	562	10,76	30,2	25,8	4,4	1000	10. 67

Bohrung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Ent- nahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
226	8384	8030	4,28	126	8,00	488	8,60	24,1	22,4	1,7	1160	5. 68
227	8363	8029	1,59	56	7,27	443	9,80	27,4	20,3	7,1	809	5. 68
228	8342	8020	1,52	54	5,68	346	7,34	20,6	15,9	4,7	637	5. 68
229	8319	8017	5,59	198	12,81	781	13,92	39,0	35,9	3,1	1428	5. 68
230	8300	8006	8,03	285	10,33	630	14,44	40,4	28,9	11,5	1963	5. 68
231	8310	7979	5,57	197	12,84	783	3,32	9,3	36,0	0	1845	5. 68
232	8342	7971	2,67	95	9,01	550	10,08	28,2	25,2	3,0	1166	5. 68
233	8363	7959	1,83	65	6,54	399	10,70	30,0	18,3	11,7	922	5. 68
234	8399	7954	2,57	91	4,89	298	7,74	21,7	13,7	8,0	904	5. 68
235	8421	7953	5,00	177	7,34	448	8,02	22,5	20,6	1,9	1238	5. 68
236	8444	7954	1,22	43	6,11	373	6,38	17,9	17,1	0,8	—	5. 68
237	8444	7960	1,25	44	6,74	395	6,84	19,2	18,1	1,1	—	5. 68
238	8444	7967	1,14	40	7,18	438	8,14	22,8	20,1	2,7	—	5. 68
239	8444	7971	0,59	21	6,61	403	7,76	21,7	18,5	3,2	—	5. 68
240	8478	7957	0,88	31	6,92	422	7,86	22,0	19,4	2,6	732	5. 68
241	8567	7943	0,95	33	7,02	428	9,36	26,2	19,7	6,5	744	5. 68
241 a	8564	7916	0,48	17	6,16	376	7,50	21,0	17,2	3,8	625	5. 68
242	8558	7882	0,38	13	7,21	440	7,76	21,7	20,2	1,5	643	5. 68
243	8549	7858	1,62	57	4,40	268	8,70	24,4	12,3	12,1	744	5. 68
244	8538	7837	0,73	26	6,47	395	6,18	17,3	18,1	0	702	5. 68
245	8540	7807	0,70	25	6,68	407	4,36	12,2	18,7	0	613	5. 68
246	8543	7782	1,32	47	5,64	344	4,80	13,4	15,8	0	821	5. 68
247	8545	7758	1,15	41	4,46	272	4,66	13,0	12,5	0,5	607	5. 68
248	8548	7733	0,86	30	7,15	436	4,58	12,8	20,0	0	619	5. 68
249	8550	7712	1,91	68	10,65	650	10,84	30,4	29,8	0,6	1012	5. 68
250	8511	7681	1,34	48	10,51	641	5,74	16,1	29,4	0	1035	5. 68
251	8496	7631	2,99	106	13,16	803	1,16	3,2	36,8	0	—	5. 68
252	8483	7625	1,68	60	11,96	730	3,74	10,5	33,5	0	1023	6. 68
253	7485	8381	1,69	60	4,35	265	5,56	15,6	12,2	3,4	655	7. 68
254	7500	8376	0,60	13	2,11	129	2,40	6,7	5,9	0,8	249	7. 68
255	7526	8379	1,35	48	2,79	170	3,26	9,1	7,8	1,3	381	7. 68
256	7551	8378	1,52	54	3,45	210	4,62	12,9	9,7	3,2	405	7. 68
257	7579	8378	1,65	58	5,06	309	0,0	0,0	0,0	0,0	476	7. 68
258	7592	8377	2,43	86	5,18	316	5,30	14,8	14,5	0,3	510	10. 68
259	7604	8373	3,12	111	5,58	340	4,52	12,7	15,6	0	595	7. 68
260	7612	8369	5,35	190	4,42	270	4,70	13,2	12,4	0,8	710	10. 68
261	7628	8359	5,76	204	5,97	364	6,36	17,8	16,7	1,1	870	10. 68
262	7633	8350	1,80	64	4,81	293	5,84	16,4	13,5	2,9	536	7. 68
263	7639	8340	4,87	173	6,88	420	8,02	22,5	19,3	3,2	880	10. 68
264	7643	8329	5,23	185	5,20	317	6,50	18,2	14,6	3,6	762	7. 68
265	7646	8319	2,41	85	4,97	303	4,30	12,9	13,9	0	520	10. 68
266	7647	8305	3,16	112	7,37	450	6,88	19,3	20,6	0	730	10. 68
267	7652	8286	2,13	76	4,96	303	5,04	14,1	13,9	0,2	490	10. 68
268	7655	8261	0,73	26	7,32	447	7,46	20,9	20,5	0,4	520	10. 68
269	7620	8363	9,98	353	5,08	310	6,44	18,0	14,2	3,8	1083	10. 68
270	9360	9021	0,68	24	3,22	196	4,48	12,5	9,0	3,5	446	11. 67

Bohrung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Entnahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
271	9364	8990	0,70	25	6,59	402	7,54	21,1	18,5	2,6	595	3. 68
271 a	9354	8991	0,47	17	3,61	220	—	—	10,1	—	348	2. 68
272	9359	8962	0,62	22	6,54	399	7,16	20,0	18,3	1,7	595	2. 68
273	9345	8964	0,41	15	2,97	181	—	—	8,3	—	298	2. 68
274	9353	8945	1,19	42	7,71	470	5,92	16,6	21,6	0	714	3. 68
275	9337	8943	0,49	17	2,78	170	—	—	7,8	—	306	2. 68
275 a	9316	8916	0,44	16	4,88	298	5,90	16,5	13,7	2,8	497	3. 68
276	9305	8894	0,68	24	1,81	110	2,80	7,8	5,1	2,7	333	3. 68
277	9292	8873	0,46	16	4,41	269	—	—	12,3	—	422	2. 68
278	9290	8852	0,84	30	1,44	88	—	—	4,0	—	256	2. 68
279	9279	8822	0,49	17	1,81	110	—	—	5,1	—	265	2. 68
280	9282	8797	0,62	22	1,90	116	—	—	5,3	—	261	2. 68
281	9282	8764	0,65	23	4,98	304	—	—	13,9	—	425	2. 68
282	9288	8744	0,94	33	2,26	138	—	—	6,3	—	289	2. 68
283	9278	8723	0,71	25	7,10	433	—	—	19,9	—	571	2. 68
284	9284	8700	0,55	19	3,92	239	—	—	11,0	—	381	2. 68
285	9282	8678	1,73	61	6,89	420	—	—	19,3	—	637	2. 68
286	9281	8651	1,50	53	3,66	223	—	—	10,2	—	530	2. 68
287	9282	8626	3,51	124	12,13	740	—	—	33,9	—	1160	2. 68
288	9283	8599	0,70	25	8,30	506	—	—	23,2	—	756	2. 68
289	9247	8663	1,77	63	8,85	540	—	—	24,8	—	833	2. 68
290	9249	8636	3,03	107	11,64	710	—	—	32,6	—	1065	2. 68
291	9209	8612	1,77	63	9,72	593	11,22	31,4	27,2	4,2	863	4. 68
292	9225	8611	2,51	89	16,12	983	16,52	46,3	45,1	1,2	1095	4. 68
293	9244	8610	9,51	337	22,86	1394	30,26	84,8	64,0	20,8	2261	4. 68
294	9259	8609	9,44	335	19,00	1159	21,34	59,7	53,2	6,5	2082	4. 68
295	9378	8986	0,60	21	3,93	240	5,92	16,6	11,0	5,6	452	3. 68
296	9392	8984	0,46	16	2,04	124	3,16	8,9	5,7	3,2	256	3. 68
297	9405	8980	0,52	18	1,68	102	2,86	8,0	4,7	3,3	274	3. 68
298	9381	8962	1,22	43	2,44	149	5,28	14,8	6,8	8,0	411	3. 68
299	9377	8938	1,03	37	3,68	224	5,44	15,2	10,3	4,9	428	3. 68
300	9370	8915	1,12	39	3,23	197	5,42	15,2	9,1	6,1	464	3. 68
301	9359	8895	1,36	48	3,74	228	5,20	14,6	10,5	4,1	458	3. 68
302	9343	8878	1,00	35	17,64	1076	15,42	43,2	49,4	0	1041	3. 68
303	9330	8864	4,84	172	10,46	638	13,12	36,8	29,3	7,5	1071	3. 68
304	9323	8842	0,90	32	2,79	170	3,94	11,0	7,8	3,2	354	3. 68
305	9321	8820	0,45	16	1,89	115	2,88	8,1	5,3	2,8	274	3. 68
306	9320	8795	1,07	38	9,23	563	9,08	25,4	25,8	0	803	3. 68
307	9320	8781	5,89	209	16,38	999	15,88	44,5	45,8	0	1532	3. 68
308	9318	8772	8,60	305	23,67	1444	26,12	73,1	66,3	6,8	2142	3. 68
309	9306	8755	0,50	18	1,16	71	2,14	6,0	3,3	2,7	205	4. 68
310	9311	8755	5,32	189	11,56	705	13,64	38,2	32,4	5,8	1214	4. 68
311	9317	8755	62,31	2209	50,26	3066	80,04	224,0	140,7	83,3	7616	4. 68
312	9323	8755	57,59	2042	62,46	3810	84,80	238,0	174,9	63,1	7616	4. 68
313	9329	8755	21,63	767	31,26	1907	47,70	134,0	87,5	46,5	3511	4. 68
314	9333	8755	1,07	38	7,22	440	7,34	20,6	20,2	0,4	541	4. 68
315	9313	8736	18,73	664	18,38	1121	27,60	77,3	51,4	25,9	2796	3. 68

Bohrung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Ent- nahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
316	9309	8723	17,33	614	19,60	1196	20,24	56,7	54,9	1,8	2796	3. 68
317	9310	8700	48,51	1720	21,58	1316	35,48	99,4	60,4	39,0	4939	3. 68
318	9310	8680	0,58	21	14,82	904	12,40	34,7	41,5	0	—	3. 68
319	9310	8659	1,23	44	2,44	149	4,32	12,1	6,8	5,3	417	4. 68
320	9311	8616	2,67	95	25,70	1568	24,88	69,7	71,9	0	161	4. 68
321	9300	8606	1,81	64	10,52	642	—	—	29,5	—	1041	2. 68
322	9302	8579	1,61	57	4,08	249	—	—	11,4	—	583	2. 68
323	9309	8563	3,73	132	9,94	603	—	—	27,8	—	1142	2. 68
324	9343	8584	1,46	52	12,16	742	13,08	36,6	34,0	2,6	1035	4. 68
325	9350	8553	0,90	32	6,00	366	8,40	23,5	16,8	6,7	613	4. 68
326	9329	8558	1,40	50	9,44	576	—	—	26,4	—	857	4. 68
327	9319	8541	4,76	169	8,87	541	—	—	24,8	—	1232	2. 68
328	9313	8517	2,67	95	12,88	786	—	—	36,1	—	1250	2. 68
329	9306	8495	0,35	12	11,16	681	—	—	31,2	—	851	2. 68
330	9296	8475	1,03	37	9,94	606	—	—	27,8	—	928	2. 68
331	9284	8457	0,40	14	5,29	323	—	—	14,8	—	518	2. 68
332	9275	8436	1,83	65	8,90	543	—	—	24,9	—	821	2. 68
333	9266	8417	0,40	14	8,71	531	—	—	24,4	—	655	2. 68
334	9258	8398	0,90	32	12,21	745	—	—	34,2	—	893	2. 68
335	9238	8398	1,00	35	10,18	621	7,60	21,2	28,5	0	1670	10. 68
336	9250	8374	3,31	117	—	—	—	—	—	—	1547	2. 68
337	9243	8355	4,66	165	10,31	629	—	—	28,9	—	1220	2. 68
338	9209	8341	1,71	61	10,42	636	11,52	32,3	29,2	3,1	1012	6. 68
339	9218	8339	1,85	66	8,74	533	10,28	28,8	24,5	4,3	970	6. 68
340	9224	8338	2,35	83	9,44	576	10,64	29,8	26,4	3,4	1100	6. 68
341	9233	8336	8,89	315	12,78	780	13,40	37,5	35,8	1,7	1815	6. 68
342	9238	8334	4,96	176	10,39	634	—	—	29,1	—	1220	2. 68
343	9246	8333	8,13	288	12,14	741	12,72	35,6	34,0	1,6	1726	6. 68
345	9259	8329	1,35	48	11,70	714	11,40	31,9	32,8	0	988	6. 68
346	9268	8329	1,00	35	9,32	569	10,40	29,1	26,1	3,0	875	6. 68
347	9234	8290	1,69	60	8,63	526	—	—	24,2	—	1000	2. 68
348	9231	8263	0,12	4	10,64	649	—	—	29,8	—	1095	2. 68
349	9223	8238	0,94	33	10,66	650	—	—	29,8	—	976	2. 68
350	9188	8237	0,70	25	5,18	316	—	—	14,5	—	565	2. 68
351	9190	8216	0,16	6	3,60	220	—	—	10,1	—	470	2. 68
352	9215	8214	1,18	42	2,19	134	—	—	6,1	—	809	2. 68
353	9191	8188	0,25	9	6,87	419	—	—	19,2	—	619	2. 68
354	9190	8149	0,52	18	6,41	391	—	—	17,9	—	643	2. 68
355	9191	8121	0,12	4	6,81	415	—	—	19,1	—	571	2. 68
356	9181	8087	1,28	45	8,93	545	—	—	25,0	—	750	2. 68
357	9169	8059	0,85	30	9,07	553	—	—	25,4	—	756	2. 68
358	9183	8029	2,00	71	8,81	537	—	—	24,7	—	785	2. 68
359	9170	8012	3,37	119	9,88	603	10,22	28,6	27,7	0,9	1160	6. 68
360	9176	8012	6,13	217	14,80	903	14,48	40,5	41,4	0	1666	6. 68

Bohrung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ + Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Entnahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
361	9182	8012	5,42	192	15,38	938	14,20	39,8	43,1	0	1666	6. 68
362	9190	8010	7,64	271	16,65	1016	—	—	46,6	—	1606	2. 68
363	9188	8012	8,43	299	17,60	1074	17,16	48,0	49,3	—	2083	6. 68
364	9194	8012	5,97	212	13,38	816	15,60	43,7	37,5	6,2	1666	6. 68
365	9200	8012	0,74	26	7,71	470	8,00	22,4	21,6	0,8	720	6. 68
366	9205	8007	0,27	10	5,24	320	5,96	16,7	14,7	2,0	458	6. 68
367	9210	8007	0,21	7	5,25	320	6,08	17,0	14,7	2,3	488	6. 68
368	9218	8007	0,26	9	7,02	428	7,02	19,7	19,7	0	571	6. 68
369	9230	8007	0,26	9	5,89	359	7,02	19,7	16,5	3,2	571	6. 68
370	9239	8006	0,64	23	4,26	260	5,98	16,7	11,9	4,8	512	6. 68
371	9193	7981	5,96	211	9,49	579	—	—	26,6	—	1261	2. 68
372	9200	7954	0,66	23	3,68	224	—	—	10,3	—	405	2. 68
373	9196	7929	1,06	38	5,64	344	—	—	15,8	—	530	2. 68
374	9196	7895	0,79	28	4,48	273	—	—	12,5	—	470	2. 68
375	9198	7864	0,58	21	6,31	385	—	—	17,7	—	500	2. 68
376	9192	7840	1,45	51	7,44	454	—	—	20,8	—	601	2. 68
377	9182	7809	12,93	458	21,63	1319	—	—	60,6	—	2201	2. 68
378	9165	7790	1,68	60	4,47	273	7,20	20,2	12,5	7,7	655	5. 68
379	9171	7791	0,91	32	7,07	431	6,82	19,1	19,8	0	809	5. 68
380	9177	7791	6,01	213	14,24	868	13,52	37,9	39,9	0	1499	5. 68
381	9183	7791	5,50	195	13,00	793	13,16	36,8	36,4	0,4	1490	5. 68
382	9189	7791	7,25	257	16,40	1000	14,68	41,1	45,9	0	1850	5. 68
383	9194	7791	9,77	346	22,16	1352	19,96	55,9	62,0	0	2260	5. 68
384	9181	7781	13,84	491	23,62	1440	—	—	66,1	—	2260	2. 68
385	9230	7335	1,25	44	4,32	264	—	—	12,1	—	488	2. 68
386	9224	7308	1,95	69	7,79	475	—	—	21,8	—	649	2. 68
387	9218	7279	2,27	80	9,31	568	—	—	26,1	—	797	2. 68
388	9180	7749	2,02	72	8,68	529	—	—	24,3	—	857	2. 68
389	9149	7716	0,22	8	4,81	293	—	—	13,5	—	547	10. 67
390	9125	7708	1,03	37	5,14	314	—	—	14,4	—	518	10. 67
391	9101	7701	1,72	61	1,90	116	—	—	5,3	—	428	10. 67
392	9084	7686	0,40	14	6,07	370	—	—	17,0	—	530	10. 67
393	9065	7670	3,48	123	13,35	815	—	—	37,4	—	1238	10. 67
394	9051	7649	1,83	65	13,66	833	—	—	38,2	—	1310	10. 67
395	9048	7629	1,28	45	8,74	533	—	—	24,5	—	881	10. 67
396	9040	7608	3,02	107	4,65	284	—	—	13,0	—	839	10. 67
397	9022	7601	5,10	181	8,58	523	—	—	24,0	—	1070	10. 67
398	8992	7578	1,60	57	4,72	288	—	—	13,2	—	559	10. 67
399	8950	7560	2,85	101	11,23	685	—	—	31,0	—	1140	10. 67
400	8927	7533	1,30	46	4,17	254	—	—	11,7	—	559	10. 67
401	8909	7517	2,22	79	5,99	365	—	—	16,8	—	816	10. 67
402	8890	7497	4,40	156	—	—	—	—	—	—	898	10. 67
403	8906	7449	2,32	82	5,78	353	8,30	23,2	16,2	7,0	726	5. 68
404	8898	7422	4,40	156	6,58	401	11,52	32,3	18,4	13,9	952	5. 68
405	8892	7396	0,77	27	4,40	268	5,24	14,7	12,3	2,4	482	5. 68

Boh- rung Nr.	Lage		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Leitf. µS	Datum d. Ent- nahme
	Rechts 34+	Hoch 55+	mval/l	mg/l	mval/l	mg/l	mval/l					
406	8887	7365	0,07	2	4,64	283	5,38	15,1	13,0	2,1	476	5. 68
407	8874	7344	6,40	227	5,68	346	11,88	33,3	15,9	17,4	1160	5. 68
408	8881	7310	1,95	69	12,40	756	11,96	33,5	34,7	0	1310	5. 68
409	8855	7325	5,32	189	14,50	885	12,24	34,3	40,6	0	1730	5. 68
410	8826	7321	11,91	422	15,44	942	17,24	48,3	43,2	5,1	2140	5. 68
411	8799	7320	3,54	125	6,90	421	11,76	32,9	19,3	13,7	970	5. 68
412	8748	7325	0,77	27	6,61	403	7,68	21,5	18,5	3,0	625	5. 68
413	8773	7319	0,84	30	6,09	371	7,34	20,6	17,1	3,5	613	5. 68
414	9559	7854	0,30	11	—	—	—	—	—	—	—	11. 67
415	9541	7831	0,70	25	—	—	—	—	—	—	—	11. 67
416	9519	7821	0,42	15	—	—	—	—	—	—	—	11. 67
417	9501	7805	0,26	9	—	—	—	—	—	—	—	11. 67
418	9485	7792	2,18	77	—	—	—	—	—	—	—	11. 67
419	9466	7783	10,56	374	2,54	155	6,58	18,4	7,1	11,3	1220	6. 68
420	9440	7773	6,67	236	2,63	160	4,70	13,2	7,4	5,8	988	6. 68
421	9413	7763	1,97	70	6,31	385	3,60	10,1	17,7	7,6	666	6. 68
422	9388	7356	1,10	39	4,30	262	2,84	8,0	12,0	0	684	6. 68
423	9370	7753	2,65	94	8,96	547	9,92	27,8	25,1	2,7	1040	6. 68
424	9361	7749	16,64	590	16,76	1022	17,16	48,0	46,9	1,1	2560	6. 68
425	9358	7741	7,32	259	22,52	137	26,40	74,0	63,0	11,0	2260	11. 67
426	9342	7739	9,05	321	9,44	576	10,18	28,5	26,4	2,1	1560	6. 68
427	9350	7759	2,18	77	4,92	300	5,98	16,7	13,8	2,9	583	11. 67
428	9346	7751	6,16	215	9,55	583	10,26	28,7	26,7	2,0	1250	11. 67
429	9319	7750	0,80	28	4,43	270	4,28	12,0	12,4	0	405	11. 67
430	9292	7749	7,74	274	10,84	661	12,18	34,1	30,4	3,7	1430	11. 67
431	9269	7746	13,25	470	13,55	827	15,16	42,4	37,9	4,5	2080	11. 67
432	9246	7743	12,55	445	14,72	898	14,68	41,1	41,2	0	2080	11. 67
433	9221	7736	13,17	467	17,86	1089	18,42	51,6	50,0	1,6	2260	11. 67
434	9198	7729	0,41	15	4,99	304	—	—	14,0	—	393	10. 67
435	9178	7724	0,05	2	2,33	142	—	—	6,5	—	274	10. 67
436	8330	6951	0,81	29	6,91	422	8,66	24,4	19,4	4,8	702	10. 68
437	8348	6933	0,88	31	8,10	494	7,18	20,1	22,7	0	863	6. 68
438	8354	6911	1,39	49	6,10	372	8,72	24,4	17,1	7,3	773	6. 68
439	8370	6885	0,78	28	7,20	439	7,16	20,0	20,2	0	920	6. 68
440	8380	6860	1,53	54	7,08	432	9,92	27,8	19,8	8,0	830	6. 68
441	8391	6838	4,92	174	12,10	738	14,12	39,5	33,9	5,6	1460	6. 68
442	8402	6823	4,83	171	10,82	660	11,58	32,4	30,3	2,1	1310	6. 68
443	350352	8010	0,27	10	5,63	343	5,62	15,7	15,8	0	434	11. 67
444	350341	7971	0,08	3	2,66	162	3,10	8,6	7,4	1,2	244	11. 67
445	350320	7952	0,85	30	3,11	190	3,50	9,8	8,7	1,1	303	11. 67
446	350316	7928	0,11	4	1,70	104	2,04	5,7	4,8	0,9	179	11. 67
447	350314	7929	0,32	11	3,03	185	3,44	9,6	8,5	1,1	333	11. 67
448	350302	7910	2,02	72	1,56	95	2,62	7,3	4,4	2,9	321	11. 67
449	350295	7895	5,15	183	1,97	120	2,54	7,1	5,5	1,6	654	11. 67
450	350297	7874	1,05	37	2,67	163	3,24	9,1	7,5	1,6	327	11. 67

Hydrogeologische Untersuchungen im Einzugsgebiet der oberen Gleen (Hessen)

Von

LUTZ SCHEWE *

Mit 7 Abbildungen und 3 Tabellen

Kurzfassung: Die hydrogeologischen Verhältnisse im Gebiet der oberen Gleen (nördlicher Vogelsberg) werden beschrieben, wobei besonders auf den Trockenwetterabfluß und die Flußdichte eingegangen wird.

Abstract: The hydrogeological conditions in the region of the upper Gleen (northern Vogelsberg, Hessen) are described; specially discussed are the dry-weather runoff and the drainage density.

Inhalt

1.	Allgemeine Übersicht	159
2.	Geologische Übersicht	161
3.	Gewässerkunde und Hydrogeologie	162
3.1.	Wasserscheiden	162
3.2.	Gewässer	164
3.3.	Flußdichte	164
3.4.	Abfluß und Abflußdichte	168
3.5.	Grundwasserleiter und Quellen	174
4.	Chemismus der Quell- und Bachwässer	177
5.	Zusammenfassung	178

1. Allgemeine Übersicht

Das untersuchte Gebiet (Abb. 1) umfaßt das obere Einzugsgebiet der Gleen von der Quelle bis zum Pegel Lehrbach. Es liegt auf dem E-Teil des Bl. 5220 Kirtorf. Verwaltungsmäßig gehört es in den Westteil des ehemaligen Landkreises Alsfeld, Reg.-Bez. Darmstadt, Land Hessen.

Das Arbeitsgebiet ist ein Teil der etwa 340 m über NN liegenden Hochfläche zwischen dem Basaltgebiet des Vogelsberges im S und dem Buntsandsteingebiet der Frankenberg-Bucht im N. Nach E wird es durch den Basaltvorsprung des Vogelsberges in Richtung N gegen das Tertiärgelände um Alsfeld begrenzt. Die höchste Erhebung liegt im N

*) L. SCHEWE, Dipl.-Geologe, 6232 Neuenhain i. Ts., Am Schellberg 13.

in den Moosäckern N des Dachsberges mit 385,5 m über NN. Die tiefste Stelle liegt an der unteren Grenze des Gebietes im Gleental bei 233 m über NN.

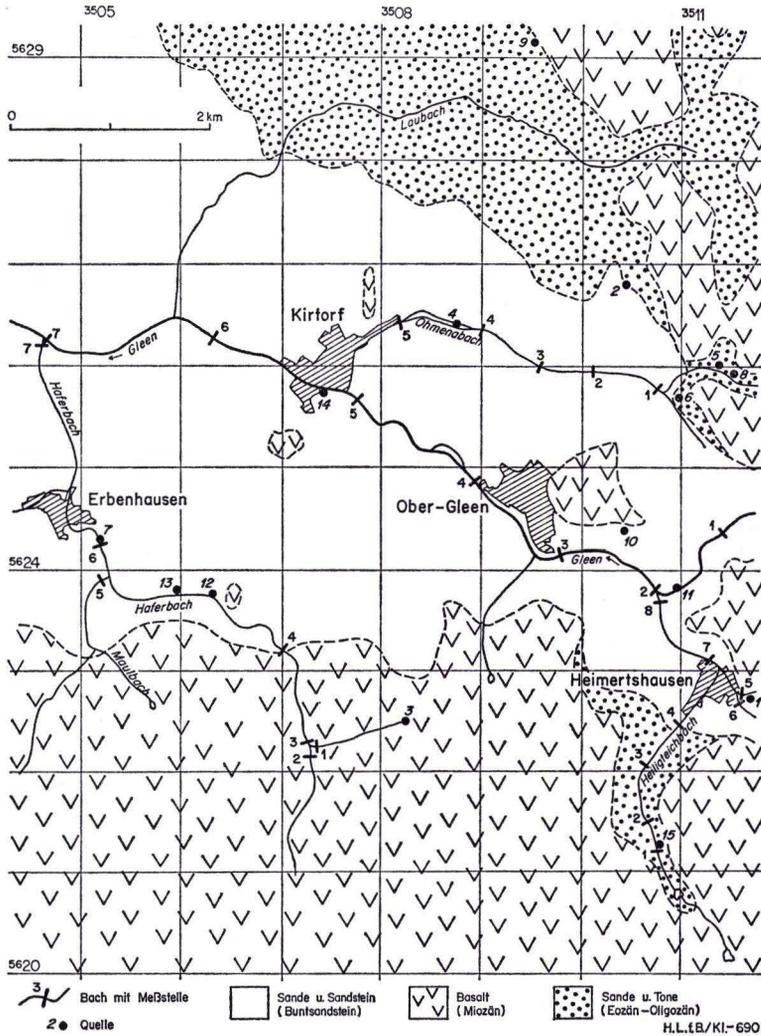


Abb. 1. Geologische Übersichtskarte.

Das Basalt- und Tertiargebiet im N-Teil wird beinahe ausschließlich forstwirtschaftlich genutzt. Die Buntsandsteinlandschaft des Mittel- und S-Teils ist weitgehend in landwirtschaftlicher Nutzung, das große Basaltgebiet im S ist wiederum Waldgebiet.

2. Geologische Übersicht

Die ältesten Gesteine, die über Tage anstehen, gehören dem Buntsandstein an (Abb. 1). Der Schichtkomplex wird aufgebaut von der „Wechselfolge“ des Unteren Buntsandsteins, der Eichsfeld-Folge und der Rhön-Folge. Der Untere Buntsandstein streicht im Taleinschnitt N vom Biessenrod in der äußersten NE-Ecke des Blattes aus. Die Eichsfeld-Folge wird im Tal der Gleen und des Ohmenabachs angeschnitten, die Rhön-Folge liegt im Mittel- und S-Teil des Gebietes und baut weitgehend die Hochfläche auf.

Mittlerer Buntsandstein

Rhön-Folge	Wechselfolge	Dünne Sandsteinbänke zwischen schwach tonhaltigen, gebänderten Sanden
	Grobsandstein	Mittel- bis grobkörnige, kompakte Sandsteinbänke mit hohem Kaolinanteil im Zwischenmittel
Eichsfeld-Folge	<i>Avicula</i> -Sandstein	Gut ausgebildete dünnplattige, sehr feste quarzitische Sandsteine mit bankigen Sandsteinzwischenlagen
	Wechselfolge	Plattige, untergeordnet bankige, glimmerreiche Sandsteine mit Tonzwischenlagen
	Grobsandstein	Kompakte mittel- und grobkörnige Sandsteine

Unterer Buntsandstein

Wechselfolge	Dünnplattige Sandsteine mit Tonstein und Tonglimmerlagen
Sandsteinfolge	Kompakte Sandsteine
Brückelschiefer	Tiefrote Letten

Über dem Buntsandstein folgt, durch ein Geröllband getrennt, direkt das Tertiär mit Älterer Sand- und Tonserie des Obereozäns bis Unteroligozäns und Schleichsande des Mitteloligozäns. Die Ältere Sand- und Tonserie baut den N-Teil des Blattes auf, die Schleichsandserie mit Sanden und Tonen findet sich in einer Grabenzone im Dippergrund im Gebiet der Schweinsborste in NE des Gebietes.

Die Basalte des Miozäns sind die jüngsten anstehenden Gesteine. Sie nehmen das gesamte südliche Gebiet des Einzugsgebietes ein und streichen als langer Zug am E-Rand von S nach N. Als Einzelvorkommen treten sie bei Kirtorf und Obergleen hervor.

Quartäre periglaziale Bildungen treten im Einzugsgebiet in Form von Blockströmen und -bestreuungen, Solifluktions- und Würgeböden und als Löß auf. Blockbestreuung findet sich im Bereich der tertiären Schichten und der Basaltvorkommen. Solifluktions- und Würgeböden sind durch die Landwirtschaft weitgehend verwischt. Der Löß ist aber über das gesamte Gebiet verbreitet. Er liegt allerdings nicht mehr als reiner Löß vor, sondern ist durch Entkalkung zu Lößlehm geworden, der auch mit Material der unterlagernden Schichten vermenget ist. Stärker angehäuft findet sich der Lößlehm auf den N- und NE-Hängen, weniger stark auf den S- und SW-Hängen. Holozäne Auenlehme finden sich in den Tälern.

Das wichtigste tektonische Element im Einzugsgebiet der Gleen ist die Verlängerung des Momberger Grabens nach S im E des Gebietes. Wie durch Kartierung festgestellt werden konnte, liegt offenbar eine fiedrige Ablösung des Momberger Grabens im N und des Lauterbacher Grabens im S vor, hervorgerufen durch den von N sich zwischen-schiebenden Schlierbacher Graben (Abb. 2).

Neben der in egyptischer Richtung verlaufenden Grabenzone findet man im Buntsandsteingebiet Störungen rheinischer Richtung. Sie gliedern den Buntsandstein in kleine Schollen, die gegeneinander versetzt und gekippt sind. Hierdurch sind die Schichten des Buntsandsteins im Mittel um etwa 10° geneigt.

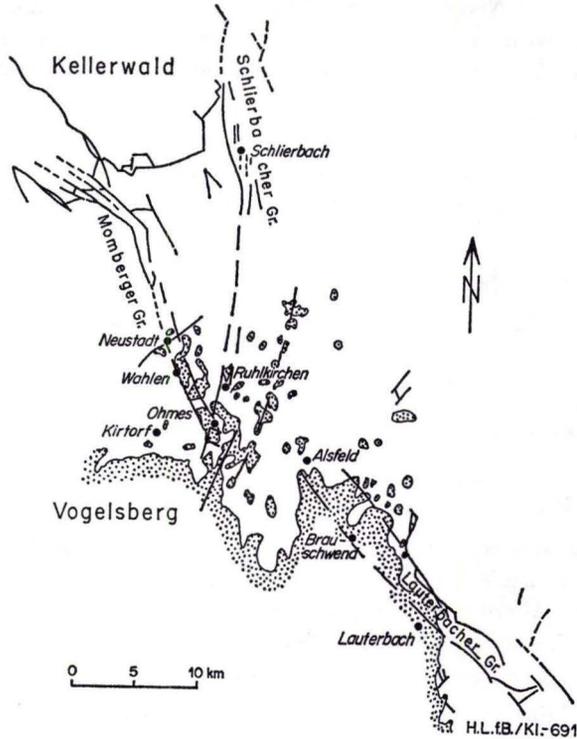


Abb. 2. Tektonik und Basaltverteilung zwischen Lauterbacher und Momberger Graben.

3. Gewässerkunde und Hydrogeologie

3.1. Wasserscheiden

Der östliche Basaltvorsprung bildet die Wasserscheide zwischen der Gleen im W und der Antrift im E. Die Gleen entwässert über Ohm und Lahn in den Rhein, die Antrift über Schwalm, Eder, Fulda in die Weser. Die südliche Wasserscheide zwischen Gleen und Felda, einem Nebenfluß der Ohm, wird gebildet durch die Basalterhebungen Hirtenwiesenkopf, Steinrück, Meierbachkopf und Mehlbacher Kopf. Die nördliche Wasserscheide zwischen Gleen im S und Joßklein, einem Nebenbach der Klein (Gleen), der erst außerhalb des betrachteten Gebietes in die Klein (Gleen) mündet, beginnt im E

im Biessenrod, zieht nach NW in die Moosäcker zum Dachberg und biegt nach SW in Richtung Lehrbach um. Die Wasserscheiden, die das Einzugsgebiet der Gleen begrenzen, sind Wasserscheiden 4. Ordnung. Die Wasserscheiden 5. und 6. Ordnung zwischen Nebenbächen der Gleen überziehen in großer Zahl das Gebiet. Die wichtigsten Wasserscheiden sind in Abb. 3 dargestellt.

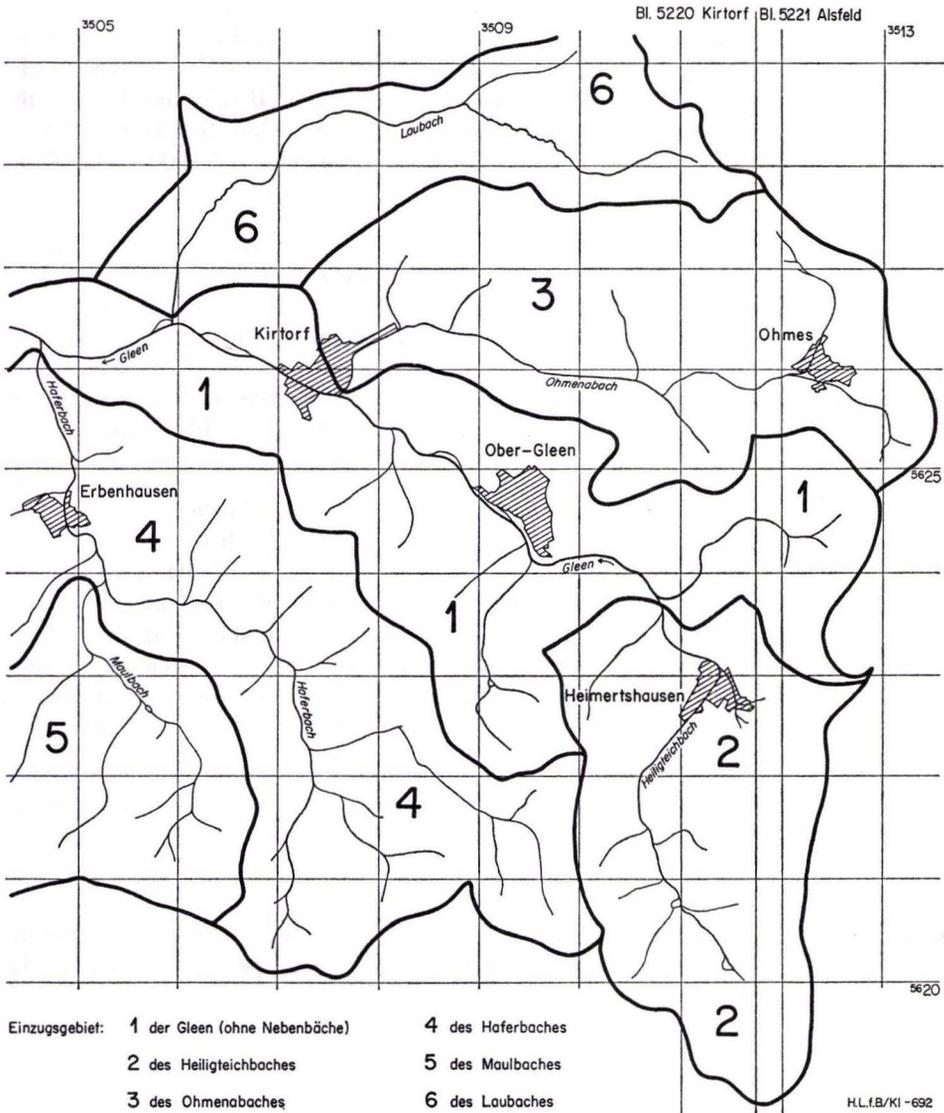


Abb. 3. Einzugsgebiete im Oberlauf der Gleen.

3.2. Gewässer

Das untersuchte Einzugsgebiet der Gleen verläßt bei Lehrbach am Pegel das Untersuchungsgebiet und entwässert über Ohm (Mündung der Gleen [hier Klein genannt] bei Kirchhain, Kr. Marburg) und Lahn zum Rhein. Der Trockenwetterabfluß, gemessen am Pegel Lehrbach, liegt bei 90 l/s, der Mittelwasserabfluß bei 165 l/s, der Hochwasserabfluß beträgt über 600 l/s (der Schreibpegel registriert nur bis 600 l/s).

Die Gleen fließt durchweg durch landwirtschaftlich genutztes Gebiet. Der Untergrund des Baches ohne Nebenbäche wird im Oberlauf vom Basalt und ab Einmündung des Heiligenteichbaches bis Lehrbach von Buntsandstein aufgebaut. Das Längsprofil der Gleen, dargestellt in Abb. 4, zeigt ein relativ steiles Gefälle im Bereich des Basaltes und verflacht sich beim Eintritt in das Buntsandsteingebiet. Auf einer Strecke von 9,5 km zwischen Quelle und Pegel Lehrbach beträgt der Höhenunterschied 100 m, was einem mittleren Gefälle von 10,5 ‰ entspricht.

Der Ohmenabach ist der größte Nebenbach der Gleen mit einem Trockenwetterabfluß von 11,8 l/s. Der Bach fließt ausschließlich durch landwirtschaftlich genutztes Gebiet. Sein 12,3 km² großes Einzugsgebiet (Niederschlagsgebiet) wird zu einem Drittel von Basalt, über einem Drittel von Buntsandstein und knapp einem Drittel von tertiären Sedimenten aufgebaut. Der Bach mündet in Kirtorf in die Gleen. Sein Gefälle im Basaltgebiet liegt bei 20 ‰, es verflacht sich im sedimentären Tertiär auf 5,2 ‰ und zeigt auch vom Übergang Basalt/Buntsandstein eine Verflachung auf 10,7 ‰ (Abb. 4). Das mittlere Gefälle beträgt 13 ‰.

Der Heiligenteichbach hat die zweitgrößte Trockenwetterabflußmenge mit 8,6 l/s der Nebenbäche. Er fließt im Oberlauf durch Waldgebiet, sonst durch landwirtschaftliches Gebiet. Das 9,7 km² große Einzugsgebiet wird im Oberlauf durch Basalt, im Mittel- und Unterlauf durch Tertiärsedimente und Buntsandsteinschichten aufgebaut. Auch hier ist das Gefälle im Bereich der Basalte, die schwer zu erodieren sind, steil. Im leicht zu erodierenden sedimentären Tertiär sinkt das Gefälle auf 4,8 ‰ ab. Der etwas widerstandsfähigere Buntsandstein zeigt ein Gefälle von 10,9 ‰. Bei einer Laufstrecke von 4,6 km und 55 m Höhendifferenz ist das mittlere Gefälle 12 ‰.

Der Haferbach führt von den größeren Seitenbächen der Gleen am wenigsten Wasser, sein Trockenwetterabfluß beträgt 6,7 l/s. Das von Basalten aufgebaute Niederschlagsgebiet im Oberlauf ist forstwirtschaftlich genutzt. Das Buntsandsteingebiet des Unterlaufs nimmt die Landwirtschaft ein. Der Haferbach, hervorgegangen aus zwei Quellbächen, mündet bei Lehrbach in die Gleen. Wie aus dem Längenprofil in Abb. 4 ersichtlich, ist die Neigung des Baches im Basaltgebiet steiler als im Unterlauf im Buntsandsteingebiet. Bei einer Länge von 7,4 km und einem Höhenunterschied von 67 m ist das Gefälle im Mittel 9,1 ‰.

3.3. Flußdichte

Von primärer Bedeutung für die Gestaltung der Morphologie eines Gebietes ist nicht so sehr die Erodierbarkeit der Gesteine an der Oberfläche als das Verhalten der Gesteine

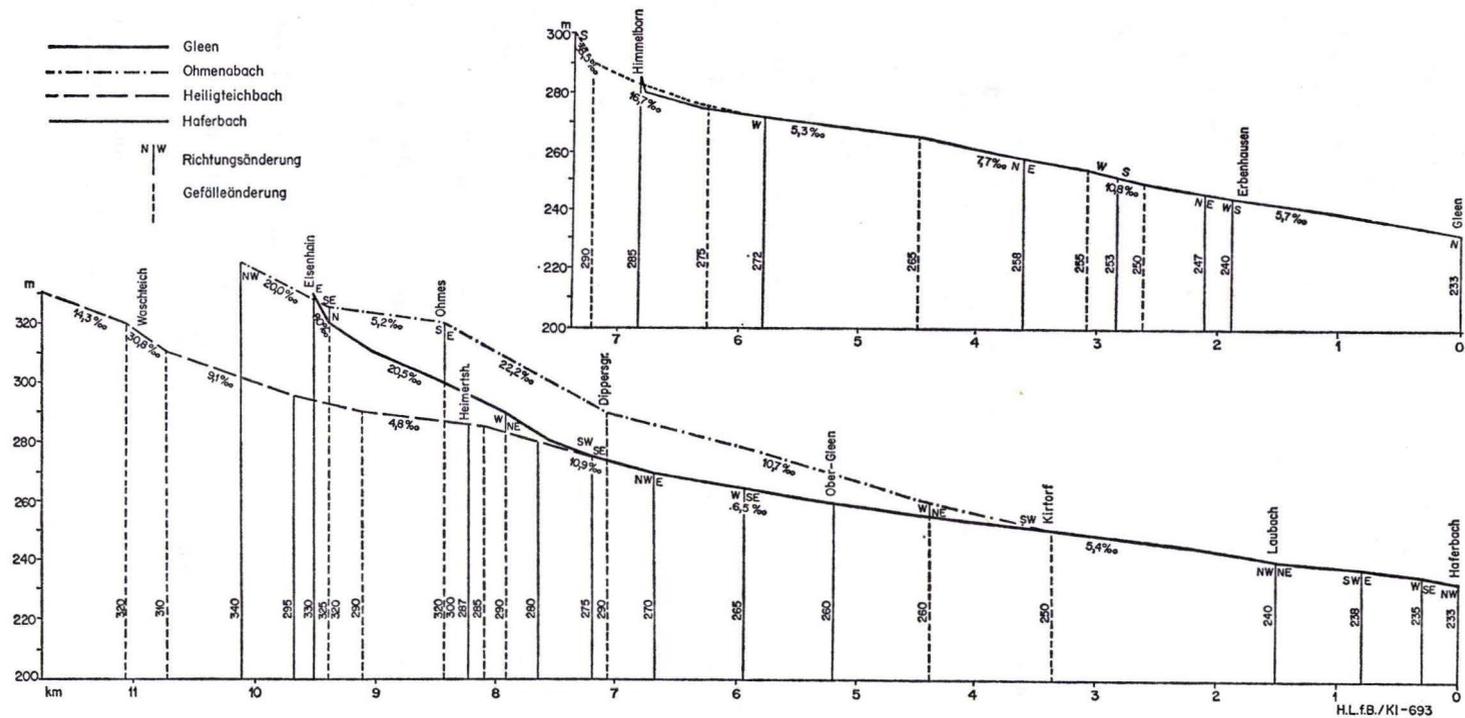


Abb. 4. Längsschnitt des Haferbaches, der Gleen, des Ohmenabaches und des Heiligenteichbaches.

und ihrer Verwitterungsdecken gegenüber dem Niederschlagswasser. Wasserdurchlässigkeit und Speichervermögen der Gesteinsverbände bestimmen die Verteilung des Niederschlagswassers, welches nicht durch Verdunstung verlorengeht, auf den ober- oder unterirdischen Abfluß. Hohe Aufnahmefähigkeit des Untergrundes verringert den oberirdischen Abfluß. Mit Verringerung des oberirdischen Abflusses geht auch die Erosionswirkung des Oberflächenabflusses zurück, und eine geringere Anzahl von Wasserläufen genügt, um das Wasser abzuführen.

Die Wasserdurchlässigkeit eines Gesteinsverbandes wird bestimmt durch das nutzbare Porenvolumen und das freie Volumen in Klüften und Schieferungen. Freies Porenvolumen wie auch Permeabilität eines Gesteinsverbandes lassen sich durch Versuche bestimmen. Die Wasseraufnahmefähigkeit des Untergrundes läßt sich aber nur schwer für ein Einzugsgebiet bestimmen.

Es hat sich gezeigt, daß mit der Bestimmung der Flußdichte brauchbare Hinweise über die Aufnahmefähigkeit des Untergrundes in einem Einzugsgebiet gewonnen werden können. Die Flußdichte ist das Verhältnis der Gewässerlängen aller eine Fläche durchfließenden Gewässer zur Größe dieser Fläche. Die Dimension der Flußdichte ist km/km^2 . Bei gleichen Niederschlagsmengen, gleicher Verdunstung und gleichem natürlichem Bewuchs zur Zeit der morphologischen Bildungen — was in einem eng begrenzten Einzugsgebiet gegeben ist — ist die Flußdichte allein abhängig von der Aufnahmefähigkeit des Untergrundes. Vernachlässigt werden muß das morphologische Gefälle. Da aber ursprünglich am Beginn der morphologischen Ausbildung mit keinem Gefälle zu rechnen ist und sich das Gefälle erst aufgrund der Niederschlagsmenge, die nicht vom Untergrund aufgenommen werden konnte, ausbildete, kann auch das Gefälle vernachlässigt werden.

Betrachtet man das Gewässernetz im untersuchten Einzugsgebiet der Gleen, so tritt der Gegensatz zwischen den wenigen Wasserläufen im N des Gebietes und den relativ vielen Wasserläufen im S deutlich hervor. Die quantitative Auswertung der Flußdichte ist in Abb. 5 wiedergegeben. Die Zahlen in den Quadraten geben die Flußdichte bezogen auf 1 km^2 Fläche an. Die Kreise beziehen sich auf die Flußdichte einer Fläche von 4 km^2 . Ein Vergleich der Flußdichtekarte mit der geologischen Karte zeigt folgendes Bild:

Die höchste Flußdichte finden wir im Basaltgebiet im S. Bezogen auf 4 km^2 liegt die Flußdichte zwischen 1,5 und $2,0 \text{ km}/\text{km}^2$. Bezogen auf 1 km^2 liegen die Werte zwischen 0,3 und $2,8 \text{ km}/\text{km}^2$.

Die hohe Flußdichte zeigt die schlechte Aufnahmefähigkeit des basaltischen Untergrundes. Schnell sind die engen Abkühlungsklüfte, die z. T. hydrothermal verheilt sind, gefüllt, die Aufnahmefähigkeit ist erschöpft, und das Niederschlagswasser fließt an der Oberfläche in vielen kleinen Wasserläufen ab.

Unterschiedliche Werte der Flußdichte über den Basalten sind bedingt durch die Verschiedenheit der Basalte und der Lage der Basalte zu anderen, durchlässigeren Schichten.

So finden wir geringere Flußdichten über Trappbasalten mit größerem nutzbarem Hohlraumgehalt. Im NE des Gebietes wird die Basaltdecke von geringer Mächtigkeit durch aufnahmefähige Tertiärsande unterlagert. Dadurch steigt anscheinend die Aufnahmefähigkeit des Basaltes, d. h. die Flußdichte nimmt ab.

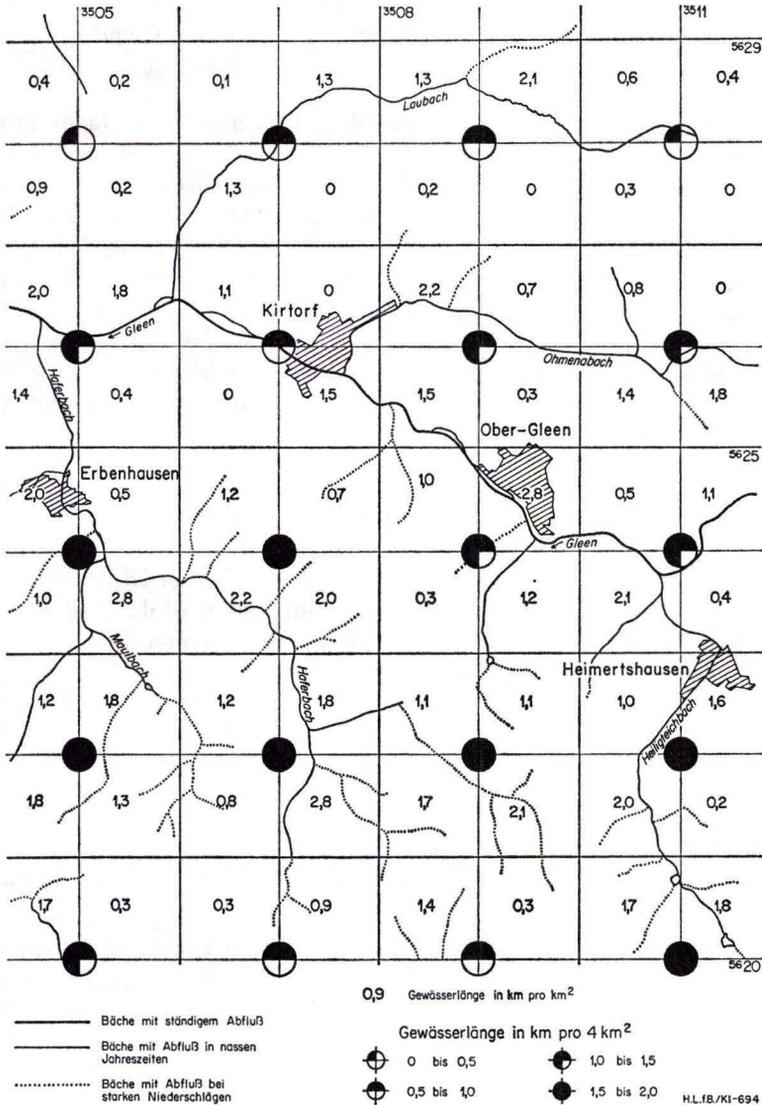


Abb. 5. Flußdichten im oberen Einzugsgebiet der Gleen.

Die Flußdichte im Buntsandsteingebiet liegt zwischen 0,5 und 1,4 km/km² bezogen auf 4 km² und zwischen 0 und 2,2 km/km² bezogen auf 1 km². Im aufnahmefähigeren Buntsandstein liegt naturgemäß die Flußdichte niedriger als im Basalt. Unterschiede treten auf bedingt durch tonige Zwischenlagen in den Sandsteinen in unterschiedlichen Tiefen unter der Oberfläche.

Die niedrigsten Werte der Flußdichte finden sich, wie nicht anders zu erwarten, im Gebiet der gut durchlässigen tertiären Schichten. Lediglich bei starkem Hervortreten toniger Schichten steigt auch hier die Flußdichte. Für die Fläche von 4 km² wurden Flußdichten zwischen 0 und 0,9 km/km², für 1 km² zwischen 0 und 2,1 km/km² gemessen.

Es zeigte sich, daß die Berechnungsmethode mit einem starren Quadratnetz bei zu klein gewählten Bezugsflächen stärkere Unterschiede zwischen den einzelnen Flächen ergibt als bei größeren Bezugsflächen. Bei kleineren Bezugsflächen fallen Zufälligkeiten wesentlich stärker ins Gewicht als bei großen. Starre Netze haben darüber hinaus den Nachteil, daß in einem Quadrat z. B. unterschiedliche Gesteine den Untergrund aufbauen. Daher wurde in einem zweiten Verfahren die Flußdichte in Abhängigkeit der Gesteine untersucht, indem als Bezugsflächen Einzugsgebiete von Abflußmeßstellen gewählt wurden. Die Abflußmeßstellen wurden so gewählt, daß das Einzugsgebiet weitgehend nur eine Gesteinsgruppe enthält. Nach diesem Verfahren ergab sich eine Flußdichte von 1,46 km/km² für Basalt, 0,95 km/km² für Buntsandsteingebiete und 0,98 km/km² für Gebiete mit sedimentärem Tertiär.

3.4. Abfluß und Abflußdichte

Da der oberirdische Abfluß weitgehend eine direkte Folge der Niederschläge und der Verdunstung im einzelnen wie im langjährigen Mittel ist, wird der Abfluß für ein Beobachtungsjahr in Abhängigkeit von Niederschlag und Verdunstung untersucht. Die Jahreslinien sind in Abb. 6 aufgetragen.

Deutlich tritt hervor, daß vor allem die Verdunstung in Abhängigkeit von der Temperatur einen Einfluß auf den Abfluß hat. Dem Wintermaximum des Niederschlages im Dezember mit einem leichten Anstieg des Abflusses folgt ein Abflußminimum, da das Niederschlagswasser weitgehend als Schnee festgehalten wird. Erst Ende Februar folgt der höchste Abfluß. In dieser Zeit fließen Niederschlagswässer und Schmelzwässer fast völlig im Gewässer ab. Gefrorener und bereits feuchtigkeitsgesättigter Untergrund und fehlendes Wachstum führen zu oberirdischem Abfluß im Gegensatz zum Dezember, wo der Untergrund noch Niederschlagswasser aufnehmen konnte. Vom November bis Februar spielt die Verdunstung fast keine Rolle. Das Sommermaximum des Niederschlages im Juni macht sich im Abfluß gar nicht bemerkbar, da die Niederschläge fast vollkommen von der aktiven und passiven Verdunstung verbraucht werden. Auch die hohen Niederschläge durch Gewitter im August lassen den Abfluß nur begrenzt ansteigen, da immer noch der überwiegende Teil verdunstet. Erst mit Absinken der Verdunstung ab September steigt der Abfluß trotz geringerer Niederschläge wieder an.

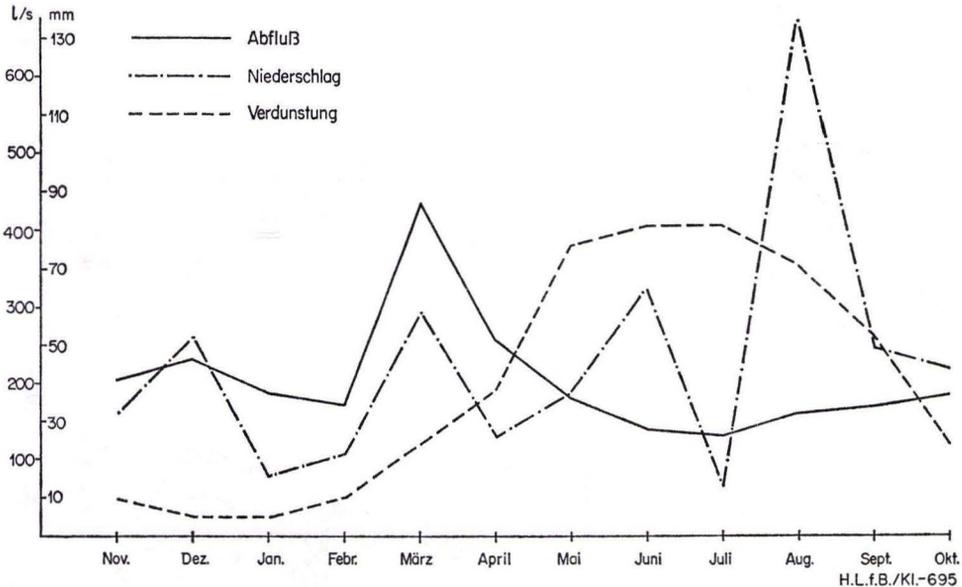


Abb. 6. Beispiel einer Jahresganglinie für Abfluß, Niederschlag und Verdunstung (Jahr 1963) im oberen Einzugsgebiet der Gleen, gemessen an der Wetterstation Kirtorf und dem Pegel Lehrbach.

Kurven mit den täglichen Mengen von Verdunstung, Niederschlägen und Abflüssen zeigten, daß Niederschläge geringerer Stärke oder Niederschläge über mehrere Tage keine oder nur geringe Abflußspitzen zur Folge haben. Besonders bei längeren Niederschlägen tritt nur eine leichte Erhöhung des Abflusses ein. Sehr auffällig war, daß z. B. nach Niederschlagsspitzen infolge von starken Gewittern während einer Trockenzeit im Mittel erst nach 4 Tagen eine Spitze im Abfluß erschien. Etwa 4 Tage braucht der Niederschlag, der vom Untergrund aufgenommen wird und über das Grundwasser zum Vorfluter zufließt, bis er am Ende des betrachteten Einzugsgebietes der Gleen am Pegel Lehrbach in Erscheinung tritt.

Die Abflußspende (Zuwachsspende) q in $l/s km^2$ eines Gebietes ist der Abflußzuwachs in l/s (dQ) gegenüber der nächsten oberhalb gelegenen Meßstelle bezogen auf den Zuwachs des Niederschlagsgebietes in km^2 (dF) gegenüber der nächsten oberhalb gelegenen Einzugsfläche der Meßstelle.

Sind für wassertechnische Untersuchungen die Hochwasserabflußspenden erforderlich, so wird für hydrogeologische Untersuchungen die Trockenwetterabflußspende herangezogen. Der Trockenwetterabfluß wird allein aus dem Grundwasser gespeist, die Trockenwetterabflußspende ist somit zugleich die Grundwasserabflußspende eines betrachteten Gebietes.

Die Untersuchungen der Trockenwetterabflußspende wurden für das Einzugsgebiet der Gleen, das dem durch Oberflächenwasserscheiden begrenzten Niederschlagsgebiet

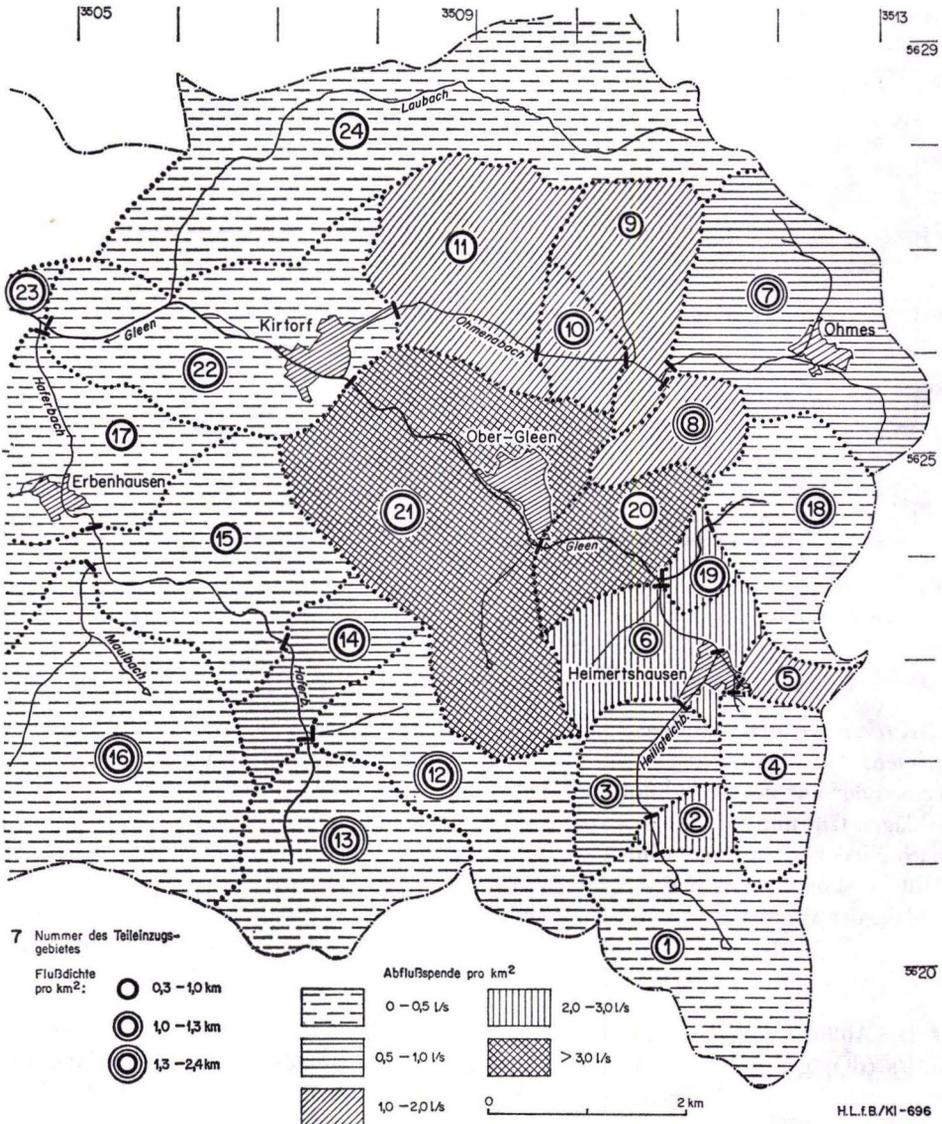


Abb. 7. Abflußspenden und Flußdichten einzelner Einzugsgebiete im oberen Einzugsgebiet der Gleen auf Bl. Kirtorf (E-Teil).

entspricht, am Ende einer ausgedehnten Trockenwetterperiode Anfang September 1964 durchgeführt. Die Teileinzugsgebiete der Meßstellen wurden so gewählt, daß sie weitgehend nur eine Gesteinsformation beinhalten. Die Niederschläge der vorangegangenen Monate betragen: Juni 30,9 mm, Juli 30,9 mm, August 44,0 mm, davon in der letzten Dekade des August 7,2 mm.

Die Ergebnisse der Trockenwetter-(Grundwasser-) Abflußspenden in Teileinzugsgebieten der Gleen mit Nebenbächen sind in Tab. 1 tabellarisch und in Abb. 7 dargestellt. Deutlich zeigten sich Unterschiede in den Abflußspenden in Abhängigkeit vom geologischen Aufbau des Untergrundes. Einzugsgebiete mit basaltischem Untergrund haben kleine Abflußspenden:

Fläche 1 + 2	0,33 l/s km ²
Fläche 4	0,39 l/s km ²
Fläche 12 + 13	0,19 l/s km ²
Fläche 16	0,21 l/s km ²
Fläche 18 + 19	0,36 l/s km ²

Aus dem Tertiärgebiet konnten keine Trockenwetterabflüsse gemessen werden, da alles dem Untergrund einfließende Niederschlagswasser an tieferliegende Buntsandsteinschichten abgegeben wird.

Einzugsgebiete mit Buntsandsteinuntergrund zeichnen sich i. a. durch eine hohe Abfluß-(Grundwasser-)spende aus.

Fläche 6	2,18 l/s km ²
Fläche 10	1,93 l/s km ²
Fläche 11	1,84 l/s km ²
Fläche 15	0,24 l/s km ²
Fläche 17	0,34 l/s km ²
Fläche 20	8,87 l/s km ²
Fläche 21	6,74 l/s km ²
Fläche 22 + 23	0,13 l/s km ²

Unterschiede in den Abflußspenden des Buntsandsteins sind bedingt durch die Tiefenlage stauender Tonzwischenlagen zur Gewässersohle. Liegt die stauende Schicht wenig unter der Gewässersohle und sind die Schichten noch zum Gewässer hin geneigt, so ist mit hohen Abflußspenden zu rechnen, liegt die stauende Schicht wesentlich tiefer als die Gewässersohle, so kann nur ein Teil des Grundwassers ausfließen und die Abflußspende ist gering. Auch ist die Abflußspende gering, wenn die stauende Schicht über der Gewässersohle liegt und vom Gewässer fortgeneigt ist.

Aus den Untersuchungen kann generell geschlossen werden, daß die Trockenwetter, (Grundwasser-) Abflußspende aus Basaltgebieten mit im Mittel 0,5 l/s km² um etwa eine Zehnerpotenz niedriger liegt als die aus Buntsandsteingebieten mit Werten von im Mittel 2,9 l/s km².

Wie bereits unter 3.3. ausgeführt, besteht auch eine Abhängigkeit der Flußdichte als Ausdruck für den oberirdischen Abfluß vom geologischen Aufbau mit seiner spezifischen Aufnahmefähigkeit von Niederschlagswasser.

Für den Zusammenhang Trockenwetterabfluß und Flußdichte eines Einzugsgebietes besteht die Beziehung: Große Trockenwetterabflußspende gleich kleine Flußdichte und umgekehrt. (Zu beachten ist, daß in der Gewässerkunde mit der Betrachtung von Hochwasserabflußspenden die Beziehung lautet: Hohe Hochwasserabflußspende gleich hohe Flußdichte.) Diese Beziehung beruht darauf, daß eine hohe Trockenwetterabflußspende eine große Grundwasserneubildungskapazität durch genügend große Aufnahmefähigkeit des Speichergesteins bedingt. Große Aufnahmefähigkeit des Untergrundes heißt, daß der größere Teil des nach der Verdunstung verbleibenden Niederschlagswassers in das Grundwasser abfließt und der oberirdische Abfluß gering ist. Damit sinkt die Flußdichte. Für das Untersuchungsgebiet ergaben sich folgende Beziehungen:

Basaltgebiete

Fläche	Abflußspende	Flußdichte
1 + 2	0,33 l/s km ²	1,02 km/km ²
3	0,65 l/s km ²	1,22
4 + 5	0,72 l/s km ²	0,39
7	0,68 l/s km ²	2,38
7 + 8	0,75 l/s km ²	1,66
12 + 13	0,19 l/s km ²	1,52
16	0,21 l/s km ²	1,30
18 + 19	0,36 l/s km ²	1,09
Mittelwert	0,49 l/s km ²	1,32

Buntsandsteingebiete

Fläche	Abflußspende	Flußdichte
6	2,18 l/s km ²	1,12 km/km ²
9	1,05 l/s km ²	0,62
10	1,93 l/s km ²	1,08
11	1,84 l/s km ²	0,94
15 + 17	0,29 l/s km ²	0,79
20	8,87 l/s km ²	0,87
21	6,74 l/s km ²	1,15
22 + 23	0,13 l/s km ²	1,05
Mittelwert	2,90 l/s km ²	0,95

Aus der Flußdichte eines Gebietes läßt sich demnach unter Berücksichtigung der geologischen Schichten in etwa die Größenordnung des Trockenwetterabflusses und damit die Grundwasserabgabe und Grundwasserneubildung angeben.

Bei einem bekannten Verhältnis für eine geologische Schichtfolge zwischen Flußdichte und Abflußspende, wie z. B. in unserem Untersuchungsgebiet für den Basalt von 3/1 und für den Buntsandstein von 1/3 lassen sich bei Abweichungen von diesem Verhältnis Besonderheiten im Untergrund analysieren. Soweist z. B. eine Vergrößerung der Abflußspende gegenüber dem Mittelwert auf ein unterirdisches Einzugsgebiet der Abflußmeßstelle hin, das größer als das Niederschlagsgebiet ist. Kleinere Abflußspenden als erwartet weisen auf nur teilweise Abgabe des Grundwassers an den Vorfluter hin, bedingt durch tiefliegende stauende Schichten.

Tab. 1. Abflußspenden der oberen Gleen und ihrer Nebenbäche
(Lage der Meßstellen s. Abb. 1)

Meß- stelle	Einz. gebiet	Datum	Temp. °C	Q l/s	ΔQ l/s	F ² km ²	q l/s km ²	Fd km/km ²	Geol. Aufbau	Bemerkung
Heiligenteichbach				8,60	8,60	9,69	0,88	—	B, T, S	
1	1	31. 8.	10,7	0,22	0,22	3,44	0,06	0,93	B	
2	2	31. 8.	9,6	1,00	0,78+0,3	0,50	2,26	—	B	WE. H
	1+2	—	—	1,00	1,30	3,94	0,33	1,02	B	
3	—	31. 8.	10,0	1,24	0,24	—	—	—	B, T	
4	3	1. 9.	10,0	2,30	1,06	1,64	0,65	1,22	B, T	
5	5	1. 9.	8,5	0,87	0,87	0,49	1,78	—	B	
6	4	1. 9.	11,0	0,59	0,59	1,53	0,39	—	B	
—	4+5	—	—	1,46	1,46	2,02	0,72	0,39	B	
7	1 b 5	—	—	3,76	3,76+0,3	7,60	0,53	—	B, T	WE. H
8	6	1. 9.	12,0	8,60	4,84—0,3	2,09	2,18	1,12	S	WA. H
Ohmenabach				11,76	11,76	12,72	0,93	0,92	B, S	
1 a	7	1. 9.	9,6	1,00	1,0+2,0	4,43	0,68	2,38	B	WE. O, OG
1 b	8	1. 9.	10,3	0,90	0,9+1,0	1,08	1,75	0,65	B	WE. K
2	7+8	—	—	1,90	4,90	6,51	0,75	1,66	B	
3	9	1. 9.	11,0	4,10	2,20	2,09	1,05	0,62	S	
4	10	1. 9.	9,3	5,7	1,60	0,83	1,93	1,08	S	
5	11	1. 9.	9,3	11,76	6,06	3,29	1,84	0,94	S	
Haferbach				6,7	6,7	26,12	0,39	1,36	B, S	
1	12	2. 9.	11,3	0,55	0,55	3,42	0,16	—	B	
2	13	2. 9.	10,2	0,70	0,70	3,20	0,20	—	B	
3	12+13	—	—	1,25	1,25	6,62	0,19	1,52	B	
4	14	2. 9.	10,8	2,10	1,40	1,63	0,86	1,23	B	
5	16	2. 9.	12,2	1,70	1,70	8,16	0,21	1,30	B	
6	15	2. 9.	12,5	5,00	1,20	4,99	0,24	—	S	Zf. M
7	17	2. 9.	12,4	6,70	1,70	5,00	0,34	—	S	WE. WAE
—	15+17	—	—	—	2,90	9,99	0,29	0,79	S	
Gleen				95,0	95,0	80,41	1,18	—	B, T, S	
1	18	2. 9.	17,2	0,30	0,30	3,06	0,10	0,66	B	
2	19	2. 9.	13,7	1,3	1,00	0,43	2,33	—	B, S	
—	18+19	2. 9.	—	1,3	1,30	3,49	0,36	1,09	B, S	
3	—	—	—	9,90	9,90	13,14	0,75	—	B, T, S	Zf. HT
4	20	2. 9.	13,0	24,00	14,10	1,59	8,87	0,87	S	
5	21	2. 9.	10,2	74,00	49,9—1	7,41	6,74	1,15	S	WA. OG
6	—	—	—	85,76	85,76	35,82	2,39	—	B, T, S	Zf. Ob
7	22+23	2. 9.	—	88,30	2,54—1	11,61	0,13	1,05	S	WA. K
Laubach										
	24	2. 9.	—	0,00	0,00	8,30	0,00	0,98	T	

q = Abflußspende, ΔQ = Abflußmenge, Q = Abflußzuwachs, F = Einzugsgebiet, Fd = Flußdicke, WE. = Wasserentnahme, WA. = Wasserabgabe, Zf. = Bachzufluß, H = Heimertshausen, O = Ohmes, OG = Ober-Gleen, K = Kirtorf, M = Maulbach, E = Erbenhausen, HT = Heiligteichbach, Ob = Ohmenabach, B = Basalt, T = Tertiär, S = Buntsandstein.

Für das gesamte untersuchte Einzugsgebiet der Gleen von der Quelle bis zum Pegel Lehrbach ergab sich für ein normales Jahr folgende Wasserbilanz (Beobachtungsjahr 1963/64): An der Wetterstation Kirtorf (Höhe 270 m über NN) ergab sich bei einer mittleren Jahrestemperatur von $7,5^{\circ}\text{C}$ ein Jahresniederschlag von 553 mm. Der Gesamtabfluß aus dem Einzugsgebiet, gemessen am Pegel Lehrbach, betrug unter der Voraussetzung, daß das oberirdische Einzugsgebiet gleich dem unterirdischen Einzugsgebiet ist $204\text{ l/s} = 78\text{ mm/a}$. Der gemessene Trockenwetter-(Grundwasser-)Abfluß betrug $90\text{ l/s} = 34,4\text{ mm/a}$. Da man voraussetzen kann, daß kein Grundwasser aus dem Einzugsgebiet in andere Gebiete abfließt, entsprechen die $34,4\text{ mm/a}$ Grundwasserabfluß dem unteren Grenzwert der Grundwasserneubildung. Aus der Differenz zwischen gemessenem Abfluß am Pegel Lehrbach und dem jährlichen Grundwasserabfluß ergibt sich der oberirdische Abfluß zu $43,6\text{ mm/a}$. Setzt man die einfache Beziehung Abfluß = Niederschlag minus Verdunstung an, so ergibt sich für die Verdunstung ein Jahresmittelwert von 475 mm.

3.5. Grundwasserleiter und Quellen

Als Grundwasserleiter hat der Mittlere Buntsandstein die größte Bedeutung im Untersuchungsgebiet. Sande und mürbe Sandsteine mit wenig tonigem Bindemittel verfügen über großen nutzbaren Porenraum, zumal ein sehr einheitlicher Kornaufbau im Mittelsandbereich vorherrscht. Bei festen Sandsteinen ist eine gute Durchlässigkeit und Speicherkapazität durch die gut ausgebildeten Klüfte gegeben. Wie bereits vorher beschrieben, konnte die gute Wasseraufnahmefähigkeit der Buntsandsteinschichten durch relativ hohe Abflußspenden und geringen Flußdichtewert nachgewiesen werden. Unterschiede in der Wasserdurchlässigkeit der Buntsandsteinschichten ergeben sich durch petrographische Unterschiede. So bilden feinkörnige und tonige Lagen vor allem in den Wechselfolgen Sohlschichten von Grundwasserhorizonten.

Quellen treten im Buntsandsteingebiet nur wenige auf. Durch die flache Morphologie bedingt, sind keine Quellhorizonte ausgebildet. Das Grundwasser tritt vorwiegend in breiten Wasseraustritten kurz oberhalb der Talsohlen als Art Schichtquellen aus oder als Grundquellen in die Bäche über.

Die Schüttung der Buntsandsteinquellen wurde bei Trockenwetter gemessen:

Quelle 4	0,3 l/s	Lage: E Spitzmühle bei Kirtorf, im Ohmenabachtal
Quelle 7	2,0 l/s	Lage: Pumpwerk SE Erbenhausen, am Haferbach
Quelle 14	0,3 l/s	Lage: Alte Dorfquelle von Kirtorf, an Brücke über Gleen

Bei den folgenden Quellen konnte der Abfluß nicht gemessen werden, da der Wasseraustritt in Quelltümpeln ohne klaren Abfluß erfolgt:

Quelle 11	Lage: S Gemarkung Dörrbusch, im Gleental
Quelle 12	Lage: SW Kälbeberg, im Haferbachtal
Quelle 13	Lage: W Quelle 12

Die Quellschüttungen dürfen nicht zur Beurteilung der Grundwasserabgabe herangezogen werden, da der Buntsandstein in vielen nicht erfaßbaren Wasseraustritten das Grundwasser abgibt.

Die Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit der Tertiärschichten ist unterschiedlich. Die Sande der Älteren Sand- und Tonserie haben eine sehr gute Durchlässigkeit und Speicherkapazität durch ihr hohes nutzbares Porenvolumen. Die Tone dieses Schichtkomplexes wie auch die schluffig-sandigen Schichten des Schleichsand, Melanientons und Rupeltons sind aufgrund ihrer petrographischen Beschaffenheit schlechte Grundwasserleiter und -speicher. Zwischen den Sanden des Tertiärs wirken diese Schichten als Sohlsschichten.

Quellen in Tertiärschichten konnten im Untersuchungsgebiet nicht erfaßt werden, da bei flacher Morphologie keine Quellhorizonte im Gebiet angeschnitten waren. Das Grundwasser fließt nach unten in die aufnahmefähigen Buntsandsteinschichten ab.

Wenn auch die Basalte des Tertiärs im Untersuchungsgebiet eine geringere Wasseraufnahmefähigkeit besitzen als die Buntsandsteinschichten, wie die Untersuchungen über Abflußspende und Flußdichte ergaben, so sind die Basalte im Untersuchungsgebiet doch ein wichtiger Wasserspeicher.

In den Basalten bewegt sich das Wasser wie bei den festen Sedimentgesteinen auf den Klüften. Unterschiede treten auf durch Klufthäufigkeit und Kluftabstand. Die Klüfte sind in den Basalten vorwiegend Abkühlungsklüfte, die nicht wie in den Sedimentgesteinen auftretende tektonische Klüfte durch mehrere Schichten durchziehen. Abkühlungsklüfte einer Richtung treten nur in einer Basaltdecke auf. Die nächste hat bereits anders gelagerte Abkühlungsklüfte. Damit wird die Wasserdurchlässigkeit vermindert. Hinzu kommen zwischen den einzelnen Basaltergüssen tonige Verwitterungslagen und weniger gut durchlässige Tufflagen.

Den für die Wasserführung und Speicherfähigkeit wichtigsten Basalttyp stellen die Basaltergüsse dar, die reich an Fugen und Klüften in vertikaler und horizontaler Ausdehnung sind. Trappbasalte und Basaltschlacken besitzen weniger Abkühlungsklüfte, trotz scheinbar großem Porenvolumen ist die Speicherkapazität gering, da die Poren zum größten Teil geschlossen sind, und durch ihren mürben Charakter werden sie leichter von zirkulierenden Wässern zu tonigem Material verwittert, wodurch die Durchlässigkeit zurückgeht.

Basaltquellen treten im Untersuchungsgebiet bevorzugt am Rande von Basaltdecken aus, wo stauende Schichten den Basalt unterlagern oder eine stauende Schicht zwischen zwei Basaltdecken das Grundwasser zum Austritt zwingt.

Folgende Basaltquellen wurden festgestellt und ihr Trockenwetterabfluß gemessen:

Quelle 1	0,7 l/s	Lage: E Ortsausgang Heimertshausen, Richtung Zell
Quelle 2	0,1 l/s	Lage: W Gemarkung Kuhstrauch, N Obergleen

Quelle 3	0,6 l/s	Lage: Himmelborn W Krippen Platte, Jagen 87/99
Quelle 5	4,5 l/s	Lage: Quelfassung von Obergleen und Ohmes, N Schweinsborste
Quelle 6	4,7 l/s	Lage: Quelfassung Kirtorf im Dippersgrund
Quelle 8	gering	Lage: Neben Quelfassung Quelle 5
Quelle 9	gering	Lage: NW Gemarkung Köpfel
Quelle 10	gering	Lage: E Obergleen, Ortsausgang an der B 62
Quelle 15	2,1 l/s	Lage: Quelfassung NW Waschteich am Heiligteichbach

Die Quellschüttung der Basaltquellen ist höher als die Buntsandsteinquellen, da das Grundwasser konzentriert in einzelnen Quellen austritt, im Gegensatz zum Buntsandstein, wo das Grundwasser an vielen Stellen austritt.

Der im Untersuchungsgebiet in großer Ausdehnung auftretende Lößlehm ist aufgrund seines Kornaufbaus schlecht durchlässig. Aufgenommenes Niederschlagswasser vermag er lange zu halten und gibt es dann direkt über die Pflanzen durch Verdunstung an die Atmosphäre ab. An das Grundwasser gibt er nur wenig ab. Auf die Grundwasserneubildung wirkt der Lößlehm hemmend.

Tab. 2. Chemismus der Quellen (Lage s. Abb. 1) im oberen Einzugsgebiet der Gleen

Quelle	pH	GH °d	KH °d	NKH °d	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	KMnO ₄ mg/l	Typ	Lage	Datum
1	7,2	10,1	7,8	2,3	20,0	32,9	13,6	B	Ldw	3. 1. 64
2	6,8	8,6	7,3	1,3	16,0	27,5	5,5	B	Fdw	1. 8. 63
3	7,2	9,6	9,0	0,6	13,0	22,6	2,5	B	Fdw	5. 8. 63
4	6,8	2,5	1,4	1,1	14,5	43,2	0,9	S	Fdw	15. 8. 63
5	7,2	9,3	8,8	0,5	15,5	24,6	6,6	B	Ldw	16. 8. 63
6	6,8	9,3	6,8	2,5	20,0	26,9	11,7	B	Ldw	16. 8. 63
7	6,6	5,7	4,2	1,5	20,5	24,7	16,0	S	Ldw	14. 10. 63
8	7,0	9,1	6,2	2,9	19,0	55,5	3,6	B	Ldw	16. 8. 63
9	7,0	8,7	7,0	1,7	20,5	39,1	3,8	B	Ldw	14. 10. 63
10	6,9	7,2	4,5	2,7	21,5	37,1	9,6	B	Ldw	14. 10. 63
11	5,2	7,1	2,8	4,3	27,0	45,2	30,4	S	Ldw	3. 1. 64
12	5,7	7,5	5,6	1,9	13,0	32,9	9,2	S	Fdw	3. 1. 64
13	5,8	9,0	5,6	3,4	28,0	51,4	41,7	S	Ldw	3. 1. 64
14	5,9	6,0	5,1	0,9	24,0	22,6	0	S	Ldw	15. 8. 64
15	7,0	10,4	10,0	0,4	12,0	10,3	0	B	Fdw	1. 9. 64

B = Basaltquelle, S = Buntsandsteinquelle, Ldw = Landwirtschaftlich genutztes Gebiet, Fdw = Forstwirtschaftlich genutztes Gebiet.

Tab. 3. Chemismus der Gleen und ihrer Nebenbäche (Lage der Meßstellen s. Abb. 1)

	Entnahme- stelle	pH- Wert	GH °d	KH °d	NKH °d	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	KMnO ₄ mg/l	Lage	Datum
Heiligen- teichbach	1	7,2	6,4	3,9	2,5	20,0	59,0	26,2	Fdw	16. 8. 63
	2	7,0	8,4	4,6	3,8	31,0	41,2	25,3	Ldw	16. 8. 63
	3	7,4	9,7	8,9	0,8	18,0	22,6	16,7	Ldw	16. 8. 63
	4	6,7	8,7	7,3	1,4	17,0	16,4	12,6	Ldw	16. 8. 63
Ohmenabach	1	7,0	9,3	7,8	1,5	21,5	16,4	3,8	Ldw	16. 8. 63
	2	7,2	9,3	7,7	1,6	24,5	16,5	3,8	Ldw	16. 8. 63
	3	6,9	9,2	7,6	1,6	23,0	18,5	11,2	Ldw	16. 8. 63
	4	6,7	8,8	7,3	1,5	20,0	24,7	11,8	Fdw	16. 8. 63
	5	6,8	8,0	6,2	1,8	20,0	24,7	9,8	Fdw	16. 8. 63
	6	6,9	8,0	6,7	1,3	21,0	26,7	11,1	Ldw	16. 8. 63
Haferbach	1	6,6	9,1	8,1	1,0	14,0	20,6	9,2	Fdw	3. 1. 64
	2	6,8	9,0	8,1	0,9	13,0	20,6	8,9	Fdw	3. 1. 64
	3	7,2	8,0	6,7	1,3	12,0	24,7	8,2	Fdw	3. 1. 64
	4	6,4	6,5	4,8	1,7	15,0	20,6	21,5	Ldw	3. 1. 64
	5	6,4	6,1	4,2	1,9	17,5	22,6	22,8	Ldw	3. 1. 64
	6	7,2	6,8	6,2	0,6	18,5	22,6	8,9	Ldw	3. 1. 64
Maulbach		7,3	9,4	6,4	3,0	22,0	18,5	11,7	Ldw	3. 1. 64
Gleen	1	7,0	8,6	6,2	1,4	15,5	31,9	24,4	Ldw	3. 1. 64
	2	6,9	8,7	6,9	1,8	16,0	20,4	19,6	Ldw	3. 1. 64
	3	7,0	8,2	6,7	1,5	18,0	14,4	14,2	Ldw	3. 1. 64
	4	7,3	8,3	7,7	0,6	25,0	16,4	12,3	Ldw	3. 1. 64
	5	6,8	7,9	6,7	1,2	18,5	18,5	9,8	Ldw	3. 1. 64
	6	6,9	8,6	7,1	1,5	20,0	20,6	11,0	Ldw	3. 1. 64
	7	7,3	7,6	6,3	0,9	17,5	22,6	9,2	Ldw	3. 1. 64
	8	7,4	7,2	6,2	1,0	18,0	22,6	9,9	Ldw	3. 1. 64

Ldw = Landwirtschaftlich genutztes Gebiet, Fdw = Forstwirtschaftlich genutztes Gebiet.

4. Chemismus der Quell- und Bachwässer

Um den Einfluß der unterschiedlichen Gesteinsgruppen (Buntsandsteinfolge, Basalte) auf den Chemismus der Wässer zu erkennen, wurden alle Quell- und Bachwässer, um nur den Grundwasserabfluß zu erfassen, in Trockenperioden der Jahre 1963/64 auf die

wichtigsten Komponenten: pH-Wert, Chlorid, Sulfat und Kaliumpermanganatverbrauch untersucht.

Wie aus Tab. 2 u. 3 hervorgeht, konnten Unterschiede zwischen Buntsandstein- und Basaltwässern nur in den pH-Werten und in der Härte gefunden werden. Buntsandsteinwässer zeigen pH-Werte unter 7,0 und Gesamthärten unter 9,0° d. Basaltwässer dagegen zeigen pH-Werte über 7,0 und Gesamthärten über 9,0° d.

Stärkere Unterschiede im Chemismus der einzelnen Meßstellen werden bedingt durch die Lage zu land- oder forstwirtschaftlich genutztem Gebiet oder zu Siedlungen. So sind bei Quellen im landwirtschaftlich genutzten Gebiet die Chloridwerte mit im Mittel 21,6 mg/l und die Sulfatwerte mit 36,0 mg/l höher als die Chloridwerte mit im Mittel 13,7 mg/l und die Sulfatwerte mit 27,3 mg/l im Mittel an Quellen in forstwirtschaftlichen Gebieten. Der Einfluß der Siedlungen auf den Chemismus der Wässer zeigt sich deutlich in der Zunahme der Chlorid-, Sulfat- und Kaliumpermanganatverbrauchswerte in den Bächen mit Annäherung an die Ortschaften.

5. Zusammenfassung

Im obersten Einzugsgebiet der Gleen wurden hydrogeologische Unterschiede der 3 im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Gesteinskomplexe: Sandsteine und Wechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins, Ältere Sand- und Tonserie und Schleichsandserie des Obereozäns mit Mitteloligozäns und die Basalte des Miozäns, herausgearbeitet.

Untersuchungen über die Flußdichte und die Trockenwetterabflußspenden der Bäche gaben Aufschluß über die Grundwasserneubildung im Buntsandstein und im Basalt.

Größere Unterschiede im Chemismus der Wässer in Buntsandstein- und Basaltgebieten zeigten sich nicht. Lediglich pH-Wert und Gesamthärte bieten geringe Unterscheidungsmöglichkeiten. Änderungen im Chlorid- und Sulfatgehalt zwischen einzelnen Meßstellen zeigten deutlich den Einfluß der Düngung in landwirtschaftlich genutzten Gebieten gegenüber Waldgebieten.

Geologisch-hydrologische Kartierung im Gebiet des Grabens von Neuengronau und Mottgers

Von

HANS-ROBERT WAGNER *

Mit 3 Abbildungen, 5 Tabellen und Tafel 2

Kurzfassung: Der Mittlere und der Obere Buntsandstein in Schwellenfazies wurden nach dem rhythmischen Gliederungsprinzip neu gegliedert. Nach der Kartierung setzt sich der Graben von Neuengronau in südlicher Richtung über das Kartiergebiet hinaus mit verändertem Baustil fort. Eine Quellkartierung und Reihenuntersuchungen an 4 ausgewählten Quellen gaben Aufschlüsse über den Grundwasserkörper im Kartiergebiet.

Abstract: The Mittlerer and the Oberer Buntsandstein at a swell are stratigraphically divided by the principle of rhythmic sedimentation. The geological mapping shows the continuation of the graben of Neuengronau in an varied tectonic stile south of the surveyed area. A mapping of springs and serial investigations of 4 springs demonstrated the conditions of the groundwater in that region.

Inhalt

1. Einleitung	180
2. Stratigraphie	180
2.1. Trias	180
2.1.1. Mittlerer Buntsandstein	180
2.1.2. Oberer Buntsandstein	183
2.1.3. Muschelkalk	184
2.1.4. Keuper	184
2.2. Tertiär	185
2.3. Quartär	185
3. Tektonik	185
4. Rutschmasse des Keupers	186
5. Hydrogeologie	187
5.1. Quellkartierung und Wasserhaushalt	187
5.2. Physikalisch-chemische Wasseruntersuchungen	189
5.2.1. Untersuchungen bei der Probenahme	192
5.2.2. Chemische Untersuchungen	194
6. Zusammenfassung	196
7. Schriftenverzeichnis	197

*) H.-R. WAGNER, Dipl.-Geologe, 7715 Bräunlingen 2, Guggenmühle.

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist ein überarbeiteter Auszug aus der unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. NÖRING in den Jahren 1967 — 1970 angefertigten Diplomarbeit des Autors.

Das Kartiergebiet erstreckt sich vom SE-Abschnitt des Bl. 5623 Schlüchtern bis zum NE-Abschnitt des Bl. 5723 Altengronau der TK 25 im Gebiet des Grabens von Mottgers und Neuengronau. Die anstehenden Gesteine gehören dem Mittleren bis Oberen Buntsandstein und dem Tertiär an. Im tektonischen Graben sind noch Gesteine aus dem Muschelkalk und dem Unteren Keuper erhalten.

Bei der Neubearbeitung sollte nun der Buntsandstein, der zuletzt in den Jahren 1909 — 1911 von v. SEYFRIED nach dem Stand der damaligen Erkenntnisse grob gegliedert worden war, entsprechend der rhythmischen Gliederung (GUNZERT 1954, 1958; HERRMANN 1956; KUPFAHL 1958; LAEMMLEN 1958, etc.) in seiner Schwellenfazies am SE-Rand der Rhönschwelle (BACKHAUS 1968; BACKHAUS & REUL 1971) möglichst detailliert kartiert werden. Das von BOIGK (1952, 1956, 1959) und von v. GAERTNER (1956) entwickelte Gliederungsprinzip nach rhythmischen Sedimentationseinheiten muß in einer Schwellenregion auf Schwierigkeiten stoßen, weil dort die pelitischen Anteile in der Regel durch Psammite ersetzt werden oder ganz ausfallen. Die Gliederung der so verwischten rhythmischen Sedimentationsabfolge konnte daher auch nur unter Zuhilfenahme aller lithologischen und textuellen Merkmale durchgeführt werden (DIEDERICH & LAEMMLEN 1968).

2. Stratigraphie

2.1. Trias

Das Kartiergebiet wird im wesentlichen aus Gesteinen der Trias aufgebaut, denen nur am Steinfirst Tone und Basalte aus dem Tertiär aufliegen. Die Gesamtmächtigkeit der vorkommenden triassischen Gesteine vom Mittleren Buntsandstein bis zum Unteren Keuper beträgt ca. 480 m. Davon befinden sich aber nur noch die 280 m des Buntsandsteins in der ursprünglichen Lagerung. Da sich die bearbeitete Stratigraphie in das Gliederungsschema des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung gut einfügt, wurde dieses übernommen.

2.1.1. Mittlerer Buntsandstein

Die relativ widerstandsfähigen Gesteine des Mittleren Buntsandsteins sind 180 — 190 m mächtig und bilden die steilen Berghänge zu beiden Seiten der Flußtäler.

2.1.1.1. Eichsfeld-Folge (smE)

Die Mächtigkeit der Eichsfeld-Folge wurde von WAGNER (1970) mit 100 — 110 m angenommen, wovon 25 — 30 m auf den basalen Sandstein entfallen und 70 — 75 m auf die Wechselfolge. Nach BACKHAUS & REUL (1971) wurde in der Wasserbohrung von Neuengronau im Liegenden jedoch nicht der Eichsfeld-Sandstein angetroffen, sondern nur der untere Grobsandsteinhorizont der Wechselfolge. Danach müßte die Mächtigkeit der Wechselfolge 90 — 95 m betragen.

Der Eichsfeld-Sandstein zeichnet sich besonders durch große Bankmächtigkeiten aus, die bis zu 7,50 m erreichen. Die Korngrößen reichen vom feinen Mittelsand bis zum Feinkies, wobei der Rundungsgrad von fein nach grob zunimmt. Verkieselungen treten nur vereinzelt auf. Dafür neigen die Sandsteine häufiger zum Absanden. Die Farben sind schmutzig braunrot bis schwach violett. 15 — 20 % sind weiß gebändert. In Lesesteinen wurden runde Reduktionsflecken von 1 — 3 mm ϕ beobachtet. Kaolinierte Feldspäte sind selten. Glimmer in fein verteilter Form ist dagegen immer zu finden. Tongallen von 1,5 — 5,0 cm Größe treten häufig auf Bankober- und -unterseiten auf. 6 m unter der Hangendgrenze wurden Grabspuren beobachtet.

Die Eichsfeld-Wechselfolge liegt aus der Wasserbohrung Neuengronau bis auf die oberen 10 m gekernt vor und ist deshalb am besten bekannt. Im Gelände ist die Wechselfolge durch tiefe Hohlwege gekennzeichnet.

Die Anteile an Ton- und Schluffstein betragen im Kernmaterial 12 %. Von einer Wechselfolge i. e. S. kann demnach kaum noch gesprochen werden. Dennoch unterscheidet sich die Eichsfeld-Wechselfolge ganz eindeutig vom Eichsfeld-Sandstein.

Die Schluffsteinbänke sind in der Regel 0,05 — 0,30 m, selten bis 1,00 m mächtig, die Sandsteinbänke zwischen 0,40 und 1,00 m, selten bis 2,00 m. Das Korngrößenspektrum in den Sandsteinen der Wechselfolge reicht vom Feinsand bis Feinkies (0,2 — 4,5 mm), die häufigste Korngröße liegt jedoch im Mittelsandbereich. Vereinzelt treten dunkle und milchige Quarzgerölle bis 4,5 mm ϕ auf. Verkieselungen sind seltener als im Eichsfeld-Sandstein. Die Sandsteinbänke spalten häufig in 2 — 10 cm starke Platten an sonst nicht erkennbaren Glimmerlagen auf. Die Farben sind intensiv braunrot und unterscheiden dadurch die Eichsfeld-Wechselfolge recht gut von den übrigen Wechselfolgen im Mittleren Buntsandstein. In der Bg. Neuengronau machen die Entfärbungen, die parallel zur Schräg- bzw. Kreuzschichtung verlaufen, in den Sandsteinen meist 30 — 60 % aus und sind an mürbe und bindemittelarmer Partien gebunden. In verkieselten Bänken ist die Entfärbung scheinbar regellos. Ein wichtiges Merkmal für die Wechselfolge sind die Sandsteinkugeln mit ca. 2,5 cm ϕ . In der Bg. Neuengronau treten sie ca. 25 und 65 m über der Basis der Wechselfolge auf. Tongallen von 0,5 — 10 cm ϕ sind sehr häufig. In der Bohrung sind darüber hinaus auch mehrere Aufarbeitungshorizonte sowie Trockenrisse, die wieder mit Sand verfüllt sind, zu beobachten.

2.1.1.2. Rhön-Folge (smR)

Die 25 m Rhön-Sandstein und 30 m Rhön-Wechselfolge ergeben zusammen eine Mächtigkeit von 55 m. Im Gelände ist der Beginn des Rhön-Sandsteins am Aufhören der Hohlwege aus der Eichsfeld-Wechselfolge zu erkennen. Die meisten Bachversickerungen treten ebenfalls im Rhön-Sandstein auf. Mit 0,5 — 4,0 m sind die Bänke wesentlich dünner als die im Eichsfeld-Sandstein; sie bestehen aus schlecht sortierten Mittelsanden mit zuweilen sehr hohen Grobsandanteilen. Gut gerundete Quarzgerölle bis zu 0,5 cm ϕ finden sich nur im oberen Teil. Die anstehenden Gesteine haben selten ein kieseliges Bindemittel, die Lesesteine sind dagegen in der Regel verkieselt. Die Färbung ist monoton blaß rotbraun bis schwach violett. Entfärbungen treten stark zurück (max. 5 %). Kleine Tongallen bis 3 cm ϕ treten regelmäßig verteilt auf.

Die Wechselfolge beginnt mit einer Geländeverflachung und lebhaften, intensiv braunen, violetten, roten und ockergelben Farben. Entfärbungen sind bis zu 20 % zu beobachten. Das Bindemittel ist tonig, jedoch sind einzelne geringmächtige Bänke auch verkieselt. Die Kornsortierung ist schlecht (0,1 — 2,0 mm). Kleine Tongallen sind zahlreich vorhanden. In den festeren Bänken wittern sie heraus und geben dem Gestein ein löchriges Aussehen.

2.1.1.3. Spessart-Folge (smSp)

Die Mächtigkeit der Spessart-Folge, für die 35 — 40 m ermittelt wurden, kann eventuell auch etwas darüber liegen, denn nach einer mündlichen Mitteilung von Herrn Dr. HICKETHIER, Wiesbaden, mißt sie auf dem E-Teil von Bl. 5623 Schlüchtern 45 m. Die pelitischen Anteile der Wechselfolge werden in noch höherem Maße als in den liegenden Folgen durch Psammite ersetzt, so daß die Fazies in keiner Weise mehr der einer Wechselfolge i. e. S. entspricht! Die Abgrenzung bereitet jedoch keine Schwierigkeiten, da der ca. 10 m mächtige Spessart-Sandstein mit einer markanten geröllführenden Grobschüttung beginnt. Ein weiterer Gegensatz zu den liegenden Folgen ist das Auftreten von auffällig bunten, weißen, gelben und rötlichen Quarzkörnern. In landwirtschaftlich genutzten Gebieten kündigt sich der Spessart-Sandstein mit großen Lesesteinhaufen an den Feldrändern an. Die Farben der Sandsteine sind wieder einförmig braun bis schmutzig hellbraun. Auch gebleichte Bänder sind selten. Glimmer tritt ganz zurück.

Dank der recht guten Aufschlußverhältnisse läßt sich die Wechselfolge in 3 Abschnitte gliedern: über dem Spessart-Sandstein folgen ca. 10 m gut gebankte bis plattige, einförmige Sandsteine. Darüber folgt eine 10 m mächtige Wechselfolge aus gebankten, mürben und festen Sandsteinen. An der Basis dieser Folge liegt der für die Spessart-Folge so bezeichnende Kugelhorizont. Der oberste Abschnitt beginnt mit einem 1—2 m mächtigen, tonig-schluffigen Zwischenmittel. Darüber folgt eine 5—7 m mächtige Grobschüttung, die den Felssandstein i. e. S. (DIEDERICH & LAEMMLEN 1969) vertritt.

Die Farben werden zum Hangenden hin etwas lebhafter. Tongallen kommen wieder häufiger vor, und Glimmer tritt sogar in dünnen Lagen auf. In Lesesteinen im höheren Teil sind sehr häufig Fe- und Mn-Oxidkrusten zu beobachten. Im Grenzbereich sm/so wurde mehrfach das Spurenfossil *Corophioides luniformis* (BLANCK.) gefunden.

2.1.2. Oberer Buntsandstein

Der Obere Buntsandstein mißt 90 — 100 m. Ein rhythmischer Aufbau wie im Mittleren Buntsandstein ist nicht mehr zu erkennen.

2.1.2.1. Solling-Folge (soS)

Die 5 — 10 m mächtige Abfolge läßt sich von unten nach oben in Solling-Sandstein, Violetter Horizont und Chirotherien-Schichten gliedern.

Der Solling-Sandstein, der wenige km weiter nach W und N im Heubacher Graben noch 25 — 30 m mißt (LAEMMLEN 1968), ist im E-Teil des Kartiergebietes — auf einer Spezialstruktur auf den SW-Ausläufern der Rhön-Schwelle (BACKHAUS 1968) — auf 2 — 6 m reduziert. Typisch für den Sandstein sind „zellig zerfressene“ Lesesteine, deren Löcher von herausgewitterten kleinen Tongallen und „Pseudomorphosen“ herrühren.

Der Violette Horizont ist 2 — 3 m stark und entspricht der Oberen Violetten Grenzzone von LAEMMLEN (1966). Er wird von 1,70 m mürben, plattigen, weißen, blauvioletten und schwarzen Sandsteinen mit einzelnen linsenförmigen Karneolen gebildet. Darüber folgt ein 0,06 — 0,09 m starkes sandig-toniges Zwischenmittel mit einer Glimmerlage. Dann kommen noch 0,55 m rote, stark sandige Schluffsteine.

Die Chirotherien-Schichten, die dem Thüringischen Chirotheriensandstein i. e. S. entsprechen, sind ca. 1 m mächtig und bestehen aus graugrünen, plattigen und leicht verkieselten Sandsteinen mit Poren und Löchern, kaolinisierten Feldspäten, Tongallen und Mn-Oxidflecken.

2.1.2.2. Röt (soRö)

Von dem ca. 90 m mächtigen Röt stehen im Kartiergebiet nur etwa 70 m an. Die ton- und schluffreichen Gesteine des Röts bilden eine Verebnungsfläche, die vorwiegend landwirtschaftlich genutzt wird. Mit Hilfe von quarzitischen Einschaltungen läßt sich das Röt von unten nach oben in Basistone, Plattensandstein, Grenzquarzit, Untere Röttonne, Rötquarzit und Obere Röttone gliedern.

Die Basistone erreichen 4 m und sind in der unteren Hälfte graugrün und in der oberen Hälfte braunrot gefärbt. Darauf folgt der 20 — 25 m mächtige Plattensandstein, der aus dunkelbraunen, schluffigen Feinsandsteinen besteht. Der Grenzquarzit ist ähnlich den Chirotherien-Schichten aus grau-grünen Feinsandsteinen aufgebaut. Er ist in zwei 30 — 50 cm starke Bänke aufgespaltet, die 3 — 5 m auseinanderliegen. Die Unteren Röttone sind nur schlecht in Grabenschollen aufgeschlossen. Sie beginnen nicht abrupt über dem Grenzquarzit, sondern gehen ganz kontinuierlich durch stetige Zunahme von Schluff und Ton aus dem Plattensandstein hervor. Der Röttquarzit unterscheidet sich vom Grenzquarzit durch seine knauerigknollige Ausbildung. Die Oberen Röttone stehen nur am östlichen Steinfirst (R 35 45 00, H 55 72 73) an. Es sind hellbraune, scherbige-blättrige Tonsteine.

2.1.3. Muschelkalk

Die etwa 180 m mächtige Serie der Muschelkalkgesteine ist im tektonischen Graben von Neuengronau und Mottgers erhalten. Unterer Wellenkalk wurde nur an einer Böschung im Lederhosebach (R 35 43 21, H 55 70 37) mit unregelmäßig geschichteten bis knauerigen Mergelkalken nachgewiesen.

Der Obere Wellenkalk i. w. S. beginnt am Kalkofen in Mottgers mit 1 — 2 m porösen Gelbkalken, die etwa im Niveau der Terebratelzone liegen. Darüber kommen ca. 35 m Wellenkalk mit rostrot verwitternden Schillbänken und zahlreichen Fossilien. Die darauf folgende Schaumkalkzone mißt ca. 11 m und besteht aus Wellenkalk mit zwei 1 m mächtigen Schaumkalkbänken. Den Abschluß bilden 2 m *Orbicularis*-Schichten. Es sind gelb-braune, poröse, plattige dolomitische Kalke mit Abdrücken der namengebenden *Myophoria orbicularis* BRONN.

Der 25 — 30 m mächtige Mittlere Muschelkalk ist naturgemäß schlecht aufgeschlossen. Im unteren Teil herrschen gelbe Zellenkalke und Dolomite vor. Der obere Teil ist überwiegend aus plattigen Dolomiten aufgebaut.

Der Obere Muschelkalk ist sehr fossilreich und beginnt mit 5 — 6 m scherbigen-plattigen, hellgrauen Dolomiten mit 4 — 5 0,30 — 0,50 m starken Fossilbänken. Diese „Fossil-Schichten“, von RUTTE (1957) als „Oolithbänke“ bezeichnet, sind aufgrund ihrer voll ausgebildeten artenreichen Fauna in den Oberen Muschelkalk zu stellen, obwohl sie unter den gelben Basisschichten liegen. Über den max. 2 m Gelbkalken folgen 6 — 8 m knauerige Kalke. Die insgesamt 6 m Trochitenkalke bestehen aus 2 Trochiten-Bänken von 1,90 und 1,20 m mit 2,90 m plattig-kalkigem Zwischenmittel. Für die Ceratiten-Schichten müssen ungefähr 40 m angenommen werden.

2.1.4. Keuper

Vom Unteren Keuper sind am nördlichsten Steinfirst in der Nische einer Rutschmasse etwa 30 m aufgeschlossen. Es sind gelb-olive, tonig-schluffige Feinsandsteine mit kohligen Holzresten und Abdrücken einer Kümmerfauna.

2.2. Tertiär

Das Alttertiär wird nur von einigen unter dem Basalt herauswitternden, z. T. brecciösen, gelblichen Quarzitblöcken vertreten, die mit Vorbehalt mit der „Quarzitstufe“ an der „Basis der weitausgreifenden, oberchattischen Braunkohlenstufe (HIRSCH 1973)“ gleichzusetzen sind.

Aus dem Jungtertiär stammen allenthalben auf den Feldern zu findende und unter dem Basalt am Steinfirst herauswitternde, gut gerundete Quarzgerölle bis 5 cm ϕ , die nach LAEMMLEN (1963) ins Burdigal gehören. Unter dem Basalt ist über diesen fluviatilen Schottern noch ein geringmächtiger, grauer, plastischer Ton erhalten.

Über den grauen Tonen stehen am Steinfirst noch 25 m Olivin-Basalt an.

2.3. Quartär

Von den pleistozänen Schuttmassen sind nur noch wenige Reste aus lehmigen Sanden mit Buntsandsteingeröllen am SE-Fuß des Müllerberges, des Ziegen- und Frauenberges und am E-Fuß des Pfiffenberges erhalten.

An der Einmündung der kleinen, zeitweilig Wasser führenden Nebentäler in die Vorfluter haben sich an der Wende Pleistozän/Holozän fächerförmige Schwemmkegel ausgebildet.

3. Tektonik

Das tektonische Bild des Kartiergebietes wird durch die rheinisch streichende Grabenzone von Neuengronau und Mottgers geprägt, die sich zunächst mit zwei Teilgräben südlich an das Heubach — Thalau — Friesenhausener Grabensystem (LAEMMLEN & PRINZ 1968) anschließt und sich in rheinischer Richtung mit verändertem Baustil über das Kartiergebiet hinaus fortsetzt. Der Graben ist ein reiner Zerrungsgraben, im Mittel ca. 700 m breit und 250 m bis max. 320 m eingesunken. S Neuengronau biegt die E-Grabenrandverwerfung unvermittelt nach W ab und vereinigt sich mit der W-Randverwerfung, die sich nach SE zu (Jossa) fortsetzt. Kurz vor dem Abbiegen der E-Randverwerfung zweigt eine Störung in SE-Richtung ab, die zunächst nur 25 m Sprunghöhe hat, dann aber in die rheinische Richtung umbiegt und mit 110 m Sprunghöhe E des Ziegenberges die Funktion der E-Grabenrandverwerfung übernimmt. Der Graben hat hier eine Breite von ca. 1500 m. Die durchschnittlichen Sprunghöhen nehmen dagegen stark ab.

Die Gebiete im NW und SE des Grabens sind ebenfalls in Schollen zerlegt, deren Sprunghöhen im Mittleren Buntsandstein und in der Solling-Folge 10 — 40 m betragen. Im Röt wird das Störungsnetz enger, die Sprunghöhen gehen aber auf 5 m zurück. Schollenverkippungen über 3° wurden nur E Breunings beobachtet.

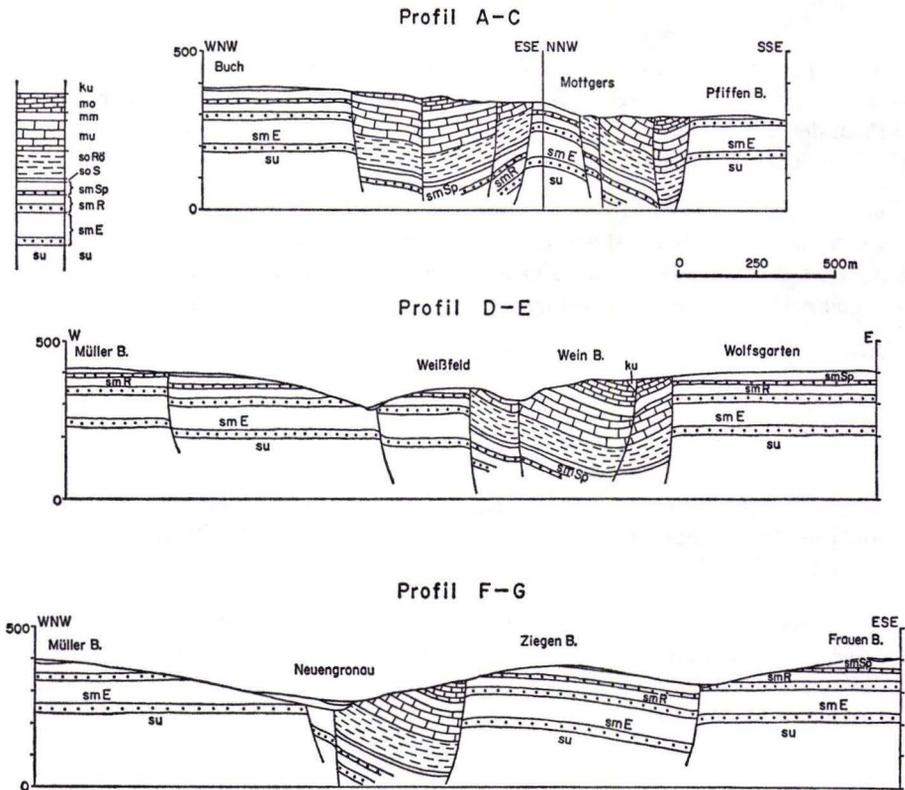


Abb. 1. Querprofile durch die Grabenzone zwischen Neuengronau und Mottgers.

4. Rutschmasse des Keupers

Am Steinfirst, 1 km W Mottgers, ist der Untere Keuper auf einer $5 - 10^\circ$ nach ENE einfallenden Grabenscholle in Bewegung geraten. Ursache ist die starke Durchfeuchtung aus dem oberhalb liegenden Basalt über eine EW-Störung, an der der Untere Keuper gegen Oberen Muschelkalk versetzt ist.

Die Gesamtlänge des Rutschkörpers (Abb. 2) beträgt 340 m und die größte Breite 110 m. Die Höhe der Zunge liegt im Mittel bei 3 m und das Volumen der in Bewegung geratenen Massen erreicht $25 - 30\,000\text{ m}^3$. Der Beginn der Bewegungen liegt über 100 Jahre zurück. Danach folgten noch 7 kleinere Schlammströme und 9 Staffelbrüche in der Abrißnische, von denen der jüngste an der Trasse der oberen Forststraße erst vor 5 - 6 Jahren entstanden ist. Dies zeigt an, daß die Bewegungen immer noch fort-dauern. Die kleinen Tümpel haben keinen Abfluß und halten die Rutschmasse ständig in „aufgeweichtem Zustand“. In der Darstellung sind die Umrisse der Staffelbrüche und der Rutschkörper und die Abrißnische maßstabsgetreu wiedergegeben und wurden lediglich durch Schraffur halbperspektivisch hervorgehoben.

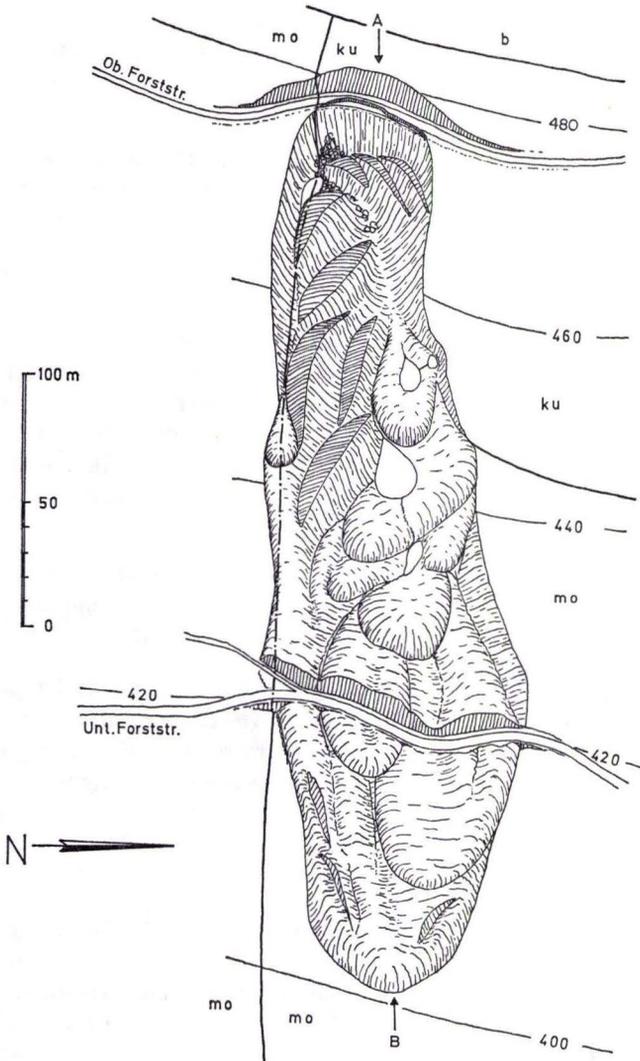


Abb. 2. Hangrutsch am Steinfirst bei Mottgers.

5. Hydrogeologie

5.1. Quellkartierung und Wasserhaushalt

Die Quellkartierung wurde im Spätsommer 1968 durchgeführt. Eine Addition der Schüttungsmengen ergab, daß der oberirdische Abfluß der Quellen max. 37 % der Gesamtversickerungen ausmacht. Bei den Berechnungen wurde von einem Niederschlag

(N) von 800 — 850 mm/a, einer Verdunstung (V) von 400 — 450 mm/a und einem oberirdischen Abfluß (Ao) von 4 l/s km² (= 130 mm/a) ausgegangen. Nach der Gleichung

$$Au = N - V - Ao$$

verbleiben für den unterirdischen Abfluß (Au) 250 mm/a, die 63 % des versickerten Niederschlags ausmachen. Die Entwässerung erfolgt direkt nach S in die Vorfluter Schmale Sinn, Gronaubach, Lederhosebach und den Hauptvorfluter Sinn. Lediglich die Kinzigquelle und zwei weitere im Sommer trockenfallende Quellen im Quelltal der Kinzig entwässern nach NW in die Kinzig.

Wenn man bedenkt, daß die meisten Quellen im Bereich des tektonischen Grabens von Neuengronau und Mottgers entspringen und zumindest teilweisen Zufluß von oberirdischen Wässern haben, also aus hygienischen Gründen zur Trinkwasserversorgung wenig geeignet sind, wird verständlich, daß die Dörfer in diesem Gebiet große Probleme mit ihrer Trinkwasserversorgung hatten. In den letzten Jahren sind denn auch alle Gemeinden mit Erfolg dazu übergegangen, ihren Wasserbedarf aus Tiefbrunnen zu decken.

Das Auftreten von 2 markanten Quellhorizonten auf den Basistonen des Röts und auf den tertiären Tonen unter dem Basalt gestattet eine Einteilung des Grundwasserkörpers im Kartiergebiet in 3 Stockwerke:

a) Das untere, zugleich größte und wichtigste Stockwerk umfaßt den gesamten Mittleren Buntsandstein, die Solling-Folge und den eingesunkenen Muschelkalk im tektonischen Graben. Auch in den Wechselfolgen fehlen wasserstauende Schichten, da die Ton- und Schluffsteine gut geklüftet sind und die Grundwasserbewegung überwiegend in den Klufträumen stattfindet. Die wenigen, dafür aber recht starken Überlaufquellen entspringen dementsprechend auch alle im Knick zwischen Talaue und Hangfuß. Darüber hinaus sind sie meist an Störungen gebunden.

Der Muschelkalk im tektonischen Graben ist weniger als Grundwasserspeicher denn als „überdimensionales Drainagesystem“ anzusehen, denn im Bereich der Grabenrandverwerfungen hat durch den Zulauf von sauren Wässern aus dem Buntsandstein eine starke Verkarstung stattgefunden. An der Erdoberfläche zeigt sich das sehr eindrucksvoll 1 km E Neuengronau, wo zahlreiche Erdfälle perlschnurartig auf der E-Grabenrandverwerfung aufgereiht sind. Den Austritt der „Drainage“ bildet eine Quelle am Südzipfel der eingesunkenen Muschelkalkschollen, wo die E-Grabenrandverwerfung sich mit der W-Randverwerfung vereinigt (vgl. Q IV in Kap. 5.2.). Die Quelle schüttet normalerweise 10 — 20 l/s. Im Frühjahr zur Schneeschmelze und bei starken Regenfällen schwillt sie bis auf 60 l/s an!

In den Kreislauf des unteren Stockwerkes sind auch die Wässer der beiden oberen Stockwerke einzubeziehen, denn die Rinnsale aus beiden Quellhorizonten versickern zum großen Teil bereits in der Spessart-Folge und zumeist im Rhön-Sandstein vollständig. Die Versickerung ist so stark, daß die Seitentäler in ihrem unteren Bereich und in den Schwemmkegeln kein Bachbett ausgebildet haben.

b) Das mittlere Stockwerk umfaßt in der Hauptsache den Plattensandstein und die Unteren Röttone. Die Quellen auf den Basistonen schütten schwach (0,2 — 2,0 l/s) aber stetig, denn die tonig-schluffigen Feinsandsteine haben ein gutes Retentionsvermögen. Die Klüftung spielt für die Wasserbewegung eine wesentlich geringere Rolle als im Mittleren Buntsandstein. Die Einzugsgebiete der Rötquellen sind mit durchschnittlich 0,5 km² recht klein. Obendrein fließt ein Teil des Grundwassers an den zahlreichen kleinen Störungen im Röt direkt in das untere Stockwerk ab.

c) Das obere Stockwerk bildet der Basalt auf dem Steinfirst. Das große Klüftvolumen macht ihn zu einem ausgezeichneten Speicher. Die liegenden tertiären plastischen Tone sind vollkommen dicht und liegen söhlig, so daß der Basalt von einem Naß- und Quellsaum umgeben ist. Die stauende Nässe ist so weit abwärts zu verfolgen, wie die Schuttfächer aus Ton und Basalt reichen.

Tab. 1. Lufttemperatur, relative Feuchte und Niederschlagshöhe, gemessen von der Wetterstation „Klosterhöfe — Gomfritz“ (Außenstation des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach)

Monat	Lufttemperatur °C			Relative Feuchte %			Niederschlagshöhe mm		
	Trockenes Thermometer			Dekadenmittel			Dekadenmittel		
	1.—10.	11.—20.	21.—31.	1.—10.	11.—20.	21.—31.	1.—10.	11.—20.	21.—31.
September 1967	13,4	11,1	14,7	75	86	79	1,3	4,6	3,7
Oktober 1967	12,1	11,5	9,9	78	75	83	2,4	5,3	3,0
November 1967	4,2	2,6	0,9	82	89	99	3,0	2,1	2,6
Dezember 1967	—1,0	—2,7	1,4	89	87	83	3,5	3,7	8,7
Januar 1968	—4,6	—1,8	0,0	82	82	86	7,8	6,9	1,8
Februar 1968	1,5	0,6	—1,8	80	79	83	2,1	1,7	5,3
März 1968	0,7	2,4	9,1	72	70	62	2,2	4,8	2,2
April 1968	3,7	9,9	11,6	58	48	70	0,9	—	5,8
Mai 1968	10,0	8,8	12,3	66	66	67	4,6	3,0	0,6
Juni 1968	13,1	16,1	15,7	66	67	63	2,1	9,4	4,5
Juli 1968	19,1	13,7	14,5	57	64	64	0,1	3,5	1,7
August 1968	16,8	13,0	16,0	74	73	74	4,0	5,3	1,8
September 1968	14,4	12,5	11,2	74	82	83	3,4	1,9	4,2
Oktober 1968	11,8	9,3	7,9	83	74	76	5,0	3,0	0,5
November 1968	6,6	—0,8	2,5	80	81	77	1,0	0,0	1,9
Dezember 1968	—2,2	—3,8	—1,2	84	77	80	—	0,5	6,8

5.2. Physikalisch-chemische Wasseruntersuchungen

Um das Quellenverhalten im Verlauf eines Wasserjahres zu erfassen, wurde das Wasser von 4 Quellen vom 31. 8. 1967 — 12. 12. 1968 im Abstand von 14 Tagen auf seine physikalischen Eigenschaften und Härte untersucht und im Abstand von 4 Wochen der Gehalt an Chlorid, Sulfat, Kalzium und Magnesium geprüft. Die Abhängigkeit von den Witterungseinflüssen verdeutlicht Tab. 1, in der das Dekadenmittel der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit und des Niederschlags, gemessen auf der Wetterstation „Klosterhöfe-Gomfritz“, ca. 10 km NW Sterbfritz (Kr. Schlüchtern), wiedergegeben ist.

Tab. 2. Wasseranalysen der Quelle I

Datum	31.8. 1967	2.10.	21.10.	30.10.	12.11.	3.12. 1967	19.1. 1968	3.2.	15.2.	9.3.	21.3.	23.4.
Schüttung (l/s)		ca. 2,0	4,5			ca. 5,0						1,0
Lufttemp. (°C)	15,0	17,0	9,5	7,3	10,0	1,7	4,7	2,5	7,2	7,0	7,0	22,0
Wassertemp. (°C)	10,4	10,5	10,5	10,4	9,5	8,0	5,3	5,8	5,6	5,2	5,3	6,5
pH-Wert		6,7	6,5	6,5	6,5		6,3	6,5		6,5	6,5	6,9
GH (°d)	9,5	5,9	4,5	4,5	4,8	4,8	4,4	4,6	3,6	4,5	3,6	6,9
KH (°d)	5,0	3,7	2,5	2,0	2,1	1,7	1,7	1,5	1,6	1,4	1,5	3,4
NKH (°d)	4,5	2,2	2,0	2,5	2,7	3,1	2,7	3,1	2,0	3,1	2,1	3,5
Ca ⁺⁺ (mg/l)					2,1	2,2		2,2		2,0		3,3
Mg ⁺⁺ (mg/l)					0,6	0,6		0,6		0,6		0,9
Cl ⁻ (mg/l)					10,6	18,0		17,0		16,2		17,0
SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)						23,0		33,0		42,0		40,0

Tab. 3. Wasseranalysen der Quelle II

Datum	31.8. 1967	2.10.	21.10.	30.10.	12.11.	3.12. 1967	19.1. 1968	3.2.	15.2.	9.3.	21.3.	23.4.
Schüttung (l/s)		ca. 2,0	2,0			ca. 5,0	ca. 10,0					0,9
Lufttemp. (°C)	17,0	15,2	8,5	6,3	9,0	0,5	4,6	2,2	5,7	6,8	6,2	26,5
Wassertemp. (°C)	10,3	10,5	10,2	10,0	9,5	9,0	8,2	8,0	8,1	7,9	7,6	10,0
pH-Wert		6,8	6,0	6,0	6,0		5,5	6,3		6,0	6,0	6,8
GH (°d)	10,4	7,8	5,9	5,2	6,7	5,0	4,0	5,3	5,6	4,8	4,5	8,2
KH (°d)	9,0	6,0	2,4	2,2	3,2	1,5	0,9	2,4	2,4	1,1	1,7	6,3
NKH (°d)	1,4	1,8	3,5	3,0	3,5	3,5	3,1	2,9	3,2	3,7	2,8	1,9
Ca ⁺⁺ (mg/l)					4,4	2,0		2,3		2,2		4,1
Mg ⁺⁺ (mg/l)					0,1	1,2		0,8		0,8		0,9
Cl ⁻ (mg/l)					14,2	19,3		16,5		18,0		13,0
SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)						15,0		38,0		25,0		12,0

Tab. 4. Wasseranalysen der Quelle III

Datum	31.8. 1967	2.10.	21.10.	30.10.	12.11.	3.12. 1967	19.1. 1968	3.2.	15.2.	9.3.	21.3.	23.4.
Lufttemp. (°C)	16,4	15,7	6,9	7,5	10,0	0,5	6,8	3,4	6,5	8,5	7,5	20,5
Wassertemp. (°C)	8,9	9,0	9,0	9,0	9,1	8,9	8,6	7,5	8,5	8,6	8,4	8,5
pH-Wert		6,7	6,5	6,7	6,5		6,5	6,8		6,7	6,8	7,0
GH (°d)	11,8	9,0	7,3	7,3	7,3	6,4	4,2	6,1	7,2	5,9	5,6	9,0
KH (°d)	10,1	6,6	5,6	5,2	4,5	4,1	2,2	3,8	4,3	3,5	3,4	6,4
NKH (°d)	1,7	2,4	1,7	2,1	2,8	2,3	2,0	2,3	2,9	2,4	2,2	2,6
Ca ⁺⁺ (mg/l)					3,8	2,2		3,1		3,2		4,7
Mg ⁺⁺ (mg/l)					0,6	0,5		0,7		0,6		1,3
Cl ⁻ (mg/l)					12,4	13,3		14,5		14,0		15,0
SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)						17,0		42,0		12,0		10,0

30.4.	11.5.	27.5.	9.6.	30.6.	14.7.	11.8.	28.8.	15.9.	27.9.	10.10.	31.10.	16.11.	12.12. 1968
		1,4		0,8		ca. 5,0	1,4	2,5	6,7		0,9	1,0	0,9
12,0	8,4	15,2	12,6	26,0	24,5	21,7	19,8	17,5	13,5	15,2	14,6	-2,7	-2,5
6,5	7,5	8,1	8,0	8,8	9,1	9,5	10,8	11,5	11,2	11,0	10,5	9,4	7,5
6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
4,2	3,9	5,2	6,2	9,6	8,5	5,0	5,4	5,1	4,4	4,4	4,9	6,1	8,4
2,0	2,0	2,7	3,2	3,8	4,8	1,9	2,9	2,7	2,2	2,2	2,9	3,6	4,0
2,2	1,9	2,5	3,0	5,8	3,7	3,1	2,5	2,4	2,2	2,2	2,0	2,5	4,4
	1,7		3,3		3,9	2,7	3,5		2,2		2,6		3,6
	0,7		0,9		1,6	0,1	0,6		0,6		1,1		0,9
	11,5		15,5		19,0	10,0	11,0		13,8		10,0		15,9
	40,0		23,0		39,0	18,0	25,0		50,0		75,0		58,0

30.4.	11.5.	27.5.	9.6.	30.6.	14.7.	11.8.	28.8.	15.9.	27.9.	10.10.	31.10.	16.11.	12.12. 1968
		1,2		0,8		ca. 1,0	1,2	0,8	4,9		1,1	0,8	0,8
11,5	14,0	16,3	13,2	23,0	21,5	20,7	19,3	17,5	13,6	14,3	14,5	-2,8	-2,3
8,3	8,2	8,5	8,9	9,5	10,1	10,3	10,0	10,1	9,9	9,9	9,5	8,6	7,8
	6,2	7,5	7,5	6,9	6,5	7,0	6,5	6,3	5,8	5,7	6,5	6,8	6,5
7,7	5,9	7,8	8,9	8,8	9,6	10,0	8,2	7,7	4,7	4,5	7,8	8,8	9,2
4,6	2,5	5,0	6,4	6,8	7,8	7,8	4,8	4,4	1,8	1,3	6,0	7,0	6,3
3,1	3,4	2,8	2,5	2,0	1,8	2,2	3,4	3,3	2,9	3,2	1,8	1,8	2,9
	2,6		4,2		4,7	5,1	4,3		2,2		3,8		4,3
	1,0		1,3		1,4	1,2	0,7		0,8		1,5		1,4
	15,5		13,0		10,9	10,0	12,9		16,8		10,2		11,4
	19,0		12,0		29,0	18,0	52,0		58,0		58,0		20,0

30.4.	11.5.	27.5.	9.6.	30.6.	14.7.	11.8.	28.8.	15.9.	27.9.	10.10.	31.10.	16.11.	12.12. 1968
11,0	14,6	16,5	11,0	24,2	17,1	19,2	17,6	16,8	14,0	15,2	15,8	-1,2	1,5
8,5	8,4	8,6	8,5	8,8	8,8	9,0	8,7	8,9	9,0	9,0	9,1	8,5	8,6
6,7	6,6	6,7	6,8	6,8	6,7	6,7	6,9	6,7	6,5	6,5	6,7	6,5	6,7
7,0	6,6	8,3	9,5	9,5	10,5	9,5	9,4	8,8	7,6	6,8	8,6	9,1	9,5
4,3	4,2	6,0	4,3	7,5	8,1	7,1	7,0	6,5	2,9	4,8	6,3	4,3	6,7
2,7	2,4	2,3	5,2	2,0	2,4	2,4	2,4	2,3	4,7	2,0	2,3	4,8	2,8
	3,6		5,0		5,4	4,9	5,7		4,2		4,6		5,2
	0,9		0,9		1,6	1,2	0,6		0,8		1,0		0,9
	13,0		15,0		17,1	14,0	15,7		13,1		11,4		14,6
	19,0		17,0		33,0	19,0	14,0		50,0		63,0		45,0

Tab. 5. Wasseranalysen der Quelle IV

Datum	31.8. 1967	2.10.	21.10.	30.10.	12.11.	3.12. 1967	19.1. 1968	3.2.	15.2.	9.3.	21.3.	23.4.
Schüttung (l/s)	ca. 20,0					ca. 57,0		30,0				
Lufttemp. (°C)	18,2	16,8	7,0	7,4	10,5	2,0	7,5	4,2	7,5	5,5	8,0	21,5
Wassertemp. (°C)	9,3	9,5	9,2	9,3	9,3	8,8	7,5	8,4	8,7	8,2	8,3	9,3
pH-Wert		7,0	6,8	6,7	7,2		7,5	7,0		7,2	7,1	7,2
GH (°d)	15,1	14,0	12,9	12,6	13,4	11,8	10,1	12,0	13,1	11,7	11,2	19,6
KH (°d)	13,9	12,9	11,1	10,4	12,2	6,4	8,0	10,5	10,7	9,4	9,2	12,6
NKH (°d)	2,2	1,1	1,8	2,2	1,2	5,4	2,1	1,5	2,4	2,3	2,0	7,0
Ca ⁺⁺ (mg/l)					7,5	5,8		6,6		6,5		8,1
Mg ⁺⁺ (mg/l)					1,2	0,9		1,0		1,5		1,3
Cl ⁻ (mg/l)					9,7	11,7		10,3		11,9		10,0
SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)						19,0		35,0		19,0		29,0

Quelle I (Q I, Tab. 2): Störungs- und Schichtquelle an der W-Grabenrandverwerfung im Grenzbereich Rhön-Wechselfolge und Spessart-Sandstein, 1 km NW Mottgers (R 35 46 00, H 55 74 32). Die Quelle wurde in den zwanziger Jahren für die Trinkwasserversorgung in Mottgers gefaßt und 1930 wegen Verschmutzung und zu hoher Schwebstoffführung wieder aufgegeben. Das Einzugsgebiet unterliegt zu 40 % der Landwirtschaft und zu 60 % dem Forst.

Quelle II (Q II, Tab. 3): Kinzigquelle, Schicht- und Störungsquelle auf den Basistonen des Röts, am S-Ortsrand von Sterbfritz (R 35 44 60, H 55 74 51). Das Einzugsgebiet besteht nur aus Plattensandsteinen und wird rein landwirtschaftlich genutzt. Die Quelle ist als Touristenattraktion gefaßt, wird aber nicht genutzt.

Quelle III (Q III, Tab. 4): Kluftquelle in der Spessart-Wechselfolge, 1300 m N Neuengronau, am Lederhosebach (R 35 43 48, H 55 72 03). Das Einzugsgebiet wird überwiegend land- und weidewirtschaftlich genutzt. Die Quelle ist gefaßt und wurde bis 1970 für die Trinkwasserversorgung von Neuengronau genutzt.

Quelle IV (Q IV, Tab. 5): Störungsquelle an der E-Grabenrandverwerfung 400 m S Neuengronau, am Gronaubach (R 35 43 12, H 55 70 29). Das Einzugsgebiet ist sehr weitläufig, reicht vom Mittleren Buntsandstein bis zum Unteren Keuper und wird sowohl land- als auch forstwirtschaftlich genutzt. Die Quelle ist nicht gefaßt.

5.2.1. Untersuchungen bei der Probennahme

5.2.1.1. Wassertemperatur

Der unruhige Verlauf der Temperatur aller 4 Quellen deutet auf zumindest zeitweiligen Zufluß von oberirdischen Wässern hin. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind umgekehrt proportional der Weglänge und der Verbleibdauer eines Wasserteilchens im

30.4.	11.5.	27.5.	9.6.	30.6.	14.7.	11.8.	28.8.	15.9.	27.9.	10.10.	31.10.	16.11.	12.12. 1968
	17,0			13,0			11,0	11,0	14,0		15,0	15,0	15,0
11,0	19,0	17,1	12,4	24,5	20,4	19,7	18,3	17,5	12,9	15,6	13,0	-1,7	-2,0
8,9	8,8	9,4	9,3	9,4	9,3	9,5	9,3	9,5	9,4	9,6	9,5	8,0	8,8
7,0	7,0	7,6	7,2	7,0	7,2	7,3	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
11,5	12,4	13,9	14,4	13,8	15,5	15,7	20,7	14,4	12,1	11,1	12,9	14,0	15,8
9,9	10,5	11,5	12,3	12,4	13,2	14,1	12,8	11,9	10,0	9,1	12,1	12,6	9,7
1,6	1,9	2,4	2,1	1,4	2,3	1,6	7,9	2,5	2,1	2,0	0,8	1,4	6,1
	7,2		8,0		8,0	8,5	8,5		7,3		7,8		8,0
	1,1		1,4		4,3	1,6	3,7		0,9		1,4		1,6
	11,0		11,0		9,8	8,0	9,4		10,9		8,1		9,1
	38,0		37,0		35,0	23,0	15,0		52,0		55,0		50,0

Gebirge. Die großen Schwankungen von 6,3° C bei Q I zeigen, daß das Einzugsgebiet aus vorwiegend oberflächennahen Gesteinsschichten besteht. Bei Q II erreichen die Schwankungen nur noch 2,7° C, bei Q IV 2,1° C und bei Q III sogar nur 0,7° C. Q III wäre demnach ausgezeichnet für Trinkwasser geeignet, wenn nicht die plötzliche Temperaturabnahme um 1° C am 3. 2. 1968 aufgetreten wäre, die wohl auf den Zutritt oberirdischer Wässer zurückzuführen ist. Der Temperaturanstieg auf 10,0° C bei Q II am 23. 4. 1968 erklärt sich dadurch, daß zu diesem Zeitpunkt die Quelle neu gefaßt wurde und die freiliegenden Sammelrohre sich durch die Sonneneinstrahlung erwärmten. Die durchschnittlichen Jahrestemperaturen aller Quellen (Q I = 8,5° C, Q II = 8,8° C, Q III = 8,7° C, Q IV = 8,6° C) liegen etwa 1° C höher als die durchschnittliche Jahreslufttemperatur von 7 — 8° C.

5.2.1.2. Schüttung

Die Schüttungsmengen sind zu lückenhaft, um genaue Aussagen daraus abzuleiten. Bei Q I und II steht die Schüttung in direktem Zusammenhang mit den Niederschlagsmengen, wobei bei Q I der Anstieg nach Regenfällen wesentlich schneller eintritt als bei Q II. Bei Q III war eine Schüttungsmessung nicht möglich. Q IV vgl. Kap. 5.1.a).

5.2.1.3. Färbung und Trübung

Die Farbänderungen der einzelnen Quellwässer sind sehr gering. Generell läßt sich sagen, daß die Farbintensität und die Trübung mit steigender Schüttung zunehmen. Farblos und immer klar war nur Q II. Q I war immer mehr oder weniger bräunlich trüb und manchmal auch milchig trüb. Q III war fast immer klar und nur selten schwach bräunlich oder milchig trübe. Q IV dagegen war meist milchig trübe und nur bei längerer Trockenheit klar.

5.2.1.4. pH-Wert

Der pH-Wert wurde mit „Universalindikator flüssig“ von MERCK gemessen. Mit diesem Verfahren konnten nur starke Veränderungen festgestellt werden. Die Buntsandsteinwässer hatten in der Regel Werte zwischen pH 6 und 7, die Muschelkalkwässer Werte zwischen pH 7 und 8. In Q II und Q III ist eine Abhängigkeit von der Karbonat- und Gesamthärte zu erkennen. Die sehr großen Schwankungen bei Q II am 19. 1. 1968 auf pH 5,5 und am 10. 10. 1968 auf pH 5,7 sind anthropogenen Ursprungs; am 19. 1. durch das Ausfahren von Jauche und am 10. 10. durch die verstärkte Humussäurebildung nach dem Schälen der Getreidestoppeln.

5.2.2. Chemische Untersuchungen

Alle chemischen Werte wurden titrimetrisch bestimmt. Die Gesamthärte kompleximetrisch mit Titriplex A und B (MERCK); Karbonathärte mit 0,1 N Salzsäure; Sulfate mit 0,2 N Bariumchloridlösung und Tüpfelindikation auf Natriumrhodizonatpapier (MERCK); Chloride mit 1/35,5 N Silbernitratlösung und Calcium und Magnesium kompleximetrisch mit Titriplex III (MERCK).

5.2.2.1. Gesamthärte (GH), Karbonathärte (KH), Nichtkarbonathärte (NKH)

Mit 5,5° dGH hat Q I das weichste Wasser der 4 untersuchten Quellen. Trotzdem liegt die Härte immer noch 2 — 3 Härtegrade über denjenigen von Quellen, deren Einzugsgebiet ausschließlich im Mittleren Buntsandstein liegt. Diese Tatsache kann nur durch Zulauf von Wässern aus dem Muschelkalk oder dem Basalt gedeutet werden. Q II hat mit 7,0° dGH ebenfalls weiches Wasser. Für das Röt ist dieser Wert als normal anzusehen. Q III liegt mit 8,0° dGH schon an der Grenze zwischen weichem und mittelhartem Wasser. Auf jeden Fall ist die Härte für den Mittleren Buntsandstein (5 — 7 Härtegrade) zu hoch, was auf 3 mögliche Ursachen zurückgeführt werden kann:

1) Zulauf von Bachwasser aus dem Lederhosebach. 2 Färbeversuche an verschiedenen Stellen in den Jahren 1958/59 verliefen allerdings negativ. Auf der anderen Seite berichtete der Bürgermeister von Neuengronau, daß in den vergangenen Jahren das Quellwasser stark nach Jauche gerochen habe, nachdem in Breunings nachweislich Jauche in den Lederhosebach gepumpt worden war.

2) Zulauf aus einer kleinen Versickerung ca. 200 m SW der Sammelkammer. Die Versickerung liegt 20 — 30 m höher als die Quelle.

3) Eine kleine Müllkippe in einer Sandgrube ca. 250 m NW der Quellkammer. Die Grube liegt ca. 50 m über dem Quellniveau und ist im Grenzbereich Mittlerer/Oberer Buntsandstein angelegt.

Q IV hat mit 13,5° dGH, wie zu erwarten, ziemlich hartes Wasser.

Der Verlauf der Gesamthärte und Karbonathärte ist in allen 4 Quellen gleichsinnig. Dabei liegt die Karbonathärte im Durchschnitt 1 — 3 ° d unter der Gesamthärte. Jahreszeitlich tritt ein Rhythmus auf; im Sommer und im Herbst liegen bei geringen Schüttungsmengen und hohen Wassertemperaturen die Werte beider Härten um rund 5 Härtegrade höher als im Winter und Frühjahr bei entgegengesetzten Schüttungs- und Temperaturverhältnissen.

Die Nichtkarbonathärte schwankt zwischen 1 und 4 Härtegraden. Sie verhält sich nur in Q I gleichsinnig mit der Karbonat- und Gesamthärte. In Q II ist das Verhalten sogar entgegengesetzt. Bei Q III und Q IV zeigen die Werte der Nichtkarbonathärte keine Abhängigkeit von denen der Karbonat- und Gesamthärte. Eine Erklärung für die unterschiedlichen Trends bei den Nichtkarbonathärten dürfte das unterschiedliche Löslichkeitsverhalten des Calciums und Magnesiums mit der Kohlensäure einerseits und mit der Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, Phosphorsäure und Kieselsäure andererseits bei wechselnden Wassertemperaturen und Mengenverhältnissen bieten.

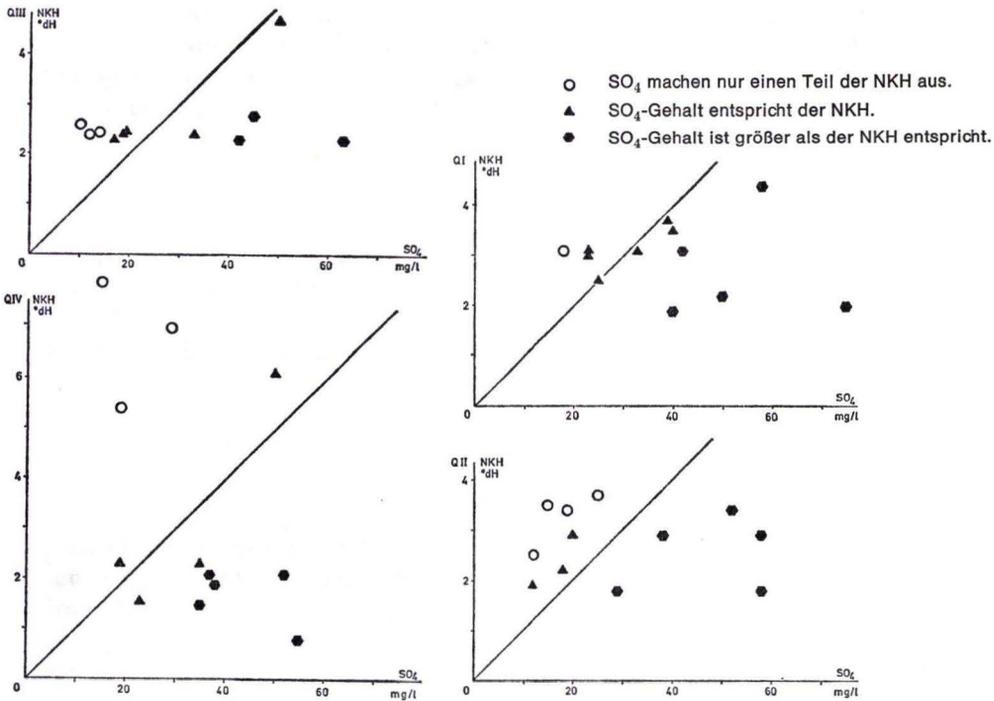


Abb. 3. Beziehungen zwischen Sulfatgehalt und Nichtkarbonathärte in den Quellen I — IV.

5.2.2.2. Sulfat (SO₄²⁻)

Die Sulfatgehalte sind bei allen 4 Quellen etwa gleich hoch. Im Winter, Frühjahr und Sommer schwanken sie zwischen 10 und 40 mg/l, und im Herbst steigen sie auf 50 — 70 mg/l an.

Die Diagramme (Abb. 3) zeigen, daß bei allen 4 Quellen nur in etwa 60 % der Fälle die gemessenen Sulfatgehalte in der Nichtkarbonathärte enthalten sind. Bei den anderen 40 % der gemessenen Werte übersteigt der Sulfatgehalt die Nichtkarbonathärte z. T. um ein Vielfaches. Das bedeutet, daß die Sulfate neben den Erdalkalien auch noch an andere Elemente gebunden sind.

5.2.2.3. Chlorid (Cl^-)

Die Chloridgehalte schwanken in Q I — III zwischen 10 und 20 mg/l, bei Q IV zwischen 8 und 12 mg/l. Auffällig ist die im Vergleich zur Karbonat- und Gesamthärte entgegengesetzte Tendenz der Werte. Im Sommer und Herbst sind die Chloridgehalte etwas geringer als im Winter und Frühjahr. Wegen der großen Schwankungen der Chlorid- und Sulfatkonzentrationen werden für deren Herkunft anthropogene Einflüsse verantwortlich zu machen sein. Eindeutig ist das bei Q II, wo das Einzugsgebiet klar abgegrenzt werden kann, nur aus Plattensandsteinen besteht und zu 100 % landwirtschaftlich genutzt wird. Unberührt sind die Felder nur in der Vegetationsperiode, etwa von Ende April bis Juli. Im Untersuchungsjahr sanken in dieser Zeit die Chlorid- und Sulfatwerte bis auf 10 mg/l. Im Anschluß an die Ernte nach dem Aufbringen organischen Düngers und nach dem Schälen und Pflügen der Stoppelfelder stiegen die Chlorid- und Sulfatgehalte auf 17 — 20 bzw. 60 mg/l an.

5.2.2.4. Calcium (Ca^{++}), Magnesium (Mg^{++})

Da Calcium und Magnesium die Kationen der wasserhärtenden Stoffe sind, war ein ähnliches Verhalten wie bei der Karbonat- und Gesamthärte zu erwarten. Diese Annahme hat sich bestätigt. Die Konzentrationen des Calciums schwanken in Q I — III von 2 — 5 mg/l und in Q IV von 5 — 9 mg/l. Die Magnesiumwerte differieren von 0,5 — 1,5 mg/l. Nur in Q IV stiegen sie einmal im Spätsommer auf 4,3 und 3,7 mg/l.

6. Zusammenfassung

Durch eine Kartierung wurden Mittlerer und Oberer Buntsandstein in Schwellenfazies am SW-Rand der Rhönschwelle unter Zuhilfenahme aller lithologischen und textuellen Merkmale neu gegliedert. Da die pelitischen Anteile weitgehend durch Psammite ersetzt sind, ist der zyklische Aufbau dieser Schichten allerdings stark verwischt.

Die tektonischen Untersuchungen ergaben, daß der Graben von Neuengronau und Mottgers, der sich südlich an das Heubach-Thalau-Friesenhausener Grabensystem (LAEMMLEN & PRINZ 1968) anschließt, nicht in Neuengronau endet, sondern sich in rheinischer Richtung mit stark verändertem Baustil fortsetzt.

Für den hydrogeologischen Teil wurde zunächst eine Quellkartierung durchgeführt und mit Hilfe der geologischen und hydrogeologischen Ergebnisse versucht, die Grundwasserverhältnisse im Kartiergebiet zu deuten.

4 Quellen mit stratigraphisch und tektonisch unterschiedlichen Einzugsgebieten wurden über ein Jahr physikalisch und chemisch untersucht, um jahreszeitliche und petro-fazielle Unterschiede und Zusammenhänge aufzuzeigen.

7. Schriftenverzeichnis

- BACKHAUS, E. (1968): Fazies, Stratigraphie und Paläogeographie der Solling-Folge (Oberer Buntsandstein) zwischen Odenwald — Rhön und Thüringer Wald. — Oberrhein. geol. Abh., **17** (1): 1—164, 16 Abb., 4 Tab., 14 Taf.; Karlsruhe.
- & REUL, K. (1971): Der Mittlere und Obere Buntsandstein im Bereich der Rhön-Schwelle. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **99**: 142—192, 4 Abb., 2 Tab., 14 Taf.; Wiesbaden.
- BECKSMANN, E. (1962): Probleme bei der Neugliederung der Buntsandstein-Formation. — Z. deutsch. geol. Ges., **113**: 607—609; Hannover.
- BLANCKENHORN, M. (1917): Zur Geologie westlich Fulda zwischen Rhön und Vogelsberg. — Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. f. 1915, **36**, II: 567—595; Berlin.
- (1934): Erl. geol. Kte. Preußen u. benachb. deutsch. L., Lfg. **314**, Bl. Großenlüder, 51 S., 1 Abb.; Berlin.
- (1925): Über Fossil- und Fährtenhorizonte im Buntsandstein Deutschlands. — Z. deutsch. geol. Ges., 1924, **76**, Mber.: 269—278; Berlin.
- BOIGK, H. (1952): Möglichkeiten und Wege zu einer Feingliederung im mittleren Buntsandstein erläutert an den Verhältnissen des nordwestlichen Vorharzes. — Z. deutsch. geol. Ges., 1951, **103**: 102—105, 1 Abb.; Hannover.
- (1959): Zur Gliederung und Fazies des Buntsandsteins zwischen Harz und Emsland. — Geol. Jb., **76**: 597—636, 6 Abb.; Hannover.
- BÜCKING, H. (1913): Über vor- und nachbasaltische Dislokationen und die vorbasaltische Landoberfläche in der Rhön. — Z. deutsch. geol. Ges., 1912, **64**, Mber.: 109—124; Berlin.
- CARLÉ, W. (1955): Bau und Entwicklung der Südwestdeutschen Großscholle. — Beih. geol. Jb., **16**, 272 S., 45 Abb., 4 Taf.; Hannover.
- DEGENS, E. T., KNETSCH, G. & REUTER, H. (1960): Ein geochemisches Buntsandstein-Profil vom Schwarzwald bis zur Rhön. — N. Jb. Geol. Paläontol., Abh., **111**: 181—233, 5 Abb., 7 Tab., 11 Diagr.; Stuttgart.
- DIEDERICH, G. (1967): *Corophioides* im Buntsandstein des Büdinger Waldes. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **95**: 232—234, Taf. 11; Wiesbaden.
- & LAEMMLEN, M. (1968): Kritische Betrachtungen zur Arbeitsweise im Buntsandstein und zu den Grundlagen einer einheitlichen Buntsandsteinstratigraphie. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **96**: 85—110, 2 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- (1969): Buntsandsteingliederung in Bayern und Hessen. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **97**: 195—205, 1 Abb.; Wiesbaden.
- GAERTNER, H. (1963): Zur Gliederung des Mittleren Buntsandsteins im thüringisch-nordhessischen Grenzgebiet. — Geol. Jb., **80**: 741—770, 4 Abb., 1 Taf.; Hannover.
- GRUPE, O. (1914 a): Zur Gliederung des deutschen Buntsandsteins. — Jb. preuß. geol. L.-Anst. f. 1912, **33**, I: 397—421, 1 Tab.; Berlin.
- (1914 b): Studien über Scholleneinbrüche und Vulkanausbrüche in der Rhön. — Jb. preuß. geol. L.-Anst. f. 1913, **34**, I: 407—476, 8 Abb.; Berlin.
- GUNZERT, G. (1958): Die einheitliche Gliederung des deutschen Buntsandsteins in der südlichen Beckenfazies. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **24**, 61 S., 14 Abb., 7 Tab.; Wiesbaden.
- HARRASSOWITZ, H. (1944): Wasseranalysen. — Z. prakt. Geol., **52**, 5.
- HERRMANN, A. (1962): Zur Methodik der heutigen Buntsandsteinforschung. — Ber. geol. Ges. DDR, **6**: 337—346, 4 Abb.; Berlin.

- HIEKE, W. (1967): Feinstratigraphie und Paläogeographie des Trochitenkalkes zwischen Leinetal-Graben und Rhön. — *Geologica et Paläontologica*, **1**: 57—86, 35 Abb., 4 Tab.; Marburg.
- HUMMEL, H. (1929): Die tektonische Entwicklung eines Schollengebirgslandes (Vogelsberg u. Rhön). — *Fortschr. Geol. Paläontol.*, **8**, 24, 234 S., 12 Abb., 3 Taf.; Berlin.
- JUNG, H. (1933/34): Sedimentpetrographische Untersuchungen an einem Kugelsandstein des Mittleren Buntsandsteins bei Kahla in Thüringen. — *Chem. d. Erde*, **8**, 4: 601—612; Jena.
- JUNGWIRTH, J. & PUFF, P. (1963): Zur saxonischen Tektonik am Südrand des Thüringer Beckens. — *Geologie*, **12**: 47—66, 13 Abb.; Berlin.
- KUPFAHL, H.-G. (1958): Die Abfolge des Buntsandsteins am östlichen Meißner-Gebirge. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **86**: 202—214, 1 Abb., Taf. 16; Wiesbaden.
- (1965): *Erl. geol. Kte. Hessen 1*: 25 000, Bl. 5323 Schlitz, 258 S., 32 Abb., 26 Tab., 4 Diagr., 14 Taf.; Wiesbaden.
- KUTSCHER, F. (1958): Bemerkungen zur stratigraphischen Buntsandsteinforschung in Hessen. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **86**: 185—191, 1 Abb.; Wiesbaden.
- LAEMMLEN, M. (1962): Profil durch den Buntsandstein im Spessart. — *HERRMANN-ALDINGER-Festschr.*: 105—124, 1 Abb., 2 Tab., 1 Beil.; Stuttgart.
- (1963): *Erl. geol. Kte. Hessen 1*: 25 000, Bl. 5223 Queck, 327 S., 21 Abb., 7 Tab., 13 Diagr., 22 Textprof., 18 Taf.; Wiesbaden.
- (1966): Der Mittlere Buntsandstein und die Solling-Folge in Südhessen und in den südlich angrenzenden Nachbargebieten. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, 1964, **116**: 908—919, 12 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Hannover.
- & PRINZ, H. (1967): Neu erkannte tektonische Strukturen in der Vorderrhön. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **95**: 242—246, 1 Abb.; Wiesbaden.
- (1968): Der Heubacher Graben im westlichen Rhönvorland als Teilstück der Grabenzone Heubach—Thalau—Friesenhausen. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **96**: 137—156, 1 Abb., 2 Taf.; Wiesbaden.
- LEMKE, E. (1937): Der tektonische Bau des Gebietes zwischen Vogelsberg und Rhön. — *Geotekt. Forsch.*, **1**: 27—68, 22 Abb., 5 Taf.
- MATTHES, G. (1961): Die Herkunft der Sulfationen im Grundwasser. — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **35**, 85 S., 3 Abb., 31 Tab.; Wiesbaden.
- (1966): Biogene Schwankungen des Sulfatgehaltes von Grundwässern. — *GWF*, **107**: 480—484, 3 Abb., 3 Tab.; München.
- NÖRING, F. (1951a): Einflüsse der Kunstdüngung auf den Chemismus des Grundwassers. — *Ge-sundh.-Ing.*, **72**: 190—191; München.
- (1951b): Fragen der Grundwasserchemie in Beziehung zu Oberfläche und Untergrund. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **102**: 123—128; Hannover.
- RUTTE, E. (1957): Einführung in die Geologie von Unterfranken. — 168 S.; Würzburg.
- SCHUSTER, M. (1932): Die Gliederung des Unterfränkischen Buntsandsteins; I. Der Untere und Mittlere Buntsandstein. — *Abh. geol. Landesunters. bayer. Oberbergamt*, **7**, 62 S., 9 Abb., 4 Taf., 1 Kte.; München.
- (1933): Die Gliederung des Unterfränkischen Buntsandsteins; II. Der Obere Buntsandstein oder das Röt; a: Die Grenzschichten zwischen Mittlerem und Oberem Buntsandstein. — *Abh. geol. Landesunters. bayer. Oberbergamt*, **9**, 58 S., 9 Abb., 2 Taf.; München.
- SEYFRIED, E. v. (1914): *Geol. Kte. Preußen u. benachb. B.-St.*, Lfg. **172**, Bl. Altengronau mit Erl.; Berlin.
- STILLE, H. (1926): Beitrag zur Frage der saxonischen Zerrungen. — *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen*, 1925, math.-phys. K.: 178—183, 1 Abb.; Berlin.
- Bayer. Geol. L.-Amt (1964): *Erl. geol. Kte. Bayern 1*: 500 000, 2. Aufl., 344 S., 40 Abb., 20 Tab.; München.
- Deutscher Wetterdienst (1950): *Klima-Atlas von Hessen*. — 75 Ktn., 9 Diagr., Erl.; Bad Kissingen.
- Hess. Min. Landwirtsch. u. Forsten, Abt. Wasserwirtsch. (1961): *Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Kinzig*. — 9 + 68 S., 53 Ktn.; Wiesbaden.

Tab. 5. Ausführliche Mineralwasseranalysen¹⁾ zur Arbeit SCHARPFF

Lfd. Nr.	Entnahmestelle	R 34+ H 55+	Na ⁺		K ⁺		NH ₄ ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Fe ²⁺		Mn ²⁺		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		SO ₄ ²⁻		H ₂ SiO ₃ mg mmol	feste ge- löste Best. mg	CO ₂ gel. mg	pH	Temp. °C	Datum der Entnahme	Insti- tut ¹⁾
			mg	mval	mval %	mg	mval	mval %	mg	mval	mval %	mg	mval	mval %	mg	mval	mval %	mg	mval	mval %	mg	mval	mval %	mg	mval	mval %								mg	mval	mval %
MV 1	Trais-Münzenberg Flachbohrung	8543 9304	352,0 48,99	15,31	1,12 0,10	0,03	—	—	198,60 31,71	9,91	72,96 19,20	6,00	—	—	660,3 59,07	18,62	740,54 38,52	12,14	0,0 0,0	0,0	—	36,63 2,41	0,76	—	—	—	2062,14	—	—	—	11. 6. 1969	1	
MV 2	Münzenberg Mineralq. Junkermühle	8378 9187	3500,69 79,37	152,26	97,00 1,29	2,48	—	—	483,68 12,58	24,14	154,68 6,63	12,72	6,82 0,13	0,24	6344,64 94,16	178,94	647,21 5,58	10,61	9,63 0,08	0,16	—	16,67 0,18	0,35	—	—	11261,02	536	6,40	10,6	11. 6. 1969	1		
MV 3	Eberstadt Flachbohrung	8326 9231	4318,46 80,13	187,83	75,00 0,82	1,92	—	—	624,50 13,29	31,16	164,15 5,76	13,50	—	—	7650,88 91,79	215,78	1173,64 8,18	19,24	0,0 0,0	0,0	—	3,91 0,03	0,08	—	—	14010,54	—	6,80	—	11. 6. 1969	1		
MV 4	Ober Hörgern gefaßte Mineralquelle	8320 9215	2600 80,21	113,07	68 1,23	1,74	—	—	365 12,93	18,22	96,5 5,63	7,94	—	—	4548 91,56	128,26	704 8,23	11,53	—	—	13,9 0,21	0,29	—	—	8395,4	406 ^{*)}	6,2	10,8	21. 2. 1967	1			
MV 5	Griedel Tiefbrunnen II ^{*)}	7890 8985	(377,7) (63,24)	(16,43) ^{*)}	—	—	0,0 0,0	0,0	127,9 24,56	6,38	37,8 11,97	3,11	0,16 0,23	0,06	0,0 0,0	0,0	644,0 69,90	18,16	390,5 24,63	6,40	7,4 0,47	0,12	vorh.	—	62,3 5,00	1,30	9,6	1752 ^{*)}	31,2	—	—	22. 3. 1947	2
MV 6	Rockenberg Tiefbohrung Maiwiese ^{*)}	8196 8814	—	—	—	—	0,0 0,0	0,0	—	—	—	—	0,71 0,03	0,03	—	—	800 22,57	22,57	427 7,0	7,0	—	—	—	—	—	>154	6,95	—	—	5. 5. 1952	2		
MV 7	Rockenberg Flachbg., 1 m tief	8064 8876	965,62 64,36	42,00	12,35 0,49	0,32	—	—	329,13 25,16	16,42	79,28 9,99	6,52	—	—	2023,98 87,89	57,08	467,26 11,79	7,66	0,0 0,0	0,0	—	10,29 0,32	0,21	—	—	3887,91	—	7,00	—	11. 6. 1969	1		
MV 8	Oppershofen Neubohrung ^{*)}	8111 8683	—	—	—	—	—	—	—	7,54 ^{*)}	—	—	—	—	672,0	18,95	451,5	7,40	—	—	—	—	—	—	—	60,5	6,88	—	—	27. 5. 1958	2		
MV 9	Steinfurth Flachbohrung (1 m S Bg. 195, Tab. 8)	8154 8550	1045,0 70,79	45,43	0 0	0	—	—	258,0 20,05	12,87	71,5 9,16	5,88	0 0	0	1801,3 76,93	50,80	916,2 22,75	15,02	—	—	10,1 0,32	0,21	—	—	4102,1	—	6,8	—	5. 7. 1968	1			
MV 10	Steinfurth Flachbohrung (1 m S Bg. 201, Tab. 8)	8203 8463	909,0 49,44	39,52	357,0 11,42	9,13	—	—	444,7 27,75	22,18	110,7 11,39	9,10	0 0	0	2168,3 78,05	61,15	839,4 17,56	13,76	—	—	165,3 4,39	3,44	—	—	4994,4	—	6,9	—	5. 7. 1968	1			
MV 11	Steinfurth Flachbohrung	8269 8331	373,5 55,19	16,23	18,5 1,60	0,47	—	—	193,9 32,88	9,67	37,0 10,33	3,04	0 0	0	593,4 54,83	16,74	799,1 42,91	13,10	—	—	33,1 2,26	0,69	—	—	2048,5	—	—	—	5. 7. 1968	1			
MV 12	Steinfurth Steinfurth Sauerling	8276 8330	584,0 64,64	25,39	22,5 1,48	0,58	—	—	193,9 24,62	9,67	44,3 9,26	3,64	0 0	0	819,4 59,42	23,11	939,4 39,60	15,40	4,6 0,21	0,08	—	14,4 0,77	0,30	—	2622,5	1755	5,85	10,7	4. 7. 1968	1			
MV 13	Steinfurth Flachbohrung	8268 8315	4873,7 83,66	211,90	80,0 0,81	2,05	—	—	559,9 11,03	27,94	138,6 4,50	11,40	0 0	0	7982,3 88,93	225,13	1670,2 10,82	27,38	0 0	0	30,3 0,25	0,63	—	—	15335	—	—	—	4. 7. 1968	1			
MV 14	Nieder-Mörten Selzerbrunnen	8282 8257	3114,7 81,02	135,42	286,0 4,38	7,32	—	—	352,6 10,52	17,59	78,1 3,84	6,42	11,1 0,24	0,40	5185,0 90,24	146,23	913,2 9,24	14,97	20,0 0,20	0,32	—	24,9 0,32	0,52	—	9986	2024	5,75	13,9	3. 7. 1968	1			
MV 15	Rödgen Sauerling	8322 8123	320,2 50,54	13,92	17,5 1,63	0,45	—	—	183,2 33,19	9,14	47,4 14,16	3,90	3,5 0,48	0,13	483,2 50,04	13,63	739,3 44,49	12,12	—	—	71,6 5,47	1,49	—	—	1866	1004	6,2	11,5	3. 7. 1968	1			
MV 16	Schwalheim Bohrbr., Löwenquelle	8420 7581	746,1 59,30	32,444	47,54 2,22	1,216	—	—	273,4 24,94	13,643	86,15 12,95	7,085	8,57 0,56	0,3069	0,5 0,03	0,0182	1220 62,90	34,4084	1146,8 34,36	18,793	—	72,14 2,74	1,502	21,7 0,2779	3623	2948	5,81	10,65	1955	3			
MV 17	Schwalheim Schwalh. Sauerling	8421 7982	443,8 55,29	19,298	34,22 2,51	0,8753	—	—	186,4 26,65	9,3014	63,86 15,05	5,2517	4,3 0,44	0,1540	0,6 0,06	0,0218	705,0 57,00	19,884	857,1 40,26	14,047	—	45,93 2,74	0,9563	23,14 0,2963	2364	2332	5,72	10,1	1956	3			
MV 18	Dorheim Germaniabrunnen	8447 7978	490,5 54,59	21,3348	28,53 1,87	0,7297	0,6294 0,0349	0,0349	215,4 27,50	10,7477	71,73 15,09	5,8987	4,745 0,43	0,1699	0,5395 0,05	0,0196	824,2 59,32	23,2444	899,1 37,60	14,7348	2,198 0,09	0,0354	0,01	—	56,28 2,99	1,1718	22,22 0,2844	2618	2132	5,68	11,4	14. 12. 1967	3
MV 19	Dorheim Steinquelle	8446 7979	165,2 42,19	7,1835	14,2 2,13	0,3632	—	—	127,9 37,49	6,382	37,1 17,92	3,051	1,19 0,25	0,0426	0,1 0,02	0,0036	260,0 43,16	7,333	530,7 51,2	8,698	13,0 1,23	0,2096	—	—	36,0 4,41	0,7495	23,7 0,3035	1209,09	1100,0	5,86	10,5	2. 3. 1957	3
MV 20	Dorheim Fortunaquelle	8446 7979	103,3 35,62	4,4919	9,9 2,01	0,2532	0,4 0,17	0,0222	107,9 42,69	5,384	29,69 19,36	2,4416	0,5 0,14	0,0179	0,05 0,01	0,0018	154,4 34,60	4,3546	451,4 58,79	7,398	16,12 2,06	0,260	—	—	27,47 4,55	0,5719	25,6 0,3278	926,73	880,0	6,02	11,2	13. 10. 1956	3
MV 21	Ossenheim Flachbohrung	8497 7631	306,6 88,28	13,33	9,1 1,52	0,23	—	—	22,9 7,55	1,14	4,9 2,65	0,40	0 0	0	—	—	71,0 12,79	2,00	772,9 81,01	12,67	0 0	0 0	—	—	46,5 6,20	0,97	—	1233,9	—	7,4	—	3. 7. 1968	1
MV 22	Fauerbach v. d. H. Mineralquelle	7474 8494	763,00 78,02	33,19	22,0 1,32	0,56	—	—	112,51 13,19	5,61	38,67 7,47	3,18	—	—	1277,54 85,04	36,03	366,00 14,16	6,00	0,55 0,02	0,01	—	15,85 0,78	0,33	—	—	2596,12	70	7,05	10,5	10. 6. 1969	1		

Fortsetzung Tabelle 5

Lfd. Nr.	Entnahmestelle	R 34+ H 55+	Na ⁺		K ⁺		NH ₄ ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Fe ²⁺		Mn ²⁺		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		SO ₄ ²⁻		H ₂ SiO ₃ mg mmol	feste ge- löste Best. mg	CO ₂ gel. mg	pH	Temp. °C	Datum der Entnahme	Insti- tut *)	
			mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval								mg	mval	mg	mval
MV 23	Bad Nauheim Sprudel XII	8185 8130	10416 82,97	453,0	345,0	8,823	19,49	1,080	1412	70,46	126,9	10,44	15,11	0,5411	1,92	0,0699	18124	511,2	2059	33,74	—	—	44,38	0,9240	31,07	0,3978	32669	1126	6,19	33,0	26. 7. 1956	4		
MV 24	Bad Nauheim Sprudel XIV	8187 8132	9020 82,15	392,3	311,8	7,974	12,99	0,7201	1303	65,02	114,2	9,392	13,88	0,4970	1,97	0,0717	15729	443,6	2010	32,94	—	—	40,98	0,8532	28,06	0,3593	28659	1168	6,17	31,12	27. 7. 1956	4		
MV 25	Bad Nauheim Sprudel VII	8184 8130	8268 81,81	359,6	288,3	7,373	16,24	0,9002	1231	61,43	101,5	8,347	12,95	0,4637	1,81	0,0659	14407	406,3	1974	32,35	—	—	38,11	0,7934	25,12	0,3216	26424	1239	6,14	30,05	2. 8. 1956	4		
MV 26	Bad Nauheim Kurbrunnen	8167 8090	5393 81,52	234,51	190,6	4,8752	11,06	0,6131	813,2	40,578	78,5	6,4557	9,87	0,3535	1,236	0,045	9370	264,26	1390,4	22,787	—	—	30,1	0,6267	20,34	0,2605	17320	1498	5,95	20,1	15. 4. 1955	3		
MV 27	Bad Nauheim Tiefbohrung 103 *)	8262 8030	(4139) (180,02 *) (97,16)	—	—	—	0	0	83,6	4,17	13,4	1,10	—	—	—	—	6180	174,32	323	5,29	60	0,97	0	0	226	4,71	—	(11024)	—	—	—	18. 4. 1969	5	
MV 28	Bad Nauheim Siedehausquelle	8170 8071	3344 80,15	145,41	131,4	3,361	6,26	0,347	547,2	27,305	55,6	4,572	5,66	0,2027	1,241	0,0452	5784	163,13	1072,1	17,57	—	—	31,7	0,66	18,79	0,2406	11007	1999	5,79	15,6	5. 11. 1955	3		
MV 29	Bad Nauheim Karlsbrunnen	8158 8082	3314,5 80,40	144,12	129,65	3,316	6,63	0,3675	534,5	26,672	52,95	4,3545	3,79	0,1357	1,09	0,0397	5717	161,24	1052,3	17,2456	—	—	32,92	0,6854	18,17	0,2327	10874	1870	5,87	19,05	10. 8. 1956	3		
MV 30	Bad Nauheim Tiefbohrung 27 12,8 m tief	8256 8026	(1705) (74,16 *) (80,03)	—	25	1,39	—	—	270,2	13,48	44,2	3,64	—	—	—	—	2640	74,46	518,6	8,50	32	0,52	2,2	0,05	439	9,14	—	5676	—	—	—	11. 4. 1969	5	
MV 31	Bad Nauheim Gasquelle	8173 8125	926,0 67,49	40,266	37,8	0,9669	2,4	0,1330	325,0	16,217	23,1	1,8997	2,5	0,0895	0,6	0,0218	1513,0	42,672	989,7	16,22	—	—	36,8	0,7662	17,3	0,2216	3877,2	572,0	6,5	20,5	2. 5. 1957	3		
MV 32	Bad Nauheim Ludwigsbrunnen	8187 8031	237,66 46,54	10,334	13,46	0,3443	0,81	0,0449	147,76	7,373	47,45	3,902	4,17	0,1495	0,28	0,0102	420,46	11,859	610,67	10,01	—	—	14,72	0,3064	14,94	0,1913	1514	1894	5,73	18,6	22. 11. 1954	3		
MV 33	Friedberg Bohrbr., 10 m tief	8289 7911	—	—	—	—	vorh.	—	318,2	15,878	113,3	9,321	0,18	0,006	0,0	0,0	332,0	9,365	590,75	5,500	60,00	0,968	—	—	423,9	8,826	—	2278 *)	42,9	5,50	—	2. 4. 1963	2	
MV 34	wie 33	8289 7911	79,2 17,13	3,44	2,82	0,07	—	—	222,22	11,09	66,64	5,48	—	—	—	—	154,67	4,36	549,00	9,00	90,82	1,46	—	—	266,72	5,55	—	1432,09	42	7,60	9,6	10. 6. 1969	1	
MV 35	Friedberg Tiefbohrung Zuckerfabr. 150 m tief	8366 7749	652 77,5	28,35	38	0,97	—	—	117,4	5,86	17,3	1,42	—	—	—	—	753,5	21,25	963,8	15,80	5,9	0,10	—	—	29,9	0,62	—	1678	1694	—	—	3. 8. 1967	1	
MV 36	Nieder-Rosbach Quelle I	7987 7457	16,8 8,20	0,7308	1,52	0,0389	0,11	0,0061	106,0	5,289	34,2	2,813	0,75	0,0269	0,20	0,0073	28,9	0,8152	464,3	7,61	4,01	0,0646	—	—	20,6	0,4289	14,6	0,187	692,0	306	6,4	11,5	26. 7. 1968	4
MV 37	Nieder-Rosbach Quelle II, Rosbacher Sauerling	7987 7457	71,3 18,73	3,101	3,25	0,0831	0,21	0,0116	151,5	7,560	69,3	5,701	2,06	0,0738	0,63	0,0229	114,7	3,235	793,8	13,01	0,63	0,0102	—	—	13,0	0,2707	15,4	0,197	1235	1240	6,2	13,0	26. 7. 1968	4
MV 38	Nieder-Rosbach *) Mineralquelle Harbmühle	7987 7457	230,5 44,72	10,03	—	—	—	—	187,7	9,37	32,2	2,98	1,5	0,05	—	—	355,4	10,02	470,6	7,71	—	—	127,9	2,65	23,7	0,304	1433	878	—	13,1	1858	6		
MV 39	Burgholzhausen Sauerling	7672 6891	8,11 5,07	0,35	1,82	0,05	—	—	98,90	4,94	16,05	1,32	6,64	0,24	—	—	17,83	0,50	292,80	4,80	0,0	0,0	—	—	52,68	1,10	—	494,8	1640	5,65	10,8	11. 6. 1969	1	
MV 40	Trais-Horloff *) Sauerling	9356 8997	154,0 35,43	6,70	—	—	—	—	100,75	5,03	87,28	7,18	—	—	—	—	374,5	10,56	344,23	5,64	—	—	11,45	0,24	20,31	0,260	1093	1101	—	10,5	1858	6		
MV 41	Trais-Horloff ehemaliger Sauerling	9356 8997	19,90 10,98	0,87	3,76	0,10	—	—	110,51	5,51	17,51	1,44	—	—	—	—	27,87	0,79	429,44	7,04	17,89	0,29	—	—	6,38	0,13	—	633	—	6,70	10,4	10. 6. 1969	1	
MV 42	Trais-Horloff *) Grube Friedrich, Bg. II	~9300 ~9040	1313,80 45,80	57,15	109,39	2,80	2,38	0,13	684,11	34,13	369,33	30,38	4,72	0,17	—	—	2698	76,10	2425,42	39,75	0,0	0,0	—	—	274,08	5,71	213,2	2,735	8098 (9124 *)	—	—	—	1917	
MV 43	Trais-Horloff *) Mineralq. i. Tagebau	~9299 9043	(2052) (58,71)	(89,26) *)	—	—	—	—	292	14,57	586	48,21	—	—	—	—	3130	88,29	1661	27,22	—	—	447	9,31	—	—	8168	—	—	—	ca. 1925/30	7		

Fortsetzung Tabelle 5

Lfd. Nr.	Entnahmestelle	R 34+ H 55+	Na ⁺		K ⁺		NH ₄ ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Fe ²⁺		Mn ²⁺		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		SO ₄ ²⁻		H ₂ SiO ₃ mg mmol	feste gelöste Best. mg	CO ₂ gel. mg	pH	Temp. °C	Datum der Entnahme	Institut *)	
			mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval								mg	mval	mg	mval
MV 44	Grund-Schwalheim „Römerbrunnen“	9319 8595	700,0 31,63	30,45	40,0 1,06	1,023	0,4 0,02	0,0222	458,2 23,75	22,86	500,1 42,73	41,13	19,8 0,74	0,7090	1,75 0,07	0,0637	1244 36,44	35,08	3590 61,12	58,83	7,6 0,13	0,1226	—	—	106,8 2,31	2,223	119,6 1,531	6788	2307	6,2	14,4	18. 9. 1959	4	
MV 45	Berstadt Kreuzquelle *)	9248 8670	646,00 28,07	28,10	165,0 4,22	4,22	0 0	0	666,00 33,20	33,23	416,00 34,19	34,22	8,50 0,30	0,30	0,62 0,02	0,02	1716,00 52,35	48,40	2605 46,16	42,69	0,66 0,01	0,01	0 0	0 0	66,00 1,48	1,37	7,00 0,09	9297	3018	—	—	10. 7. 1953	2	
MV 46	Echzell ehemaliger Säuerling *)	9237 8399	699,70 53,50	30,44	101,06 4,54	2,58	—	—	217,78 19,10	10,87	153,28 22,16	12,61	11,04 0,70	0,40	—	—	1504,1 78,07	42,42	582,56 17,57	9,55	—	—	—	—	113,93 4,36	2,37	74,47 0,95	3458	720	—	—	1858	8	
MV 47	Bingenheim Bohrbr., 65 m tief *)	9270 8254	(26,7) (8,47)	(1,16)	*)	*)	0,0 0,0	0,0	103,63 37,74	5,17	89,5 53,72	7,36	0,29 0,07	0,01	0,0 0,0	0,0	28,4 5,84	0,80	750,51 89,78	12,3	25,0 2,92	0,40	Sp.	—	9,7 1,46	0,20	37,0 0,474	1070	330	6,50	—	19. 7. 1955	2	
MV 48	Staden Säuerling	9350 7752	464,0 50,96	20,18	16,3 1,06	0,42	—	—	226,63 28,56	11,31	92,90 19,29	7,64	1,30 0,13	0,05	—	—	825,38 59,62	23,28	889,38 37,33	14,58	0 0	0	—	—	57,21 3,05	1,19	—	2573	2300	6,15	11,0	11. 6. 1969	1	
MV 49	Staden Bohrung, 14 m tief *)	9474 7770	(463) (52,90)	(20,14)	*)	*)	3,0 0,45	0,17	191,5 25,11	9,56	99,7 21,54	8,20	—	—	—	—	1136 84,15	32,04	366 15,76	6,00	2,0 0,08	0,03	0,2 0,01	0,004	Sp.	—	3158 *)	>88	7,4	—	7. 10. 1969	5		
MV 50	Bönstadt Flachbohrung	8825 7321	260,6 56,48	11,33	9,44 1,20	0,24	—	—	128,93 32,05	6,43	25,05 10,27	2,06	—	—	—	—	231,82 31,44	6,54	710,65 56,01	11,65	0,0 0,0	0,0	—	—	125,54 12,55	2,61	—	1492	—	7,40	—	11. 6. 1969	1	
MV 51	Groß-Karben „Selzerbrunnen“	8267 6697	506,2 40,50	22,01	39,57 1,86	1,012	1,80 0,18	0,0998	499,7 45,88	24,94	74,38 11,25	6,117	4,27 0,28	0,1529	0,80 0,05	0,0293	737,2 38,25	20,79	1997 60,20	32,73	—	—	—	—	40,38 1,55	0,8407	19,36 0,2480	3920	1836	6,1	13,5	21. 8. 1953	4	
MV 52	Groß-Karben Brunnen 3	8757 6694	400,00 37,96	17,3940	40,00 2,24	1,0231	1,00 0,12	0,0554	436,00 47,49	21,7560	65,20 11,66	5,3454	4,16 0,49	0,2235	0,50 0,04	0,0182	636,00 39,15	17,9380	1586,47 56,74	26,00	0,0 0,0	0,0	—	—	90,50 4,11	1,8842	28,0 0,358	3287,83	1859,10	6,03	13,0	21. 6. 1966	2	
MV 53	Groß-Karben Brunnen 4	8270 6698	443 36,42	19,27	33,3 1,61	0,85	0,0 0,0	0,0	352,2 33,21	17,57	180,7 28,10	14,87	2,9 0,19	0,10	7,0 0,47	0,25	491 30,20	13,85	1897,6 67,82	31,1	0,0 0,0	0,0	0,0 0,0	—	43,7 1,98	0,91	35,1 0,449	3487	—	6,37	—	21. 9. 1940	2	
MV 54	Kloppenheim Tanusbrunnen	8246 6683	624,9 41,97	27,11	39,64 1,57	1,012	1,784 0,15	0,0987	580,0 44,78	28,93	86,88 11,04	7,133	7,963 0,44	0,2849	1,118 0,06	0,0407	1040 45,35	29,34	2110 56,74	34,59	0,543 0,02	0,0088	—	—	36,22 1,17	0,754	20,97 0,2674	4553	2417	—	13,1	1873	4	
MV 55	Groß-Karben „Ludwigsbrunnen“	8405 6811	829,8 42,52	36,08	46,98 1,42	1,2017	3,6 0,24	0,1996	625,7 36,79	31,22	195,7 18,97	16,09	1,19 0,05	0,0421	0,35 0,01	0,0127	1382,7 45,93	38,97	2701 52,17	44,27	—	—	—	—	77,40 1,90	1,611	22,28 0,2854	5886	2038	6,1	12,0	21. 8. 1953	4	
MV 56	Groß-Karben Kappes-Quelle	8394 6810	677,9 37,09	29,41	351,4 11,32	8,976	3,601 0,25	0,1993	594,4 37,39	29,65	134,2 13,90	11,02	1,158 0,05	0,0414	—	—	1413 50,26	39,85	2329 48,15	38,18	—	—	—	—	60,58 1,59	1,261	24,40 0,3111	5590	1014	—	9,0	1900	7	
MV 57	Rendel Bohrbr. Scharmühle *)	8468 6306	(280) (86,48)	(12,42)	*)	*)	vorh.	—	19,3 6,69	0,96	11,9 6,83	0,98	Sp.	—	—	—	52,2 10,23	1,47	696,0 79,39	11,40	0,0 0,0	0,0	0,0 0,0	—	71,5 10,38	1,49	—	1125 *)	123	6,1	12,5	19. 1. 1956	7	
MV 58	Nieder-Erlenbach Tiefbr., 56 m tief	7955 6239	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	51,6 1,46	8,7	530,8 8,7	8,7	—	—	—	—	—	—	984 *)	108,9	—	—	25. 5. 1967	2		
MV 59	Bad Vilbel Friedr.-Karl-Sprudel	8224 6170	694,4 42,84	30,20	62,2 2,25	1,590	3,89 0,31	0,2156	527,3 37,31	26,31	138,7 16,18	11,41	11,80 0,60	0,4226	0,55 0,028	0,0200	553,1 22,13	15,60	3293 76,55	53,97	—	—	—	—	41,5 1,23	0,8640	20,3 0,260	5363	2126	6,3	11,3	11. 3. 1966	4	
MV 60	Bad Vilbel Hassia-Sprudel	8168 6087	464,8 42,12	20,210	34,2 1,82	0,875	2,3 0,271	0,130	385,0 40,07	19,226	83,0 14,23	6,826	13,4 1,00	0,480	0,32 0,0025	0,012	391,0 22,99	11,03	2208,6 75,44	36,2	—	—	—	—	35,8 1,55	0,746	12,6 0,162	3633,51	3152,00	6,3	10,8	8. 12. 1938	2	
MV 61	Massenheim Mineralquelle	8002 6198	149,80 27,12	6,52	14,25 1,50	0,36	—	—	292,29 60,69	14,59	30,16 10,32	2,48	2,59 0,37	0,09	—	—	198,09 22,88	5,59	1082,14 72,62	17,74	0,0 0,0	0,0	—	—	52,89 4,50	1,10	—	1823	768	6,60	10,7	11. 6. 1969	1	
MV 62	Bad Salzhausen Solquelle III	9886 8648	5326 80,55	231,6	158,1 1,41	4,044	1,6 0,03	0,0887	589,9 10,23	29,43	269,1 7,70	22,13	6,57 0,08	0,235	0,20 0,00	0,0075	9188 90,11	259,1	829,1 4,72	13,59	—	—	—	—	713,7 5,17	14,86	35,54 0,4552	17118	569	6,3	14,1	25. 9. 1952	4	
MV 63	Bad Salzhausen Solquelle I	9893 8649	4039 78,71	175,61	124,2 1,42	3,177	1,0 0,02	0,055	502,7 11,24	25,08	232,7 8,57	19,13	2,73 0,04	0,0977	0,14 0,00	0,0051	7044 89,03	198,66	753,0 5,53	12,34	2,5 0,02	0,040	0,1 0,00	0,002	—	581,7 5,42	12,11	39,06 0,5002	13323	279	6,5	13,6	24. 9. 1952	4
MV 64	Bad Salzhausen Sole-Neubohrung	9912 8650	3670 77,65	159,67	93,40 1,16	2,38900	1,470 0,03	0,00814	472,2 11,46	23,56	233,0 9,31	19,15	8,320 0,14	0,2979	0,154 0,00	0,00560	6460 88,53	182,20	738,0 5,90	12,10	—	—	—	—	548,2 5,56	11,413	14,020 0,1795	12249,4	376,00	6,51	13,20	13. 1. 1966	3	
MV 65	Bad Salzhausen Solquelle V	9891 8647	3716 79,27	161,59	105,3 1,32	2,6934	—	—	427,7 10,47	21,343	219,0 8,83	18,01	5,6 0,10	0,2006	0,25 0,01	0,0091	6457 89,33	182,1	683,0 5,49	11,19	—	—	—	—	507,0 5,18	10,556	14,4 0,1844	12135	209	6,5	—	1957	3	
MV 66	Bad Salzhausen Solquelle VI	9900 8648	3341 79,01	145,28	89,04 1,24	2,2775	1,31 0,04	0,0726	396,3 10,75	19,775	198,7 8,89	16,341	3,09 0,06	0,1106	0,28 0,01	0,0103	5768 88,48	162,68	622,2 5,55	10,197	—	—	—	—	527,5 5,97	10,983	11,96 0,1532	10959	167,2	6,6	11,6	13. 2. 1958	3	

Fortsetzung Tabelle 5

Lfd. Nr.	Entnahmestelle	R 34+ H 55+	Na ⁺		K ⁺		NH ₄ ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Fe ²⁺		Mn ²⁺		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		SO ₄ ²⁻		H ₂ SiO ₃ mg mmol	feste ge- löste Best. mg	CO ₂ gel. mg	pH	Temp. °C	Datum der Entnahme	Insti- tut ^{*)}	
			mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval								mg	mval
MV 68	Bad Salzhausen Schwefelquelle	9908 8658	2771 75,42	120,5	69,34 1,11	1,774	2,00 0,07	0,1109	410,9 12,84	20,51	202,8 10,44	16,68	4,99 0,11	0,1787	0,29 0,01	0,0107	4973 87,82	140,3	623,6 6,40	10,22	—	—	443,2 5,78	9,227	16,13 0,2066	—	—	9517	202	6,7	11,6	24. 9. 1952	4	
MV 69	Bad Salzhausen Lithiumquelle	9878 8642	2562 80,32	111,442	168,7 3,11	4,315	1,1 0,04	0,061	266 9,56	13,277	105,1 6,22	8,643	4,4 0,11	0,158	Sp.	—	4345 88,34	122,53	537,1 6,35	8,801	—	—	353,2 5,30	7,354	13,0 0,166	—	—	8365,2	426	—	16,5	1931	3	
MV 70	Bad Salzhausen Stahlquelle	9918 8677	326,0 65,92	14,176	12,4 1,48	0,3172	1,35 0,35	0,0748	80,1 18,58	3,997	32,1 12,27	2,6399	8,35 1,39	0,2991	0,08 0,01	0,0029	540,9 70,94	15,255	359,9 27,43	5,898	—	—	16,8 1,63	0,3498	13,45 0,1723	—	—	1391,43	71,5	6,92	11,3	27. 3. 1957	3	
MV 71	Kohden Tiefbg. I, 302 m tief ^{*)}	0160 8860	—	—	—	—	vorh.	—	29,51 ^{*)}	—	—	—	—	—	—	—	3500	98,72	397	6,50	2,0	0,05	0,0	0,0	—	—	—	88,0	7,10	17,2	6. 8. 1963	2		
MV 72	Wallernhausen Tiefbg. Orbes I, 202 m tief ^{*)}	9863 8465	—	—	—	—	0,0	0,0	7,68 ^{*)}	—	—	—	—	—	—	—	1780	50,20	275	4,50	1,0	0,02	0,0	0,0	—	—	—	—	8,29	—	12,5	6. 8. 1963	2	
MV 73	Nidda, Stehfelder Sumpf 1, Tiefbohrung	9902 8390	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2510	70,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4942 ^{*)}	—	6,80	—	30. 9. 1968	9	
MV 74	Nidda, Stehfelder Sumpf 3, Tiefbohrung ^{*)}	9888 8387	—	—	—	—	—	—	75,36 ^{*)}	—	—	—	—	—	—	—	4810	135,67	720,0	11,80	—	—	—	—	—	—	—	11642 ^{*)}	—	—	—	13. 9. 1968	9	
MV 75	Wallernhausen Tiefbohrung	9888 8268	—	—	—	—	vorh.	—	1,5 ^{*)}	—	—	—	—	—	—	—	206	5,81	176,9	2,9	8,0	0,13	vorh.	—	—	—	—	—	—	9,4	11,0	27. 1. 1964	9	
MV 76	Ortenberg Stadtbrunnen-Quelle ^{*)}	350394 558026	—	—	—	—	0,0	0,0	3,57 ^{*)}	—	—	—	0,05	0,02	0,0	0,0	234	6,60	153	2,50	4,0	0,06	0,0	0,0	—	—	—	—	67,1	6,50	—	27. 4. 1967	2	
MV 77	Selters Benediktus-Sprudel	350288 557878	3412 76,08	148,4	237,1 3,11	6,065	1,022 0,03	0,0567	603,7 15,45	30,12	116,6 4,92	9,589	7,424 0,14	0,2658	0,954 0,02	0,0347	5583 80,76	157,5	1421 11,93	23,28	2,532 0,02	0,0408	—	—	683,1 7,29	14,22	18,95 0,2427	—	—	6,18	11,7	5. 4. 1948	4	
MV 78	Wippenbach Klosterbrunnen	350226 557917	3320 74,93	144,40	307,0 4,08	7,85	1,2 0,00	0,01	569,0 14,73	28,39	135,2 5,77	11,12	10,1 0,29	0,563	2,2 0,04	0,080	5621 82,42	158,55	1285 10,94	21,05	—	—	612,1 6,64	12,77	—	—	11868	1113 ^{*)}	—	(11,5) ^{*)}	—	1896	2	
MV 79	Büdingen Tiefbrunnen	350735 557261	2155 75,88	93,71	42,52 0,88	1,088	—	—	314,5 12,71	15,69	156,8 10,44	12,89	0,42 0,01	0,0150	2,56 0,08	0,0932	3534 80,71	99,672	819,1 10,87	13,42	48 0,63	0,7741	0,03 0,00	0,0007	462,2 7,79	9,622	24,14 0,3092	—	—	6,4	11,2	11. 8. 1954	4	
MV 80	Büdingen Fischhälterquelle	350866 557297	549,0 52,28	23,88	21,2 1,19	0,5421	0,58 0,07	0,0321	262,3 28,66	13,09	89,2 16,06	7,338	18,0 1,41	0,6446	4,17 0,33	0,1518	1018 62,83	28,71	712,7 25,56	11,68	0,86 0,03	0,0139	—	—	253,8 11,56	5,284	40,1 0,513	—	—	7,2	11,0	18. 5. 1966	4	
MV 81	Büdingen Kapellenbrunnen ^{*)}	350862 557297	432,35	18,81	176,31	4,51	vorh.	—	270,15	13,48	48,07	3,95	5,3	0,19	0,29	0,01	653,0	18,42	469,84	7,70	34,0	0,55	0,0	0,0	87,25	1,82	24,9 0,3075	—	—	—	—	1. 10. 1953	2	
MV 82	Büdingen Schwefelquelle	350874 557291	372,10 56,62	16,19	117,56 10,51	3,007	0,0 0,0	0,0	134,01 23,39	6,69	32,99 9,48	2,71	0,02 0,00	0,0007	0,0 0,0	0,0	585,0 56,10	16,50	530,87 29,59	8,7	30,0 1,63	0,48	0,0 0,0	0,0	0,0	179,05 12,68	3,73	5,0 0,064	—	—	11,0	—	1. 10. 1953	2
MV 83	Büdingen Stahlquelle ^{*)}	350878 557289	48,19	2,10	43,27	1,11	0,0	0,0	99,93	4,99	31,68	2,61	0,02	0,071	0,0	0,0	338,0	9,53	433,22	7,10	30,0	0,48	0,0	0,0	115,23	2,40	—	—	—	—	11,6	—	1. 10. 1953	2
MV 84	Büdingen Quelle am Holzplatz ^{*)}	350725 557250	61	2,89	*)	—	vorh.	—	9,96 ^{*)}	—	—	—	—	—	—	—	192,0	5,42	427,1	7,00	20,0	0,43	vorh.	—	—	—	—	994 ^{*)}	—	6,62	—	15. 3. 1966	2	
MV 85	Altenstadt Untersuchungsbohrg.	349554 557289	147,27 93,03	6,41	*)	—	—	—	3,57 2,61	0,18	3,62 4,35	0,30	—	—	—	—	73,7 25,68	2,08	353,90 71,60	5,80	—	—	10,5 2,72	0,22	—	—	571 ^{*)}	—	—	18	—	1. 4. 1949	1	
MV 86	Lißberg Quelle a. d. Fischzucht	350630 558185	168,0 68,32	7,31	7,45 1,78	0,19	0,11 0,09	0,01	37,04 17,29	1,85	16,24 12,52	1,34	—	—	—	—	254,74 66,67	7,18	169,58 25,81	2,78	10,32 1,58	0,17	—	—	30,87 5,94	0,64	—	—	694	44	7,1	14,2	10. 6. 1970	1

1) Gewichtsangaben bezogen auf 1 kg (bei Institut Nr. 3, 4, 10 — s. Fußnote Nr. 9) bzw. 1 l (übrige Institute).
Anzahl der Kommastellen jeweils entsprechend der Originalanalyse.

2) Alkalien als Na⁺ aus der Inonenbilanz errechnet.

3) Abdampfrückstand + HCO₃⁻: 2

4) Abdampfrückstand

5) Summe der Erdalkalien in mval, aus GH errechnet

6) Heute nicht mehr bestehende Quelle oder Bohrung

7) Nachträglich bestimmt

8) Originalanalyse rechnerisch ergänzt

9) Ausführendes Institut:

1 = Hess. Landesamt f. Bodenforschung, Wiesbaden

2 = Staatl. Chemisches Untersuchungsamt, Gießen

3 = Chem. Abt. v. Klinik u. Inst. f. Physik, Medizin
u. Balneologie d. J.-Liebig-Univ. Gießen, Bad Nauheim
(= Staatliches Quellenforschungsinstitut)

4 = Chemisches Laboratorium Fresenius, Wiesbaden

5 = Baustoff- u. Bodenprüfstelle b. Straßenneubauamt Hessen-Mitte

6 = JOCHHEIM (1858)

7 = POPP (bei SCHOTTLER 1921)

8 = HOFFMANN (bei LUDWIG 1852)

9 = Geologische Forschungsstelle des Zweckverbandes
Oberhessische Versorgungsbetriebe (haute OVAG), Hungen

Tab. 6. Ausführliche Süßwasseranalysen von Blatt 5618 Friedberg zur Arbeit SCHARPFF

Lfd. Nr.	Im Einzugsgebiet F _E anstehende Schichten	Herkunft der Probe	R 34+ H 55+	GH °dH	KH °dH	NKH °dH	Na ⁺		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Fe ²⁺		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻		SO ₄ ⁻		feste gelöste Best. mg	CO ₂ mg	pH	Tag der Entnahme	Institut ¹⁾
							mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval	mg	mval					
SV 1	Sedimentäres Tertiär, Löß	Pfingstbrunnen S Friedberg	8238 7589	30,8	22,7	8,1	6,4	0,28	0,3	0,01	166,4	8,30	32,6	2,68	0,0	0,0	31,1	0,88	495,3	8,12	—	106,2	2,21	838,3	—	6,6	5. 7. 68	1	
SV 2	Basalt, Löß	Quellfassung in Assenheim	8675 7411	34,7	23,6	11,1	3,4	0,15	1,0	0,03	181,3	9,04	40,1	3,30	0,0	0,0	82,3	2,32	513,6	8,42	—	78,8	1,64	900,5	—	7,0	3. 7. 68	1	
SV 3	Basalt, sedimentäres Tertiär, Löß	Quelle in Rödgen	8360 8103	16,1	14,4	1,7	12,8	0,56	18,5	0,47	89,7	4,48	15,3	1,26	0,0	0,0	21,2	0,60	314,8	5,16	—	31,3	0,65	503,6	95	6,6	3. 7. 68	1	
SV 4	Sedimentäres Tertiär, Löß	Quelle E Dorheim	8617 7956	24,8	18,2	6,6	7,6	0,33	0,8	0,02	148,8	7,43	17,5	1,44	0,0	0,0	37,1	1,05	396,5	6,50	—	77,6	1,61	685,9	47	7,0	3. 7. 68	1	
SV 5	Sedimentäres Tertiär, Löß	Quellfassung (Laufbrunnen) Ossenheim	8590 7680	30,2	16,7	13,5	27,9	1,21	4,6	0,12	175,5	8,76	24,3	2,00	0,0	0,0	74,9	2,11	363,6	5,96	—	150,9	3,14	821,7	n. b.	6,7	3. 7. 68	1	
SV 6	Sedimentäres Tertiär, Löß	Bohrbr. Fa. Rosbacher Br. (38 m tief)	7987 7457	17,7	16,4	1,3	8,3	0,36	1,7	0,03	84,3	4,21	25,5	2,10	0,24	0,01	12,8	0,36	357,5	5,9	2,61	22,2	0,46	515,2	77,3	6,9	26. 7. 68	4	
SV 7	Taunusquarzit	Quellfassung d. Gemeinde Ober-Rosbach	7762 7444	3,4	3,0	0,4	1,2	0,05	0,7	0,02	21,4	1,07	2,0	0,16	0,0	0,0	8,0	0,23	65,9	1,08	—	3,1	0,06	102,3	78	5,9	7. 7. 68	1	
SV 8	Unter-Ems, Löß	Quelle am Maiberg Ober-Mörlen	7666 8146	17,9	11,8	6,1	5,6	0,24	1,2	0,03	90,8	4,53	22,4	1,84	0,0	0,0	26,1	0,74	257,4	4,22	—	57,0	1,19	460,5	—	6,9	4. 7. 68	1	
SV 9	Unteres Mitteldevon	Pfingstbrunnen S Ober-Mörlen	7787 8096	8,3	7,6	0,7	4,5	0,20	0,9	0,02	43,5	2,17	9,7	0,80	0,0	0,0	9,2	0,26	165,9	2,72	—	10,5	0,22	244,2	—	6,6	4. 7. 68	1	
SV 10	Unter-Ems	Quelle N des Winterstein	7649 7981	7,3	7,3	0,0	7,9	0,34	1,0	0,02	37,4	1,87	9,2	0,76	0,0	0,0	10,3	0,29	158,6	2,60	—	4,7	0,1	229,1	—	6,7	4. 7. 68	1	
SV 11	Taunusquarzit	Quelle E des Winterstein	7780 7768	1,7	1,7	0,0	0,6	0,03	0,9	0,02	12,2	0,61	0,0	0,00	0,0	0,0	7,1	0,20	36,6	0,60	—	2,1	0,05	59,5	—	5,9	4. 7. 68	1	
SV 12	Taunusquarzit	Quelle N Ober-Rosbach	7810 7617	2,3	0,0	2,3	2,8	0,12	0,7	0,02	8,4	0,42	4,9	0,40	3,8	0,14	13,1	0,37	0,0	0,0	—	33,6	0,70	67,3	—	4,3	4. 7. 68	1	
SV 13	Devon, sedimentäres Tertiär	Quelle am Hof Löwenthal	8259 8262	10,9	6,5	4,4	61,9	2,69	7,0	0,18	57,1	2,85	12,7	1,04	0,0	0,0	113,7	3,21	140,9	2,31	—	42,0	0,86	435,3	57	6,0	4. 7. 68	1	

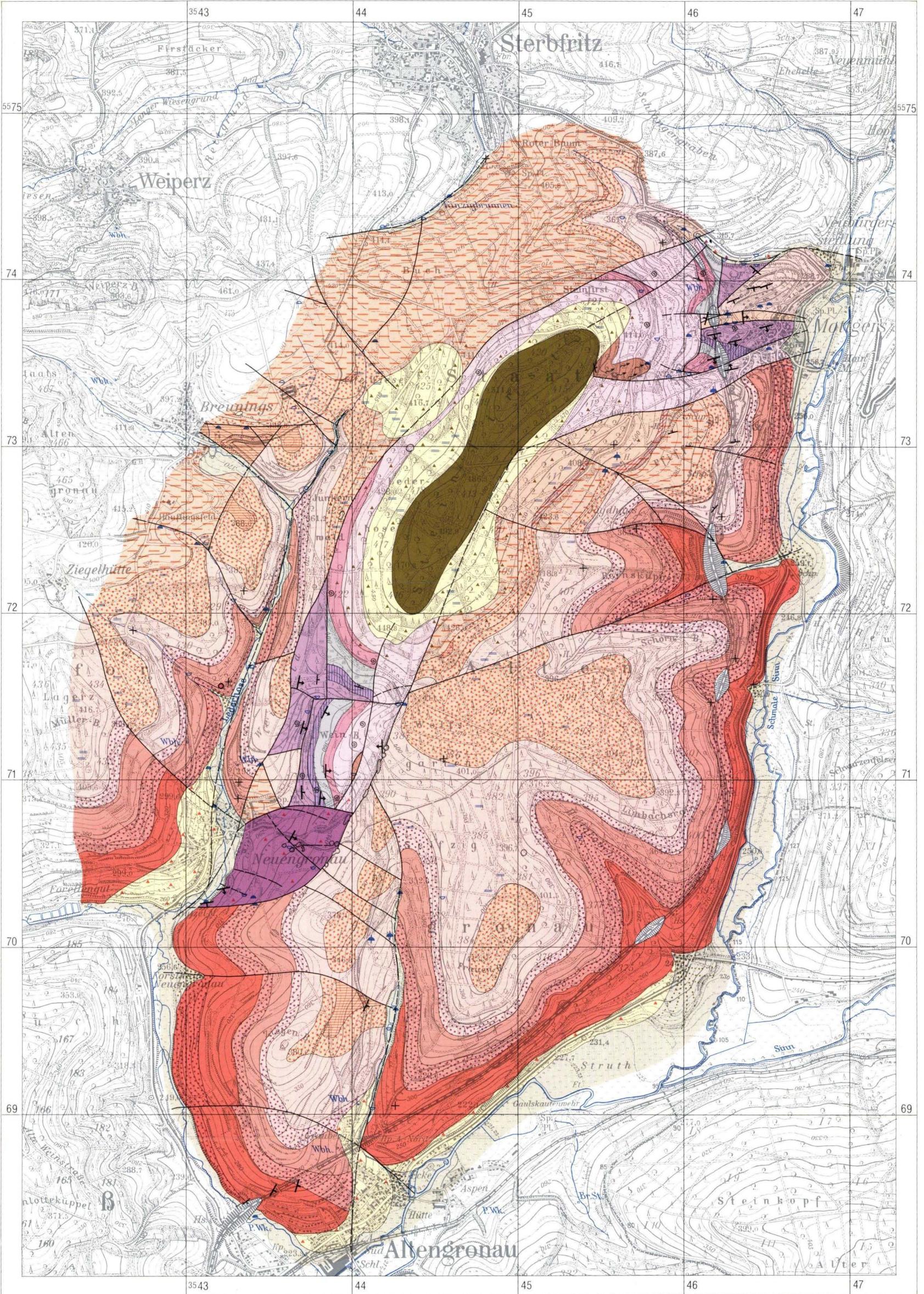
1) Siehe Fußnote 9, Tab. 5

Geologische Karte des Grabens von Neuengronau und Mottgers

H.R. WAGNER, Geologisch-hydrologische Kartierung

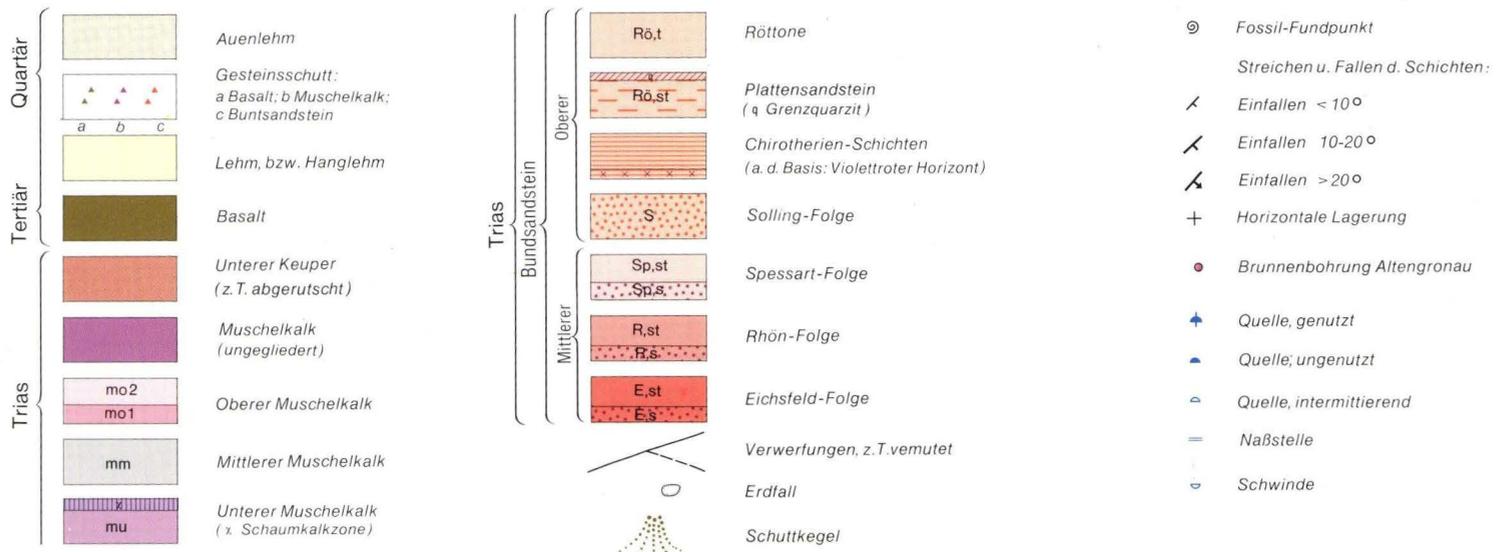
M. 1:25000

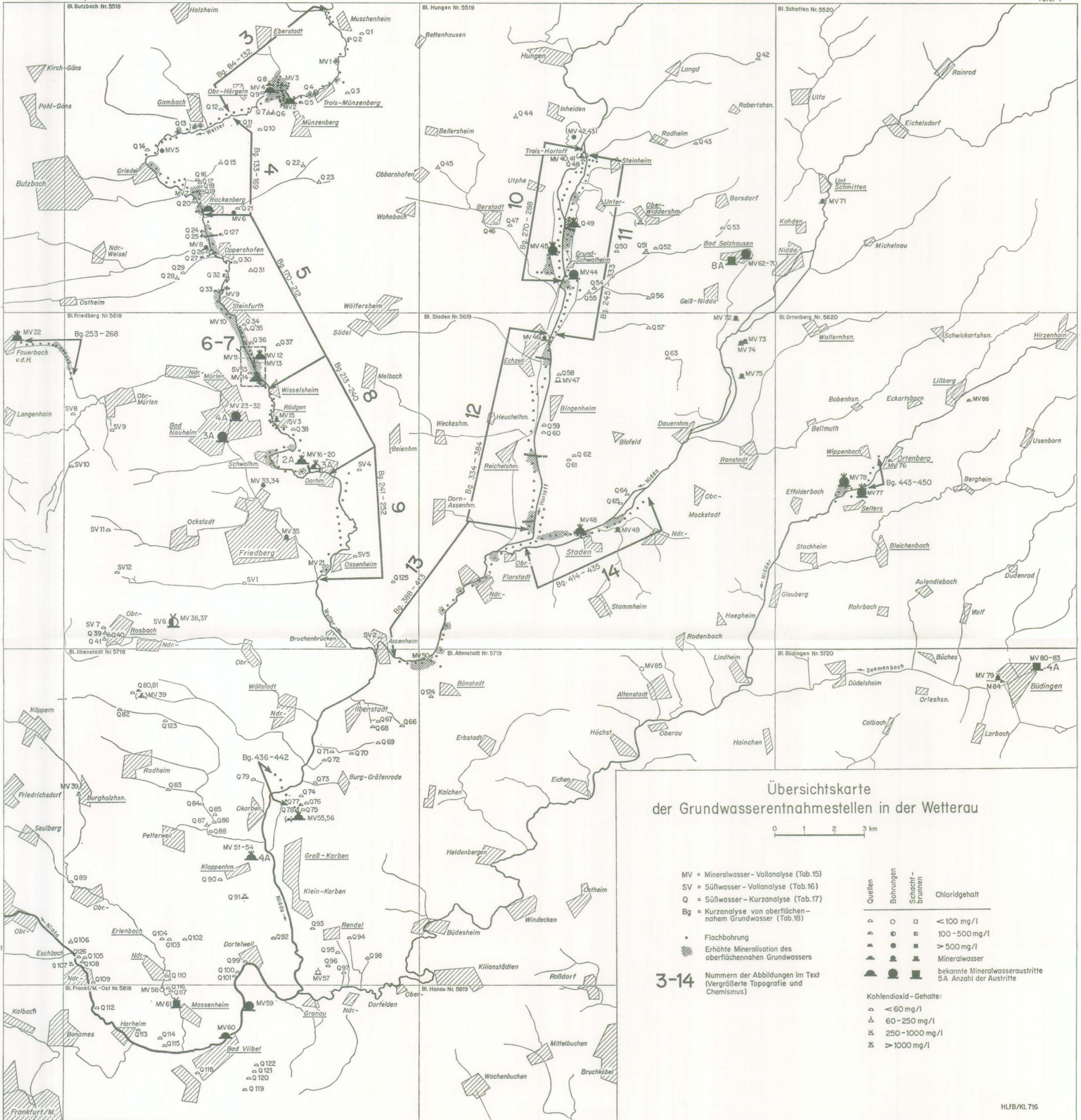
Tafel 2



Top. Karte 1:25.000 des Hessischen Landesvermessungsamtes, Wiesbaden

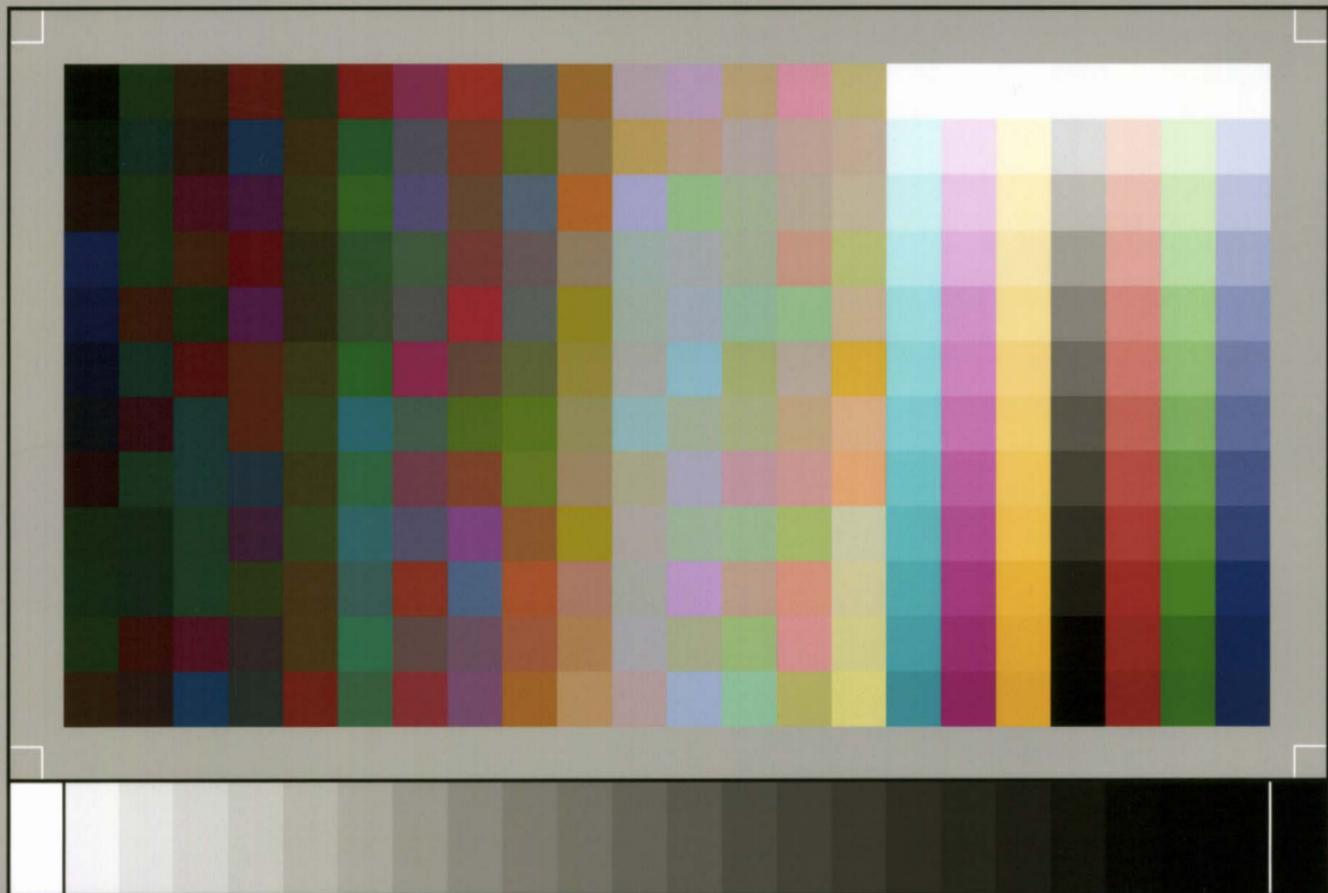
Kartographisch bearbeitet im Hessischen Landesamt für Bodenforschung
Gedruckt beim Hessischen Landesvermessungsamt, Wiesbaden





- 58: MATTHESS, G.: Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. 1970. 105 S., 20 Abb., 18 Tab., 4 Taf., DM 12,-.
- 59: SOLLE, G.: *Brachyspirifer* und *Paraspirifer* im Rheinischen Devon. 1971. 163 S., 1 Diagr., 20 Taf., DM 30,-.
- 60: HEINZ-TOBIEN-Festschrift. 1971. 308 S., 58 Abb., 12 Tab., 32 Taf., 1 Bild, DM 24,-.
- 61: WIRTZ, R.: Beitrag zur Kenntnis der Paläosole im Vogelsberg. 1972. 159 S., 2 Abb., 21 Tab., DM 19,-.
- 62: BUGGISCH, W.: Zur Geologie und Geochemie der Kellwasserkalke und ihrer begleitenden Sedimente (Unteres Oberdevon). 1972. 68 S., 19 Abb., 6 Tab., 13 Taf., DM 16,-.
- 63: THEWS, J.-D.: Zur Typologie der Grundwasserbeschaffenheit im Taunus und Taunusvorland. 1972. 42 S., 27 Abb., 7 Tab., 2 Taf., DM 12,-.
- 64: STEPHAN-HARTL, R.: Die altmiozäne Säugetierfauna des Nordbassin und der Niederräder Schleusen-kammer (Frankfurt/M., Hessen) und ihre stratigraphische Stellung. 1972. 97 S., 16 Abb., 11 Tab., 24 Taf., DM 21,-.
- 65: BOY, J. A.: Die Branchiosaurier (Amphibia) des saarpfälzischen Rotliegenden (Perm, SW-Deutschland). 1972. 137 S., 70 Abb., 2 Tab., 2 Taf., DM 17,-.
- 66: BARTH, H.: Petrologische Untersuchungen im Felsberg-Zug (Bergsträßer Odenwald). 1972. 85 S., 16 Abb., 11 Tab., 8 Taf., DM 12,-.
- 67: KUSTER-WENDENBURG, E.: Die Gastropoden aus dem Meeressand (Rupelium) des Mainzer Tertiärbeckens. 1973. 170 S., 8 Taf., DM 21,-.
- 68: NEUFFER, FR. O.: Die Bivalven des Unteren Meeressandes (Rupelium) im Mainzer Becken. 1973. 113 S., 13 Taf., DM 25,-.
- 69: WALTER, H.: Hydrogeologie und Wasserhaushalt im oberen Horlofftal (westlicher Vogelsberg). 1974. 104 S., 13 Abb., 17 Tab., 2 Taf., DM 25,-.

- 29: BAUER, G., u. a.: Beitrag zur Geologie der Mittleren Siegener Schichten. 1960. 363 S., 85 Abb., 10 Tab., 22 Taf., DM 36,-.
- 30: BURRE, O.: Untersuchungen über die Berechnung der dem Grundwasser von den Niederschlägen zu-gehenden Wassermengen aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels. 1960. 68 S., 1 Abb., 8 Tab., 5 Taf., DM 8,60.
- 31: RÖDER, D. H.: Ulmen-Gruppe in sandiger Fazies (Unter-Devon, Rheinisches Schiefergebirge). 1960. 66 S., 4 Abb., 1 Tab., 7 Taf., DM 8,-.
- 32: ZAKOSEK, H.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleye. 1960. 63 S., 12 Abb., 1 Tab., 2 Taf., DM 11,-.
- 33: KREBS, W.: Stratigraphie, Vulkanismus und Fazies des Oberdevons zwischen Donsbach und Hirzenhain (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1960. 119 S., 21 Abb., 7 Tab., 11 Taf., DM 14,80.
- 34: STOPPEL, D.: Geologie des südlichen Kellerwaldgebirges. 1961. 114 S., 21 Abb., 2 Tab., 4 Taf., DM 14,-.
- 35: MATTHES, G.: Die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser. 1961. 85 S., 3 Abb., 31 Taf., DM 7,60.
- 36: STENGER, B.: Stratigraphische und gefügetektonische Untersuchungen in der metamorphen Taunus-Südrand-Zone (Rheinisches Schiefergebirge). 1961. 68 S., 20 Abb., 4 Tab., 3 Taf., DM 9,-.
- 37: ZAKOSEK, H.: Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal. 1962. 46 S., 1 Abb., 19 Tab., DM 6,80.
- 38: ZIEGLER, W.: Taxionomie und Phylogenie Oberdevonischer Conodonten und ihre stratigraphische Bedeutung. 1962. 166 S., 18 Abb., 11 Tab., 14 Taf., DM 22,60.
- 39: MEISCHNER, KL.-D.: Rhenaer Kalk und Posidonienskalk im Kulm des nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirges und der Kohlenkalk von Schreufa (Eder). 1962. 47 S., 15 Abb., 2 Tab., 7 Taf., DM 11,60.
- 40: HOLTZ, S.: Sporen-stratigraphische Untersuchungen im Oligozän von Hessen. 1962. 46 S., 1 Abb., 6 Taf., DM 9,-.
- 41: WALLISER, O. H.: Conodonten des Silurs. 1964. 106 S., 10 Abb., 2 Tab., 32 Taf., DM 12,-.
- 42: KUTSCHER, F.: Register für die Notizblatt-Bände der 5. Folge, Hefte 1—20, erschienen 1916—1939. 1963. 58 S., 1 Taf., DM 7,60.
- 43: EINSELE, G.: Über Art und Richtung der Sedimentation im klastischen rheinischen Oberdevon (Famenne). 1963. 60 S., 8 Abb., 7 Tab., 5 Taf., DM 7,60.
- 44: JACOBSHAGEN, E., HUCKRIEDE, R. & JACOBSHAGEN, V.: Eine Faunenfolge aus dem jungpleistozänen Löß bei Bad Wildungen. 1963. 105 S., 9 Abb., 2 Tab., 14 Taf., DM 12,-.
- 45: KÜMMERLE, E.: Die Foraminiferenfauna des Kasseler Meeressandes (Oberoligozän) im Ahnetal bei Kassel (Bl. Nr. 4622 Kassel-West). 1963. 72 S., 1 Abb., 2 Tab., 11 Taf., DM 9,40.
- 46: SCHENK, E.: Die geologischen Erscheinungen der Subfusion des Basaltes. 1964. 31 S., 6 Abb., 2 Tab., 16 Taf., DM 7,60.
- 47: HÖLTING, B. & STENGEL-RUTKOWSKI, W.: Beiträge zur Tektonik des nordwestlichen Vorlandes des basaltischen Vogelsberges, insbesondere des Amöneburger Beckens. 1964. 37 S., 2 Taf., DM 5,60.
- 48: DIEDERICH, G., LAEMMLEN, M. & VILLWOCK, R.: Das obere Biebental im Nordspessart. Neugliederung des Unteren Buntsandstein, Exkursionsführer und geologische Karte. 1964. 34 S., 2 Abb., 5 Tab., 4 Taf., 1 Kte., DM 7,20.
- 49: KUTSCHER, F.: Register für die Notizblatt-Bände der 4. Folge, Hefte 1—35, erschienen 1880—1914. 1965. 56 S., 1 Taf., DM 6,60.
- 50: ZAKOSEK, H., u. a.: Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. 1967. 82 S., 1 Abb., 17 Tab., 1 Atlas, DM 10,-.
- 51: MATTHES, G.: Zur Geologie des Ölschiefervorkommens von Messel bei Darmstadt. 1966. 87 S., 11 Abb., 10 Tab., DM 10,-.
- 52: BERG, D. E.: Die Krokodile, insbesondere *Asiatosuchus* und aff. *Sebecus*?, aus dem Eozän von Messel bei Darmstadt/Hessen. 1966. 105 S., 11 Abb., 6 Taf., DM 11,20.
- 53: HÖLTING, B.: Die Mineralquellen in Bad Wildungen und Kleinern (Landkreis Waldeck, Hessen). 1966. 59 S., 7 Abb., 9 Tab., DM 7,-.
- 54: SOLLE, G.: Hederelloidea (Cyclostomata) und einige ctenostome Bryozoen aus dem Rheinischen Devon. 1968. 40 S., 1 Tab., 5 Taf., DM 5,-.
- 55: SCHNEIDER, J.: Das Ober-Devon des nördlichen Kellerwaldes (Rheinisches Schiefergebirge). 1969. 124 S., 24 Abb., 1 Taf., DM 15,-.
- 56: HORST-FALKE-Festschrift. 1970. 228 S., 71 Abb., 10 Tab., 23 Taf., 1 Bild, DM 14,-.
- 57: MEISL, S.: Petrologische Studien im Grenzbereich Diagenese-Metamorphose. 1970. 93 S., 70 Abb., 2 Tab., DM 11,-.



SP050509001

ScanPrint® *autopilot* Scan Target v2.0