

## Das Grundwasser Frankens und angrenzender Gebiete

Von P. UDLUFT (München)

Auch in der Naturwissenschaft ist also der Gegenstand der Forschung nicht mehr die Natur an sich, sondern die der menschlichen Fragestellung ausgesetzte Natur, und insofern begegnet der Mensch auch hier wieder sich selbst.

HEISENBERG (Das Naturbild der heutigen Physik, S. 18)

### Vorwort

Zehn Jahre synoptische Auseinandersetzung mit den Grundwässern Frankens liegen dieser Schrift zugrunde. Die Tätigkeit im Rahmen des „Mainprojektes“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie die Mitarbeit und Leitung bei zahlreichen Bohrungen zur Erschließung von Mineralwässern brachte eine Fülle mosaikartiger Einzeldaten, die sich im Laufe der Zeit zu einem Gesamtbild zusammenfügten. Ein weiteres Forschungsvorhaben, ebenfalls unterstützt von der DFG, zur Löslichkeit von Gesteinen des Perms und der Trias durch kohlenäurereiches Wasser ergänzte den Kenntnisstand und erbrachte sowohl beweiskräftige Aussagen zur Allochthonie tieferer Grundwässer als auch zur Frage der Herkunft von Wasserinhaltsstoffen.

Die Monographie der Heil- und Mineralquellen Nordbayerns von K. E. QUENTIN (1970), das Werk von W. CARLE (1975) über die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa sowie eine Fülle von Bohr- und Analysenbeschreibungen und zusammenfassende Arbeiten über das Grundwasser im mittelfränkischen Raum von F. BIRZER sind Fundament dieser Arbeit. Tiefbohrungen, in den letzten Jahren zur Thermalwassererschließung niedergebracht, erweiterten den Kenntnisstand beträchtlich. Nicht unerwähnt bleiben soll hierbei die Arbeit von W. HOPPE (1972) über die Mineral- und Heilwässer Thüringens, die, soweit sie den betrachteten Raum betraf, mit berücksichtigt wurde.

Eine große Anzahl von Daten des höheren, meist nicht versalzten Grundwassers, das in irgendeiner Form der Wasserversorgung dient, entstammt den Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:25.000 sowie hydrogeologischen Dissertationen und Diplomarbeiten.

Mit zunehmender Tiefe nimmt die Fülle der verfügbaren Daten sprunghaft ab, so daß die Exaktheit der Aussagen über das tiefere und tiefste Grundwasser der Empirie immer mehr weichen muß. Dennoch kann das für Herkunft, Bewegung und Chemismus der Wässer entworfene Bild in seinen Grundzügen Anspruch auf Gültigkeit erheben, wenn auch durch neue Daten Korrekturen und Ergänzungen notwendig sein werden.

Die Auswertung und Interpretation der somit einer Bearbeitung zur Verfügung stehenden Werte war nur mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung möglich.

Insgesamt wurden über 1200 Analysen mit durchschnittlich 20 Einzeldaten statistisch bearbeitet; alle Werte und numerischen Angaben sind auf Magnetband gespeichert und stehen auch in Zukunft für weiterreichende und neue Fragestellungen zur Verfügung.

Inzwischen (September 1978) ist „Das Mainprojekt“ als Beispiel hydrogeologischer Studien zum Grundwasserhaushalt und zur Stoffbilanz im Main Einzugsgebiet in der Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 7, erschienen. Einige der in der folgenden Arbeit nur angeschnittenen Probleme sind in dieser Studie ausführlich behandelt. Die Karte des Chemismus der oberflächennahen Grundwässer (Beilage 6 im Mainprojekt) entstammt den Forschungsergebnissen der vorliegenden Arbeit.

Im Hinblick auf die Wiedergabe von Einzelanalysen aus dem Bereich der Heil- und Mineralquellen erhebt diese Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ständen Daten mehrerer weitgehend identischer Wasservorkommen aus einem Erschließungsgebiet zur Verfügung, so wurde hier eine Auswahl getroffen. Von den Bad Kissingen Kurgartenquellen Rakoczy, Pandur und Maxbrunnen fand z. B. nur die Analyse des Rakoczy in dieser Arbeit Verwendung. Wer hier Wert auf umfassende Information legt, möge auf die einschlägige Literatur zurückgreifen.

Der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT sei an dieser Stelle Dank für die finanzielle Förderung bei der Durchführung der Lösungsversuche gesagt.

### Inhalt:

	Seite
1. Einführung .....	8
1.1. Strukturelle Abgrenzung und großtektonische Elemente .....	8
1.2. Paläogeographische Entwicklung .....	13
1.2.1. Perm .....	13
1.2.2. Trias .....	14
1.2.3. Jura und Unterkreide .....	16
1.2.4. Oberkreide bis heute .....	16
1.3. Allgemeine Gliederung und Hydraulik des Grundwasserkörpers ....	17
1.3.1. Historische Entwicklung der Lehrmeinungen .....	17
1.3.2. Potentialmodelle der Grundwasserbewegung .....	19
1.3.3. Süß-Salzwassergrenze .....	21
1.3.4. Grundwasser oberhalb und unterhalb des Vorflutniveaus ....	23
2. Chemismus der Grundwässer .....	25
2.1. Wässer der oberen Zone .....	25
2.1.1. Wässer des Kristallins und der Basalte .....	25
2.1.2. Wässer des Perms .....	26
2.1.2.1. Rotliegendes .....	26
2.1.2.2. Zechstein .....	27
2.1.3. Wässer des Buntsandsteins .....	27
2.1.3.1. Unterer und Mittlerer Buntsandstein .....	28
2.1.3.2. Oberer Buntsandstein .....	28
2.1.4. Wässer des Muschelkalks .....	30
2.1.4.1. Unterer und Oberer Muschelkalk .....	30
2.1.4.2. Mittlerer Muschelkalk .....	31
2.1.5. Wässer des Keupers .....	31

	Seite
2.1.5.1. Unterer Keuper .....	32
2.1.5.2. Mittlerer Keuper (mit Rät) .....	33
2.1.6. Jura-Wässer .....	35
2.1.6.1. Lias und Dogger .....	36
2.1.6.2. Malm .....	37
2.1.7. Wässer der Oberkreide .....	37
2.2. Tiefere Grundwässer .....	37
2.2.1. Autochthone Wässer .....	38
2.2.1.1. Wässer des Präperms und des Rotliegenden .....	39
2.2.1.2. Wässer des Zechsteins .....	39
2.2.1.2./3. Mischwasser Zechstein/Buntsandstein .....	40
2.2.1.3. Wässer des Buntsandsteins .....	40
2.2.1.4. Wässer des Muschelkalks .....	42
2.2.1.5. Keuper- und Jura-Wässer .....	43
2.2.2. Allochthone Wässer .....	43
2.2.2.1. Zechsteinwässer .....	45
2.2.2.2. Solen aus dem Mittleren Muschelkalk .....	47
2.2.2.3. Mischsolen aus Zechstein und Mittlerem Muschelkalk .....	48
2.3. Gruppeneinteilung der Grundwassertypen .....	52
2.3.1. Statistische Tests .....	55
2.3.2. Zuordnung der Grundwassertypen zu den Gruppen 1–4 .....	56
2.3.3. Folgerungen .....	57
3. Herkunft der Wasserinhaltsstoffe .....	57
3.1. Hauptinhaltsstoffe .....	57
3.1.1. Stoffeintrag aus Niederschlägen und Düngung .....	58
3.1.2. Stoffeintrag aus Böden und Gesteinen .....	59
3.1.2.1. Magmatische Kohlensäure .....	64
3.2. Spurenmetalle .....	65
3.3. Statistische Vergleiche von Wasserinhaltsstoffen .....	66
3.3.1. Ergebnisse der Korrelations- und Regressionsrechnungen .....	67
3.3.1.1. Hauptionen .....	67
3.3.1.2. Spurenmetalle .....	72
3.4. Lösungsversuche .....	75
3.4.1. Methodik .....	76
3.4.2. Ergebnisse .....	77
3.5. Vergleich der mittleren Gesamtmineralisation aller Grundwässer der oberen Zone mit dem Mainwasser .....	78
3.5.1. Einfluß des Abwassers .....	82
3.5.1.1. Berechnungen des abwasserspezifischen Eintrages von Na, K, Cl, N und P .....	82
3.5.2. Folgerungen .....	83
4. Anhang .....	84
4.1. Datenerfassung und -verarbeitung .....	84
4.1.1. Datensystematik .....	85
4.1.1.1. Stratigraphische Code-Liste (STRC) für die ersten drei Ziffern des insgesamt fünfstelligen Codes .....	86
4.1.1.2. Analysen-Schlüssel .....	87
4.1.1.3. Vollständiger Ausdruck einer Analyse des Datenarchivs (Rakoczy – Bad Kissingen) .....	88

4.2. Suchregister .....	88
4.2.1. Suchregister für Analysen des Datenarchivs 3/ .....	89
4.2.2. Suchregister für Analysen des Datenarchivs 4/ .....	89
4.3. Inhalt der Datenarchive 3/ und 4/ .....	91
4.3.1. Datenarchiv 3/ .....	91
4.3.2. Datenarchiv 4/ .....	93
4.4. Analysendaten .....	97
4.4.1. Datenarchiv 3/ .....	97
4.4.2. Datenarchiv 4/ .....	106
Zusammenfassung .....	118
Litaratur .....	123
Summary .....	128

## 1. Einführung

Der fränkische Raum wird von alt angelegten geologischen Strukturen begrenzt. Diese stellen sich als weit durchhaltende Hochzonen und Senken dar, denen die Hauptentwässerungssysteme folgen. Die obere Altmühl, die Tauber und das westliche Mainviereck, die mittlere Altmühl und die Karstentwässerung der südlichen Frankenalb sowie die Sinn und die schon jenseits der Wasserscheide liegende Kinzig zeichnen den Verlauf markanter tektonischer Elemente des tieferen Untergrundes nach. Im Osten folgen die Flüsse den Strukturen von Thüringer Wald, Frankenwald und Oberpfälzer Wald, wobei die Werra im Norden und die Naab im Süden bereits vom Einzugsgebiet des Mains weg zur Weser bzw. zur Donau hin entwässern. Die Wasserscheiden dieser Flußsysteme stellen sich heute als ethnische Grenzen zu den Nachbarn der Franken, den Bayern, den Schwaben, den Hessen und den Thüringern, dar, die an der strukturmäßig offenen Stelle im Norden der Teilscholle nach Süden in den fränkischen Raum vordringen konnten.

Zum besseren Verständnis der Arbeit entstanden verschiedene Kartendarstellungen; Grundlagen der Geologischen Übersichtskarte von Franken (Tafel I) sind die Geologische Karte von Bayern 1 : 500.000, 2. Auflage, München 1964, die Geologische Übersichtskarte von Hessen 1 : 300.000, 2., überarbeitete Auflage, Wiesbaden 1973, und die Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 1.000.000, Hannover 1973. Das auf die Karte eingezeichnete Gitternetz entspricht den Blatteinteilungen der Karten 1 : 50.000. In Verwendung mit den Karten Fig. 1, 2, aus denen die Nummern der Karten 1 : 50.000 bzw. 1 : 25.000 sowie die Rechts- und Hochwerte entnommen werden können, lassen sich alle Wasseranalysen der Datenarchive Nr. 3/ und Nr. 4/ auf der Geologischen Karte einordnen. Auf der Karte sind die Schnittlinien der geologisch-hydrochemischen Profile (Tafel II) angegeben.

Auf der Tafel I wurde zusätzlich der Tiefenlinienplan des präpermischen Untergrundes eingezeichnet. Das Relief des präpermischen Untergrundes besitzt die Funktion als Stauer und Leitbahn für das saline tiefere Grundwasser. Im tiefliegenden Präperm dürfte kein Wasser zu erschließen sein, da die Klüfte silikatisch verheilt sind; aus keiner Tiefbohrung, die Präperm erschroftete, sind Wasserzuflüsse aus diesem Bereich bekannt geworden.

### 1.1. Strukturelle Abgrenzung und großtektonische Elemente

Franken ist Bestandteil der Süddeutschen Großscholle (P. CRAMER, 1964; Südwestdeutsche Großscholle, W. CARLÉ, 1955; Süddeutsche Scholle, B. SCHRÖDER, 1976), welche die Form eines nahezu gleichseitigen Dreiecks aufweist (Fig. 3). Die nördliche Spitze mündet in die Nord-Süd-streichenden Strukturen des Leinetal-Grabens, im Westen begrenzt sie der Oberrheintal-Graben, im Süden taucht sie unter den Alpen-

körper ab, im Osten steht sie in Kontakt mit dem Saxothuringikum und Moldanubikum im Sinne von H. STILLE (1951).

Die vorliegenden Untersuchungen beschränken sich auf den Nordostteil der Großscholle, die Fränkische Teilscholle genannt werden kann; in groben Zügen weist sie die Form eines Rechtecks auf (Fig. 4). Die Südbegrenzung fällt mit dem Kristallinhoch unter der südlichen Frankenalb (Vindelicisches Hoch) zusammen, die Westgrenze kann in der Verbindungslinie Nördlinger Ries – Kristalliner Spessart gesehen werden, dem Verlauf des als „Ries-Tauberbarre“ bezeichneten Hochgebietes (F. BREYER, 1956). Unterbrochen wird die Spessart-Tauber-Ries-Aufwölbung durch die Bauland-Mulde (P. DORN, 1960), die zum Rheintalgraben in die Kraichgau-Senke überleitet. Neue seismische Untersuchungen (GERMAN-RESEARCH-GROUP, 1964) bestätigen die relativen Hochlagen des kristallinen Untergrundes. Die nordwestliche Begrenzung der fränkischen Teilscholle ist das paläogeographisch bis heute durchhal-

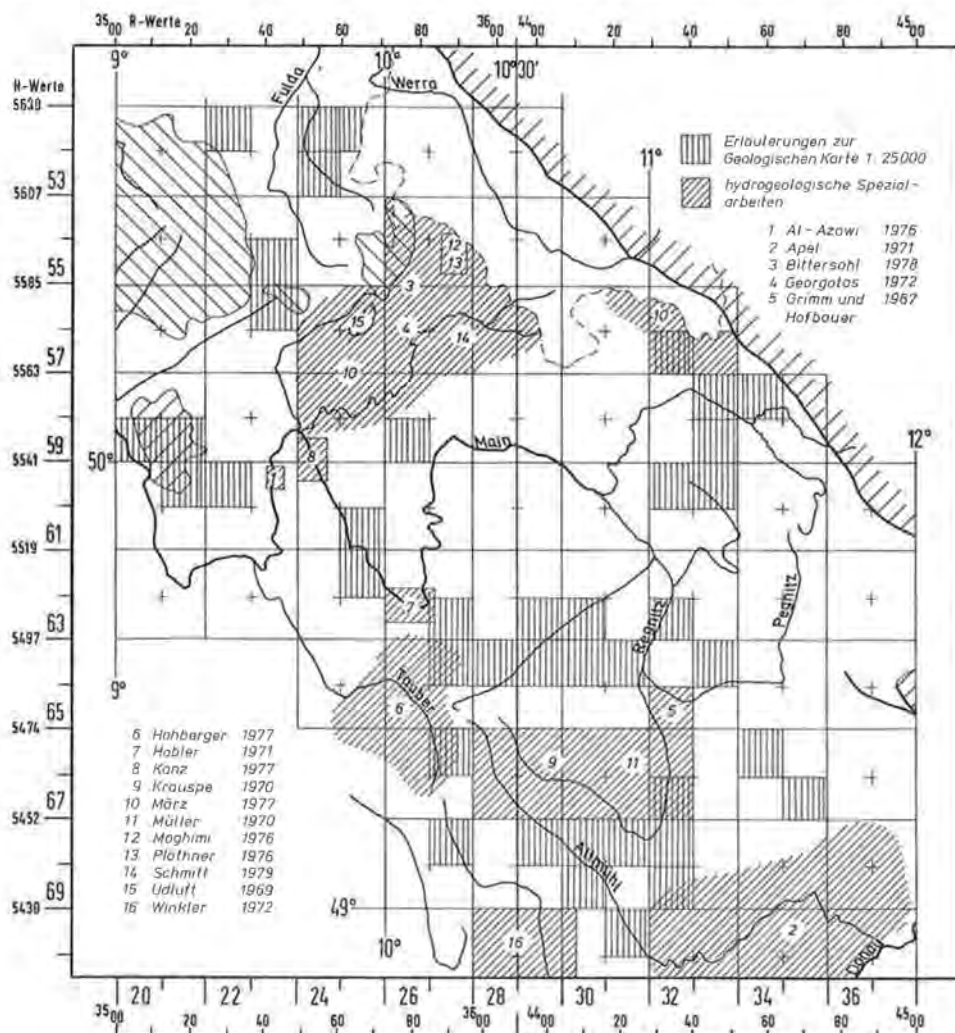


Fig. 1; Geologisch bearbeitete Gebiete mit hydrochemisch auswertbaren Daten.

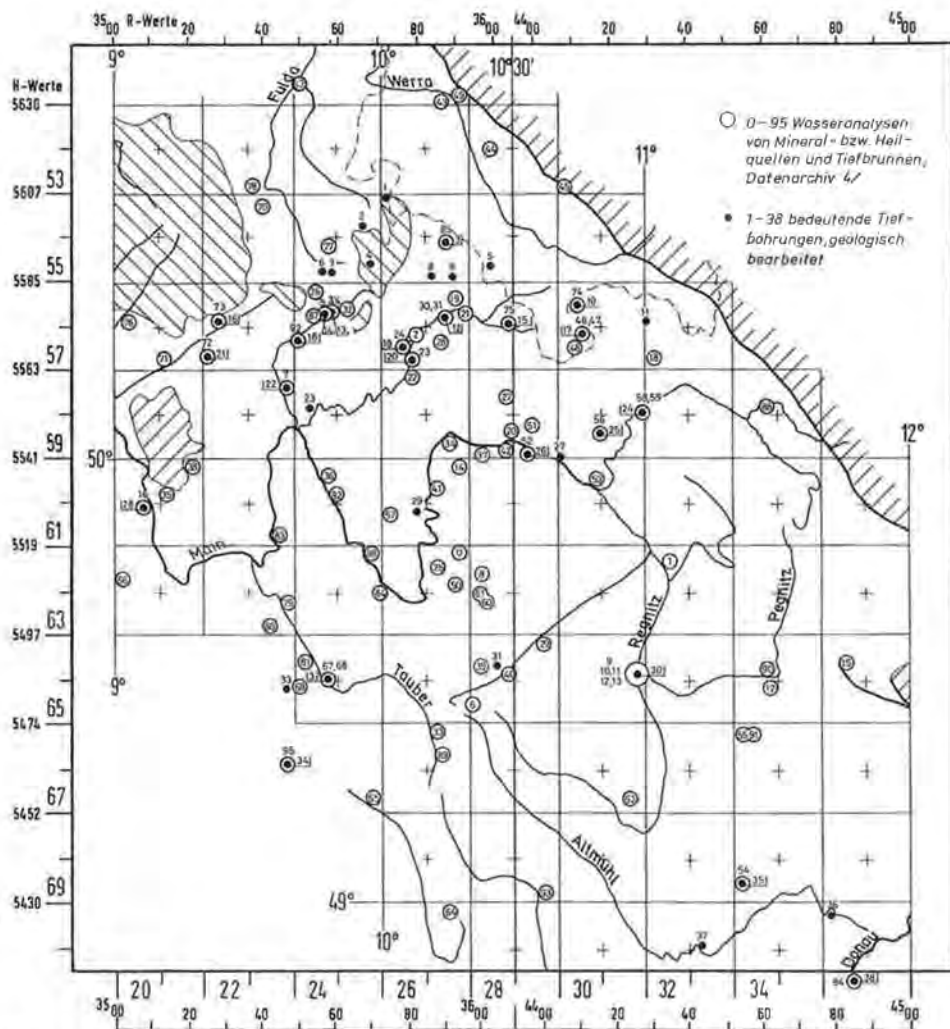


Fig. 2: Probenentnahmestellen und geologisch bearbeitete Tiefbohrungen (s. Tab. 1).

tende Hochgebiet der Odenwald-Spessart-Rhönswelle, die bereits im Zechstein wirksam war und das Salinarbecken der Werra-Transgression und zwei Teilbecken, das Fulda- und das Fränkische Becken gliederte (F. TRUSHEIM, 1964; P. UDLUFT, 1977).

Eine jüngere saxonische Hochstruktur läßt sich von Nürnberg nach Süden über die Saustal-Zone (E. RUTTE, 1970) an das Landshut-Neuöttinger Hoch anschließen (Nürnberg-Landshuter Hoch). Vom nördlichen Steigerwald an bis Fulda ist in direkter Fortsetzung das Haßfurt-Kissinger Hoch mit seinen Bruchstrukturen nachweisbar, in deren weiterem Verlauf nordwestlich Fulda bis zum Vogelsberg Muschelkalk- und Keuperschollen in Buntsandstein versenkt auftreten. Nordöstlich dieser Hochzone verläuft parallel dazu und somit auch parallel zur östlichen Schollenbegrenzung eine weit durchhaltende Muldenstruktur, die, beginnend mit der Kreide, sich als

Tab. 1: Die geologisch bearbeiteten Tiefbohrungen (s. Fig. 2)

Bohrung Nr./Name	Autor	Basis Zechstein m u. G.	Basis Rot- liegend m u. G.	End- teufe m u. G.	Bohrung steht in	Wasser- analyse Arch. Nr. 4
1 Thyra	TRUSHEIM (1964)	ca. 600	—	ca. 650	Rotliegenden	—
2 Dietges 1	TRUSHEIM (1964)	519,5	—	567	Rotliegenden	—
3 Willmars 1	BREYER (1956)	690,5	—	699,5	Rotliegenden	—
4 Wüstensachsen	TRUSHEIM (1964)	351	—	526	Rotliegenden	—
5 Bibra	SCHNEIDER (1915)	ca. 730	—	726,5	Zechstein	—
6 Hettenhausen	TRUSHEIM (1964)	ca. 550	ca. 552	>552	Grundgebirge	—
7 Dalherda	TRUSHEIM (1964)	422	fehlt	425	Granit	—
8 Ostheim	TRUSHEIM (1964)	>770	—	ca. 770	Zechstein	—
9 Mellrichstadt	v. AMMON (1901)	1040	—	1099	Rotliegenden	—
10 Rodach	GUDDEN (1973)	—	—	652	Buntsandstein	74
11 Mittelberg	SCHNEIDER (1915)	487	520	623	Devon	—
12 Neustadt/Saale	GENSER (1970)	—	—	700	Zechstein	30
13 Brückenau Siebener-Spr.	UDLUFT (1969)	405	—	472	Rotliegenden	3+4
14 Brückenau Georgi-Spr.	UDLUFT (1969)	412	536	554	Quarzit- schiefer	5
15 Königshofen	QUENTIN et al. (1977)	(vollständige Kernbohrung)	—	184	Basis Mittl. Muschelk.	75
16 Soden	MESTWERDT (1933)	—	—	539	Zechstein	73
17 Colberg	FLIEGEL (1927)	—	—	646,2	Buntsandstein	46+47
18 Zeitlofs	UDLUFT (1975a)	547	—	554	Rotliegenden	92
19 Kissingen Luitpold-Spr.	v. AMMON (1913)	541	892	910	Granit	24
20 Kissingen Schönborn-Spr.	SCHUSTER (1940)	—	—	584,4	Werra Steinsalz	23
21 Orb Radstube	BUCKING (1892)	—	—	539	Zechstein	—
22 Burgsinn	SCHUSTER (1940)	320	—	478,5	Rotliegenden	7
23 Gräfendorf	SCHUSTER (1940)	623	—	836,5	Rotliegenden	—
24 Staffelstein	GUDDEN (1977)	1553	—	1600	Rotliegenden	58+59
25 Mürsbach B 4	RUHRGAS A. G. (1971)	—	—	1178	Zechsteinkalk	56
26 Knetzgau	UDLUFT (1976)	—	—	410	Buntsandstein	52
27 Eltmann 1	TRUSHEIM (1964)	1047	1050	1144	Devon	—
28 Großwallstadt	SCHUSTER (1933)	291	450	835	Granit/Diorit	18
29 Volkach 1	BREYER (1956)	871	1314	1329	Diorit	—
30 Bohrungen bei Nürnberg/Fürth	WURM (1929) BIRZER (1936, 1956) TRUSHEIM (1964)	Zechstein fehlt; nach TRUSHEIM (1964)	—	ca. 440	Alt- paläozoikum	9–13
31 Windsheim 1	TRUSHEIM (1964)	Präperm-Basis fehlt	fehlt	—500 894	Oberdevon	—
32 Mergentheim Paulsquelle	CARLÉ (1975)	525	—	551	Rotliegenden	68
33 Boxberg 1	BREYER (1956)	537	654	702	Ordoviz.	—
34 Ingelfingen	FRAAS (1859)	433	730	815,7	Devon	95
35 Greding	BIRZER (1976)	—	—	184	Keuper	54
36 Riedenburg	SCHMIDT-KALER (1969)	fehlt	fehlt (293)	332	Gneis	—
37 Eichstätt	WIRTH (1970)	fehlt	fehlt (595)	608	Granit	—
38 Gögging	QUENTIN U. BAUMANN (1977)	fehlt	fehlt	650	Granit	94

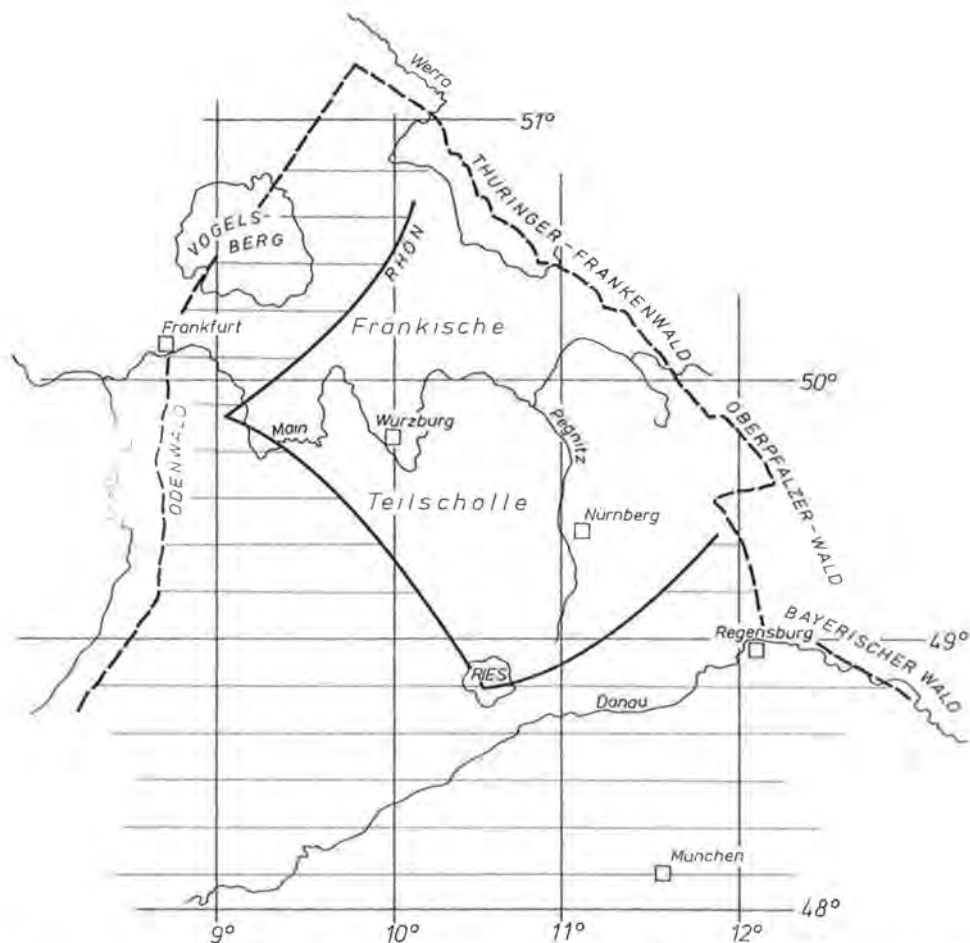


Fig. 3: Lage des untersuchten Gebietes (Fränkische Teilscholle) innerhalb der Süddeutschen Großscholle.

„Frankenalb-Mulde“ entwickelte (B. SCHRÖDER, 1976). F. BREYER (1972) postuliert an dieser Stelle einen ausgedehnten Perm-Trog (östlich Bamberg), so daß hier das Kristallin erst in einer Teufe unterhalb NN -1600 m erwartet werden kann. Nach Nord-Westen zu mündet die Frankenalb-Mulde in die Grabfeld-Mulde ein. Im Zentrum befindet sich im Bereich der Frankenhöhe und des Steigerwaldes eine zentrale Hochzone, die allerdings während des Mittleren Muschelkalks eine Senke war, in der es zu Eindampfungen und Ablagerungen von Steinsalz kam.

Besonders kompliziert ist der Bauplan des Randbereiches zwischen Thüringer-, Franken- und Bayerischem Wald und der schollenrand-parallelen Frankenalb-Grabfeld-Mulde. Nach B. SCHRÖDER (1976) fällt die Hauptaktivität dieser Randtektonik in die Zeit der Oberkreide, wobei schon vor der Oberkreide durch Biegungs- und Wölbungstektonik komplizierte Strukturen entstanden waren. Die Eisfeld-Kulmbacher Störung und ihre Fortsetzung, das Freihunger-Störungssystem, begrenzen die Scholle im Osten. Im Randbereich der Eisfeld-Kulmbacher Störung sind die Schichten bei westlichem Einfallen häufig steilgestellt. Weitere kräftige Bewegungen im



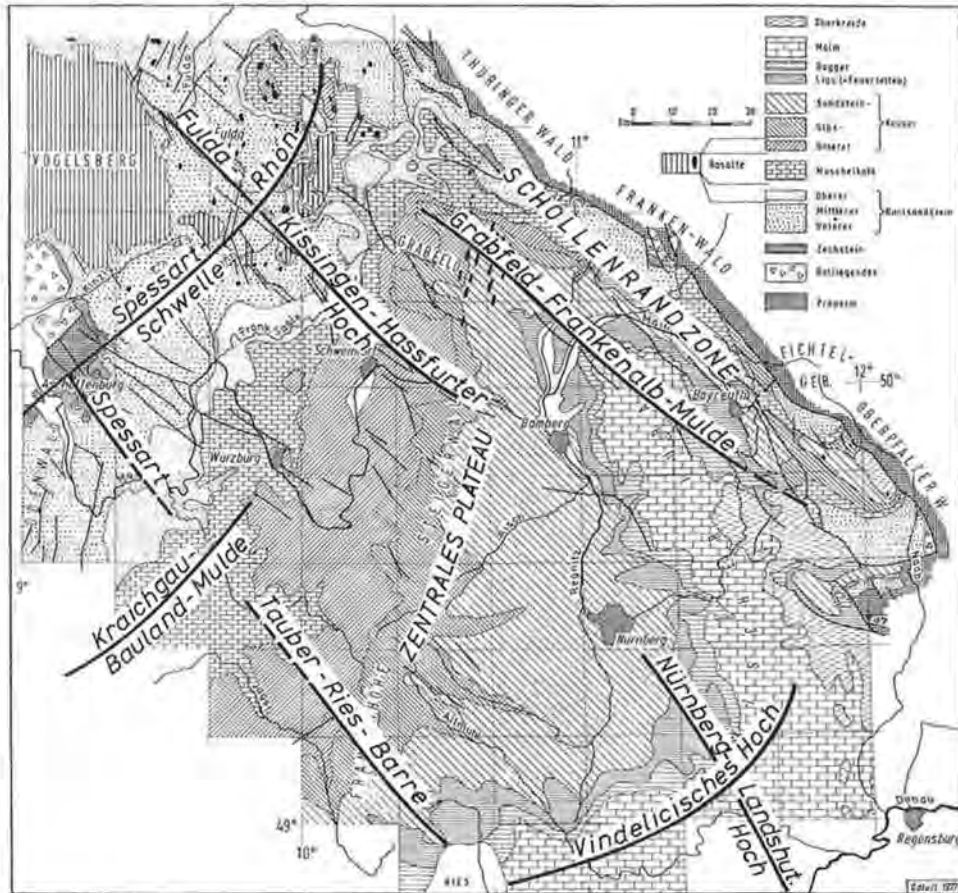


Fig. 4. Tektonische Hauptelemente im Bereich der Fränkischen Teilscholle.

Ostteil der Süddeutschen Scholle setzten nach dem „Rhön-Ereignis“ im Obermiozän zum Pliozän wieder ein. Durch die Heraushebung der Rhön wurde der Jura-Rand stark zurückverlegt (Lias um 30 km, Dogger um 20 km, Malm um 5–7 km; B. SCHRÖDER, 1976). Das großräumige Schichteneinfallen nach Südosten wurde dadurch verstärkt. Im Zuge dieser Schrägstellung der Fränkischen Teilscholle floß der Main zunächst zur Donau hin ab; die heutige Entwässerungsrichtung entstand wohl erst mit dem frühen Quartär im Zuge eines verstärkten Absinkens des Oberrhein-Grabens, wobei sich der Lauf von der Donau zum Rhein hin verlagerte (K. BRUNNACKER, 1973, 1975).

## 1.2. Paläogeographische Entwicklung

### 1.2.1. Perm

Die paläogeographische Entwicklung (Fig. 5) des Raumes spielt für die vorliegende Problematik erst mit Beginn des *Rotliegenden* eine Rolle. Die nachvariskischen Vorgänge waren bis ins Oberrotliegende durch subsequenten Magmatismus im Bereich meist Nordost-Südwest orientierter Tröge geprägt. Diese intramontanen Senken wurden nach dem Oberkarbon durch Denudation der begleitenden Schwellen mit

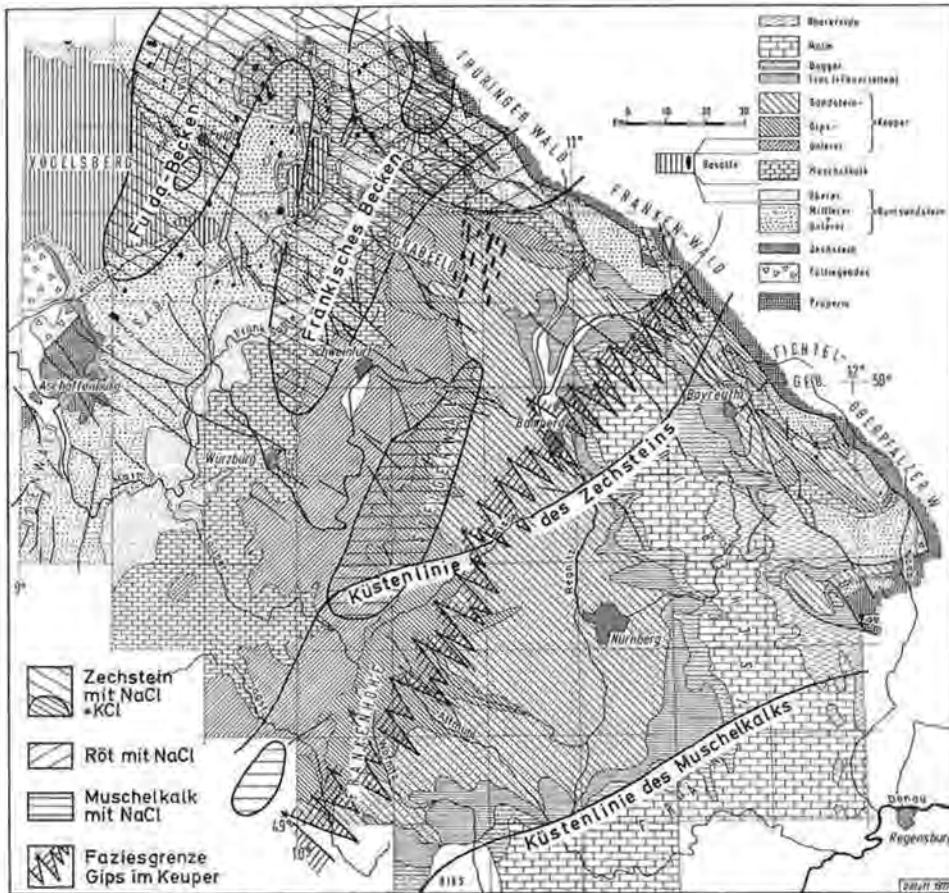


Fig. 5: Paläogeographische Großzonen der Fränkischen Teilscholle.

klastischen Sedimenten verfüllt und eingeebnet. Darüber transgredierte vom Nordmeer her das Zechsteinmeer. Überprägt von neuen Nord-Süd-Elementen, kommen die alten Strukturen kaum mehr zur Geltung. Das Meer dringt bis in den Raum des nördlichen Mittelfrankens vor und überwindet nahe Bayreuth auch den Frankenwald. Zu Steinsalzablagerungen kommt es jedoch im Fulda- und Werra-Becken nur während des ersten Zechsteinzyklus. Besonders hohe Mächtigkeiten erreicht das Steinsalz (Na<sub>1</sub>) bei Mellrichstadt (Ostheim 143 m, Mellrichstadt 139 m; F. TRUSHEIM, 1964) und im Werra-Kaligebiet Thüringens mit über 250 m (W. HOPPE, 1972).

Die beckenfernere Rand-Fazies wird im Westen, Süden und Osten halbkreisförmig von einem Anhydritwall umgeben (G. RICHTER-BERNBURG, 1955). Riffe und terrestrische Sedimente charakterisieren die Schwellen bzw. den Rand des Beckens. Zechstein 2 ist im gesamten Gebiet nur durch tonige Anhydrit-Fazies vertreten. Die Küstenlinie verlagert sich im Verlaufe weiter nach Norden, das Meer von Zechstein 3 und 4 hinterläßt nur noch geringe Sedimentmächtigkeiten nördlich des Mains.

### 1.2.2. Trias

Der oberste Zechstein leitet faziell kaum abgrenzbar unmittelbar in die Bröckelschiefer des Buntsandsteins über. Kontinentaler Einfluß des germanischen Bunt-

sandsteinbeckens nimmt nach Süden ständig zu. Die Vindelicische Schwelle, die Böhmisches und die Rheinische Masse sind die Liefergebiete der Sande im Becken. Gipse sind im gesamten Unteren und Mittleren Buntsandstein in feiner Verteilung anzutreffen (Wüstengips).

An der Grenze des Mittleren zum Oberen Buntsandstein kommt es verbreitet zu Bodenbildungen, die Stillstand der Sedimentation anzeigen. Im semiariden Klima dieser Zeit bilden sich durch kapillar aufsteigende Grundwässer im Bereich von Depressionen Kieselssäureausscheidungen (Karneole) und Gips. In höheren Lagen wurden die unterhalb der Bodenbildung liegenden Sande durch descendente Wässer eingekieselt (D. ORTLAM, 1974). Vom Oberen Buntsandstein an macht sich wieder zunehmend mariner Einfluß unter Strand- und Flachseebedingungen bemerkbar. Es kommt zu Trockenlegungen mit Gipsablagerungen bis in das Gebiet der Mündung der Fränkischen Saale in den Main; an der oberen Werra wird in Verbindung mit voll-aridem Klima auch Steinsalz ausgeschieden (W. HOPPE, 1974). Die marinen Ingressionen erfolgten über die Thüringer Senke und die Fränkische Straße; die Sandschüttungen dürften in erster Linie aus dem Süden erfolgt sein. Im obersten Buntsandstein wird dann mit abnehmender Reliefenergie die klastische Sedimentation bereits durch die überwiegend karbonatische des Unteren Muschelkalks ersetzt (Myophorien-schichten).

Die Sedimente des *Muschelkalks* tragen epikontinentalen Flachmeercharakter. Im Küstenbereich östlich und südlich von Nürnberg liegt dieser in durchgehend sandiger Ausbildung vor (U. EMMERT, 1964). Epirogene Bewegungen sind im Unteren und Oberen Muschelkalk kaum feststellbar, der Mittlere Muschelkalk hingegen wird durch eine nordnordwest-südsüdost verlaufende Senkungszone charakterisiert, die von Südthüringen über den Steigerwald bis in das Bodenseegebiet reicht. In dieser Senke häufen sich Gips- und Steinsalzausscheidungen unter wiederum vollariden Klimabedingungen. Das Meer des Oberen Muschelkalks war im großen und ganzen etwas tiefer als in der vorangegangenen Zeit; Gips- oder Steinsalzsedimente fehlen. In Annäherung an das Vindelicische Land und an den Oberpfälzer- und Bayerischen Wald schalten sich in zunehmendem Maße sandige Sedimente ein; im Übergangsbereich herrscht Dolomit mit Feinsandlagen vor. An der Küste liegt die gesamte Trias in sandigem Fazies vor, so daß eine Abgrenzung des Muschelkalks zum hangenden Keuper hin meist nicht möglich ist.

Zur *Keuperzeit* verlandete das frühere Muschelkalk-Binnenmeer in zunehmendem Maße. Das germanische Becken wird mit überwiegend terrestrischen Sedimenten aufgefüllt. Dabei erfährt es im Bereich der Vindelicischen Schwelle eine Ausweitung nach Süden, da im Zuge der sich aktivierenden Tethys das gesamte Kristallingebiet langsam sinkt. In Zeiten hohen Wasserstandes hatte das germanische Keuperbecken Binnenmeercharakter; bei niedrigem Wasserstand glich es einer Watt- bzw. einer sumpfigen Seenlandschaft. Das Wasser dieses „Flachmeeres“ war bei warmem bis steppenhaftem Klima in seinem Salzgehalt starken Schwankungen unterworfen. „Die teils marin-brackischen, teils festländischen Sedimentationsbedingungen, welche oft auf kleinem Raum nebeneinander wirkten, verursachten im Keuper den häufig beobachteten raschen Wechsel in der Gesteinsausbildung“ (U. EMMERT, 1964).

In Beckenbereichen liegen schluffig-mergelige Sedimente vor; in Richtung zu den Beckenrändern verzahnen sich diese mit zunehmend sandigen Ablagerungen. Die Faziesgrenze Mergel/Sand verläuft in der Gipskeuperzeit in Nordost-Südwestrichtung von Bayreuth über Erlangen, Ansbach nach Dinkelsbühl; vom oberen Mittleren Keuper an (Sandstein-Keuper-Zeit) dringt die sandige Sedimentation nach Nordwesten bis in den Raum der Gleichberge und bis Crailsheim-Rothenburg o. T. im Westen vor.

### 1.2.3. Jura und Unterkreide

Mit der Transgression des Rät beginnt die Zeit des jungmesozoischen Schelfmeeres; gleichzeitig vollzieht sich auch ein Klimawechsel. Die Zeit der Wüsten und der Evaporite ist zu Ende; das humide Klima herrscht von jetzt ab vor. Im Lias dringt das von Nordwesten kommende Meer über die Hessische Straße zwischen der Ardennisch-Rheinischen Insel und dem Böhmischem Block nach Süden ein und erreicht eine Verbindung mit der Tethys. Vom Dogger an wird diese Verbindungsstraße westwärts eingengt (H. KÖLBEL, 1967). Im Malm trennt dann die Mitteldeutsche Landbrücke das Norddeutsche Becken vom Süddeutschen ab.

Der *Lias* weist örtlich sehr wechselnde Mächtigkeiten und vielseitige Faziesdifferenzierungen auf (W. TREIBS, 1964), wohl eine Folge des Vordringens des Meeres in eine buchtenreiche Küste, in deren innerem Bereich es durch ein reichliches Angebot organischer Substanz zu reduzierten Bedingungen kam; dunkle Kalkmergelsteine und Mergelschiefer mit Pyrit sind weit verbreitet. Am Rande der Becken und Buchten finden sich bei größeren Sauerstoffgehalten des Wassers limonit- und kieselverkrustete Sandsteine. Der Flachmeercharakter bleibt im *Dogger* erhalten; im humiden Klima liefern Flüsse von der Böhmischem Masse je nach Entfernung zur Küste und nach den herrschenden Strömungsverhältnissen Sande, Schluffe oder Tone. Meeresspiegelschwankungen und unterschiedliche Hebungen und Senkungen führen zu präoberjurassischen Erosionen bzw. Schichtlücken.

Das *Malm*-Meer überwand in vollem Umfang das Vindelicische Land; in gleichem Maße wie die mitteldeutsche Schwelle aufstieg, wurde das süddeutsche Becken nach Süden gedrängt. Das Meer zwischen Mitteldeutscher Schwelle und Vindelicischem Rücken hatte Flachmeercharakter, Schwammriffe mit Lagunen gliederten die Meereslandschaft. Die Regression zu Ende des Jura läßt Süddeutschland bis südlich der Donau trocken fallen und gibt die Malmkalke während der gesamten Unterkreide der Verkarstung frei. Während dieser Zeit steigen Rhön und Spessart auf und heben die Süddeutsche Scholle um den Drehpunkt des ehemaligen Vindelicischen Landes an (zwischen Ries und Amberg); es setzt die Zeit der saxonischen Tektonik im Ostteil der Süddeutschen Scholle ein (B. SCHRÖDER, 1976). Der Südrandbruch des Thüringer Waldes, die Fränkische Linie, die Freihunger Störung, Pfahl, Keilbergsprung und Donaurandbruch werden in zunehmendem Maße wirksam und bilden die heutige Schollenrand-Begrenzung im Osten aus. Einengungsformen mit Vergenz zur Tief-scholle überwiegen hier (W. CARLÉ, 1955). Dabei wird der Rand vielfach steilgestellt und von der eigentlichen Scholle durch Parallelstörungen getrennt. Westlich davon bildet sich eine Mulde heraus, die von der nördlichen Rhön über das Grabfeld bis zur Frankenalb reicht (Frankenalb-Mulde).

### 1.2.4. Oberkreide bis heute

Die Oberkreide-Transgression erreichte den östlichen Raum zwischen Regensburg und Bayreuth-Bamberg, folgte also, durch die Regensburger Straße kommend, der Frankenalb-Mulde. Von der obersten Oberkreide an bildeten Thüringer Wald, Frankenwald und Bayerischer Wald eine zusammenhängende Schwelle; das alpine Burdigal-Meer erreichte, von Süden kommend, den Jura bis etwa zum Ries. Das zur Mittelmeer-Miösenzzone gehörende Vogelsberg-Rhöngebiet wurde bereits von dem Oligozänmeer überflutet, das die Hessische Senke bedeckte. Das östlichste Vorkommen von Septarienton ist vom Vogelsberg, das eines Melanientones vom West-Abfall der Wasserkuppe bekannt. Somit dürfte zumindest ein Teil der Rhön von Brackwasser bedeckt gewesen sein. Nach der Chatt-Regression kam es in der Rhön zu den ersten vulkanischen Eruptionen (L. HIRSCH, 1937). Im Miozän war das Rhöngebiet ein Seengebiet, vielleicht auch ein zusammenhängendes Seenbecken. Der Thüringer Wald

entwässerte hierher und möglicherweise weiter östlich davon nach Franken (A. STEINMÜLLER und P. UNGER, 1974). Durch die anschließende Aufwölbung der Rhön im Mittelmiozän entstand damals die Wasserscheide zwischen Nordmeer und Tethys. Als Folge der Aufwölbung drangen Basalte auf und bildeten flächenhafte Decken aus. Mit dem beginnenden Pliozän war bis auf den Verlauf des Mains, der noch nach Süden zur Donau hin entwässerte, das heutige Gewässernetz in seinen Grundzügen festgelegt.

Tab. 2: Übersicht über Ausbildung, geochemische Zusammensetzung und mittlere Mächtigkeit der einzelnen nachvariskischen Schichtenfolgen im Bereich der Fränkischen Teilscholle.

Geologische Einheit		Ausbildung		überwiegende geochemische Zusammensetzung	mittlere Mächtigkeit in Metern
		Beckenfazies	Randfazies		
Malm	Jura	Kalksteine und Riffkalke		Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	150–250
Dogger		Schluffsteine, Mergel, Sandsteine		sandig CaCO <sub>3</sub> (Fe)	100–150
Lias		Tonmergelsteine	Kalksandsteine	tonig CaCO <sub>3</sub> (Sulfid)	10– 60
Rät	Keuper	Mergel und Sandsteine		CaCO <sub>3</sub> (+Silikate)	0– 40
Sandstein		gipshaltige Mergel	Mergel, Sandsteine	(CaSO <sub>4</sub> ) + CaCO <sub>3</sub>	170–210
Gips		Tonsteine, Gips	Mergel, Dolomite	CaSO <sub>4</sub> + (CaCO <sub>3</sub> )	150–200
Unterer		Kalke, Dolomite, Mergel, Sandsteine		CaCO <sub>3</sub>	40– 50
Oberer	Muschelkalk	Kalke, Mergel	Kalke, Sandsteine	Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	80
Mittlerer		Mergel, Gips, Anhydrit, Steinsalz	Mergel, Kalke, Anhydrit, Gips	NaCl, CaSO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub>	40– 70
Unterer		Kalke, Dolomite, Mergel, Sandsteine		Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	80
Oberer	Buntsandstein	Tonsteine, Schluffsteine, Sandsteine		Silikate + CaCO <sub>3</sub>	70–100
Mittlerer		Gips (NaCl ?)	(Gips)	+ CaSO <sub>4</sub>	
Unterer		Schluffsteine, Sandsteine, Schluffsteine mit Wüstengips		Silikate + (CaCO <sub>3</sub> ) (CaSO <sub>4</sub> )	150–200
Zechstein	Perm	Tone und Anhydrit		Silikate + CaSO <sub>4</sub>	über 200
Rotliegendes		Steinsalz + (KCl)	Tone, Anhydrit	Na(K)Cl, CaSO <sub>4</sub>	200
		Kalke, Dolomite, Mergel, Tonsteine			
		Konglomerate, Sandsteine, Schluffsteine,		Silikate + CaCO <sub>3</sub>	sehr wechselnd
		Porphyre	(Wüstengips)	CaSO <sub>4</sub>	0–1000

### 1.3. Allgemeine Gliederung und Hydraulik des Grundwasserkörpers

#### 1.3.1. Historische Entwicklung der Lehrmeinungen

Die Vorstellung, in einer bestimmten Tiefe befinde sich unter dem normalen Grundwasser tiefer gelegenes, höher mineralisiertes Wasser mit besonderen Eigenschaften, entwickelte sich am Ende des 19. Jahrhunderts.

So führte bereits F. POŠEPENY auf dem 3. Internationalen Geologenkongreß im Jahre 1885 eine Zweiteilung des Grundwassers durch. Er beschreibt eine seichte, subterrane Zirkulation, die zum tiefsten Punkt des Terrains in fließender Bewegung ist und nennt sie *vados*; als zweites postuliert er eine *profunde* Zirkulation, bei der das Grundwasser auf großen Flächen kapillar hinabsteigt. Diese vertikale „Descenz“

geht nach seinen Ausführungen ab einer gewissen Tiefe in eine laterale Bewegung über; erreicht dieses profunde Wasser offene Spalten, dann kehrt es ascendierend zur Oberfläche zurück, wobei es zur Ausscheidung von Erzen und Mineralien kommt. Das kapillare Descendieren des profunden Wassers setzt jedoch voraus, daß die Gesteinshohlräume unterhalb des *vadosen* Wassers nicht mit Wasser gefüllt sind. J. Le CONTE (1894) lehnte eine profunde Zirkulation im Sinne von F. POŠEPENY mit der Begründung ab, daß die Kapillarität das Wasser dahin führt, wo keines ist, es aber mit ebensoviele Kraft dort festhält, wo es ist. F. POŠEPENYS Begriff „profundes Wasser“ setzte sich in der Folgezeit nicht durch, hingegen ist der Begriff *vados* bis heute gebräuchlich.

*Vados* wurde später von E. SUESS (1902) im Gegensatz zu *juvenil* gebraucht; er nannte so alle Grundwässer, die aus Infiltration von Niederschlagswässern entstanden sind: Das juvenile Wasser stamme aus den tieferen, inneren Regionen des Erdkörpers und trete zum ersten Mal in den Wasserkreislauf ein. In Verbindung der Erzlagerstättenkunde mit der Thermalwasserlehre setzte sich in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts die SUESS'sche Ansicht durch. So ist bei R. BECK und G. BERG (1922) zu lesen, daß es jetzt die verbreitetste Ansicht sei, die Thermalwässer seien juvenilen Ursprungs. Solch juveniles Wasser sei reichlich mit löslichen Bestandteilen des Magmas beladen. Nach B. KESSLER (1927) führen die Mineralquellen nicht die Auslaugungsprodukte der Gesteine durch *vadoses* Wasser, sondern im wesentlichen die Diffentionsprodukte des Magmas mit sich; Heilquellen und juveniles Wasser werden somit weitgehend gleichgesetzt. Auch R. KAMPE (1934) kommt bei Untersuchungen an den Karlsbader Quellen zu dem Schluß, daß man diese auf eine juvenile Entstehung zurückführen müsse. Er führt dabei an, daß die großen Mengen an Kochsalz, die die Quellen zu Tage fördern, nicht aus dem Granit oder Basalt des Untergrundes gelöst sein könnten. Die Auffassung, daß sich Salzwässer über größere Entfernungen vom Entstehungsort zum Austrittspunkt bewegen können, wie dies bereits C. CHELIUS (1904) und A. STEUER (1912) für die Solequellen am Taunusrand annahmen, war ihm zwar bekannt, dennoch scheint er sie nicht akzeptiert zu haben.

K. A. WEITHOFER (1936) lehnte die von E. SUESS bis R. KAMPE immer mehr als Lehrmeinung betrachtete Idee des überwiegend juvenilen Wassers im tieferen Untergrund ab. Er teilt das Grundwasser in zwei Hauptabteilungen – zwei übereinanderliegende, jedoch an Mächtigkeit zumeist sehr verschiedene Wasserschichten ein: das der Oberfläche nahe *Fließwasser* und das darunter liegende mächtige *Standwasser* (Tiefenstandwasser). Beide sind für K. A. WEITHOFER *vadosen* Ursprungs. Das Fließwasser reiche nach abwärts soweit, als eine natürliche Abflußmöglichkeit für dasselbe bestehe, also äußerstens bis zum Meeresspiegel. Seine Charakteristik liege in seiner durch die Schwerkraft bedingte Fließbewegung, eben bis zum erreichbaren nächsten oder tiefsten Abflußpunkt an der Erdoberfläche. Was darunter liegt ist das Tiefenstandwasser. Seine Charakteristik ist im Gegensatz zu ersterem normal der Stillstand, da ihm an sich jede Abflußmöglichkeit fehle, es sei denn, daß an einer Stelle irgendeine zusätzliche Kraft der Gravitation entgegenwirke und sie überwinde. Ob und wieviel juveniles Wasser es aus der Erdtiefe aufgenommen habe und noch entnehme, sei unbekannt.

A. GIESLER (1957) verwendet eine Darstellung, die von F. POŠEPENY über E. SUESS, R. KAMPE und K. A. WEITHOFER den Stand der Vorstellung über „*vados*-juvenil, Fließwasser – Tiefenwässer“ wiedergibt (Fig. 6). Er kommt der Auffassung von K. A. WEITHOFER nahe, wenn er ausführt: „Wie das Schema zum Ausdruck bringt, zählt das gesamte Wasser unter der Erde, soweit es jemals am Kreislauf teilgenommen hat oder noch teilnimmt, und auch alles auf der Erde zum *vadosen* Wasser... das juvenile Wasser ist ein lediglich zu postulierender Anteil...“

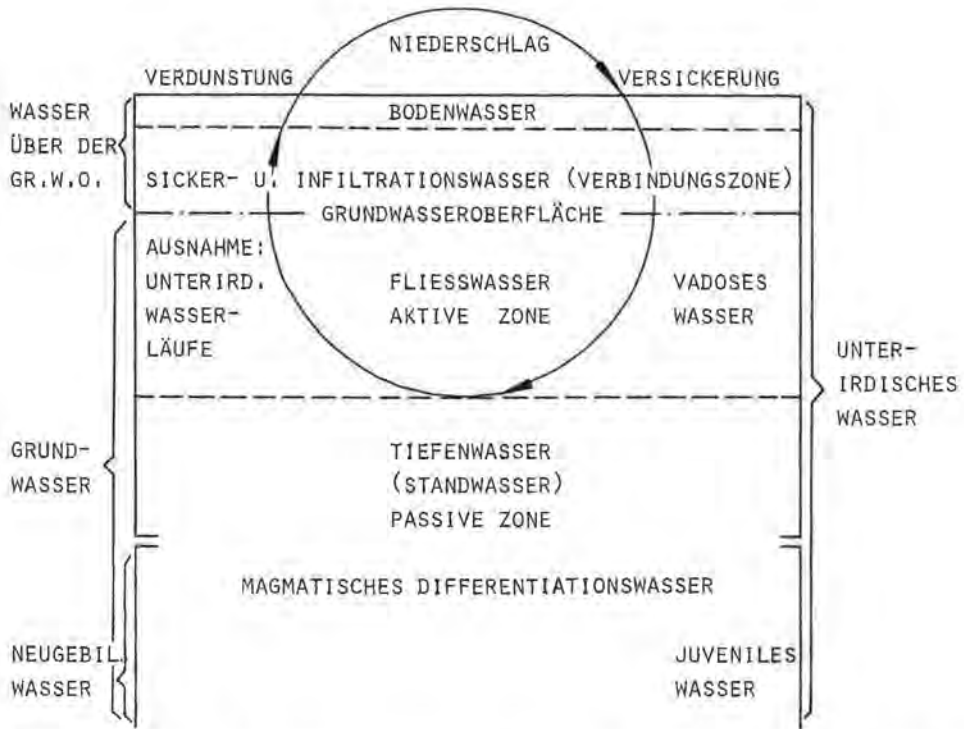


Fig. 6: Schema der Gliederung des unterirdischen Wassers nach A. GIESSLER (1955) im Sinne von K. A. WEITHOFER (1936).

G. MICHEL (1963) rechnet das Salzwasser in der Tiefe ebenfalls nicht dem juvenilen, sondern dem vadosen Bereich zu. Er wendet sich auch gegen die Ansicht, daß thermales Wasser juvenil sein müsse. „Höher temperierte Grundwässer, die aus größeren Tiefen aufsteigen, brauchen nicht unbedingt *juvenil* zu sein, sondern sie können Ausdruck einer tieferen Wasserzirkulation sein, d. h. es ist vadoses Wasser, welches in größere Tiefen gelangt ist, sich dort erwärmt und mit  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  angereichert hat und nun wieder nach oben steigt. H. HÖTZL (1973) versteht unter „Tiefenwässern“ Grundwässer, die wesentlich unter dem Vorflutsystem liegen und dort weitgehend stagnieren. Sie seien durch hohe Natrium- und Sulfat- bzw. Chloridwerte ausgezeichnet. W. CARLE (1975) macht deutlich, daß nach heutiger Anschauung „die Mineralwässer in dem großen, gesamten Wasserkreislauf und somit auch in dem Gesamt-Wasserhaushalt eines Gebietes eingespannt sind“. Für ihn ist Kohlendioxid (gemeint sind wohl Gehalte über 100 mg/l ?) der einzige juvenile Stoff in den Mineralwässern.

### 1.3.2. Potentialmodelle der Grundwasserbewegung

Ausgehend von der Vorstellung, daß zwischen höherem und tieferem Grundwasser keine scharfe Grenzziehung möglich sei, setzte sich in den letzten Jahren immer mehr die Ansicht durch, daß das gesamte Grundwasser auch bis in größte Tiefen dem Wasserkreislauf angehören müsse. Die hydraulischen Modellvorstellungen hierzu wurden in erster Linie von M. HUBBERT (1940) entwickelt. Die Potentialtheorie hat sich durch J. TÖTH (1962, 1963) in der angelsächsischen Literatur durchgesetzt und fand auf dem 24. Internationalen Geologen-Kongreß in Montreal durch R. A. FREEZE (1972), J.

TOTH (1972) und K. U. WEYER (1972) weitere Verbreitung. So hat in jüngster Zeit E. VILLINGER (1977) die Potentialtheorie auf Strömungssysteme im Karstwasser der Schwäbischen Alb angewendet. Bevor jedoch die Potentialtheorie Eingang in die Überlegungen zur Bewegung des tieferen Grundwassers gefunden hatte, konnte J. M. K. PENNINK (1907) bereits um die Jahrhundertwende durch Messungen mit Vakuum-Peilorohren den Beweis erbringen, daß in einem Entwässerungssystem die Zuströmung zum Vorfluter auch auf tiefreichenden Fließbahnen erfolgt (Fig. 7). Das hydraulische Potential an einem beliebigen Punkt des Grundwasserkörpers ist proportional der Höhe H der Wassersäule, bezogen auf ein horizontales Bezugsniveau mit dem Abstand z vom Potentialpunkt, multipliziert mit der Erdbeschleunigung g (M. HUBBERT, 1940).

$$\Phi = H \cdot g \text{ [m}^2 \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

Die Schnittlinien von Äquipotentialflächen mit der Grundwasseroberfläche ergeben die Grundwasserhöhengleichen; die Abstände der Potentialflächen stellen das hydraulische Gefälle dar. Der Gesamtdruck  $p_g$  an einem beliebigen Punkt unterhalb der Wasseroberfläche ist das Produkt aus der Dichte des Wassers  $\rho$ , dem Wasserstand über dem Punkt (H-z) und der Erdbeschleunigung g, addiert mit dem Luftdruck  $p_l$  über der Wassersäule.

$$p_g = \rho \cdot g \cdot (H-z) + p_l$$

Somit ist der Gesamtdruck  $p_g$  an einem beliebigen Potentialpunkt bei gleichbleibendem Abstand z über dem Bezugsniveau und gleicher Dichte des Wassers im Bereich der Wasserscheide am größten, im Vorflutbereich am geringsten. Das Potential ist an jedem beliebigen Punkt größer als an der Oberfläche des bezogenen Vorfluters, da an der Oberfläche des Vorfluters die Differenz H-z den Wert Null annimmt. Die unterschiedliche Neigung der Grundwasseroberfläche zwischen Wasserscheide und Vorfluter bedingt ein Potentialfeld, wie es E. VILLINGER (1977) in Anlehnung an M. HUBBERT (1940) und J. TOTH (1962) entworfen hat (Fig. 8). Danach ist das Grundwasser zwischen Wasserscheide und Vorfluter in tiefreichender Bewegung; die Wasserteilchen tauchen im Scheitelpunkt unendlich tief ab und steigen unter der Vorflut aus beliebiger Tiefe auf.

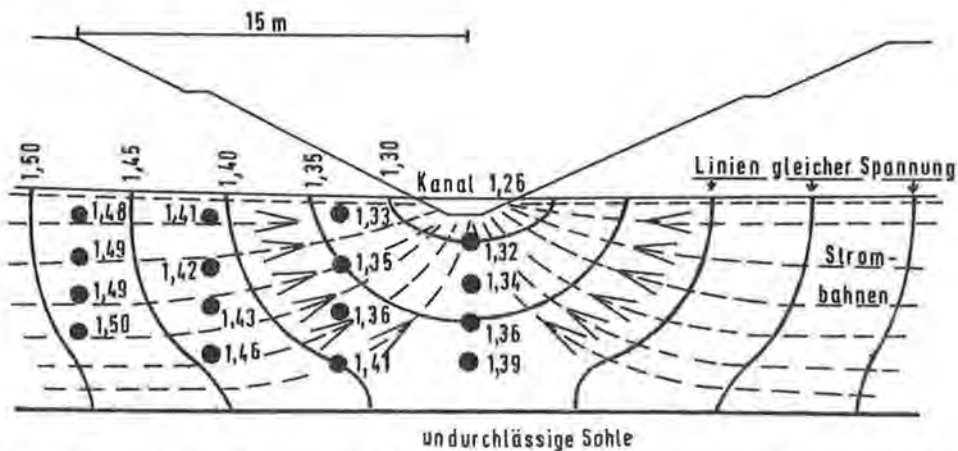


Fig. 7: Linien gleicher Spannung und Strombahnen in einem beanspruchten Grundwasserträger (nach J. M. K. PENNINK, 1907, aus P. PRINZ, 1923).



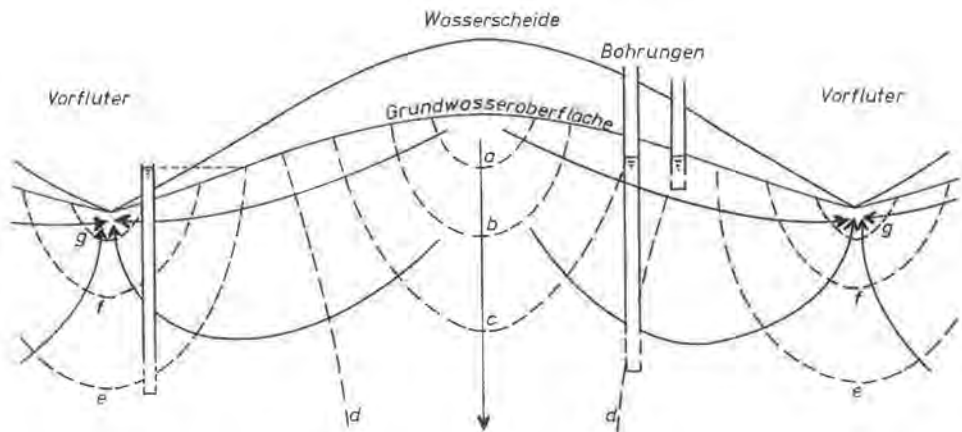


Fig. 8: Schema einer Potential- und Stromlinienverteilung in einem homogenen, isotopen Grundwasserleiter (in Anlehnung an M. HUBBERT, 1940, Fig. 45, und J. TÖTH, 1962, Fig. 4). Das Potential nimmt von der Linie a zu den Linien g ab, wobei die Potentialdifferenz von Linie zu Linie gleich ist. Die beiden Bohrungen haben trotz verschiedener Tiefen gleiche Wasserstände, weil ihre Filter dieselbe Potentiallinie erreichen (aus E. VILLINGER, 1977, Abb. 2).

Inhomogenität des Untergrundes, hervorgerufen durch Schichtneigung und unterschiedlichen Aufbau, verändern die Richtung der Potentiallinien; an der Grenzfläche zwischen gut und gering durchlässigen Schichten verdichten sich die zugehörigen Stromlinien. Geologischer Stockwerksbau, fazielle und petrographische Veränderungen in einer geologischen Einheit sowie unterschiedliche tektonische Beanspruchungen innerhalb eines Einzugsgebietes erschweren es, mit Hilfe der Potentialmodelle zu quantifizierenden Ergebnissen zu kommen.

### 1.3.3. Süß-Salzwassergrenze

Auf geologisch-hydrochemischen Profilschnitten (Tafel II) ist der Bereich des versalzten tieferen Grundwassers durch Schrägschraffur besonders gekennzeichnet. Die Grenzlinie bezieht sich auf die Chloridkonzentration von 1 g/l. Eingezeichnet sind ausgewählte Bohrungen, die tieferes Grundwasser erschlossen haben. In die Profile einprojizierte Bohrungen sind in Klammern gesetzt; die jeweiligen Archivnummern sind mit angegeben. Unter den Bohrpunkten ist in Form von hydrochemischen Vertikalprofilen der Verlauf der Gesamtmineralisation der in den einzelnen Horizonten angetroffenen bzw. zu erwartenden Grundwasser wiedergegeben. Auf der Abszisse der Vertikalprofile ist die Gesamtmineralisation in log mval/l aufgetragen, während auf der Ordinaten die Teufe in Metern unter Bohransatzpunkt abgelesen werden kann. Die Ionenverteilung der Wasser kann unter Berücksichtigung der Gesamtmineralisation in mval/l in guter erster Näherung aus den Textfiguren 13–19 entnommen werden.

Die Bewegung des Salzwassers erfolgt von der Stelle des Eintrags in erster Linie dem Gefälle eines Stauers folgend, wobei Salzlösungen Wasser mit geringerer Dichte unterschichten können. An der Grenzfläche Süß-Salzwasser kommt es auf dem Fließweg des Salzwassers zu einer stetigen Verringerung der Salzkonzentration durch Diffusionsvorgänge. Das Süßwasser bzw. geringer mineralisierte Wasser über dem Salzwasser „transportiert“ auf Grund tieferreichender Zirkulation ständig Ionen in die bezogenen Vorfluter. Dieser Ionentransport spielt jedoch nur dort eine bedeu-

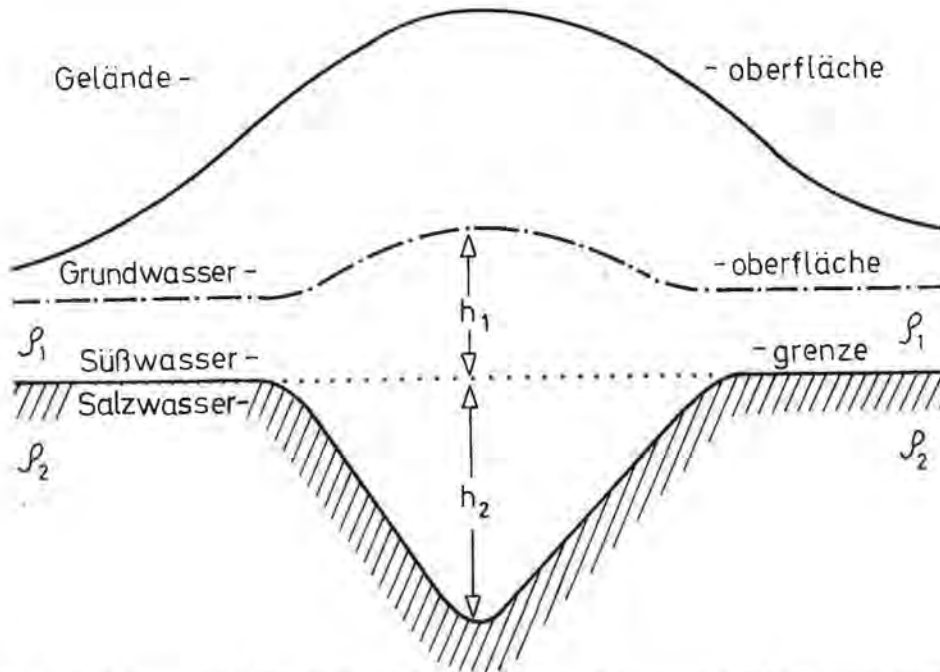


Fig. 9: Schematische Darstellung der Verdrängung von Salzwasser durch Süßwasser im Bereich der Mittelgebirge in Anlehnung an die Verhältnisse auf Düneninseln.

tendere Rolle, wo sich der Salzwasserspiegel im Bereich des höheren Kreislaufwassers befindet.

Hydrostatisches Gleichgewicht (Fig. 9) zwischen Wässern unterschiedlicher Dichte tritt dann ein, wenn die Gesamtdrücke beider Lösungen im Kontaktpunkt gleich groß sind; unter Vernachlässigung des additiven Einflusses des Luftdruckes gilt:

$$\text{für das Süßwasser } p_1 = (h_1 + h_2) \cdot \rho_1$$

$$\text{für das Salzwasser } p_2 = h_2 \cdot \rho_2$$

Bei Gleichgewicht gilt:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 \\ \rho_1 \cdot (h_1 + h_2) &= h_2 \cdot \rho_2 \\ \frac{h_2}{h_1} &= \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1} \quad (\text{A. HERZBERG, 1914}) \end{aligned}$$

Für die Verhältnisse auf Düneninseln errechnet sich bei einer Meeresswasserdichte von  $\rho_2 = 1,027 \text{ g/cm}^3$  und der Süßwasserdichte  $\rho_1 = 1.000 \text{ g/cm}^3$  ein Verhältnis von

$$h_2 = 37 \cdot h_1$$

was den wirklichen Verhältnissen weitgehend entspricht (H. H. MEYER, 1977).

Um die räumliche Grenze zwischen Wässern unterschiedlicher Dichte bei hydrodynamischen Verhältnissen beurteilen zu können, muß auf das DARCY'sche Filtergesetz in abgeleiteter Form (S. N. DAVIS und R. J. M. DE WIEST, 1966) zurückgegriffen werden.

$$Q = kf \cdot F \cdot \text{grad } \Phi \cdot g^{-1} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Im Bereich gleichen Massentransports ( $Q_1 = Q_2$ ) ist hydrodynamisches Gleichgewicht vorhanden; bei gleicher Filterfläche  $F$  und gleichem spezifischem Filterwiderstand  $k_f$  ist  $Q$  direkt dem Gradienten von  $\Phi$  proportional. Da der Gradient auch dem hydrostatischen Druck  $p$  proportional ist, gilt für den Bereich gleichen Massentransports:

$$\text{grad } \Phi_1 \cdot p_1 = \text{grad } \Phi_2 \cdot p_2$$

Wird der Gradient von  $\Phi$  auf der einen Seite vergrößert, verringern sich die Abstände der Potentialflächen auf der anderen Seite; gleiches bewirkt eine Änderung des hydrostatischen Drucks. Dies bedeutet, daß bei Wässern unterschiedlicher Dichte das Wasser geringerer Dichte einen direktproportional größeren Gradienten von  $\Phi$  benötigt, um dynamisches Gleichgewicht zu erreichen. Entsprechend den Gegebenheiten im Mittelgebirge verdrängt der erhöhte Gradient des Süßwassers das Salzwasser zur Seite hin (Rhön-Spessart-Odenwald). Bedingt durch vertikale Unterschiede in der Gebirgsdurchlässigkeit kann eine Verdrängung des Salzwassers auch stockwerkartig erfolgen. Als Beispiel sei der Bereich von Rodach erwähnt (Tafel II, Profilschnitt C-C'), wo im Bereich gut durchlässigen Mittleren Buntsandsteins, bedingt durch ein höherliegendes Einzugsgebiet im Osten, Süßwasser weit nach Westen vordringt.

#### 1.3.4. Grundwasser oberhalb und unterhalb des Vorflutniveaus

Die Anwendung der Potentialtheorie auf natürliche Gegebenheiten vermag in Ermangelung ausreichender Aquiferdaten keine quantitativen Aussagen über Bewegung und Transport des Wassers in einem anisotropen und inhomogenen Grundwasserleiter zu machen. Versucht man Grundwassermodelle auf natürliche Dimensionen zu projizieren, so zeigt sich, daß bei gleichbleibenden Durchlässigkeitsbeiwerten der Massentransport überwiegend in dem Raum zwischen Vorflutniveau und Wasserscheide erfolgen muß; relevant ist ebenfalls noch diejenige Zone unterhalb des Vorflutniveaus, die der Höhendifferenz zwischen unterirdischer Wasserscheide und dem Bezugspunkt der Entwässerung entspricht (Fig. 10); in beiden Zonen zusammen dürften in einem homogenen Wasserleiter über 90% des Grundwassertransportes erfolgen, wobei mit einer exponentiellen Zunahme der Transportvorgänge in Richtung zur Grundwasseroberfläche gerechnet werden muß. Die Abnahme der Grundwasserbewegung mit der Tiefe wird durch die Verringerung der Gebirgsdurchlässigkeit vergrößert, die nach G. MATTHESS (1970) unterhalb der Talungen rasch abnimmt. Bei überregionaler Betrachtungsweise kann für Bereiche des Mittelgebirges mit einer entscheidenden Herabsetzung der Trennfugendurchlässigkeit unterhalb 100 m unter Talniveau gerechnet werden, in flacheren Gegenden liegt diese Zone entsprechend höher. Mit Hilfe von Bilanzbetrachtungen zu Ermittlungen des entwässerbaren Hohlraumvolumens von Festgesteinen ergeben Berechnungen, daß z. B. Gebiete, die aus Unterem und Mittlerem Buntsandstein aufgebaut sind, sich bei mittlerem Grundwasserabfluß in weniger als einem Jahr zum Vorfluter hin entleert haben, wenn keine Grundwassererneuerung erfolgen würde (P. UDLUFT, 1969, 1972). Der Anteil von Grundwasser unterhalb 50–100 m unter bezogenem Entwässerungsniveau ist bei diesen Berechnungen mengenmäßig zu vernachlässigen. Auch wenn es aufgrund hydraulischer Theorien keinen Ansatzpunkt für eine Abgrenzung zwischen „höherem“ und „tieferem“ Grundwasser geben kann, erscheint dennoch eine Gliederung des Grundwasserkörpers in

- Grundwasser der oberen Zone (direkt vorflutbezogen)
  - = höheres Grundwasser
- Grundwasser der unteren Zonen (indirekt vorflutbezogen)
  - = tieferes Grundwasser
  - = Tiefengrundwasser

sinnvoll.

Zusätzliche Kriterien für die Zuordnung des einen oder anderen Wassers zu einer der beiden Gruppen sind neben radiometrisch bestimmten Alterswerten (Daten hierzu liegen meist nicht vor) hydrochemische Merkmale, die das „höhere“ und „tiefere“ Wasser in einem Aquifer voneinander unterscheiden. W. RICHTER und W. LILLICH (1975) führen zwischen dem höheren Grundwasser (Umsatzwasser) und Tiefengrundwasser noch eine Übergangszone ein, der sie das sog. „Vorratswasser“ zuordnen. Nach ihrer Auffassung reicht diese Zone im Norddeutschen Flachland 200–300 m unter das zugeordnete Vorflut-Niveau. Die Grenze zwischen Vorratswasser und Tiefengrundwasser ziehen W. RICHTER und W. LILLICH an der meist recht scharfen Fläche, unterhalb der chloridreiche Wässer anzutreffen sind. Hohe Natrium- und Chloridwerte sind jedoch nicht für alle Tiefengrundwässer typisch, da auch noch unterhalb hochmineralisierten Wassers natriumchloridarmes Wasser vorkommen kann (z. B. Malmwasser im süddeutschen Molassebecken, P. UDLUFT, 1975; Tafel II dieser Arbeit). Die im folgenden vorgenommene Untergliederung der Grundwässer in solche der *unmittelbar vorflutbezogenen oberen Zone*, innerhalb der über 90% des Grundwasserumsatzes erfolgt, und Wässer der *unteren Grundwasserzonen* (Tiefengrundwasser), in der weniger als

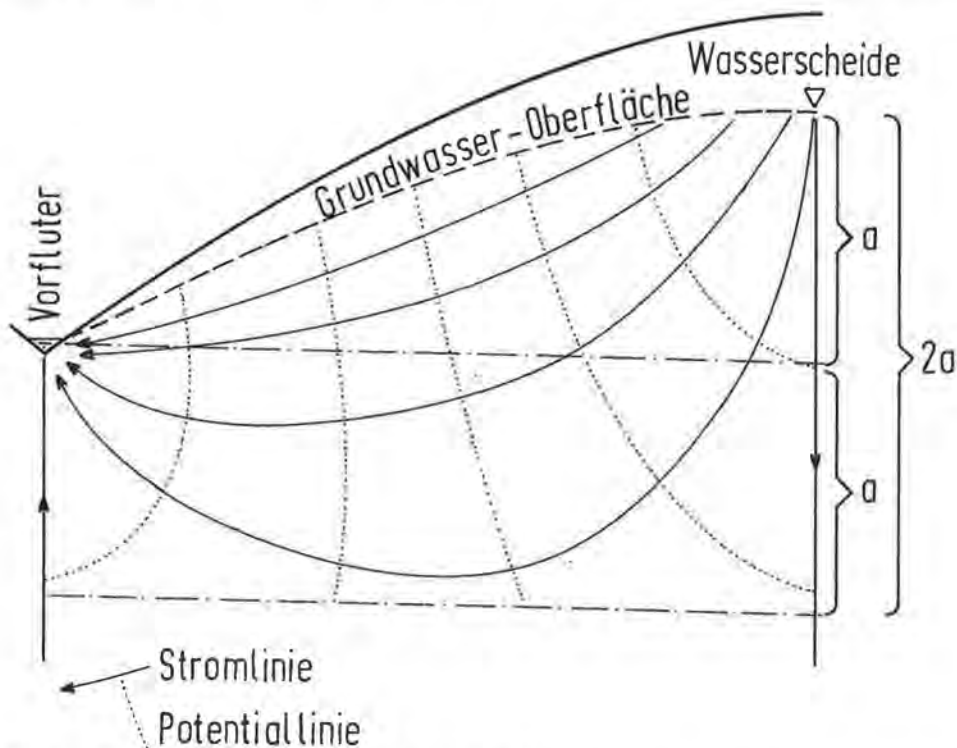


Fig. 10: Fließschema des Grundwassers zwischen Wasserscheide und Vorfluter; über 90% des Wassertransportes erfolgen im Bereich von  $2a$  (aus P. UDLUFT, 1977a, Abb. 3).

10% Grundwasser umgesetzt werden, ist aufgrund der oben genannten Problematik sicherlich subjektiver Entscheidung in jedem einzelnen fraglichen Fall ausgesetzt. Dennoch war in den allermeisten Fällen eine statistisch gesicherte Zuordnung allein schon nach der Fassungs-tiefe von Brunnen möglich. Wässer aus Bohrungen, die ihren Hauptwasserzutritt aus größerer Tiefe als 50 m unter Ruhewasserspiegel aufweisen, unterscheiden sich in vielen chemischen Werten von Wässern flacher Wasserfassungen und Quellen des gleichen Aquifers.

## 2. Chemismus der Grundwässer

Auf einer Übersichtskarte (Fig. 1) sind die geologisch bearbeiteten Gebiete mit hydrochemisch auswertbaren Daten dargestellt. Die Karte dient dem Auffinden von im Anhang zitierten Wasseranalysen. Die im Analysenverzeichnis abgedruckten Werte sind den Rechts- und Hochwerten der jeweiligen Karten 1 : 25.000 zuzuordnen. Die am linken und unteren Kartenrand angegebenen zweistelligen Zahlen (z. B. 63 und 30) geben die Blatt-Nummern der Karten 1 : 50.000 wieder, die Karten 1 : 25.000 sind entsprechend aus der weiteren Untergliederung zu entnehmen (z. B. 62 und 25 = Blatt Würzburg-Süd). Das Gitternetz entspricht dem Netz der Geologischen Übersichtskarte (Tafel I), so daß die Wasseranalysen auch dem geologischen Untergrund zugeordnet werden können.

Die chemische Zusammensetzung des Grundwasservorkommens wird in erster Linie von der geochemischen Ausbildung der Grundwasserleiter bestimmt. Eine Erkenntnis, die sich bereits in dem Satz von Plinius d. Ä. (23–79 n. Chr.) findet: „Tales sunt aquae qualis terra per quam fluunt.“ Der zunehmende anthropogene Stoffeintrag in die Atmosphäre, in die Gewässer und auf den Boden ist heute ein bedeutsamer und bei einer naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise nicht mehr zu vernachlässigender mitprägender Faktor. Dennoch lassen sich die Grundwässer Frankens bestimmten, stratigraphisch-faziell definierten Gesteinseinheiten zuordnen; im Sinne von L. GERB (1958) handelt es sich somit um Grundwassertypen, die den Namen der geologischen Formation tragen. In Weiterführung der GERB'schen Definition wäre dann von einem „anthropogenen“ Grundwassertyp zu sprechen, wenn die Überprägung die geogenen Elemente nicht mehr erkennen ließe bzw. dominant in Erscheinung treten würde. Grundwässer, die sich in ihrem Ursprungsgestein (Muttergestein) befinden, werden im folgenden „autochthon“, Wässer in Gesteinen, denen sie sich genetisch nicht zuordnen lassen, „allochthon“ genannt.

### 2.1. Wässer der oberen Zone (oberflächennahe Grundwässer)

Wässer dieser Zone weisen im allgemeinen weitgehende Sauerstoffsättigung, geringe Eisen- und Mangangehalte sowie mittlere Jahrestemperaturen auf, die denen der Jahresmittel der Lufttemperatur im Einzugsgebiet entsprechen.

#### 2.1.1. Wässer des Kristallins und der Basalte

(3/3)<sup>1)</sup>

(3/14, 3/17, 3/51)<sup>1)</sup>

Hierzu zählen die Wässer aus präpermischen Graniten und anderen Plutoniten sowie aus Gneisen, wie sie in der Umrandung des betrachteten fränkischen Raumes im Odenwald und Spessart sowie im Fichtelgebirge und der Münchberger Gneismasse auftreten. In diese Gruppe gehören auch die Wässer der jungtertiären Basalte von

<sup>1)</sup> Die im Text angegebenen Nummern 3/ bzw. 4/ beziehen sich auf die Speicherbänder der Analysendaten. Die hinter dem Teilstrich stehende Nummer gibt die Platzzahl der Analyse auf dem jeweiligen Band an. Die Herkunftsnachweise und die Ausdrücke der Analysen befinden sich im Anhang der Arbeit.

Tab. 3: Kristallin- und Basaltwasser; gerundete Mittelwerte aus 24 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	100	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	5,4		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	3,5	0,15	14,02
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,5	0,06	5,90
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	4,5	0,37	34,11
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	10,0	0,50	45,97
<i>Summe:</i>		1,09	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	6,0	0,17	17,42
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	5,0	0,08	8,28
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	15,0	0,31	32,11
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	25,0	0,41	42,19
<i>Summe:</i>	71,5	0,97	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	30		
Ionenstärke	1,62	mmol/l	

Rhön und Vogelsberg. Ihr Hauptmerkmal ist der geringe Lösungsinhalt, der im Mittel um 70 mg/l liegt. Die geringsten Mineralstoffgehalte weisen Granitwässer mit unter 30 mg/l absinkenden Werten auf, die höchsten Werte sind in Diabasen mit über 150 mg/l zu finden. Ausschlaggebend für die Armut an gelösten Stoffen ist das Fehlen von leichtlöslichen Substanzen, insbesondere von Karbonaten und Sulfaten des Kalziums und Magnesiums. Charakteristisch ist meist der relativ hohe Anteil des Magnesiums gegenüber Kalzium, der auf die Zersetzung der Magnesiumglimmer (Biotit) zurückzuführen ist. Der Alkaligehalt ist als Produkt der Feldspatverwitterung anzusehen. Das Hydrogenkarbonat-Ion stellt in den meisten Proben das am stärksten vertretene Anion dar, übersteigt aber selten 40 mg/l.

Der Gehalt an freier Kohlensäure schwankt je nach Mächtigkeit der belebten Verwitterungsdecke zwischen 15 und 50 mg/l; sie liegt überwiegend als kalkaggressive Kohlensäure vor. Relativ kurze Sicherstrecken und Verweilzeiten haben weitgehende Sauerstoffsättigung zur Folge.

In den tertiären Basalten der Rhön und des Vogelsberges treten Wässer auf, die zu den am geringsten mineralisierten Wässern (25–60 mg/l) gehören. Dies trifft insbesondere für Wässer der hochgelegenen Basaltdecken zu, die keine oder nur geringe Überdeckung aufweisen. Die geringmächtig überdeckten Hochlagen bedingen eine nur mäßige Bodenaktivität, die zu entsprechend niedrigen freien Kohlensäuregehalten (10–30 mg/l) führt. Erhöhte Konzentrationen (bis zu 120 mg/l) sind auf tuffitische und limnische Zwischenlagen zurückzuführen.

Der Einfluß von Löß- bzw. Lößlehmbedeckungen macht sich bei all diesen Wässern stark bemerkbar. Wässer (3/38), die aus der Durchsickerung des Löß innerhalb des Kristallins angetroffen werden, können diesem Typ nicht mehr zugerechnet werden; Kalzium und Hydrogenkarbonat können auf die zehnfachen Werte des reinen Kristallintyps ansteigen.

## 2.1.2. Wässer des Perms

### 2.1.2.1. Rotliegendes

In den westlichen und östlichen Randzonen der Fränkischen Teilscholle treten Rotliegendesedimente zu Tage. Die Konglomerate, Schiefertone, Arkosensandsteine,

Tab. 4: Rotliegend-Wasser; aus Lösungsanalysen rekonstruierte Werte (Kap. 3. 4.)

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}$ )	260	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,5		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	4,0	0,17	4,90
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,0	0,05	1,45
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	10,0	0,82	23,23
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	50,0	2,50	70,42
<i>Summe:</i>		3,54	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	5,0	0,14	4,12
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	5,0	0,08	2,35
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	75,0	1,56	45,61
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	100,0	1,64	47,92
<i>Summe:</i>	251,0	3,42	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	keine Angabe möglich		
Ionenstärke	5,92	mmol/l	

Kalk- und Mergellagen sowie Melaphyrlagen liefern meist mittelharte Wässer, deren vorwaltende Bestandteile Erdalkalien sowie Hydrogenkarbonat sind (H. UDLUFT, 1957). Da in der Literatur keine vollständigen Analysen zu finden sind, ist auf Tab. 4 der Mittelwert von Lösungsanalysen wiedergegeben (Lösungsversuche siehe 4.), die dem Reintyp dieser Wässer weitgehend entsprechen dürften.

#### 2.1.2.2. Zechstein

##### a) Randfazies

(3/12)

Am Ostrand des Spessart und im südlichen Vogelsberggebiet steht karbonatischer Zechstein der dolomitischen Riff-Fazies an. Möglicherweise primär sedimentierte Sulfate sind nicht mehr vorhanden, so daß diese Wässer sulfatarm sind. Die Gesamtmineralisation liegt bei 300–400 mg/l, Hydrogenkarbonat überwiegt. Bemerkenswert sind die hohen Magnesiumanteile, die im Mittel die Kalziumanteile übersteigen (bezogen auf Äquivalente). Es liegt somit ein Wasser des Mg-Ca- $\text{HCO}_3$ -Typs vor.

##### b) Beckenfazies

(4/44, 4/45, 4/49)

Am nordöstlichen Schollenrand treten im Bereich der Werra Wässer der salinaren Beckenfazies vorflutbezogen frei zu Tage. Die Gesamtmineralisationen schwanken je nach Verdünnungsgrad durch lateral zufließende gering mineralisierte Grundwässer stark; alle diese Wässer gehören dem Na-Cl-Typ an.

#### 2.1.3. Wässer des Buntsandsteins

Der Untere und Mittlere Buntsandstein besitzt als Kluftgrundwasserleiter im fränkischen und hessischen Raum für viele örtliche Wasserversorgungen besondere Bedeutung. Extrem schwankende Kluftvolumen bedingen jedoch ebenfalls stark schwankende Ergiebigkeiten von Bohrbrunnen. Der Obere Buntsandstein, der mit

einer Mächtigkeit von ca. 100 m ein Fünftel der Gesamtmächtigkeit des Buntsandsteins umfaßt, ist weitgehend als Wasserstauer ausgebildet; nur dem unterhalb der Röttonsteine (= Röt i. e. S.) liegenden ca. 20 m mächtigen Plattensandstein kann eine geringe Wasserwegsamkeit zugesprochen werden. Bohrungen können örtlich mehrere Liter pro Sekunde an Grundwasser liefern.

Tab. 5 Zechstein-Wasser der karbonatischen Randfazies; gerundete Mittelwerte aus 5 Analysen

	mg/l	mval/l	mval-%
spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )		295	$\mu\text{s cm}^{-1}$
pH-Wert		7,2	
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	6,0	0,26	6,24
Kalium ( $\text{K}^+$ )	4,0	0,10	2,45
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	24,0	1,98	47,20
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	37,0	1,85	44,11
<i>Summe:</i>		4,18	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	7,8	0,22	5,42
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	5,0	0,08	1,99
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	15,0	0,31	7,70
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	210,0	3,44	84,89
<i>Summe:</i>	308,8	4,05	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	20		
Ionenstärke	6,19	mmol/l	

### 2.1.3.1. Unterer und Mittlerer Buntsandstein

(3/11, 3/37, 3/45, 3/81, 3/6, 3/27, 3/39, 3/48, 3/52, 3/96, 3/13)

Unterer und Mittlerer Buntsandstein sind im Ost-Spessart, im Odenwald und Vogelsberg sowie im Bereich der Rhön flächenhaft vertreten. In der östlichen Schollenrandzone streicht der Untere Buntsandstein in schmalen Streifen aus. Hier wird er häufig mit sandig ausgebildeten Zechsteinsedimenten zusammengefaßt. Der Mittlere Buntsandstein am Ostrand nimmt größere Flächen zwischen Kronach und dem oberen Werragebiet ein. Die Gesamtmineralisation liegt meist zwischen 50 und 100 mg/l. Ganz allgemein liegt die Gesamtmineralisation von Wässern aus dem tieferen Unteren Buntsandstein aufgrund des primär etwas höheren Karbonatgehaltes etwas höher (bis ca. 150 mg/l; 3/45). Die geringsten Mineralisationen weisen Wässer in Einzugsgebieten Unterfrankens auf, in denen ausschließlich Mittlerer Buntsandstein vorkommt (ca. 30 mg/l). Niedrige pH-Werte (5–6,5) und erhöhte Gehalte an freier kalkaggressiver Kohlensäure (25–80 mg/l) sind charakteristisch. Aufgrund des niedrigen pH-Wertes befinden sich auch bei Sauerstoffsättigung der Wässer  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen bis zu 0,1 mg/l in Lösung.

### 2.1.3.2. Oberer Buntsandstein

(3/28, 3/40, 3/47, 3/49)

#### a) Plattensandstein

Das Wasser der Plattensandsteine unterscheidet sich deutlich von dem des Unteren und Mittleren Buntsandsteins, die Gesamtmineralisation liegt mit 150–200 mg/l etwa dreimal so hoch. Kalzium und Hydrogenkarbonat sind die Hauptinhaltsstoffe.



Tab. 6: Wasser des Unteren und Mittleren Buntsandsteins; gerundete Mittelwerte aus 88 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^\circ$ )	100	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	5,5		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	3,1	0,13	11,65
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,0	0,05	4,42
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	3,5	0,29	24,88
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	13,7	0,68	59,05
Summe:		1,16	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	7,7	0,22	21,16
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	10,0	0,16	15,69
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	20,1	0,42	40,74
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	14,0	0,23	22,41
Summe:	74,1	1,03	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	35		
Ionenstärke	1,79	mmol/l	

#### b) Röt

Quellen im Röt sind ausgesprochen selten; meist erfolgt die Entwässerung oberflächennah im Bereich der Verwitterungszone. Dennoch machen sich fazielle Unterschiede im Chemismus dieser Wässer bemerkbar. So ist das Rötwater im unterfränkischen Bereich fast immer geringer mineralisiert als in Oberfranken. Ausnahmen stellen Wässer aus Unterfranken dar, die vereinzelt auftretende Gipslager im Röt auslaugen (4/28); diese Kalziumsulfatwässer kommen jedoch nur selten vor.

Tab. 7: Wasser des Oberen Buntsandsteins der sulfatfreien Fazies; gerundete Mittelwerte aus 46 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^\circ$ )	100	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,5		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	6,0	0,26	9,92
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,0	0,05	1,95
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	10,0	0,82	31,27
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	30,0	1,50	56,86
Summe:		2,63	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	17,0	0,48	20,07
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	15,0	0,24	10,11
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	25,0	0,52	21,77
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	70,0	1,15	48,05
Summe:	175,0	2,39	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	30		
Ionenstärke	3,93	mmol/l	

Tab. 8: Wasser des Oberen Buntsandsteins aus der Sulfat-Fazies; eine Typanalyse (Münnerstadt; 4/28)

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	1850	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,7		
	mg/l	mval/l	mval-%
<b>Kationen:</b>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	26,5	1,15	4,07
Kalium ( $\text{K}^+$ )	10,6	0,27	0,96
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	95,7	7,88	27,84
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	380,6	18,99	67,13
Summe:		28,29	100,00
<b>Anionen:</b>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	23,2	0,65	2,29
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	20,0	0,32	1,13
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	938,0	19,51	68,42
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	490,0	8,03	28,16
Summe:	1985	28,52	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	50		
Ionenstärke	51,59	mmol/l	

#### Röt Unterfrankens

(3/97)

Diese Wässer haben Gesamtmineralisationen zwischen 150 und 250 mg/l. Der pH-Wert liegt zwischen 5,6 und 7,1 bei einem Mittelwert von 6,2. Die kalkaggressive Kohlensäure ist niedriger als im Mittleren Buntsandstein, der Mittelwert liegt bei 20 mg/l.

#### Röt Oberfrankens

(3/40)

Die Gesteine des oberfränkischen Röts sind karbonat- und sulfatreicher als die Unterfrankens. Der fazielle Unterschied macht sich in höheren Magnesium-, Kalzium-, Sulfat- und Hydrogenkarbonatgehalten der Wässer bemerkbar. Die Gesamtmineralisation steigt auf Werte über 500 mg/l an; der pH-Wert liegt meist nur knapp unter 7; die freie kalkaggressive Kohlensäure erreicht Werte um 10 mg/l (K. MARZ, 1977).

### 2.1.4. Wässer des Muschelkalks

Der Raum zwischen Mergentheim-Würzburg-Kissingen und östlichem Rhönvorland sowie ein nordwest/südoststreichender Streifen von der nördlichen Rhön bis zur oberen Werra wird von Sedimenten des Muschelkalks eingenommen. In tektonisch beanspruchten Gebieten, insbesondere in Grabenzonen, ist der Muschelkalk ein ergiebiger Wasserleiter. Unterer und Oberer Muschelkalk sind sich in ihrer petrographischen Ausbildung ähnlich, wobei in bestimmten Niveauhöhen oberhalb der Vorfluter Verkarstungen zu beobachten sind. Dem Mittleren Muschelkalk kommt nur vereinzelt wasserwirtschaftliche Bedeutung zu (Würzburger Wasserversorgung).

#### 2.1.4.1. Unterer und Oberer Muschelkalk

(3/5, 3/29, 3/41, 3/46, 3/50, 3/79)

Der Chemismus der Muschelkalkwässer ist mit Ausnahme des Wassers aus dem Mittleren Muschelkalk sehr einheitlich. Die Gesamtmineralisation bewegt sich zwischen 500 und 600 mg/l. Der pH-Wert schwankt in engen Grenzen um 7,4 ( $\pm 0,3$ ). Die

Tab. 9: Wasser des Unteren und Oberen Muschelkalkes; gerundete Mittelwerte aus 68 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	600	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,3		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	5,5	0,24	2,95
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,5	0,06	0,79
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	25,0	2,06	25,41
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	115,0	5,74	70,85
<i>Summe:</i>		8,10	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	12,5	0,35	4,29
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	10,0	0,16	1,96
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	47,5	0,99	12,02
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	410,0	6,72	81,73
<i>Summe:</i>	628,0	8,22	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	35		
Ionenstärke	12,55	mmol/l	

freie Kohlensäure mit Werten um 25 mg/l entspricht der Zugehörigen; die Wässer stehen somit im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Örtlich auftretende Quellsinter zeigen an, daß die Wässer bereits bei geringen Druckerniedrigungen und Temperaturerhöhungen defizitären Charakter annehmen.

#### 2.1.4.2. Mittlerer Muschelkalk

(3/53, 3/54, 3/55, 3/100, 4/33, 4/34, 4/36, 4/41, 4/42)

Je nach Auslaugungsgrad des sulfatischen Mittleren Muschelkalks schwankt die Mineralisation seiner Wässer von 600 mg/l (Unterer und Oberer Muschelkalk) bis zu fast 3000 mg/l (Gipskeuper). Der pH-Wert liegt zwischen 6,9 und 7,5. Die für die

Tab. 10: Mittlerer Muschelkalk der Sulfat-Fazies; gerundete Mittelwerte aus 6 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	990	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,2		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	11,5	0,50	3,48
Kalium ( $\text{K}^+$ )	5,0	0,13	0,89
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	42,5	3,50	24,37
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	205,0	10,23	71,26
<i>Summe:</i>		14,36	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	25,0	0,71	4,84
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	25,0	0,40	2,76
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	360,0	7,49	51,37
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	365,0	5,98	41,03
<i>Summe:</i>	1039	14,58	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	30		
Ionenstärke	25,07	mmol/l	

Würzburger Wasserversorgung erschlossenen Quellen und Brunnen (3/53, 3/54, 3/55) aus dem Mittleren Muschelkalk entsprechen weitgehend dem Mittelwert des Typs „Mittlerer Muschelkalk“. Höhere Sulfatgehalte weisen die Wässer 4/33, 4/34, 4/36, 4/41 und 4/42 auf (Mineralquellen).

Natrium-Chlorid-Wässer aus der Steinsalzfazies des Mittleren Muschelkalks treten nicht frei aus; sie sind ausschließlich durch Bohrungen erschlossen und werden daher dem tieferen Grundwasser zugerechnet (4/25, 4/39, 4/65).

### 2.1.5. Wässer des Keupers

Etwa 40% der gesamten fränkischen Teilscholle werden von Schichten des Keupers eingenommen. Ein Viertel davon entfällt auf den im Mittel nur 50 m mächtigen Unteren Keuper, ein Viertel auf den Gipskeuper mit seiner ca. 150–200 m starken Schichtenfolge und die Hälfte auf den Sandsteinkeuper, dessen Mächtigkeit ebenfalls bei 200 m liegt. Unterer und Gipskeuper eignen sich nur an wenigen Stellen für eine Wassererschließung (geringe Ergiebigkeit bzw. hohe Wasserhärten). Der Sandsteinkeuper südlich des Mains ist der wichtigste Grundwasserleiter Mittelfrankens, während nördlich des Mains der Sandsteinkeuper in die tonige Fazies der Heldburgschichten übergeht, die für die Wasserversorgung nur an wenigen Punkten geeignetes Wasser liefern. Südöstlich Ansbach (Fig. 5) geht auch der Gipskeuper in eine sandige, gipsfreie Ausbildung über, so daß dort selbst in größeren Tiefen und auch unterhalb des eigentlichen Sandsteinkeupers geeignetes Grundwasser erschlossen werden kann.

#### 2.1.5.1. Unterer Keuper (3/91, 3/101)

Der Untere Keuper, der sich kontinuierlich aus dem Oberen Muschelkalk entwickelt, ist kleinräumlich stärker differenziert; seine Sand-, Schluff- und Tonsteine sind karbonatisch gebunden, Sulfate fehlen. Die Gesamtmineralisation der Wässer liegt höher als die des Typs Unterer und Oberer Muschelkalk; im Mittel werden ca. 700 mg/l erreicht. Die Schwankungsbreite der Gesamtmineralisation kann mit 600–900 mg/l angegeben werden (900 mg/l; 4/0). Der pH-Wert liegt wie bei allen

Tab. 11: Wasser des Unteren Keupers; gerundete Mittelwerte aus 12 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	680	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,2		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	9,5	0,41	4,40
Kalium ( $\text{K}^+$ )	3,0	0,08	0,82
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	40,5	3,33	35,51
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	111,5	5,56	59,27
<i>Summe:</i>		9,39	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	25,5	0,72	7,55
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	20,0	0,32	3,38
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	47,5	0,99	10,37
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	457,5	7,50	78,70
<i>Summe:</i>	715	9,53	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	45		
Ionenstärke	14,40	mmol/l	

Tab. 12: Gipskeuper-Wasser; gerundete Mittelwerte aus 91 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	1280	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,8		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	40,5	1,76	9,17
Kalium ( $\text{K}^+$ )	6,0	0,15	0,80
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	61,5	5,06	26,36
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	245,0	12,23	63,67
Summe:		19,20	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	29,5	0,83	4,29
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	25,0	0,40	2,08
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	597,0	12,42	64,05
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	350,0	5,74	29,58
Summe:	1355	19,39	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	30		
Ionenstärke	34,15	mmol/l	

überwiegend hydrogenkarbonatischen Wässern um oder etwas über 7 (6,9–7,4). Das Wasser mit ca. 45 mg/l steht im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.

#### 2.1.5.2. Mittlerer Keuper (mit Rät)

##### A) Gipskeuper

(3/7, 3/20, 3/42, 3/44, 3/71, 3/92, 3/98, 4/18)

Der Gipskeuper und die Heldburgfazies des Sandsteinkeupers (Unterer Burgsandstein) führen Kalzium-Sulfat-Wässer mit Mineralstoffgehalten bis an 3000 mg/l; Schwankungen sind ausschließlich auf den Gipsgehalt der durchflossenen Schichten

Tab. 13: Sandsteinkeuper-Wasser der karbonatisch-sulfatischen Fazies; gerundete Mittelwerte aus 34 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	630	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,0		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	30,0	1,31	15,14
Kalium ( $\text{K}^+$ )	4,0	0,10	1,19
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	27,0	2,22	25,78
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	100,0	4,99	57,89
Summe:		8,62	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	9,0	0,25	2,89
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	15,0	0,24	2,75
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	130,0	2,70	30,83
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	340,0	5,57	63,53
Summe:	655	8,77	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	25		
Ionenstärke	13,65	mmol/l	

zurückzuführen. Der Mittelwert der Gesamtmineralisation liegt bei 1350 mg/l, Werte unter 800 mg/l sind selten. Der pH-Wert liegt um 7.

*B) Sandsteinkeuper mit Rät*

(3/4, 3/8, 3/15, 3/16, 3/23, 3/25, 3/26, 3/31, 3/32, 3/35, 3/43, 3/56, 3/57, 3/58, 3/62, 3/66, 3/72, 3/77, 3/78, 3/80, 3/84, 3/85, 3/88, 3/89, 3/93)

Durch die fazielle Entwicklung des stratigraphisch definierten Begriffs „Sandsteinkeuper“ folgt der Wassertyp des Sandsteinkeupers nicht den stratigraphischen Grenzen. So treten auch in der sandigen Entwicklung des „Gipskeupers“ Wässer auf, die dem Typ Sandsteinkeuper zuzurechnen sind; die Übergänge sind fließend (3/19, 3/22, 3/24, 3/59, 3/71). Von Nordwesten nach Südosten und Süden nimmt der Sulfat- und auch der Karbonatgehalt der Sedimente des Mittleren Keupers ständig ab. So sind südlich Nürnberg die geringsten Mineralisationswerte der Wässer des Sandsteinkeupers anzutreffen (unter 200 mg/l, 3/72). Für den Typ Sandsteinkeuper sind daher drei Subtypen zu unterscheiden:

- a) *karbonatisch-sulfatisch*
- b) *karbonatisch-sulfatarm*
- c) *karbonatarm, sulfatarm*

*a) Karbonatisch-sulfatische Wässer*

Dem karbonatisch-sulfatischen Typ des Sandsteinkeupers gehören die Wässer an, die dem Unteren Sandsteinkeuper entstammen. Die Mineralisation kann bis auf 800 mg/l ansteigen, liegt im Mittel jedoch bei 650 mg/l.

*b) Karbonatisch-sulfatarme Wässer*

Dieser Typ ist im Sandsteinkeuper am weitesten verbreitet. Es ist das eigentliche Wasser des Mittleren und Oberen Burgsandsteins. Die mittlere Mineralisation von etwa 450 mg/l entspricht in vielen Zügen den Werten der Jura-Wässer.

*Tab. 14: Sandsteinkeuper-Wasser der karbonatisch-sulfatarmen Fazies; gerundete Mittelwerte aus 61 Analysen*

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	460	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,0		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	18,5	0,80	12,23
Kalium ( $\text{K}^+$ )	5,5	0,14	2,14
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	21,5	1,77	26,88
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	77,5	3,87	58,75
<i>Summe:</i>		6,58	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	8,5	0,24	3,83
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	15,0	0,24	3,86
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	73,5	1,53	24,41
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	259,5	4,25	67,90
<i>Summe:</i>	479,5	6,26	100,00
<i>freies Kohlendioxid (<math>\text{CO}_2</math>)</i>	25		
<i>Ionenstärke</i>	10,01	mmol/l	

Tab. 15: Sandsteinkeuper-Wasser der karbonatarmen, sulfatarmen Fazies; gerundete Mittelwerte aus 14 Analysen

	mg/l	mval/l	mval-%
spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )		255	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$
pH-Wert		6,8	
<hr/>			
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	4,5	0,20	5,95
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,2	0,06	1,71
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	9,0	0,74	22,53
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	46,0	2,30	69,81
<i>Summe:</i>		3,29	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	7,5	0,21	6,42
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	15,0	0,24	7,33
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	38,6	0,80	24,35
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	124,5	2,04	61,90
<i>Summe:</i>	247	3,30	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	30		
Ionenstärke	5,21	mmol/l	

### c) Karbonatarmer, sulfatarmer Wasser

Dieser Wassertyp kann vereinzelt bereits im Schilfsandstein angetroffen werden. Das Hauptverbreiterungsgebiet ist der Sandsteinkeuper südlich der Linie Nürnberg-Ansbach. Die Mineralisation kann bis unter 200 mg/l absinken; der Mittelwert beträgt 250 mg/l; die freie Kohlensäure liegt z. T. kalkaggressiv vor.

#### 2.1.6. Jura-Wässer

Im Lias befindet sich kaum nutzbares Grundwasser, aus dem Doggersandstein treten vielerorts gering schüttende Quellen aus, die von kleineren Wasserversorgungen genutzt werden. Das ergiebige Grundwasser aus der verkarsteten Malm ist in hohem

Tab. 16: Lias-Wasser der nicht sulfidischen Fazies; gerundete Mittelwerte aus 3 Analysen

	mg/l	mval/l	mval-%
spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )		450	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$
pH-Wert		7,2	
<hr/>			
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	5,0	0,22	3,35
Kalium ( $\text{K}^+$ )	1,0	0,03	0,40
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	6,0	0,49	7,63
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	115,0	5,74	88,62
<i>Summe:</i>		6,48	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	18,0	0,51	8,33
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	15,0	0,24	3,96
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	60,0	1,25	20,46
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	250,0	4,10	67,25
<i>Summe:</i>	470	6,10	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	15		
Ionenstärke	10,03	mmol/l	

Tab. 17: Lias-Wasser der sulfidischen Fazies; gerundete Mittelwerte aus 2 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	1100	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,7		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	18,5	0,80	4,98
Kalium ( $\text{K}^+$ )	4,0	0,10	0,63
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	70,0	5,76	35,67
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	190,0	9,48	58,72
<i>Summe:</i>		16,15	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	8,5	0,24	1,43
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	15,0	0,24	1,43
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	495,0	10,30	60,84
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	375,0	6,15	36,32
<i>Summe:</i>	1176	16,92	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	25		
Ionenstärke	29,30	mmol/l	

Maße Oberflächeneinflüssen ausgesetzt und findet daher nur in untergeordnetem Umfang als Trinkwasser Verwendung.

#### 2.1.6.1. Lias und Dogger

(3/61) (3/60, 3/67, 3/68, 3/82, 3/86, 3/94)

Im Lias, der sehr wechselnde Mächtigkeiten aufweist, sind vom oberflächennahen Grundwasser nur wenige Analysen bekannt. Im Bereich der Verwitterungszone kommt an der Grenze zwischen Lias und Dogger durch Pyritoxidation gebildeter Gips vor. Wässer aus diesen Bereichen enthalten erhöhte Sulfatgehalte (4/90, 4/91), so daß die Gesamtmineralisation über 1000 mg/l ansteigen kann. Die überwiegende

Tab. 18: Dogger-Wasser; gerundete Mittelwerte aus 42 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	435	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,5		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	3,5	0,15	2,65
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,5	0,06	1,12
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	9,5	0,78	13,62
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	95,0	4,74	82,61
<i>Summe:</i>		5,74	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	12,5	0,35	5,99
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	15,0	0,24	4,10
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	26,0	0,54	9,19
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	290,0	4,75	80,72
<i>Summe:</i>	454	5,89	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	20		
Ionenstärke	8,84	mmol/l	



Tab. 19: Malm-Wasser; gerundete Mittelwerte aus 99 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	480	$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,5		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	5,0	0,22	3,32
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,0	0,05	0,78
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	17,0	1,40	21,33
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	98,0	4,89	74,57
<i>Summe:</i>		6,56	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	16,0	0,45	6,98
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	18,0	0,29	4,48
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	27,0	0,56	8,69
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	315,0	5,16	79,85
<i>Summe:</i>	498	6,47	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	25		
Ionenstärke	9,94	mmol/l	

Zahl der Wässer aus Lias und Dogger weist hingegen eine Gesamtmineralisation von 400–500 mg/l auf (Mittelwert bei 460 mg/l); die pH-Werte liegen bei 7,2 bis 7,6. Bedingt durch die Reduktionswirkung syngedimentärer organischer Substanzen, sind die Wässer häufig sauerstoffarm; Eisen und Mangan sind in für die Wasserversorgung störenden Mengen anzutreffen.

#### 2.1.6.2. Malm

(3/63, 3/64, 3/65, 3/69, 3/75, 3/83, 3/87, 3/95)

Das Malmwasser stellt sich als sehr einheitlicher Typ dar. Die Mineralisation liegt im seichten Karst bei 450 mg/l und übersteigt im tiefen Karst 500 mg/l (3/64). Der pH-Wert schwankt zwischen 7,3 und 7,7 in engen Grenzen.

#### 2.1.7. Wässer der Oberkreide

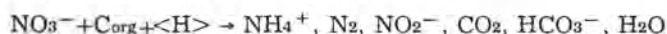
Von diesem Wassertyp liegen für den behandelten Raum keine Analysen vor. Auf Grund der petrographischen Ausbildung der Kreidesedimente dürfte es sich jedoch um ein karbonatreiches Wasser handeln, in seinen Analysenwerten dem Lias/Dogger-Wasser entsprechend. Das in den Kreidesedimenten versickernde Wasser dürfte leicht reduzierenden Charakter aufweisen.

### 2.2. Tiefere Grundwässer

Die Lage der Mineralquellen und Tiefbrunnen sowie bedeutender geologisch bearbeiteter Tiefbohrungen ist auf einer Übersichtskarte (Fig. 2) wiedergegeben. Die Kartengrundlage entspricht in ihrer Gestaltung der Fig. 1. Die Namen bzw. die Lokalität der erschlossenen Wasservorkommen sind im Anhang verzeichnet (Datenarchiv Nr. 4). Die Namen der Tiefbohrungen, die der Konstruktion des Tiefenlinienplanes (Tafel I) und der geologisch-hydrochemischen Profile (Tafel II) dienen, sind auf Tab. 1 ausgewiesen.

Das tiefere Grundwasser unterscheidet sich vom Wasser der oberen Zone immer durch den Mangel oder das Fehlen von freiem, gelöstem Sauerstoff und Nitrat; die Wassertemperatur liegt deutlich über der mittleren Jahrestemperatur des Gebietes. Der Sauerstoff wird durch überwiegend bakterielle Oxidation organischer Stoffe, die entweder im Wasser gelöst oder im Aquifer selbst vorhanden sein können, „ver-

braucht“. Wird ein bestimmter Sauerstoffgehalt im Wasser unterschritten (1–2 mg/l), so tritt bakterielle Nitratreduktion ein:



Bei diesen reduzierenden Vorgängen erniedrigt sich gleichzeitig das Redoxpotential, so daß insbesondere Eisen- und Manganionen verstärkt in Lösung gehen (s. Kap. 3.2.). Das Redoxpotential erreicht jedoch im fränkischen Raum offenbar keine für eine Sulfatreduktion ausreichend niedrigen Werte. Dieses Phänomen (keine Schwefelwässer in Franken) dürfte auf den Mangel an bakteriell verwertbaren organischen Substanzen im Aquifer zurückzuführen sein, was zur Desaktivierung von Schwefelbakterien führt (P. UDLUFT und L. WEIL, 1974). Bei den tieferen Grundwässern sind ihrer Entstehung nach *autochthone* und *allochthone* Vorkommen zu unterscheiden.

Bei den autochthonen Wässern ist darüber hinaus häufig ein Mischwasser anzutreffen, das sich beim vertikalen Aufstieg mit geringer mineralisierten Wässern bildet. Dieses Mischwasser tritt vornehmlich in Buntsandsteingebieten auf und ist in vielen chemischen Parametern dem allochthonen Wassertyp ähnlich; dennoch kann es aufgrund seiner Genese nicht der Gruppe dieser Wässer zugeordnet werden.

### 2.2.1. Autochthone Wässer

Das autochthone Wasser entspricht genetisch den geochemischen Eigenschaften seines Muttergesteins, das im unmittelbaren Bereich seines natürlichen Austritts oder seiner künstlichen Erschließung ansteht. Natriumchloridarme autochthone Tiefenwässer kommen im Randpaläozoikum, in der Odenwald-Spessart-Rhön-Schwelle sowie im Bereich des Vindelicischen Rückens vor. Im Frankenwald erschlossene Tiefenwässer stammen aus Bereichen, die oberhalb des Salzwasserspiegels liegen. Es ist deshalb nicht auszuschließen, daß hier in größeren Tiefen Salzwasser angetroffen werden kann. Der tiefreichende Grundwasserumsatz im Mittelgebirgszug Odenwald-Spessart-Rhön hat zur Folge, daß die Salzwässer verdrängt werden (Düneneffekt). So ist es möglich, daß im Bereich der Südrhön (Brückenaue Raum) bis zum „basement“ natriumchloridfreie Tiefenwässer vorkommen (Tafel II).

Tab. 20: Autochthones Zechstein-Tiefenwasser der sulfatisch-karbonatischen Rand-Fazies; gerundete Mittelwerte aus 2 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^\circ$ )	1830	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,7		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	4,5	0,20	0,70
Kalium ( $\text{K}^+$ )	6,5	0,17	0,60
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	88,0	7,24	26,04
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	405,0	20,21	72,66
<i>Summe:</i>		27,81	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	1,5	0,04	0,15
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	0,0	0,00	0,00
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	970,0	20,18	71,84
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	480,0	7,87	28,01
<i>Summe:</i>	1955,5	28,08	100,00
Freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	550		
Ionenstärke	51,76	mmol/l	

### 2.2.1.1. Wässer des Präperms und des Rotliegenden

Tiefenwässer präpermischer Gesteine der Fränkischen Teilscholle dürften weitgehend durch Zechsteinwässer beeinflusst sein. Möglicherweise befinden sich im aufragenden präpermischen Sockel der Rhön und des Vindelicischen Rückens auch chloridarme quasi-autochthone Tiefenwässer. Das sicherlich äußerst geringe Speichervermögen dieser Gesteinsserien läßt jedoch kaum eine Wasserführung erwarten. Über Wasserführung und Chemismus in tieferen Rotliegendensedimenten liegen keine Angaben vor. Im Gegensatz zum Präperm dürfte jedoch in Bereichen tektonischer Linien mit begrenzter Wasserführung zu rechnen sein. So ist anzunehmen, daß ein Teil des Wassers aus der Bohrung Georgisprudel in Brückenau (4/5) aus dem Rotliegenden zufließt.

### 2.2.1.2. Wässer des Zechsteins

Das Werra-Zechsteinsalzlager wird durch die Spessart-Rhön-Schwelle in zwei Teilbecken getrennt. Im westlich gelegenen *Fulda-Becken* reicht das Vorkommen bis südlich Bad Orb, im *Fränkischen Becken* kam Steinsalz bis etwa zur Linie Schweinfurt-Gmünden zur Ablagerung (Fig. 4).

#### a) Zechsteinrand

(4/3, 4/4, 4/5)

Besonderes Merkmal der autochthonen Wässer im Randbereich der beiden Teilbecken ist der äußerst geringe Natrium- und Chloridgehalt. Die sulfatisch-karbonatische Fazies der Randsedimente spiegelt sich eindeutig im Chemismus der Wässer wider; die Gesamtmineralisation steigt kaum über 2 g/l an. Diese Wässer sind nur aus dem *Brückenaauer Raum* bekannt (4/3, 4/4). Hier verdrängt das aus der Rhön stammende, tiefreichend versickernde Grundwasser vollständig das Salzwasser aus dem Fulda-Becken und dem Fränkischen Zechsteinbecken. Wenige Kilometer südlich Brückenau (Bohrung Zeitlofs 4/92) ist bereits Chloridwasser bis in den Zechstein der Randfazies vorgedrungen.

Besondere Beachtung verdient das Wasser der Bohrung „Georgisprudel“ (4/5) in

Tab. 21: Autochthones Zechstein-Tiefenwasser der Chlorid-Fazies; gerundete Mittelwerte aus 16 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	74.250	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$
pH-Wert	7,0	
	mg/l	mval/l
<i>Kationen:</i>		
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	19.000	826,50
Kalium ( $\text{K}^+$ )	560	14,34
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	410	33,74
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	1.425	71,11
<i>Summe:</i>		945,69
<i>Anionen:</i>		
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	31.000	874,20
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	10	0,16
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	2.310	48,05
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	2.135	35,00
<i>Summe:</i>	56.850	957,41
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	1.500	
<i>Ionenstärke</i>	1.028	mmol/l

Bad Brückenau, die bis in den Grenzbereich Rotliegendes/Grundgebirge abgeteuft wurde (P. UDLUFT, 1969). Nach der Erbohrung im Jahre 1907 wurde hier praktisch chloridfreies (0,3 mg/l) Wasser gefördert. In einer Analyse von 1930 sind jedoch bereits 30 mg/l vorhanden, heute ist der Chloridwert auf ca. 1 g/l angestiegen. Dies deutet darauf hin, daß durch die Förderung des Tiefenwassers Salzwasser aus dem Beckenbereich an der Grenze Präperm-Rotliegend der Bohrung zufließt. Somit kann der Systematik nach das Wasser des Geogisprudels heute bereits in die Gruppe der allochthonen Wässer gestellt werden.

b) *Zechsteinbeckenwässer*  
(4/30, 4/31, 4/43)

Dieser Wassertyp ist überall dort anzutreffen, wo Steinsalz zur Ablagerung kam. Er zeichnet sich durch hohe Natriumchloridgehalte aus, die bis über 200 g/l ansteigen können. Die anderen Ionen treten anteilmäßig stark zurück, so daß diese Wässer ohne Ausnahme als „Solen“ anzusprechen sind. Hierzu gehören die Solen des Werragebietes, der Fränkischen Saale und des Kinzigtales. Der hohe Kaliumgehalt der Bad Södener „Neue Bohrung“ (4/73) weist auf den Einfluß des Kalisalzflözes hin, das bei Neuhof, südlich Fulda, bergmännisch abgebaut wird. Hingegen sind die Kaliumgehalte der Solen des Fränkischen Beckens deutlich geringer. Hier reichte die Salzabfolge nur bis zur Ausscheidung von Natriumchlorid; Kalisalze sind aus Bohrungen nicht bekannt.

2.2.1.2./3. Mischwasser Zechstein/Buntsandstein

Die Verbreitung autochthoner Mischwässer zwischen *Zechstein* und *Buntsandstein* im Bereich des Fulda-Beckens und des Fränkischen Beckens ist an Gebiete gebunden, in denen über dem Zechstein nur noch Buntsandstein ansteht. Die Vielzahl der im Tal der Fränkischen Saale und im Gebiet der oberen Kinzing frei austretenden oder durch flache Bohrungen erschlossenen Mineralwässer gehört dieser Gruppe an. Bevorzugte Austrittspunkte der Mischwässer sind dort zu finden, wo tiefreichende Verwerfungen die Täler queren. Je nach Durchmischungsgrad sind die Mineralstoffgehalte recht uneinheitlich. Bei flachgefaßten Wässern des Beckenbereiches liegt die Mineralisation zwischen 5 und 10 g/l.

Beispielhaft sollen die im engeren *Kissinger Raum* eingehend untersuchten Mischwässer (N. GEORGOTAS, 1974; K.-E. QUENTIN, N. GEORGOTAS und P. UDLUFT, 1976) genannt werden. Hier steigen innerhalb der Kissinger-Haßfurter Störungszone hochmineralisierte, autochthone Zechsteinwässer auf, die sich mit gering mineralisierten Buntsandsteinwässern vermischen. Die Mischungsverhältnisse hängen in erster Linie von der jeweiligen Bohrtiefe ab (4/22, 4/23, 4/24). Annähernd ähnliche Verhältnisse herrschen auch im Quellengebiet von *Bad Neustadt/Fr. Saale*.

In *Bad Soden – Salmünster* findet ebenfalls eine Durchmischung zwischen dem aus der Tiefe aufsteigenden Salzwasser und dem Buntsandsteinwasser statt. Hier ist die Salzformation des Zechsteins weitgehend abgelautet (A. MESTWERDT, 1933). Dennoch darf dieses Wasser dem autochthonen Mischtyp zugerechnet werden, da anzunehmen ist, daß dieses noch zum Fulda-Becken gehörende Gebiet in der näheren Umgebung primäre Salze führt (parautochthon). Ein einziges Mischwasser aus Beckenrandwasser und Buntsandsteinwasser, das ehemals frei austrat, ist aus Riedenberg (ehem. Oberriedenberg) an der Sinn bekannt (4/32). Die Mineralisation dieses Wassers ist nur um wenig geringer als die der autochthonen Beckenrandwässer von Brückenau.

2.2.1.3. Wässer des Buntsandsteins

a) Unterer und Mittlerer Buntsandstein  
(3/6, 3/27, 3/28, 4/74, 4/87)

Das Tiefenwasser des Unteren und Mittleren Buntsandsteins ist gegenüber dem vorflutbezogenen Grundwasser deutlich höher mineralisiert. In Bohrungen etwa unter 100 m Tiefe ist es in Bereichen anzutreffen, die durch Zechsteinwasser nicht beeinflusst sind. Dies trifft in erster Linie für den Raum der Rhön, den Spessart und den östlichen Odenwald zu, wo auf Grund des stärkeren hydraulischen Gefälles die Süßwasserzirkulation in größere Tiefen reicht. Hier verdrängt das leichtere, gering mineralisierte Grundwasser salzreiches Grundwasser. Die gegenüber dem direkt vorflutbezogenen Grundwasser erhöhte Mineralisation beruht in erster Linie auf höheren Karbonat-, Sulfat- und Erdalkaligehalten der noch nicht so weitgehend ausgelaugten Sedimente. Als Beispiel für diesen Wassertyp ist die König-Ludwig-I-Quelle in *Bad Brückenau* (4/87) zu nennen. Das zwischen 70 und 300 m unter Gelände erschlossene Tiefenwasser weist einen Mineralstoffgehalt von nur 0,3 g/l auf (P. UDLUFT, 1969).

Als weiteres Beispiel soll die Therme *Rodach* (4/74) angeführt werden, deren Wasser zwischen 522 und 645,5 m u. G. im Mittleren Buntsandstein angetroffen wurde. Wie aus dem Bohrprofil (H. GUDDEN, 1973) hervorgeht, sind die Sandsteine gips- und anhydritführend, was sich im erhöhten Sulfatgehalt des Wassers ausdrückt. Wie in der König-Ludwig-I-Quelle von Bad Brückenau übersteigt auch hier der Kaliumgehalt den des Natriums. Diese Besonderheit tritt häufig bei tieferen Buntsandsteinwässern auf. Sie beruht auf der Zersetzung von Kalifeldspäten, die im Buntsandstein gegenüber den Plagioklasen vorherrschen (P. UDLUFT, 1969). Das mit 0,9 g/l relativ gering mineralisierte Wasser wird von *hochmineralisierten Wässern überlagert*, deren Herkunft, wie auch für das *Bad Königshofener* Mineralwasservorkommen angenommen werden muß, auf das Zechsteinsalinar des Werragebietes zurückzuführen ist (Höhe des Salzwasserspiegels im oberen Werragebiet: NN + 250 m). Beide Grundwasserstockwerke sind in Rodach durch die Röttonsteine getrennt. Das Einzugsgebiet des erschlossenen Wassers liegt ca. 15 km östlich der Bohrung, wo der Mittlere Buntsandstein in einer Höhe von NN + 400 m ausstreicht. Auf Grund der Höhendifferenz von 100 m zum Bohransatzpunkt (NN + 305 m) ergibt sich am Brunnenkopf ein Überdruck von 9 bar (H. GUDDEN, 1973).

Tab. 22: *Autochthones Tiefenwasser des Unteren und Mittleren Buntsandsteins; gerundete Mittelwerte aus 21 Analysen*

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	293	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,5		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	4,7	0,20	5,31
Kalium ( $\text{K}^+$ )	3,2	0,08	2,12
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	13,2	1,14	29,44
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	48,8	2,44	63,13
<i>Summe:</i>		3,86	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	10,8	0,30	8,68
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	2,0	0,03	0,92
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	23,3	0,48	13,81
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	164,0	2,69	76,59
<i>Summe:</i>	270,6	3,51	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	20		
Ionenstärke	5,71	mmol/l	

Das im Buntsandstein der Therme Rodach angetroffene Tiefenwasser ist somit als autochthon zu bezeichnen, während das darüber befindliche Salzwasser wie das Salzwasser *Colberg*, *Friedrichshall* und *Königshofen* allochthon im Muschelkalk angetroffen wird. Weiter im Westen in Richtung Königshofen i. Gr., zur Fränkischen Saale hin, dürfte der Buntsandstein bereits wieder allochthone Salzwässer führen (Tafel II, C-C).

b) Oberer Buntsandstein  
(3/28)

Im Gebiet um *Hammelburg* wurden durch Bohrungen im Oberen Buntsandstein Wässer mit Gesamtmineralstoffgehalten von über 1 g/l erschlossen (K. MÄRZ, 1977). Diese sind dem Übergangsbereich tiefes Grundwasser – vorflutbezogenes Grundwasser zuzurechnen. Auf Grund erhöhten Nitratgehaltes lassen sie den Einfluß höherer Wässer erkennen. Charakteristisch für die tieferen Wässer des Oberen Buntsandsteins sind, wie bei den vorflutbezogenen, erhöhte, regional wechselnde Sulfatgehalte, die starke Schwankungen der Mineralstoffgehalte bedingen (0,3 g/l – 2 g/l).

Tab. 23: Autochthones Tiefenwasser des Oberen Buntsandsteins; gerundete Mittelwerte aus 10 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	546	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,9		
	mg/l	mval/l	mval-%
<b>Kationen:</b>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	5,0	0,22	2,77
Kalium ( $\text{K}^+$ )	3,0	0,08	0,98
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	25,0	2,06	26,24
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	110,0	5,49	70,01
Summe:		7,84	100,00
<b>Anionen:</b>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	15,0	0,42	5,41
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	5,0	0,08	1,03
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	115,0	2,39	30,60
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	300,0	4,92	62,96
Summe:	578,0	7,82	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	35		
Ionenstärke	12,80	mmol/l	

#### 2.2.1.4. Wässer des Muschelkalks

Tiefere Muschelkalkwässer der Karbonat- und Sulfat-Fazies unterscheiden sich in ihrem Chemismus nicht von den vorflutbezogenen Wässern. Eine Besonderheit stellen die Solen der Natriumchlorid-Fazies des Mittleren Muschelkalks dar. Sie sind im Raum Schweinfurt-Bamberg im Norden und Rothenburg o. d. T.-Ansbach im Süden verbreitet. Hier erreicht das Steinsalz Mächtigkeiten bis zu 30 m (Kleinlangheim bei Kitzingen; O. M. REIS, 1901). Als charakteristischer Wassertyp kann die Sole von *Windsheim* (4/25) gelten. Das in einer Tiefe von 148 m zufließende Wasser weist mit 250 g/l einen extrem hohen Mineralstoffgehalt auf. Ungewöhnlich gering ist der Kaliumgehalt (60 mg/l), was dieses Wasser von denen des Zechsteins grundsätzlich unterscheidet. Niedrige Hydrogencarbonatgehalte sind mit dem Mangel an freier Kohlensäure verknüpft.

Tab. 24: Autochthones Tiefenwasser des Mittleren Muschelkalkes der Chlorid-Fazies; gerundete Mittelwerte aus 3 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )		152.000	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$
pH-Wert		6,8	
	mg/l	mval/l	mval-%
<b>Kationen:</b>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	59.000	2.566,50	96,78
Kalium ( $\text{K}^+$ )	63	1,61	0,06
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	188	15,47	0,58
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	1.368	68,26	2,58
Summe:		2.651,85	100,00
<b>Anionen:</b>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	92.000	2.594,40	97,19
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	0	0,00	0,00
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	3.530	73,42	2,75
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	102	1,68	0,06
Summe:	156.251	2.669,50	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	10		
Ionenstärke	2.739,26	mmol/l	

#### 2.2.1.5. Keuper- und Jura-Wässer

Die autochthonen Tiefenwässer des *Keupers* und *Juras* sind in ihrer chemischen Charakteristik den vorflutbezogenen so ähnlich, daß sich eine gesonderte Beschreibung erübrigt. Die tieferen Wässer des Keupers neigen jedoch gegenüber den vorflutbezogenen zu Ionenaustausch ( $\text{Ca}^{2+} \rightarrow 2 \text{Na}^+$ ), wie die Wässer des Frankenbrunnens aus *Neustadt/Aisch* (4/29) und der *Therme Bad Gögging* (4/94) zeigen.

#### 2.2.2. Allochthone Wässer

Allochthone Wässer befinden sich in Schichten, denen sie genetisch nicht zugeordnet werden können. Sie sind in größerer Entfernung von ihrem Entstehungsgebiet anzutreffen und bewegen sich meist auf Grund ihrer hohen Dichte (Wandersolen) unterhalb geringer mineralisierter autochthoner Grundwässer.

Ähnlich wie durch Arbeiten von G. MICHEL (1963, 1972) aus dem Münsterland und anderen Teilen Nordrhein-Westfalens bekannt, hat sich auch im Fränkischen Raum eine Grenzzone zwischen allochthonem Salzwasser (Chloridgehalt über 1 g/l) und geringer mineralisiertem Wasser auf eine bestimmte Höhenlage eingestellt. Das Hauptbezugsniveau des „Salzwasserspiegels“ ist das Zechsteinsalz des oberen Werragebietes. In Betracht als NaCl-Lieferanten kommen möglicherweise noch vereinzelte Salzvorkommen des Röts. Zusätzlich tragen die der Ablaugung unterliegenden Salzvorkommen des Mittleren Muschelkalks zur Erhöhung der Mineralisation der tiefen Grundwässer bei. Hochmineralisierte Wässer sinken im Ablaugungsgebiet vertikal nach unten ab und bewegen sich in der Horizontalen dem Gefälle eines Stauers folgend. Als tiefster StauhORIZONT kommt in erster Linie der präpermische Untergrund in Frage. Ganz allgemein verringert sich der Mineralstoffgehalt des Tiefenwassers im Verlauf seines Fließweges von Norden nach Süden, bedingt durch Zirkulationsvorgänge oberflächennäherer geringmineralisierender Grundwässer. Dieser Vorgang führt auch in der Vertikalen zur Bildung eines Gradienten der Salzkonzentration; mit der Tiefe nimmt die Dichte und damit die Konzentration der Wässer zu. In der Schollenrandzone zwischen Thüringer Wald und Werra kann im Bereich von *Schmalkalden* (4/44) auf einem Niveau bis zu ca. NN + 250 m mit rezenten Salzablaugungen

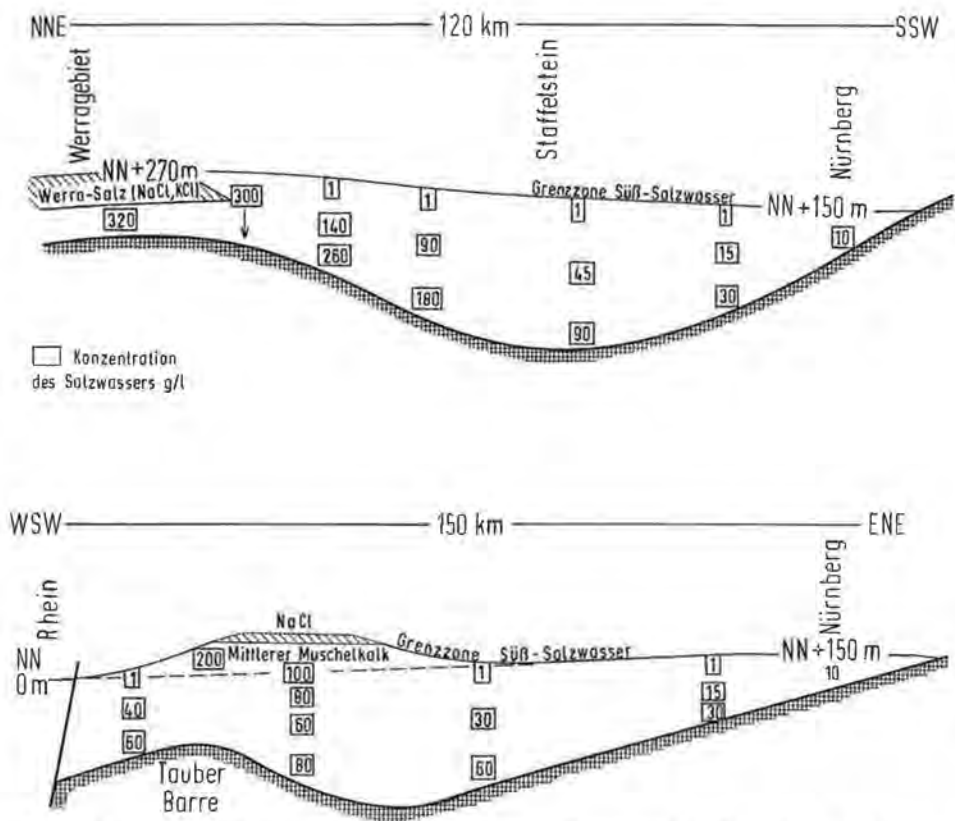


Fig. 11: Schematische Darstellung der Süß-Salzwasser-Grenze und der Verteilung der Salzkonzentration über dem präpermischen Untergrund.

gerechnet werden. Im nördlichen Franken und südlichen Thüringen ist dieses Niveau, unabhängig von der stratigraphischen Stellung der Schichten, die Bezugshöhe für die Salzwassergrenze. Im Süden, im Raum von Nürnberg, reicht das Salzwasser bis ca. NN + 150 m; die Grenze ist somit leicht nach Süden geneigt (100 m auf 150 km; 0,65‰), (Fig. 11).

Weiter im Westen schichtet sich das Salzwasser aus dem Fulda-Salinar nach Süden bis in das Untermaingebiet ein. Das Niveau der Süß-Salzwasser-Grenzfläche liegt im oberen Fuldagebiet zur Rhön hin bei NN + 150 bis + 170 m. Primär getrennt sind das „Werra“- und „Fulda“-Salzwasser durch den „basement-Sporn“ der Rhönschwelle, die bis über NN + 200 m aufragt. Verbindung haben beide Salzwässer nördlich und südlich der Rhönschwelle. Dieser Kontakt bewirkt insgesamt eine niveaumäßige Aufhöhung des Salzwasserspiegels im Fuldagebiet, so daß letzten Endes das Werra-Salzwasser mitbestimmend für die Salzwasser-Oberfläche im Westen ist. Im Bereich der unteren Sinn, der Kinzig und unteren Fränkischen Saale befindet sich Salzwasser auf einer Höhe von ca. NN + 120 m. Der Odenwald-Spessart-Schild trennt im weiteren Verlauf die beiden „Wandersolen“ wieder.

Über die Tiefenlage der Süß-Salzwasser-Grenze im Bereich des östlichen Schollenrandes liegen keine Daten vor; nach F. BIRZER (1974) steigt der Chlorid-Gehalt der Tiefenwässer im Bereich Nürnberg-Erlangen erst unterhalb NN + 150 bis + 200 m



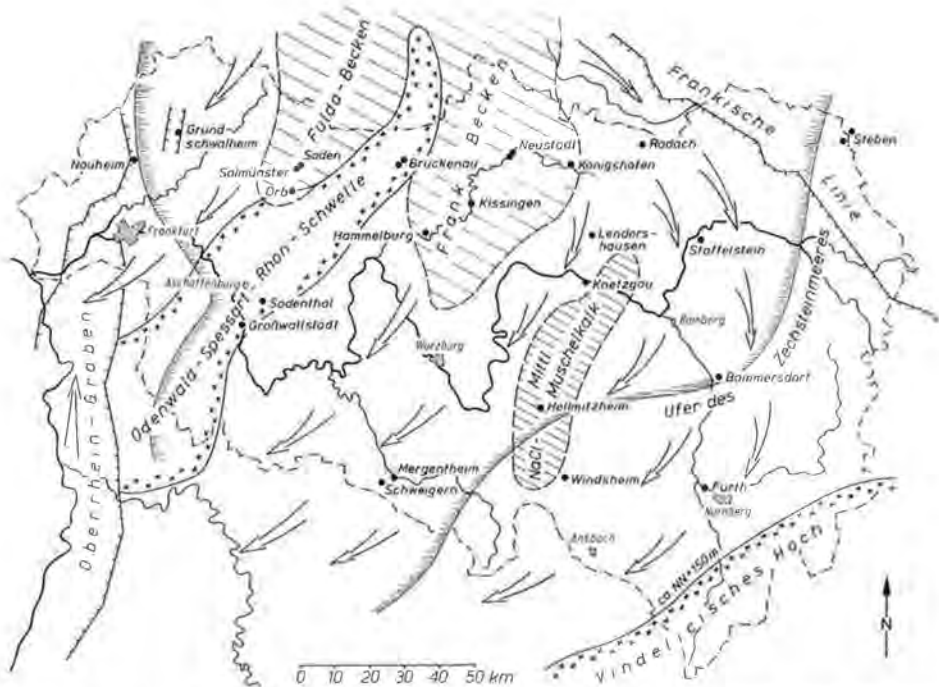


Fig. 12: Übersicht der für die Solewanderung wirksamen Großraumstrukturen sowie Verbreitung der Salzlager im Untergrund (aus N. GEORGITAS und P. UDLUFT, 1978).

an. Südlich von Nürnberg wird das Salzwasservorkommen durch den über die Süß-Salzwasser-Grenze aufragenden *Vindelicischen Rücken* begrenzt. Diese Zone trennt die Wässer des germanischen Beckenbereiches von denen des Molassebeckens ab (P. UDLUFT, 1975). Von hier ab bewegt sich chloridarmes Tiefenwasser in Richtung Süd-Südost dem Flußsystem Altmühl-Donau zu (G. ANDRES und M. A. GEYH, 1970). Die Tiefenwässer südlich der Donau gehören dem Molasse-Jura-System an (K. LEMCKE und W. TUNN, 1956; P. UDLUFT, 1975). Als Beispiel eines Tiefenwassers diesen Typs ist hier das Wasser der neuen Tiefbohrung Gögging (K.-E. QUENTIN und M. BAUMANN, 1977; 4/94) wiedergegeben.

Der chloridreiche Tiefenwasserstrom, begrenzt durch die Nordost-Südwest streichenden kristallinen Schwellen (Vindelicisches Hoch, Odenwald-Spessart-Rhön-Schwelle), bewegt sich vermutlich im Bereich der Kraichgau-Bauland-Mulde zu dem als Sammler und Vorfluter dieser Tiefengewässer dienenden *Oberrheingraben* hin (Fig. 12).

#### 2.2.2.1. Zechsteinwässer

##### a) Solen aus dem Werra-Becken

Allochthones Zechsteinwasser wurde in dem Mineralwasser der Tiefbohrung *Staffelstein* (4/59) angetroffen (1600 m Tiefe). Hier kommt das Wasser sowohl in den primär salzfreien Zechsteinsedimenten (Randpelite und -karbonate) als auch im Buntsandstein vor. Hauptaquifer dürfte der Buntsandstein sein, der zwischen 881 m und 1453 m durchteuft wurde (H. GUDDEN, 1977). Trotz einer Entfernung vom Herkunftsgebiet von ca. 70 km ist die Mineralisation des Wassers mit über 90 g/l noch auffallend hoch. Das spricht dafür, daß sich in großen Tiefen hochkonzentrierte So-

len bewegen, die bei ihrer horizontalen Wanderung wenig durch höhere, geringer mineralisierte Wässer beeinflusst werden. Ausgehend von der Sättigungskonzentration für Natriumchlorid-Lösungen, dürfte die Sole im Ablaungsgebiet eine Konzentration von ca. 300 g/l besessen haben; die im Abstrom einsetzenden Demineralisierungseffekte bewirken demnach lediglich eine Herabsetzung der Solenkonzentration auf ein Viertel des Ausgangswertes.

Die Bohrung von *Bammersdorf* (4/1) bei Forchheim erschließt in ca. NN + 140 m ein Wasser, das nur 4,3 g/l aufweist. Diese relativ niedrigere Mineralisation weist darauf hin, daß das hier erschlossene Wasser den oberen Zonen der Zechsteinwandersolen entstammt. Die südlichsten Vorkommen der Zechsteinwässer sind aus dem *Nürnberg-Fürther Raum* (4/9–13). In verschiedenen Bohrungen wurde hier Mineralwasser in unterschiedlichen Teufen angetroffen. Je nach der Lage der Wasserzutritte sind die Mineralstoffgehalte unterschiedlich; sie steigen mit zunehmender Tiefe an. Die bis hier aus dem Werragebiet vorgedrungenen Zechsteinwässer haben über der granitischen Unterlage auf Grund der oben dargelegten kontinuierlichen Konzentrationsabnahme eine Gesamtmineralisation von nur noch 12 g/l (4/13). Im oberen Bereich (150 m unter Gelände) geht die Mineralisation auf 2,5 g/l zurück (4/11); der Natriumchloridgehalt liegt bei 1,5 g/l. Die erhöhte Temperatur dieses Wassers von ca. 17° C zeigt die Herkunft aus größerer Tiefe an.

Die Mineralwasservorkommen von *Colberg*, „Neue Bohrung – Keuperquelle“, (4/46), *Friedrichshall* (4/48) und *Königshofen* (4/75), ebenso auch das in der Bohrung *Rodach* im Muschelkalk angetroffene, durch Absperrungsmaßnahmen jedoch nicht genutzte Salzwasser (H. GUDDEN, 1973), können ebenfalls in die Gruppe der allochthonen Zechsteinwässer eingeordnet werden. Nicht vollständig auszuschließen ist, daß bisher nicht bekannte Salzlager des Mittleren Muschelkalks oder Ablaungen von Rötsalzen in größerer Entfernung vom Erschließungsort mit beeinflussend wirken. Dolomit- und sulfatreicher Muschelkalk und Keuper (autochthon) bilden mit den Zechsteinsolen einen neuen Typ, wobei durch Ionenaustausch und Dolomitlösung magnesiumsulfatreiche Chloridwässer entstehen. Die Verbreitung dieser von Norden nach Süden sich bewegenden Wässer endet am Main zwischen Lichtenfels

Tab. 25: Allochthones Tiefenwasser aus dem Zechstein im Muschelkalk und Keuper nördlich des Mains (Colberg–Königshofen–Hofheim); gerundete Mittelwerte aus 4 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	42.400	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,8		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	7.000	304,5	68,87
Kalium ( $\text{K}^+$ )	315	8,1	1,82
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	1.150	94,7	21,41
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	700	34,9	7,90
<i>Summe:</i>		442,2	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	6.200	174,8	39,94
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	0	0,0	0,00
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	11.500	239,2	54,64
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	1.450	23,8	5,42
<i>Summe:</i>	28.315	437,8	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	1.200		
Ionenstärke	624	mmol/l	

und Haßfurt. So kann das bei *Lendershausen* (4/27) in der Nähe von Hofheim/Ufr. im Keuper als Säuerling ausgetretene Mineralwasser als südlichster bisher bekanntgewordener Vertreter dieses Typs angesprochen werden.

#### b) *Solen aus dem Fulda-Becken*

Im Gebiet des südlichen Vogelsberges bis hinein ins Untermaingebiet steigen in Störungsbereichen Salzwässer auf. Die Herkunft dieser Wässer ist bisher nicht eindeutig geklärt. Nach der in der älteren Literatur überwiegend vertretenen Ansicht stammen diese Wässer aus dem Fulda-Becken (C. CHELIUS, 1904; A. STEUER, 1912; MICHELS 1926, 1961). HÖLTING (1977) kommt auf Grund vergleichender Betrachtungen der Ionenverhältnisse zu der Auffassung, daß ein Teil der Tiefenwässer den alttertiären Salzlagern des Oberrheingrabens entstammen könnte. Die Höhenlagen der Salzvorkommen im Fulda-Werra-Becken (Nordosten) und der Salzlager im Oberrheingraben lassen in Beziehung zum Salzwasserspiegel dieses Raumes jedoch eher eine Zuwanderung der Solen aus dem nordöstlichen Bereich vermuten. Die aus dem Fulda-Becken unter dem Vogelsbergmassiv nach Südwesten wandernden Solen kommen am südwestlichen Vogelsbergrand in erster Linie mit Rotliegend-, Buntsandstein- und Tertiär-(überwiegend Basalt-)Grundwässern in Kontakt. Aus diesem Grunde ist die Gesamtmineralisation großen Schwankungen unterworfen. Als Beispiel sei das Vorkommen von *Selters* (4/76) genannt (16 g/l).

Im Spessart sind an der Grenze zwischen dioritischem Grundgebirge und Zechstein in karbonatischer Randfazies sowie im Buntsandstein nur wenige Meter unter Gelände Mineralwässer anzutreffen, die gegenüber den Wässern des südwestlichen Vogelsberges erheblich geringer mineralisiert sind (*Sodenthal*: 4/35; 3,2 g/l). Die von Norden zuströmenden Solen des Zechsteins unterliegen auf ihrem horizontalen Fließweg Demineralisierungseinflüssen durch die darüber zirkulierenden Grundwässer des Buntsandsteins; sie treten hier, bedingt durch das höher gelegene Einzugsgebiet der Buntsandsteinwässer, im Bereich des Talniveaus ohne Einwirkung von Kohlensäure frei zutage. Auf dem weiteren Fließweg nach Süden nimmt das Zechsteinwasser kontinuierlich an Mineralisation ab. Die Tiefbohrung *Großwallstadt* (4/16), die mit ihrer Endteufe von 835 m bis weit ins Grundgebirge reicht, traf im Zechsteinkalk der Randfazies und im Unteren Buntsandstein ein Wasser mit einer Gesamtmineralisation von nur noch 2,6 g/l an. Das Einzugsgebiet des Buntsandsteinwassers liegt am Spessarttrand, während die Salzwasserkomponente auf eine weitere Verdünnung des in *Sodenthal* angetroffenen Mineralwassers zurückzuführen ist.

Der hier auf Grund der hohen Lage des Spessarts kräftige Grundwasserumsatz bedingt auch noch in großen Tiefen, möglicherweise bis in das Rotliegende, eine erhebliche Verringerung des Mineralstoffgehalts der Zechsteinwanderwässer. Die tiefreichende Süßwasserzirkulation hat zur Folge, daß vom südlichen Spessart bis in den Odenwald bei *Bad König* (4/66) die Mineralisation weiter abnimmt. Lediglich gegenüber vorflutbezogenen Grundwässern erhöhte Natrium- und Chloridgehalte deuten den Einfluß von Wandersolen aus dem Zechstein an.

#### 2.2.2.2. Solen aus dem Mittleren Muschelkalk (4/60, 4/61)

Solen, die herkunftsmäßig dem Mittleren Muschelkalk entstammen, kommen am westlichen Schichtstufenrand zwischen Unterem und Mittlerem Keuper vor. Seit H. THÜRACH (1901) werden diese Wässer genetisch immer wieder zu den Grundgips-schichten des Mittleren Keupers gestellt. Bisher ist jedoch in diesen Schichten kein Steinsalz gefunden worden. Es ist daher anzunehmen, daß Solen aus dem Salzlager des Mittleren Muschelkalks im Bereich Rothenburg o. d. T. – Uffenheim zuwandern

bzw. zuwanderten. Die Endteufe der Bohrung *Seehof* (4/61) bei Hellmitzheim liegt z. B. bei NN + 250 m (U. EMMERT, 1964). Da im Südwesten der Mittlere Muschelkalk auf NN + 300 m ansteigt, ist die Möglichkeit der Solezuwanderung aus südwestlicher Richtung gegeben; das gleiche gilt für das Wasser aus der Bohrung *Ipfhofen* (4/50). Die Herkunft des Wassers der Bohrung in *Schweigern* (4/69) (westl. Bad Mergentheim) kann auf das gleiche Liefergebiet wie das Wasser der Bohrung *Seehof* zurückgeführt werden. Hier ist das Mineralwasser (über 20 g/l) in den Plattensandsteinen anzutreffen. Das Salzwasser bei *Mergentheim*, das dort den gesamten Buntsandstein und die tieferen Schichten einnimmt, stuft W. CARLÉ (1956) im Plattensandstein und im oberen Mittleren Buntsandstein als autochthones „connate water“ ein, während er das Salzwasser des tieferen Buntsandsteins und des Rotliegenden als von Norden zugewandertes Zechsteinwasser betrachtet. In jüngeren Schriften vertritt W. CARLÉ die Ansicht (1966, 1975), daß die im Buntsandstein und auch im Keuper angetroffenen Salzlösungen den Formationswässern zugerechnet werden können.

Tab. 26: Allochthones Tiefenwasser aus dem Mittleren Muschelkalk; gerundete Mittelwerte aus 3 Analysen

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	73.600	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,9		
	mg/l	mval/l	mval-%
<b>Kationen:</b>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	18.000	787,35	85,73
Kalium ( $\text{K}^+$ )	950	24,32	2,65
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	690	56,79	6,19
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	1.000	49,90	5,43
Summe:		918,36	100,00
<b>Anionen:</b>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	28.000	789,60	85,30
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	0	0,00	0,00
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	6.150	127,92	13,82
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	500	8,19	0,88
Summe:	56.555	925,71	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	50		
Ionenstärke	1.039	mmol/l	

Alle untersuchten Sedimente des Buntsandsteins und des Keupers waren selbst in Kernbohrproben fast chloridfrei (Lösungsversuche, Kap. 3.4.), so daß die Theorie der Formationslösungen nicht bestätigt werden kann. Fraglicher Herkunft bzw. Genese ist nur das Wasservorkommen von *Diebach* (4/89;  $\text{Cl}^-$  950 mg/l), das sich lagemäßig nicht dem tieferen Salzwassersystem zuordnen läßt. Möglicherweise steigt hier jedoch Salzwasser an einer NW-SE streichenden Störung auf.

#### 2.2.2.3. Mischsolen aus Zechstein und Mittlerem Muschelkalk

Die Mineralwässer von *Bad Mergentheim* (4/67, 4/68) sind sowohl von Wandersolen des Mittleren Muschelkalks als auch durch solche des Zechsteins geprägt. Bei der Bohrung der „Paulsquelle“ (4/68) wurde bei 40 m unter Gelände im Chirotherien-sandstein ein Wasser mit einem Natriumchloridgehalt von 65 g/l angetroffen. Mit zunehmender Bohrtiefe geht der Natriumchloridgehalt erst auf 50 g/l zurück und steigt dann wieder bis zur Endteufe (551 m unter Gelände, Rotliegendes) auf 60 g/l an (W. CARLÉ, 1956). Das Wasser der „Wilhelmquelle“ (4/67) tritt im Grenzbereich Buntsandstein/Muschelkalk zu. Der Salzgehalt im oberen Bereich läßt sich auf Salzreste

bzw. Wanderwässer aus dem Mittleren Muschelkalk zurückführen. Nimmt man an, daß bei einem genetisch einheitlichen Tiefenwasser die Mineralisation in der Vertikalen nach oben kontinuierlich abnimmt, so muß man hier folgern, daß das im oberen Teil der Bohrung erschlossene höher mineralisierte Wasser anderer Herkunft ist als das tiefer liegende. Da für autochthone, durch Ablagerung von Salzlagern gebildete Salzwässer des Buntsandsteins bisher keine Nachweise erbracht werden konnten, kommt für den oberen Mineralwasserhorizont Mergentheims eine Zulieferung aus

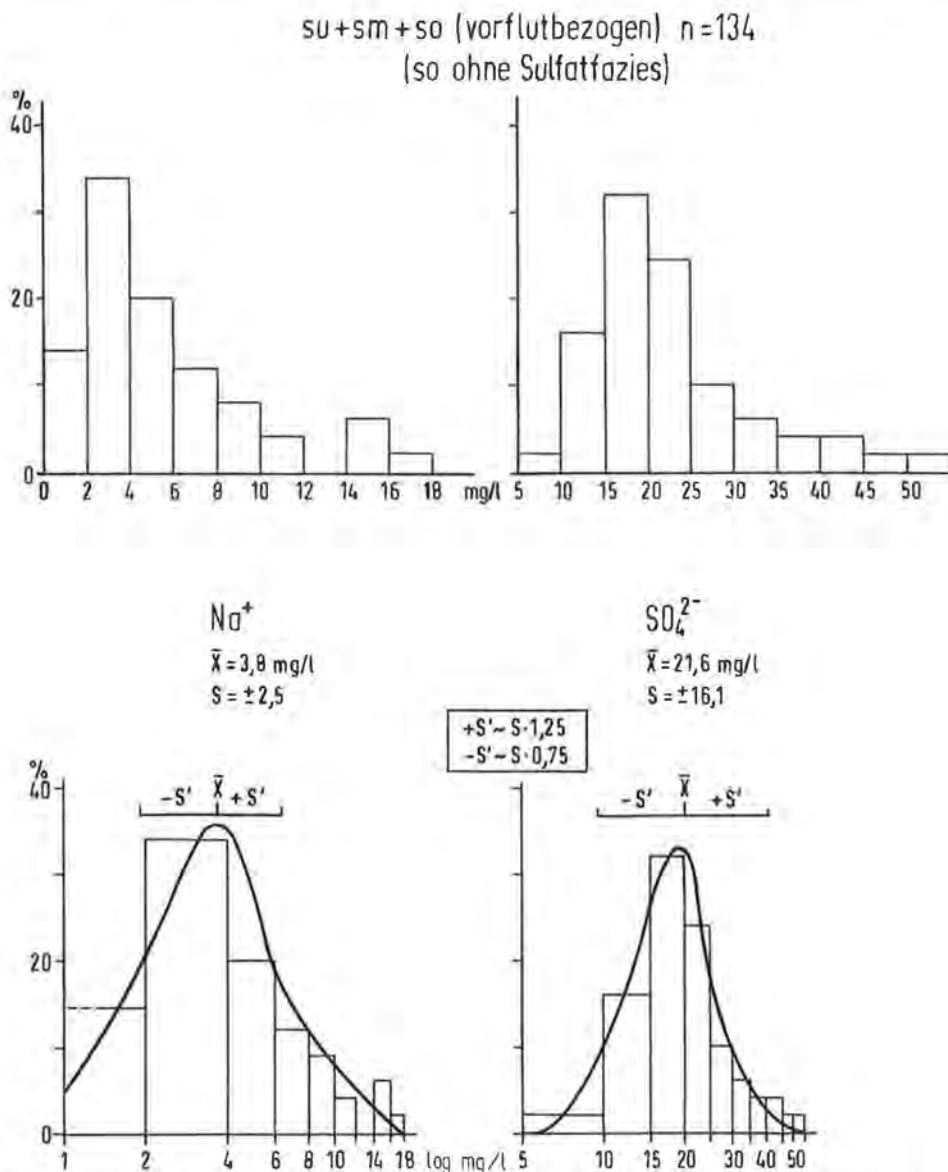


Fig. 13: Häufigkeitsverteilung der Natrium- und Sulfationen aller Buntsandsteinwässer der aktiven Zone (n = 134; sulfatfreie Fazies) in linearer und logarithmischer Darstellung.

Tab. 27: Mittelwerte und Standardabweichungen der Hauptionen (mg/l) von 22 Grundwassertypen

Typ Nr.	pH-Wert	Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	5-6	3,5	3,2	2,5	1,3	4,5	2,9
2	6-7	4	—	2	—	10	—
3	6,5-7,5	6,0	2,2	4,0	1,8	24,0	6,4
4	6,5-7,5	4,5	—	6,5	—	88	—
5	6,5-7,5	19·10 <sup>3</sup>	11·10 <sup>3</sup>	464	372	336	128
6	6-7	4,7	1,6	3,2	0,9	13,8	3,1
7	5-6	3,1	1,2	2,1	1,1	4,1	1,5
8	6,5-7,5	6,3	2,7	3,0	1,5	27,5	12,5
9	6-7	5,9	2,5	1,9	1,1	10,2	4,4
10	6,7	26,5	—	10,6	—	95,7	—
11	7-7,5	5,5	2,9	2,5	0,9	24,6	11,9
12	7-7,5	11,7	2,9	5,0	1,6	42,4	14,5
13	6,5-7	59·10 <sup>3</sup>	—	63	—	188	—
14	7-7,5	9,5	4,2	2,9	1,4	40,5	23,1
15	6,5-7,0	40,5	43,9	6,9	5,9	61,5	44,4
16	6,5-7,5	28,8	15,3	4,2	2,2	26,6	16,3
17	6,5-7,5	18,7	20,3	5,7	3,1	22,4	10,7
18	6,5-7,0	4,5	2,6	2,2	1,4	8,9	5,4
19	7,0-7,5	6,5	—	1,1	—	6,4	—
20	6,5-7,0	18,6	—	4,2	—	68,9	—
21	7,0-8,0	3,4	1,4	2,3	1,3	9,5	4,8
22	7,2-7,8	5,2	3,9	1,9	1,2	17,1	9,3

1\* Kristallin u. Basalt n = 24

2 Rotliegend (rekonstr. Werte)

3<sup>+</sup> Zechstein (Karbonatfazies) n = 5

4<sup>+</sup> Zechstein (Sulfat-Karbonatfazies) n = 2

5<sup>+</sup> Zechstein (Chloridfazies) n = 22

6<sup>+</sup> Unt. u. Mittl. Buntsandstein n = 21

7\* Unt. u. Mittl. Buntsandstein n = 88

8<sup>+</sup> Ob. Buntsandstein n = 31

9\* Ob. Buntsandstein n = 46

10\* Ob. Buntsandstein n = 1

11\* Unt. u. Ob. Muschelkalk n = 68

12\* Mittl. Muschelkalk (Sulfatfazies) n = 6

13<sup>+</sup> Mittl. Muschelkalk (Chloridfazies) n = 3

14\* Unt. Keuper n = 12

15\* Gipskeuper n = 91

16<sup>+</sup> Sandst.keuper (karbonat.-sulfat.) n = 34

17\* Sandst.keuper (karbonat.) n = 61

18\* Sandst.keuper (karbonatarm) n = 14

der aktiven Zone und der autochthonen tieferen Grundwässer

Ca <sup>2+</sup>		Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Ionen- summe
$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
10,0	5,5	6,0	2,4	15,0	10,3	25,0	24,7	66,5
50	—	5	—	75	—	100	—	250
37,1	13,9	7,8	4,2	15,0	5,8	210	44,1	313
405	—	1,5	—	970	—	480	—	1955
1388	662	31 · 10 <sup>3</sup>	18 · 10 <sup>3</sup>	2920	1262	786	397	56 · 10 <sup>3</sup>
48,8	13,3	10,8	3,6	23,3	16,5	164	41,8	270
14,7	6,2	7,7	4,0	20,1	5,3	13,9	6,2	65
111	36,3	15,6	10,7	113,3	55,1	305,5	44,6	595
30,1	12,5	17,0	14,2	24,5	13,8	71,2	56,6	160
380,6	—	23,2	—	938	—	490	—	1965
116,4	23,7	12,4	8,0	47,6	19,6	411,3	20,7	620
204,6	86,9	25,0	9,0	358,8	122,3	366,8	57,4	1013
1368	—	92 · 10 <sup>3</sup>	—	3530	—	102,5	—	156 · 10 <sup>3</sup>
111	34,6	25,6	17,4	47,5	14,2	457,5	84,7	700
245,6	103,9	29,5	17,1	597,1	651,2	351,7	89,7	1335
100,2	48,6	8,9	3,6	128,9	72,4	341,7	60,2	639
77,3	43,9	8,6	8,772,4	64,3	259,5	68,1	465	
45,9	22,4	7,4	8,0	38,6	36,6	124,6	21,6	230
113	—	18,3	—	61	—	245	—	450
191,5	—	8,6	—	495	—	375	—	1162
95,8	26,6	12,6	8,6	26,1	8,1	292,8	78,9	445
97,8	21,4	16,1	10,4	26,7	14,6	315,1	64,4	480

19\* Lias n = 3

20\* Lias (sulfidreich) n = 2

21\* Dogger n = 42

22\* Malm n = 99

\* überwiegend Wasser der oberen Zone

+ überwiegend tieferes Grundwasser

dem Mittleren Muschelkalk (wie Schweigern), für den darunterliegenden eine aus dem Zechstein in Betracht.

Der gleichen Gruppe dürfte auch das Wasser aus der Bohrung *Knetzgau* (4/52; Endteufe 410 m) angehören. Das im Mittleren Buntsandstein erschlossene Wasser weist einen Natriumchloridgehalt von 16 g/l auf. Vorwiegend werden hier die nach Süden wandernden Werra-Salzwässer erfaßt. Es läßt sich jedoch vermuten, daß die wenige Kilometer östlich durch die Bohrung Eltmann nachgewiesenen Salzlager des Mittleren Muschelkalks einen zusätzlichen Einfluß auf die Mineralisation des Tiefenwassers ausüben.

### 2.3. Gruppeneinteilung der Grundwassertypen

Von allen 22 Typen des Grundwassers der oberen Zone und des tieferen autochthonen Grundwassers wurde als Grundlage einer weitergehenden Ordnung zusätzlich zum Mittelwert ( $\bar{x}$ ) die Standardabweichung ( $s$ ) berechnet (Tab. 27). Die Untersuchung der Häufigkeitsverteilung der Analysenwerte innerhalb der einzelnen Gruppen ergab meist keine Gauß-Verteilung, sondern eine weitgehend logarithmische Normalverteilung (Galton-Verteilung). Die Galton-Verteilung ist die Normalverteilung vieler natürlicher Systeme (E. SCHROLL, 1975), die dadurch zustande kommt, daß die Streuung der Werte vom Maximum in positiver Richtung weitgehend unbegrenzt ist, während in negativer Richtung die Werte von Minimalwerten (im Extremfall durch den Wert 0) begrenzt werden; negative Werte können somit nicht auftreten. Beispielhaft sind die Verteilungen der Natrium- und Sulfatwerte der vorflutbezogenen Buntsandsteinwässer wiedergegeben (Fig. 13). Die graphische Auswertung aller Standardabweichungen auf logarithmischem Papier ergab, daß für fast alle Ionen die Standardabweichung ( $s$ ) im Hinblick auf eine Log-normale-Verteilung durch  $s'$  ersetzt werden kann.

$$\begin{aligned} + s' &= s \cdot 1,25 \\ - s' &= s \cdot 0,75 \end{aligned}$$

Keine Gültigkeit besitzt diese Beziehung bei der Gruppe der Natriumchloridwässer, die, bedingt durch sehr unterschiedliche Konzentrationen, eine extrem schiefe Verteilung bei den Ionen Natrium und Chlorid aufweisen. Bei allen Ionen der einzelnen Wassertypen ist eine (zu erwartende) Eingipfeligkeit vorhanden. Für das einer Gruppierung nicht gehorchende Nitrat-Ion war eine Mehrgipfeligkeit festzustellen, wie sie auch von H. D. SCHULZ (1977) aus dem Norddeutschen Flachland beschrieben wird.

Die Eintragung der stratigraphisch-faziell geordneten Grundwassertypen in das dreilineare Piper-Diagramm ergab eine deutliche Aufteilung in 4 Hauptgruppen (Fig. 14). Da das Diagramm nur Ionenäquivalentverhältnisse wiedergibt, wurde eine weitere Differenzierung nach der Gesamtmineralisation bzw. der Summe der Hauptionen (Na, K, Mg, Ca, Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ) durchgeführt. Die 4 Gruppen ordnen sich dann folgenden Breichen zu:

- Gruppe 1 bis 250 mg/l (bis 3 mval/l) = gering mineralisierte Wässer
- Gruppe 2 250 – 700 mg/l (3 – 9 mval/l) = hydrokarbonatische Wässer
- Gruppe 3 700 – 3000 mg/l (9 – 40 mval/l) = sulfatische Wässer
- Gruppe 4 über 3000 mg/l (über 40 mval/l) = Chlorid-Wässer

Zu einer vergleichbaren Gruppeneinteilung kommt H. HÖTZL (1973) bei der Gliederung der Wässer nach der Gesamtmineralisation. In seinem Untersuchungsgebiet fehlen jedoch höher mineralisierte sulfatische und chloridische Wässer.



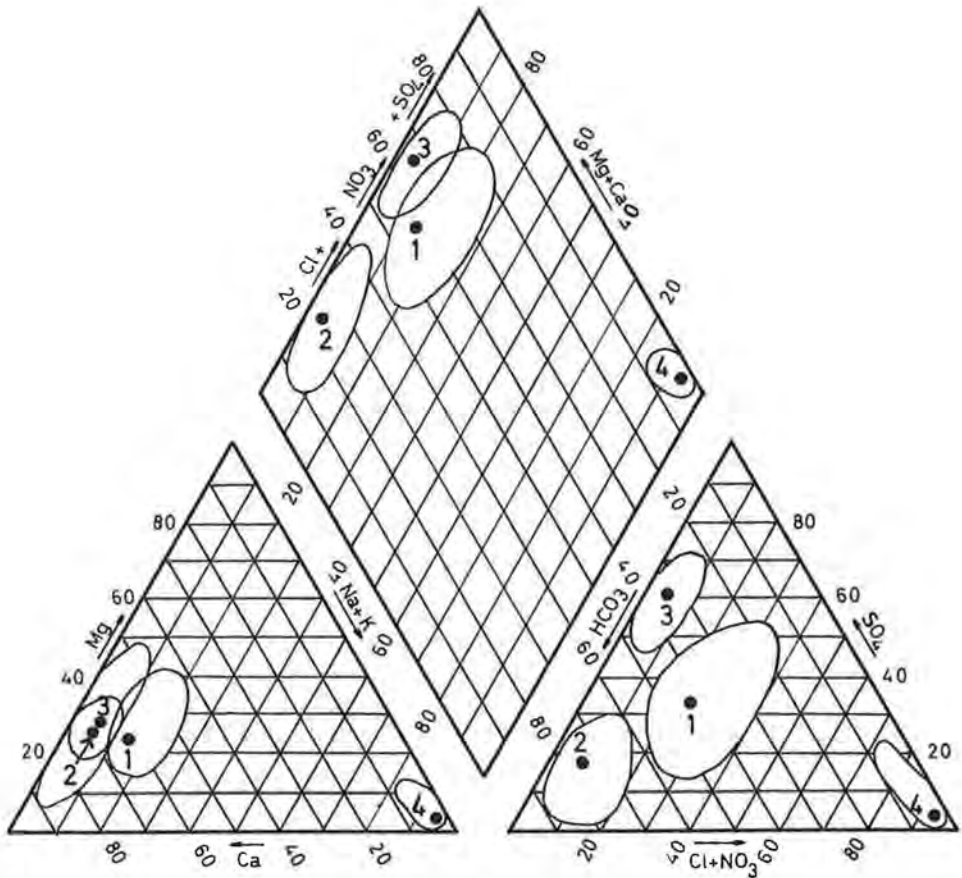


Fig. 14: Verteilung der einzelnen Wassertypen im dreilinearen Piperdiagramm; die Numerierung (1-4) entspricht zunehmender Gesamtmineralisation, die Lage der Punkte gibt die Mittelwerte der Gruppen wieder.

Für die vier Gruppen der Grundwassertypen wurde der funktionelle Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit (Lf) und Gesamtmineralisation (mg/l bzw. mval/l) statistisch ermittelt. Die Ergebnisse sind graphisch auf Fig. 15 dargestellt. Insgesamt liegen den Diagrammen je ca. 1100 Daten zugrunde. Die durch die große Datenzahl gegebene Sicherheit erlaubt es, mit dem Meßwert der Leitfähigkeit unter der Verwendung der Diagramme die Gesamtmineralisation mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 5\%$  anzugeben.

Die Diagramme der Fig. 16–Fig. 22 (Tafel III) basieren auf der Auswertung von 110 Mittelwertanalysen. Die beiden etwas schwächer gezeichneten Linien, die die Mittelwertslinie einhüllen, entsprechen etwa der doppelten Standardabweichung ( $\pm 2s$ ). Natrium, Kalium und Chlorid zeigen bei den Gruppen 1–3 immer eine leichte Konzentrationserhöhung mit steigender Gesamtmineralisation; bedingt durch die hohe Standardabweichung ergab jedoch der F-Test keine signifikante Differenzierbarkeit. Magnesium erreicht mit 80 mg/l bei den „normalen Gipswässern“ (Gesamtmineralisation 40 mval/l) eine signifikante Grenze; bei Kalzium liegt diese bei 700 mg/l. Für das Nitrat-Ion (nicht dargestellt) konnte keinerlei Abhängigkeit zwischen Gesamt-

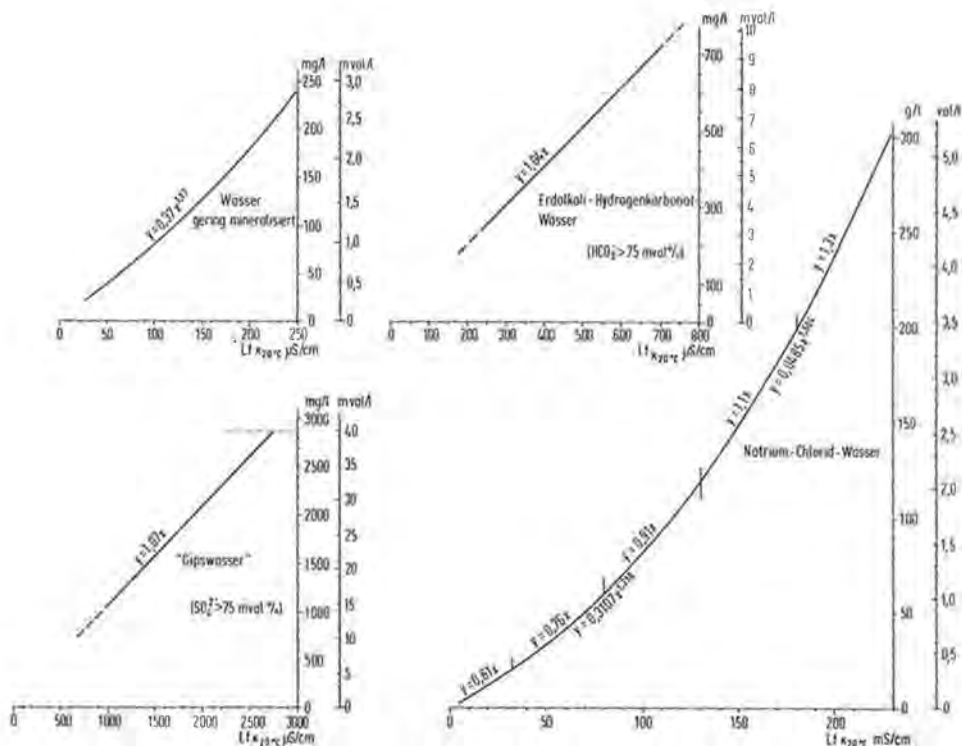


Fig. 15: Der funktionelle Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit (Lf) und Gesamtmineralisation (mg/l bzw. mval/l) für die vier Gruppen der Grundwassertypen.

mineralisation und  $\text{NO}_3^-$ -Gehalt festgestellt werden. Für alle anderen Ionen der Gruppen 1–3 sind hochsignifikante Beziehungen zur Gesamtmineralisation vorhanden. Beim *Hydrogenkarbonat-Ion* ist eine Grenzkonzentration um 550 mg/l deutlich ausgebildet. Dieser Wert entspricht einem Partialdruck des bodenbürtigen  $\text{CO}_2$  von etwa 0,05 bar bei 10° C. Erst wenn endogenes  $\text{CO}_2$  hinzukommt (Säuerlinge), kann der  $\text{HCO}_3^-$ -Wert (auf über 3000 mg/l) ansteigen; hierzu sind  $\text{CO}_2$ -Partialdrucke von über 10 bar erforderlich. Der *Sulfatgehalt* natrium- und chloridarmer Wässer erreicht einen Maximalwert von ca. 1500 mg/l, der durch die Löslichkeit des Gipses bei 10° C bedingt ist. Der Einfluß von  $\text{Na}^+$ - und  $\text{Cl}^-$ -Ionen bei steigender Gesamtmineralisation läßt den Lösungsinhalt von  $\text{SO}_4^{2-}$ -Ionen weiter ansteigen. Ohne Ionenaustausch von Kalzium gegen Natrium dürfte der Maximalwert der Sulfatkonzentration bei 1600 mg/l liegen. Ionenaustausch und erhöhte Zufuhr von Magnesium-Ionen können die Sulfat-Konzentration jedoch über 8000 mg/l ansteigen lassen. Wässer dieses Typs (allochthone Salzwässer in Keuper und Muschelkalk) ordnen sich nicht in das Gesamtschema ein; sie nehmen innerhalb der Grundwassertypen Frankens eine Sonderstellung ein (Colberg, Friedrichshall, Königshofen, Lendershausen). Eine weitere z. T. eigenständige Gruppe innerhalb der Natriumchloridwässer stellen die Wässer aus dem Mittleren Muschelkalk dar. Die Abweichungen dieser Wässer vom Mittelwertsbereich sind auf den Diagrammen gesondert gekennzeichnet.

Für die allermeisten Wässer Frankens läßt sich durch die alleinige Messung der Leitfähigkeit unter Zuhilfenahme der Fig. 15 aus den Diagrammen der Fig. 16–22 eine Übersichtsanalyse ermitteln. (S. Tafel III.)

### 2.3.1 Statistische Tests

Zweck der verschiedenen Tests ist die Überprüfung, inwieweit sich die einzelnen Hauptgruppen der Grundwässer tatsächlich und nicht zufällig unterscheiden. Hierzu müssen alle Ionen sowie die Gesamtmineralisation der Hauptgruppen miteinander in Beziehung gebracht werden. Die nach dem Piperdiagramm einer Hauptgruppe angehörenden Wassertypen wurden zuvor nach folgenden Beziehungen zusammengefaßt:

$$n_{\text{ges}} = n_1 + n_2 + \dots$$

$$\bar{x}_{\text{ges}} = \frac{\bar{x}_1 \cdot n_1 + \bar{x} \cdot n_2}{n_1 + n_2}$$

$$s_{\text{ges}} = \sqrt{\frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2 \cdot \frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} + (n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 1}}$$

#### Vergleich der Mittelwerte $\bar{x}$ mit dem t-Test

Man benötigt für die zu vergleichenden Datengruppen  $n$ ,  $\bar{x}$ ,  $s$ . Dabei wird ausreißerfreies Datenmaterial vorausgesetzt. Es wird die Prüfgröße berechnet, die mit den statistischen t-Faktoren (STUDENT-Faktor) zu vergleichen ist. Die t-Faktoren sind in Abhängigkeit von  $f = n_1 + n_2 - 2$  tabelliert (R. KAISER u. G. GÖTTSCHALK, 1972).

$$\tau = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_d} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} \quad \text{mit } s_d = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Wenn  $\tau < t(95)$ , dann gilt: Ein Unterschied zwischen  $\bar{x}_1$  und  $\bar{x}_2$  ist nicht feststellbar

$\tau \geq t(95)$ ,  $\bar{x}_1$  unterscheidet sich wahrscheinlich von  $\bar{x}_2$

$\tau \geq t(99)$ ,  $\bar{x}_1$  unterscheidet sich signifikant von  $\bar{x}_2$

$\tau \geq t(99,9)$ ,  $\bar{x}_1$  unterscheidet sich hochsignifikant von  $\bar{x}_2$

Für alle Werte und für alle Gruppen waren bis auf die Nitratgehalte die Unterschiede zwischen den einzelnen  $\bar{x}$ -Werten hochsignifikant. Das Nitrat-Ion (auf den Tabellen nicht aufgeführt) war wegen nur geringer Unterschiede in den  $\bar{x}$ -Werten und hoher s-Werte, die  $\bar{x}$  überstiegen, kein Unterscheidungskriterium zwischen den Gruppen 1 bis 3. Zu dem Mittelwert der Gruppe 4 hingegen bestand ein hochsignifikanter Unterschied, der in der fast vollständigen Nitratfreiheit der sauerstoffreichen tieferen Salzwässer zu sehen ist.

#### Vergleich der Standardabweichungen bzw. Varianzen mit dem F-Test

Man benötigt für beide zu vergleichenden Datengruppen die Anzahl der vorhandenen Werte und die Standardabweichungen als Absolutwerte. Der Datengruppe mit der größeren Standardabweichung wird der Index 1 zugeteilt. Berechnet wird die Prüfgröße PF, die mit den statistischen F-Faktoren zu vergleichen ist. Die F-Faktoren sind in Abhängigkeit von  $f = n - 1$  tabelliert (R. KAISER und G. GÖTTSCHALK, 1972).

$$PF = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

Die Beurteilung erfolgt in gleicher Weise wie beim t-Test zum Vergleich der Mittelwerte. Der F-Test ergab für *Natrium, Chlorid und Nitrat* der Gruppen 1 bis 3 keine signifikante Unterscheidung. Dies bedeutet, daß diese Ionen *nicht gruppenspezifisch* sind.

### 2.3.2 Zuordnung der Grundwassertypen zu den Gruppen 1–4

Der *Gruppe 1* (gering mineralisierte Wasser; Gesamtmineralisation bis 250 mg/l bzw. ca. 3 mval/l) gehören die vorflutbezogenen Wässer des kristallinen Bereichs, des Buntsandsteins und des karbonat- und sulfatarmen Sandsteinkeupers an (Tab. 28).

Tab. 28: Mittelwerte und Standardabweichungen der vier Gruppen der Grundwässer.

Gruppe 1 = gering mineralisierte Wässer;  
 Gruppe 2 = hydrogenkarbonatische Wässer;  
 Gruppe 3 = sulfatische Wässer;  
 Gruppe 4 = Chlorid-Wässer (Zechstein)  
 Gruppe 4a = Chlorid-Wässer (Mittlerer Muschelkalk)

	Gruppe 1 bis 250 mg/l n = 187		Gruppe 2 250–700 mg/l n = 379		Gruppe 3 700–3000 mg/l n = 101		Gruppe 4 über 3000 mg/l n = 22		4a n = 3
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$
Natrium (Na <sup>+</sup> )	4,1	2,2	9,1	8,3	18,5	13,2	19 · 10 <sup>3</sup>	19 · 10 <sup>3</sup>	59 · 10 <sup>3</sup>
Kalium (K <sup>+</sup> )	2,1	1,3	3,2	1,3	4,0	2,7	464	372	73
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	5,2	3,4	21,1	9,9	66,2	22,8	336	128	188
Kalzium (Ca <sup>2+</sup> )	22,2	18,0	91,7	28,6	256	144	1388	662	1368
Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	9,2	4,8	13,7	7,5	18,9	11,2	31 · 10 <sup>3</sup>	31 · 10 <sup>3</sup>	92 · 10 <sup>3</sup>
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	26,8	18,0	56,2	38,9	567	352	2920	1262	3530
Hydrogenkarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	48,8	38,1	299	88,3	420	62,4	786	397	103
Summe:	120	88,4	499	139	1350	513	56 · 10 <sup>3</sup>	53 · 10 <sup>3</sup>	156 · 10 <sup>3</sup>

Der *Gruppe 2* (erdalkalisch-hydrogenkarbonatische Wässer; Gesamtmineralisation 250–700 mg/l bzw. ca. 3–9 mval/l) gehören die tieferen Wässer des Rotliegenden und Buntsandsteins sowie die vorflutbezogenen Wässer der karbonatischen Zechstein-Randfazies, die Wässer des Unteren und Oberen Muschelkalks, des Juras und des karbonatischen Sandsteinkeupers an. Auch das Wasser des Unteren Keupers ist dieser Gruppe zuzuordnen, obwohl es, bedingt durch erhöhten Nitratgehalt, im Mittel die 700-mg/l-Grenze geringfügig überschreitet; der relativ niedrige Sulfatgehalt (47,5 mg/l) gruppiert es jedoch noch zu den hydrogenkarbonatischen Wässern (Tab. 28).

Die *Gruppe 3* (erdalkalisch-sulfatische Wässer; Gesamtmineralisation 700–3000 mg/l bzw. 9–40 mval/l) setzt sich aus sulfatischen Wässern (Gipswässern) zusammen. In ihr finden sich die Wässer des tiefliegenden Zechsteinrandbereichs, die nicht durch Wandersolen beeinflusst sind (Brückenau), sowie Wässer des sulfatischen Oberen Buntsandsteins, des Mittleren Muschelkalks und des Gipskeupers. Auch die durch Schwefelkiesoxidation entstandenen sulfatischen Wässer des Lias gehören in diese Gruppe (Tab. 28).

Die *Gruppe 4* umfaßt die Natriumchloridwässer des Zechsteins (Gesamtmineralisation über 3000 mg/l bzw. über 40 mval/l). Innerhalb dieser Gruppe sind die Wässer, die den Steinsalzlagern des Mittleren Muschelkalks entstammen, auf Grund niedrigen Kalium- und Magnesium-Gehaltes abzutrennen (Gruppe 4a; Tab. 28).

Zwischen allen vier Gruppen kommen beliebige Mischungen vor; der dominante Partner prägt jedoch immer den mit der geringeren Mineralisation.

### 2.3.3. Folgerungen

Die im Piper-Diagramm und mit Hilfe der Gesamtmineralisation als Unterscheidungskriterium abgrenzbaren Gruppen der einzelnen Wassertypen sind als statistisch gesicherte Individuen zu betrachten (Tab. 28). Nur die aus dem überwiegend anthropogenen Bereich stammenden Stoffe *Natrium*, *Chlorid* und *Nitrat* können bei den Gruppen 1 bis 3 *nicht ohne weiteres als Unterscheidungsmerkmale* herangezogen werden. Dennoch ist insbesondere bei dem Vergleich der Mittelwerte (t-Test) für die Ionen Natrium und Chlorid ein signifikanter Anstieg mit der Gesamtmineralisation festzustellen, der durchaus geogenen Ursprunges sein könnte.

Innerhalb der Gruppe 4 sind die Salzwässer aus den Steinsalzvorkommen des Mittleren Muschelkalkes (Gruppe 4a) in bezug auf Kalium-, Magnesium- und Hydrogenkarbonatgehalte von der Gruppe der Zechsteinsalzwässer abzutrennen. Die hohen Standardabweichungen der Gruppe 4 bei Natrium und Chlorid sind auf die Heterogenität der Zechsteinsalzwässervorkommen (Autochthonie, Allochthonie etc.) sowie auf „Verdünnungseffekte“ mit natriumchloridarmen Wässern zurückzuführen.

Im Zuge der Gruppenanalyse entstanden die Diagramme der Fig. 16–22. Für jede der Gruppen besteht ein *höchstsignifikanter Zusammenhang zwischen spezifischer elektrischer Leitfähigkeit und Gesamtmineralisation*, gemessen in mg/l (g/l) bzw. in mval/l (val/l; Fig. 15). Für die ein großes Mineralisationsspektrum umfassende Gruppe der Natriumchloridwässer ändert sich die Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Gesamtmineralisation beträchtlich mit der Änderung des Lösungsinhaltes. Für Wässer bis etwa 20 g/l gilt  $y = 0,61 x$ , für die Höchstkonzentrationen (ab ca. 200 g/l) gilt  $y = 1,3 x$  ( $y =$  Leitfähigkeit;  $x =$  Gesamtmineralisation). Auf Fig. 16–22 sind die Beziehungen zwischen den einzelnen Ionen und der Gesamtmineralisation (mval/l) dargestellt (Tafel III).

## 3. Herkunft der Wasserinhaltsstoffe

Eine erste Prägung erhält das Grundwasser bereits auf der Sickerstrecke im jeweiligen Boden bzw. in der über dem eigentlichen Grundwasserleiter liegenden Deckschicht. Das Grundwasser behält seine auf der Sickerstrecke erhaltene chemische Charakteristik, wenn der Boden sich aus dem Gestein des Aquifers entwickelt hat. Überlagert den Grundwasserleiter eine allochthone Deckschicht, bestehend aus leichter löslichem Material als der eigentliche Aquifer (z. B. Löß auf Basalt, Muschelkalkschutt auf Röt), so dominiert im Grundwasserleiter der Typ der Deckschicht. Weisen allochthone Deckschicht und Aquifer gleichen oder vergleichbaren geochemischen Stoffbestand auf, so besitzt das Sickerwasser bereits die chemischen Eigenschaften des Grundwassers (z. B. Löß auf Karbonatgesteinen). Ist das Material des Grundwasserleiters leichter löslich als das der Überdeckung, wird der Chemismus von den leicht löslichen Stoffen des Grundwasserleiters geprägt (z. B. Wasser aus dem Oberen Muschelkalk, einsickernd in Mittleren Muschelkalk).

### 3.1. Hauptinhaltsstoffe

Zu den Hauptinhaltsstoffen werden im allgemeinen die Alkalien Natrium und Kalium, die Erdkalien Magnesium und Kalzium auf der Seite der Kationen und Chlorid, Nitrat, Sulfat und Hydrogenkarbonat auf der Anionenseite gerechnet. Die Summe dieser Ionen umfaßt in allen natürlichen Wässern immer über 95%. Die im Wasser gelöste Kieselsäure ( $H_2SiO_3$ ) ist mit Gehalten von meist 10–20 mg/l typenunspezifisch;

bei stärker alkalischen (pH-Wert 8) und höher temperierten Wässern ist eine Erhöhung der Kieselsäuregehalte zu verzeichnen.

### 3.1.1. Stoffeintrag aus Niederschlägen und Düngung

Die Niederschläge enthalten in geringer Konzentration bereits alle im Grundwasser vorkommenden Hauptinhaltsstoffe (Tab. 29). Hochgelegene Quellen des Mittleren Buntsandsteins, des Kristallins und der Basalte weisen angenähert die Konzentration der Niederschlagswässer auf. Zu beachten ist, daß eine Konzentrierung der gelösten Stoffe durch Verdunstung erfolgt (M. SCHOELLER, 1964; H. D. SCHULZ, 1972). Unter Ansatz von etwa 50% Evapotranspiration ist mit einer Verdoppelung des im Niederschlag gemessenen Stoffeintrages zu rechnen. Nach G. MATTHESS (1961) führen *Niederschläge* in ländlichen Bezirken unter 20 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$ , höhere Werte bis zu mehreren 100 mg/l treten bei Beeinflussung durch Rauchgase auf. Der Nitratgehalt dürfte in den Niederschlägen im Mittel um 3 mg/l liegen. Beide Stoffe werden im vegetationslosen belüfteten Boden völlig ausgewaschen. Der Auftrag von Sulfat auf die Böden durch *Düngung* betrug nach A. BUDMER (1958) für die Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1953 bis 1956 etwa 87.000 t; bis heute dürfte sich der Verbrauch an Düngemitteln mindestens verdoppelt haben, so daß bei etwa gleichbleibender Zusammensetzung der Düngemittel mit einem Sulfatauftrag von 1.500.000 t/a gerechnet werden muß. Bezogen auf die Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland, sind das 6 g/m<sup>2</sup>  $\text{SO}_4^{2-}$ ; bei einer Grundwasserneubildung von 100 mm/a würden somit bei vollständiger Auswaschung 60 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$  ins Grundwasser gelangen, bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche doppelt soviel. Der Schwefelentzug durch Kulturpflanzen (berechnet als Sulfat) beträgt im Jahr 3,8 g/m<sup>2</sup> (Mittelwert nach Angaben von B. KURMIES, 1958 und A. BUDMER, 1958). Somit verbleiben 2,2 g/m<sup>2</sup> an Düngesubschuß, was bei 100 mm Grundwasserneubildung pro Jahr einem Sulfat-Austrag von 22 mg/l bzw. 44 mg/l, bezogen auf landwirtschaftliche Nutzfläche, entspricht.

Tab. 29: Regenwasser aus dem Bereich der Rhön; gerundete Mittelwerte aus 6 Analysen (1966-68)

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^\circ$ )	25	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	4,5		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	2,0	0,09	36,14
Kalium ( $\text{K}^+$ )	0,5	0,01	5,32
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	0,5	0,04	17,09
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	2,0	0,10	41,45
<i>Summe:</i>		0,24	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	2,0	0,06	21,49
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	2,5	0,04	15,34
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	6,0	0,12	47,56
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	2,5	0,08	15,61
<i>Summe:</i>	18,0	0,26	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	5		
<i>Ionenstärke</i>	0,43	mmol/l	

Der Sulfat-Eintrag aus Niederschlägen und Düngung macht sich insbesondere bei Wässern des Kristallins, des Unteren und Mittleren Buntsandsteins und des Malms

deutlich bemerkbar; Wässer aus anderen Gesteinsserien führen geogen bereits höhere Sulfatgehalte als der anthropogene Eintrag, so daß der anthropogene Einfluß anteilmäßig keine bedeutende Rolle mehr spielt.

Der Eintrag von *Nitrat* aus intensiv gedüngter Fläche ins Grundwasser kann nach W. CZERATZKI (1973) bei der heutigen Ertragshöhe und ausgeglichener Stickstoffbilanz des Bodens bei 5–7 g/m<sup>2</sup> Stickstoff im Jahr liegen. Bei einer Grundwasserneubildungsrate von 100 mm/a und einer Stickstoffauswaschung von 6 g/m<sup>2</sup> entspricht das einer NO<sub>3</sub>-Belastung von ca. 270 mg/l, bei 150 mm Grundwasserneubildung 180 mg/l; Werte dieser Größenordnung sind aus dem Bereich der Weinbaugebiete am südlichen Main-Dreieck bekannt (M. HOBLER, 1971). Werte von über 500 mg/l werden von W. KANZ (1977 a) bei geringer Grundwasserneubildung (in Trockenjahren nur 40–50 mm) aus dem Mainquartär des nördlichen Main-Dreiecks beschrieben. Der mittlere Nitratgehalt der vorflutbezogenen Grundwässer im fränkischen Raum beträgt jedoch nur 20 mg/l, wobei in Waldgebieten und Brachflächen (z. B. Kristallin, Mittlerer Buntsandstein, Schilfsandstein, Sandsteinkeuper, Basalte) Nitratgehalte um 5 mg/l typisch sind, während für überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen Werte zwischen 20 und 40 mg/l repräsentativ sind. In den letzten 10 Jahren ist jedoch ein Nitratanstieg um ca. 50% festzustellen, so daß heute in Gebieten mit flächenhafter landwirtschaftlicher Nutzung im Durchschnitt mit einem Nitrat-Eintrag ins Grundwasser von ca. 50 mg/l gerechnet werden kann.

Der *Chlorid*gehalt in den Niederschlägen beträgt etwa 2 mg/l. Chlorid wird von Pflanzen in nur geringem Maße aufgenommen und unterliegt in verdünnten Lösungen bei der Bodenpassage praktisch keinen Sorptionen. Der über den Niederschlags-eintrag hinausgehende Anteil des Chlorids im Grundwasser dürfte aus anorganischer und organischer Düngung stammen. Der Chlorid-Mittelwert der vorflutbezogenen Grundwässer im fränkischen Raum liegt bei 15 mg/l. Während im bewaldeten Mittleren Buntsandstein Werte zwischen 5 und 10 mg/l typisch sind, weist der durch landwirtschaftliche Nutzung geprägte Untere Keuper etwa 25 mg/l Cl<sup>-</sup> auf.

Der Niederschlagseintrag der *Alkalien* Natrium und Kalium ist mit 2 bzw. 0,5 mg/l gering. Ähnliche Werte finden sich in hochgelegenen Quellen des Mittleren Buntsandsteins wieder. Das aus der Düngung ins Grundwasser gelangende Natrium kann auf 2 mg/l geschätzt werden; für Kalium dürfte der Wert bei 0,5 mg/l liegen. In Gebieten mit Böden von geringem Sorptionsvermögen (Muschelkalk- und Malm-Rendzinen, Buntsandstein und Sandsteinkeuper-Podsole) kann bei Düngung auf höheren Kaliumaustrag geschlossen werden (2–3 mg/l). Die *Erdalkalien* Magnesium und Kalzium finden sich in den Niederschlägen in ebenfalls nur geringen Mengen mit 0,5 bzw. 2 mg/l. Diese Gehalte sind nur bei gering mineralisierten Wässern des Kristallins, des Buntsandsteins und der Basalte von anteilmäßiger Bedeutung. Wegen der starken gezogenen Vertretung der Erdalkali-Ionen in natürlichen Wässern läßt sich der aus Düngung stammende Anteil nicht abschätzen; er ist, bezogen auf den Gesamtinhalt dieser Ionen, zu vernachlässigen. Die Düngung basenarmer Böden mit Kalkstickstoffdüngern oder durch Kalziumkarbonat hat nur örtliche Bedeutung. An diesen Stellen dürfte es zu Erhöhungen der Wasserhärte kommen (gekalkte Buntsandsteinböden).

### 3.1.2. Stoffeintrag aus Böden und Gesteinen

Die weite Verbreitung karbonatischer und sulfatischer Gesteine prägt die überwiegende Anzahl der Grundwässer Frankens. Bei diesen Wässern ist der Stoffeintrag aus Niederschlägen anteilmäßig meist zu vernachlässigen; Düngung macht sich jedoch immer in wechselnden Nitratgehalten bemerkbar. Bei rein karbonatischen Gesteinen

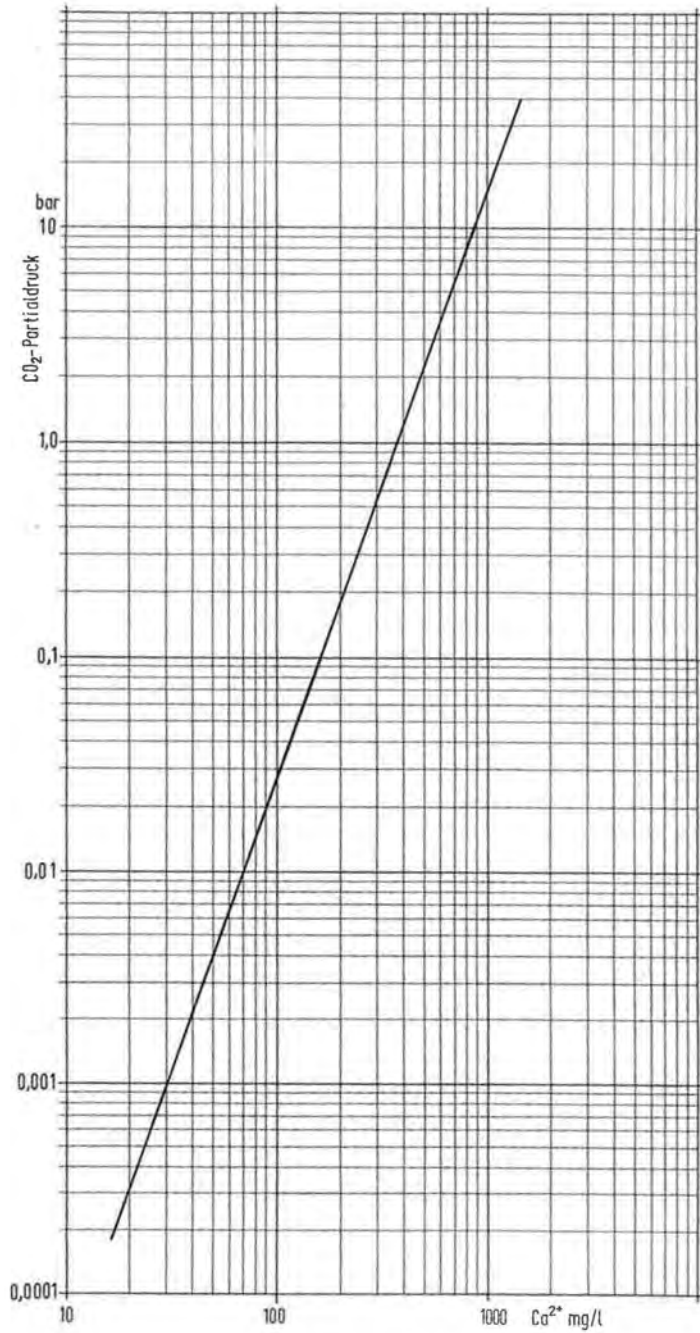
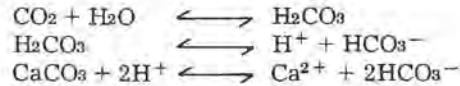


Fig. 23: Löslichkeit von Kalzium-Karbonat (Calcit) in Wasser bei 25°C in Anwesenheit von CO<sub>2</sub> (aus J. D. HEM, 1967, Fig. 9).



(Unterer und Oberer Muschelkalk, Malm) dürfte ein beachtenswerter Anteil des Sulfates (ca. 50%) aus Niederschlägen und Düngung stammen.

Bei der Lösung der Karbonatgesteine bzw. karbonathaltiger Böden ist der Gehalt an im Wasser gelöster freier Kohlensäure entscheidend (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht). Das CO<sub>2</sub>-haltige Wasser wird bei ausreichendem Angebot karbonatischer Materials so lange lösend wirken, bis CO<sub>2</sub> und Karbonat im Gleichgewicht stehen.



Das auf den Boden fallende Niederschlagswasser kann aufgrund des Partialdruckes von CO<sub>2</sub> in der Luft von etwa 0,0003 bar nach Fig. 23 nur 20 mg/l Ca<sup>2+</sup> in Lösung bringen. Der niedrige Partialdruck der Luft reicht somit nicht aus, um die im Grundwasser karbonatischer Gesteine vorhandenen Gehalte an Kalzium (Magnesium) und Hydrogenkarbonat zu erklären. Entscheidend für die Löslichkeit von Kalksteinen ist die CO<sub>2</sub>-Produktion der Biosphäre des Bodens (E. BECKSMANN, 1956) und damit der dort herrschende Partialdruck. Normalwerte des CO<sub>2</sub>-Partialdruckes im Boden liegen bei 0,01–0,05 bar, entsprechend 1–5 Vol-% (J. D. HEM, 1967). Nach Fig. 23 sind bei 25°C für einen Partialdruck von 0,01 bar 70 mg/l Kalzium und 213 mg/l Hydrogenkarbonat, bei 0,05 bar ca. 130 mg/l Kalzium und ca. 400 mg Hydrogenkarbonat löslich. Die Löslichkeit wird nach Fig. 24 bei einer Verringerung der Temperatur von 25°C auf 10°C um den Faktor 1,4 erhöht, so daß bei dieser normalen Grundwassertemperatur ca. 180 mg/l Kalzium und ca. 550 mg/l Hydrogenkarbonat gelöst werden. Dieser Hydrogenkarbonat-Gehalt ist der obere Grenzwert des Hydrogenkarbonats von Wässern mit bodenbürtigem Kohlendioxid (Fig. 22). Steht Dolomit zur Lösung an, so läßt sich gleichartiges Lösungsverhalten wie bei reinem Kalkstein vermuten; die Lösungsgeschwindigkeit wird jedoch für Dolomit wesentlich geringer sein.

In Gebieten mit karbonatreichen Deckschichten ist mit steigenden Nitratgehalten eine Zunahme des Kalziums und Hydrogenkarbonats festzustellen. Dieses Phänomen läßt sich auf die Zunahme des Pflanzenwachstums durch die Düngung zurückführen; durch die erhöhte biologische Aktivität wird in der Bodenzone mehr Kohlendioxid entwickelt als in ungedüngten Substraten; der CO<sub>2</sub>-Partialdruck steigt an. Während das Kalium des Düngemittels weitgehend durch Absorption an Bodenteilchen und durch die Pflanzen selbst festgehalten und wieder ausgetragen wird, bilden sich durch die Dissoziation des CO<sub>2</sub> in Wasser Protonen, die äquivalente Mengen von Kalzium und Hydrogenkarbonat-Ionen in Lösung bringen. In karbonatarmen Böden erhöht sich der Gehalt an aggressivem CO<sub>2</sub> bei gleichzeitig sinkendem pH-Wert.

Wässer mit biogener Kohlensäure überschreiten nur selten Gehalte von 50 mg/l, bezogen auf freies CO<sub>2</sub>. Dieser Wert entspricht einem CO<sub>2</sub>-Bodenluftgehalt von ca. 4 Vol-%.

Für den geogenen Eintrag von *Sulfationen* ins Grundwasser kommen in erster Linie Gips- und Anhydritgesteine in Frage. Dabei ist zu bemerken, daß Anhydrit erst eine Umwandlung in Gips durchläuft, bevor er in Lösung geht (CaSO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O → CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O). Bei 10°C beträgt die Löslichkeit von Gips ca. 2 g/l; sie steigt mit zunehmendem Gehalt an Natrium und Chlorid als Lösungspartner (Fig. 25). R. HERRMANN (1955) gibt an, daß 8,2 g Gips in einem Liter gesättigter Kochsalzlösung gelöst werden können. Nach G. MATTHESS (1973) besitzt diese Erhöhung der Löslichkeit von Substanzen bei Anwesenheit ungleichioniger Lösungspartner allgemeine Gültigkeit. Darüber hinaus hängt die Löslichkeit von Gips in besonderem Maße von der Temperatur ab. Das Maximum wird bei 38°C erreicht, von dieser Tem-

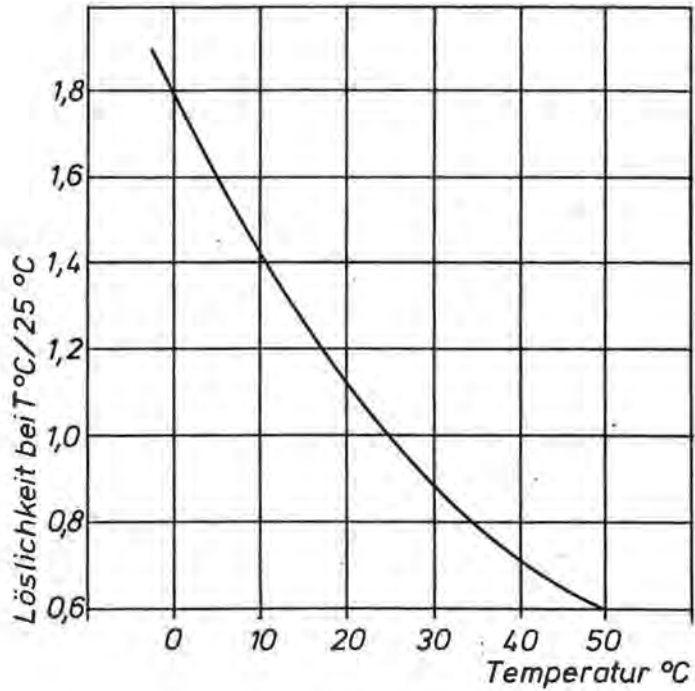


Fig. 24: Einfluß der Temperatur auf die Löslichkeit von Kalzium-Karbonat (Calcit) bei Anwesenheit von CO<sub>2</sub> (aus J. D. HEM, 1967, Fig. 10).

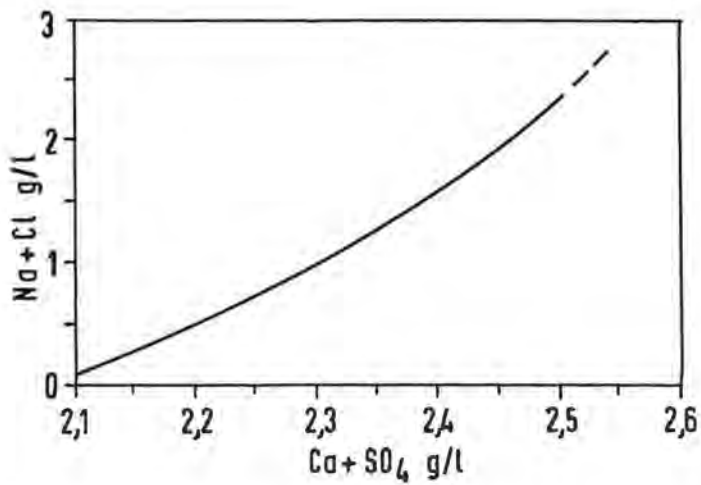


Fig. 25: Löslichkeit von Gips in NaCl-Lösungen bei 25°C und 1013 mbar (nach J. D. HEM, 1970, aus G. MATTHESS, 1973, Abb. 12).

peratur an geht der Bodenkörper bereits wieder zunehmend in wasserfreien Anhydrit über, der weniger löslich als Gips ist (M. SCHWARZBACH, 1964).

Die höchste Löslichkeit weisen *chloridische Evaporite* auf (Näheres bei O. BRAITSCHE, 1962); 1 Liter Wasser bei 10° C kann ca. 350 g Natriumchlorid oder etwa ebensoviel Kaliumchlorid lösen. Noch höher ist die Löslichkeit der Erdalkalichloride; Magnesiumchlorid kann bis zu 450 g/l, Kalziumchlorid bis etwa 550 g/l gelöst werden. Natürliche Vorkommen mit diesen hohen Lösungsinhalten sind aus dem fränkischen Raum nicht bekannt, werden jedoch von E. P. MÜLLER und G. PAPSDIECK (1975) als Mg-Na-Ca-Typ mit Konzentrationen von über 550 g/l aus dem nördlichen Thüringer Becken beschrieben.

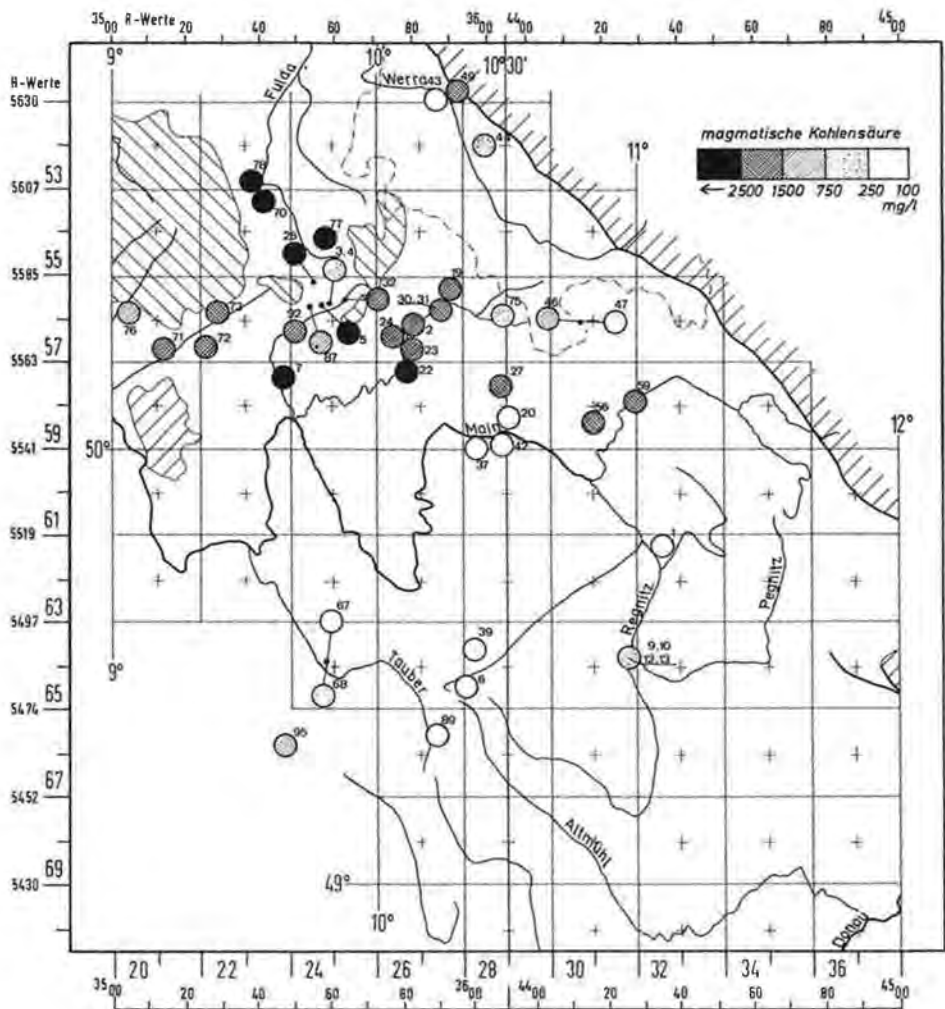


Fig. 26: Kartendarstellung der Kohlensäure-(CO<sub>2</sub>)-Gehalte von Mineral- und Tiefenwässern; die angegebenen Nummern entsprechen denen des Datenarchivs Nr. 4 (vgl. Fig. 2 und Tab. 1).

### 3.1.2.1. Magmatische Kohlensäure

W. HOPPE (1972) gibt für den Gehalt an freier Kohlensäure nicht vulkanisch beeinflusster Grundwässer einen Mittelwertsbereich von 10–28 mg/l an. Die eigenen Untersuchungen ergeben einen Mittelwert von 30,7 mg/l bei einer Standardabweichung von  $\pm 14$  mg/l.  $\text{CO}_2$ -Gehalte von über 100 mg/l lassen sich somit bereits dem magmatischen Bereich zuordnen, wenn nicht örtlich erhöhter mikrobieller Abbau organischer Substanzen erfolgt (Mülldeponie u. ä.).

Im fränkischen Raum treten Wässer mit erhöhten  $\text{CO}_2$ -Gehalten, die sich eindeutig auf endogene Vorgänge zurückführen lassen, bevorzugt in Bereichen tieferreichender Störungszonen auf. Der Beobachtung von W. HOPPE (1972), daß Kohlensäure aus dem Magma vornehmlich an den Kreuzungspunkten herzynischer (NW-SE) mit rheinischen (NNE-SSW) Strukturen austritt, kann zugestimmt werden (vergl. Fig. 26 mit geol. Übersichtskarte, Tafel I). Die höchsten  $\text{CO}_2$ -Gehalte werden im Bereich der Basaltvorkommen von Rhön und Vogelsberg erreicht. Als bedeutendste  $\text{CO}_2$ -Förderstruktur ist die Kissingen-Haßfurter Störungszone und ihre Parallelstruktur, die Haßberge-Heustreuer-Zone, zu nennen (Wechsel von NW-SE mit NNE-SSW-Richtungen). Hier läßt sich keine unmittelbare Beziehung zum Basaltvulkanismus erkennen, wenn auch eine deutliche Abnahme der  $\text{CO}_2$ -Werte von NW (Rhön) nach SE (Main) vorhanden ist. Am Main bei Haßfurt werden nur noch 100–250 mg/l erreicht. Einige Tiefenwasservorkommen weisen weitab vom tertiären Basaltvulkanismus beachtliche Kohlensäuregehalte auf, ohne daß Anzeichen für tieferreichende Förderspalten (freie Kohlensäureaustritte) bekannt sind. Da es sich bei diesen Vorkommen um allochthone Wässer handelt (Mürsbach 4/56, Staffelstein 4/59, Nürnberg/Fürth 4/9–13, Mergentheim 4/68, Ingelfingen 4/95), liegt der Schluß nahe, daß die unter hohem hydrostatischem Druck gelöste Kohlensäure mit den Wässern mitgewandert und somit ebenfalls allochthoner Herkunft ist. Die hohen  $\text{CO}_2$ -Partialdrucke tieferer Wässer

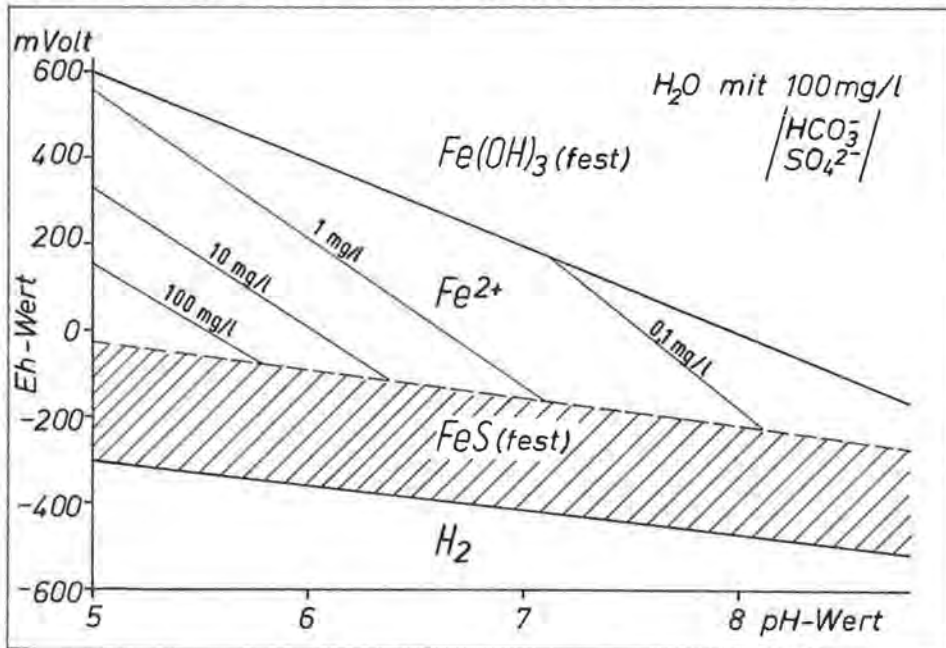


Fig. 27: Löslichkeit des Eisen-II-Ions bei verschiedenen Eh- und pH-Werten in Anwesenheit von jeweils 100 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$ - und  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen (nach zwei Diagr. von J. D. HEM, 1961).

lassen die Hydrogenkarbonat-Werte bis über 3000 mg/l ansteigen (höchster Wert 3600 mg/l, Bavaria-Sprudel, Burgsinn 4/7).

### 3.2. Spurenmetalle

Alle Metalle, die in der Erdkruste zu weniger als 0,1% vorkommen, rechnen U. FÖRSTNER u. G. MÜLLER (1974) zu den Spurenmetallen. Viele der Spurenmetalle sind gleichzeitig als Schwermetalle mit einer Dichte von über 6 g/cm<sup>3</sup> anzusprechen. Eine große Anzahl von ihnen tritt in natürlichen Wässern im Konzentrationsbereich 1–100 µg/l auf. Das Migrationsvermögen der hier behandelten Spurenmetalle (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) läßt sich nach KOPPE (1973) nur teilweise aus chemisch-physikalischen Daten, wie z. B. der Löslichkeit oder dem Ionenradius, ableiten.

Eisen und Mangan, die in tieferen sauerstofffreien Wässern meist Werte von 1000 µg/l übertreffen, sind zwar einerseits zu den Schwermetallen zu rechnen, stellen aber andererseits eine eigene Gruppe dar, die aufgrund ihrer Gehalte zwischen den Hauptionen und den Spurenmetallen einzustufen ist. Für ihre Konzentration im Wasser sind neben dem primären Stoffangebot der Gesteine fast ausschließlich die jeweils herrschenden Redox- und pH-Wertbedingungen ausschlaggebend (Fig. 27). Natürliche Wässer, die mit atmosphärischer Luft in Kontakt stehen, weisen Eh-Werte zwischen 350 und 500 mV auf; selbst in sauren Buntsandsteinwässern mit pH-Werten unter 5 liegt gelöstes Eisen (und auch Mangan) mit weniger als 0,1 mg/l vor. Sauerstofffreie Grundwässer besitzen bei pH-Werten um 7 und Eh-Werten um 0 mV Fe<sup>2+</sup>-Gehalte von 1–5 mg/l; tiefere Wässer mit erhöhten Gehalten an freier Kohlensäure (pH-Werte unter 6) enthalten nicht selten über 10 mg/l Fe<sup>2+</sup>.

In beachtlichem und in der Größenordnung mit Grundwässern vergleichbaren Gehalten gelangen Spurenmetalle heute bereits mit den Niederschlägen auf die Erdoberfläche. Der Vergleich zwischen den gemessenen Metallgehalten in den Niederschlägen und den Grundwasserwerten läßt die Problematik erkennen, die sich bei der Interpretation über die Herkunft der in Grundwässern auftretenden Spurenstoffe ergibt (Tab. 30). Über wesentlich höhere Gehalte von Spurenstoffen in Niederschlägen berichtet U. SCHÖTLER (1975) aus dem Ruhrgebiet (für Cu, Zn, Cd, Pb).

Tab. 30: Mittelwerte von Schwermetallgehalten (µg/l) in Niederschlägen [1] (H. HEINRICHS und R. MAYER, 1977) und Schnee [2] (E. SCHRIMPF und R. HERRMANN, 1978) im Vergleich zu den Mittelwerten vorflutbezogener fränkischer Grundwässer [3] und aus Lösungsversuchen gewonnenen Wässern (Gesteine aus Steinbrüchen und Bohrungen bis 100 m) [4].

	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
[1]	2,1	1,4	21	370	1,2	38
[2]	–	–	4,6	101	–	46
[3]	1,2	6	15	83	0,8	1,5
[4]	5,3	16	18	98	0,8	3,2

Der heutige Niederschlagseintrag von Blei übersteigt in extremer Weise die Mittelwerte der Grundwässer und der durch Lösungsversuche erzeugten Wässer. Chrom, Kupfer und Cadmium zeigen keine bedeutenden Unterschiede, während der Nickelgehalt der Niederschläge eine Zehnerpotenz niedriger liegt. Für Blei stellten H. HEINRICHS und R. MAYER (1977) eine Anreicherung in der oberen Bodenzone fest, unterhalb der Wurzelzone wurde ein Mittelwert von nur noch 14 µg/l festgestellt (20,0 und 8,1), Zink bleibt nach der Durchsickerung der belebten Zone mit 310 µg/l praktisch gleich.

Die Spurenmetallgehalte der fränkischen Grundwässer der aktiven Zone zeigen den Einfluß des Niederschlagseintrages nicht an; die Grundwasserwerte entsprechen weitgehend den durch Lösungsversuche gewonnenen Werten. Die dem anthropogenen Herkunftsbereich zuzuordnenden Schwermetalle Blei und Zink werden offensichtlich in der oberen Deckschichtzone festgehalten und gelangen somit nicht ins Grundwasser.

### 3.3. Statistische Vergleiche von Wasserinhaltsstoffen

Zur weitergehenden Deutung der Herkunft von Wasserinhaltsstoffen wurden die Hauptionen der einzelnen Grundwassertypen untereinander Korrelations- und Regressionsberechnungen unterzogen; die Spurenmetalle wurden jeweils zur Gesamtmineralisation in Beziehung gebracht.

Die Korrelation  $|r|$  wurde nach folgender Formel ermittelt:

$$|r| = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sqrt{\left(x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) \cdot \left(y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}}$$

Die Korrelation  $|r|$  kann maximal den Wert 1 erreichen; der Wert 1 bedeutet einen streng funktionsmäßigen Zusammenhang, der Wert 0 dagegen, daß keinerlei Zusammenhang besteht. Ist  $r$  positiv, so wächst  $y$  mit  $x$ ; ist  $r$  negativ, fällt  $y$ , wenn  $x$  steigt. Da Korrelationen nicht immer der linearen Gleichung  $y = a_0 + a_1 x$  (Regressionsgerade) folgt, wurde die Regression zusätzlich nach der quadratischen Gleichung

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$$

berechnet; die besten Korrelationen ergaben im allgemeinen die quadratische Gleichung. Bei der Berechnung der Beziehung zwischen Spurenmetallkonzentrationen und Gesamtmineralisation erwies sich neben der linearen die logarithmische Funktion

$$y = a_0 \cdot e^{a_1 x}$$

am geeignetsten.

Um aus aussagekräftigen Zusammenhängen folgern zu dürfen, müssen die errechneten Korrelationswerte  $|r|$  auf ihre Signifikanz geprüft werden. Die Signifikanz ist

Tab. 31: Korrelationskoeffizienten  $|r|$  für die Vertrauensbereiche  $P = 95\%$ ,  $P = 99\%$  und  $P = 99,9\%$  in Abhängigkeit zur Anzahl  $n$  der Wertepaare.

n	P = 95%	99%	99,9%
5	0,950	0,990	0,999
10	0,632	0,765	0,872
15	0,514	0,641	0,760
20	0,444	0,561	0,679
30	0,361	0,463	0,570
40	0,312	0,403	0,501
50	0,279	0,361	0,452
75	0,227	0,296	0,373
100	0,197	0,256	0,324
150	0,160	0,210	0,266

von der statistischen Sicherheit  $P$  (= Vertrauensbereich) und der Anzahl  $n$  der verwendeten Werte abhängig. Als untere Grenze für eine Ermittlung von Zusammenhängen wurde von einem Vertrauensbereich  $P = 95\%$  ausgegangen. Dabei bedeutet  $P = 95\%$ , daß mit einer statistischen Sicherheit von  $95\%$  ausgeschlossen werden kann, daß zwischen einem Wertepaar kein innerer Zusammenhang besteht. Eine statistisch gesicherte Korrelation muß aber nicht zwangsweise einen ursächlichen Zusammenhang anzeigen. Ob ein solcher vorliegt, muß im einzelnen beurteilt werden. Mitunter sind Zusammenhänge zwar ursächlicher Natur, eine Interpretation scheidet jedoch auf Grund mangelnden Einblicks.

### 3.3.1. Ergebnisse der Korrelations- und Regressionsrechnungen

#### 3.3.1.1. Hauptionen

Bei den *Zechstein-Wässern der Beckenfazies* korrelieren Natrium und Chlorid praktisch in stöchiometrischer Abhängigkeit mit  $100\%$ iger Signifikanz. Die Korrelation zwischen Kalium und Kalzium ist mit  $99,9\%$  ebenfalls höchst signifikant. Möglicherweise läßt sich das kongruente Verhalten von Kalium und Kalzium auf das Vorkommen des von O. BRAITSCHE (1962) als wichtigstes komplexes Ca-Salz ozeanischer Salzlagerstätten beschriebenen Polyhalitis  $[K_2MgCa_2(SO_4)_4] \cdot 2H_2O$  zurückführen.

Andererseits könnte bei der Lösung von Kaliumchlorid-Salzen wie Carnallit  $[KMgCl_3] \cdot 6H_2O$  und Sylvit  $KCl$  zusätzlich Gips gelöst werden, was zu einer Erhöhung der Kalzium-Ionen führt. Für diese Annahme spricht auch die ausgezeichnete Korrelation zwischen Magnesium und Chlorid, wobei das Magnesium in erster Linie dem Carnallit entstammen dürfte (Fig. 28).

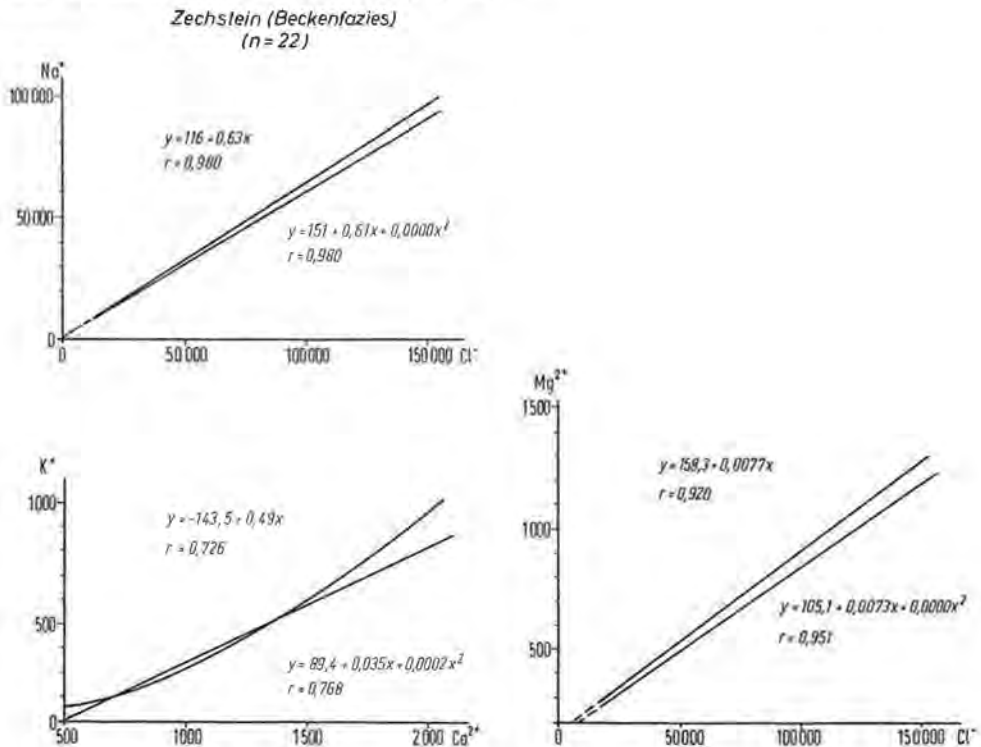


Fig. 28: Korrelationsdiagramme von 22 Zechsteinwässern der Beckenfazies (mg/l).

**Buntsandstein (su+sm)**  
(n=159)

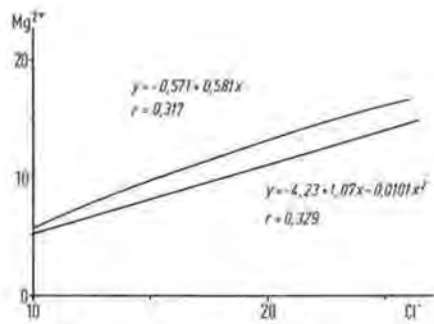
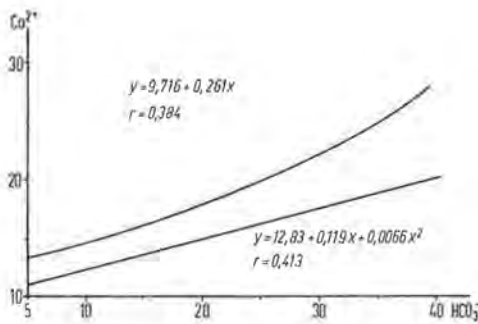
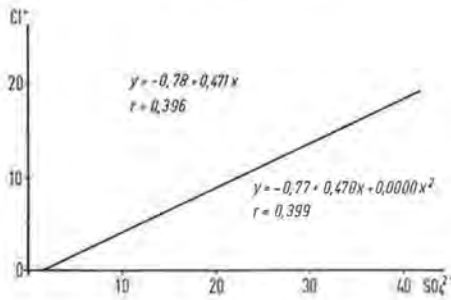


Fig. 29: Korrelationsdiagramme von 159 Wässern des Unteren und Mittleren Buntsandsteins (mg/l).

**Buntsandstein (so)**  
(n=53)

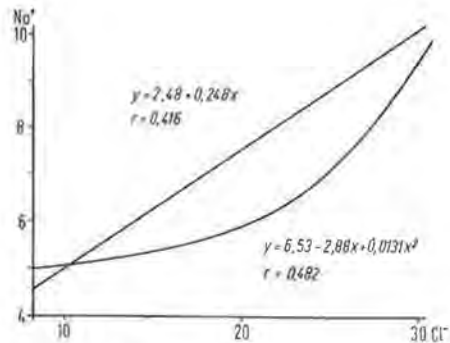
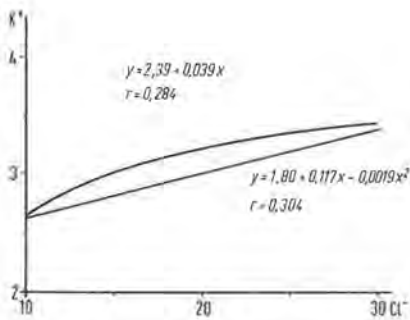


Fig. 30: Korrelationsdiagramme von 53 Wässern des Oberen Buntsandsteins (sulfatfreie Fazies; mg/l).



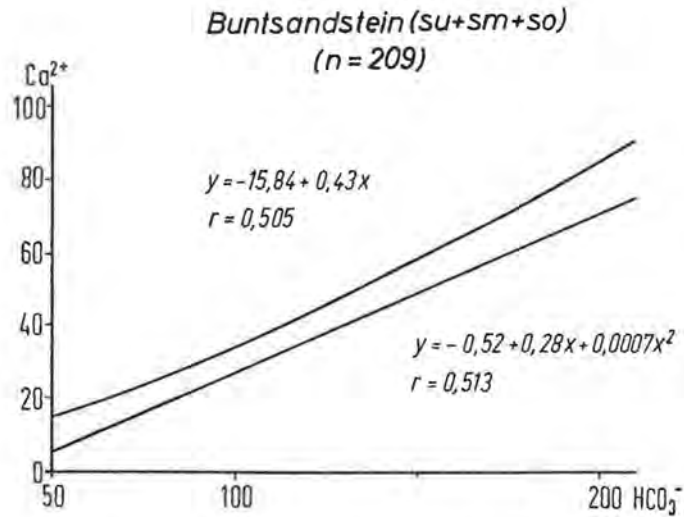


Fig. 31: Korrelationsdiagramm aller Buntsandsteinwässer (n = 209; mg/l).

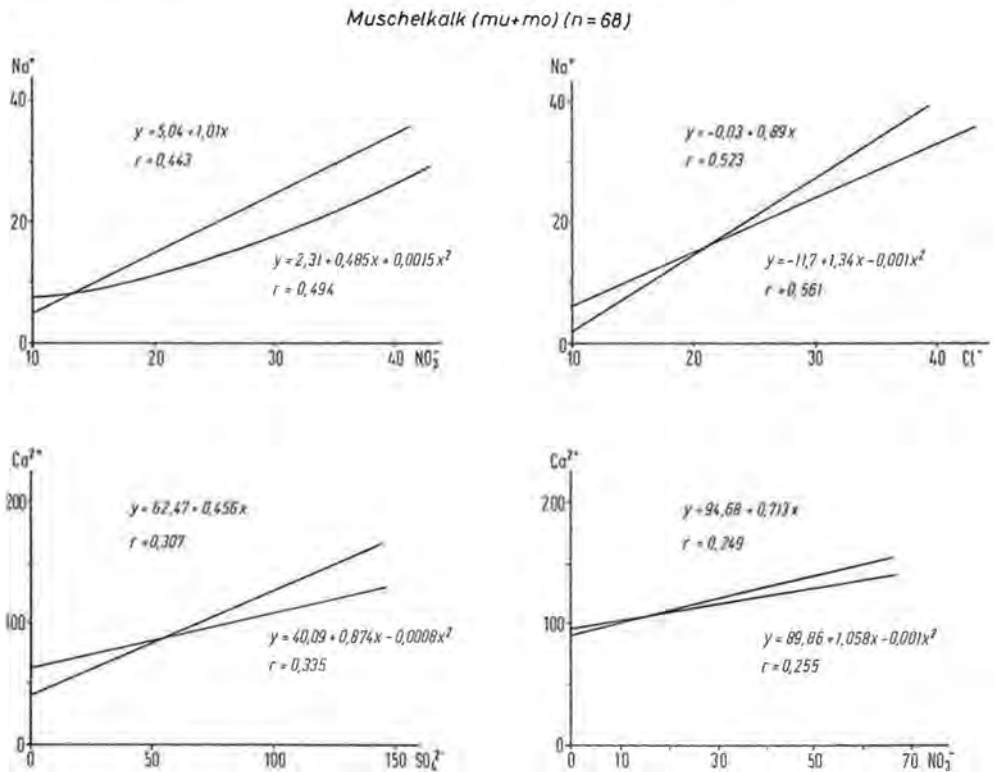


Fig. 32: Korrelationsdiagramme von 68 Wässern des Unteren und Oberen Muschelkalkes (mg/l).

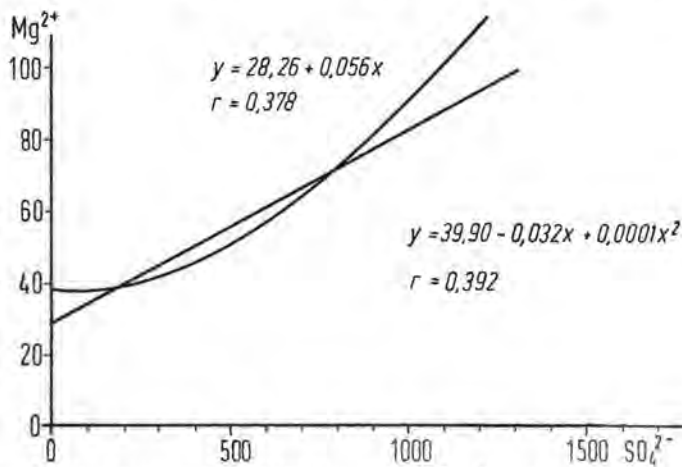
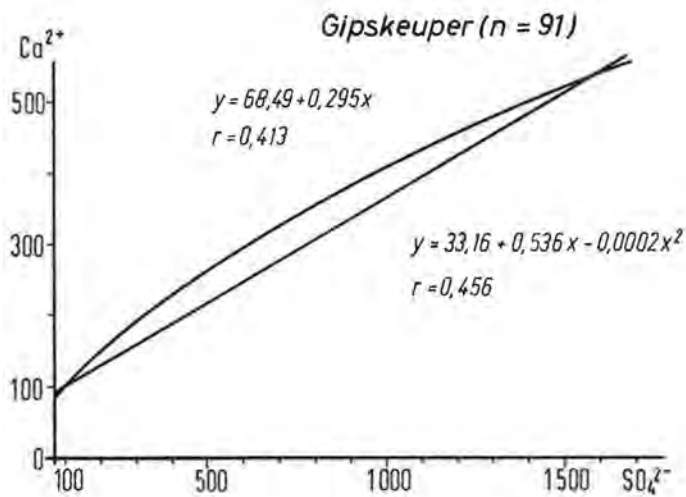


Fig. 33: Korrelationsdiagramme von 91 Wässern des Gipskeupers (mg/l).

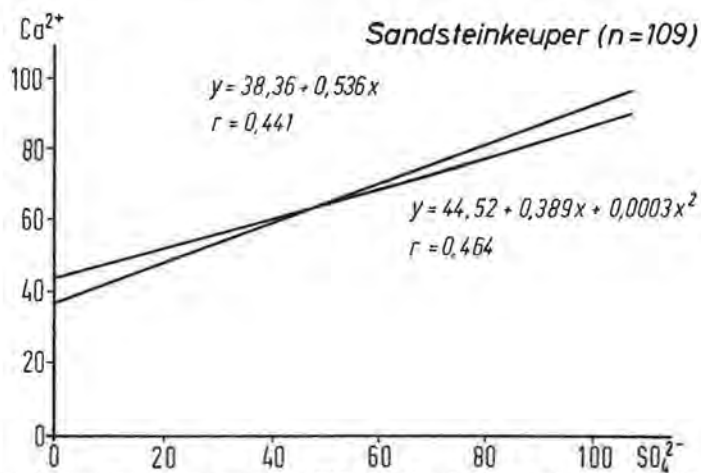


Fig. 34: Korrelationsdiagramme von 109 Wässern des Sandsteinkeupers (mg/l).

Von den *Zechsteinwässern der Randfazies* lagen für Korrelationsberechnungen zuwenig Daten vor.

Die Wässer des *Unteren und Mittleren Buntsandsteins* zeigen bei der Korrelation von Magnesium, Chlorid und Sulfat den anthropogenen Eintrag an, während die Korrelation zwischen Kalzium und Hydrogenkarbonat geogen bedingt ist. Für die Korrelation zwischen Chlorid und Sulfat sowie Magnesium und Chlorid läßt sich vermuten, daß Kainit  $4[K_4Mg_4Cl_4(SO_4)_4] \cdot 11 H_2O$  als Düngemittel im Buntsandsteinbereich Verwendung findet (Fig. 29).

Der *Obere Buntsandstein*, der in weitaus stärkerem Maße landwirtschaftlich genutzt wird als der Untere und insbesondere der Mittlere Buntsandstein, läßt bei Kalium und Chlorid sowie bei Natrium und Chlorid wieder die Düngekomponente erkennen. Dabei ist der Anstieg von Kalium in Abhängigkeit zum Chlorid nur gering. Die gute Korrelation zwischen Natrium und Chlorid darf auf die vorherrschende Anwendung organischen Düngers zurückgeführt werden (Fig. 30).

Unterzieht man *alle Buntsandsteinwässer* einer gemeinsamen Korrelationsanalyse, so bleibt nur noch die deutliche Abhängigkeit zwischen Kalzium und Hydrogenkarbonat erhalten, die mit  $r = 0,5$  bei 209 Wertepaaren zu einer fast 100%igen Ablehnung der Nullhypothese führt (Fig. 31).

Für das düngespezifische Nitrat-Ion sind mit keinem der anderen Ionen signifikante Korrelationswerte errechnet worden. Dies deutet darauf hin, daß der Düngemittelauftrag weitgehend von der Vegetation verwertet wird; die mittleren Nitratgehalte der Buntsandsteinwässer (um 15 mg/l) sind die niedrigsten des Gebietes.

Beim *Muschelkalk* (Unterer und Oberer) sind die Korrelationspaare Natriumnitrat, Natriumchlorid, Kalziumnitrat dem anthropogenen Einfluß zuzurechnen. Die Verknüpfung Kalzium und Sulfat hingegen entspricht dem geogenen Kreis (Fig. 32). Der Anstieg des Kalzium-Ions mit dem Nitrat-Ion ist auf die Erhöhung des  $CO_2$ -Partialdruckes im Boden durch gesteigertes Pflanzenwachstum zurückzuführen, wodurch vermehrt Kalzium-Karbonat gelöst wird (vergl. Kap. 3.1.2.). Die Korrelation zwischen Nitrat und Hydrogenkarbonat lag mit  $r = 0,22$  bei  $P = 93\%$  und damit unterhalb der selbstgewählten Schranke ( $P = 95\%$ ) für eine zu berücksichtigende Abhängigkeit. Für den Mittleren Muschelkalk und den Unteren Keuper lagen zuwenig Daten für Korrelationsberechnungen vor.

*Gips- und Sandsteinkeuper*, bei denen der Kalzium-Sulfatgehalt der Schichten regional stärker schwankt, zeigen eindeutige Korrelation dieser beiden Ionen untereinander (Fig. 33, 34). Nicht ohne weiteres ist die Beziehung zwischen Magnesium und Sulfat zu erklären. Möglicherweise ist Gips in zunehmendem Maße mit dolomitischem Material, insbesondere mit dolomitischen Mergelsteinen, vergesellschaftet. Hinweise hierzu finden sich bei U. EMMERT (1964).

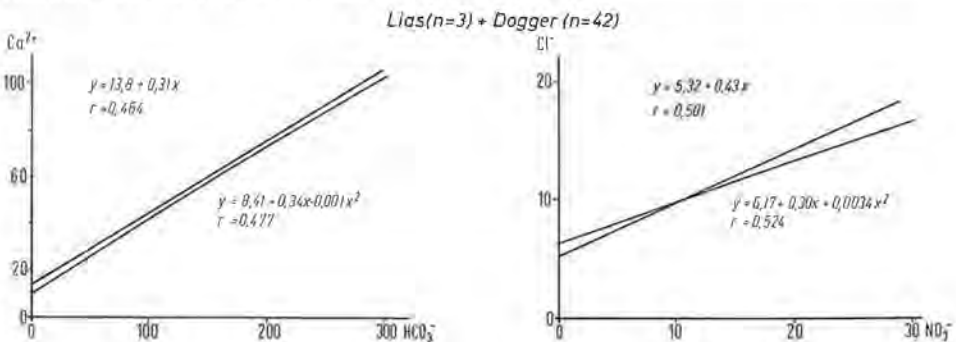


Fig. 35: Korrelationsdiagramme von Lias- ( $n = 3$ ) und Dogger-Wässern ( $n = 42$ ; mg/l).

Die Wässer von *Lias und Dogger* wurden gemeinsam korreliert, wobei der Sonderfall der sulfidisch-sulfatischen Liaswässer nicht berücksichtigt wurde. Kalzium und Hydrogenkarbonat stehen in fast stöchiometrischer Abhängigkeit zueinander. Der Schnittpunkt der Regressionskurven mit der Ordinate weist einen Kalziumwert von 10–15 mg/l auf, der dem Sulfat zugeordnet werden kann. Die anthropogene Komponente wird durch die Korrelation zwischen Chlorid und Nitrat angezeigt (Fig. 35).

Bei den *Malmwässern* (Fig. 36) korrelieren nur anthropogen eingebrachte Stoffe. Die Beteiligung von Natrium und Chlorid weist auf einen beträchtlichen Anteil von Fäkaldüngung hin, während die Durchsickerung von Kalium ins Grundwasser die geringe Bodenbildung auf den Malmkalken deutlich werden läßt. Der zuvor bei den Muschelkalkwässer beschriebene Effekt, der zu einer Korrelation zwischen Kalzium und Nitrat führt, gilt in gleicher Weise für die Malmwässer; die Steigungen der Regressionskurven sind im Malm etwa um den Faktor zwei größer; dafür liegt der Ausgangswert für das Kalzium beim Muschelkalk fast doppelt so hoch wie beim Malm. Effekte, die sich mit der primär schlechteren Bodenentwicklung im Bereich des Malms gegenüber dem Muschelkalk erklären lassen.

### 3.3.1.2. Spurenmetalle

Die Spurenmetalle Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd und Pb wurden miteinander in Korrelation gebracht; kein  $r$ -Wert eines Wertepaares erreichte jedoch den Vertrauensbereich von  $P = 95\%$ . Dies bedeutet, daß keine Zusammenhänge zwischen den einzelnen Spurenmetallen erkennbar sind. Die Korrelation der Spurenmetalle mit der Gesamtmineralisation hingegen erbrachte für Cr, Ni, Cu und Cd ein positives Ergebnis, während Co, Zn und Pb den Vertrauensbereich 95% nicht erreichten. Für Pb ergaben sich 76%, für Co 70%; bei Zn lag der Wert noch niedriger. Der Mittelwert der Zn-Gehalte der Wässer mit einer Gesamtmineralisation von über 1500 mg/l ist mit 46  $\mu\text{g/l}$

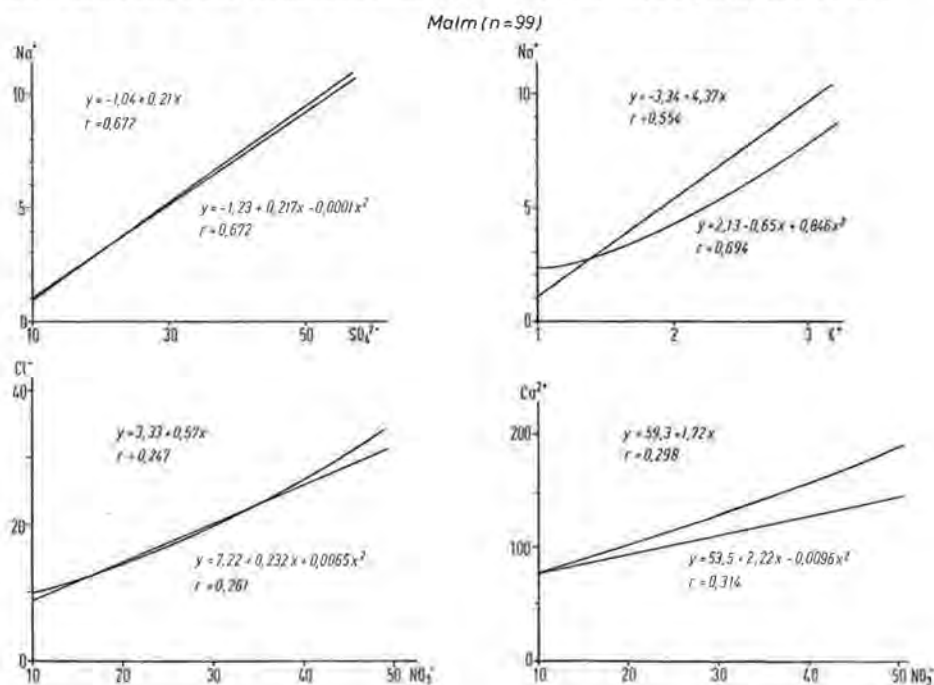


Fig. 36: Korrelationsdiagramme von 99 Malmwässern (mg/l).

nur etwa halb so hoch wie der Mittelwert der Wässer bis 1500 mg/l; möglicherweise macht sich im erhöhten Zn-Gehalt der geringer mineralisierten Wässer die Art der Verrohrung von Fassungsanlagen und deren Ableitungssystem bemerkbar, die bei Trinkwasserversorgungen häufig mit einem Zinküberzug versehen sind, während Fassungen tieferer Wässer mit erhöhten Mineralstoffgehalten und aggressivem Charakter meist mit zinkfreien Materialien ausgeführt werden. Der hochsignifikante Zusammenhang zwischen Kupfer und der Gesamtmineralisation läßt zwanglos den bei vielen Mineralwässer verwendeten Ausbau der Brunnen mit Kupferrohren erkennen; andererseits ist jedoch auch ein natürlicher Zusammenhang nicht auszuschließen. Die Korrelationen der Spurenmetalle ( $y$  in  $\mu\text{g/l}$ ) mit der Gesamtmineralisation ( $x$  in  $\text{mg/l}$ ) ergaben im einzelnen folgende Ergebnisse (vgl. Fig. 37 und 38).

*Chrom:*

$$n = 17$$

$$\bar{x} = 3883$$

$$\bar{y} = 3,63$$

$$y = 1,45 \cdot e^{0,00011 x}$$

$$s_x = 3009 \quad r = 0,502$$

$$s_y = 4,66$$

*Kobalt:*

$$n = 13$$

$$\bar{x} = 7169$$

$$\bar{y} = 12,5$$

$$y = 5,65 + 0,0009 x$$

$$s_x = 4492 \quad r = 0,341$$

$$s_y = 11,9$$

*Nickel:*

$$n = 19$$

$$\bar{x} = 7153$$

$$\bar{y} = 17,09$$

$$y = 5,52 x + 0,0010 x$$

$$s_x = 4718 \quad r = 0,446$$

$$s_y = 12,60$$

*Kupfer:*

$$n = 37$$

$$\bar{x} = 4826$$

$$\bar{y} = 23,47$$

$$y = 5,46 \cdot e^{0,00021 x}$$

$$s_x = 4784 \quad r = 0,532$$

$$s_y = 34,75$$

*Zink:*

$$n = 33$$

$$\bar{x} = 5065$$

$$\bar{y} = 68,37$$

$$y = 67,28 + 0,0002 x$$

$$s_x = 4975 \quad r = 0,0114$$

$$s_y = 97,3$$

*Cadmium:*

$$n = 17$$

$$\bar{x} = 5352$$

$$\bar{y} = 1,61$$

$$y = 0,045 + 0,0003 x$$

$$s_x = 5103 \quad r = 0,555$$

$$s_y = 2,17$$

*Blei:*

$$n = 24$$

$$\bar{x} = 4137$$

$$\bar{y} = 12,73$$

$$y = 3,18 \cdot e^{0,0006 x}$$

$$s_x = 3512 \quad r = 0,253$$

$$s_y = 11,58$$

Für die Mineralisationsgruppen bis 1500 mg/l (überwiegend Wässer der oberen Zone) und über 1500 mg/l (überwiegend tiefere Wässer) lassen sich folgende Mittelwerte angeben:

Tab. 32: Mittelwerte der Spurenmetallkonzentrationen ( $\mu\text{g/l}$ ) der Wässer mit einer Gesamtmineralisation bis 1500 mg/l [1] und einer Gesamtmineralisation über 1500 mg/l [2]

Gruppe	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
[1]	1,2	- <sup>1</sup>	6 <sup>2</sup>	15	83	0,8	1,5
[2]	5,0	12,5	17	25	46	1,9	13,6

<sup>1</sup> Tendenz spricht für Werte unter 1  $\mu\text{g/l}$

<sup>2</sup> aus Regressionsgleichung errechnet

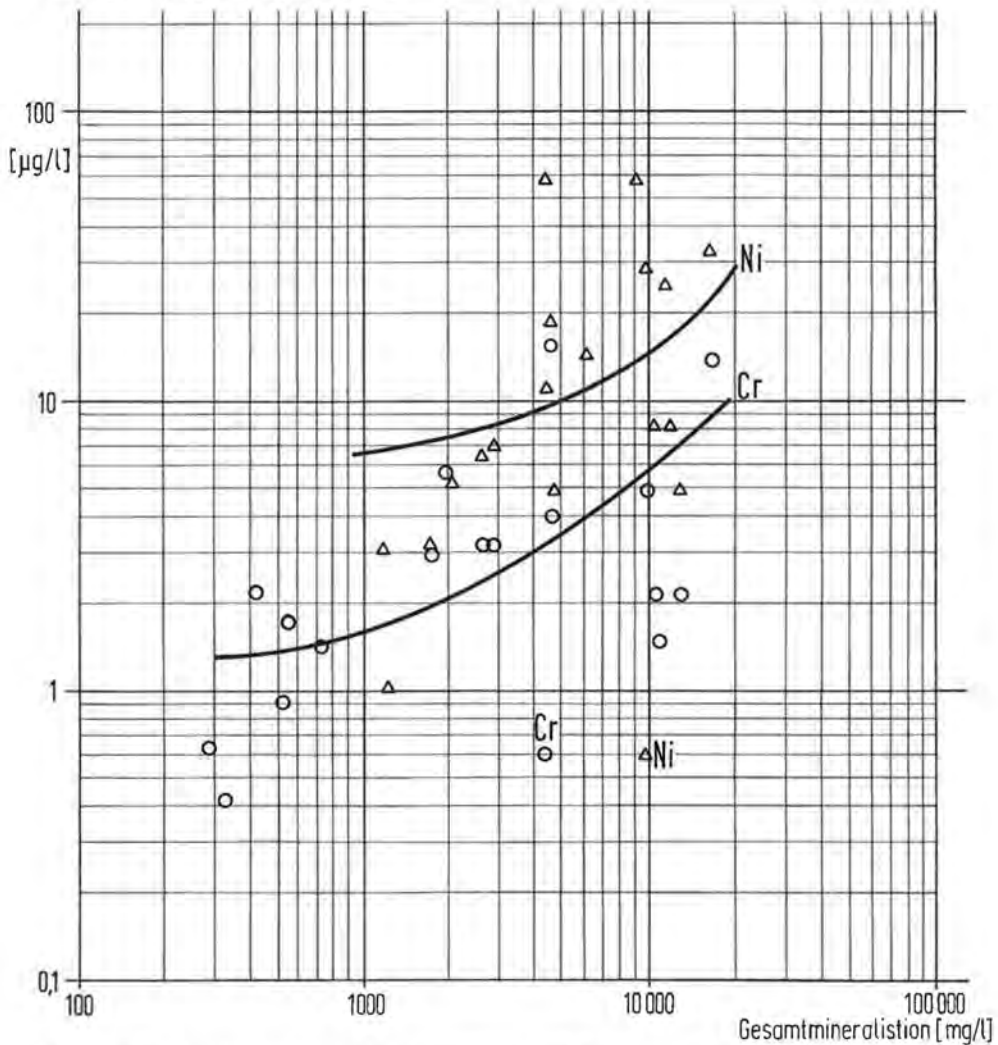


Fig. 37: Korrelationsdiagramm von Chrom bzw. Nickel und Gesamtmineralisation in log-log-Darstellung.

Die gegenüber den Grundwässern der aktiven Zone erhöhten Spurenmetallgehalte der tieferen Wässer lassen sich zwanglos mit dem durch erhöhte Lösung von Gesteinsmaterial konform gehenden Stoffeintrag in Beziehung bringen. Möglicherweise trägt das niedrige Redoxpotential der sauerstofffreien Tiefenwässer mit zur Erhöhung der Metallgehalte bei.

### 3.4. Lösungsversuche

Lösungsversuche sind geeignet, Aussagen über Stoffe und deren Konzentration zu machen, die unter naturähnlichen Bedingungen in Lösung gehen können. Aus dem Vergleich der Wasserinhaltsstoffe mit natürlichen Wässern können somit Rückschlüsse auf den anthropogenen Eintrag gezogen werden.

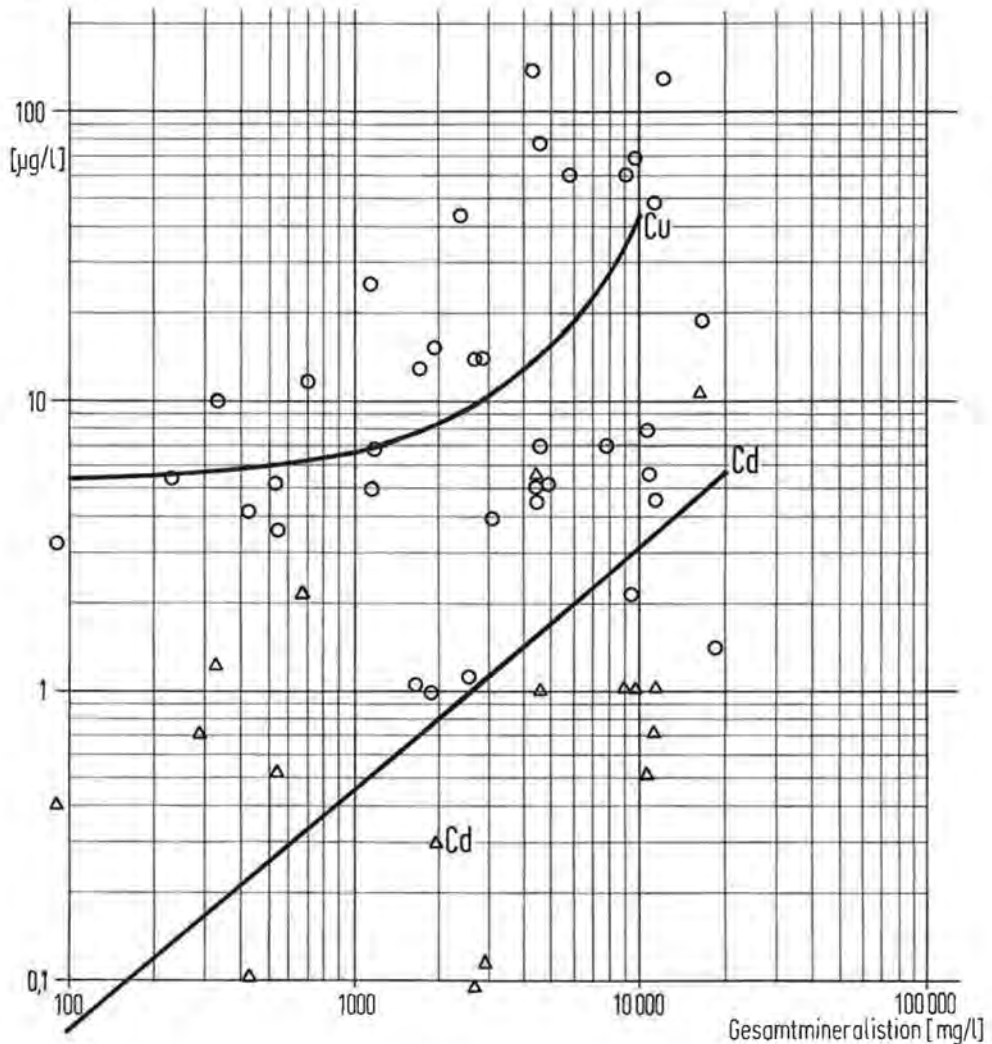


Fig. 38: Korrelationsdiagramm von Kupfer bzw. Cadmium und Gesamtmineralisation in log-log-Darstellung.

### 3.4.1. Methodik

Das zu untersuchende Gesteinsmaterial wird metallfrei zerkleinert und in einer Achatmühle zermahlen und gesiebt. Die Korngrößen  $<0,2$  mm werden in destilliertem Wasser aufgeschlämmt, mit Kohlendioxid und Wasserstoff zwei Stunden lang begast, wobei der Wasserstoff zur Entfernung von Restsauerstoff aus dem Kohlendioxid dient; das abströmende Gas wird abgefackelt. Nach der Gaseinleitung wird die  $\text{CO}_2$ -gesättigte Suspension gasdicht verschlossen und 24 Stunden lang geschüttelt. Der Partialdruck des  $\text{CO}_2$  liegt dabei um 1 bar.

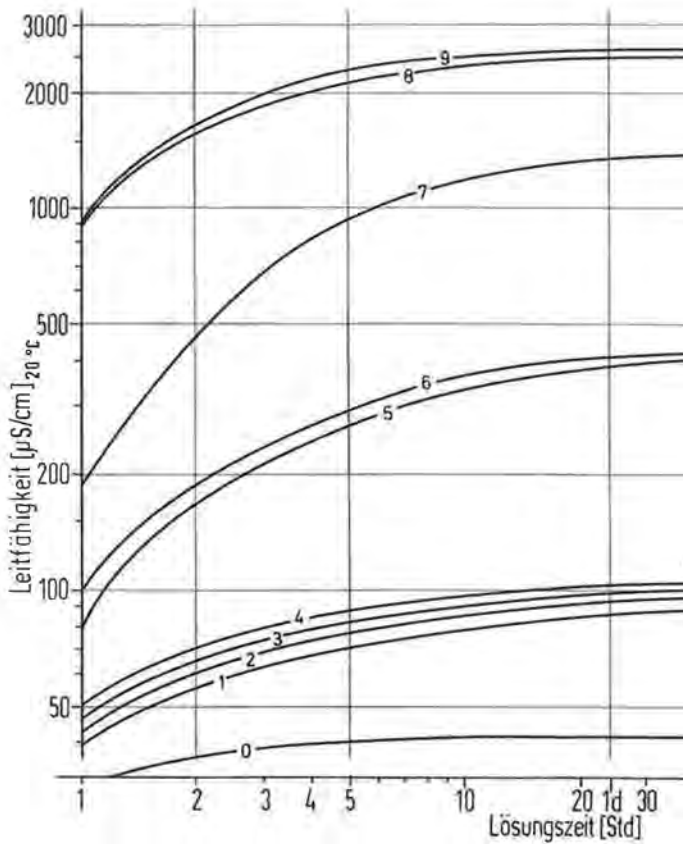


Fig. 39: Lösungsdiagramm verschiedenen Gesteinsmaterials. Die am Ende der Lösungszeit erreichten Leitfähigkeiten entsprechen weitgehend den Werten der jeweiligen Grundwässer; der karbonatreiche Wellenkalk (7) erreicht auf Grund des  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes von 1 bar höhere Werte als die normalen Muschelkalkwässer.

0	Unt. Buntsandstein, stark silikatisch	25 g/l mit $\text{CO}_2$
1		25 g/l ohne $\text{CO}_2$
2	Mittl. Buntsandstein, silikat. (karbonat.)	50 g/l ohne $\text{CO}_2$
3		25 g/l mit $\text{CO}_2$
4		50 g/l mit $\text{CO}_2$
5	Ob. Buntsandstein, karbonat.-silikat.	25 g/l mit $\text{CO}_2$
6	Ob. Buntsandstein, karbonat.-silikat.	50 g/l mit $\text{CO}_2$
7	Unt. Muschelkalk, rein karbonatisch	25. u. 50 g/l mit $\text{CO}_2$
8	Mittl. Muschelkalk, Anhydrit (+ karbonat.)	25 g/l mit $\text{CO}_2$
9	Mittl. Muschelkalk, Anhydrit (+ karbonat.)	25 g/l mit $\text{CO}_2$



Es zeigte sich bei Vorversuchen (Fig. 39), daß bei karbonat- und sulfathaltigen Gesteinen eine Einwaage von 25 g/l für eine 24-stündige Schütteldauer ausreichend war, um repräsentative Werte zu erhalten. Bei Schluff- und Sandsteinen (karbonat- und sulfatarm) wurden z. T. durch höhere Einwaagen auch höhere Konzentrationen erzielt, jedoch stieg bei einer Verdoppelung der Einwaage die Lösungskonzentration nur um 20% an, so daß auch hier die „Standardmenge“ von 25 g/l zur Anwendung kam; von chloridreichem Material (z. B. Salztone) wurden 250 g/l eingewogen.

#### *Herkunft der Proben*

Neben den von K. MÄRZ (1977) veröffentlichten Daten, die mit in die Mittelwertbildung der Tabelle 33 einfließen, stammen die Ergebnisse von Proben aus folgenden Bohrungen (Die Bohrungen sind auf Fig. 2 und Tab. 1 verzeichnet):

1. Bohrung *Siebener-Sprudel Brückenau* (Proben aus dem Mittleren und Unteren Buntsandstein; Bohrung Nr. 13)
2. Bohrung *Georgi-Sprudel Brückenau* (Proben aus Rotliegendem und Grundgebirge = Quarzglimmerschiefer; Bohrung Nr. 14)
3. Bohrung *Knetzgau* (Proben aus Unterem Keuper bis Mittlerem Buntsandstein; Bohrung Nr. 24)
4. Bohrung *Königshofen* (Bohrkernprobe aus Unterem Keuper, Unterem, Mittlerem Muschelkalk; Bohrung Nr. 15)
5. Bohrung *Staffelstein* (Bohrkernprobe aus dem Zechstein in Randfazies; Bohrung Nr. 24)<sup>1</sup>
6. Bohrung *Zeitlofs* (Proben aus Buntsandstein bis Rotliegend; Bohrung Nr. 18)

Zusätzlich zu dem Material aus Bohrungen sind Proben von Steinbrüchen des Buntsandsteins und Keupers untersucht worden.

#### **3.4.2. Ergebnisse**

Die durch Lösungsversuche erzeugten Wassertypen entsprechen in allen Werten den natürlichen Wässern des betreffenden Grundwasserleiters (vgl. Tab. 33). Dies gilt sowohl für tiefere Grundwässer im Vergleich mit Gesteinen aus Bohrungen unterhalb 100 m als auch für Grundwässer der oberen Zone, die mit Lösungswässern verglichen wurden, deren Gesteinsmaterial aus Steinbrüchen und Bohrungen bis 20 m u. G. stammten. Größere Unterschiede treten nur beim Hydrogenkarbonat-Ion und dem äquivalenten Kalzium-Ion auf, deren Konzentration von der Begasung mit Kohlendioxid abhängt. Die natürlichen Wässer mit biogenem CO<sub>2</sub> erreichen maximale HCO<sub>3</sub>-Konzentrationen von ca. 550 mg/l, während die künstlich erzeugten Wässer von Karbonatgesteinen bei einem Partialdruck von etwa 1 bar 1100–1200 mg/l HCO<sub>3</sub> enthalten. Diese Werte sind bei Säuerlingen verbreitet (vgl. Kap. 3.1.2.).

Der Vergleich von Lösungswässern aus Gesteinen gleicher stratigraphischer und fazieller Ausbildung, aber unterschiedlicher Auslaugung, läßt bei den Buntsandsteinproben deutliche Unterschiede erkennen. Sowohl der Untere und Mittlere Buntsandstein als auch der Obere Buntsandstein (hier Plattensandsteine und Untere Röttone) sind in größeren Tiefen karbonat- und sulfathaltig, während die über den Vorflutern liegenden Gesteine weitgehend nur noch silikatisches Material enthalten. Die meist quarzitische Bindung der Sandsteine über der Vorflut im Gegensatz zu denen in größerer Tiefe dürfte auf sekundäre Verkieselung nach Lösung des primären Bindemittels im Sinne einer Metasomatose weisen.

Im Vergleich mit den entsprechenden Werten natürlicher Wässer liegen im allgemeinen die *Chlorid-* und *Nitratgehalte* der Lösungswässer deutlich niedriger. Der Nitratgehalt, der sich aus den Gesteinen löst, liegt bei max. 1 mg/l; die Chloridwerte

<sup>1</sup> Freundlicherweise von Dr. G. GUDDEN, Bayer. Geol. Landesamt, zur Verfügung gestellt.

schwanken in stärkerem Maße, überschreiten aber selten 10 mg/l. Besonders beachtenswert ist der Unterschied zwischen Gesteinen oberhalb und unterhalb der Vorflut beim Sulfat- und Hydrogenkarbonatgehalt des Buntsandsteins. Das leichter lösliche Sulfat weist dabei die größten Differenzen auf (Kation: Kalzium). Bei den *Spurenmittalen* sind die Differenzen zwischen den Werten der natürlichen Wässer und den Lösungswässern meist unbedeutend. Nur Zink und Blei zeigten stärkere Abweichungen, die sich jedoch als statistisch nicht signifikant erwiesen. Beachtenswert ist die Tatsache, daß der Niederschlagseintrag an Spurenmittalen (bis auf Nickel) in der gleichen Größenordnung wie der Stoffaustrag der natürlichen Wässer liegt (siehe Tab. 30). Da der Stoffaustrag, durch die Lösungsversuche belegt, unmittelbar aus dem Gesteinsmaterial der von Sicker- und Grundwasser durchflossenen Schichten stammt, muß es im Deckschichtenbereich zu einer Anreicherung von Spurenmittalen in der Größenordnung des Niederschlagseintrags kommen.

### 3.5. Vergleich der mittleren Gesamtmineralisation aller Grundwässer der oberen Zone mit dem Mainwasser

Etwa 90% der untersuchten Grundwässer gehören dem Flußgebiet des Mains an (Obermain und Mittelmain). Folgt man der Annahme, daß nach längerem Trockenwetter in den Bächen und Flüssen ausschließlich Grundwasser zum Abfluß gelangt, so muß eine Übereinstimmung zwischen den Mittelwerten der Inhaltsstoffe aller im Einzugsgebiet vorhandenen Grundwässer und dem Flußwasser gegeben sein. Zu dem natürlich abfließenden Grundwasser kommt das anthropogen in den Fluß einge-

Tab. 33: Mittelwerte und Standardabweichungen von Lösungsanalysen verschiedener geologischer Einheiten. Die Angabe „unter 100 m“ und „bis 20 m“ zeigt die Herkunft der Gesteinsproben in bezug auf die Geländeoberfläche an.

mg/l	Rotliegend		Zechsteinrand		Unterer und Mittlerer Buntsandstein			
	unter 100 m		unter 100 m		unter 100 m		bis 20 m	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Na <sup>+</sup>	12,6	5,2	17,2	10,5	23,8	10,6	1,8	0,6
K <sup>+</sup>	5,2	2,5	13,1	3,9	12,9	4,7	2,7	1,4
Mg <sup>2+</sup>	4,1	4,0	16,5	22,7	10,4	3,7	2,5	2,4
Ca <sup>2+</sup>	201	63	386	239	196	158	13,3	10,7
Sr <sup>2+</sup>	1,8	2,4	2,7	2,1	1,6	1,2	0,1	0,1
Cl <sup>-</sup>	0,5	0,4	6,2	1,7	10,4	9,5	1,8	1,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,8	0,4	1,7	1,1	0,9	0,3	0,9	1,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	275	105	641	581	513	481	2,6	0,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	325	115	474	212	134	38	34	13,8
Summe:	826		1528		903		60	
$\mu$ /l	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Cr	4,7	2,9	5,5	4,3	4,5	1,8	10,3	17,3
Co	8,1	4,6	7,8	6,0	13,5	10,4	5,3	4,0
Ni	13,3	8,6	16,4	9,8	-	-	18,3	14,6
Cu	22,9	19,0	5,1	8,8	6,9	8,6	8,0	8,9
Zn	262	133	165	152	224	183	102	62
Cd	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,5	0,6	0,6
Pb	11,6	16,4	5,3	6,2	1,5	0,6	13,0	14,7

brachte Abwasser, dem in einem größeren Flußgebiet eine konstante Größe im Hinblick auf Qualität und Quantität zugeschrieben werden kann. Die geogene Grundlage des Abwassers ist wiederum das Grundwasser, so daß sich im Abwasser anthropogene und geogene Komponenten mischen.

Für das Einzugsgebiet des Main reicht auch nach starken Niederschlägen eine Trockenperiode von ca. 30 Tagen aus, in der keine bzw. nur geringe Niederschläge fallen, um die Trockenwetterlinie (TWL) bzw. die Linie des unterirdischen Abflusses (AuL) im Sinne von E. NATERMANN (1951, 1955) und W. WUNDT (1958, 1967) zu erreichen.

Die Niederschläge im Einzugsgebiet des Main hatten im September 1977 mit ca. 22 mm nur etwa 40–45% des Normalwertes erreicht, wobei die höchsten Werte am Anfang des Monats gefallen waren (Angaben aus „Monatlicher Witterungsbericht für Nordbayern“). Die Verdunstung, berechnet nach W. HAUDE (1954), lag unter Berücksichtigung der Korrektur nach G. EINSELE et al. (1969) für September 1977 bei 60–70 mm; die Voraussetzungen für idealen Trockenwetterabfluß waren somit gegeben. Ende September 1977 wurden an den Mainpegeln *Steinbach* (nordöstliches Mainviereck,  $F_N = 17.914 \text{ km}^2$ ) und *Kleinheubach* (südwestliches Mainviereck,  $F_N = 21.505 \text{ km}^2$ ) Wasserproben entnommen und analysiert (Tab. 36, 37). Am Pegel Kleinheubach betrug der Abfluß am 25. September 1977 im Tagesmittel  $56,8 \text{ m}^3/\text{s}$  (Auskunft BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT); dieser Abflußwert entspricht weitgehend dem Mittleren Niedrigwasserabfluß (MNQ) der Jahresreihe 1959–1973 von  $54,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (Dt. Gewässerk.-Jb., Rheingebiet, Abschnitt Main, Abflußjahr 1973); um diesen Wert hatte der Abfluß bereits seit mehreren Tagen geschwankt.

Fortsetzung Tab. 33:

Oberer Buntsandstein (Plattensandstein) unter 100 m		bis 20 m		Unterer und Oberer Muschelkalk unter 100 m		bis 20 m		Mittlerer Muschelkalk (Sulfatfazies) unter 100 m		bis 20 m		Unterer Keuper bis 20 m	
n = 4		n = 6		n = 9		n = 5		n = 7		n = 4		n = 6	
$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
13,4	7,3	0,8	0,6	21,5	16,4	1,4	0,3	10,5	10,0	4,4	2,1	2,8	2,6
6,6	3,4	2,0	1,4	7,3	4,5	3,3	1,6	4,6	2,8	3,1	1,8	6,6	6,1
15,3	4,6	5,1	2,7	14,6	5,2	12,4	7,4	5,7	4,6	4,9	2,2	17,8	10,7
216	153	26,2	13,1	293	108	328	112	621	195	352	138	79	40
1,3	0,8	—	—	3,5	1,4	1,2	0,8	5,3	1,4	—	—	0,4	0,1
2,5	1,6	2,1	0,9	8,6	4,3	2,4	1,1	11,2	8,4	4,9	2,9	4,3	3,3
0,8	0,2	0,9	0,6	1,1	0,4	0,9	0,4	1,2	0,8	0,9	0,3	0,8	0,3
456	341	5,8	3,6	31	24	4,8	2,7	1119	344	422	310	61	59
258	119	97	37	976	208	1050	138	557	446	580	362	286	141
970		140		1353		1403		2330		1372		458	
$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1,6	2,0	5,8	5,0	1,5	1,0	—	—	3,7	1,6	3,3	2,4	2,7	1,6
11,9	8,3	9,9	7,4	9,9	2,8	—	—	7,6	1,7	6,6	4,3	6,7	6,4
22,6	18,7	—	—	17,2	15,4	—	—	—	—	15,4	9,6	14,4	9,9
24,4	16,9	25,6	18,3	39,4	10,9	27,1	18,8	34	8,5	26	14	12,7	13,6
57	12,9	142	88	87	34	104	60	85	43	74	52	66	50
0,1	0,05	1,6	1,3	0,2	0,1	0,5	0,5	1,8	2,3	0,7	0,7	0,4	0,3
1,4	1,0	2,6	1,9	8,2	11,1	3,9	2,1	4,6	4,2	3,4	2,9	3,1	1,7

Die theoretische mittlere chemische Zusammensetzung des Grundwassers, das am Main zwischen Steinbach und Kleinheubach abfließt, wurde nach zwei verschiedenen Methoden errechnet:

1. als Mischwasser aus allen einzugsgebietsbezogenen Analysen ( $n = 667$ ) ohne das tiefere Grundwasser (Tab. 34),
2. als gewogener Mittelwert des Mischwassers aus allen Wässern der Gruppen 1–3 ( $n = 864$ ; Tab. 35).

Beide Berechnungen führten zu einem in allen Werten fast identischen Ergebnis; der Nitratwert der Tab. 34 wurde auf die Mittelwertanalyse der Tab. 35 übertragen.

Tab. 34: Mittelwerte der Grundwässer der oberen Zone im Maininzugsgebiet ( $n = 667$ )

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	524	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,0		
	mg/l	mval/l	mval-%
<b>Kationen:</b>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	8,5	0,37	5,09
Kalium ( $\text{K}^+$ )	3,6	0,09	1,26
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	22,0	1,81	24,96
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	99,7	4,97	68,69
Summe:		7,24	100,00
<b>Anionen:</b>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	16,5	0,47	6,45
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	19,1	0,31	4,26
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	117,3	2,44	33,74
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	245,2	4,02	55,55
Summe:	531,9	7,23	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	28		
Ionenstärke	11,85	mmol/l	

Tab. 35: Mittelwerte aller Analysendaten ( $n = 864$ ) Grundwässer der Gruppen 1–3 ( $n = 864$ )

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20^\circ}$ )	530	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	6,9		
	mg/l	mval/l	mval-%
<b>Kationen:</b>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	9,1	0,40	5,46
Kalium ( $\text{K}^+$ )	3,0	0,08	1,06
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	23,5	1,93	26,67
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	97,1	4,85	66,81
Summe:		7,25	100,00
<b>Anionen:</b>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	13,2	0,37	5,07
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	19,1	0,31	4,19
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	125,8	2,62	35,60
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	247,2	4,05	55,14
Summe:	538	7,35	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	28		
Ionenstärke	12,00	mmol/l	

Der Vergleich des Mainwassers an den Pegeln Steinbach und Kleinheubach mit den Mittelwerten des vorflutbezogenen Grundwassers verdeutlicht die außerordentliche Übereinstimmung zwischen theoretischem Ansatz (Grundwasserabfluß bei Trockenwetter) und tatsächlichen Gegebenheiten; darüber hinaus wird die Richtigkeit der durchgeführten Differenzierung zwischen Grundwasser der oberen Zone und tieferem Grundwasser bestätigt. Nicht zu übersehen sind jedoch die signifikanten Differenzen bei den Ionen Natrium, Kalium, Chlorid und Nitrat. Natrium, Kalium und Chlorid liegen im Main etwa um den Faktor 3 höher als der Mittelwert der Grundwässer; Nitrat ist etwa um 50% erhöht (Fig. 40).

Tab. 36: Analyse des Mainwassers am Pegel Kleinheubach; Probenahme am 25. 9. 1977

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	637		$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$
pH-Wert	7,7		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	30,8	1,34	17,92
Kalium ( $\text{K}^+$ )	8,4	0,22	2,87
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	19,8	1,63	21,78
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	86,1	4,30	57,43
<i>Summe:</i>		7,48	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	43,3	1,22	16,42
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	29,2	0,47	6,32
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	108,0	2,25	30,20
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	213,6	3,50	47,06
<i>Summe:</i>	539,2	7,44	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	n. b.		
Ionenstärke	11,55	mmol/l	

Tab. 37: Analyse des Mainwassers am Pegel Steinbach; Probenahme am 25. 9. 1977

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{20}^{\circ}$ )	660		$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$
pH-Wert	7,6		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	26,4	1,15	15,10
Kalium ( $\text{K}^+$ )	9,2	0,24	3,10
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	21,6	1,78	23,36
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	89,1	4,45	58,44
<i>Summe:</i>		7,61	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	52,3	1,47	18,03
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	27,8	0,45	5,47
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	118,0	2,45	30,02
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	231,9	3,80	46,48
<i>Summe:</i>	576,0	8,18	100,00
freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	n. b.		
Ionenstärke	12,33	mmol/l	

### 3.5.1. Einfluß des Abwassers

Für das Einzugsgebiet des Mains bis Pegel Kleinheubach werden bei 2,2 Mio Einwohnern insgesamt 3,8 Mio. Einwohnergleichwerte angegeben (BAYER. STAATSMINISTERIUM DES INNEREN 1974). Einwohner und Einwohnergleichwert darf mit 200 l Abwasser pro Tag gerechnet werden, woraus sich eine Abwassermenge von etwa  $9 \text{ m}^3/\text{s}$  errechnet. Am Mainpegel Kleinheubach flossen somit am 25. September 1977 ca.  $48 \text{ m}^3/\text{s}$  Grundwasser und  $9 \text{ m}^3/\text{s}$  Abwasser ab. Nach M. STRELL (1955) sind Natrium und Chlorid der Hauptbestandteil eines kommunalen Abwassers, wobei er für NaCl einen Mittelwert von  $125 \text{ mg/l}$  angibt. Die gemeindlichen Abwässer *Frankens* enthalten häufig  $70\text{--}150 \text{ mg/l}$  Chlorid, der Mittelwert dürfte bei  $100 \text{ mg/l}$  liegen. F. PÖPEL (1976) gibt für Kali (wohl  $\text{K}_2\text{O}$ ?)  $40 \text{ mg/l}$  und für den Gesamtstickstoff (N)  $85 \text{ mg/l}$  und für Phosphat (berechnet als P)  $15 \text{ mg/l}$  an.

#### 3.5.1.1. Berechnung des abwasserspezifischen Eintrages von $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Cl}^-$ , N und P

Der Abwasseranteil an den untersuchten Mainpegeln beläuft sich bei mittlerem Niedrigwasser (MNQ) auf ca. 20% des Grundwasserabflusses. Es darf angenommen werden, daß Magnesium-, Kalzium-, Sulfat- und Hydrogenkarbonat-Ionen im Abwasser gegenüber dem Grundwasser weitgehend unverändert vorliegen. Andeutungsweise ist sogar eine statistisch nicht gesicherte Abnahme der meisten dieser Ionen im Mainwasser gegenüber dem Grundwasser festzustellen, die auf Enthärtungseffekte (Kalziumkarbonat- und Kalziumphosphatfällung) im Abwasser und Vorfluter zurückgeführt werden können. Der pH-Wert des Mainwassers lag bei  $7,6\text{--}7,7$ , während der mittlere Grundwasser-pH-Wert mit  $6,9\text{--}7,0$  errechnet wurde. Dieser pH-Wert-Anstieg im Mainwasser deutet ebenfalls auf durch Änderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes hervorgerufene Karbonatfällung hin.

Die Erhöhung der Gesamtmineralisation des Abwassers gegenüber dem Leitungswasser ist überwiegend auf Alkali- sowie Chlorid- und Nitrat-Ionen zurückzuführen. Dieser Stoffeintrag ist im Mainwasser eindeutig meßbar (errechnet auf  $\frac{1}{5}$  Abwasser,  $\frac{4}{5}$  Grundwasser). Für das Abwasser errechnen sich folgende Werte:

$$\begin{aligned}\text{Na}^+ &= 95 \text{ mg/l}; \text{K}^+ = 30 \text{ mg/l}; \text{Cl}^- = 145 \text{ mg/l}; \\ \text{NO}_3^- &= 45 \text{ mg/l}; \text{P} = 5 \text{ mg/l}; \text{Summe } 320 \text{ mg/l}.\end{aligned}$$

Der Kaliumwert stimmt weitgehend mit den Literaturangaben für kommunales Abwasser überein (K. und K. R. IMHOFF, 1976, F. PÖPEL, 1976). Natrium und Chlorid liegen jedoch deutlich über den Werten kommunaler Kläranlagen; für die Erhöhung kommt gewerbliches und industrielles Abwasser in Frage. Da für kommunale Abwässer im Mittel eine weitgehende konstante Zusammensetzung vorausgesetzt werden kann, dürfte das nicht kommunale Abwasser (50% des Abwassers) im Mittel  $140 \text{ mg/l}$  Natrium und  $240 \text{ mg/l}$   $\text{Cl}^-$  enthalten; die Schwankungen sind im einzelnen jedoch sicherlich als beträchtlich anzusehen.

Während die Alkali- und Chlorid-Ionen auf ihrem Fließweg in den Oberflächengewässern keine Veränderungen erfahren, ist für die Stickstoff- und Phosphorverbindungen eine extreme Reduzierung der Abwasserwerte im Main gegenüber dem Abwasser festzustellen. Die Literaturangaben für Stickstoffverbindungen (berechnet als N) schwanken zwischen  $30$  und  $80 \text{ mg/l}$ ; aus der errechneten Nitratzunahme von  $45 \text{ mg/l}$  im Abwasser resultiert jedoch nur ein N-Wert von ca.  $10 \text{ mg/l}$ ; der Ammonium-Gehalt lag an den Pegeln Steinbach und Kleinkenbach deutlich unter  $1 \text{ mg/l}$ . Bei Phosphat ist die Differenz zwischen Eintrag und Wasserwert im Main noch größer; so liegt im filtrierten Mainwasser der P-Gehalt meist um  $1 \text{ mg/l}$  (freundliche mündl. Mitt. DURÉ und N. GEORGOTAS, Institut für Wasserchemie der TU München).

Ohne die Vorgänge zu diskutieren, die zur Verringerung dieser Stoffe im Mainwasser führen, erfolgt für Stickstoff ein Austrag über die Gasphase ( $\text{NH}_3$ , möglicherweise  $\text{N}_2$ ), während Phosphat überwiegend als  $\text{CaPO}_4$  gefällt ins Sediment gehen wird. Zusätzlichen Einfluß dürften biologische Aktivitäten haben.

### 3.5.2. Folgerungen

Ohne den Einfluß des Menschen auf das Grundwasser und das Mainwasser würde bei Grundwasserabfluß (MNQ) im Main an den Pegeln *Steinbach* bzw. *Kleinheubach* ein Wasser abfließen, wie es die Tab. 38 in rekonstruierter Form wiedergibt (Fig. 40, nicht schraffierte Fläche). Der diffuse flächenhafte Auftrag anthropogen transportierter Stoffe auf die Böden erbringt mit dem geogenen Anteil das heutige Grundwasser der aktiven Zone, wie es im Main ohne Abwasseranteil zum Abfluß gelangen müßte; der Abwasseranteil im Fluß kommt als weiteres additives Glied hinzu.

Tab. 38: *Rekonstruierte Analyse eines Mainwassers, wie es abfließen würde, wenn das Einzugsgebiet unbesiedelt wäre.*

spez. elektr. Leitfähigkeit ( $k_{90}^0$ )	460	$\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	
pH-Wert	7,5		
	mg/l	mval/l	mval-%
<i>Kationen:</i>			
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	5,0	0,22	3,40
Kalium ( $\text{K}^+$ )	2,0	0,05	0,80
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	20,0	1,65	25,70
Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	90,0	4,49	70,10
<i>Summe:</i>		6,41	100,00
<i>Anionen:</i>			
Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )	7,0	0,20	3,11
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	4,0	0,06	1,02
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	115,0	2,39	37,72
Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	225,0	3,69	58,15
<i>Summe:</i>	468,0	6,34	100,00
<i>freies Kohlendioxid (<math>\text{CO}_2</math>)</i>	25		
<i>Ionenstärke</i>	10,64	mmol/l	

Die nachfolgende Tabelle gibt den Stoffaustrag durch das Grundwasser im Main-einzugsgebiet wieder; hier wird deutlich, daß auch heute noch in einer Kulturlandschaft, wie sie das fränkische Gebiet darstellt, 85% der gelöst abfließenden Stoffe gebietsspezifisch geogener Natur sind.

Tab. 39: *Rein geogener Stoffaustrag des Grundwassers [1], anthropogener Eintrag ins Grundwasser [2] und Abwasseranteil [3] bei mittlerem Niedrigwasser am Mainpegel Kleinheubach (in 1000 t/a)*

	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{P}_{\text{ges}}$	$\Sigma$
[1]	8,8	3,5	35	158	12	7,0	202	395	0,01 <sup>1</sup>	821
[2]	7,0	1,8	3,5	11	14	26	8,8	26	0,03 <sup>1</sup>	98
[3]	33	11	-3,5	-13 <sup>2</sup>	51	16	0	-35 <sup>2</sup>	1,7	53
$\Sigma$	48,8	16,3	35	156	77	49	211	386	1,7	981

<sup>1</sup> geschätzte Werte

<sup>2</sup> reduziert durch Karbonatfällung

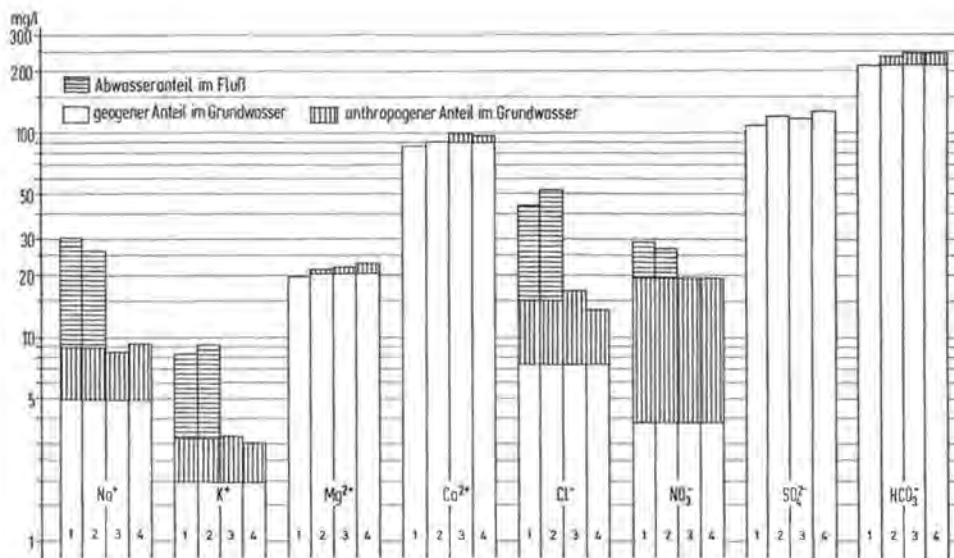


Fig. 40: Konzentrationen der Hauptionen im Mainwasser am Pegel Kleinheubach [1] und am Pegel Steinbach [2] im Vergleich mit den errechneten Mittelwerten der Grundwässer im Einzugsgebiet des Mains [3] (Tab. 34) und allen Grundwässern Frankens der Gruppen 1-3 [4] (Tab. 35).

Bei den Spurenmetallen liegen bisher zuwenig Forschungsergebnisse vor, um die Grundwasserwerte mit den Werten des Mainwassers in ausreichend gesicherte Beziehungen bringen zu können. Auf Grund einiger stichpunktartiger Messungen kann jedoch gefolgert werden, daß die Werte von Chrom und Blei im Mainwasser (filtriert  $0,45 \mu$ ) um etwa eine Zehnerpotenz höher liegen als die Mittelwerte der Grundwässer der oberen Zone (Tab. 32, [1]); bei Kupfer ist die Tendenz zu höheren Werten erkennbar.

## 4. Anhang

### 4.1. Datenerfassung und -verarbeitung

Zur Datenverarbeitung stand ein Hewlett-Packard-Tischrechner, Modell 9810 A, mit 111 Datenregistern und 2036 Programmschritten zur Verfügung. Zur externen Datenspeicherung wurde die Magnetbandkassette 9864 A verwendet; die Datenausgabe und das Schreiben der Wasseranalysen des Anhangs erfolgten mit der Schreibmaschine 9861 A. Auf einem Magnetband konnten ca. 110 Einzelanalysen mit je 69 Daten gespeichert werden. Für die Korrelationsberechnung sowie für die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung war jeweils eine Umschichtung auf andere Datenbänder notwendig. Um die Analysenanzahl auf den Speicherbändern möglichst gering zu halten, wurden Wasseranalysen gleicher stratigraphischer Herkunft, die von einem Kartenblatt bzw. aus einem eng umgrenzten Bereich stammten, vor der Speicherung zusammengefaßt. Die Eignung von Analysen zur Dateneingabe wurde von ihrer analytischen Genauigkeit abhängig gemacht. Analysen mit einem größeren relativen Fehler von 5% zwischen Kationen- und Anionen-mval-Summe



wurden nicht verwendet. Die Hauptgruppierung und -zuordnung der Wässer auf die Archivbänder 3 und 4 wurde nach den Kriterien

- a) überwiegend vorflutbezogene Grundwässer (obere Zone; Band 3)
- b) tiefere Grundwässer (Band 4)

vorgenommen. Für die Zuordnung waren

- Fassungstiefe,
- Temperatur,
- Sauerstoffgehalt,
- geologisch-tektonische Situation

einer Quelle oder eines Brunnens entscheidend. Wie sich jedoch im Verlaufe der weiteren Bearbeitung zeigte, war bei Wässern vom Oberen Buntsandstein bis in den Malm eine systematische Trennung zwischen tieferen und höheren Grundwässern bei mangelnden Angaben über Temperatur bzw. Sauerstoffgehalte nur mit Hilfe der Gesamtmineralisation nicht möglich. Daher sind einige Wässer des Archivbandes 4 mit dem Hinweis versehen: „Entspricht vorflutbezogenem Grundwasser.“ Bei tieferen Wässern des Archivbandes 3 findet sich der Hinweis „Bohrungen“; sie entsprechen jedoch in ihrem Chemismus weitgehend den vorflutbezogenen Grundwässern.

#### 4.1.1. Datensystematik

Der Herkunftsort jeder Analyse ist durch die Angabe von *Rechtswert R* und *Hochwert H* lagemäßig definiert. Sind mehrere Analysen zu einer Mittelwertanalyse zusammengefaßt, so sind die südwestlichen R- und H-Werte auf dem betreffenden Kartenblatt 1 : 25.000 maßgebend. Die stratigraphische Zuordnung, Autochthonie bzw. Allochthonie und der Aquifer, in dem sich das Wasser befindet, ist dem *stratigraphischen Code STRC* zu entnehmen; er umfaßt insgesamt fünf Stellen, die ersten drei Stellen geben die ursprüngliche Herkunft des Wassers wieder (siehe 4.1.1.1.), die vierte Stelle des STRC bedeutet:

- 0 = autochthones Wasser
- 1 = Mischwasser (vertikale Mischung)
- 2 = allochthones Wasser

Die fünfte Stelle gibt an, wo das Wasser angetroffen wurde:

- 0 = im Mutterstein
- 1 - 9 folgen der stratigraphischen Grundordnung (erste Stelle des STRC)  
z. B. 3 = Buntsandstein

1. *Beispiel:* STRC 52200 bedeutet:

Das Wasser stammt aus dem Sandstein-Keuper, ist autochthon (0), befindet sich folglich auch im Muttergestein (0).

2. *Beispiel:* STRC 22113 bedeutet:

Das Wasser stammt aus dem Zechstein-Randbereich, ist ein Mischwasser (mit Buntsandstein) und befindet sich im Buntsandstein (z. B. Riedenbergr 4/32).

3. *Beispiel:* STRC 22225 bedeutet:

Das Wasser stammt aus dem Zechstein-Becken, ist allochthon und befindet sich im Keuper (5) (z. B. Königshofen 4/75).

Es ist auch der Fall möglich, daß sich ein Wasser aus dem Zechsteinbecken allochthon im Faziesbereich des Zechsteinrandes befindet; dies wird durch den STRC-Schlüssel 22222 ausgedrückt (z. B. Zeitlofs 4/92).

Die *Analysenart AA* wird durch einen dreistelligen Schlüssel angegeben. Die erste Stelle, eine 1, bringt zum Ausdruck, daß es sich um eine Analyse des Grundwassers handelt (2 = Oberflächenwasser). Die zweite Stelle gibt die Fassungsart bzw. -tiefe an:

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 1 = Quelle ungefaßt   | } unter Gelände |
| 2 = Quelle gefaßt     |                 |
| 3 = Brunnen bis 20 m  |                 |
| 4 = Brunnen bis 100 m |                 |
| 5 = Brunnen über 100  |                 |

Die dritte Stelle bezeichnet die Analyse nach ihrem Umfang:

- 1 = Übersichtsanalyse
- 2 = Kleine Heilwasseranalyse
- 3 = Große Heilwasseranalyse
- 4 = Übersichtsanalyse mit Spurenmetallen

*Beispiel:* AA 154 bedeutet: Bei der Wasseranalyse handelt es sich um ein Grundwasser aus über 100 m Tiefe, von dem eine Übersichtsanalyse (meist 8 Hauptionen) mit Angaben von Spurenmetallgehalten vorliegt.

Die Angabe des *Datums DAT* erfolgt sechsstellig in der Reihenfolge Jahr (75), Monat (03), Tag (28). DAT 750328 bedeutet somit 28. März 1975. In den allermeisten Fällen handelt es sich bei der Datumsangabe um den Tag der Probenahme. Bei Mittelwertanalysen, die aus einem Jahr, aber zu verschiedenen Monaten stammen, ist nur das Jahr verzeichnet (750000). Stammen Analysen, die zusammengefaßt wurden, aus mehreren Jahren, so ist das am längsten zurückliegende Jahr zuerst genannt, dann folgt die Jahreszahl der neuen Analyse. AA 687300 bedeutet, daß die Analysen in den Jahren 1968 bis 1973 erfolgten und zu einer Mittelwertanalyse zusammengefaßt wurden.

Im Datenarchiv des Anhangs sind von den Analysendaten nicht alle gespeicherten Werte wiedergegeben: Das hier verwendete System wurde aus Gründen der Platzersparnis und der besseren Übersicht gewählt. Neben den Hauptionen, deren Summe abgedruckt ist, sind (soweit angegeben) das freie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), die Metalle Strontium, Mangan und Eisen, die Halogene Fluorid, Bromid und Jodid sowie die Spurenmetalle Chrom, Cobalt, Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium, Quecksilber und Blei abgedruckt.

Als Beispiel für eine umfassende Analyse soll der Ausdruck der großen Heilwasseranalyse des Rakocky-Brunnens von Kissingen vom 1. Oktober 1975 dienen (siehe 4.1.1.3.).

#### 4.1.1.1. Stratigraphische Code-Liste (STRC) für die ersten drei Ziffern des insgesamt fünfstelligen Codes

100 Grundgebirge	226 Z.-Karbonate	nur für
110 Kambrium	227 Z.-Sulfate	Lösungsvers.
120 Ordovicium	228 Z.-Chloride	
130 Silur		
140 Devon	300 Buntsandstein	
141 Unterdevon	310 Unterer BS	
142 Oberdevon	311 Bröckelschiefer	
150 Karbon	320 Mittl. BS	
200 Perm	321 Solling-Folge	
210 Rotliegend	330 Oberer BS	
211 Unterrotliegend	331 Plattensandst.	
212 Oberrotliegend	332 Röt	
220 Zechstein	400 Muschelkalk	
221 Z.-Rand	410 Unterer MK	
222 Z.-Becken	420 Mittl. MK	
225 Z.-Pelite	421 Mittl. MK Sulfat	

422 Mittl. MK Chlorid  
 430 Oberer MK  
 500 Keuper  
 510 Unterer Keuper  
 511 ku-Mergel  
 512 ku-Sandstein  
 520 Mittl. Keuper  
 521 Gips-Keuper  
 522 Sandst.-Keuper  
 530 Rät  
 600 Jura

610 Lias  
 620 Dogger  
 630 Malm  
 700 Kreide  
 710 Untere Kreide  
 720 Obere Kreide  
 800 Tertiär  
 810 Alttertiär  
 820 Jungtertiär  
 890 Basalte  
 900 Quartär

#### 4.1.1.2. Analysen-Schlüssel

Band- stelle	Inhalt	Aus- druck	Band- stelle	Inhalt	Aus- druck
0	Rechtswert	R	35	Cu	µg/l CU
1	Hochwert	H	36	Zn	ZN
2	Stratigr.	STRC	37	Cd	CD
3	Analysenart	AA	38	Hg	HG
4	Datum	DAT	39	Pb	PB
5	pH-Wert	PH	40	Al	AL
6	pH-Wert Heyer	PHH	41	As	AS
7	Eh-Wert	EH	42	Se	SE
8	Leitfähigk µS/cm	LF	43	Cn	CN
9	Temperatur ° C	TMP	44	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	mg/l SI
10	Li mg/l	LI	45	HBO <sub>2</sub>	B
11	Na	NA	46	H <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub>	µg/l TI
12	K	K	47	CO <sub>2</sub>	mg/l CO2
13	NH <sub>4</sub>	NH4	48	O <sub>2</sub>	O2
14	Mg	MG	49	KMnO <sub>4</sub>	KMNO4
15	Ca	CA	50	CSB	CSB
16	Sr	SR	51	C org.	C
17	Mn	MN	52	Polycycl Arom.	µg/l PLC
18	Fe	FE			
19	F	F			
20	Cl	CL	53	Dichte	g/cm <sup>3</sup> D
21	NO <sub>2</sub>	NO2	54	Abdampf- rückst.	mg/l ABD
22	NO <sub>3</sub>	NO3	55	Glüh- rückst.	GLR
23	SO <sub>4</sub>	SO4	56	Glühverl.	GLV
24	HCO <sub>3</sub>	HCO3	57	CO <sub>2</sub>	Vol % CO2
25	Rb	RB	58	CO	CO
26	Cs	CS	59	O <sub>2</sub>	O2
27	Ba	BA	60	N <sub>2</sub>	N2
28	Br	BR	61	H <sub>2</sub>	H2
29	J	J	62	H <sub>2</sub> S	H2S
30	HPO <sub>4</sub>	HPO4	63	He	HE
31	S	S	64	Ar	AR
32	Cr	µg/l CR	65	CH <sub>4</sub>	CH4
33	Co	CO	66	Rn	nCi RN
34	Ni	NI			

#### 4.1.1.3. Vollständiger Ausdruck einer Analyse des Datenarchivs (Rakoczy – Bad Kissingen)

ARCHIV NR 4/22

R	357693		CU	70.0	µg/l
H	556286		ZN	15.0	
STRC	22213		CD	1.0	
AA	133		HG	0.2	
			PB	2.0	
DAT	751001				
			AL	13.0	
PH	5.9		AS	3.9	
PHH	-0.0		SE	-0.0	
EH	-0.0		CN	-0.0	
LF	13100				
TMP	12.6	GR.C	SI	13.7	mg/l
			B	6.64	
LI	1.38	mg/l	TI	49.0	µg/l
NA	2529.00		CO2	2991.0	mg/l
K	95.00		O2	0.0	
NH4	0.14				
MG	198.40		KMNO4	0.0	
CA	555.40		CSB	-0.0	
SR	3.85		C	-0.0	
MN	1.19		PLC	-0.0	µg/l
FE	10.90				
F	0.25		D	1.00820	g/cm <sup>3</sup>
CL	4093.00		ABR	9368.0	mg/l
NO2	0.00		GLR	8376.0	
NO3	2.22		GLV	992.0	
SO4	876.70				
HCO3	1380.00		CO2	99.6	VOL %
			CO	0.0	
RB	-0.00		O2	0.1	
CS	-0.00		N2	0.3	
BA	0.31		H2	0.0	
BR	7.78		H2S	0.0	
J	0.10		HE	0.0	
HPO4	0.07		AR	0.0	
S	0.00		CH4	0.0	
			RN	0	nCi
CR	-0.0	µg/l			
CO	14.0				
NI	27.0				

0 = nicht nachweisbar

-0 = nicht bestimmt

#### 4.2. Suchregister

Dieses Register dient zum Auffinden einzelner Mittelwertanalysen des Datenarchivs. Jeder Archivnummer ist eine laufende Nummer zugeteilt; nach dieser ist der Inhalt der Datenarchive geordnet (Abschn. 4. 3.).

*Beispiel:* Gesucht wird die Herkunft der Analyse mit der Archiv-Nr. 3/15. Diese ist unter der laufenden Nr. 43 zu finden. Es handelt sich hierbei um eine Mittelwertanalyse von 15 Wasserproben des Sandsteinkeupers, zitiert in den Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern, Blatt 6329 Baudenbach (4.3.1.).

Analyse Nr. 4/7; laufende Nr. 97, Bavariasprudel Burgsinn; aus K.-E. QUENTIN (1970) (4.3.2.).

#### 4.2.1. Suchregister für Analysen des Datenarchivs 3/

Archiv-Nr.	laufende Nr.	Archiv-Nr.	laufende Nr.
3/2	19	3/53	36
3	20	54	37
4	24	55	38
5	76	56	51
6	73	57	52
7	42	58	63
8	11	59	62
9	44	60	32
10	nicht besetzt	61	31
11	21	62	30
12	22	63	33
13	9	64	34
14	10	65	59
15	43	66	64
16	nicht besetzt	67	58
17	75	68	71
18	nicht besetzt	69	72
19	85	70	60
20	84	71	61
21	nicht besetzt	72	66
22	86	73	nicht belegt
23	88	74	nicht belegt
24	87	75	35
25	89	76	50
26		77	45
27	77	78	49
28	78	79	23
29	80	80	67
30	18	81	29
31	nicht besetzt	82	25
32	nicht besetzt	83	26
33	nicht besetzt	84	17
34	nicht besetzt	85	68
35	nicht besetzt	86	69
36	nicht besetzt	87	70
37	nicht besetzt	88	57
38	nicht besetzt	89	65
39	12 und 81	90	39
40	13 und 82	91	40
41	14 und 83	92	41
42	46	93	54
43	48	94	55
44	47	95	56
45	1	96	74
46	2	97	79
47	3	98	15
48	4	99	16
49	5	100	53
50	6	101	89a
51	8		
52	7		

#### 4.2.2. Suchregister für Analysen des Datenarchivs 4/

Archiv-Nr.	laufende Nr.	Archiv-Nr.	laufende Nr.
4/0	90	4/2	92
1	91	3	93

Archiv-Nr.	laufende Nr.	Archiv-Nr.	laufende Nr.
4	94	4/50	160
5	95	51	161
6	96	52	162
7	97	53	163
8	98	54	164
9	99	55	165
10	100	56	166
11	101	57	167
12	102	58	168
13	103	59	169
14	104	60	170
15	105	61	171
16	106	62	172
17	107	63	140
18	108	64	141
19	109	65	142
20	110	66	143
21	111	67	144
22	112	68	145
23	113	69	146
24	114	70	147
25	115	71	148
26	116	72	149
27	117	73	173
28	118	74	174
29	119	75	175
30	120	76	150
31	121	77	151
32	122	78	152
33	123	79	153
34	124	80	154
35	125	81	155
36	126	82	156
37	127	83	157
38	128	84	176
39	129	85	178
40	130	86	179
41	131	87	180
42	132	88	181
43	137	89	158
44	138	90	177
45	139	91	182
46	133	92	183
47	134	93	184
48	135	94	185
49	136	95	159

**Legende der geologischen Kurzbeschreibungen des folgenden Abschnittes 4.3.**

pp = Präperm	k = Keuper (ungegl.)
z = Zechstein	ku = Unterer Keuper
s = Buntsandstein (ungegl.)	kmg = Gipskeuper
su = Unterer Buntsandstein	kms = Sandsteinkeuper
sm = Mittlerer Buntsandstein	ko = Oberer Keuper
so = Oberer Buntsandstein	j = Jura (ungegl.)
m = Muschelkalk (ungegl.)	jl = Lias
mu = Unterer Muschelkalk	jb = Dogger
mm = Mittlerer Muschelkalk	jw = Malm
mo = Oberer Muschelkalk	b = Basalt

### 4.3. Inhalt der Datenarchive 3/ und 4/

Das Datenarchiv 1/ enthält Mineral- und Heilquellen der Bundesrepublik Deutschland; das Datenarchiv 2/ dient zur Aufnahme der Werte von Lösungsanalysen. Die Datenarchive 3/ und 4/ wurden eigens für diese Arbeit erstellt.

#### 4.3.1. Datenarchiv 3/ (hierzu Fig. 1)

Dieses Archiv enthält überwiegend Analysendaten von Wässern der oberen Zone, geordnet nach Nummern der Geologischen Karte 1 : 25.000 und hydrogeologischen Spezialarbeiten. Tiefere Grundwässer sind durch\*) gekennzeichnet (Bohrungen).

Blatt Nr.	Blatt-Name	Formation	Anzahl der Analysen	Archiv-Nr.	lfd. Nr.
<i>Hessischer Anteil</i> (siehe auch B. HÖLTING & J. D. THEWS, 1976)					
5222	Grebenau	su	11	3/45	1
5225	Eiterfeld	mu	3	3/46	2
5225	Geisa	so	8	3/47	3
5324	Hünfeld	sm	8	3/48	4
		so	5	3/49	5
		mu	3	3/50	6
5523	Neuhof	sm	25	3/52	7
		b	2	3/51	8
5623	Schlüchtern	sm	12	3/13*)	9
		b	17	3/14	10
<i>Bayerischer Anteil</i>					
5732	Sonnefeld	kms	19	3/ 8*)	11
5734	Wallenfels	sm	8	3/39	12
		so	2	3/40	13
		mu	4	3/41	14
5829	Hofheim/Ufr.	kmg	4	3/98	15
		kms	11	3/99	16
5833	Burgkunstadt	kms	6	3/84*)	17
5834	Kulmbach	sm	1	3/30	18
				(4/88)	
5920	Alzenau	q	35	3/ 2	19
		pp	23	3/ 3	20
5921	Schöllkrippen	su	7	3/11	21
		z	5	3/12	22
5926	Geldersheim	mo	8	3/79	23
5931	Ebensfeld	kms (g)	5	3/ 4*)	24
5933	Weismain	jb	8	3/82	25
		jw	17	3/83	26
6021	Haibach	pp	3	3/38	27
		su	11	3/37	28
6022	Rothenbuch	su	20	3/81	29
6032	Scheßlitz	ko	1	3/62*)	30
		jl	3	3/61	31
		jb	10	3/60	32
		lw	12	3/63	33
				3/64	34
6033	Hollfeld	jw	26	3/75	35
6125	Würzburg-Nord	mm	1	3/53	36
6225	Würzburg-Süd	mm	1	3/54	37
				(4/86)	
		mm	1	3/55	38

Blatt Nr.	Blatt-Name	Formation	Anzahl Analysen	Archiv-Nr.	lfd. Nr.
6327	Markt Einersheim	mo	4	3/90	39
(6427)	Uffenheim	ku	6	3/91	40
		kmg	2	3/92	41
6329	Baudenbach	kmg	6	3/ 7*)	42
		kms	15	3/15	43
6330	Uehlfeld	kms	9	3/ 9*)	44
6332	Erlangen-Nord	kms	8	3/77	45
6427	Uffenheim				
(6327)	Markt Einersheim		siehe 6327		
6428	Bad Windsheim	kmg	9	3/42	46
6429	Neustadt a. d. A.	kmg	17	3/44	47
		kms	27	3/43	48
6430	Emskirchen	kms	10	3/78	49
6431	Herzogenaurach	kms	3	3/76	50
6433	Lauf a. d. P.	kms	14	3/56	51
		ko/jl	15	3/57	52
6627	Rothenburg o. d. T.	mm	1	3/100	53
6634	Altdorf b. Nürnberg	kms	13	3/93	54
		jb	18	3/94	55
		jw	7	3/95	56
6732	Roth b. Nürnberg	kms	6	3/88	57
6735	Deining	jb	13	3/67	58
		jw	16	3/65	59
6827	Feuchtwangen/W	kmg (s)	9	3/70	60
				3/71	61
6829	Ornbau	kmg (s)	2	3/59*)	62
		kms	6	3/58	63
6830	Gunzenhausen	kms	10	3/66	64
6831	Spalt	kms	7	3/89	65
6832	Heideck	kms	5	3/72*)	66
6930	Heidenheim	kms	6	3/80	67
6932	Nennslingen	kms	2	3/85	68
		jb	6	3/86	69
		jw	4	3/87	70
7031	Treuchtlingen	jb	3	3/68	71
		jw	16	3/69	72

Aus Dissertationen stammen folgende Analysendaten:

UDLUFT, P. (1969):					
	Gebiet Sinn bis	su	8	3/ 6*)	73
	Bad Brückenau	sm	29	3/96	74
		b	2	3/17	75
GEORGOTAS, N. (1972):					
	Gebiet Fränkische				
	Saale				
	Heustreu bis Bad				
	Kissingen	mo	31	3/ 5	76
MARZ, K. (1977):					
	Gebiet Frän-	sm	8	3/27*)	77
	kische Saale	so	10	3/28*)	78
	Bad Kissingen	so	30	3/97	79
	bis Mündung	mu	13	3/29	80
	Gebiet Kro-	sm	26	3/39	81
	nach und Neu-	so	8	3/40	82
	stadt bei Co-	mu	12	3/41	83
	burg				



KRAUSPE, A. (1970): Bereich Ans- bach	kmg	28	3/20	84
	kmg (s)	25	3/19	85
MÜLLER, W. (1970): Bereich SW Nürnberg	kmg	6	3/22	86
	kmg (s)	7	3/24	87
	kms	15	3/23	88
	kms	13	3/25	89
SCHMITT, P. (1979): Bereich obere Fränkische Saale	ku	61	3/101	89a

#### 4.3.2. Datenarchiv 4/ (hierzu Fig. 2 und Tab. 1)

Dieses Archiv enthält überwiegend Analysendaten von tieferen Grundwässern, zum Teil aber auch Daten höher mineralisierter Wässer der aktiven Zone. Diese sind durch † gekennzeichnet.

	<i>Formation</i>	<i>Archiv-Nr.</i>	<i>lfd. Nr.</i>
QUENTIN, K.-E. (1970): Atzhausen			
„Grötschmühle“	ku	4/ 0 <sup>†</sup>	90
Bammersdorf			
„Tiefbrunnen“	kms	4/ 1	91
Bocklet			
„Balthasar-Neumann-Quelle“ (neue Analyse 1976 D. EICHELSDÖRFER)	z/s	4/ 2	92
Brückenuau			
„Schwefelquelle“	z	4/ 3	93
„Stahlquelle“ (Spurenmehalle 1976. P. UDLUFT)	z	4/ 4	94
„Georgsprudel“	pp/r/z	4/ 5	95
Burgbernheim			
„Doktorsbrunnen“	kmg	4/ 6	96
Burgsinn			
„Bavariasprudel“	z	4/ 7	97
Castel/Ufr.			
„Quelle“	kmg	4/ 8	98
Fürth			
„König-Ludwig-Quelle I“	k	4/ 9	99
„Gustav-Adolf“	m/k	4/10	100
„Espan Oberer Horizont“	k	4/11	101
„Espan Mittlerer Horizont“	m/k	4/12	102
„Espan Unterer Horizont“	s/m/k	4/13	103
Grettstadt			
„Burkartsbrunnen“	ku	4/14	104
Großalbersdorf			
„Quelle“	jl/jb	4/15 <sup>†</sup>	105
Großwallstadt			
„Tiefbohrung“ (neue Analyse mit Spurenmehallen . . . (P. UDLUFT & W. REGNET, 1972)	pp/z/s	4/16	106
Happurg			
„Gesundbrunnen“	jl/jb	4/17 <sup>†</sup>	107
Grub a. Forst			
„Kupferbrunnen“	kms(g)	4/18	108
Heustreu			
„Salzbrunnen“	z/s	4/19	109
Haßfurt			
„Benediktiner-Quelle“	mm	4/20	110

	Formation	Archiv.-Nr.	lfd. Nr.
Hollstadt			
„Oberer Sauerbrunnen“	z/s	4/21	111
Kissingen			
„Rakozcy“ (neue Analyse 1976, W. REGNET)	z/s	4/22	112
„Schönbornsprudel“	z/s	4/23	113
„Luitpoldsprudel“	z/s	4/24	114
Kitzingen			
„Sole Reubelshof“	mm	4/25	115
Kothen			
„Pilsterquelle“ (siehe P. UDLUFT 1969)	su	4/26	116
Lendershausen			
„Säuerling“ (Analyse von 1927/28)	m/k	4/27	117
Münnerstadt			
„Pfründnerspittalquelle“	so	4/28 <sup>+</sup>	118
Neustadt/Aisch			
„Frankenbrunnen I“	kmg	4/29	119
Neustadt/Saale			
„Versuchsbohrung“	z	4/30	120
„Karl-Theodor-Quelle“	z	4/31	121
Riedenberg (ehem. Oberriedenberg)/Sinn			
„Rhönperle“ (Analyse 1907, A. MEINECKE)	z/s	4/32	122
Rothenburg o. T.			
„Stahlquelle“	mm	4/33 <sup>+</sup>	123
Sennfeld		3/100	
„Hennebergquelle“	mm	4/34 <sup>+</sup>	124
Sodental/Sp.			
„Echterquelle“ (Spuremetalle ergänzt P. UDLUFT 1976)	z	4/35	125
Schönarts/Ufr.			
„Bohrung“	mm	4/36 <sup>+</sup>	126
Untereuerheim/Main			
„Quelle“	mm	4/37 <sup>+</sup>	127
Waldaschaff			
„Bohrung“	pp/z	4/38	128
Windsheim			
„Solequelle“	mm	4/39	129
„Florianquelle“	mm/k	4/40	130
Wipfeld			
„Quelle I“	mm	4/41 <sup>+</sup>	131
Wonfurt			
„Rote Quelle“	mm	4/42 <sup>+</sup>	132
HOPPE, W. (1972):			
Colberg			
„Neue Bohrung“ (355 m)	ku	4/46	133
„Thermalsprudel“ (161 m)	so/mu	4/47	134
Friedrichshall			
„Mineralquelle“	m/k	4/48	135
Liebenstein			
„Schwarzbachquelle“	z	4/49 <sup>+</sup>	136
CARLÉ, W. (1975):			
Salzungen			
„Sole“	z	4/43	137
Schmalkalden			
„Lauraquelle III“	z	4/44	138
Suhl			
„Ottilienquelle“	z	4/45	139
Hersfeld			
„Vitalisbrunnen“	z/s	4/63	140
Ellenberg			
„Brunnen“ (83 m)	kmg	4/64	141

	<i>Formation</i>	<i>Archiv.-Nr.</i>	<i>lfd. Nr.</i>
Kirchberg/Jagst			
„Sole“ (63 m)	mm	4/65	142
König/Odenwald			
„Bohrung“ (366 m)	pp/z	4/66	143
Mergentheim			
„Wilhelmsquelle“	so/mu	4/67	144
„Paulsquelle“	z/s	4/68	145
Schweigern			
„Bohrung“ (50 m)			
(Spurenmetalle, P. UDLUFT 1976)	so	4/69	146
Großenlöder			
„St.-Georgs-Quelle“	z	4/70	147
Gelnhausen			
„Barbarossa-Brunnen“	z	4/71	148
Orb			
„Philippquelle“	z	4/72	149
Selters			
„Bendiktusquelle“	z	4/76	150
Weyhers			
„Säuerling“	so	4/77	151
Salzschlirf			
„Sprudel“	z	4/78	152
Werbach			
„Bohrung“ (43 m)	so/mu	4/79	153
Königheim			
„Bohrung“	so/tmu	4/80	154
Beckstein			
„Bohrung“	so	4/81	155
Thüngersheim			
„Bohrung“ (80 m)	so	4/82	156
Lengfurth/Main			
„Bohrung“	so	4/83	157
Diebach			
„Bohrung“	ku/kmg	4/89	158
Ingelfingen			
„Badebrunnen“	z/s	4/95	159

*Einzelanalysen verschiedener Autoren bzw. Analytiker (z. T. nicht veröffentlicht):*

	<i>Formation</i>	<i>Archiv.-Nr.</i>	<i>lfd. Nr.</i>
Iphofen			
„Salzbrunnen“ (15,5 m)			
(Analyse STAATL. CHEM. U. A. ERLANGEN 1954 in Erl. Geol. Kte. By. 1 : 25.000, Bl. Iphofen 6227)	m/k	4/50 <sup>+</sup>	160
Königsberg b. Hofheim			
„Brunnen“ (Analyse GERB 1951 in Erl. Geol. Kte. By. 1 : 25.000, Bl. Haßfurt 5929)	kmg	4/51	161
Knetzgau			
„Bohrung 1976“ (410 m)			
(Analyse P. UDLUFT, 1976, unveröffentlicht)	sm	4/52	162
Hallstadt			
„Bohrung II“ (120 m)			
(Analyse BAYER L. A. f. WW, 1970)	kms	4/53	163
Greiding			
„Bohrung 1974“			
(Analyse STAATL. CHEM. UA ERLANGEN 1974 in F. BIRZER, 1976)	kms	4/54	164
Altdorf b. Nürnberg			
„Brunnen 1a“ (206 m)			

	Formation	Archiv.-Nr.	lfd. Nr.
(Analyse STAATL. CHEM. UA ERLANGEN, 1970, unveröffentlicht)	kms	4/55	165
Mürsbach			
„Bohrung B4“ (1172 m) (Analyse INST. F. WASSERCHEM. TU MÜNCHEN, 1975, 1975, unveröffentlicht)	z/s	4/56	166
Unterpleichfeld			
„Bohrung“ (48 m) (Analyse P. UDLUFT, 1976, unveröffentlicht)	m/k	4/57*	167
Staffelstein			
„Bohrung“ (1600 m):			
„Oberer Horizont“ (150–450 m)	kms	4/58	168
„Unterer Horizont“ (944–1600 m) (Analyse Inst. f. Wasserchem. TU München, 1975, in H. GUDDEN, 1977)	r/z/s	4/59	169
Hellmitzheim			
„Sole Bahnwärterhaus“ in H. THURACH, 1901)	m/k	4/60	170
Hellmitzheim			
„Sole Seehof“ (70 m) (Analyse BAYER LGA, Nürnberg, 1922, in Erl. Geol. Kte. By. 1 : 25.000, Bl. Scheinfeld 6328)	m/k	4/61	171
Abenberg b. Roth			
„Bohrung“ (180 m) (Analyse in H. HÖRAUF, 1974)	kms	4/62	172
Soden-Salmünster			
„Neuer Sprudel“ (Analyse P. UDLUFT, 1976)	z	4/73	173
Rodach			
„Therme“ (652 m) (Analyse F. FRIMMEL u. K.-E. QUENTIN, 1973)	s	4/74	174
Königshofen			
„Urbaniquelle“ (Spurenmetalle ergänzt . . . P. UDLUFT, 1976)	mm/km	4/75	175
Sommerhausen/Main			
„Testgebiet III“ (Analyse in M. HOBLER, 1971)	mm	4/84*	176
Simmelsdorf			
„Alpflor Milchwerke“ (Analyse in F. BIRZER, 1975)	jl/jb	4/90	177
Willmars			
„Versuchsbrunnen I“ (130 m) (Analyse in D. PLÖTHNER, 1976)	sm	4/85	178
Würzburg			
„Heidingsfeld-Brunnen“ (Analyse in ERL. GEOL. KTE. BY. 1 : 25.000, Bl. Würzburg-Süd 6225)	mm	4/86	179
Brückenau			
„König Ludwig I“ (300 m) (Analyse mit Spurenmetallen P. UDLUFT, 1977, unveröffentlicht)	su	4/87	180
Kulmbach			
„Markgrafenbräu“ (90 m) (Analyse in ERL. GEOL. KTE. BY. 1 : 25.000, Bl. Kulmbach 5834)	sm	4/88	181
Aldorf-Lenzenbach			
„Brunnen“ (Analyse in ERL. GEOL. KTE. BY. 1 : 25.000, Bl. Aldorf 6634)	jl	4/91	182
Zeitlofs			
„Heilsberg-Quelle“ (Analyse mit Spurenmetallen P. UDLUFT, 1975, unveröffentlicht)	z/s	4/92	183
Rastberg			
„Bohrung 2“ (Analyse in H. HAUNSCHILD & A. WILD, 1977)	kms	4/93	184
Gögging			
„Thermalbohrung“ (Analyse, K.-E. QUENTIN & M. BAUMANN, 1977, unveröffentlicht)	pp/k	4/94	185

## 4.4. Analysedaten

### 4.4.1. Datenarchiv 3/; Archiv-Nummer 3/2 bis 3/101

Die Werte von Natrium bis einschließlich Jodid sind in mg/l, die der Spurenmetalle Chrom bis Blei in µg/l angegeben.

0 = nicht nachweisbar

-0 = nicht gemessen

Archiv-Nr. 3/ 2		Archiv-Nr. 3/ 3		Archiv-Nr. 3/ 4		Archiv-Nr. 3/ 5		Archiv-Nr. 3/ 6	
R	350000	R	554100	R	441400	R	355000	R	355000
H	554000	H	350500	H	554000	H	555000	H	556000
STRC	90000	STRC	10000	STRC	52200	STRC	40000	STRC	32000
AA	131	AA	121	AA	141	AA	121	AA	141
DAT	670000	DAT	670000	DAT	496400	DAT	697000	DAT	677000
PH	6.3	PH	5.6	PH	-0.0	PH	7.2	PH	7.0
TEMP	9.3	TEMP	8.6	TEMP	-0.0	TEMP	8.9	TEMP	10.0
NA	16.10	NA	4.50	NA	87.00	NA	3.90	NA	3.60
K	-0.00	K	1.90	K	-0.00	K	3.40	K	2.70
MG	9.40	MG	6.00	MG	-0.00	MG	19.40	MG	10.30
CA	57.90	CA	9.60	CA	113.60	CA	117.70	CA	33.90
CL	14.40	CL	8.00	CL	7.50	CL	12.80	CL	8.50
NO <sub>3</sub>	26.00	NO <sub>3</sub>	11.40	NO <sub>3</sub>	5.00	NO <sub>3</sub>	21.60	NO <sub>3</sub>	9.00
SO <sub>4</sub>	53.90	SO <sub>4</sub>	32.40	SO <sub>4</sub>	170.00	SO <sub>4</sub>	42.10	SO <sub>4</sub>	24.60
HCO <sub>3</sub>	88.30	HCO <sub>3</sub>	10.50	HCO <sub>3</sub>	342.30	HCO <sub>3</sub>	376.00	HCO <sub>3</sub>	119.10
SUM	266.00	SUM	84.30	SUM	725.40	SUM	596.90	SUM	211.70
MN	0.00	MN	-0.00	MN	0.37	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	0.10	FE	-0.00	FE	0.97	FE	0.03	FE	0.07

Archiv-Nr. 3/ 7		Archiv-Nr. 3/ 8		Archiv-Nr. 3/ 9		Archiv-Nr. 3/11		Archiv-Nr. 3/12	
R	439200	R	442900	R	440600	R	351800	R	351500
H	549700	H	551300	H	550400	H	554000	H	554000
STRC	52100	STRC	52200	STRC	52200	STRC	31000	STRC	22100
AA	141	AA	151	AA	141	AA	121	AA	121
DAT	727300	DAT	731000	DAT	720000	DAT	650000	DAT	650000
PH	7.3	PH	7.4	PH	7.4	PH	5.9	PH	6.2
TEMP	9.4	TEMP	10.7	TEMP	9.9	TEMP	8.9	TEMP	9.6
NA	53.80	NA	32.73	NA	9.67	NA	6.00	NA	6.00
K	4.70	K	1.90	K	2.00	K	4.00	K	4.00
MG	67.30	MG	33.66	MG	30.00	MG	2.00	MG	24.00
CA	316.00	CA	89.00	CA	60.00	CA	4.50	CA	37.00
CL	26.80	CL	13.70	CL	14.80	CL	5.40	CL	7.80
NO <sub>3</sub>	22.80	NO <sub>3</sub>	15.00	NO <sub>3</sub>	17.00	NO <sub>3</sub>	8.20	NO <sub>3</sub>	9.20
SO <sub>4</sub>	870.00	SO <sub>4</sub>	117.50	SO <sub>4</sub>	36.50	SO <sub>4</sub>	17.20	SO <sub>4</sub>	15.00
HCO <sub>3</sub>	301.00	HCO <sub>3</sub>	334.00	HCO <sub>3</sub>	326.40	HCO <sub>3</sub>	45.20	HCO <sub>3</sub>	210.50
SUM	1662.40	SUM	637.49	SUM	496.37	SUM	92.50	SUM	313.50
MN	0.01	MN	0.03	MN	0.01	MN	0.00	MN	0.00
FE	0.27	FE	0.09	FE	0.03	FE	0.01	FE	0.01

Archiv-Nr. 3/13		Archiv-Nr. 3/14		Archiv-Nr. 3/15		Archiv-Nr. 3/17		Archiv-Nr. 3/19	
R	353600	R	353500	R	439200	R	356600	R	440500
H	557900	H	557400	H	549900	H	557800	H	545400
STRC	32100	STRC	89000	STRC	52200	STRC	89000	STRC	52100
AA	141	AA	111	AA	121	AA	111	AA	131
DAT	700500	DAT	710402	DAT	727300	DAT	680505	DAT	680000
PH	-0.0	PH	-0.0	PH	7.6	PH	5.7	PH	-0.0
TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	9.3	TEMP	6.8	TEMP	-0.0
NA	4.90	NA	6.90	NA	5.80	NA	1.80	NA	27.60
K	3.20	K	0.90	K	3.40	K	1.70	K	6.00
MG	-0.00	MG	-0.00	MG	40.00	MG	1.57	MG	64.20
CA	59.20	CA	30.00	CA	71.00	CA	9.20	CA	136.40
CL	8.80	CL	7.30	CL	25.00	CL	3.00	CL	46.90
NO <sub>3</sub>	5.40	NO <sub>3</sub>	5.00	NO <sub>3</sub>	32.00	NO <sub>3</sub>	3.20	NO <sub>3</sub>	44.80
SO <sub>4</sub>	23.70	SO <sub>4</sub>	27.10	SO <sub>4</sub>	30.00	SO <sub>4</sub>	9.10	SO <sub>4</sub>	199.20
HCO <sub>3</sub>	170.70	HCO <sub>3</sub>	46.40	HCO <sub>3</sub>	323.00	HCO <sub>3</sub>	16.50	HCO <sub>3</sub>	432.60
SUM	275.90	SUM	123.60	SUM	530.20	SUM	46.07	SUM	957.70
MN	-0.00	MN	-0.00	MN	0.00	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	-0.00	FE	-0.00	FE	0.10	FE	0.01	FE	-0.00

Archiv-Nr. 3/20		Archiv-Nr. 3/22		Archiv-Nr. 3/23		Archiv-Nr. 3/24		Archiv-Nr. 3/25	
R	438000	R	545000	R	441500	R	441500	R	441500
H	545400	H	441500	H	545000	H	545000	H	545000
STRC	52100	STRC	52100	STRC	52200	STRC	52100	STRC	52200
AA	151	AA	121	AA	131	AA	121	AA	121
DAT	680000	DAT	690000	DAT	586400	DAT	556500	DAT	556500
PH	-0.0	PH	7.2	PH	7.3	PH	7.0	PH	6.3
TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0
NA	174.00	NA	12.90	NA	3.70	NA	24.00	NA	5.30
K	6.00	K	4.00	K	4.00	K	24.00	K	10.20
MG	187.70	MG	26.20	MG	23.00	MG	16.20	MG	9.20
CA	483.00	CA	56.00	CA	61.00	CA	42.00	CA	39.60
CL	32.90	CL	11.40	CL	19.00	CL	6.70	CL	18.50
NO <sub>3</sub>	5.00	NO <sub>3</sub>	7.80	NO <sub>3</sub>	28.00	NO <sub>3</sub>	11.50	NO <sub>3</sub>	22.60
SO <sub>4</sub>	1956.50	SO <sub>4</sub>	19.00	SO <sub>4</sub>	51.40	SO <sub>4</sub>	21.20	SO <sub>4</sub>	69.60
HCO <sub>3</sub>	347.20	HCO <sub>3</sub>	290.00	HCO <sub>3</sub>	192.20	HCO <sub>3</sub>	152.50	HCO <sub>3</sub>	54.31
SUM	3192.30	SUM	427.30	SUM	382.30	SUM	298.10	SUM	229.31
MN	-0.00	MN	0.26	MN	0.20	MN	0.21	MN	0.02
FE	-0.00	FE	0.23	FE	0.03	FE	0.06	FE	0.05

Archiv-Nr. 3/26		Archiv-Nr. 3/27		Archiv-Nr. 3/28		Archiv-Nr. 3/29		Archiv-Nr. 3/30	
R	441500	R	355100	R	355400	R	355800	R	446094
H	545000	H	554900	H	555200	H	555100	H	555284
STRC	52000	STRC	32000	STRC	33000	STRC	41000	STRC	32000
AA	131	AA	144	AA	144	AA	144	AA	141

Archiv-Nr. 3/26		Archiv-Nr. 3/27		Archiv-Nr. 3/28		Archiv-Nr. 3/29		Archiv-Nr. 3/30	
DAT	556500	DAT	740000	DAT	740000	DAT	740000	DAT	500000
PH	7.0	PH	7.0	PH	7.4	PH	7.4	PH	7.5
TEMP	-0.0	TEMP	10.4	TEMP	11.5	TEMP	9.9	TEMP	-0.0
NA	11.50	NA	5.60	NA	10.40	NA	3.40	NA	25.00
K	7.10	K	3.70	K	3.60	K	1.70	K	-0.00
MG	18.60	MG	16.30	MG	30.00	MG	17.70	MG	22.40
CA	49.60	CA	53.40	CA	123.00	CA	102.00	CA	82.50
CL	13.90	CL	15.00	CL	31.40	CL	14.60	CL	41.10
NO <sub>3</sub>	17.50	NO <sub>3</sub>	13.55	NO <sub>3</sub>	38.00	NO <sub>3</sub>	23.00	NO <sub>3</sub>	1.00
SO <sub>4</sub>	40.30	SO <sub>4</sub>	21.60	SO <sub>4</sub>	138.00	SO <sub>4</sub>	40.70	SO <sub>4</sub>	88.90
HCO <sub>3</sub>	172.10	HCO <sub>3</sub>	202.00	HCO <sub>3</sub>	310.00	HCO <sub>3</sub>	319.00	HCO <sub>3</sub>	250.60
SUM	330.60	SUM	331.15	SUM	684.40	SUM	522.10	SUM	511.50
MN	0.17	MN	0.01	MN	0.01	MN	0.02	MN	-0.00
FE	0.09	FE	0.07	FE	0.05	FE	0.17	FE	2.00
		CR	0.40	CR	1.81	CR	1.07	CR	-0.00
		CO	-0.00	CO	-0.00	CO	-0.00	CO	-0.00
		NI	-0.00	NI	-0.00	NI	-0.00	NI	-0.00
		CU	10.29	CU	11.96	CU	5.31		
		ZN	72.38	ZN	145.40	ZN	38.38		
		CD	1.24	CD	2.34	CD	1.01		
		HG	-0.00	HG	-0.00	HG	-0.00		
		PB	0.75	PB	2.76	PB	3.33		
Archiv-Nr. 3/37		Archiv-Nr. 3/38		Archiv-Nr. 3/39		Archiv-Nr. 3/40		Archiv-Nr. 3/41	
R	351000	R	351000	R	442600	R	442400	R	442300
H	552500	H	553000	H	556500	H	556600	H	557300
STRC	31000	STRC	100900	STRC	32000	STRC	33000	STRC	41000
AA	121	AA	121	AA	124	AA	124	AA	124
DAT	486000	DAT	590000	DAT	750600	DAT	750600	DAT	750600
PH	6.0	PH	6.9	PH	5.8	PH	6.7	PH	7.4
TEMP	9.1	TEMP	8.9	TEMP	8.5	TEMP	8.5	TEMP	8.4
NA	3.00	NA	20.00	NA	3.60	NA	5.00	NA	2.50
K	3.00	K	5.00	K	3.20	K	2.40	K	1.10
MG	-0.00	MG	-0.00	MG	3.80	MG	27.70	MG	15.60
CA	7.10	CA	81.20	CA	18.10	CA	67.20	CA	108.00
CL	5.20	CL	11.20	CL	10.90	CL	9.00	CL	2.30
NO <sub>3</sub>	4.00	NO <sub>3</sub>	9.80	NO <sub>3</sub>	13.67	NO <sub>3</sub>	33.80	NO <sub>3</sub>	15.00
SO <sub>4</sub>	12.00	SO <sub>4</sub>	33.00	SO <sub>4</sub>	27.60	SO <sub>4</sub>	48.20	SO <sub>4</sub>	43.50
HCO <sub>3</sub>	8.70	HCO <sub>3</sub>	276.00	HCO <sub>3</sub>	14.40	HCO <sub>3</sub>	231.00	HCO <sub>3</sub>	343.00
SUM	43.00	SUM	436.20	SUM	95.27	SUM	424.30	SUM	531.00
MN	0.00	MN	0.00	MN	0.03	MN	0.00	MN	0.00
FE	0.01	FE	0.01	FE	0.03	FE	0.06	FE	0.03
				CR	0.90	CR	2.10	CR	0.90
				CO	-0.00	CO	-0.00	CO	-0.00
				NI	-0.00	NI	-0.00	NI	-0.00
				CU	3.30	CU	4.20	CU	3.60
				ZN	30.00	ZN	38.00	ZN	22.00
				CD	0.40	CD	0.10	CD	0.50
				HG	-0.00	HG	-0.00	HG	-0.00
				PB	0.60	PB	0.80	PB	0.50

Archiv-Nr. 3/42		Archiv-Nr. 3/43		Archiv-Nr. 3/44		Archiv-Nr. 3/45		Archiv-Nr. 3/46	
R	360240	R	439200	R	439200	R	352350	R	354700
H	548600	H	548600	H	548600	H	561800	H	561800
STRC	52100	STRC	52200	STRC	52100	STRC	31000	STRC	41000
AA	121	AA	121	AA	131	AA	121	AA	121
DAT	656800	DAT	667400	DAT	737400	DAT	607000	DAT	607000
PH	7.1	PH	7.5	PH	7.2	PH	-0.0	PH	-0.0
TEMP	-0.0	TEMP	10.2	TEMP	8.2	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0
NA	36.70	NA	5.30	NA	29.70	NA	4.00	NA	10.00
K	12.40	K	1.90	K	4.00	K	2.00	K	3.00
MG	76.10	MG	48.40	MG	50.80	MG	-0.00	MG	-0.00
CA	574.00	CA	79.30	CA	150.90	CA	26.00	CA	133.00
CL	52.00	CL	28.30	CL	29.50	CL	12.00	CL	7.00
NO <sub>3</sub>	17.00	NO <sub>3</sub>	20.70	NO <sub>3</sub>	32.80	NO <sub>3</sub>	10.00	NO <sub>3</sub>	24.00
SO <sub>4</sub>	1374.00	SO <sub>4</sub>	37.20	SO <sub>4</sub>	260.90	SO <sub>4</sub>	39.00	SO <sub>4</sub>	62.00
HCO <sub>3</sub>	450.00	HCO <sub>3</sub>	367.30	HCO <sub>3</sub>	388.30	HCO <sub>3</sub>	30.50	HCO <sub>3</sub>	336.00
SUM	2592.20	SUM	588.40	SUM	946.90	SUM	123.50	SUM	575.00
MN	-0.00	MN	0.05	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	-0.00	FE	0.06	FE	0.06	FE	-0.00	FE	-0.00

Archiv-Nr. 3/47		Archiv-Nr. 3/48		Archiv-Nr. 3/49		Archiv-Nr. 3/50		Archiv-Nr. 3/51	
R	356000	R	354750	R	354750	R	354750	R	353500
H	561800	H	560700	H	560700	H	560700	H	559000
STRC	33000	STRC	32000	STRC	33000	STRC	41000	STRC	89000
AA	121	AA	121	AA	121	AA	121	AA	121
DAT	607000	DAT	607000	DAT	607000	DAT	607000	DAT	676800
PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0
TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0
NA	5.00	NA	3.00	NA	5.00	NA	5.00	NA	3.70
K	3.00	K	3.00	K	3.00	K	2.00	K	2.20
MG	25.00	MG	-0.00	MG	-0.00	MG	-0.00	MG	5.30
CA	150.00	CA	21.00	CA	136.00	CA	131.00	CA	11.20
CL	13.00	CL	10.00	CL	9.00	CL	12.00	CL	16.10
NO <sub>3</sub>	8.00	NO <sub>3</sub>	15.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	14.00	NO <sub>3</sub>	21.00
SO <sub>4</sub>	175.00	SO <sub>4</sub>	25.00	SO <sub>4</sub>	92.00	SO <sub>4</sub>	38.00	SO <sub>4</sub>	17.70
HCO <sub>3</sub>	344.00	HCO <sub>3</sub>	11.00	HCO <sub>3</sub>	305.00	HCO <sub>3</sub>	342.00	HCO <sub>3</sub>	11.60
SUM	723.00	SUM	88.00	SUM	550.00	SUM	544.00	SUM	88.80
MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00



Archiv-Nr. 3/52		Archiv-Nr. 3/53		Archiv-Nr. 3/54		Archiv-Nr. 3/55		Archiv-Nr. 3/56	
R	353500	R	356750	R	356350	R	356700	R	443956
H	558500	H	551870	H	551820	H	551550	H	548495
STRC	32000	STRC	42100	STRC	42100	STRC	42100	STRC	52200
AA	121	AA	121	AA	121	AA	131	AA	151
DAT	676800	DAT	560111	DAT	560111	DAT	560111	DAT	740500
PH	-0.0	PH	7.1	PH	7.2	PH	7.0	PH	7.7
TEMP	-0.0	TEMP	12.5	TEMP	10.2	TEMP	11.1	TEMP	11.0
NA	1.80	NA	15.00	NA	10.00	NA	10.00	NA	30.70
K	3.30	K	5.00	K	5.00	K	5.00	K	7.00
MG	5.30	MG	48.00	MG	26.00	MG	53.30	MG	23.60
CA	13.00	CA	184.00	CA	130.00	CA	300.00	CA	61.90
CL	13.00	CL	34.00	CL	25.00	CL	16.00	CL	55.64
NO <sub>3</sub>	15.00	NO <sub>3</sub>	26.00	NO <sub>3</sub>	22.00	NO <sub>3</sub>	11.50	NO <sub>3</sub>	7.78
SO <sub>4</sub>	23.00	SO <sub>4</sub>	290.00	SO <sub>4</sub>	146.00	SO <sub>4</sub>	638.00	SO <sub>4</sub>	36.64
HCO <sub>3</sub>	26.20	HCO <sub>3</sub>	393.00	HCO <sub>3</sub>	317.00	HCO <sub>3</sub>	390.50	HCO <sub>3</sub>	251.00
SUM	100.60	SUM	995.00	SUM	681.00	SUM	1424.30	SUM	474.26
MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	0.19
FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00	FE	0.31

Archiv-Nr. 3/57		Archiv-Nr. 3/58		Archiv-Nr. 3/59		Archiv-Nr. 3/60		Archiv-Nr. 3/61	
R	444047	R	439000	R	440100	R	443028	R	442993
H	548495	H	544500	H	545000	H	552980	H	553876
STRC	53000	STRC	52200	STRC	52100	STRC	62000	STRC	61000
AA	121	AA	141	AA	141	AA	121	AA	111
DAT	740500	DAT	526600	DAT	570000	DAT	711000	DAT	711000
PH	7.3	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	7.4	PH	7.6
TEMP	8.7	TEMP	9.3	TEMP	9.0	TEMP	8.9	TEMP	9.6
NA	4.30	NA	5.00	NA	6.00	NA	5.97	NA	6.50
K	2.00	K	3.00	K	2.00	K	1.80	K	1.10
MG	29.84	MG	12.50	MG	30.30	MG	13.59	MG	6.40
CA	79.03	CA	30.80	CA	59.60	CA	72.66	CA	113.00
CL	24.40	CL	4.40	CL	13.50	CL	8.90	CL	18.33
NO <sub>3</sub>	36.70	NO <sub>3</sub>	5.00	NO <sub>3</sub>	22.50	NO <sub>3</sub>	6.12	NO <sub>3</sub>	13.30
SO <sub>4</sub>	61.40	SO <sub>4</sub>	6.60	SO <sub>4</sub>	24.00	SO <sub>4</sub>	38.20	SO <sub>4</sub>	61.00
HCO <sub>3</sub>	254.20	HCO <sub>3</sub>	157.20	HCO <sub>3</sub>	271.30	HCO <sub>3</sub>	205.00	HCO <sub>3</sub>	245.20
SUM	491.87	SUM	224.50	SUM	429.20	SUM	352.24	SUM	464.83
MN	0.03	MN	0.04	MN	0.03	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	0.09	FE	0.01	FE	0.03	FE	0.18	FE	0.05

Archiv-Nr. 3/62		Archiv-Nr. 3/63		Archiv-Nr. 3/64		Archiv-Nr. 3/65		Archiv-Nr. 3/66	
R	443128	R	443300	R	443900	R	446414	R	440600
H	553850	H	553090	H	553330	H	545081	H	544200
STRC	53000	STRC	63100	STRC	632	STRC	63000	STRC	52200
AA	141	AA	121	AA	121	AA	121	AA	141
DAT	711000	DAT	711000	DAT	711000	DAT	721100	DAT	526800
PH	7.3	PH	7.6	PH	7.6	PH	7.5	PH	7.2
TEMP	15.0	TEMP	8.8	TEMP	8.8	TEMP	8.3	TEMP	10.8
NA	74.20	NA	3.30	NA	2.10	NA	4.01	NA	-0.00
K	6.30	K	1.40	K	1.00	K	2.24	K	-0.00
MG	7.20	MG	22.70	MG	20.40	MG	14.03	MG	13.60
CA	17.20	CA	79.40	CA	104.10	CA	108.41	CA	62.40
CL	3.00	CL	15.70	CL	15.70	CL	25.25	CL	6.30
NO <sub>3</sub>	1.00	NO <sub>3</sub>	19.10	NO <sub>3</sub>	26.70	NO <sub>3</sub>	26.00	NO <sub>3</sub>	7.60
SO <sub>4</sub>	88.00	SO <sub>4</sub>	22.20	SO <sub>4</sub>	21.70	SO <sub>4</sub>	22.00	SO <sub>4</sub>	14.30
HCO <sub>3</sub>	183.00	HCO <sub>3</sub>	277.00	HCO <sub>3</sub>	348.20	HCO <sub>3</sub>	310.44	HCO <sub>3</sub>	253.50
SUM	379.90	SUM	440.80	SUM	539.90	SUM	512.38	SUM	357.70
MN	0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	0.00	MN	0.35
FE	0.58	FE	0.06	FE	0.01	FE	0.04	FE	0.02

Archiv-Nr. 3/67		Archiv-Nr. 3/68		Archiv-Nr. 3/69		Archiv-Nr. 3/70		Archiv-Nr. 3/71	
R	446480	R	441733	R	441528	R	359000	R	359000
H	545217	H	542564	H	541978	H	544200	H	544200
STRC	62000	STRC	62000	STRC	63000	STRC	52100	STRC	52100
AA	121	AA	121	AA	121	AA	121	AA	131
DAT	721100	DAT	741000	DAT	741000	DAT	700000	DAT	700000
PH	7.6	PH	7.4	PH	7.3	PH	7.7	PH	7.2
TEMP	8.2	TEMP	9.7	TEMP	9.4	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0
NA	3.93	NA	2.80	NA	5.49	NA	15.00	NA	40.00
K	2.56	K	0.76	K	2.01	K	5.00	K	5.00
MG	16.63	MG	4.73	MG	11.73	MG	40.10	MG	39.00
CA	94.57	CA	120.33	CA	113.69	CA	82.00	CA	105.60
CL	13.77	CL	14.66	CL	19.43	CL	15.40	CL	10.60
NO <sub>3</sub>	15.23	NO <sub>3</sub>	23.33	NO <sub>3</sub>	21.81	NO <sub>3</sub>	21.40	NO <sub>3</sub>	8.60
SO <sub>4</sub>	19.92	SO <sub>4</sub>	21.66	SO <sub>4</sub>	24.56	SO <sub>4</sub>	114.70	SO <sub>4</sub>	255.60
HCO <sub>3</sub>	313.72	HCO <sub>3</sub>	321.30	HCO <sub>3</sub>	333.60	HCO <sub>3</sub>	310.00	HCO <sub>3</sub>	300.00
SUM	480.33	SUM	509.57	SUM	532.32	SUM	603.60	SUM	763.80
MN	0.00	MN	0.00	MN	0.00	MN	0.00	MN	0.06
FE	0.07	FE	0.02	FE	0.03	FE	0.03	FE	0.05

Archiv-Nr. 3/72		Archiv-Nr. 3/73		Archiv-Nr. 3/74		Archiv-Nr. 3/75		Archiv-Nr. 3/76	
R	443000	R	450600	R	450500	R	443900	R	442100
H	544000	H	544700	H	544100	H	543000	H	548600
STRC	52200	STRC	63000	STRC	63000	STRC	63000	STRC	52100
AA	141	AA	141	AA	151	AA	121	AA	141
DAT	680000	DAT	560607	DAT	531113	DAT	711100	DAT	650000
PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	7.5	PH	7.2
TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	8.7	TEMP	11.3
NA	-0.00	NA	20.00	NA	6.00	NA	2.20	NA	30.00
K	-0.00	K	5.00	K	2.00	K	1.50	K	5.00
MG	5.50	MG	10.00	MG	17.10	MG	31.60	MG	54.70
CA	35.10	CA	106.90	CA	76.90	CA	79.80	CA	73.00
CL	6.60	CL	10.00	CL	11.00	CL	15.50	CL	58.00
NO <sub>3</sub>	13.80	NO <sub>3</sub>	21.00	NO <sub>3</sub>	9.00	NO <sub>3</sub>	19.00	NO <sub>3</sub>	5.00
SO <sub>4</sub>	19.80	SO <sub>4</sub>	102.10	SO <sub>4</sub>	21.00	SO <sub>4</sub>	21.00	SO <sub>4</sub>	51.30
HCO <sub>3</sub>	101.00	HCO <sub>3</sub>	283.30	HCO <sub>3</sub>	296.60	HCO <sub>3</sub>	337.00	HCO <sub>3</sub>	415.00
SUM	181.80	SUM	558.30	SUM	439.60	SUM	507.60	SUM	692.00
MN	0.15	MN	0.00	MN	0.00	MN	0.01	MN	0.06
FE	0.08	FE	0.01	FE	0.01	FE	0.09	FE	0.23

Archiv-Nr. 3/77		Archiv-Nr. 3/78		Archiv-Nr. 3/79		Archiv-Nr. 3/80		Archiv-Nr. 3/81	
R	442500	R	440400	R	358200	R	440645	R	352300
H	549600	H	459000	H	555200	H	543600	H	553000
STRC	52200	STRC	52200	STRC	43000	STRC	52200	STRC	31000
AA	141	AA	141	AA	141	AA	141	AA	121
DAT	546700	DAT	741000	DAT	515400	AD	546400	DAT	720400
PH	-0.0	PH	7.5	PH	7.3	PH	7.1	PH	5.6
TEMP	11.9	TEMP	10.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	7.8
NA	30.00	NA	7.20	NA	4.00	NA	15.00	NA	4.20
K	5.00	K	1.50	K	2.00	K	5.00	K	1.70
MG	17.80	MG	37.60	MG	48.40	MG	21.80	MG	2.00
CA	46.50	CA	70.90	CA	78.80	CA	78.00	CA	4.80
CL	52.00	CL	34.70	CL	10.70	CL	7.70	CL	8.70
NO <sub>3</sub>	15.80	NO <sub>3</sub>	42.60	NO <sub>3</sub>	3.00	NO <sub>3</sub>	3.00	NO <sub>3</sub>	7.50
SO <sub>4</sub>	25.80	SO <sub>4</sub>	39.70	SO <sub>4</sub>	56.40	SO <sub>4</sub>	68.00	SO <sub>4</sub>	14.30
HCO <sub>3</sub>	215.20	HCO <sub>3</sub>	270.40	HCO <sub>3</sub>	429.00	HCO <sub>3</sub>	288.00	HCO <sub>3</sub>	5.70
SUM	408.10	SUM	504.60	SUM	632.30	SUM	486.50	SUM	48.90
MN	0.10	MN	0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	0.00
FE	0.05	FE	0.05	FE	0.13	FE	0.08	FE	0.03

Archiv-Nr. 3/82		Archiv-Nr. 3/83		Archiv-Nr. 3/84		Archiv-Nr. 3/85		Archiv-Nr. 3/86	
R	444000	R	444200	R	444000	R	442660	R	443100
H	554800	H	554000	H	555400	H	543560	H	543500
STRC	62000	STRC	63000	STRC	52200	STRC	52200	STRC	62000
AA	121	AA	121	AA	141	AA	141	AA	121
DAT	721000	DAT	721000	DAT	586300	DAT	710600	DAT	710600
PH	7.8	PH	7.7	PH	6.9	PH	7.3	PH	7.4
TEMP	9.5	TEMP	8.7	TEMP	-0.0	TEMP	10.5	TEMP	9.0
NA	2.30	NA	3.30	NA	25.00	NA	5.60	NA	3.20
K	1.60	K	2.10	K	5.00	K	11.10	K	4.00
MG	9.40	MG	26.80	MG	34.50	MG	20.00	MG	8.50
CA	112.20	CA	93.20	CA	68.00	CA	122.00	CA	101.60
CL	7.00	CL	11.20	CL	23.00	CL	19.00	CL	19.60
NO <sub>3</sub>	6.90	NO <sub>3</sub>	21.10	NO <sub>3</sub>	24.00	NO <sub>3</sub>	9.80	NO <sub>3</sub>	32.00
SO <sub>4</sub>	35.50	SO <sub>4</sub>	27.00	SO <sub>4</sub>	56.00	SO <sub>4</sub>	72.00	SO <sub>4</sub>	24.50
HCO <sub>3</sub>	313.60	HCO <sub>3</sub>	351.00	HCO <sub>3</sub>	318.00	HCO <sub>3</sub>	372.00	HCO <sub>3</sub>	273.20
SUM	488.50	SUM	535.70	SUM	553.50	SUM	631.50	SUM	466.60
MN	0.01	MN	0.00	MN	0.08	MN	-0.00	MN	0.00
FE	0.20	FE	0.05	FE	0.32	FE	0.32	FE	0.04

Archiv-Nr. 3/87		Archiv-Nr. 3/88		Archiv-Nr. 3/89		Archiv-Nr. 3/90		Archiv-Nr. 3/91	
R	443000	R	443000	R	441560	R	358500	R	358600
H	543400	H	545200	H	544100	H	549100	H	549400
STRC	63000	STRC	52200	STRC	52200	STRC	43000	STRC	51000
AA	141	AA	141	AA	141	AA	141	AA	121
DAT	710600	DAT	566500	DAT	711000	DAT	750800	DAT	760500
PH	7.4	PH	-0.0	PH	7.5	PH	7.1	PH	7.3
TEMP	8.7	TEMP	10.6	TEMP	10.5	TEMP	10.1	TEMP	9.9
NA	3.00	NA	20.00	NA	3.80	NA	22.30	NA	9.50
K	0.83	K	5.00	K	7.40	K	7.60	K	2.90
MG	4.10	MG	10.40	MG	10.80	MG	49.50	MG	49.30
CA	127.00	CA	40.50	CA	56.30	CA	118.00	CA	113.50
CL	27.00	CL	11.20	CL	9.70	CL	50.80	CL	55.30
NO <sub>3</sub>	41.00	NO <sub>3</sub>	4.80	NO <sub>3</sub>	19.50	NO <sub>3</sub>	3.00	NO <sub>3</sub>	36.80
SO <sub>4</sub>	21.50	SO <sub>4</sub>	26.80	SO <sub>4</sub>	14.30	SO <sub>4</sub>	121.80	SO <sub>4</sub>	37.50
HCO <sub>3</sub>	307.60	HCO <sub>3</sub>	196.90	HCO <sub>3</sub>	203.70	HCO <sub>3</sub>	440.00	HCO <sub>3</sub>	443.50
SUM	532.03	SUM	315.60	SUM	325.50	SUM	813.00	SUM	748.30
MN	0.00	MN	0.13	MN	0.03	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	0.02	FE	0.07	FE	0.05	FE	0.08	FE	0.30

Archiv-Nr. 3/92		Archiv-Nr. 3/93		Archiv-Nr. 3/94		Archiv-Nr. 3/95		Archiv-Nr. 3/96	
R	359100	R	445000	R	445600	R	445700	R	355200
H	549600	H	546300	H	546500	H	546800	H	556900
STRC	52100	STRC	52200	STRC	62000	STRC	63000	STRC	32000
AA	121	AA	151	AA	121	AA	121	AA	121
DAT	760500	DAT	730600	DAT	730600	DAT	730600	DAT	676800
PH	7.1	PH	7.2	PH	7.2	PH	7.5	PH	5.6
TEMP	10.8	TEMP	12.5	TEMP	9.0	TEMP	8.3	TEMP	8.1
NA	17.90	NA	2.90	NA	2.40	NA	1.40	NA	2.20
K	3.60	K	8.00	K	3.10	K	1.20	K	1.00
MG	81.40	MG	16.40	MG	4.30	MG	12.60	MG	2.10
CA	565.00	CA	74.40	CA	73.70	CA	89.10	CA	6.90
CL	42.00	CL	4.90	CL	11.90	CL	10.00	CL	4.10
NO <sub>3</sub>	39.50	NO <sub>3</sub>	5.50	NO <sub>3</sub>	19.80	NO <sub>3</sub>	19.30	NO <sub>3</sub>	4.50
SO <sub>4</sub>	1338.00	SO <sub>4</sub>	49.00	SO <sub>4</sub>	20.00	SO <sub>4</sub>	14.00	SO <sub>4</sub>	15.50
HCO <sub>3</sub>	389.00	HCO <sub>3</sub>	240.40	HCO <sub>3</sub>	189.60	HCO <sub>3</sub>	276.70	HCO <sub>3</sub>	10.60
SUM	2476.40	SUM	401.50	SUM	324.80	SUM	424.30	SUM	46.90
MN	-0.00	MN	0.01	MN	0.00	MN	0.00	MN	0.01
FE	0.03	FE	0.91	FE	0.28	FE	0.05	FE	0.05

Archiv-Nr. 3/97		Archiv-Nr. 3/98		Archiv-Nr. 3/99		Archiv-Nr.3/100		Archiv-Nr3/101	
R	355400	R	439300	R	440000	R	358570	R	359400
H	555000	H	555600	H	545400	H	547090	H	557000
STRC	33000	STRC	52100	STRC	52200	STRC	42100	STRC	51000
AA	124	AA	141	AA	121	AA	121	AA	121
DAT	740000	DAT	760823	DAT	760800	DAT	630424	DAT	750000
PH	6.2	PH	7.2	PH	7.4	PH	7.1	PH	7.0
TEMP	-0.0	TEMP	11.0	TEMP	10.2	TEMP	12.0	TEMP	9.5
NA	5.80	NA	29.45	NA	5.86	NA	45.00	NA	4.80
K	2.30	K	12.00	K	1.50	K	7.20	K	2.70
MG	9.70	MG	65.70	MG	49.00	MG	48.60	MG	20.00
CA	30.00	CA	262.48	CA	79.40	CA	580.00	CA	131.70
CL	23.00	CL	34.50	CL	21.80	CL	28.30	CL	27.60
NO <sub>3</sub>	25.20	NO <sub>3</sub>	13.50	NO <sub>3</sub>	23.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	27.90
SO <sub>4</sub>	26.00	SO <sub>4</sub>	568.75	SO <sub>4</sub>	28.00	SO <sub>4</sub>	1333.30	SO <sub>4</sub>	52.80
HCO <sub>3</sub>	68.90	HCO <sub>3</sub>	431.00	HCO <sub>3</sub>	401.00	HCO <sub>3</sub>	388.00	HCO <sub>3</sub>	372.20
SUM	190.90	SUM	1417.38	SUM	609.56	SUM	2430.40	SUM	639.70
MN	0.02	MN	0.01	MN	0.00	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	0.13	FE	0.13	FE	0.03	FE	0.08	FE	-0.00
CR	0.60								
CO	-0.00								
NI	-0.00								
CU	5.50								
ZN	14.00								
CD	0.70								
HG	-0.00								
PB	2.30								

#### 4.4.2. Datenarchiv 4/; Archiv-Nr. 4/0 bis 4/95

Archiv-Nr. 4/ 0		Archiv-Nr. 4/ 1		Archiv-Nr. 4/ 2		Archiv-Nr. 4/ 3		Archiv-Nr. 4/ 4	
R	359260	R	443360	R	357692	R	355600	R	355600
H	551770	H	551340	H	557038	H	557540	H	557540
STRC	51000	STRC	52200	STRC	22213	STRC	22100	STRC	22100
AA	121	AA	151	AA	153	AA	154	AA	154
DAT	620903	DAT	690327	DAT	760505	DAT	610608	DAT	610608
PH	6.9	PH	7.0	PH	6.1	PH	6.4	PH	6.3
TEMP	11.7	TEMP	16.6	TEMP	15.0	TEMP	18.2	TEMP	18.4
NA	17.20	NA	1099.30	NA	551.00	NA	15.30	NA	4.67
K	4.50	K	50.30	K	49.40	K	7.25	K	6.71
MG	68.70	MG	93.30	MG	180.30	MG	79.36	MG	87.86
CA	112.70	CA	222.30	CA	449.10	CA	408.45	CA	405.29
CL	29.10	CL	1639.40	CL	845.20	CL	1.20	CL	1.60
NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	0.00	NO <sub>3</sub>	4.14	NO <sub>3</sub>	0.00	NO <sub>3</sub>	0.00
SO <sub>4</sub>	153.20	SO <sub>4</sub>	644.60	SO <sub>4</sub>	618.30	SO <sub>4</sub>	963.07	SO <sub>4</sub>	971.57
HCO <sub>3</sub>	507.80	HCO <sub>3</sub>	509.00	HCO <sub>3</sub>	1620.00	HCO <sub>3</sub>	479.73	HCO <sub>3</sub>	478.63
SUM	893.20	SUM	4258.20	SUM	4317.44	SUM	1954.36	SUM	1956.33
CO <sub>2</sub>	77.0	CO <sub>2</sub>	103.0	CO <sub>2</sub>	2115.0	CO <sub>2</sub>	271.1	CO <sub>2</sub>	709.0
SR	-0.00	SR	-0.00	SR	2.92	SR	0.00	SR	0.00
MN	-0.00	MN	-0.00	MN	1.21	MN	0.37	MN	0.40
FE	1.59	FE	3.80	FE	18.10	FE	4.80	FE	5.96
		F	-0.00	F	1.36			F	-0.00
		BR	3.30	BR	0.75			BR	-0.00
		J	-0.00	J	0.28			J	-0.00
				CR	0.70			CR	5.70
				CO	15.40			CO	29.00
				NI	60.00			NI	5.20
				CU	140.00			CU	15.50
				ZN	187.00			ZN	19.40
				CD	5.00			CD	0.30
				HG	0.40			HG	-0.00
				PB	12.00			PB	5.80

Archiv-Nr. 4/ 5		Archiv-Nr. 4/ 6		Archiv-Nr. 4/ 7		Archiv-Nr. 4/ 8		Archiv-Nr. 4/ 9	
R	355604	R	359440	R	354680	R	359750	R	442950
H	557511	H	547820	H	555760	H	551260	H	548170
STRC	22222	STRC	52100	STRC	22222	STRC	52100	STRC	22223
AA	154	AA	121	AA	151	AA	121	AA	152
DAT	680903	DAT	620924	DAT	620925	DAT	620903	DAT	731010
PH	5.8	PH	7.0	PH	6.6	PH	6.9	PH	6.3
TEMP	13.2	TEMP	8.7	TEMP	15.2	TEMP	10.8	TEMP	22.1
NA	304.00	NA	10.40	NA	4707.30	NA	23.00	NA	2334.00
K	34.52	K	4.70	K	329.40	K	9.00	K	213.50

Archiv-Nr. 4/ 5	Archiv-Nr. 4/ 6	Archiv-Nr. 4/ 7	Archiv-Nr. 4/ 8	Archiv-Nr. 4/ 9
MG 143.21	MG 80.10	MG 471.50	MG 103.80	MG 157.00
CA 833.00	CA 140.00	CA 698.10	CA 593.00	CA 1053.00
CL 743.00	CL 11.40	CL 6481.40	CL 31.00	CL 3927.00
NO <sub>3</sub> 1.25	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> 11.35	NO <sub>3</sub> 0.00
SO <sub>4</sub> 1297.20	SO <sub>4</sub> 265.00	SO <sub>4</sub> 2191.70	SO <sub>4</sub> 1516.00	SO <sub>4</sub> 2176.00
HCO <sub>3</sub> 1229.10	HCO <sub>3</sub> 506.30	HCO <sub>3</sub> 3598.80	HCO <sub>3</sub> 408.70	HCO <sub>3</sub> 1028.00
SUM 4585.28	SUM 1017.90	SUM 18478.20	SUM 2695.85	SUM 10888.50
CO <sub>2</sub> 2673.0	CO <sub>2</sub> 128.3	CO <sub>2</sub> 3598.0	CO <sub>2</sub> 66.0	CO <sub>2</sub> 556.1
SR 9.60	SR -0.00	SR -0.00	SR -0.00	SR 9.86
MN 1.50	MN -0.00	MN -0.00	MN -0.00	MN 1.22
FE 12.44	FE -0.00	FE 16.87	FE -0.00	FE 7.46
F 1.50				F 1.32
BR 0.51				BR 13.80
J 0.05				J 0.00
CR 16.00				CR 1.50
CO 15.40				CO 1.90
NI 5.00				NI 8.30
CU 20.00				CU 8.10
ZN 242.60				ZN 36.20
CD 1.00				CD 0.50
HG 1.50				HG 0.10
PB 6.40				PB 3.70

Archiv-Nr. 4/10	Archiv-Nr. 4/11	Archiv-Nr. 4/12	Archiv-Nr. 4/13	Archiv-Nr. 4/14
R 442650	R 442960	R 442960	R 442960	R 359370
H 547920	H 548180	H 548180	H 548180	H 553960
STRC 22225	STRC 22225	STRC 22225	STRC 22223	STRC 51000
AA 152	AA 142	AA 142	AA 153	AA 131
DAT 200321	DAT 380627	DAT 380628	DAT 380628	DAT 610500
PH -0.0	PH 7.2	PH 6.7	PH 6.4	PH 6.4
TEMP 18.2	TEMP 17.1	TEMP 18.2	TEMP 21.8	TEMP 10.4
NA 473.30	NA 445.60	NA 1192.00	NA 2488.00	NA 74.50
K 351.70	K 34.15	K 82.23	K 218.60	K 18.40
MG 70.10	MG 70.53	MG 156.10	MG 168.70	MG 97.20
CA 244.40	CA 295.60	CA 846.40	CA 1157.00	CA 134.40
CL 801.10	CL 1031.00	CL 2617.00	CL 4369.00	CL 64.10
NO <sub>3</sub> 0.00	NO <sub>3</sub> 0.00	NO <sub>3</sub> 0.00	NO <sub>2</sub> 0.00	NO <sub>3</sub> 7.20
SO <sub>4</sub> 940.30	SO <sub>4</sub> 344.20	SO <sub>4</sub> 1290.00	SO <sub>4</sub> 2139.00	SO <sub>4</sub> 221.00
HCO <sub>3</sub> 345.10	HCO <sub>3</sub> 284.80	HCO <sub>3</sub> 521.50	HCO <sub>3</sub> 1134.00	HCO <sub>3</sub> 733.10
SUM 3226.00	SUM 2505.88	SUM 6705.23	SUM 11674.30	SUM 1349.90
CO <sub>2</sub> 370.9	CO <sub>2</sub> 5.5	CO <sub>2</sub> 294.4	CO <sub>2</sub> 677.6	CO <sub>2</sub> 91.7
SR -0.00	SR -0.00	SR -0.00	SR 9.15	SR -0.00
MN 0.00	MN 0.13	MN 0.09	MN 1.16	MN 0.10
FE 7.60	FE 1.41	FE 3.07	FE 4.29	FE 0.60
			F -0.00	
			BR 10.61	
			J 0.04	

Archiv-Nr. 4/15		Archiv-Nr. 4/16		Archiv-Nr. 4/17		Archiv-Nr. 4/18		Archiv-Nr. 4/19	
R	448030	R	351175	R	446120	R	443040	R	358960
H	548990	H	552765	H	548460	H	556620	H	558090
STRC	61000	STRC	22223	STRC	61000	STRC	52200	STRC	22213
AA	121	AA	154	AA	121	AA	121	AA	141
DAT	640416	DAT	721020	DAT	641011	DAT	621117	DAT	671010
PH	7.2	PH	7.2	PH	7.1	PH	7.1	PH	6.3
TEMP	5.5	TEMP	18.6	TEMP	9.9	TEMP	11.0	TEMP	11.0
NA	2.95	NA	513.50	NA	3.54	NA	15.20	NA	11420.00
K	5.50	K	18.30	K	4.65	K	2.85	K	286.80
MG	117.76	MG	82.40	MG	41.40	MG	67.38	MG	358.10
CA	200.00	CA	323.40	CA	183.50	CA	579.98	CA	704.00
CL	9.40	CL	1450.00	CL	10.00	CL	23.00	CL	16917.00
NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	2.70	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00
SO <sub>4</sub>	584.30	SO <sub>4</sub>	116.80	SO <sub>4</sub>	288.04	SO <sub>4</sub>	1331.00	SO <sub>4</sub>	3002.00
HCO <sub>3</sub>	457.50	HCO <sub>3</sub>	146.10	HCO <sub>3</sub>	400.16	HCO <sub>3</sub>	456.30	HCO <sub>3</sub>	1816.00
SUM	1377.41	SUM	2653.20	SUM	931.29	SUM	2475.71	SUM	34503.90
CO <sub>2</sub>	24.2	CO <sub>2</sub>	4.3	CO <sub>2</sub>	50.6	CO <sub>2</sub>	77.0	CO <sub>2</sub>	1959.2
SR	-0.00	SR	1.03	SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00
MN	-0.00	MN	0.41	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	0.62	FE	0.83	FE	0.77	FE	0.18	FE	21.04
		F	0.04						
		BR	4.19						
		J	0.05						
		CR	3.20						
		CO	2.00						
		NI	6.50						
		CU	14.30						
		ZN	47.20						
		CD	0.10						
		HG	0.75						
		PB	2.20						

Archiv-Nr. 4/20		Archiv-Nr. 4/21		Archiv-Nr. 4/22		Archiv-Nr. 4/23		Archiv-Nr. 4/24	
R	439350	R	359220	R	357693	R	357630	R	357720
H	554500	H	558020	H	556286	H	556660	H	556800
STRC	42000	STRC	22213	STRC	22213	STRC	22213	STRC	22213
AA	121	AA	121	AA	133	AA	153	AA	153
DAT	621015	DAT	671011	DAT	751001	DAT	520822	DAT	520824
PH	7.4	PH	7.3	PH	5.9	PH	6.4	PH	6.1
TEMP	13.1	TEMP	12.3	TEMP	12.6	TEMP	21.2	TEMP	13.1
NA	60.51	NA	1639.00	NA	2529.00	NA	3688.00	NA	776.80
K	7.30	K	35.20	K	95.00	K	126.40	K	48.62
MG	60.70	MG	93.80	MG	198.40	MG	232.10	MG	127.92
CA	670.00	CA	359.00	CA	555.40	CA	753.70	CA	402.80
CL	135.50	CL	2566.50	CL	4093.00	CL	5506.00	CL	985.30



Archiv-Nr. 4/20	Arvhiv-Nr. 4/21	Archiv-Nr. 4/22	Archiv-Nr. 4/23	Archiv-Nr. 4/24
NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> 2.22	NO <sub>3</sub> 0.10	NO <sub>3</sub> 0.57
SO <sub>4</sub> 1416.00	SO <sub>4</sub> 948.00	SO <sub>4</sub> 876.70	SO <sub>4</sub> 1692.00	SO <sub>4</sub> 718.40
HCO <sub>3</sub> 488.00	HCO <sub>3</sub> 351.00	HCO <sub>3</sub> 1380.00	HCO <sub>3</sub> 2146.00	HCO <sub>3</sub> 1494.50
SUM 2838.01	SUM 5992.50	SUM 9729.72	SUM 14144.30	SUM 4554.71
CO <sub>2</sub> 248.4	CO <sub>2</sub> 80.0	CO <sub>2</sub> 2991.0	CO <sub>2</sub> 1504.0	CO <sub>2</sub> 2064.5
SR -0.00	SR -0.00	SR 3.85	SR 42.10	SR 31.70
MN -0.00	MN -0.00	MN 1.19	MN 0.09	MN 0.14
FE 1.34	FE 2.51	FE 10.90	FE 13.10	FE 16.49
		F 0.25	F 0.09	F 0.04
		BR 7.78	BR 4.81	BR 1.36
		J 0.10	J 0.02	J 0.01
		CR -0.00		CR 10.00
		CO 14.00		CO 29.10
		NI 27.00		NI 15.60
		CU 70.00		CU 1.00
		ZN 15.00		ZN 348.90
		CD 1.00		CD 3.20
		HG 0.20		HG -0.00
		PB 2.00		PB 10.40

Archiv-Nr. 4/25	Archiv-Nr. 4/26	Archiv-Nr. 4/27	Archiv-Nr. 4/28	Archiv-Nr. 4/29
R 358600	R 355510	R 439160	R 358520	R 439980
H 551310	H 558230	H 555590	H 556890	H 549490
STRC 42200	STRC 31000	STRC 22225	STRC 33100	STRC 52100
AA 151	AA 121	AA 121	AA 121	AA 142
DAT 661026	DAT 680505	DAT 300000	DAT 671010	DAT 580424
PH 6.9	PH 4.8	PH 5.5	PH 6.7	PH 6.7
TEMP 12.8	TEMP 9.3	TEMP 7.4	TEMP 11.5	TEMP 11.3
NA 69447.00	NA 9.00	NA 369.00	NA 26.50	NA 64.05
K 102.00	K 1.90	K 12.00	K 10.60	K 6.20
MG 257.70	MG 8.20	MG 138.00	MG 95.87	MG 42.55
CA 1757.50	CA 14.80	CA 378.00	CA 380.64	CA 214.93
CL 109798.00	CL 7.40	CL 754.00	CL 23.20	CL 19.12
NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> 0.00	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> 0.00
SO <sub>4</sub> 3933.60	SO <sub>4</sub> 18.80	SO <sub>4</sub> 670.00	SO <sub>4</sub> 938.22	SO <sub>4</sub> 479.16
HCO <sub>3</sub> 67.40	HCO <sub>3</sub> 94.60	HCO <sub>3</sub> 748.00	HCO <sub>3</sub> 490.40	HCO <sub>3</sub> 383.68
SUM 185363.20	SUM 154.70	SUM 3069.00	SUM 1965.23	SUM 1209.69
CO <sub>2</sub> 29.7	CO <sub>2</sub> 2525.0	CO <sub>2</sub> 2155.5	CO <sub>2</sub> 72.8	CO <sub>2</sub> 75.2
SR -0.00	SR -0.00	SR -0.00	SR 0.00	SR -0.00
MN -0.00	MN -0.00	MN 4.50	MN 0.00	MN -0.00
FE 62.50	FE 8.60	FE 21.10	FE 3.95	FE 0.21

Archiv-Nr. 4/30		Archiv-Nr. 4/31		Archiv-Nr. 4/32		Archiv-Nr. 4/33		Archiv-Nr. 4/34	
R	358720	R	358722	R	356130	R	358570	R	359090
H	557660	H	557665	H	553130	H	547090	H	554620
STRC	22200	STRC	22200	STRC	22213	STRC	42100	STRC	42100
AA	151	AA	153	AA	121	AA	121	AA	121
DAT	681121	DAT	701104	DAT	70000	DAT	630424	DAT	621015
PH	-0.0	PH	5.9	PH	-0.0	PH	7.1	PH	7.4
TEMP	11.8	TEMP	15.6	TEMP	-0.0	TEMP	12.0	TEMP	13.2
NA	24000.00	NA	13715.00	NA	34.90	NA	45.00	NA	16.70
K	-0.00	K	469.20	K	11.60	K	7.20	K	3.20
MG	529.00	MG	431.00	MG	63.50	MG	48.60	MG	70.40
CA	2258.00	CA	1610.00	CA	311.10	CA	580.00	CA	510.00
CL	39455.00	CL	22465.00	CL	0.56	CL	28.30	CL	27.25
NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00
SO <sub>4</sub>	2883.00	SO <sub>4</sub>	2837.00	SO <sub>4</sub>	322.40	SO <sub>4</sub>	1333.30	SO <sub>4</sub>	1174.00
HCO <sub>3</sub>	2665.00	HCO <sub>3</sub>	2071.00	HCO <sub>3</sub>	978.20	HCO <sub>3</sub>	388.00	HCO <sub>3</sub>	431.60
SUM	71790.00	SUM	43598.20	SUM	1722.26	SUM	2430.40	SUM	2233.15
CO <sub>2</sub>	2000.0	CO <sub>2</sub>	1603.0	CO <sub>2</sub>	1500.0	CO <sub>2</sub>	82.5	CO <sub>2</sub>	99.9
SR	-0.00	SR	27.80	SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00
MN	-0.00	MN	0.98	MN	2.40	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	-0.00	FE	26.70	FE	3.70	FE	0.08	FE	6.93
		F	0.51						
		BR	34.30						
		J	0.45						
		CR	3.80						
		CO	23.60						
		NI	77.40						
		CU	15.10						
		ZN	375.50						
		CD	0.80						
		HG	0.20						
		PB	9.50						

Archiv-Nr. 4/35		Archiv-Nr. 4/36		Archiv-Nr. 4/37		Archiv-Nr. 4/38		Archiv-Nr. 4/39	
R	351440	R	355930	R	359950	R	352040	R	360240
H	553160	H	553660	H	554280	H	553800	H	548680
STRC	22221	STRC	42100	STRC	42100	STRC	22221	STRC	42200
AA	144	AA	151	AA	121	AA	141	AA	154
DAT	610328	DAT	621016	DAT	621015	DAT	640408	DAT	600303
PH	7.2	PH	7.2	PH	7.4	PH	7.3	PH	6.4
TEMP	11.7	TEMP	10.6	TEMP	13.2	TEMP	12.0	TEMP	10.2
NA	877.90	NA	49.30	NA	35.10	NA	120.50	NA	96333.00
K	32.43	K	7.60	K	4.70	K	7.80	K	59.94
MG	8.50	MG	94.10	MG	68.30	MG	8.95	MG	158.86
CA	77.84	CA	535.00	CA	585.00	CA	108.00	CA	1336.99
CL	1247.40	CL	53.00	CL	43.30	CL	184.20	CL	149000.00

Archiv-Nr. 4/35	Archiv-Nr. 4/36	Archiv-Nr. 4/37	Archiv-Nr. 4/38	Archiv-Nr. 4/39
NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> 26.53
SO <sub>4</sub> 126.20	SO <sub>4</sub> 1394.00	SO <sub>4</sub> 1333.60	SO <sub>4</sub> 32.10	SO <sub>4</sub> 3109.66
HCO <sub>3</sub> 353.10	HCO <sub>3</sub> 413.30	HCO <sub>3</sub> 465.10	HCO <sub>3</sub> 176.90	HCO <sub>3</sub> 240.10
SUM 2723.37	SUM 2546.30	SUM 2535.10	SUM 638.45	SUM 250265.08
CO <sub>2</sub> 22.0	CO <sub>2</sub> 44.0	CO <sub>2</sub> 114.0	CO <sub>2</sub> 11.7	CO <sub>2</sub> 118.6
SR 2.16	SR -0.00	SR -0.00	SR -0.00	SR 19.10
MN 0.03	MN -0.00	MN -0.00	MN -0.00	MN 0.06
FE 0.20	FE 12.90	FE 1.05	FE 0.06	FE 1.58
F 1.50				F -0.00
BR -0.00				BR 14.07
J -0.00				J 0.00
CR 5.80				CR 107.50
CO 2.50				CO 13.97
NI 6.30				NI 137.80
CU 15.70				CU 495.00
ZN 83.60				ZN 867.00
CD 0.50				CD 7.91
HG 0.40				HG 0.48
PB 1.40				PB 44.07

Archiv-Nr. 4/40	Archiv-Nr. 4/41	Archiv-Nr. 4/42	Archiv-Nr. 4/43	Archiv-Nr. 4/44
R 360170	R 358450	R 439100	R 358850	R 360200
H 548510	H 553240	H 554430	H 563050	H 562000
STRC 51000	STRC 42100	STRC 42100	STRC 22200	STRC 22200
AA 132	AA 121	AA 121	AA 152	AA 152
DAT 690701	DAT 620827	DAT 610307	DAT 580903	DAT 640625
PH 7.1	PH 7.2	PH 6.9	PH 6.7	PH 6.4
TEMP 10.3	TEMP 7.2	TEMP 12.3	TEMP 12.2	TEMP 16.3
NA 167.18	NA 7.54	NA 59.70	NA 97400.00	NA 3310.00
K 11.69	K 2.65	K 5.65	K 713.20	K 175.70
MG 49.73	MG 83.77	MG 69.20	MG 1216.00	MG 34.88
CA 179.63	CA 398.00	CA 660.00	CA 1332.00	CA 1223.00
CL 183.60	CL 23.60	CL 122.50	CL 154200.00	CL 5825.00
NO <sub>3</sub> 8.78	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> 4.60	NO <sub>3</sub> 1.77
SO <sub>4</sub> 344.53	SO <sub>4</sub> 980.20	SO <sub>4</sub> 1448.50	SO <sub>4</sub> 3446.00	SO <sub>4</sub> 1928.00
HCO <sub>3</sub> 496.07	HCO <sub>3</sub> 368.40	HCO <sub>3</sub> 475.80	HCO <sub>3</sub> 186.00	HCO <sub>3</sub> 632.50
SUM 1441.21	SUM 1864.16	SUM 2841.35	SUM 258497.80	SUM 13180.85
CO <sub>2</sub> 64.4	CO <sub>2</sub> 55.0	CO <sub>2</sub> 114.5	CO <sub>2</sub> 207.5	CO <sub>2</sub> 354.5
SR 1.62	SR -0.00	SR -0.00	SR 4.22	SR -0.00
MN 0.04	MN -0.00	MN -0.00	MN 4.93	MN 1.47
FE 0.45	FE -0.00	FE 1.12	FE 10.43	FE 6.03
			F -0.00	F -0.00
			BR 20.78	BR 0.44
			J 0.05	J -0.00

Archiv-Nr. 4/45		Archiv-Nr. 4/46		Archiv-Nr. 4/47		Archiv-Nr. 4/48		Archiv-Nr. 4/49	
R	440850	R	441550	R	441550	R	441200	R	359600
H	560900	H	557230	H	557230	H	556880	H	563100
STRC	22213	STRC	22225	STRC	22223	STRC	22224	STRC	22211
AA	122	AA	152	AA	152	AA	142	AA	152
DAT	640626	DAT	270210	DAT	581022	DAT	630904	DAT	601118
PH	7.2	PH	-0.0	PH	6.4	PH	5.9	PH	5.7
TEMP	12.8	TEMP	22.0	TEMP	28.0	TEMP	15.0	TEMP	14.1
NA	1232.00	NA	14534.00	NA	11060.00	NA	3467.00	NA	1817.00
K	47.52	K	550.00	K	139.40	K	33.76	K	26.06
MG	11.25	MG	357.00	MG	362.70	MG	2788.00	MG	112.70
CA	847.40	CA	883.00	CA	1399.00	CA	702.60	CA	647.70
CL	3381.00	CL	7543.00	CL	17640.00	CL	7996.00	CL	17640.00
NO <sub>3</sub>	1.57	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	1.57	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	3.10
SO <sub>4</sub>	218.50	SO <sub>4</sub>	22388.00	SO <sub>4</sub>	3947.00	SO <sub>4</sub>	8588.00	SO <sub>4</sub>	624.90
HCO <sub>3</sub>	79.03	HCO <sub>3</sub>	2673.00	HCO <sub>3</sub>	386.40	HCO <sub>3</sub>	717.50	HCO <sub>3</sub>	680.30
SUM	5818.27	SUM	48928.00	SUM	34936.07	SUM	24292.86	SUM	7434.76
CO <sub>2</sub>	30.7	CO <sub>2</sub>	1166.0	CO <sub>2</sub>	145.8	CO <sub>2</sub>	82.8	CO <sub>2</sub>	1901.0
SR	4.64	SR	-0.00	SR	0.00	SR	13.62	SR	12.68
MN	-0.00	MN	-0.00	MN	0.00	MN	-0.00	MN	2.01
FE	1.53	FE	72.00	FE	10.57	FE	0.28	FE	26.93
				F	-0.00	F	-0.00	F	-0.00
				BR	9.11	BR	17.88	BR	4.55
				J	0.03	J	0.00	J	0.02

Archiv-Nr. 4/50		Archiv-Nr. 4/51		Archiv-Nr. 4/52		Archiv-Nr. 4/53		Archiv-Nr. 4/54	
R	359000	R	439700	R	439900	R	442000	R	445141
H	550900	H	555100	H	553920	H	553350	H	543556
STRC	42225	STRC	52100	STRC	22223	STRC	52200	STRC	52200
AA	131	AA	141	AA	151	AA	151	AA	151
DAT	540000	DAT	510000	DAT	760624	DAT	700000	DAT	740923
PH	-0.0	PH	7.4	PH	7.2	PH	-0.0	PH	-0.0
TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	19.1
NA	345.00	NA	25.00	NA	6278.00	NA	50.00	NA	17.00
K	-0.00	K	5.00	K	281.00	K	10.00	K	-0.00
MG	-0.00	MG	30.00	MG	382.00	MG	25.00	MG	19.70
CA	419.00	CA	360.00	CA	629.00	CA	350.00	CA	84.40
CL	560.00	CL	19.50	CL	9572.00	CL	76.00	CL	3.00
NO <sub>3</sub>	6.00	NO <sub>3</sub>	5.00	NO <sub>3</sub>	1.50	NO <sub>3</sub>	3.00	NO <sub>3</sub>	0.00
SO <sub>4</sub>	668.00	SO <sub>4</sub>	700.00	SO <sub>4</sub>	2423.00	SO <sub>4</sub>	568.00	SO <sub>4</sub>	74.00
HCO <sub>3</sub>	383.80	HCO <sub>3</sub>	463.70	HCO <sub>3</sub>	988.50	HCO <sub>3</sub>	501.00	HCO <sub>3</sub>	302.60
SUM	2381.80	SUM	1608.20	SUM	20555.00	SUM	1583.00	SUM	500.70
CO <sub>2</sub>	49.0	CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	56.0
SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00
MN	0.02	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	0.30
FE	0.15	FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00	FE	0.40

Archiv-Nr. 4/55		Archiv-Nr. 4/56		Archiv-Nr. 4/57		Archiv-Nr. 4/58		Archiv-Nr. 4/59	
R	445330	R	441810	R	357600	R	442810	R	442810
H	547450	H	554919	H	552600	H	555340	H	555340
STRC	52200	STRC	22213	STRC	42000	STRC	52200	STRC	22223
AA	151	AA	151	AA	141	AA	151	AA	151
DAT	700623	DAT	740509	DAT	760300	DAT	750909	DAT	750909
PH	7.0	PH	5.7	PH	7.3	PH	7.0	PH	6.6
TEMP	13.7	TEMP	18.4	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	47.8
NA	25.00	NA	2527.00	NA	400.00	NA	11.70	NA	31510.00
K	-0.00	K	426.70	K	30.50	K	10.40	K	1033.00
MG	14.00	MG	282.20	MG	62.00	MG	17.00	MG	789.00
CA	74.00	CA	837.50	CA	126.00	CA	40.00	CA	1280.00
CL	13.00	CL	3612.00	CL	505.00	CL	3.19	CL	50965.00
NO <sub>3</sub>	6.00	NO <sub>3</sub>	0.00	NO <sub>3</sub>	6.00	NO <sub>3</sub>	1.25	NO <sub>3</sub>	6.80
SO <sub>4</sub>	65.00	SO <sub>4</sub>	2786.00	SO <sub>4</sub>	380.00	SO <sub>4</sub>	75.30	SO <sub>4</sub>	3467.00
HCO <sub>3</sub>	229.00	HCO <sub>3</sub>	1647.00	HCO <sub>3</sub>	435.70	HCO <sub>3</sub>	164.00	HCO <sub>3</sub>	1050.00
SUM	426.00	SUM	12118.40	SUM	1945.20	SUM	322.84	SUM	90100.80
CO <sub>2</sub>	28.0	CO <sub>2</sub>	1526.0	CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	84.1	CO <sub>2</sub>	1600.0
SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00	SR	0.00	SR	0.00
MN	0.23	MN	-0.00	MN	0.07	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	1.00	FE	15.30	FE	0.10	FE	5.41	FE	44.10
								F	4.80
								BR	-0.00
								J	-0.00
								CR	47.50
								CO	20.80
								NI	53.00
								CU	57.00
								ZN	1342.00
								CD	1.30
								HG	-0.00
								PB	10.00

Archiv-Nr. 4/60		Archiv-Nr. 4/61		Archiv-Nr. 4/62		Archiv-Nr. 4/63		Archiv-Nr. 4/64	
R	359715	R	359700	R	442900	R	355000	R	358900
H	550433	H	550500	H	545680	H	563700	H	543200
STRC	42225	STRC	42225	STRC	52200	STRC	22213	STRC	52200
AA	131	AA	141	AA	151	AA	152	AA	141
DAT	220830	DAT	220830	DAT	730201	DAT	570000	DAT	650000
PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0
TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	19.8	TEMP	-0.0
NA	21000.00	NA	27190.00	NA	1.80	NA	1705.00	NA	1419.00
K	1200.00	K	1332.00	K	2.10	K	79.80	K	-0.00
MG	711.00	MG	1070.00	MG	23.20	MG	149.80	MG	-0.00
CA	1015.00	CA	1170.00	CA	39.20	CA	559.20	CA	564.00
CL	32570.00	CL	41920.00	CL	6.40	CL	1727.00	CL	196.00
NO <sub>3</sub>	3.90	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	8.50	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00

SO <sub>4</sub> 8922.00	SO <sub>4</sub> 7410.00	SO <sub>4</sub> 5.00	SO <sub>4</sub> 2957.00	SO <sub>4</sub> 3980.00
HCO <sub>3</sub> 244.00	HCO <sub>3</sub> 244.00	HCO <sub>3</sub> 235.50	HCO <sub>3</sub> 404.70	HCO <sub>3</sub> 85.00
SUM 65665.90	SUM 80336.00	SUM 321.70	SUM 7582.50	SUM 6244.00
CO <sub>2</sub> -0.0	CO <sub>2</sub> -0.0	CO <sub>2</sub> -0.00	CO <sub>2</sub> 30.0	CO <sub>2</sub> -0.0
SR -0.00	SR -0.00	SR 0.00	SR 10.90	SR -0.00
MN -0.00	MN -0.00	MN 0.30	MN 0.06	MN 0.00
FE -0.00	FE -0.00	FE 0.52	FE 5.40	FE -0.00

F -0.00  
BR -0.00  
J -0.00  
CR -0.00  
CO -0.00  
NI -0.00  
CU 7.00  
ZN -0.00  
CD -0.00  
HG -0.00  
PB -0.00  
HG -0.00  
PB -0.00

Archiv-Nr. 4/65	Archiv-Nr. 4/66	Archiv-Nr. 4/67	Archiv-Nr. 4/68	Archiv-Nr. 4/69
R 357180	R 350100	R 355600	R 355610	R 354860
H 545250	H 551150	H 548460	H 548465	H 6254
STRC 42200	STRC 22223	STRC 42223	STRC 22223	STRC 42223
AA 141	AA 152	AA 133	AA 153	AA 141
DAT 290000	DAT 720000	DAT 650000	DAT 660000	DAT 570000
PH -0.0	PH -0.0	PH -0.0	PH -0.0	PH -0.0
TEMP -0.0	TEMP 20.5	TEMP 10.7	TEMP 15.3	TEMP -0.0
NA 11160.00	NA 79.60	NA 877.50	NA 3592.00	NA 6254.00
K 27.00	K 12.50	K 34.30	K 77.40	K -0.00
MG 147.00	MG 28.90	MG 90.40	MG 291.30	MG 272.00
CA 1009.00	CA 71.40	CA 647.80	CA 665.00	CA 800.00
CL 16830.00	CL 197.00	CL 995.50	CL 4344.00	CL 9784.00
NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> 0.17	NO <sub>3</sub> 0.19	NO <sub>3</sub> 0.28	NO <sub>3</sub> 0.00
SO <sub>4</sub> 3547.00	SO <sub>4</sub> 14.40	SO <sub>4</sub> 1990.00	SO <sub>4</sub> 3586.00	SO <sub>4</sub> 2118.00
HCO <sub>3</sub> -0.00	HCO <sub>3</sub> 241.00	HCO <sub>3</sub> 580.90	HCO <sub>3</sub> 1145.00	HCO <sub>3</sub> 899.00
SUM 32720.00	SUM 644.97	SUM 5216.59	SUM 13700.98	SUM 20127.00
CO <sub>2</sub> -0.0	CO <sub>2</sub> 11.0	CO <sub>2</sub> 190.0	CO <sub>2</sub> 560.0	CO <sub>2</sub> -0.0
SR -0.00	SR 0.95	SR 3.35	SR 8.20	SR 4.31
MN -0.00	MN 0.25	MN 0.25	MN 0.15	MN 0.27
FE -0.00	FE 1.31	FE 1.77	FE 2.46	FE 1.90
	F 0.11	F 1.00	F 0.60	F -0.00
	BR 1.28	BR 1.97	BR 9.90	BR -0.00
	J 0.02	J 0.18	J 0.97	J -0.00
		CR -0.00	CR -0.00	CR 2.70
		CO 12.00	CO 8.00	CO 0.80
		NI 3.00	NI 4.00	NI 6.00
		CU 5.00	CU 7.00	CU 19.30
		ZN 15.00	ZN 9.00	ZN 83.60
		CD -0.00	CD -0.00	CD 0.90
		HG -0.00	HG -0.00	HG 2.90
		PB 1.00	PB 1.00	PB 5.80

Archiv-Nr. 4/70		Archiv-Nr. 4/71		Archiv-Nr. 4/72		Archiv-Nr. 4/73		Archiv-Nr. 4/74	
R	353840	R	351400	R	352500	R	352600	R	441223
H	560540	H	556270	H	556600	H	557300	H	557829
STRC	22223	STRC	22223	STRC	22213	STRC	22200	STRC	32000
AA	132	AA	141	AA	142	AA	154	AA	154
DAT	580000	DAT	20000	DAT	510000	DAT	760623	DAT	720720
PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	6.6	PH	7.4
TEMP	11.0	TEMP	-0.0	TEMP	12.7	TEMP	24.0	TEMP	31.0
NA	8740.00	NA	12270.00	NA	5654.00	NA	34000.00	NA	11.37
K	350.00	K	802.00	K	407.40	K	2097.00	K	13.85
MG	249.30	MG	293.60	MG	204.10	MG	581.20	MG	40.88
CA	1475.00	CA	1483.00	CA	1153.00	CA	3192.00	CA	192.10
CL	13438.00	CL	20670.00	CL	9596.00	CL	56720.00	CL	9.48
NO <sub>3</sub>	8.05	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	0.00	NO <sub>3</sub>	5.00	NO <sub>3</sub>	0.82
SO <sub>4</sub>	2782.00	SO <sub>4</sub>	1535.00	SO <sub>4</sub>	1301.00	SO <sub>4</sub>	3050.00	SO <sub>4</sub>	446.90
HCO <sub>3</sub>	2922.00	HCO <sub>3</sub>	2420.00	HCO <sub>3</sub>	2102.00	HCO <sub>3</sub>	3420.00	HCO <sub>3</sub>	253.87
SUM	29964.35	SUM	39473.60	SUM	20417.50	SUM	103065.20	SUM	969.27
CO <sub>2</sub>	3850.0	CO <sub>2</sub>	1591.0	CO <sub>2</sub>	1729.0	CO <sub>2</sub>	1850.0	CO <sub>2</sub>	78.7
SR	15.05	SR	-0.00	SR	14.23	SR	14.91	SR	1.76
MN	0.55	MN	-0.00	MN	0.98	MN	0.71	MN	0.03
FE	21.50	FE	16.30	FE	22.73	FE	6.42	FE	1.40
F	0.65			F	-0.00	F	-0.00	F	0.29
BR	6.67			BR	1.45	BR	-0.00	BR	-0.00
J	0.01			J	0.00	J	-0.00	J	-0.00
CR	-0.00			CR	-0.00	CR	5.90	CR	3.20
CO	-0.00			CO	-0.00	CO	1.20	CO	3.60
NI	-0.00			NI	-0.00	NI	12.00	NI	11.20
CU	150.00			CU	93.00	CU	23.30	CU	8.80
ZN	10.00			ZN	330.00	ZN	736.50	ZN	91.60
CD	-0.00			CD	-0.00	CD	0.30	CD	0.80
HG	-0.00			HG	-0.00	HG	1.40	HG	0.24
PB	120.00			PB	-0.00	PB	4.50	PB	5.00

Archiv-Nr. 4/75		Archiv-Nr. 4/76		Archiv-Nr. 4/77		Archiv-Nr. 4/78		Archiv-Nr. 4/79	
R	360502	R	350270	R	355460	R	353600	R	354610
H	557466	H	557900	H	559500	H	561000	H	550310
STRC	22225	STRC	22222	STRC	33200	STRC	22213	STRC	22223
AA	134	AA	142	AA	121	AA	153	AA	141
DAT	561005	DAT	6000	DAT	360000	DAT	560000	DAT	720000
PH	6.3	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0
TEMP	10.2	TEMP	12.0	TEMP	7.5	TEMP	14.8	TEMP	-0.0
NA	2820.00	NA	4570.20	NA	18.00	NA	15068.00	NA	1055.00
K	58.37	K	318.00	K	10.20	K	313.00	K	0.00
MG	322.05	MG	147.00	MG	55.00	MG	416.10	MG	81.00
CA	555.10	CA	788.90	CA	101.60	CA	1552.55	CA	136.00

Archiv-Nr. 4/75		Archiv-Nr. 4/76		Archiv-Nr. 4/77		Archiv-Nr. 4/78		Archiv-Nr. 4/79	
CL	3080.00	CL	7644.00	CL	9.20	CL	23313.00	CL	1605.00
NO <sub>3</sub>	0.06	NO <sub>3</sub>	0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	0.54	NO <sub>3</sub>	0.00
SO <sub>4</sub>	3744.00	SO <sub>4</sub>	924.50	SO <sub>4</sub>	40.60	SO <sub>4</sub>	3560.50	SO <sub>4</sub>	407.00
HCO <sub>3</sub>	940.10	HCO <sub>3</sub>	1513.40	HCO <sub>3</sub>	694.30	HCO <sub>3</sub>	2842.60	HCO <sub>3</sub>	342.00
SUM	11519.68	SUM	15906.00	SUM	928.90	SUM	47066.29	SUM	3626.00
CO <sub>2</sub>	213.9	CO <sub>2</sub>	1230.0	CO <sub>2</sub>	2920.0	CO <sub>2</sub>	3785.0	CO <sub>2</sub>	-0.0
SR	1.34	SR	20.40	SR	-0.00	SR	13.82	SR	-0.00
MN	0.27	MN	0.60	MN	0.90	MN	1.24	MN	-0.00
FE	4.46	FE	10.80	FE	4.50	FE	21.22	FE	-0.00
F	-0.00	F	-0.00			F	0.21		
BR	6.40	BR	5.86			BR	-0.00		
J	0.22	J	0.24			J	-0.00		
CR	2.20					CR	-0.00		
CO	4.90					CO	-0.00		
NI	8.20					NI	-0.00		
CU	5.90					CU	50.00		
ZN	332.00					ZN	150.00		
CD	0.70					CD	-0.00		
HG	1.30					HG	-0.00		
PB	5.30					PB	3.00		

Archiv-Nr. 4/80		Archiv-Nr. 4/81		Archiv-Nr. 4/82		Archiv-Nr. 4/83		Archiv-Nr. 4/84	
R	354250	R	355210	R	356040	R	354350	R	357380
H	549850	H	548900	H	552760	H	551930	H	550740
STRC	22223	STRC	42223	STRC	22223	STRC	22223	STRC	42100
AA	141	AA	131	AA	141	AA	141	AA	131
DAT	540000	DAT	550000	DAT	510000	DAT	-0	DAT	710000
PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0	PH	-0.0
TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0
NA	1432.00	NA	490.00	NA	110.00	NA	22.00	NA	66.00
K	19.00	K	-0.00	K	-0.00	K	-0.00	K	-0.00
MG	121.00	MG	58.00	MG	-0.00	MG	43.00	MG	115.00
CA	568.00	CA	195.00	CA	323.00	CA	453.00	CA	1300.00
CL	790.00	CL	656.00	CL	89.00	CL	195.00	CL	80.00
NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	-0.00	NO <sub>3</sub>	30.00
SO <sub>4</sub>	3446.00	SO <sub>4</sub>	359.00	SO <sub>4</sub>	292.00	SO <sub>4</sub>	539.00	SO <sub>4</sub>	2950.00
HCO <sub>3</sub>	443.00	HCO <sub>3</sub>	663.00	HCO <sub>3</sub>	355.00	HCO <sub>3</sub>	659.00	HCO <sub>3</sub>	775.00
SUM	6819.00	SUM	2421.00	SUM	1169.00	SUM	1911.00	SUM	5316.00
CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	-0.0
SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00	SR	-0.00
MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00	FE	-0.00



Archiv-Nr. 4/85		Archiv-Nr. 4/86		Archiv-Nr. 4/87		Archiv-Nr. 4/88		Archiv-Nr. 4/89	
R	358800	R	356700	R	355340	R	446094	R	358600
H	559700	H	551550	H	557440	H	555284	H	546500
STRC	22223	STRC	42100	STRC	31000	STRC	32000	STRC	42225
AA	151	AA	131	AA	154	AA	141	AA	131
DAT	730000	DAT	560111	DAT	770202	DAT	500000	DAT	500000
PH	-0.0	PH	7.0	PH	5.1	PH	7.5	PH	-0.0
TEMP	10.0	TEMP	11.1	TEMP	12.8	TEMP	-0.0	TEMP	-0.0
NA	108.00	NA	10.00	NA	3.04	NA	25.00	NA	1308.00
K	5.00	K	5.00	K	11.70	K	-0.00	K	-0.00
MG	20.00	MG	53.30	MG	19.70	MG	22.40	MG	137.00
CA	73.00	CA	300.00	CA	55.20	CA	82.50	CA	382.00
CL	122.00	CL	16.00	CL	2.33	CL	41.10	CL	950.00
NO <sub>3</sub>	5.00	NO <sub>3</sub>	11.50	NO <sub>3</sub>	0.30	NO <sub>3</sub>	1.00	NO <sub>3</sub>	-0.00
SO <sub>4</sub>	93.00	SO <sub>4</sub>	638.00	SO <sub>4</sub>	111.60	SO <sub>4</sub>	88.90	SO <sub>4</sub>	2529.00
HCO <sub>3</sub>	243.00	HCO <sub>3</sub>	390.50	HCO <sub>3</sub>	146.40	HCO <sub>3</sub>	250.60	HCO <sub>3</sub>	475.00
SUM	669.00	SUM	1424.30	SUM	350.27	SUM	511.50	SUM	5781.00
CO <sub>2</sub>	-0.0	CO <sub>2</sub>	71.0	CO <sub>2</sub>	956.0	CO <sub>2</sub>	72.6	CO <sub>2</sub>	135.0
SR	-0.00	SR	-0.00	SR	0.23	SR	-0.00	SR	-0.00
MN	-0.00	MN	-0.00	MN	0.11	MN	-0.00	MN	-0.00
FE	-0.00	FE	-0.00	FE	4.30	FE	2.00	FE	-0.00
				F	0.32				
				BR	-0.00				
				J	-0.00				
				CR	4.00				
				CO	1.40				
				NI	6.90				
				CU	54.70				
				ZN	96.90				
				CD	1.00				
				HG	0.10				
				PB	4.50				

Archiv-Nr. 4/90		Archiv-Nr. 4/91		Archiv-Nr. 4/92		Archiv-Nr. 4/93		Archiv-Nr. 4/94		Archiv-Nr. 4/95	
R	445240	R	445200	R	354752	R	439910	R	448482	R	354750
H	549572	H	547300	H	556947	H	543216	H	540929	H	546300
STRC	61000	STRC	61000	STRC	22222	STRC	52200	STRC	82025	STRC	22223
AA	141	AA	131	AA	154	AA	151	AA	152	AA	151
DAT	630000	DAT	700717	DAT	740725	DAT	760531	DAT	770127	DAT	420000
PH	-0.0	PH	7.6	PH	5.8	PH	7.9	PH	7.7	PH	-0.0
TEMP	-0.0	TEMP	-0.0	TEMP	18.8	TEMP	11.4	TEMP	23.4	TEMP	-0.0
NA	47.90	NA	10.00	NA	169.00	NA	30.00	NA	339.00	NA	12818.00
K	-0.00	K	2.00	K	52.40	K	5.40	K	18.90	K	646.70
MG	62.40	MG	119.10	MG	75.90	MG	9.10	MG	8.50	MG	303.60
CA	178.70	CA	585.10	CA	355.00	CA	30.00	CA	19.00	CA	1031.10
CL	10.00	CL	0.30	CL	177.30	CL	3.00	CL	123.00	CL	18214.00

Archiv-Nr. 4/90	Archiv-Nr. 4/91	Archiv-Nr. 4/92	Archiv-Nr. 4/93	Archiv-Nr. 4/94	Archiv-Nr. 4/95
NO <sub>3</sub> -0.00	NO <sub>3</sub> 1.00	NO <sub>3</sub> 1.30	NO <sub>3</sub> 1.80	NO <sub>3</sub> 0.93	NO <sub>3</sub> 13.88
SO <sub>4</sub> 460.00	SO <sub>4</sub> 1561.60	SO <sub>4</sub> 445.00	SO <sub>4</sub> 10.00	SO <sub>4</sub> 63.00	SO <sub>4</sub> 5400.00
HCO <sub>3</sub> 383.00	HCO <sub>3</sub> 427.10	HCO <sub>3</sub> 1125.00	HCO <sub>3</sub> 104.00	HCO <sub>3</sub> 720.00	HCO <sub>3</sub> 1539.50
SUM 1142.00	SUM 2706.20	SUM 2400.90	SUM 193.30	SUM 1292.33	SUM 39966.78
CO <sub>2</sub> -0.0	CO <sub>2</sub> -0.0	CO <sub>2</sub> 2362.0	CO <sub>2</sub> 6.0	CO <sub>2</sub> 32.7	CO <sub>2</sub> 1306.7
SR -0.00	SR -0.00	SR -0.00	SR -0.00	SR -0.00	SR -0.00
MN -0.00	MN -0.00	MN 1.86	MN 0.03	MN 0.02	MN -0.00
FE -0.00	FE 0.20	FE 7.74	FE 0.01	FE 0.02	FE 34.50
		F -0.00		F 5.53	
		BR -0.00		BR 0.37	
		J -0.00		J 0.03	
		CR 1.86			
		CO 6.40			
		NI 22.00			
		CU 64.50			
		ZN 183.00			
		CD 0.90			
		HG 1.40			
		PB 24.50			

## Zusammenfassung

Alle Wasservorkommen einschließlich der Niederschläge unterliegen in zunehmendem Maße dem Einfluß des Menschen. Die ständige Ausweitung besiedelter und industrialisierter Flächen sowie die Intensivierung landwirtschaftlicher Nutzung verringern die für Wassererschließungen geeigneten Räume; der Nutzung von tieferen Grundwässern steht meist ein zu hoher Salzgehalt entgegen. Auf der anderen Seite steigt der Wasserbedarf sowohl jedes einzelnen Menschen als auch von Industrie und Landwirtschaft an. Die aus quantitativer wie qualitativer Sicht angespannte Versorgungslage mit Grundwasser gab in den letzten Jahren der geowissenschaftlichen Grundwasserforschung neue Impulse, wobei gebietsbezogene Arbeiten in den Vordergrund traten. Ihr Ziel ist es, neben einer umfassenden Wasserbilanz auch eine gesicherte Unterscheidung zwischen natürlichem Inhalt und zusätzlicher Belastung von Gewässern zu erreichen. Mit der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch unternommen, erstmals das Grundwasser eines größeren Bereichs als geschlossene Einheit zu erfassen und darzustellen, um die Wasserinhaltsstoffe dem natürlichen oder menschlichen Kreislauf zuordnen zu können. Hierzu waren bisher wenig bekannte Systemabläufe zu erfassen und durch naturwissenschaftliche Gesetze zu erklären. Für diese Fragestellung erwies sich das Grundwasser Frankens als besonders geeignet, da es in einem geologisch umgrenzbaren Körper anzutreffen ist und zentral im Main als Hauptvorfluter zum Abfluß gelangt.

Die tektonisch erfaßbare Fränkische Teilscholle, weitgehend identisch mit dem Gebiet des heutigen Frankens, ist Bestandteil der Süddeutschen Großscholle. Das Vindelicische Hoch im Süden, die Odenwald-Tauber-Ries-Barre im Westen sowie die Odenwald-Spessart-Rhön-Schwelle im Nordwesten grenzen die Teilscholle ab. Im Osten ist die Thüringisch-Fränkische-Linie gemeinsamer Schollenrand zum Saxothuringikum und Moldanubikum.

Diese alt angelegten Strukturen sind heute noch als Wasserscheiden aktiv, die in groben Zügen das Flußgebiet des Mains bis zum Mainviereck umfassen. Somit darf das Grundwasser Frankens als ein geschlossenes System einer größeren Einheit betrachtet werden.

Der geologische Körper, in dem sich das Grundwasser bewegt, wird von nachvariskischen Sedimentationsfolgen aufgebaut. Über terrestrischen Rotliegendeschichten lagern bis zu mehreren hundert Metern mächtige Sedimentationsfolgen des Zechsteinmeeres. Im Fulda- und Werra-Becken kam es zu dieser Zeit im Zuge von Regressionen bei wüstenhaftem Klima zu Eindampfungen mit Bildung von Steinsalz- und Kalisalzlagern. Die beckenfernere Randzone ist von einem Anhydritsaum umgeben. Riffbildungen sind aus dem Bereich der Spessart-Rhön-Schwelle, aber auch aus flacheren Zonen des offenen Meeres bekannt. Der Buntsandstein ist mit über 600 m mächtigen klastischen Ablagerungen flächenhaft verbreitet, im Norden und Nordosten sind insbesondere im Oberen Buntsandstein Evaporite anzutreffen. Mit einer erneuten Transgression begann die Zeit des Muschelkalkmeeres. Während einer Regressionsphase im Mittleren Muschelkalk erfolgten wiederum flächenhafte Eindampfungen mit Bildung von Anhydrit und Steinsalz. In der folgenden Keuperzeit verflachte das Meer zunehmend, terrestrische Bildungen schoben sich in das alte Muschelkalkbecken vor. An der Grenze zwischen Unterem und Mittlerem Keuper und im gesamten unteren Mittleren Keuper (Gipskeuper) sind in Zonen, in denen durch Regression abgeschnürte Lagunen der Eindampfung ausgesetzt waren, Gipsablagerungen entstanden. Muschelkalk- und Keupersedimente umfassen insgesamt eine Mächtigkeit von über 700 m.

Mit dem Rät begann die Zeit des jungmesozoischen Schelfmeeres bei gleichzeitigem Klimawechsel, humides Klima herrschte von nun an vor. Die Sedimente des Lias und Doggers weisen in Mächtigkeit und Fazies starke Differenzierungen auf, eine Folge des Vordringens des Meeres in eine buchtenreiche Küste des alten Keuperlandes. Das Malm-Meer überflutete das alte Vindelicische Land im Süden und stellte somit eine umfassende Verbindung zwischen germanischem und alpinem Bereich her. Das fränkische Malm-Meer hatte Flachmeercharakter, Lagunen und Schwammriffe gliederten die Meereslandschaft. An der Grenze zwischen Oberjura und Unterkreide zog sich das Meer aus Süddeutschland zurück. Die Oberkreide-Transgression erreichte nur den südöstlichen Randbereich der Fränkischen Teilscholle, wo sie Sandsteine und Mergel hinterließ. Im Miozän drangen im Norden der Scholle Basalte bei intensiver Dehnungstektonik auf. Im Pliozän verlegte der Main seinen Lauf von der Donau zum Rhein, wodurch das heutige Gewässernetz in seinen Grundzügen festgelegt wurde.

Bei der Betrachtung der Grundwasservorkommen Frankens kann man von der Gliederung in „höheres“ und „tieferes“ Grundwasser ausgehen, obwohl für eine solche Unterteilung keine hydraulischen Kriterien gegeben sind. Für die Zuordnung der Grundwässer zum tieferen Bereich können neben dem meist höheren Alter in erster Linie physikalisch-chemische Parameter herangezogen werden, wobei neben erhöhten Temperaturen der Mangel an gelöstem Sauerstoff und geringe bis fehlende Mengen an Nitrat wichtige Kriterien darstellen. Die stoffliche Zusammensetzung der Grundwasserleiter prägt in allen wichtigen Parametern den Chemismus der Grundwässer. Der anthropogene Stoffeintrag in die Atmosphäre, in die Gewässer und auf den Boden ist jedoch ein wichtiger mitprägender Faktor. Beim oberflächennahen Grundwasser können der geologischen Herkunft nach 15 Typen unterschieden werden. Kristallin- und Basaltwässer zeigen wie die Wässer des Mittleren Buntsandsteins die geringsten Mineralisationen. Der Karbonatreichtum des Unterem und Oberem Muschelkalks und des Unterem Keupers liefert bei geringem sulfatischem Mate-

rial erdalkalisch-hydrogenkarbonatische Wässer, während der Mittlere Muschelkalk überwiegend sulfatisches Wasser enthält. Solche „Gipswässer“ sind auch im Bereich des Gipskeupers und in der Heldburgfazies des Sandsteinkeupers typisch, während in der Sandfazies des Sandsteinkeupers neben karbonatisch-sulfatischen Wässern sowohl karbonatisch-sulfatarmer als auch gering mineralisierte Typen anzutreffen sind. Hier folgt der Chemismus der Wässer streng der faziellen Ausbildung der Keupersedimente. Die Jura-Wässer unterscheiden sich nur in geringem Maße voneinander; im Bereich der Lias-Dogger-Grenze kommen örtlich sulfatische Wässer vor, deren Sulfatgehalt aus oxidierten Pyritvorkommen stammt. Das Malm-Wasser ist in seiner Charakteristik ein Erdalkali-Hydrogenkarbonat-Wasser, das im seichten Karst eine geringere Mineralisation als im tieferen Karst aufweist; die Gesamtmineralisation liegt meist niedriger als die der hydrogenkarbonatischen Wässer des Muschelkalks und des Unteren Keupers.

Die tieferen Grundwässer lassen sich ihrer Entstehung und Herkunft nach in autochthone und allochthone Vorkommen gliedern. Die autochthonen Grundwässer befinden sich in ihrem Ursprungsgestein, während die allochthonen in Schichten angetroffen werden, denen sie genetisch nicht zugeordnet werden können. Der autochthone Typ stellt darüber hinaus häufig ein Mischwasser dar, das sich beim vertikalen Aufstieg mit gering mineralisierten Wässern bildet. Er weist gegenüber den Grundwässern der aktiven Zone bei gleichem Muttergestein erhöhte Gesamtmineralisation auf. Am deutlichsten sind diese Unterschiede bei den Buntsandsteinwässern ausgeprägt, zurückführbar auf unterschiedliche Auslaugung der Gesteine. Allochthone Tiefenwässer sind in größerer Entfernung von ihrem Entstehungsort anzutreffen und bewegen sich meist auf Grund ihrer hohen Dichte als „Wandersolen“ unterhalb geringer mineralisierter autochthonen Grundwässern. Als Liefergebiet kommt in erster Linie der Bereich der oberen Werra in Frage, wo durch rezente Salzablaugung saline Tiefenwässer entstehen, die nach Süden bis in den Raum von Nürnberg vordringen. Für den Westen kann das Fuldagebiet als Lieferant des Salzwassers angesehen werden. Das Steinsalzvorkommen des Mittleren Muschelkalks zwischen Main und Tauber liegt oberhalb des Zechstein-Salzwasserspiegels, so daß es hier zu Anhebungen der Salz-Süßwassergrenze kommt. Auf Grund der Höhenverhältnisse des Salzwasserspiegels kann vermutet werden, daß ein Großteil des Salzwassers im Bereich der Kraichgausenke dem Oberrheingraben zufließt.

Die statistische Analyse von insgesamt 22 Typen des höheren und tieferen Grundwassers (über 1100 Einzelanalysen) ergab 4 Hauptgruppen. Die erste Gruppe umfaßt gering mineralisierte Wässer bis etwa 250 mg/l Gesamtmineralisation heterogener, hydrochemischer Zusammensetzung. Die zweite Gruppe setzt sich aus erdalkalisch-hydrogenkarbonatischen Wässern mit einem Lösungsinhalt von etwa 250 bis 700 mg/l zusammen. Die dritte Gruppe umfaßt erdalkalisch-sulfatische Wässer (Gipskeuper), deren Mineralisationen zwischen 700 und 3000 mg/l liegen. Die größte Streuung zeigen die Chloridwässer (Gruppe 4), deren Mineralisation bei etwa 3000 mg/l beginnt und bis weit über 100.000 mg/l ansteigen kann. Für die Gruppen 1 bis 3 sind die überwiegend dem anthropogenen Bereich zuzuordnenden Ionen Natrium, Chlorid und Nitrat nicht gruppenspezifisch. Innerhalb der Gruppe der Chloridwässer können Zechsteinwässer von Solen des Mittleren Muschelkalkes auf Grund unterschiedlicher Gehalte an Kalium und Magnesium unterschieden werden.

Bei der Frage nach der geogenen bzw. anthropogenen Herkunft der Hauptwasserinhaltsstoffe ist der Niederschlagseintrag ohne größere Bedeutung. Von den düngespezifischen Stoffen Sulfat und Nitrat macht sich Nitrat mitunter durch extreme Gehalte bemerkbar, die in Bereichen von Sonderkulturen über 500 mg/l ansteigen können; dagegen sind in ungedüngten bewaldeten Gebieten Nitratwerte um 5 mg/l ty-

pisch. Chlorid steigt ebenfalls in landwirtschaftlich genutzten Gebieten deutlich an, jedoch werden Werte von 50 mg/l nur selten erreicht oder überschritten. Der aus der Düngung stammende Anteil der Alkalien Natrium und Kalium dürfte bei Natrium nur wenige Milligramm pro Liter betragen, für Kalium lassen sich Gehalte unter 1 mg/l angeben. Nur in Gebieten mit schlecht entwickelten Böden geringen Sorptionsvermögens kann erhöhter Kaliumaustrag bis zu etwa 3 mg/l festgestellt werden. Die Erdalkalien sind in den meisten Gesteinen in großem Überschuß vorhanden, so daß sich ihr Anteil aus der Düngung nicht ermitteln läßt.

Bei den gering mineralisierten Wässern (Lösungsgehalt unter 250 mg/l) geht der geogene Anteil mit abnehmender Mineralisation zurück. In Gebieten mit karbonatreichen Gesteinen ist mit steigenden Nitratgehalten eine Zunahme des Kalziums und Hydrogenkarbonats nachweisbar. Dies ist durch die erhöhte biologische Aktivität und die damit verbundene zusätzliche Produktion von Kohlendioxid bedingt. Die Gehalte an biogener Kohlensäure in den Grundwässern übersteigen selten Werte von 50 mg/l, entsprechend einem CO<sub>2</sub>-Bodengasgehalt von etwa 4 Vol-%. Kohlendioxidgehalte über 100 mg/l sind in Bereichen ohne anthropogen bedingten stark erhöhten mikrobiellen Abbau organischer Substanzen (Mülldeponien) dem magmatischen Bereich zuzuordnen. Im fränkischen Raum treten Wässer mit erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalten in Bereichen tiefreichender Störungszonen auf, bevorzugt an Kreuzungspunkten herzynischer mit rheinischen Strukturen. Die höchsten Gehalte werden im Nahbereich der Basaltvorkommen des Vogelsberges und der Rhön erreicht; als bedeutendste Förderstruktur ist die Kissingen-Haßfurter-Störungzone zu nennen. Einige Tiefenwasservorkommen weisen auch noch weitab vom Basaltvulkanismus beachtliche Kohlensäuregehalte auf, ohne daß Anzeichen für Tiefenförderung vorhanden sind. Es muß gefolgert werden, daß die unter hohem Druck gelöste Kohlensäure mit den Wässern mitwandert und somit allochthoner Herkunft ist.

An Gesteinen des Perm und der Trias durchgeführte Laborversuche waren geeignet, Aussagen über Stoffe und deren Konzentrationen zu machen, die unter naturähnlichen Bedingungen in Lösung gehen, wodurch Rückschlüsse auf den anthropogenen Eintrag möglich wurden. Im Vergleich mit den entsprechenden Werten natürlicher Wässer liegen im allgemeinen die Chlorid- und Nitratgehalte der Lösungswässer deutlich niedriger. Nitrat erreicht bei den Lösungswässern max. 1 mg/l, die Chloridwerte schwanken stärker, überschreiten jedoch selten 10 mg/l.

Der Vergleich der Spurenmetallgehalte in Grundwässern mit Niederschlagswässern zeigt auf, daß bei Blei die Werte des höheren Grundwassers von den Niederschlägen um etwa eine Zehnerpotenz überschritten werden; der Eintrag von Zink liegt ebenfalls über den Grundwasser- und den durch Lösungsversuche gewonnenen Werten. Chrom, Kupfer und Cadmium zeigen keine bedeutenden Unterschiede, während der Nickelgehalt der Niederschläge etwa eine Zehnerpotenz niedriger liegt als im Grundwasser. Der Vergleich der Lösungswässer mit den Grundwässern ergab in der Größenordnung geiche Gehalte, was für eine überwiegend geogene Herkunft der Spurenmetallgehalte der Grundwässer spricht. Folglich muß der dem anthropogenen Kreis zugehörige Niederschlagseintrag in den Deckschichten zurückgehalten werden und dort zu Anreicherungen führen.

Zur weitergehenden Deutung der Herkunft von Wasserinhaltsstoffen wurden die Analysenwerte der einzelnen Grundwassertypen Korrelations- und Regressionsberechnungen unterzogen. Bei den Zechsteinwässern der Beckenfazies korrelieren Natrium- und Chlorid-Ionen in stöchiometrischer Abhängigkeit mit fast 100%iger Signifikanz. Die Korrelation zwischen Kalium und Kalzium ist mit 99,9% ebenfalls höchst signifikant, möglicherweise auf Polyhalitvorkommen des Werragebietes zurückführbar. Die Wässer des Unteren und Mittleren Buntsandsteins zeigen bei der

Korrelation Magnesium, Chlorid und Sulfat den anthropogenen Einfluß an, während die Korrelation zwischen Kalzium und Hydrogenkarbonat geogen bedingt sein dürfte. Das Wasser des Oberen Buntsandsteins läßt bei Kalium, Natrium und Chlorid die Düngekomponente erkennen. Beim Wasser des Unteren und Oberen Muschelkalks sind die Korrelationspaare Natrium-Nitrat, Natrium-Chlorid und Kalzium-Nitrat dem anthropogenen Kreis zuzurechnen. Gips- und Sandsteinkeuperwässer, die aus Schichten unterschiedlichen Kalzium-Gehaltes stammen, zeigen eindeutige Korrelationen beider Ionen. Bei Lias- und Doggerwässern stehen Kalzium und Hydrogenkarbonat in fast stöchiometrischer Abhängigkeit zueinander. Die anthropogene Komponente wird hier durch die Korrelation zwischen Chlorid und Nitrat verdeutlicht. Bei den Malmwässern korrelieren nur anthropogen eingebrachte Stoffe. Der eindeutige Zusammenhang zwischen Kalzium, Hydrogenkarbonat und Nitrat zeigt die gesteigerte CO<sub>2</sub>-Produktion durch Aktivierung des Pflanzenwachstums auf.

Die Spurenmetalle Chrom, Cobalt, Nickel, Zink, Cadmium und Blei wurden jeweils zur Gesamtmineralisation in Beziehung gebracht, nachdem sich eine Korrelation der Werte untereinander als nicht sinnvoll erwiesen hatte. Die Korrelation der Spurenmetalle mit der Gesamtmineralisation hingegen erbrachte für Chrom, Nickel, Kupfer und Cadmium ein positives Ergebnis, während Cobalt, Zink und Blei den Vertrauensbereich von 95% nicht erreichten. Die im Zuge der Berechnungen durchgeführte Unterteilung der Wässer in die Mineralisationsgruppen bis 1500 mg/l und über 1500 mg/l ergab für alle Spurenmetalle bis auf Zink höhere Werte für die Gruppe mit der höheren Gesamtmineralisation, ein Effekt, der sich zwanglos mit dem durch erhöhte Lösung von Gesteinsmaterial konform gehenden Eintrag an Spurenstoffen in Beziehung bringen läßt.

Des weiteren sind die Beziehungen zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Gesamtmineralisation sowie die Abhängigkeit der einzelnen Hauptionen vom Gesamtionengehalt dargestellt. Mit Hilfe dieser hochsignifikanten Zusammenhänge kann eine rasche Beurteilung der Einzelstoffgehalte nach Messung der Leitfähigkeit erfolgen.

In einer abschließenden Synthese wurden die Mittelwerte der Grundwässer dem Mainwasser bei Trockenwetterabfluß gegenübergestellt. Grundlage dieser vergleichenden Betrachtungsweise ist die Tatsache, daß bei derartigen Abflußgeschehen ausschließlich Grundwasserabfluß vorliegt, der nur durch in die Vorfluter eingebrachtes Abwasser vergrößert wird. Nachdem durch die Lösungsversuche die rein geogenen Komponenten bekannt waren, konnten die im Mainwasser bei Trockenwetter zum Abfluß gelangenden Inhaltsstoffe weitergehend aufgegliedert werden.

Natrium, Kalium und Chlorid sind im Mainwasser etwa 3mal so hoch wie die entsprechenden Grundwasserwerte, Nitrat ist um ca. 50% erhöht. Die Stoffe Magnesium, Kalzium, Sulfat und Hydrogenkarbonat sind nicht von den Grundwasserwerten zu unterscheiden und praktisch zu 100% dem geogenen Kreis zuzurechnen. Höchst signifikant ist der Anstieg des Phosphors, der im Mainwasser den Grundwasserwert um das 50fache übersteigt. Für die Spurenmetalle lagen zu wenig Forschungsergebnisse vor, um die Grundwasserwerte mit den Werten des Mainwassers in ausreichend gesicherte Beziehungen bringen zu können. Auf Grund einiger stichpunktartiger Messungen kann jedoch gefolgert werden, daß die Werte von Chrom und Blei im Mainwasser um etwa eine Zehnerpotenz höher liegen als die Mittelwerte der Grundwässer; bei Kupfer ist eine Tendenz zu höheren Werten erkennbar. Ohne jeglichen Einfluß des Menschen auf das Grundwasser und das Mainwasser würde der Main bei Niedrigwasser etwa 85% der heutigen Lösungsfracht transportieren.

## Literatur

- AL-AZAWI, A.: Grundwasserverhältnisse im Raum Lohr a. M. (Ostspessart) unter besonderer Berücksichtigung Hydrochemie. Diss. Univ. Tübingen: 140 S.; Tübingen 1976.
- AMMON, L. v.: Über eine Tiefbohrung durch den Buntsandstein und die Zechsteinschichten bei Mellrichstadt an der Rhön. Geogn. Jh. **13**, 149–193; München 1901.
- AMMON, L. v.: Bohrprofil der Bohrung am Wehrhaus; in: Fresenius, R., u. Grünhut, L.: Chemische und physikalische Untersuchungen des Luitpoldsprudels zu Bad Kissingen nebst Untersuchungen über dessen Radioaktivität, **49**; Wiesbaden 1913.
- ANDRES, G., und GEYH, M. A.: Untersuchungen über den Grundwasserhaushalt im überdeckten Sandsteinkeuper mit Hilfe von C-14- und H-3-Wasseranalysen. Die Wasserwirtschaft, **8**, 259–263; Stuttgart 1970.
- APEL, R.: Hydrogeologische Untersuchungen im Malmkarst der Südlichen und Mittleren Frankenalb. Geologica Bavarica, **64**, 268–355; München 1971.
- BAYER. STAATSMINISTERIUM DES INNEREN Sanierungsprogramm für die Abwasserbeseitigung und -reinigung in den Entwicklungsachsen Main und Pegnitz. 23 S.; München 1974.
- BECK, R., und BERG, G.: Abriß der Lehre von den Erzlagerstätten. 354 S.; Berlin (Springer) 1922.
- BECKSMAN, E.: Grundwasserchemismus und Speichergestein. Z. dt. geol. Ges., **106** (1954), 23–25; Hannover 1956.
- BIRZER, F.: Eine Tiefbohrung durch das mesozoische Deckgebirge in Fürth in Bayern. Zbl. Mineral. etc., Abt. B, **1936**, 425–433; Stuttgart 1936.
- BIRZER, F.: Die Mineralwasserbrunnen von Fürth in Bayern. Geol. Bl. NO-Bayern, **6**, 106–118; Erlangen 1956.
- BIRZER, F.: Der Mineralwasserspiegel im Sandsteinkeuper des Gebiets zwischen Pegnitz und Schwabach. Geol. Bl. NO-Bayern, **24**, 148–156; Erlangen 1974.
- BIRZER, F.: Bohrung in Simmelsdorf (Albflor-Milchwerke). Geol. Bl. NO-Bayern, **25**, 1, 51–54; Erlangen 1975.
- BIRZER, F.: Tiefbrunnen der Stadt Hersbruck. Geol. Bl. NO-Bayern, **26**, 1, 65–68; Erlangen 1976 a.
- BIRZER, F.: Eine Bohrung durch den Burgsandstein bei Greding. Geol. Bl. NO-Bayern, **26**, 2, 150–151; Erlangen 1976 b.
- BITTERSÖHL, J.: Infiltration und Grundwasserneubildung im Bereich der Bayerischen Hochrhön und ihrem Vorland, mit hydrochemischen Untersuchungen. Diss. TU München (in Vorbereitung, ca. 150 S.)
- BRAITSCHE, O.: Entstehung und Stoffbestand der Salzlagerstätten. Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen. 232 S., 47 Abb.; Berlin, Göttingen, Heidelberg (Springer) 1962.
- BREYER, F.: Ergebnisse seismischer Messungen auf der süddeutschen Großscholle, besonders im Hinblick auf die Oberfläche der Varistikums. Z. dt. geol. Ges., **108**, 1. Teil, 21–36, 6 Abb., 2 Tab.; Hannover 1956.
- BREYER, F.: Versuche zur geologischen Erkundung des Untergrundes in Mittel- und Oberfranken mittels gravimetrischer und seismischer Messungen. Z. dt. geol. Ges., **123**, 235–258; Hannover 1972.
- BRUNNACKER, K.: Gesichtspunkte zur jüngeren Landschaftsgeschichte und zur Flußentwicklung in Franken. Z. Geomorph. N. F. Suppl., **17**, 72–90; Berlin–Stuttgart 1973.
- BRUNNACKER, K.: Aktivierungen des fluviatilen Geschehens im Holozän nördlich der Alpen. Biuletyn Geologiczny, **19**, 149–156; Warszawa 1975.
- BUDMER, A.: Die Schwefelversorgung der westdeutschen Landwirtschaft. Landwirtsch. Forsch., **11**, 79–92, 13 Tab.; Frankfurt/Main 1958.
- BÜCKING, H.: Der nordwestliche Spessart. Abh. preuß. geol. Landesanst., N. F., **12**, 86 S.; Berlin 1892.
- CARLE, W.: Bau und Entwicklung der Südwestdeutschen Großscholle. Beih. Geol. Jb., **16**, 272 S., 45 Abb., 4 Taf.; Hannover 1955. (Habilitationsschrift Stuttgart 1953).
- CARLE, W.: Stockwerke und Wanderwege von Mineralwässern in Franken. Z. dt. geol. Ges., **106** (1954), 118–130, 6 Abb.; Hannover 1956.
- CARLE, W.: Das saline Mineralwasser bei Langenburg (Landkreis Crailsheim). Jh. geol. Landesamt Baden-Württ., **8**, 87–104, 4 Abb., 6 Analysen; Freiburg 1966.
- CARLE, W.: Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa; Geologie, Chemismus, Genese. 643 S., 15 Ktn.; Stuttgart (Wiss. Verlagsges.) 1975.
- CHELIUS, C.: Der vulkanische Vogelsberg in seinen Beziehungen zu den Sol- und Heilquellen an seinem Rande. Balneol. Ztg., wiss.-techn. Tl., **15**, 9–10; Berlin 1904.
- CRAMER, P.: Schichtstufenland Nordbayerns. V. Tektonik. In Erl. Geol. Kte. v. Bayern **1**: 500.000, 162–177; München (Geol. Landesamt) 1964.
- CZERATZKI, W.: Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Landbauforschung Völkerode, **23**, 1, 1–18; Völkerode 1973.

- DAVIS, S. N., und DE WIEST, R. J. M.: Hydrogeology. 463 S.; New York, London, Sydney (Wiley) 1966.
- DORN, P.: Geologie von Mitteleuropa. 488 S., 19 Taf., 11 Tab.; Stuttgart (E. Schweizerbart) 1960.
- EINSELE, G., BOZORGZAD-ARBAAB, D., HEITTELE, H., KLOCK, M., und SEILER, K.-P.: Hydrogeologische Untersuchungen in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes. Geol. Mitt., 9, 1-74, 24 Abb., 15 Tab.; Aachen 1969.
- EMMERT, U.: II. b. Muschelkalk, II. c. Keuper. In Erläuterungen zur geol. Karte von Bayern 1 : 500.000, 91-120; München (Geol. Landesamt) 1964.
- FLIEGEL, G.: Der Thermalsolsprudel von Bad Kolberg in Thüringen. Z. f. prakt. Geol., 37, 1-16 und 27-31, Berlin 1927.
- FÖRSTNER, U., und MÜLLER, G.: Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. 225 S., 83 Abb., 59 Tab., Berlin, Heidelberg, New York (Springer) 1974.
- FRAAS, O.: Vergleichendes Schichtenprofil in den Bohrlöchern Düssmener-Mühlacker und Inggelingen. Jh. Ver. vaterl. Naturkunde Württ. 15, 326-339; Stuttgart 1859.
- FREEZE, R. A.: Regionalization of Hydrogeologic Parameters for Mathematical Models of Groundwater Flow. Int. Geological Congress, 12th session, Section II, Hydrogeology, 177-190; Montreal 1972.
- FRIMMEL, F., und QUENTIN, K.-E.: Chemismus des Thermalwassers aus der Bohrung Rodach 1/1972. Geologica Bavarica, 67, 135-138; München 1973.
- GENSER, C.: Über die Erschließung neuer Heilquellen in Bad Neustadt/Saale. Heilbad und Kurort, 5, 105-122; Baden-Baden 1970.
- GEORGOTAS, N.: Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Bad Kissinger Raum unter besonderer Berücksichtigung der dortigen Heil- und Mineralquellen. Diss. TU München, 4 Beil.; München 1972.
- GEORGOTAS, N.: Neuere Erkenntnisse zur Hydrogeologie und Hydrochemie der Bad Kissinger Heilquellen. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk., 21, 389-416; Stuttgart (Schattauer) 1974.
- GEORGOTAS, N.: Das Mineralwasservorkommen in der mittleren Mainregion. Heilbad und Kurort, 10/11, 338-341; Gütersloh 1976.
- GEORGOTAS, N., und UDLUFT, P.: Schwermetallgehalt der Fränkischen Saale in Abhängigkeit der Wasserführung. Z. dt. geol. Ges., 124, 545-554, 5 Abb., 3 Tab., Hannover 1973.
- GEORGOTAS, N., und UDLUFT, P.: Tiefes Grundwasser. In: ANDRES, G., und GEORGOTAS, N. (Schriftl.): Das Mainprojekt. Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, 7, 286-296; München 1978.
- GERB, L.: Grundwassertypen. Vom Wasser, 25, 16-47; Weinheim/Bergstr. (Verlag Chemie) 1958.
- GERMAN RESEARCH GROUP for Explosion Seismology: Crustal Structure in Western Germany. Z. Geophys., 30, 209-234; Würzburg 1964.
- GIESE, P., und STEIN, A.: Versuch einer einheitlichen Auswertung tiefenseismischer Messungen aus dem Bereich zwischen Nordsee und Alpen. Z. Geophys., 37, 237-272; Würzburg 1971.
- GIESSLER, A.: Erschließung des Wassers. 110 S., 46 Abb., 16 Tab.; Berlin (VEB) 1955.
- GRIMM, W.-D., und HOFBAUER, J.: Die Grundwasserkarte von Bayern 1 : 25.000. I. Teil: Idee, Gestaltung, Organisation. Deutsche Gewässerk. Mitt. Sonderheft 1967, 113-188, 5 Abb., 7 Anl., Koblenz 1967.
- GUDDEN, H.: Die Thermalwasser-Erschließungsbohrung Rodach 1/1972. Geologica Bavarica, 67, 80-118; München 1973.
- GUDDEN, H.: Die Thermal-Mineralwasser-Erschließungsbohrung Staffelstein 1975. Bohrtechn. Brunnenbau, Röhrl. Bau (bbr), 28, 3, 85-92, Köln 1977.
- HAUDE, W.: Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. Mitt. deutsch. Wetterdienst, 8, 3-22; Bad Kissingen 1954.
- HAUNSCHILD, H., und WILD, A.: Geologische und hydrochemische Ergebnisse der Bohrung Raitberg 2 (nördliches Vorries). Geol. Bl. NO-Bayern, 27, 2, 119-126; Erlangen 1977.
- HEINRICHS, H., und MAYER, R.: Distribution and Cycling of Major and Trace Elements in Two Central European Forest Ecosystems. Journal of Environmental Quality, 6, 4, 402-407; South Segoe Rd., Madison, USA 1977.
- HEISENBERG, W.: Das Naturbild der heutigen Physik. Rowohlt's deutsche Enzyklopädie. 149 S.; Hamburg (Rowohlt) 1955.
- HEM, J. D.: Stability field diagrams as aid in iron chemistry studies. J. am Water Works Assoc., 53, 2, 211-228; 6 fig.; New York 1961.
- HEM, J. D.: Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Geol. Survey Water-Supply Paper 1473. 269 S., 40 Abb., 26 Tab.; 5 Aufl., Washington 1967.
- HERMAN, R.: La configuration chimique des eaux souterraines. Centre Belga d'Etude et de Documentation des Eaux, 27, 37-45; Bruxelles 1955.
- HERZBERG, A.: Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder. Jb. Gas 1914; zit. in E. Prinz (1923).
- HIRSCH, L.: Tertiärgeologische Untersuchungen in der Rhön; Würzburg-Aumühle 1937.



- HOBLE, M.: Hydrogeologische Untersuchungen in der quartären Maintalfüllung im Raum Ochsenfurt/Ufr. Diss. Univ. Würzburg, 100 S., I-IX; Würzburg 1971.
- HOBERGER, K.: Grundwasserbilanz, Chemismus und Stoffaustrag im Einzugsgebiet der Tauber oberhalb von Bad Mergentheim. Diss. Univ. Tübingen, 188 S.; Tübingen 1977.
- HÖLTING, B., und THEWS, J. D.: Hydrogeologische Daten in der geologischen Karte 1 : 25.000 und anderen Kartenwerken von Hessen. Das Gas- und Wasserfach (gwf), **117**, 6, 245-251; München 1976.
- HOPPE, W.: Die Mineral- und Heilwässer Thüringens (Geologie, Chemie, Geschichte, Nutzung). Geologie, **21**, Beih. 75, 183 S.; Berlin (Akademie Verlag) 1972.
- HOPPE, W.: 5. 3. Mesozoikum. In: Geologie von Thüringen, 828-844; Gotha, Leipzig (VEB Hermann Haak) 1974.
- HÖRAUF, H.: Zwei neue Tiefbohrungen zur Grundwassererschließung bei Abensberg, Lkr. Roth bei Nürnberg. Geol. Bl. NO-Bayern, **24**, 1/2, 129-140; Erlangen 1974.
- HÖTZL, H.: Die Hydrogeologie und Hydrochemie des Einzugsgebietes der obersten Donau. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **25**, 5-102; Graz 1973.
- HUBBERT, M.: The theory of groundwater motion. Journal of Geology, **48**, 785-944; Chicago 1940.
- IMHOFF, K., und IMHOFF, K. R.: Taschenbuch der Stadtentwässerung. 103 Abb., 12 Taf., 24. verb. Aufl.; München (Oldenburg) 1976.
- KAISER, R., und GOTTSCHALK, G.: Elementare Tests zur Beurteilung von Meßdaten, Soforthilfe für statistische Tests mit wenigen Meßdaten. B. J. Hochschultaschenbücher, Band 774, 68 S.; Mannheim, Wien, Zürich (Bibliographisches Institut) 1972.
- KAMPE, R.: Die Mineralquellen. In Handbuch der Hydrologie von E. Prinz und R. Kampe 2. Band VII, 290 S.; Berlin (Springer) 1934.
- KANZ, W.: Das Talgrundwasser des Maintals im Grenzbereich Muschelkalk - Buntsandstein - Hydrogeologie und Beschaffenheit. Diss. Univ. Tübingen; 118 S., 50 Abb. im Anhang; Tübingen 1977.
- KANZ, W.: Hydrogeologische Zusammenhänge in einem überbeanspruchten Talauenaquifer. Z. dt. geol. Ges., **128**, 469-483, 10 Abb., 1 Tab.; Hannover 1977a.
- KESSLER, B.: Die Beziehungen von Erzgängen, Tektonik, Vulkanismus. Z. prakt. Geol., **25**, 45-63; Berlin (Springer) 1927.
- KÖLBEL, H.: Allgemeiner Überblick über die paläogeographische und tektonische Stellung des Norddeutschen Tieflandes nebst Einführung in die Problemstellung. Ber. dt. Ges. geol. Wiss. A, Geol. Paläont., **12**, 51-64; Berlin 1967.
- KOPPE, P.: Untersuchungen über das Verhalten von Inhaltsstoffen der Abwässer der metallverarbeitenden Industrie und ihren Einfluß auf die Wasserversorgung. Das Gas- und Wasserfach, gwf-Wasser/Abwasser, **114**, 170-175; München 1973.
- KRAUSPE, A.: Die Grundwässer des mittleren Keupers und Quartärs im westlichen Mittelfranken. Diss. Univ. (FU) Berlin, 204 S., 3 Ktn.; Berlin 1970.
- KURMIES, B.: Über den Schwefelhaushalt des Bodens. Phosphorsäure, **17**, 5/6, 258-278; Essen 1957.
- LE CONTE, J.: in Trans. Am. Inst. Min. Eng., **24**, New York, 1894 (zit. in K. A. Weithofer, 1936).
- LEMCKE, K., und TUNN, W.: Das Tiefenwasser in der süddeutschen Molasse und ihrer verkarsteten Malmunterlage. Bull. Ver. Schweiz. Petrol. Geol. u. Ing., **23**, 64, 35-56; Basel 1956.
- MARZ, K.: Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Buntsandstein und Muschelkalk Nordbayerns. Hydrochem. Hydrogeol. Mitt., **2**, 1-170; München (Inst. Wasserchemie) 1977.
- MATTHESS, G.: Die Herkunft der Sulfationen im Grundwasser. Abh. hess. L.-Amt f. Bodenforsch., **35**, 85 S., 3 Abb., 31 Tab.; Wiesbaden 1961.
- MATTHESS, G.: Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. Abh. hess. L.-Amt f. Bodenforsch., **58**, 105 S., 20 Abb., 18 Tab., 4 Taf.; Wiesbaden 1970.
- MATTHESS, G.: Die Beschaffenheit des Grundwassers. In: Richter, W. (Hrsg.): Lehrbuch der Hydrogeologie, **2**, XII, 324 S., 89 Abb., 86 Tab.; Berlin/Stuttgart, (Borntraeger) 1973.
- MESTWERDT, A.: Bad Soden und seine neue Tiefbohrung. Z. dt. geol. Ges., **85**, 570-574, Stuttgart 1933.
- MEYER, H.-H.: Grundwasseruntersuchung auf den Ostfriesischen Inseln, Beispiel Norderney. Z. dt. geol. Ges., **128**, 305-318, 10 Abb.; Hannover 1977.
- MICHEL, G.: Untersuchungen über die Tiefenlage der Grenze Süß-Salzwasser im nördlichen Rheinland und anschließenden Teilen Westfalens, zugleich ein Beitrag zur Hydrologie und Chemie des tieferen Grundwassers. Forsch. Ber. Land Nordrhein.-Westf. Nr. 1239, 131 S., 12 Abb., 8 Anl.; Köln und Opladen 1963.
- MICHEL, G.: Tiefes Grundwasser in Nordrhein-Westfalen. Zbl. geol. Paläont., I, **1971**, 369-379; Stuttgart 1972.

- MOGHIMI, M.: Geologie des Niederschlagsgebietes der Sulz bei Ostheim v. d. Rhön und die Hydrochemie seiner Quellen. Unveröffentl. Dipl.-Arb. TU Berlin (Prof. Brühl), 52 S + 18 Tab.; Berlin 1976.
- MÜLLER, E. P., und PAPENDIEK, G.: Zur Verteilung, Genese und Dynamik von Tiefenwässern unter besonderer Berücksichtigung des Zechsteins. Z. geol. Wiss. 3, 167–196; Berlin 1975.
- MÜLLER, W.: Die hydrogeologischen Verhältnisse im mittleren Keuper südlich Nürnbergs (Mfr.); Meßtischblätter 6631 Roßtal, 6632 Schwabach, 6731 Abenberg, 6732 Roth b. Nbg. Diss. Univ. München 90 S; München 1970.
- NATERMANN, E.: Die Linie des langfristigen Grundwassers (AuL) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). Die Wasserwirtschaft, Sonderheft: Vorträge der gewässerkundl. Tagung Sept. 1950 in München, 12–14; München 1951.
- NATERMANN, E.: Das Haushaltsdreieck, ein neuer und einfacher Weg zur Aufschlüsselung des Wasserhaushalts der Flüsse. Gas und Wasserfach (gws), 96, 728–733, 8 Abb.; München 1955.
- ORTLAM, D.: Inhalt und Bedeutung fossiler Bodenkomplexe in Perm und Trias von Mitteleuropa. Geol. Rdsch., 63, 3, 850–884; Stuttgart 1974.
- PENNINK, J. M. K.: Over de Beweging van grondwater. De Ingenieur 1905 u. Ib. Gas; 1907; zit. in E. PRINZ: Handbuch der Hydrologie; Berlin (Springer) 1923.
- PLOTHNER, D.: Hydrochemische Untersuchungen an Vorfluter- und Brunnenwässern des Mittleren und Oberen Buntsandsteins im Niederschlagsgebiet der Sulz bei Ostheim v. d. Rhön. Unveröffentl. Dipl.-Arb. TU Berlin (Prof. Brühl), 57 S., Berlin 1976.
- POPEL, F.: Lehrbuch für Abwassertechnik und Gewässerschutz. I.1.8; Zusammensetzung des kommunalen Abwassers; Mainz-Wiesbaden (Deutscher Fachschriften-Verlag) 1976.
- POSEPENY, F.: Über die Bewegung der unterirdisch zirkulierenden Flüssigkeiten. Congrès géol. internat., Comte rendu de la 3 me Sess., 83–106; Berlin 1885.
- PRINZ, E.: Handbuch der Hydrologie; Wesen, Nachweis, Untersuchung und Gewinnung unterirdischen Wassers: Quellen, Grundwasser, unterirdische Wasserläufe, Grundwasserforschungen. 422 S., 334 Abb., 2. Aufl.; Berlin (Springer) 1923.
- QUENTIN, K.-E.: Die Heil- und Mineralquellen Nordbayerns. Geologica Bavarica, 62, 312 S., 1 Kte.; München (Geol. Landesamt) 1970.
- QUENTIN, K.-E., N. GEORGOTAS und P. UDLUFT: Die Neufassung der Bad Kissinger Kurgartenquellen, ein Beispiel für die erfolgreiche Anwendung hydrogeologischer und hydrochemischer Grundlagenforschung. Vom Wasser, 45, 1–15; Weinheim/Bergst. (Verlag Chemie) 1976.
- QUENTIN, K.-E.: und M. BAUMANN: Erbohrung einer Thermalquelle in Bad Gögging/Ndb. (Zusammenfassender Bericht, Unveröffentl. Gutachten) Inst. f. Wasserchemie TU München 1977.
- QUENTIN, K.-E., P. UDLUFT und P. SCHMITT: Abschlußbericht über die Mineralquellen-Neuerschließung in Bad Königshofen im Grabfeld (Landkreis Rhön-Grabfeld). 30 S; 50 Anl. (unveröffentl. Gutachten) Lehrstuhl für Hydrogeol. u. Hydrochem. TU München 1977.
- REIS, O. M.: Der Mittlere und Untere Muschelkalk im Bereich der Steinsalzbohrung zwischen Burgbernheim und Schweinfurt. Geogn. Jh., 14, 23–127; München 1901.
- RICHTER-BERNBURG, G.: Über saline Sedimentation. Z. dt. geol. Ges., 105, 593–645; Hannover 1955.
- RICHTER, W., und LILICH, W.: Abriß der Hydrogeologie. IV, 281 S.; 96 Abb., 18 Tab.; Stuttgart 1975.
- RÖSLER, H. J., und LANGE, H.: Geochemische Tabellen. 674 S.; 314 Abb., 1 Beil.; Leipzig (VEB Interdruck; Lizenz Enke, Stuttgart) 1976.
- RUHRGAS AG: Bohrung Mürsbach B 4, Versuchsbohrung, unveröffentl. Bohrbericht; Essen 1971.
- RUTKE, E.: Neue Daten zur Geologie des Bereiches von Kelheim. Geol. Bl. NO-Bayern, 20, 3, 119–139; Erlangen 1970.
- SCHMIDT-KALER, H.: Keuper und Jura in der Tiefbohrung Riedenburg. Geolog. Bl. NO-Bayern, 19, 97–112; Erlangen 1969.
- SCHMITT, P.: Das Grundwasser des Grabfeldes (Ufr.) Hydrologie und Hydrochemie. Diss. TU München (in Vorbereitung ca. 120 S.)
- SCHNEIDER, O.: Blatt 31 Rentwertshausen: Bohrloch Oberroda I/Bibra. Mitt. Bohrrarch. preuß. geol. Landesanst., H 7, 266–269; Berlin 1915.
- SCHNEIDER, O.: Blatt Nr. 41 Neustadt/Coburg: Bohrloch Mittelberg. Mitt. Bohrrarch. preuß. geol. Landesanst., H 7, 269–272; Berlin 1915a.
- SCHOELLER, M.: La concentrations des eaux souterraines en chlore. Bull. du Bureau de Recherches Geol. et Minières, 2, 51–90; Paris 1964.
- SCHÖTTLER, U.: Das Verhalten von Schwermetallen bei der Langsamsandfiltration. Z. dt. geol. Ges., 126, 373–384, 13 Abb.; Hannover 1975.
- SCHRÖDER, B.: Saxonische Tektonik im Ostteil der Süddeutschen Scholle. Geol. Rdsch., 65, 1, 34–54; Stuttgart 1976.

- SCHROLL, E.: Analytische Geochemie in zwei Bänden. Band I, Methodik: 292 S., Band II Grundlage und Anwendungen: 374 S.; Stuttgart (Enke) 1975.
- SCHRIMPF, E., und HERRMANN, R.: Spurenmetallgehalte im Schnee Nordostbayerns. Gesundheits-Ingenieur, **98**, 3, 70-74; München 1978.
- SCHULZ, H. D.: Grundwasserneubildung, berechnet aus der Chlorid-Bilanz. Geol. Mitt., **12**, 35-60; Hannover 1972.
- SCHULZ, H. D.: Die Grundwasserbeschaffenheit der Geest Schleswig-Holsteins; eine statistische Auswertung. Bes. Mitt. dt. gewässerkd. Jb., **40**, 141 S.; Kiel 1977.
- SCHUSTER, M.: Die Gliederung des Unterfränkischen Buntsandsteins. I. Der Untere und Mittlere Buntsandstein. Abh.-Geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt, **7**, 62 S., 1 Kte., 9 Abb., 4 Taf.; München 1932.
- SCHUSTER, M.: Der Schönbornsprudel und andere alte Solequellen bei Bad Kissingen. Die Geschichte ihrer Erschließung und ihre geologische Bedeutung. Mitt. Reichsst. Bodenforsch. Zweigst. München **36**: 95 S.; München 1940.
- SCHWARZBACH, M.: Verwitterung und Bodenbildung. In: Brinkmann, R. (Hrsg): Lehrbuch der Allgemeinen Geologie, **1**, VIII + 520 S., 297 Abb., 38 Tab., 1 farb. Tag.; Stuttgart (Enke) 1964.
- STEINMÜLLER, A., und UNGER, P.: 5.4. Känozoikum. In Geologie von Thüringen, 845-862; Gotha/Leipzig (VEB Hermann Haak) 1974.
- STEUER, A.: Über die Bildung von Mineral- und Grundwasser in der Wetterau. Jb. Gasbeleuchtung u. verw. Beleuchtungsarten sowie f. Wasservers., **43**, 1054-1057; München 1912.
- STILLE, H.: Das mitteleuropäische variszische Grundgebirge im Bilde des gesamteuropäischen. Beih. geol. Jb., **2**, 138 S., 2 Taf., 15 Abb.; Hannover 1951.
- STRELL, M.: Wasser und Abwasser-Reinhaltung der Gewässer. 352 S, 296 Abb.; München (Oldenbourg) 1955.
- Suess, E.: Über heiße Quellen. Verhandl. Ges. dt. Naturf. u. Ärzte in Karlsbad, 83-126; Leipzig 1902.
- THURACH, H.: Über die mögliche Verbreitung von Steinsalzlagerstätten im nördlichen Bayern. Geogn. Jh., **13** (1900), 107-148; München 1901.
- TÓTH, J.: A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada. Journal of Geophys. Res., **67**, 11, 4375-4387; Washington 1962.
- TÓTH, J.: A Theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. Journal of Geophys. Res. **68**, 16, 4795-4812; Washington 1963.
- TÓTH, J.: Properties and manifestations of regional groundwater movement. Int. Geological Congress, 24th session; Section II, Hydrogeology, 153-163; Montreal 1972.
- TREIBS, W.: III. Jura. In Erläuterungen zur geol. Karte von Bayern 1 : 500.000, 121-141; München (Geol. Landesamt) 1964.
- TRUSHKEIM, F.: Über den Untergrund Frankens; Ergebnisse von Tiefbohrungen in Franken und Nachbargebieten, 1953-1960. Geologica Bavarica, **54**, 92 S; 11 Abb., 13 Beil.; München 1964.
- UDLUFT, H.: Perm. Erl. hydrogeol. Übersichtskarte Bundesrepublik Deutschland 1 : 500.000, Bl. Frankfurt/Main 42-44; Remagen 1957.
- UDLUFT, P.: Hydrogeologie und Hydrochemie der Südrhön unter besonderer Berücksichtigung der Mineralquellen im Brückenauer Raum. 132 S, 33 Abb. 38 Tab., 6 Ktn.; Diss. TH München 1969.
- UDLUFT, P.: Bestimmung des entwässerbaren Kluftraumes mit Hilfe des Austrocknungskoeffizienten nach Maillet, dargestellt am Einzugsgebiet der Lohr (Nordost-Spessart). Z. dt. geol. Ges. **123**, 53-63, 5 Abb., 3 Tab.; Hannover 1972.
- UDLUFT, P.: Das tiefere Grundwasser zwischen Vindelicischem Rücken und Alpenrand. Geol. Jb., **C 11**, 3-29, 12 Abb., 1 Tab.; Hannover 1975.
- UDLUFT, P.: Geologische Aufnahme des Schichtenprofils der Bohrung Zeitlofs/Ufr. Unveröffentlicht, 1975 a.
- UDLUFT, P.: Geologische Aufnahme des Schichtenprofils der Bohrung Knetzgau, Unveröffentlicht 1976.
- UDLUFT, P.: Die Heilquellen des unterfränkischen Zechsteins. Z. angew. Bäder- und Klimatherapie, **24**, 152-155; Stuttgart 1977.
- UDLUFT, P.: Nutzung von Tiefengrundwasser zur Trinkwasserversorgung. Z. dt. geol. Ges., **128**, 451-459, 5 Abb., 2 Tab.; Hannover 1977 a.
- UDLUFT, P., und WEIL, L.: Bedingungen für die biogene Bildung von Schwefelwasserstoff in natürlichen Wässern. Z. f. Wasser- und Abwasserforsch. **7** (1), 10-13; München 1974.
- UDLUFT, P., und EICHELSDÖRFER, D.: Vorkommen und Nutzung der Thermalbäder im Rottaler Bäderdreieck Bad Füssing, Birnbach und Griesbach (Niederbayern). Heilbad und Kurort, **29**, 210-214 und 302-309, 13 Abb., 3 Tab.; Gütersloh 1977.
- VILLINGER, E.: Über Potentialverteilung und Strömungssysteme im Karstwasser der Schwäbischen Alb (Oberer Jura, SW-Deutschland). Geol. Jb. **C 18**, 3-93, 9 Abb., 11 Tab., 2 Taf.; Hannover 1977.

- WEITHOFER, K. A.: Das Tiefenstandwasser. Z. dt. geol. Ges. **88**, 1, 29–41; Berlin 1936.
- WEYER, K. U.: Conceptual Models for Evaluation of the Subterranean Water Cycle in Paleozoic Highlands. Int. Geological Congress 24th session, Section II, Hydrogeology, 107–117; Montreal 1972.
- WINKLER, H. A.: Das Grundwasser im Nördlinger Ries unter Berücksichtigung der hydrologischen und hydrochemischen Beziehungen zum Speichergestein. Diss. TU München, 202 S.; München 1972.
- WIRTH, E.: Mit Beitr. von Elstner, F.: Die Schichtenfolge der Erdölaufschlußbohrung Eichstätt 1 und Daiting 1, Fränkische Alb. *Geologica Bavarica*, **63**, 39–85; München 1970.
- WUNDT, W.: Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß der verfügbaren Grundwassermengen. In Grahmann, R.: Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung. *Forsch. z. deutsch. Landesk.*, **104**: 47–54; Remagen 1958.
- WUNDT, W.: Eine Abschätzung des frei abflußfähigen Grundwasservorrates. *Wasserfach (gwf)*, **108**, 953–961; München 1967.
- WURM, A.: Die Nürnberger Tiefbohrungen, ihre wissenschaftliche und praktische Bedeutung. *Abh. Geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt*, **1**, 1–44; München 1929.

### Summary

The ground water of the Franconian part of the South German tectonic block can be viewed as a system of a larger unit, in which the Main River acts as the main drainage base. The paleogeographic development of the post-Variscan sedimentation sequences is decisive in determining the chemical composition of the waters in the area being discussed. The ground water in the upper levels can be characterized according to its geologic origin, the lower levels have been divided into autochthonous and allochthonous waters. The location of the fresh water-salt water boundary, depicted for the first time in geological-hydrochemical profiles, is determined by the supply areas in the Werra-Saline to the north and Fulda-Saline to the northwest; the salt water occurrence in the mid-Muschelkalk locally raises the fresh water-salt water boundary. Through a statistical evaluation of the 1100 individual analyses, the 22 types of the higher and lower ground water can be divided in four main groups. For the heterogenous group of low mineralisation (<250 mg/l) the group of alkaline earth-bicarbonate waters (250–700 mg/l), and the group of alkaline earth-sulfate waters (700–3000 mg/l), the ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{NO}_3^-$  are not tied to any specific group; the fourth group comprises the sodium-chlorid waters.

The search for a geogenic or civilization effected origin of the water content shows that the precipitation delivers only slight amounts of the main ions whereas its content of trace-metals is equal to that of ground water. Correlative calculations in connection with solution experiments in the laboratory showed that in most of the higher level ground waters  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{NO}_3^-$  are derived primarily from anthropogenic sources while the considerable amount of trace-metals delivered by the precipitation does not show up in the ground water.

A comparison of the mean values of all the higher level ground waters with the Main River water at dry-weather-level indicates that  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  are about 300%,  $\text{NO}_3^-$  about 50% higher in the river water than in the ground water; the values of the geogenic substances ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) coincide with those of the ground water. Most significant is the 50 times higher level of phosphor in the river water than in the ground water. The chromium and lead values are about 10 times higher in the Main River, copper shows a tendency to higher values. An approximation of the total content shows that about 15% of the solution transfer of the Main River at low-water-level originates from human influence upon the drainage basin.

Anschrift des Verfassers: Dr. Peter UDLUFT, Lehrstuhl für Hydrogeologie und Hydrochemie und Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie der TU München, Marchioninistraße 17, D-8000 München 70.