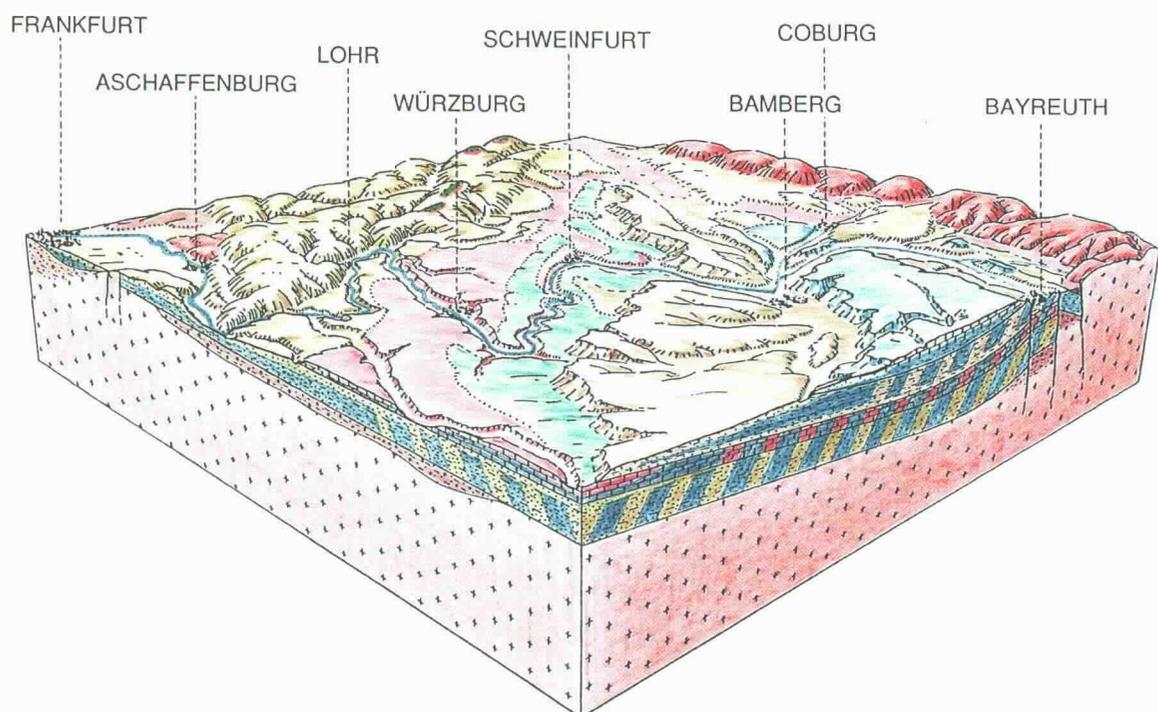


WASSERWIRTSCHAFTLICHER RAHMENPLAN

MAIN

Hydrogeologie

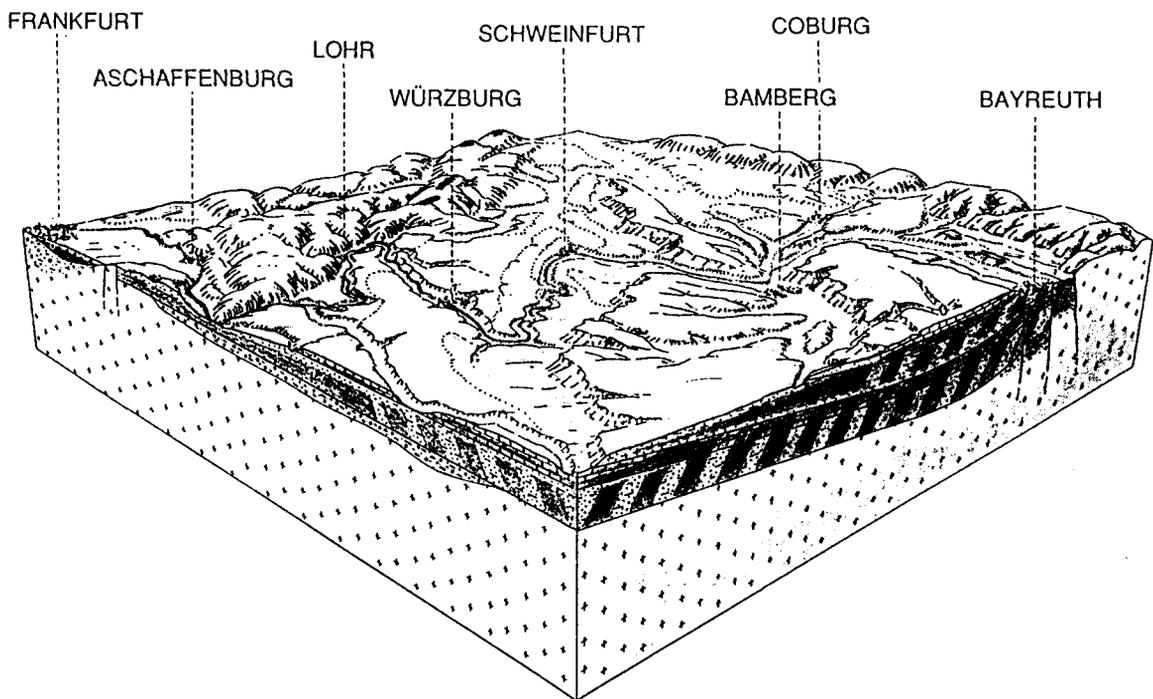


Bayerisches Geologisches Landesamt

WASSERWIRTSCHAFTLICHER RAHMENPLAN

MAIN

Hydrogeologie



Bayerisches Geologisches Landesamt

Bayerisches Geologisches Landesamt

München 1993

Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Main Hydrogeologie	138 S.	53 Abb.	19 Tab.
---	---------------	----------------	----------------

Vorwort

Für das Flußgebiet des Mains mit einer Größe von rund 12.000 Quadratkilometern wird ein Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan aufgestellt. Wesentlicher Inhalt eines solchen Rahmenplanes ist die Gegenüberstellung von Wasserdargebot und Wasserbedarf in einer Wasserbilanz. Ausgehend von einer umfassenden Bestandsanalyse ist das Ziel einer solchen Planung, die Vorausschau auf mögliche künftige Entwicklungen, insbesondere die langfristige Sicherung der Trinkwasserversorgung. Grundlage der Wasserversorgung in Bayern ist im wesentlichen das Grundwasser.

Die vorliegende Ausarbeitung des Bayerischen Geologischen Landesamtes zur Hydrogeologie des Maingebietes gibt einen Einblick in den Untergrund. Neben der quantitativen Darstellung des Grundwasserdargebotes sind auch qualitative Fragen im Hinblick auf die Nutzbarkeit von Grundwasservorkommen von Bedeutung. Die Ergebnisse gehen in die weitere Planbearbeitung durch das Bayerische Landesamt für Umweltschutz ein, das auch die Wasserbilanzen aufstellt.

Die vom Geologischen Landesamt erarbeiteten hydrogeologischen Grundlagen können im vorliegenden Umfang in dem eigentlichen Rahmenplan nicht wiedergegeben werden. Mit der vorliegenden Veröffentlichung soll daher die gesamte Ausarbeitung mit Kartenmaterial allen interessierten Stellen zugänglich gemacht werden.

**Bayerisches Staatsministerium
für Landesentwicklung und Umweltfragen**

München, 1993

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Einleitung 9
2	Geologisch - geomorphologischer Überblick 13
2.1	Zur geologischen Übersicht 13
2.2	Geomorphologischer Überblick 14
3	Hydrogeologische Beschreibung der Grundwasserstockwerke bzw. Grundwasserleiter 17
3.1	Präkambrium und Paläozoikum 17
3.1.1	Kristalline Gesteine (Metamorphite und Magmatite) 17
3.1.1.1	Kristalliner Vorspessart 17
3.1.1.2	Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (Altes Gebirge) 18
3.1.2	Nichtmetamorphes Paläozoikum 22
3.1.2.1	Mittelkambrium bis Unterkarbon 22
3.1.2.2	Perm 23
3.1.2.2.1	Rotliegendes 23
3.1.2.2.2	Zechstein 24
3.2	Mesozoikum 25
3.2.1	Trias 25
3.2.1.1	Buntsandstein 26
3.2.1.2	Muschelkalk 28
3.2.1.3	Keuper 31
3.2.2	Jura 33
3.2.2.1	Lias 34
3.2.2.2	Dogger 34
3.2.2.3	Malm 35
3.2.3	Kreide 37
3.3	Känozoikum 37
3.3.1	Tertiär 37
3.3.2	Quartär 39
3.3.2.1	Maintalquartär 39

4	Gefährdung der Grundwasserleiter	45
5	Hydrogeochemische Beurteilung der Grundwässer nach Grundwasserleitern	49
5.1	Kristalline Gesteine des Paläozoikums (Metamorphite und Magmatite)	49
5.2	Nichtmetamorphes Mittelkambrium bis Unterkarbon	51
5.3	Rotliegendes	52
5.4	Zechstein	52
5.5	Buntsandstein	53
5.5.1	Unterer und Mittlerer Buntsandstein	53
5.5.2	Oberer Buntsandstein	54
5.6	Muschelkalk	54
5.6.1	Unterer Muschelkalk	54
5.6.2	Mittlerer Muschelkalk	55
5.6.3	Oberer Muschelkalk	56
5.7	Keuper	57
5.7.1	Unterer Keuper	57
5.7.2	Gipskeuper	59
5.7.3	Sandsteinkeuper	60
5.8	Rhätlias und Lias	62
5.9	Dogger	63
5.10	Malm	64
5.11	Tertiär	65
5.12	Quartär	66
5.12.1	Maintalquartär	66
6	Thematische Karten	73
6.1	Einleitung	73
6.2	Beschreibung der Karten	73
6.2.1	Sulfatgehalte	73
6.2.2	Chloridgehalte	74
6.2.3	Nitratgehalte	76

	Seite
6.2.4	Elektrische Leitfähigkeit 77
6.2.5	pH-Werte 79
6.2.6	Ergiebigkeiten 80
7	Regionale Betrachtungen 83
7.1	Bilanzraumgliederung und Methodik zur Ermittlung des Grundwasserangebotes 83
7.1.1	Bilanzraumgliederung 83
7.1.2	Ermittlung des Grundwasserangebotes 83
7.2	Bilanzraum I: "Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland" 87
7.2.1	Grundwasseroberfläche und Vorflut 87
7.2.1.1	Oberirdischer Abfluß 87
7.2.1.2	Unterirdischer Abfluß 88
7.2.2	Grundwasserneubildung 89
7.2.3	Wasserversorgung und Wassererschließung 90
7.3	Bilanzraum II: "Coburger Land" 92
7.3.1	Grundwasseroberfläche und Vorflut 92
7.3.1.1	Oberirdischer Abfluß 92
7.3.1.2	Unterirdischer Abfluß 93
7.3.2	Grundwasserneubildung 94
7.3.3	Wasserversorgung und Wassererschließung 95
7.4	Bilanzraum III: "Mittelmain" 95
7.4.1	Grundwasseroberfläche und Vorflut 95
7.4.1.1	Oberirdischer Abfluß 95
7.4.1.2	Unterirdischer Abfluß 96
7.4.2	Grundwasserneubildung 96
7.4.3	Wasserversorgung und Wassererschließung 97
7.5	Bilanzraum IV: "Sinn-Saale-Gebiet" 99
7.5.1	Grundwasseroberfläche und Vorflut 99
7.5.1.1	Oberirdischer Abfluß 99
7.5.1.2	Unterirdischer Abfluß 100
7.5.2	Grundwasserneubildung 101
7.5.3	Wasserversorgung und Wassererschließung 101

	Seite
7.6	Bilanzraum V: "Spessart" 103
7.6.1	Grundwasseroberfläche und Vorflut 103
7.6.1.1	Oberirdischer Abfluß 103
7.6.1.2	Unterirdischer Abfluß 104
7.6.2	Grundwasserneubildung 104
7.6.3	Wasserversorgung und Wassererschließung 105
8	Mineral- und Thermalwässer 109
8.1	Mineralwässer 109
8.2	Thermalwässer 110
9	Zusammenfassung 111
10	Literaturverzeichnis 113
Anhang 1: Begriffserläuterungen 121	
Anhang 2: Liste der Abbildungen und Tabellen 137	
Abbildungen 1 – 53 137	
Tabellen 1 – 19 138	

1 Einleitung

Grundlage der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung sind § 36 des Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushalts, veröffentlicht im Bundesgesetzblatt vom 12.08.1957, in der Neufassung vom 23.09.1986, zuletzt geändert am 12.02.1990, und die Richtlinien des Bundes für die Aufstellung von Wasserwirtschaftlichen Rahmenplänen vom 30.05.1984.

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) arbeitet federführend an der Erstellung des Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanes Main und organisiert, instruiert und koordiniert die Mitwirkung der anderen hierzu aufgeforderten Fachbehörden. Mit Schreiben Nr. 6365-962-56164 vom 20.12.1983 hat das StMLU das GLA beauftragt, einen hydrogeologischen Fachbeitrag, der die geologisch-hydrogeologischen Grundlagen für diesen Rahmenplan beinhalten soll, zu erarbeiten. Der Auftrag gliedert sich in folgende Teilbereiche:

- Maingebiet (ohne Regnitzgebiet) – Literaturarbeit
- Nördliche Frankenalb – eigene Geländeuntersuchungen und Literaturstudien.

Im Maingebiet soll dabei neben der quantitativen Darstellung des Grundwasserdargebots vor allem qualitativen Fragen besondere Bedeutung geschenkt werden.

Das Untersuchungsgebiet wurde in Zusammenarbeit mit dem LfU zunächst nach geologisch-hydrogeologischen Gesichtspunkten sowie in Anlehnung an naturräumliche Haupteinheiten in Bilanzräume untergliedert. Dabei wurden aus landesplanerischen Gründen im Detail kommunale Grenzen berücksichtigt.

Damit bei der hydrogeologischen Bearbeitung Bayerns keine Lücken entstehen wurden im vorliegenden Fachbeitrag neben dem eigentlichen, zum Main hin entwässernden Kerngebiet einige Randbereiche, die bereits zum Weser- und Elbgebiet zählen sowie der nordbayerische Anteil des Tauber-einzugsgebietes mitberücksichtigt.

Die Datenerfassung erfolgte im ersten Quartal 1984 bilanzraumweise. Auf Grund der Fülle von Einzeldaten stellte man im März 1984 auf eine Erfassung mit Hilfe der Elektronischen Datenverarbeitung (EDV) um. Insgesamt wurden bis September 1986 ca. 150.000 Einzeldaten erfaßt. Die Erfassung mittels EDV erwies sich zwar zeitaufwendiger als zunächst vermutet; sie erleichtert jedoch den gezielten Zugriff auf qualifizierte Daten, deren Darstellung in Abbildungen und Karten sowie deren Verfügbarkeit über die Projektdauer hinaus.

Die in der "Maindatei" erfaßten Informationen setzen sich zusammen aus:

- hydrogeochemischen und hydraulischen Daten aus Veröffentlichungen des GLA
- hydrogeochemischen und hydraulischen Daten aus unveröffentlichten Untersuchungen des GLA
- hydrogeochemischen und hydraulischen Untersuchungen des LfW bzw. der Wasserwirtschaftsämter (insbesondere Schweinfurt und Bamberg)
- hydrogeochemischen Daten aus Diplomarbeiten und Dissertationen der Geologischen Institute der Universitäten Erlangen und Würzburg
- Ergebnisse hydrogeologischer Untersuchungen privater Büros bzw. privater und kommunaler Auftraggeber
- allgemeiner und regionaler hydrogeologischer Literatur.

Von April 1986 bis Januar 1987 erfolgten Probeläufe und Plausibilitäts-Tests. In der 2. Hälfte des Jahres 1986 wurden gezielte Bilanzraum-Abfragen durchgeführt, die durch Piper-Diagramme der wichtigsten Grundwasserleiter ergänzt wurden. Zum Jahreswechsel 1986/87 wurden die wichtigsten hydrochemischen und hydraulischen Parameter punktuell auf Computerkarten dargestellt.

(Da zunächst daran gedacht war, dieses Kartenmaterial dem Schlußbericht der Rahmenplanung beizufügen, wurde die Kartengrundlage (insbesondere die Lage der Staatsgrenze und das Gewässernetz) erheblich verbessert.)

Auf Anregung des StMLU wurden ab März 1987 die punktuellen Computer-Karten in flächendeckende Karten umgezeichnet. Für Gebiete mit lückenhafter Informationsdichte wurden ergänzend Daten bei den örtlichen Wasserwirtschaftsämtern eingeholt. Diese, wie auch die Ergebnisse der von den Regierungsbezirken speziell vorgenommenen Nitrat-Untersuchungen, wurden direkt in die Karten aufgenommen. Weiterhin wurden in die Karten spezielle hydrogeologisch-geologische Detailkenntnisse eingearbeitet.

Einschränkend muß festgestellt werden, daß die Datenbasis nicht homogen ist. Unterschiede treten in der Qualität (verschiedene Analytiker und Analyse-Verfahren), in der quantitativen räumlichen Verteilung qualifizierter Meßstellen sowie gelegentlich durch verschiedene Zeitebenen auf. Diese Gegebenheiten mußten durch die spezielle Aufgabenstellung (Literaturarbeit) in Kauf genommen werden. Zwangsläufig würden daraus, bei der Überbewertung einzelner Daten, Fehler erwachsen. Um das vorhandene Datenmaterial dennoch in geeigneter Weise zu nutzen, wurden für die flächendeckenden hydrochemischen Übersichtskarten entsprechend große Konzentrationsintervalle gewählt.

Neben der hydrochemisch-hydrogeologischen Aufbereitung wurden im Herbst 1986 Grunddaten zur Ermittlung der Grundwasserneubildung erfaßt. Das hierfür benötigte Datenmaterial (Abflußdaten regelmäßig beobachteter Abflußmeßstellen im Mainingebiet) erhielt das GLA vom LfW in Form von ausgedruckten Listen. Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung wurden diese Daten nach den Methoden WUNDT (1958) und KILLE (1970) ausgewertet. Dabei wurden Abflußwerte verschiedener Zeitreihen miteinander verglichen. Für diese speziellen Auswertungen wurden vom GLA Computerprogramme entwickelt.

Das für die Frankenalb anfallende Datenmaterial wurde mit den übrigen Daten archiviert. Diese Daten werden allerdings erst zusammen mit den durch Geländearbeiten gewonnenen Informationen nach Fertigstellung des Teilbereichs "Mainingebiet" ausgewertet. Seit der gezielten Bilanzraum-Abfrage sowie der Erstellung der Computer-Karten wird dieses Teilgebiet als getrennte Thematik behandelt.

Von Frühjahr 1987 bis Herbst 1988 wurden der Karten-, Abbildungs- und Tabellenteil des Teilbereichs "Mainingebiet" erstellt. Hierzu zählen:

Karten und Abbildungen

- Übersicht zur regionalen Bearbeitung (1:500.000)
- geologische Übersichtskarte mit Bilanzraumgrenzen (1:500.000)
- tektonische Übersichtskarte (1:500.000)
- Bezeichnung tektonischer Großstrukturen (1:500.000)
- hydrogeologische Grundkarte (1:500.000)
- thematische Karten (Kartengrundlage: hydrogeologische Karte):
 - Sulfat-, Chlorid-, Nitrat-Konzentrationen im Mainingebiet
 - Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Mainingebiet
 - pH-Werte im Mainingebiet
 - Schüttungen und Ergiebigkeiten im Mainingebiet
- Übersichtskarte der aus dem Mainquartär geförderten Wassermengen (1:500.000)
- Übersichtskarte der Mineral- und Thermalwässer im Mainingebiet (1:500.000)
- geologisch-hydrogeologische Profilschnitte (10fach überhöht):
 - Rhön — Grabfeld (1)
 - Aschaffener Becken — Spessart — Südrhön — Grabfeld (2)
 - Odenwald — Spessart — Marktheidenfelder Gäuplatte (3)
 - Mainfränkische Platten — Hesselbacher Waldland — Haßberge — Fränkische Alb — Bruchschollenland — Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (4)
 - Südrhön — Mainfränkische Platten — Steigerwaldrand (5)
 - Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (6)
 - Detailprofil Nordspessart
- Übersicht der Grundwassermächtigkeit des Maintalquartärs zwischen Lichtenfels und Bamberg (1:50.000)

- Übersicht der Grundwasserhöhengleichen in den jungpleistozänen Mainablagerungen zwischen Haßfurt und Stammheim (1:50.000):
 - eines Mittelwassers
 - eines mittleren Hochwassers
- ausgewählte Schnitte durch das Maintalquartär
- Schemaprofil der Grundwasseranreicherung bei der Trinkwassergewinnungsanlage Weyer
- Übersicht der Grundwasserneubildung nach ROTHASCHER bzw. KILLE für die Bilanzräume I-V
- Übersicht wichtiger Grundwasservorkommen
- Piper-Diagramme für ausgewählte Grundwasserleiter

Tabellen

- Übersicht der naturräumlichen Gliederung (Geologie — Morphologie — Klima — Vegetation)
- Gefälle ausgewählter Bäche an Ober-, (Mittel-) und Unterläufen
- Mächtigkeiten, petrographische und hydrogeologische Eigenschaften des sedimentären Schichtpakets (für die Bilanzräume I-V):
 - Perm — Trias
 - Jura — Kreide
- geologisch-hydrogeologische Eigenschaften der Gesteine im Thüringisch-Fränkischen-Mittelgebirge
- geologisch-hydrogeologische Bilanzraum-Übersicht
- Gegenüberstellung von nach unterschiedlichen Methoden gewonnenen Daten zur Ermittlung der Grundwasserneubildung (je Bilanzraum 1 Tabelle)
- Bilanzierung der Grundwasserneubildung (je Bilanzraum 1 Tabelle)
- Auflistung von Mineral- und Thermalwasservorkommen im Maingebiet (mehrseitig)
- Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer im Planungsraum

Von Herbst 1987 bis Dezember 1988 wurde der Textteil erarbeitet. Im Laufe des Jahres 1988 entschieden das StMLU und das LfU, das Leitenbach-Einzugsgebiet dem Untersuchungsraum anzugliedern. Zu dieser Zeit waren die thematischen Karten bereits erstellt. Diese Erweiterung konnte daher dort keine Berücksichtigung finden. Dagegen wird in der Bilanzierung des Bilanzraumes "Coburger Land" (II) auf das Leitenbach-Gebiet Bezug genommen.

Der Fachbeitrag Hydrogeologie zum Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Main wurde 1989 dem StMLU in Form eines Abschlußberichtes vorgelegt. Geringfügige textliche Ergänzungen und redaktionelle Veränderungen wurden 1992 vorgenommen. — Darüberhinaus wurde der eigentliche Textteil durch den Abschnitt "Begriffserläuterungen", der Abbildungsteil durch eine ausführliche naturräumliche Gliederung (Abb. 1a) sowie der Tabellenteil durch die hydrochemische Übersicht der wichtigsten Grundwässer (Tab. 17), die stratigraphische Tabelle (Tab. 18) und die stratigraphische Übersicht der Trias (Tab. 19) ergänzt.

Verantwortlich für die Projektleitung war Herr Dr. R. Apel. Die Textbeiträge wurden von den Herren Dr. R. Apel, Dr. G. Büttner, Dr. A. Dobner und Dr. H. Frank erstellt. Die Redaktion übernahmen die Herren A. Schneider und A. Märkl.

Die Koordinierung der Teilaufgaben sowie die Wertung einzelner wichtiger Teilergebnisse erfolgte stets in guter Zusammenarbeit mit dem LfU.

2 Geologisch - geomorphologischer Überblick

Naturräume, Gebiete mit gleichartigen ökologischen Ausstattungen, orientieren sich im Maingebiet überwiegend an geologischen und morphologischen Gegebenheiten sowie an Klimaprovinzen. Wie MEYNEN et al. (1961) und SPÄTH (1978) aufzeigen, wäre eine stärkere Untergliederung der in Abb. 1 und Tab. 1 ausgedehnten Naturräume möglich (vgl. Abb. 1a); sie ist jedoch für die folgenden hydrogeologischen Betrachtungen von untergeordneter Bedeutung.

Abb. 1 stellt die wichtigsten naturräumlichen Einheiten im Maingebiet dar; Tab. 1 charakterisiert sie nach geologischen, morphologischen, klimatologischen und vegetationskundlichen Gesichtspunkten.

2.1 Zur geologischen Übersicht

(Abb. 2 – Geologische Karte; Tab. 18 – Stratigraphische Tabelle)

Beschreibung der Gesteine

Im Maingebiet wird die Geländeoberfläche überwiegend von mesozoischen Sedimentgesteinen eingenommen. Davon zählen über 80 % zur Trias, der Rest entfällt auf den Jura und nur ein geringer Anteil auf die Kreide.

Im Frankenwald und im Fichtelgebirge sowie im "Kristallinen Vorspessart" stehen paläozoische Sedimentgesteine, Magmatite und Metamorphite über Tage an (Tab. 2). Tertiäre Basalte bilden v. a. in der Rhön und Südrhön größere zusammenhängende Komplexe. Im allgemeinen bildet das Quartär mehr oder weniger dünne, nicht immer zusammenhängende Deckschichten und erreicht lediglich im Maintal größere Mächtigkeiten.

Die Basis des permischen, z. T. auch mesozoischen Deckgebirges bildet das Paläozoikum bzw. das Grundgebirge. Es steht nur im äußersten Osten des Untersuchungsgebietes (im Frankenwald und Fichtelgebirge) sowie im Nordwesten (Vorspessart) über Tage an. Hier findet man metamorphe Gesteine, Plutonite sowie paläozoische Schiefer, Quarzite und Kalke.

Das Mesozoikum wird weiträumig vom Zechstein und dem Rotliegenden unterlagert. Diese stehen über Tage nur an Schwellenzonen (Spessart-Rhön-Schwelle) und an der Fränkischen Linie an. Das Paläorelief der Rotliegendzeit gliederte sich in ausgeprägte Tröge und Sättel; so erklären sich die enormen Mächtigkeitsschwankungen dieses Schichtpakets.

Tab. 3 und Tab. 4 vermitteln einen Überblick über die wichtigsten (meist sedimentären) permischen und mesozoischen Einheiten sowie über deren Mächtigkeiten und Gesteinsausbildungen (Lithofazies). Auf eine detaillierte Untergliederung stratigraphischer Komplexe wurde hierbei bewußt verzichtet, um das Wesentliche hervorzuheben.

Die Trias wird weitgehend durch Sandsteine, Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen und Tongesteine repräsentiert (Buntsandstein und Keuper). Lediglich 17 % des ca. 1200 m mächtigen Schichtpakets stellen Kalksteine, Dolomite und Kalkstein-Tonstein-Wechselfolgen des Muschelkalks dar. Die darüber anstehende Jura-Schichtenfolge erreicht in der Nördlichen Frankenalb sowie ihrem Umland Mächtigkeiten bis etwa 500 m. Die untere Hälfte dieses Schichtpakets, das den Lias oder Schwarzen Jura sowie den Dogger oder Braunen Jura umfaßt, wird aus tonigen Abfolgen (mit geringmächtigen sandigen, mergeligen und kalkigen Einschaltungen) sowie aus dem "Eisensandstein" des Dogger Beta aufgebaut. Der Malm oder Weiße Jura im Hangenden ist überwiegend kalkig bzw. dolomitisch ausgebildet. Den Abschluß der mesozoischen Schichtenfolge bilden Sande, Sandsteine, Tone und Mergel der Oberkreide, die als Residualdecken das in der Unterkreide entstandene Malmkarstrelief bereichsweise auskleiden und dabei Mächtigkeitsschwankungen von 0 bis über 300 m aufweisen können.

In der Rhön, z. T. auch in der Südrhön bilden tertiäre Ergußgesteine größere zusammenhängende Komplexe. Im Gegensatz dazu besitzen Basaltgänge und -schlote im nördlichen Odenwald, in den Haßbergen, im Haßberg- und Steigerwaldvorland, im Bruchschollenland sowie in der Frankenalb nur untergeordnete Bedeutung.

Tertiäre Sande und Tone erreichen im Raum Aschaffenburg größere Mächtigkeiten; in der Hochrhön streichen z. T. Braunkohlen und Tongesteine des Braunkohlentertiärs aus.

Quartäre Sedimente (Löß und Lößlehm, Verwitterungsdecken und -schutt, Terrassen und Terrassenreste) verhüllen häufig Deck- und Grundgebirge. Sie erreichen allerdings nur selten Mächtigkeiten über 5 m. Im Maintal, vor allem im Bereich Aschaffenburg sowie zwischen Würzburg und Bamberg treten bereichsweise Quartärmächtigkeiten bis über 20 m auf.

Lagerungsverhältnisse

(Abb. 3 – tektonische Karte, Abb. 4 – Bezeichnung tektonischer Großstrukturen)

Die mesozoischen und permischen Deckschichten fallen zwischen der Spessart-Rhön-Schwelle (im Westen) und dem Bruchschollenland (im Osten) im allgemeinen leicht nach Osten ein; dies erklärt, weshalb von Westen nach Osten immer jüngere Schichtglieder über Tage ausstreichen. Im Bruchschollenland bzw. an der Fränkischen Linie sind Schichtkomplexe aufeinander überschoben und gegeneinander versetzt.

Im Gegensatz zum intensiv tektonisch zerlegten, z. T. mehrfach überprägten Grundgebirge wird das Deckgebirge von Verwerfungszonen und Verbiegungen scharenweise gequert. Dazwischen liegen tektonisch schwach beanspruchte Gebiete.

Die Amplituden der großräumigen Verbiegungen übersteigen nur selten 200 m. Die größten Sprunghöhen (einige 100 bis über 1000 m) werden an der Fränkischen Linie, im Bruchschollenland sowie im Nahbereich der Rhön beobachtet. Im übrigen Maingebiet erreichen Versätze im Deckgebirge meist weniger als 50 m.

Der Beanspruchungsplan des Deckgebirges läßt klar erkennen, daß die Mehrzahl der Störungszonen herzynisch (parallel zur Fränkischen Linie WNW-ESE bis NW-SE) verläuft. Untergeordnet treten senkrecht hierzu gerichtete, ENE-WSW bzw. NE-SW-verlaufende sowie rheinische (NNE-SSW bis N-S-streichende) Verwerfungen auf. Sattel- und muldenartige Verbiegungen streichen zwischen der Rhön und dem Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge etwa herzynisch, im Raum Würzburg — Aschaffenburg senkrecht dazu (parallel zur Spessart-Rhön Schwelle).

Profilschnitte (Abb. 5–11) geben einen Überblick über die geologisch-hydrogeologischen Lagerungsverhältnisse im Maingebiet. Die Grundlagen hierfür wurden aus den Geologischen Karten von Bayern 1:25.000, den Geologischen Karten 1:200.000 (Blatt Frankfurt Ost, Blatt Bayreuth), aus der Geologischen Karte von Bayern 1:500.000 (1981), den zugehörigen Mächtigkeits- und Schichtlagerungskarten, aus unveröffentlichten Manuskriptkarten, aus Bohrergebnissen und Unterlagen von Baugrunduntersuchungen der Deutschen Bundesbahn ermittelt.

2.2 Geomorphologischer Überblick

Geomorphologische Hauptelemente des Maingebiets sind Altflächen, (Schicht-)Stufen und scharf eingesenkte Sohlen- und Kerbtäler. Die Bildung der Landschaftsformen setzt im Oberen Malm ein, da seither große Teile Frankens trocken liegen. Ausgeprägte kretazische Verkarstungsformen in der Frankenalb sind älteste Zeugen dieser Landschaftsbildung. Die Genese der rezenten Landschaft beginnt im Tertiär. Unter einem tropisch-wechselfeuchten bis tropoiden Klima entstehen Rumpfflächen und -stufen. Diese Formen orientieren sich weitgehend an der Resistenz der Gesteine. Tiefgründige Verwitterung erzeugt mächtige Schuttdecken. Aus den Rumpfstufen gehen schrittweise die Schichtstufen hervor. Die primäre Anlage vieler rezenter Täler und Talstücke erfolgte ebenfalls bereits im Tertiär.

Zu Beginn des Jungtertiärs klingen die tektonischen Aktivitäten aus. Im Pleistozän wird dieses Relief durch die Eiszeiten deutlich überprägt; alte Talformen werden übertieft, Verwitterungsschutt z. T. ausgeräumt, die heutige Morphologie schält sich sukzessive heraus, in den Kaltzeiten bilden sich wiederum Schuttdecken; Löß und Flugsand werden angeweht.

In Abhängigkeit von Genese und Gesteinsbeschaffenheit (Verwitterungsresistenz) lassen sich im Mainneinzugsgebiet folgende geomorphologischen Einheiten unterscheiden:

Stark zertalte Mittelgebirge

Hierzu zählen das überwiegend aus Graniten aufgebaute Fichtelgebirge, die nichtmetamorphen Bereiche des Frankenwaldes sowie der Odenwald, der Buntsandsteinspessart und die Südrhön. Die

relativ große Verwitterungsresistenz der Granite, der nichtmetamorphen paläozoischen Sedimente, der Sandsteine des Buntsandsteins und die tektonischen Aufwärtsbewegungen im Tertiär haben diese stark zertalten Hochgebiete in ihrer derzeitigen Form entstehen lassen.

Hügelige Gebiete

Der Ausstrich des Muschelkalks sowie das Obermain-Hügelland zeichnen sich durch geringere Reliefunterschiede als in den Mittelgebirgen, aber gleichzeitig durch intensivere Auflösung als in Flächen der Landstufen aus.

Das hügelige Aussehen des Muschelkalk-Ausstrichs wird durch den Wechsel unterschiedlich verwitterungsresistenter Gesteinspakete erzeugt. Die Zertalung ist v. a. dort intensiv, wo der Muschelkalk tektonisch herausgehoben wurde (z. B. im Hesselbacher Waldland).

Im Obermain-Hügelland liegen tektonisch bedingt Sandsteine, Tonsteine, Kalksteine (sowie deren Übergänge) verschiedenster stratigraphischer Formationen nebeneinander. Diese Komplexe weisen sowohl in ihrer horizontalen, wie auch in ihrer vertikalen Verbreitung deutliche Unterschiede in der Verwitterungsresistenz auf. Hierin ist das hügelige Erscheinungsbild dieser Landschaft begründet.

Kuppen

Kuppen treten in Teilen der Rhön, mit Einschränkungen auch in den Haßbergen sowie in der Frankenalb auf. Sie werden durch Härtinge (Rhön, Haßberge: Vulkanite, Sandsteinrücken; Frankenalb: Dolomit) erzeugt.

Hügelige bis flachwellige Gebiete

Im "Kristallinen Vorspessart" sowie im Ausstrich der Glimmerschiefer der Münchberger Gneismasse überwiegen flachwellige bis hügelige Landschaftsformen. Hier handelt es sich um meist tiefgründig verwitterte Kristallingesteine, die besonders stark in der Tertiärzeit exogenen Beanspruchungen ausgesetzt waren.

Flachwellige bis flächige Gebiete

Diese Gruppe umschließt die Hochflächen der Landstufen, einschließlich der Verebnung des Unteren Keupers sowie die Hochrhön. Es handelt sich, mit Ausnahme der Rhön, um Gebiete, die im Tertiär Tiefgebiete bzw. tektonische Mulden darstellten und dann gleichmäßig flächig abgetragen (eingerumpft) wurden.

Der flachwellige Ausstrich des Unteren Keupers, wie auch die Keuper-Landstufe, werden durch weiche Gesteine oder den schnellen Wechsel weicherer und härterer Schichten gekennzeichnet. Entsprechend sind die Täler hier nur wenig eingetieft und laden weit aus.

Die Oberfläche der Jura-Landstufe wird dagegen von hartem Malmkalk bzw. -dolomit gebildet. Die flachwellige Hochfläche wird durch Karstformen modifiziert, zumeist tektonisch vorgezeichnete kastenartige und V-förmige Täler schneiden sich zuweilen relativ tief ein.

Das flachwellige bis flächige Aussehen der Hochrhön ist demgegenüber nicht auf tertiäre Einrumpfung sondern auf deckenartige Basalteffusionen zurückzuführen.

Schichtstufen

Die flächenhafte Abtragung im Tertiär formte aus dem generell nach Osten fallenden Schichtgebäude Schichtstufen heraus. Die Stufenbildung setzte dort an, wo auf weiche Gesteinsserien härtere folgen, so an der Grenze Oberer Buntsandstein — Unterer Muschelkalk (die Muschelkalk-Landstufe), an der Grenze Gips-Keuper — Sandstein-Keuper (die Keuper-Landstufe) und schließlich an den Grenzen Lias — Dogger und Dogger — Malm (die Jura-Landstufe).

Gewässernetz und -morphologie

Der Main entwässert über den Rhein zur Nordsee; das Maingebiet ist daher Teil des Rheingebietes. Es wird im Norden durch eine Hauptwasserscheide vom Wesergebiet, im Nordosten und Osten vom Elbgebiet und im Südosten vom Donaugebiet getrennt.

Während sich in der Rhön und im Werra-Bergland die Bayerische Staatsgrenze und die Hauptwasserscheide weitgehend entsprechen, liegen zwischen Bad Königshofen und Coburg sowie zwischen Coburg und Teuschnitz die Oberläufe (z. T. auch Mittelläufe) von Milz, Kreck, Itz und Steinach in Thüringen. Durch den Verlauf der Bayerischen Staatsgrenze, die den Untersuchungsraum im Norden und Westen umschließt, werden nördlich Bad Brückenau und Rodach sowie um Ludwigsstadt kleinere Flächen in die Rahmenplanung mit einbezogen, die bereits dem Weser- bzw. Elbgebiet zuzurechnen sind. Ebenso umfaßt der Bilanzraum "Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland" südlich von Weidenberg geringe Bereiche des Donaugebietes.

Im Westen und Nordwesten schneidet die Bayerische Staatsgrenze große Teilbereiche des Main-einzugsgebietes ab. So gehören die Flußgebiete (bzw. große Teile der Flußgebiete) von Jossa, Kinzig, Nidda, Gersprenz und Mömling dem benachbarten Hessen an. Große Teile des Taubergebietes sowie Mittel- und Oberlauf von Erf liegen südlich bzw. westlich des Untersuchungsgebietes in Baden-Württemberg.

Das Regnitzgebiet wird vom Maingebiet durch eine Wasserscheide 2. Unterteilung getrennt. Sie deckt sich, mit Ausnahme des Leitenbachgebietes, weitgehend mit der südlichen bzw. südöstlichen Abgrenzung des Untersuchungsgebietes.

Wasserscheiden 2. Unterteilung sind daneben am Spessart-Hauptkamm, zwischen den dem Maindreieck und dem Mainviereck (bzw. der Tauber) zufließenden Bächen, als nordwestliche, südliche und südöstliche Umgrenzung des Einzugsgebietes der Fränkischen Saale sowie als nordwestliche und südwestliche Abgrenzung von Baunach und Itz ausgeschieden. Alle weiteren Wasserscheiden gehören der 3. Unterteilung an oder besitzen untergeordnete Bedeutung.

Das Gefälle-Verhalten der Bäche wird weitgehend von der Lithologie des Untergrundes bestimmt. Wie Tab. 5 zeigt, weisen Gewässer der unterschiedlichen naturräumlichen Haupteinheiten spezifische Gefälle in ihrem Ober-, Mittel- und Unterlauf auf. Dabei bewirkt im allgemeinen ein Gefälle von weniger als 0,5 % ein akkumulatives, eines von über 0,5 % ein erosives Verhalten des Fließgewässers.

Bachläufe im Fränkischen Keuper-Lias-Land, im Obermain-Hügelland und in den Mainfränkischen Platten (also im Ausstrich weicher Gesteine) zeichnen sich dadurch aus, daß sie nach einem relativ steilen Oberlauf schnell verflachen. Eine ähnliche Charakteristik zeigen auch Kahl und Aschaff; ihre Oberläufe liegen im Unteren Buntsandstein, ihre Mittel- und Unterläufe im tiefgründig verwitterten Grundgebirge des Kristallinen Vorspessarts bzw. im Quartär des Aschaffener Beckens. Derartige Gewässer erodieren in den Oberläufen, weisen in den Mittelläufen teils erosives, teils akkumulierendes Verhalten auf und akkumulieren zumeist in den Unterläufen.

Im Spessart und im nördlichsten Bereich der Frankenalb (Weismain) sind Ober- und Mittelläufe steil, die Unterläufe bedeutend flacher. Vergleichbar verhalten sich Gewässer, deren Ober- und Mittellauf im Alten Gebirge, ihr Unterlauf im Obermain-Hügelland liegt. Einige solcher Bäche sind durchweg erosiv, die Mehrzahl akkumuliert im Unterlauf.

Bäche, deren Untergrund stets harte Gesteine bilden und deren Vorflut tief genug liegt, besitzen ständig Gefälle über 0,5 % und wirken auf ihrer gesamten Strecke erosiv. Hierzu zählen z. B. Brend, Kellersbach und Schondra (in Rhön und Südrhön), Wässernach (im Hesselbacher Waldland) sowie mit Einschränkungen der Breitbach (östlich Marktbreit).

Am Beispiel der Pleichach kann anschaulich gezeigt werden, daß ein Bach, der durch verschiedene geologische Einheiten fließt, in Abhängigkeit von diesen abwechselnd erodieren bzw. akkumulieren kann: Der Ober- und der überwiegende Teil des Mittellaufes werden aus weichen Gesteinen des Keupers aufgebaut. In der unteren Hälfte des Mittellaufes liegt die Muschelkalk-Keuper-Grenze; den Unterlauf bildet der vergleichsweise harte Muschelkalk. Dabei wirkt die Muschelkalk-Keuper-Grenze zunächst als Erosionsniveau. Die Pleichach verhält sich daher in ihrem Ober- und Mittellauf wie ein typischer "Keuperbach" (großes Gefälle im Oberlauf, erosiv; sehr geringes Gefälle im Mittellauf, akkumulierend). Nach dem Überschreiten der Muschelkalk-Keuper-Grenze sät sich der Bach in den Muschelkalk ein; das Erosionsniveau ist nun das tiefer liegende Maintal; das Gefälle versteilt sich, die Pleichach wirkt hier z. T. wieder erosiv.

3 Hydrogeologische Beschreibung der Grundwasserstockwerke bzw. Grundwasserleiter

Einen Überblick der hydrogeologischen Verhältnisse im Planungsraum vermitteln die Übersichtsprofile 1–6 sowie das Detailprofil "Nordspessart". Eine tektonische Übersichtskarte sowie ein Plan, in dem die wichtigsten tektonischen Elemente namentlich und lagerichtig dargestellt sind, ergänzen die Profilschnitte und ermöglichen so, die geologische Karte räumlich zu interpretieren.

Die in den Übersichtsprofilen verwendete geologische Information basiert zum großen Teil auf Veröffentlichungen des GLA (insbesondere GLA, 1981) sowie auf Detailkenntnissen der Regionalbearbeiter; die Grundwasseroberfläche des oberen Grundwasserleiters wurde, unter Berücksichtigung der speziellen Morphologie, mit Hilfe der Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500.000 (LfW, 1985) konstruiert. Ebenfalls konstruktiv mußten meist die Grund- bzw. Druckwasserspiegel tieferer Grundwasserstockwerke ermittelt werden, wobei die örtlichen stratigraphisch-faziellen und tektonischen Gegebenheiten berücksichtigt worden sind. Weiterhin wurden die aus Tiefbohrungen gewonnenen geotechnischen Informationen in diese Darstellungen mit einbezogen. Bohrungen, die direkt auf der Profillinie liegen, wie z. B. die Bohrung Staffelstein, wurden in das Profil eingezeichnet.

Das Detailprofil "Nordspessart" enthält geologische und hydrogeologische Spezialdaten, insbesondere im Hinblick auf den Grundwasserstockwerksbau, die entlang der Bundesbahnausbaustrecke Gemünden — Aschaffenburg gewonnen wurden. Die Grundlagen wurden von der Firma IGI (1984) erarbeitet und von der DEUTSCHEN BUNDESBahn zur Verfügung gestellt.

Aufgrund des räumlichen Übergreifens nahezu aller geologischen Einheiten auf benachbarte Bilanzräume wurde die hydrogeologische Beschreibung der Grundwasserleiter als eigenes Kapitel behandelt. Dabei erfolgt die Charakterisierung der einzelnen hydrogeologischen Einheiten nach deren stratigraphischer Zugehörigkeit. Die geologische Übersichtskarte (Abb. 2) vermittelt einen Überblick über deren Ausstrich, die Bilanzraumübersicht (Tab. 6) informiert, bilanzraumbezogen, über deren regionale Bedeutung als Grundwasserleiter.

Während sich im permischen und mesozoischen Deckgebirge die stratigraphische Untergliederung nach der Schichtenfolge durchführen läßt, wird im Grundgebirge zwischen Kristallin und nichtmetamorphem Paläozoikum, im Tertiär zwischen sedimentären Ablagerungen und vulkanischen Ergüssen (bzw. Tuffen) unterschieden.

Die Teilkapitel sind stets nach dem gleichen Schema aufgebaut: Zunächst wird eine Kurzzusammenfassung über die wichtigsten hydrogeologischen Eigenschaften gegeben. Dann folgt eine kurze erdgeschichtliche Einführung, verbunden mit der lithologischen Charakterisierung der Gesteine sowie Angaben ihrer Mächtigkeit. Schließlich werden die hydrogeologischen Eigenschaften aufgezeigt und es werden, soweit vorhanden, hydrogeologische Kenndaten angeführt.

3.1 Präkambrium und Paläozoikum

Präkambrische und paläozoische Gesteine weisen im Maingebiet eine nur geringe, auf Kluff- und Störungszonen sowie auf Verwitterungsbildung basierende Grundwasserführung auf.

3.1.1 Kristalline Gesteine (Metamorphite und Magmatite)

3.1.1.1 Kristalliner Vorspessart

Im Bereich des nordwestlichen Spessarts, auch Vorspessart genannt, streicht kristallines Grundgebirge aus. Dieses Areal wird geographisch durch die Linie Aschaffenburg — Alzenau — Gelnhausen im Westen und Norden, Gelnhausen — Waldaschaff im Osten und Waldaschaff — Aschaffenburg im Süden begrenzt. Seine Position im Aufwölbungsscheitel des Spessart-Rhön-Schildes begünstigte die fast völlige Abtragung des permotriassischen Deckgebirges.

Das Grundgebirge wird aus sehr alten Gesteinsserien des Präkambriums und des frühen Paläozoikums aufgebaut: Aus Sedimenten, aber auch aus Magmatiten, die während der variszischen Gebirgsbildung an der Wende Devon — Karbon (vor ca. 350–360 Millionen Jahren) eine hochgradige Metamorphose erfuhren und heute als verfaltete Gneise, Glimmerschiefer, Amphibolite und Quarzite vorliegen.

Zur Zeit der variszischen Gebirgsbildung gehörte der Spessart einer deutlich ausgeprägten Schwel- lenzone an, der sogenannten Mitteldeutschen Schwelle (BRINKMANN,1948). Diese Schwelle war eventuell schon im Silur vorhanden, da sich silurische Ablagerungen nicht mit Sicherheit nachweisen lassen. Im Devon war der Spessart schon als Hochgebiet ausgebildet.

Im Karbon und Unterperm herrschte weitgehend Abtragung und tiefgründige Verwitterung vor. Die Paläogeographie des Perms zeichnet sich durch SW-NE-verlaufende Schwellen und Troggebiete aus. Der betrachtete Raum war hierbei Teil der Spessart-Rhön-Schwelle, die ihren Abtragungsschutt in südlich und nördlich vorgelagerte Tröge schüttete. Die Sedimentation beginnt hier erst wieder im Zechstein und setzt sich im Buntsandstein fort, wobei einige Spessartinseln bis in die Zeit des Absatzes der Bröckelschiefer frei von Wasserbedeckung blieben.

In späterer Zeit wurde das Gebiet einer NW-SE-verlaufenden Bruchtektonik mit Bildung von Horst- und Grabenstrukturen unterworfen, die auch auf die benachbarten Buntsandsteinareale übergriff.

Nach Abtragung des Deckgebirges unterlag der Vorspessart im Jungtertiär erneut einer tiefgründigen Verwitterung. Dadurch kann das kristalline Grundgebirge derzeit bis zu 35 m Tiefe zersetzt angetroffen werden. Zersatztiefen von 5 bis 15 m sind, in Abhängigkeit vom Gestein, die Regel. Während der Kaltzeiten des Pleistozäns wurde dieser Zersatz durch Bodenfließen im Auftaubereich des damals ausgebildeten Permafrostbodens umgelagert, außerdem wurden steile Hänge und Bergkuppen von Verwitterungsschutt freigelegt.

Heute wird das kristalline Grundgebirge des Vorspessarts im Nordosten und Südosten vom Deckge- birge verhüllt, im Westen und Nordwesten bricht es an der Maintalstörung ab und wird dort in die Tiefe versetzt. Jenseits des Mains finden sich im Westen (bei Schaafheim) vereinzelt Aufschlüsse mit kristallinen Gesteinen, die denen des Spessarts äquivalent sind. Dort ist die Verbindung des Oden- waldkristallins mit dem des Spessarts zu suchen.

Das unzersetzte Kristallin des Vorspessarts ist nahezu wasserundurchlässig. Das Grundwasser speichert und bewegt sich in Klüften und Spalten, wobei sich die Wegsamkeit auf die obersten 15 bis 20 m unter der Verwitterungsdecke beschränkt (WEINELT, 1962). Dieser Bereich weist ein relativ geringes Speichervermögen auf. Tiefere Kluftwässer lassen sich durch Bohrungen in Störzonen der Bruchtektonik erschließen, wo das Gestein tiefgründig zerrüttet ist. So konnten aus 100 m tiefen Brunnen bis zu 6 l/s Grundwasser gefördert werden (WEINELT,1962). Da die Anzahl der wasser- führenden Klüfte mit der Tiefe abnimmt und die räumliche Ausdehnung dieser Kluftsysteme aus Gründen der Lagerung bzw. der Tektonik oft begrenzt ist, nimmt der Wasserzufluß auf solche Brunnen nach der Tiefe zu meist rasch ab.

Porengrundwasser kommt in der im Perm und im Tertiär entstandenen Verwitterungsrinde des Kristallins vor, wobei das unzersetzte, kaum geklüftete Kristallin die Sohlschicht bildet. Jedoch sind der zu speichernden Wassermenge in der Regel wegen der Kaolinisierung enge Grenzen gesetzt, wobei die Quellschüttungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Einzugsgebietsgröße und dem entsprechen- den Niederschlagsaufkommen stark variieren können.

Quellen finden sich meist dort, wo eine wasserführende Schicht, in der Regel der Zersatz des kristallinen Grundgebirges, an Erosionsanschnitten natürlich endigt. Somit gehören die Quellen des Vorspessarts dem Typus der Schichtquellen an. Oft werden sie von Hangschutt verschleiert. Sie sind wenig ergiebig (durchschnittlich 0,1 bis 0,3 l/s).

Im allgemeinen ist das Kristallin des Vorspessarts zu großräumiger Grundwassergewinnung nicht geeignet.

3.1.1.2 Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (Altes Gebirge)

Von der Verbreitung kristalliner Gesteine im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge entfallen auf das Planungsgebiet relativ große Areale in den Bereichen des Fichtelgebirges und des südöstlichen Frankenwaldes. Im nordwestlichen Teil des Frankenwaldes liegt das Kristallin überwiegend unter nichtmetamorpher paläozoischer Bedeckung, es steht jedoch an einigen Stellen, wo diese bereits abgetragen wurde, oberirdisch an. Nichtmetamorphes Paläozoikum begleitet darüber hinaus den Rand

einiger im Südosten liegender Kristallin-Teilgebiete. So erscheint folgende räumliche Trennung nach dem geologischen Werdegang zweckmäßig: Fichtelgebirge, Münchberger Gneismasse und Kristallin im nordwestlichen Frankenwald.

Fichtelgebirge

Das Untersuchungsgebiet erfaßt nur den südwestlichen Teil des Fichtelgebirges, mit der Quelle des Weißen Maines und dem Ochsenkopf. Die geologisch-tektonische Begrenzung bilden im Süden und Westen die Fränkische Linie und im Norden die Verwerfung zur Münchberger Gneismasse. Die ältesten Gesteine im Fichtelgebirge sind präkambrische, kambrische und ordovizische Sedimente eines weitgespannten, zeitweise flachen und landnahen Meeresbeckens. Diese Gesteine liegen heute aufgrund metamorpher Überprägung je nach Ausgangsgestein und Grad der Metamorphose als Gneise, Glimmerschiefer, Quarzite und Marmore vor. Im Zusammenhang mit einer alten Gebirgsbildung, der kaledonischen Orogenese, welche ihre Spuren auch in den alten Gesteinen des Fichtelgebirges hinterlassen hat, drangen Granite auf, die sich heute als Gneise innerhalb der metamorphen Sedimente finden. Die oben genannte Metamorphose erfolgte zur Zeit der variszischen Gebirgsbildung. Verbunden mit dem Aufstieg der Varisziden erfolgte dort in mehreren Zyklen ein großräumiges Eindringen von Graniten. Im betrachteten Raum sind der feinkörnige Randgranit sowie der grobkörnige Kerngranit des Fichtelgebirges anzutreffen. Die eingedrungenen Granite veränderten das umliegende Gestein kontaktmetamorph.

Eine spätere Bruchtektonik prägte dem Gebiet vor allem SE-NW-verlaufende Störungen auf, die bereits im Varistikum angelegt wurden und danach wiederholt aktiv waren.

An der Fränkischen Linie wurde das Fichtelgebirge nach und nach um zirka 1000 m gegenüber dem Vorland gehoben. Dabei wurde das Deckgebirge, soweit vorhanden, abgetragen. Im Tertiär unterlag das Gebiet bei tropischem Klima tiefgründiger Verwitterung, die in Granitgebieten bis zu 80 m Tiefe reichen kann (STETTNER, 1958). Dabei neigen besonders die grobkörnigen Granite zur Vergrusung. Unter dem Einfluß des pleistozänen Kaltklimas bildeten sich Fließerden und Blockmeere.

Die Grundwasserführung in den kristallinen Gesteinen des Fichtelgebirges sowie der Münchberger Gneismasse ist innerhalb der Bearbeitungsabgrenzung bzw. des Main-Einzugsgebietes nicht ausreichend durch hydrogeologische Daten belegt. Im allgemeinen vermögen die kristallinen Gesteine nur relativ geringe Grundwassermengen zu speichern. Deshalb ist trotz des hohen Niederschlagsaufkommens von 1200 mm im Jahr die Grundwasserergiebigkeit mäßig bis gering. Dabei erlangt die Grundwassernutzung im Fichtelgebirge unter Berücksichtigung der nach Bayreuth und Hof a. d. Saale abgeleiteten Trinkwassermengen nur bedingt überregionale Bedeutung. Innerhalb der kristallinen Gesteinsserie bieten die großflächigen Granitareale noch verhältnismäßig günstigere Voraussetzungen zur Trinkwassererschließung als die Metamorphite und Magmatite in der Fichtelgebirgsumrahmung.

In unverwitterten Graniten und in den Orthogneisen granitischer Abkunft kann sich das Grundwasser nur in netzartig angeordneten, räumlich verzweigten, offenen und somit hydraulisch zusammenhängenden Klüften speichern und dem jeweiligen Gefälle folgend bewegen. In der Regel erweisen sich hierbei die Verwerfungszonen als besonders gut grundwasserleitend, wenn es sich dort um offene, d. h. wasserwegsame Klüfte und Klufscharen in einem System von Längs-, Quer- und Diagonalklüften sowie um Fiederspalten (Elemente der Bruchtektonik mit Dehnungs- und Scherbeanspruchung) handelt.

Das kaum bzw. nicht geklüftete Kristallin ist mehr oder weniger dicht bzw. wirkt wasserundurchlässig und gilt im wasserwirtschaftlichen Sinne als grundwasserfrei. Insgesamt hat die Tektonik das Kristallin regional sehr ungleichmäßig beansprucht. Hauptsächlich herrscht dort Bruchtektonik vor. Das tektonische Inventar besteht überwiegend aus Dehnungsklüften (Q-, L- und D-Klüfte) und aus auf Scherbeanspruchung beruhenden Trennflächen, die sich im allgemeinen nach der Tiefe zu allmählich verengen und schließen. Deshalb wirkt das kompakte Kristallin als Grundwasserstauer für den darüber befindlichen wasserwegsamem Kristallinanteil. Letzterer ist als Kluffgrundwasserleiter (tektonisch bedingt) sowie als Porengrundwasserleiter (aufgelockert durch Verwitterungsvorgänge) ausgebildet. Häufig liegt das grundwasserführende Kristallin in der Kombination vor, daß der unten befindliche Kluffgrundwasserleiter abrupt oder mit fließendem Übergang in den oben anschließenden Porengrundwasserleiter übergeht.

Typisch für Grundwasseraustritte aus dem kompakten Kristallin sind Spaltenquellen, die sich jedoch in den meisten Fällen der direkten Beobachtung entziehen, da sie gewöhnlich von Block- bzw. Hangschutt verdeckt sind. Für die Trinkwassererschließung im "frischen" klüftigen Granit durch Brunnen gibt es im Fichtelgebirge überzeugende Beispiele:

Die Stadt Gefrees betreibt südöstlich von Kornbach zwei Brunnen, durch die, unter einer mächtigen Granitzersatzdecke, der gut geklüftete Weißenstädter Granit erschlossen worden ist. Die durchschnittliche Grundwasser-Fördermenge schwankt je nach Bedarf zwischen 10 und 15 l/s. Auch die Stadt Hof a. d. Saale hat zahlreiche Brunnen im tiefgründig zersetzten und darunter gut geklüfteten Granit des Weißenstädter Beckens bei Torfmoorhölle gebohrt. Davon weisen einige mehr als 100 m Bohrtiefe auf. Diese Brunnenanlage des Wasserwerkes Hof befindet sich bereits außerhalb des Main-Einzugsgebietes und findet hier nur Erwähnung, um zu unterstreichen, daß geeignete Bereiche im Kristallin zur Trinkwassererschließung herangezogen werden können. Klufwasser kann unter günstigen Voraussetzungen sogar in hydrologisch exponierten Lagen erschlossen werden. So erbringt beispielsweise ein rd. 40 m tiefer Brunnen, der am Gipfel des Schneeberges (unmittelbar an der Grenze des Untersuchungsgebietes gelegen) gebohrt worden ist, eine für diesen Klufgrundwasserleiter beachtliche Ergiebigkeit von 2,5 l/s (STETTNER, 1985 sowie mündliche Mitteilung durch das LfW). – Die Weißmainquelle entspringt am Osthang des Ochsenkopfes und wird hauptsächlich aus dem Klufgrundwasserleiter und untergeordnet aus dem Zersatz gespeist. Ihre Schüttung schwankt zwischen 5 und 10 l/s im Jahresgang.

Über weite Bereiche ist das Kristallin tiefgründig verwittert oder mit allochthonem Verwitterungsschutt verhüllt. Die Beschaffenheiten der unterschiedlichen Verwitterungsdecken bieten den Sicker- und Grundwasserbewegungen voneinander abweichende Voraussetzungen.

Der Prozeß der Vergrusung (Gesteinsentfestigung im Mineralkornbereich) des Kristallins erfolgte in situ unter den feuchtwarmen Klimaverhältnissen des Tertiärs. Die Grusdecke hat sich hauptsächlich in erosionsgeschützten Lagen in Form einer alten Rumpffläche erhalten. Der Kristallingrus weist einen permeablen Porenraum auf und hat damit grundwasserleitende Eigenschaften, die einem unsortierten, dicht gelagerten Sand-Feinkies-Gemisch sehr ähnlich sind. Dort kann sich das Grundwasser speichern und wie im entsprechenden Lockersediment bewegen. Wenn die Grusdecke unmittelbar dem kristallinen Klufgrundwasserleiter aufliegt, besteht zwischen dem Porengrundwasserleiter und dem Klufgrundwasserleiter ein hydraulischer Zusammenhang. Die Brunnen von Gefrees und der Stadt Hof, die sich im Weißenstädter Granit befinden, fördern sowohl Grundwasser aus dem klüftigen Granit als auch aus dem darüber lagernden Granitgrus. Das Porengrundwasser im Granitgrus kann zahlreichen Einzelversorgungen (Hausbrunnen) und einigen kleinen zentralen Wasserversorgungen sichere Erschließungsmöglichkeiten bieten. Die Stadt Bayreuth hat am Südwesthang des Ochsenkopfes eine große Anzahl von Quellen im Granitzersatz gefaßt und sammelt darüber hinaus noch Grundwasser dieses Vorkommens durch ein weitverzweigtes Dränrohrsystem. Insgesamt wird aus dem Ochsenkopfgelände eine Trinkwassermenge von ca. 40 l/s nach Bayreuth abgeleitet. Folgt unter dem Kristallingrus frischer kaum bzw. nicht geklüfteter Granit oder Gneis, ist nur die Zersatzdecke grundwasserleitend. Die Quellen entspringen dann scheinbar horizontgebunden wenig oberhalb des Stauers. Ihre Schüttungsbeständigkeiten hängen von den Speicherkapazitäten in den jeweiligen Einzugsbereichen ab.

Die pleistozäne Verwitterung hat großflächig verbreitete Fließerddecken sowie abgegrenzte Blockschuttmassen hinterlassen. Die Fließerden gehen aus tertiären Verwitterungsdecken hervor, die durch intensive Durchfeuchtung unter pleistozänen Klimabedingungen wiederholten Gefrier- und Auftauvorgängen unterworfen worden sind. Dabei ist es lagenweise zum Bodenfließen gekommen, wobei die ursprünglichen Gefüge verändert worden sind (Kryoturbation). Besonders in der Auftauphase sind Feinkornanteile in das gröbere Korngerüst der jeweiligen Verwitterungsdecke durch das Sickerwasser verlagert worden. Dabei haben sich besonders durch die Umlagerung von Tonmineralen ursprünglich permeable Porenräume geschlossen. Die zeitweilige Verfestigung durch mächtige Firn- bzw. Firneisüberlagerungen in höher gelegenen Arealen hat zusätzlich zur Verdichtung der Zersatzdecken (Firneisgrundschutt) geführt. Die Einsedimentierung feiner Schuttpartikel in das Gerüst größerer Komponenten führte zu einer betonartig dichten Packung des Korngerüsts. Dieser Vorgang spielte bei der Verdichtung des Firneisgrundschuttes sowie bei den Fließerden allgemein eine größere Rolle als die Belastung durch das Firneis selbst. Die Fließerden weisen allgemein schlechte grundwasserleitende Eigenschaften auf, weil die Durchlässigkeiten und damit die Grundwasserführung nur auf einzelne Bereiche konzentriert sind, wo aus einem stabilen Grobkorngefüge die Feinkornpartikel wieder aus-

geschwemmt worden sind. Quellen, die solchen stärker permeablen Partien bzw. bindemittelfreien Grobkornlagen entspringen, sind großen Schüttungsschwankungen unterworfen. In den Bereichen der Fließerdeverbreitung treten gering schüttende meist intermittierende Quellen auf, die nur selten zu Wasserversorgungszwecken gefaßt worden sind. Häufiger begegnet man dort Dränungssystemen, die in Bäche einmünden und zum Schutz der Bebauung bzw. zur Entwässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen (Hang- und Flächenvernässungen) in den Fließerdedecken verlegt worden sind.

Die altpaläozoischen Metamorphite sind schlechter grundwasserleitend als das Grobkristallin und lassen eine merkliche Wasserführung in Störungszonen und in stark geklüfteten Partien erwarten. Die Klüftung dürfte um so stärker sein, je spröder sich das Gestein verhält. Hier ist das Hauptaugenmerk auf Quarzite und Quarzit-Phyllit-Wechsellagerungen des Kambriums und Ordoviziums zu richten. In den NW-SE-verlaufenden Verwerfungszonen ist das Gestein tiefgründig zerrüttet, dort dürften lokal gute Wegsamkeiten für Grundwasser gegeben sein.

Die Münchberger Gneismasse

Die Münchberger Gneismasse erstreckt sich von Südwest nach Nordost zwischen Fichtelgebirge und dem nordwestlichen Frankenwald. Sie ist ein Gebiet mit stark unterschiedlichen Gesteinen. Störungen umgeben sie allseitig. Der Bereich der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung Main umfaßt ihren südwestlichen Teil. Heute liegt eine stark metamorphe Gesteinsvielfalt aus Phylliten, Quarziten, Hornfelsen, Gneisen, Amphiboliten, Glimmerschiefern und Eklogiten vor, die eine wechselhafte Entstehungsgeschichte widerspiegeln. Präkambrische, kambrische und ordovizische tonig-sandige Sedimente wurden zusammen mit gleich alten Tiefen- und Ergußgesteinen in einer variszischen Metamorphose umgewandelt. Diese fand ihren Höhepunkt und Abschluß in der Hauptfaltungsphase. Noch in variszischer Zeit wurde der gesamte Block der Münchberger Gneismasse angehoben und einige 10er Kilometer nach Nordwesten geschoben. Die Gneismasse ihrerseits ist randlich von sedimentären, teils metamorphen Serien umgeben, die der nach NW-gerichtete Schub in Schuppen zerlegt hat. Ähnlich dem Fichtelgebirge wurde auch die Münchberger Gneismasse von späterer Bruchtektonik beeinflusst, die immer wieder reaktiviert wurde. Es lassen sich auf dem Kartenbild hauptsächlich NW-SE-gerichtete Verwerfungen feststellen, untergeordnet kommen auch NE-SW-Richtungen vor.

Vermutlich schon im Tertiär war ehemals vorhandenes Deckgebirge abgetragen. Auch hier fand eine tiefgründige Verwitterung der kristallinen Gesteine unter tropischem Klima statt. Hebungen an der Fränkischen Linie im Pliozän und die Überprägung durch das eiszeitliche Klima formten das heutige Landschaftsbild des Kristallingebietes.

Wie die Heterogenität der Gesteine erwarten läßt, ist die Grundwasserführung der Münchberger Gneismasse unterschiedlich stark. Zudem sind Aquiferdaten nur spärlich vorhanden.

Die Gesteine selbst wirken praktisch wasserundurchlässig. Grundwasser kann nur auf Klüften und Störungszonen zirkulieren. An Überschneidungen von NW-SE- mit NE-SW-laufenden Verwerfungen ist das Gestein tiefgründig zerrüttet. Dort besteht die größte Grundwasserhöflichkeit.

Der unter dem tertiären Klima erfolgte Gesteinszersatz reicht aufgrund der Verschiedenartigkeit der Gesteine unterschiedlich tief. So wurden im Zuge von Wasserbohrungen bei Münchberg und Stadtsteinach Zersatztiefen von 10 und 20 aber auch bis zu 40 m festgestellt (EMMERT et al., 1960; STETTNER, 1960). Je grobkörniger und je feldspatreicher das Gestein ist, desto leichter fiel es der Verwitterung anheim. In solchen Verwitterungszonen kann sich lokal Grundwasser sammeln.

Auf der Hochfläche der Münchberger Gneismasse finden sich weitgespannte morphologische Mulden, in denen sich Gesteinszersatz und Fließerden in größerer Mächtigkeit angesammelt haben. In ihnen entspringen zahlreiche Quellen. Die Wasseraustritte erfolgen in Form von Vernässungszonen oder Schichtquellen. Hier liegen Grundwasservorkommen, die der lokalen Wasserversorgung dienen. Vielfach erfolgt die Versorgung auch noch über flache Hausbrunnen. Die Ergiebigkeit von Bohrungen im verwitterten Gneis beträgt im Gebiet von Stadtsteinach bis zu 8 l/s, maximale Quellschüttungen in o. g. Muldenzonen werden mit 3 l/s angegeben. Dagegen erreicht die Schüttung mehrerer, zusammengefaßter Quellen der Wasserversorgung der Stadt Kulmbach immerhin knapp 40 l/s (EMMERT et al., 1960).

Das Kristallin im nordwestlichen Frankenwald

Es handelt sich hierbei um Diabase und Diabastuffe, das sind basaltische Gesteine, die im Ordovizium und vor allem im Devon in Geosynklinalgebieten aufgedrungen sind. Sie stehen heute hauptsächlich nordöstlich Stadtsteinach sowie bei Naila und Bad Steben an der Oberfläche an. Da sie spröde reagieren sind sie stark geklüftet. Zudem sind sie von einer NW-SE und NE-SW-verlaufenden Bruchtektonik beeinflusst. Auf diesen Klüften und Spalten kann Wasser zirkulieren. Bohrungen bei Schwarzenbach am Wald lieferten im unverwitterten Diabas ca. 0,5–0,8 l/s (v. HORSTIG & STETTNER, 1976).

Im Diabassteinbruch bei Ludwigsstadt wird in offener Wasserhaltung der geklüftete Werkstein entwässert, um auf der unteren Abbausohle noch Diabas gewinnen zu können, der im Grundwasserschwankungsbereich liegt. Die aus dem Diabasstock abgeleitete Wassermenge beträgt ca. 2–5 l/s.

Auch der im Tertiär unter tropischem Klima entstandene Gesteinszersatz dürfte etwas Grundwasser führen. Am günstigsten sind die Verhältnisse in morphologischen Mulden, welche mit Fließerden und Verwitterungsschutt gefüllt sind. Die gespeicherten Grundwassermengen reichen jedoch höchstens zur Deckung des lokalen Grundwasserbedarfs.

3.1.2 Nichtmetamorphes Paläozoikum

3.1.2.1 Mittelkambrium bis Unterkarbon

Nichtmetamorphes Paläozoikum ist, mit einem Schichtumfang vom Mittleren Kambrium bis Unterkarbon, nur im nordwestlichen Frankenwald aufgeschlossen. Es wird im Südwesten von der Fränkischen Linie, im Südosten von der Überschiebungsbahn der Münchberger Gneismasse begrenzt. Der nördliche Teil wird durch die Grenze zu Thüringen umfaßt, im Osten scheidet die Linie Lichtenberg — Döbraberg das Nichtmetamorphe Paläozoikum vom restlichen Frankenwald. Die Sedimente sind überwiegend marin, nur im Oberkambrium kann eine kurze Festlandsperiode angenommen werden.

Die abgelagerten Gesteine lassen sich zwei eng miteinander verzahnten Faziesreihen zuordnen: der weit verbreiteten Thüringer Faziesreihe und der Bayerischen Faziesreihe, die eine lokale Sonderausbildung zeigt. Letztere ist vor allem in der Umgebung und nordwestlich der Münchberger Gneismasse aufgeschlossen. Die ältesten Ablagerungen der Thüringer Faziesreihe zeigen ordovizisches Alter an. Sie bestehen aus Tonschiefern, Quarziten und Grauwacken. Silurische und devonische Kalke treten hinzu. Im Unterdevon erfolgten bedeutende Diabasergüsse. Das Unterkarbon nimmt die weitaus größte Ausstrichbreite im Frankenwald ein. Zunehmende Sand- und Konglomeratschüttungen weisen auf die stärker werdende variszische Gebirgsbildung hin. Oberkarbonische Gesteine lassen sich nicht nachweisen. Die Bayerische Faziesreihe setzt sich aus mittelkambrischen Tonschiefern, ordovizischen Diabasen und mächtigen Kieselschiefern sowie Konglomeraten und Brekzien aus dem Devon bis Unterkarbon zusammen. Auch hier endet im Oberkarbon die Sedimentation.

In der variszischen Orogenese wurden die Gesteine gefaltet. Anschließend setzte der Aufstieg des Gebirges ein. Der Schub der Münchberger Gneismasse zerlegte den Südostteil des Nichtmetamorphen Paläozoikums in einzelne Schollen. Eine spätere Bruchtektonik überprägte die Gesteine zusätzlich. Neben der vorherrschenden NW-SE-Richtung finden sich untergeordnet N-S- und E-W-verlaufende Brüche. Zwischen Ludwigsstadt und Nordhalben sind lang aushaltende NE-SW-Störungen zu beobachten. Nach der Abtragung von eventuell vorhandenem Deckgebirge, aufgrund der Hebung des Gebietes an der Fränkischen Linie, setzte im Tertiär, unter tropischem Klima, tiefgründige Verwitterung ein. Während der pleistozänen Kaltzeiten wurden Fließerden gebildet.

Die beschriebenen Gesteine des Untersuchungsraumes sind schlechte Grundwasserleiter. Mögliche Wasserführung weisen vor allem Quarzite, Grauwacken, silurische und devonische Kalke auf. In den Tonschiefererien erfolgt wenig Grundwasserdurchsatz. Das Grundwasser bewegt sich in Störungszonen und auf Klüften. Talparallele Hangzerreißungsklüfte erhöhen die Durchlässigkeit des Gebirges. Solche grundwasserführende Klüftzonen können Längsausdehnungen von mehreren Kilometern erreichen. Da das Gebirge zwischen den Störungszonen immer wieder dicht ist, besteht keine einheitliche Grundwasserführung (APEL, 1982). Es handelt sich um Einzelvorkommen, deren Grundwasserdargebot je nach Gestein und Intensität der Klüftung stark schwanken kann.

Quellen sind zumeist an Klüfte oder Störungen gebunden. Wenn die Quellaustritte von Fließerde oder Verwitterungsschutt verschleiert wurden, tritt das Wasser an Schutt-Schichtquellen oder in Vernässungszonen zu Tage.

An Überschiebungen im Randbereich der Münchberger Gneismasse treten zahlreiche Quellen aus. Ihre Schüttung ist sehr gering, da Zerreibungsprodukte in der Überschiebungsbahn die Wegsamkeit herabsetzen.

Während in geklüfteten, devonischen Kieselschiefern Schüttungen von durchschnittlich 1 l/s und maximal bis 2,5 l/s erreicht werden, liegen sie in Tonschiefer-Quarzit-Wechselfolgen meist unter 1 l/s (v. HORSTIG & STETTNER, 1976). Hier scheinen die tonigen Lagen stark abdichtend zu wirken. Je nach Intensität der Klüftung schütten Quellen in karbonischen Grauwacken und Quarziten durchschnittlich 3 l/s bis maximal 10 l/s. Der nur wenig verbreitete silurische Ockerkalk ist ein gutes Speichergestein. Perennierende Quellen weisen hier Schüttungen von bis zu 9 l/s auf (APEL, 1982).

An Störungen treten relativ starke Quellen aus; so schüttet beispielsweise eine Quelle am Döbraberg 4–17 l/s (v. HORSTIG & STETTNER, 1976).

Brunnen haben bisher nur bescheidene Erfolge gebracht. Sie zeigen gesteinsunabhängig eine Ergiebigkeit von durchschnittlich 1,2 l/s, wobei das Maximum bei 10 l/s liegt (v. HORSTIG & STETTNER, 1976).

Da das Speichervermögen der Gesteine gering ist, fließen die hohen Gebietsniederschläge von bis zu 1300 mm im Jahr (vgl. Tab. 1) zum großen Teil oberirdisch ab. Mit der Trinkwassertalsperre bei Mauthaus wird dieser hohe Oberflächenabfluß genutzt.

Die in Mulden und an flachen Hängen mehrere Meter mächtig werdenden Verwitterungsdecken führen geringe, stark niederschlagsabhängige Mengen von Grundwasser. Das Wasser tritt in Vernässungszonen oder an Schichtquellen zu Tage. Lokal werden solche Quellen zur Wasserversorgung herangezogen, zum Beispiel in Teuschnitz und Tschirn; ihre Schüttung beträgt im Mittel 1 l/s (APEL, 1982).

3.1.2.2 Perm

3.1.2.2.1 Rotliegendes

Das Rotliegende ist nur in den Räumen Alzenau i. Ufr. und Stockheim von lokaler wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Bei größerer Überdeckung sind aus dem Rotliegenden im allgemeinen keine wesentlichen Wassermengen gewinnbar.

Mit Ausnahme des Stockheimer Beckens sowie einiger Aufschlüsse bei Alzenau i. Ufr., stehen Rotliegend-Sedimente im Untersuchungsgebiet nicht über Tage an. Ihre paläogeographische Verbreitung läßt sich jedoch mit Hilfe von Daten aus Bohrungen rekonstruieren.

Während der Rotliegendzeit entstanden durch Ausgleichsbewegungen der Erdkruste nach der variszischen Gebirgsbildung eine Reihe NE-SW-verlaufender Schwellen- und Trogegebiete. Die Tröge nahmen den Abtragungsschutt des variszischen Gebirges auf, während auf den Schwellen Sedimente nicht oder nur randlich, in geringer Mächtigkeit, abgelagert wurden. Im Untersuchungsgebiet lassen sich von Nordwesten nach Südosten der Saar-Selke-Trog (bei Alzenau), die Spessart-Rhön-Schwelle, der Kraichgau-Saale-Trog und der Nordteil der Süddeutschen Hauptschwelle nachweisen. Im Bereich des nordwestlichen Frankenwaldes befindet sich das Stockheimer Becken.

Die Sedimente des Rotliegenden sind durchgehend auf dem Festland unter einem sehr warmen, teils ariden Klima entstanden. Sie werden aus roten Sandsteinen, schlecht sortierten Schuttdecken (Fanglomeraten), zum Teil mächtigen Tonpaketen und, untergeordnet, Karbonaten und Anhydriten aufgebaut. An der Basis finden sich gelegentlich einige kleinere Kohleflöze. Lokal sind vulkanische Gesteine, vor allem Quarzporphyre und Melaphyre (bei Alzenau, Stockheim) enthalten. Das Rotliegende weist stark schwankende Mächtigkeitswerte auf, die auch auf kurze Entfernung um Hunderte von Metern differieren können. Im Bereich Spessart — Rhön und im Coburger Land reichen die Mächtigkeiten von 0 m (Spessart-Rhön-Schwelle) bis 400 m. Im Mittellaingebiet liegen sie bei 300 bis über 800 m und steigen im Bruchschollenland auf über 1000 m an. Bei Bamberg und Bayreuth sinken die Mächtigkeiten an der Süddeutschen Hauptschwelle auf 0 bis 300 m (vgl. Tab. 3).

Zwischen dem Rotliegenden und dem Zechstein vermitteln helle Sandsteine und Konglomerate, die als Weißliegendes bezeichnet werden. In der Regel werden Mächtigkeiten um 10 m angetroffen, nur im Gebiet von Bad Kissingen und Mellrichstadt wurden bis zu 45 m Weißliegendes durchteuft.

Bei Stockheim überlagern ca. 1000 m mächtige Rotliegendesedimente diskordant Gesteine des Unterkarbons, die hier eine geologische Mulde bilden. Diese Rotliegendesteine bieten günstige Voraussetzungen für die Grundwasserspeicherung. Sie bauen sich aus Sandsteinen, Tonschiefern, Konglomeraten und, untergeordnet, vulkanischen Gesteinen auf. Dabei stehen Bankungsfugen und die an Bruchtektonik gebundenen Klüfte neben dem permeablen Porenraum verwitterter, mürber Sandsteine als Wegsamkeiten für das Wasser zur Verfügung. Das Rotliegende bildet einen Kluff-(Poren-)Grundwasserleiter aus, wobei der Wasserdurchsatz im Kluffraum wesentlich größer ist als im Porenraum (Apel, 1979).

Das Rotliegendwasser dient der Trinkwasserversorgung der Gemeinden bei Stockheim. Die Brunnenbohrungen weisen Ergiebigkeiten von durchschnittlich 2 l/s auf (APEL, 1979). Der Tiefbrunnen Neukenroth II zeigt mit 95 l/s bei weitem die höchste Ergiebigkeit (E + M, 1989). Auch die in Südhessen zu Tage tretenden Rotliegendesteine werden zur Wassergewinnung herangezogen (KOWALCZYK, 1983). Sie reichen nördlich Alzenau noch in den Bilanzraum Spessart hinein.

Erfahrungsgemäß kann angenommen werden, daß aus Rotliegendesedimenten im Untergrund keine wesentlichen Wassermengen zu gewinnen sind. Die mächtige mesozoische Überdeckung wirkt der Ausbildung eines genügend großen Kluffvolumens im Sinne von Dehnungsklüften entgegen. Das Weißliegendes dürfte ähnliche Verhältnisse aufweisen. Bei bergfrischem Weißliegendem ist zudem das Porenvolumen durch karbonatische Bindemittel herabgesetzt. TRUSHEIM (1964) gibt eine durchschnittliche Porosität von 1-2 % und eine Permeabilität von $5 \cdot 10^{-9}$ m/s für verschiedene Bohrkern aus dem Weißliegendem an.

3.1.2.2.2 Zechstein

Normal mineralisiertes Zechsteinwasser wird nur im Vorspessart für örtliche Wasserversorgungen genutzt. Insbesondere im Bereich Spessart — Rhön werden aus dem Zechstein mineralstoffreiche Wässer gefördert, oder sie treten frei aus. Die Wasserführung ist bei größerer Überdeckung auf Kluff- und Störungszonen beschränkt.

Die Sedimente des Zechsteins sind Ablagerungen eines von Norden nach Süden vorrückenden Meeres, das in Süddeutschland eine maximale Ausdehnung bis zur Linie Stuttgart — Bayreuth erreichte. Die Spessart-Rhön-Schwelle zeichnet sich deutlich als Hochgebiet ab. — Bedingt durch das trockenheiße Klima machte dieses Flachmeer mehrere Eindampfungszyklen mit der Entstehung von Salzlagern durch, die in Nordbayern jedoch nur unvollständig ausgebildet sind.

Übertage steht der Zechstein im Bereich der Spessart-Rhön-Schwelle und bei Stockheim an, zudem wurde er im nordbayerischen Raum mehrfach erbohrt. Danach dehnt sich nordöstlich der Spessart-Rhön-Schwelle das Fränkische Becken aus, in dem die größten Zechstein-Mächtigkeiten in Bayern erreicht werden (Bohrung Mellrichstadt 289 m).

Auf der Spessart-Rhön-Schwelle schwanken die Mächtigkeiten von 0 bis 37 m (bei Schöllkrippen). Nach Süden und Osten nehmen sie zum Beckenrand hin langsam ab (Bohrungen Rannungen 217 m, Staffelstein 107 m, Bayreuth >45 m).

Der Zechstein in Bayern zeigt deutliche Faziesunterschiede. Zu Beginn wurden die bis zu 2,5 m mächtigen Kupferletten abgelagert. Sie sind auch in den Hochgebieten fast durchgehend ausgebildet, nur im Bereich des Spessarts blieben bis in den Unteren Buntsandstein einige Inseln frei von Meeresbedeckung. Die folgenden Kalk- und Dolomitserien glichen das verbliebene Rotliegendrelief aus. Diese Karbonate vertreten auf den Schwellen die Salzausscheidungen des Fränkischen Beckens, die dem Zechstein-1-(Werra-)Salinar zugerechnet werden. Die Bohrung Mellrichstadt durchteufte 167 m Steinsalz. Die Beckenrandfazies im Süden und Südosten wird durch sandige Mergelfolgen und Tone markiert. Jüngere Salzablagerungen gibt es in Bayern nicht. Hangende Ton- und Anhydritablagerungen werden mit der Zechstein-2-(Stäbfurt-)Folge, der folgende Plattenkalk der Beckenfazies mit der Zechstein-3-(Leine-)Folge parallelisiert. Auch diese Serien werden randlich durch sandig-tonige Ablagerungen ersetzt.

Die Spessart-Rhön-Schwelle lag während des Zechstein-2 kurzfristig frei. Die Dolomite unterlagen dabei einer intensiven Verkarstung, ehe es zum Absatz weiterer Karbonate, Tone und schließlich des Bröckelschiefers des Unteren Buntsandsteins kam.

Die Wasserführung des Zechsteins ist abhängig von seiner faziellen Ausbildung und Tiefenlage. Der Zechstein weist dort, wo er von mächtigem Deckgebirge überlagert wird, eine allgemein geringe Wasserwegsamkeit auf, wie der spärliche oder fehlende Wasserzufluß in Bohrungen (z.B. Staffelstein (GUDDEN, 1977) und Königshofen) zeigt. Eine Ausnahme bilden die stark geklüfteten Bereiche von Störungszonen, in denen sich Zechsteinwasser bewegen kann. Es sind vorwiegend Mineralwässer, die ihre Lösungsfracht durch Auslaugung salinärer Ablagerungen beziehen. Sie wurden zum Teil durch Bohrungen erschlossen (z. B. in Bad Sodenthal, Bad Kissingen und mit Einschränkungen Bad Neustadt), treten zum Teil auch in Quellen aus (Bad Neustadt sowie im Bereich der Heustreuer Störungzone zwischen Heustreu und Saal an der Saale (SCHMITT, 1982)). Bei Lichtenau (APEL, 1972 c), Bad Sodenthal, Waldaschaff und in Großwallstadt wurde keine Salinarfazies im Zechstein erbohrt. Die Mineralwässer müssen deshalb entweder über längere Strecken im Untergrund dem Erschließungsbereich zugewandert sein oder sie entstammen einem Restsalinar. Interpretationen über Fließwege im Zechstein sind rein hypothetisch. In Großwallstadt tritt gespanntes, mineralisiertes Zechsteinwasser mit einer Schüttung von 30 l/s frei aus (ANDRES & MATTHESS, 1971).

Eine mögliche Wasserführung weisen Bryozoenriffe im unteren Zechstein auf. Bei Mürsbach wurde ein solches Riff unbekanntes Ausmaßes erbohrt. Da eine Verzahnung mit der gebankten Fazies nicht angenommen werden kann und es allseitig von Tonsteinen umgeben sein dürfte, wird ein Wasserdurchsatz unwahrscheinlich. Es handelt sich mit großer Sicherheit um ein Wasser hohen Alters (GUDDEN, 1977).

Die Zechsteinvorkommen im Spessart sind nur geringmächtig überdeckt und stehen gebietsweise flächig über Tage an, so z. B. bei Schöllkrippen. In den Zechsteinkarbonaten der Schwellenfazies treten normal mineralisierte Grundwässer auf. Das Wasser bewegt sich auf Klüften und in dem, im Zechstein-2 entstandenen Paläokarst, soweit dieser nicht von Residualtonen zugesetzt ist. Die Sohl-schicht wird durch den Kupferletten gebildet, der das Grundwasser des Zechsteins von dem teilweise grundwasserführenden Gesteinsersatz des Grundgebirges trennt (vgl. Detailprofil Nordspessart). Verkarstung findet auch heute noch statt, die Lösungswirkung kalkaggressiver Wässer erweitert die tektonisch angelegten Hohlräume in den Zechsteinkarbonaten (OKRUSCH & WEINELT, 1965). Jedoch lassen die zumeist dichte Überdeckung durch den Bröckelschiefer des Unteren Buntsandsteins und die nur schmale Ausstrichbreite kein hohes Grundwasserdargebot erwarten. Zechsteinwasser wird nur in geringem Umfang zur Wasserversorgung herangezogen. Die Gemeinden Schöllkrippen und Sailauf beziehen ihr Trinkwasser zum Teil aus Quellen, die dem Zechstein entspringen; diese schütten bis zu 2,5 l/s (OKRUSCH & WEINELT, 1965).

3.2 Mesozoikum

3.2.1 Trias

Die Trias erreicht im Maingebiet 900–1500 m, im Mittel ca. 1200 m Mächtigkeit. Sie wird überwiegend aus Sand-, Ton- und Kalksteinen aufgebaut und gliedert sich in Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper (vgl. Tab. 19). Zur Zeit des Buntsandsteins dominierten festländische Einflüsse über kurzfristige Meereseinbrüche. Im Muschelkalk wurde das Maingebiet von Norden her ständig vom Flachmeer eingenommen; im Mittleren Muschelkalk kam es dabei unter aridem Klima zu einer Salinarphase. Im Oberen Muschelkalk herrschte wieder Flachmeerfazies vor. Dieses Meer verlandete in der Keuperzeit zusehends. Miteinander verzahnte marine, limnisch-fluviatile und terrestrische Sedimente spiegeln das Bild einer flachen Lagunen-, Fluß- und Seenlandschaft wider.

Die Trias wurde in einem Becken abgelagert, das im Südosten und Osten durch das Vindelizische Land, im Westen durch das Gallische Land begrenzt wurde. Das in Franken ausgedehnte Triasbecken ist Bestandteil des Germanischen Beckens; deshalb hat es im Norden und Südwesten Anschluß an die Germanische Trias über die Grenzen des Bearbeitungsgebietes hinaus. Die regionale Verteilung von Hoch- und Tiefgebieten veränderte sich im Laufe der Triaszeit. Während des Buntsandsteins und des Muschelkalks lagen die tiefsten Bereiche des Beckens etwa im heutigen Maindreieck bzw. wenig östlich davon. Im Keuper existierte eine Tiefzone zwischen Bamberg, Bayreuth und Kulmbach; die eigentliche Beckenachse war NW-SE-gerichtet und verlief am Westrand dieses regionalen Tiefge-

bietes. Der östliche Beckenrand, also die Begrenzung durch das Vindelizische Land, wird für die gesamte Trias östlich des Untersuchungsgebietes, über 100 km östlich der Fränkischen Linie, vermutet (nach: WURSTER, 1968; SCHWARZMEIER, 1981 a; EMMERT, 1981; BERGER, 1981).

Die Sedimentmächtigkeiten wachsen in Richtung auf die Beckenachse bzw. in lokalen Tiefzonen an und nehmen zum Beckenrand hin in der Regel ab. Im Beckeninneren wurden meist feinkörnige, tonige und kalkige Sedimente, gelegentlich auch Gips, Anhydrit und Salz abgelagert. Zum Beckenrand hin findet eine Kornvergrößerung statt. Tonpakete und Kalke werden dort häufig durch Sandsteine und tonig-sandige bzw. kalkig-sandige Wechselfolgen ersetzt. – In Abhängigkeit von der Gesteinsausbildung wechseln Grundwasserstauer und -leiter miteinander ab. Die Trias weist einen mehrfachen Grundwasser-Stockwerksbau auf, der sich nicht strikt an die stratigraphisch vorgegebenen Grenzen hält. Von Westen nach Osten lassen sich die Triassedimente in verschiedene Faziesbereiche gliedern, wobei nach Osten (zum Beckenrand hin) die Ablagerungen generell sandiger werden. Dies bedeutet, daß Schichtpakete, die im Beckeninneren als Grundwasserstauer ausgebildet sind, am Beckenrand als Grundwasserleiter wirken können. – Einen geologisch-hydrogeologischen Überblick der triassischen Sedimente vermittelt Tab. 3.

3.2.1.1 Buntsandstein

Der Buntsandstein ist bei fehlender bzw. nur geringer Überdeckung in der Regel ein wichtiger Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter. Das Grundwasser bewegt sich v. a. auf Kluft- und Schichtfugen. Der Buntsandstein ist im Maingebiet im allgemeinen zwischen 500 und 650 m mächtig; seine größte Mächtigkeit erreicht er im Raum Bad Neustadt mit knapp 700 m (Bohrung Mellrichstadt). Im Obermain-Hügelland, zwischen Kulmbach, Bayreuth und Weidenberg, reduziert sich das Schichtpaket auf 300–500 m (SCHWARZMEIER, 1981 a).

Der Buntsandstein wird überwiegend aus Sandsteinen und aus Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen aufgebaut. Seine Basis wird von mächtigeren Tonsteinen, den Bröckelschiefern, gebildet. Diese füllen ein Paläorelief aus und können daher in Schwellengebieten (z. B. im Raum Aschaffenburg: Spessart-schwelle) fehlen. Ihre Mächtigkeit beträgt im Maingebiet 0–70, im Mittel um 40 m. Darüber liegen Sandstein- und Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen (Sandschiefer) des Unteren und Mittleren Buntsandsteins. Gelegentlich sind tonige Pakete zwischengelagert, die allerdings nicht über größere Entfernungen durchhalten. Einen deutlichen Fazieswechsel zeigt der Obere Buntsandstein an. Das ca. 100 m mächtige Schichtpaket weist in der Regel einen sehr hohen Tonanteil (Röttone) auf.

Nach Osten, im Raum Kulmbach — Bayreuth — Weidenberg, wird der Buntsandstein insgesamt zunehmend sandiger. Der Untere Buntsandstein ist dort, v. a. nach Südosten zu, überwiegend als Sandstein ausgebildet. So ersetzt, z. B. auf dem Gebiet des Kartenblattes Nr. 6035 Bayreuth, eine fein- bis grobkörnige Sandsteinfolge den Bröckelschiefer (EMMERT, 1977). Im unteren Abschnitt des Mittleren Buntsandsteins treten im östlichen und südöstlichen Bruchschollenland Gerölle mit Durchmesser bis zu 10 cm auf (Kulmbacher Konglomerat). Insgesamt stellen sich Mittlerer und Oberer Buntsandstein dort als Folgen fein- bis grobkörniger Sandschüttungen dar.

Der Buntsandstein weist in der Regel einen mehrfachen Grundwasser-Stockwerksbau auf. Die Sohle des unteren Stockwerks bilden die Bröckelschiefer. In Schwellenregionen des Aschaffener Raums wird die Sohlfunktion durch das grundwasserhemmende kristalline Grundgebirge ersetzt. Im östlichen Bruchschollenland fehlen mächtigere Tonpakete an der Basis des Unteren Buntsandsteins; daher übernimmt dort der in diesem Raum überwiegend tonig ausgebildete Zechstein die Funktion der Grundwassersohle. Südöstlich von Bayreuth wurden keine Zechsteinsedimente abgelagert; die Sandsteine des Buntsandsteins gehen zum Liegenden in Fanglomerate des Rotliegenden über. In dieses Schichtpaket eingelagerte Tonsande und tonige Zwischenmittel besitzen im Raum Weidenberg wasserstauende Wirkung (DILL, 1975). Aufgrund solcher lithologischer Gegebenheiten ist das Rotliegende dort als Grundwassersohle des Buntsandstein-Stockwerks anzusehen.

Grundwasserleiter des unteren Stockwerks sind die Sandsteine und Sandschiefer des Unteren und Mittleren Buntsandsteins. In deren Ausstrich hat dieses Grundwasserstockwerk zumeist eine freie Grundwasseroberfläche. Gelegentlich eingelagerte Tonpakete decken nur lokal den Grundwasserkörper ab. Im Ausstrich des Oberen Buntsandsteins bzw. weiterer hangender Abfolgen bilden die Chirotherienschiefer, z. T. zusammen mit tonigen Bereichen des Plattensandsteins, die Grundwasserdeckschicht des unteren Grundwasserstockwerks und zugleich die Sohlenschicht des oberen.

Das obere Stockwerk gliedert sich im Spessart (und den östlich angrenzenden Gebieten) in zwei Teilbereiche. Im unteren stellt der Plattensandstein, im oberen der Rötquarzit den Grundwasserleiter dar. Eine deutliche Trennung läßt sich häufig anhand unterschiedlicher Sulfatkonzentrationen belegen (der vergleichsweise hohe Sulfatgehalt der Rötquarzitwässer ist auf Gipsschnüre in den hangenden Oberen Röttonen zurückzuführen). Gelegentlich besteht zwischen beiden Bereichen ein hydraulischer Zusammenhang. Daneben können aber auch hydraulische Verbindungen zwischen dem unteren Haupt-Grundwasserstockwerk und dem Plattensandstein-Grundwasserleiter beobachtet werden.

Während der Rötquarzit im Spessart durch einen bis über 10 m mächtigen Sandstein repräsentiert wird, dünnt er nach Norden aus. Im Bereich der Rhön besteht er nur noch aus wenigen geringmächtigen Sandsteinbänken. Hier ist die Grundwasserführung (im Oberen Buntsandstein) auf den Plattensandstein beschränkt.

Das Grundwasserstockwerk des Oberen Buntsandsteins ist wegen der vergleichsweise geringen Mächtigkeit der Grundwasserleiter von nur geringer wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Im Obermaingebiet gewinnt es allerdings aufgrund der dort zunehmend sandigen Ausbildung an Wichtigkeit.

Im äußersten Südwesten des Maingebietes, im Raum Amorbach, sind die Unteren Röttonen bis auf wenige Meter reduziert oder fehlen gänzlich. Dieses Schichtpaket ist dort durch Sandsteine ersetzt; dadurch besteht keine Grundwasser-Stockwerkstrennung zwischen dem Oberen Buntsandstein und dem Grundwasser in den darunter befindlichen Schichten.

Der Buntsandstein kann im Ausstrich und bei geringer Überdeckung als guter Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter bezeichnet werden. Hydrologisch wirksam ist insbesondere sein Kluftvolumen, während das Porenvolumen nur eine untergeordnete Rolle spielt. GEORGOTAS & UDLUFT (1978 a) geben für den Buntsandstein des Sinn-Saale-Gebietes Kluftvolumina von 0,2–0,4 % an. In 100 m Tiefe kann das Kluftvolumen bereits auf 0,1 % reduziert sein. Bei größerer Überdeckung ist das Kluftvolumen stark verringert, so daß die Sandsteine nur noch eine geringe Wasserführung aufweisen. So wurde z. B. in der Bohrung Bad Königshofen im Buntsandstein kein Wasser angetroffen. Auch bei den Bohrungen Rodach II und Staffelstein sind die Fördermengen von Buntsandstein-Wasser sehr gering. Bei jedem der genannten Fälle wurde der gesamte Buntsandstein durchteuft.

Die für den Buntsandstein aus Pumpversuchen gewonnenen Durchlässigkeitsbeiwerte sind Tab. 7 zu entnehmen. (Dabei wurden für den Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Main Bohrungen der Bilanzräume "Spessart" und "Sinn-Saale-Gebiet" zusammengefaßt, um über eine ausreichende Zahl von Grunddaten aussagekräftige Werte zu erhalten.)

Durchlässigkeiten ungestörter Sandsteinkerne sind bedeutend geringer als die aus Pumpversuchen erhaltenen Werte. Parallel zur Schichtung liegen sie zwischen 10^{-9} und 10^{-6} m/s (also etwa eine Zehnerpotenz tiefer als der Mittelwert aller Pumpversuchsdaten), senkrecht dazu zwischen 10^{-11} und 10^{-7} m/s (MÄRZ, 1977; GEORGOTAS & UDLUFT, 1978 a).

Da die Wasserführung im Buntsandstein überwiegend an Klüfte, Spalten und Schichtfugen gebunden ist, die ungleichmäßig den Gesteinsverband zerlegen, besteht bei der Erschließung dieses Grundwasserleiters mit Vertikalbrunnen ein gewisses Risiko. Dies zeigte sich auch bei einer Reihe von Brunnenbohrungen, die im Rahmen des Grundwasser-Erkundungsprogrammes des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft in den Buntsandstein niedergebracht wurden. So erwiesen sich die Erkundungsgebiete 1.01 Bürgstadt, 1.05 Rück, 1.06 Schneeberg und 1.07 Kirschfurt (alle liegen im Bilanzraum V "Spessart" – LfW, 1975 a, 1978 a, b, c) als negativ, wobei die Lokalität Schneeberg heute für die örtliche Wasserversorgung herangezogen wird. Die Erschließung Gemünden-Hofstetten erbrachte statt der prognostizierten 240 l/s nur etwa 110 l/s (LfW, 1981). Auch die Erschließungen im Rhönvorland erfüllten die Erwartungen nicht. So zeigten z. B. von vier in Willmars (Erkundungsgebiete 3.01 und 3.02) niedergebrachten Bohrungen zwei keine Beharrung (LfW, 1975 b). In den als erfolgreich erachteten Erschließungen beträgt die Brunnenergiebigkeit meist ca. 10 l/s (LfW, 1976 a, 1977 a, 1975 b, c; IGI, 1987 a). Bedeutend größere Wassermengen konnten in jeweils einem Brunnen der Lokalitäten 2.03 Wombach und 1.09 Breitenbrunn, nämlich ca. 40–45 l/s, sowie in den beiden Versuchsbrunnen in 1.02 Röllfeld (jeweils 50 l/s) gefördert werden (LfW, 1977 a, 1984, 1975 d). Ähnlich große Mengen Buntsandsteinwasser fördert auch der Versuchsbrunnen Großwallstadt II (LfW, 1976 b).

Im Buntsandstein des Bruchschollenlandes sind die hydrogeologischen Verhältnisse ähnlich heterogen. So fördern z. B. die Bohrungen Bindlach und Crottendorf auf dem Gebiet des Kartenblattes Nr. 6035 Bayreuth bis zu 60 l/s, was einer spezifischen Ergiebigkeit von 1l/(s*m) entspricht. Die spezifische Ergiebigkeit des Brunnens Laineck 4, der auf demselben Blattgebiet liegt, beträgt demgegenüber nur 0,14 l/(s*m) (FRANK, 1977).

Im Buntsandstein-Ausstrich sind drei verschiedene Quelltypen vertreten:

- Im Talniveau sowie in Störungszonen treten Stauquellen aus. Sie zeigen überwiegend starke Schüttungen und reagieren mit Verzögerung auf Niederschläge.
- An lithologischen Grenzen (Sandstein — Schluffstein) entspringen in den verschiedensten Niveaus Schichtquellen. Ihre Schüttung ist abhängig von ihrem jeweiligen Einzugsgebiet und schwankt mit den Niederschlägen.
- An der Grenze der quartären Überdeckung zum Buntsandstein treten zuweilen Schuttquellen aus. Diese Quellen sind stark von Niederschlägen abhängig und nicht immer perennierend. Mischformen von Schicht- und Schuttquellen sind im Buntsandstein häufig.

Die Mehrzahl der perennierenden Buntsandsteinquellen schüttet zwischen 1 und 5 l/s; die Schüttungen der stärkeren Quellaustritte betragen in Spessart und Rhön zwischen 1 und 10 l/s (APEL, 1972 c; SCHWARZMEIER, 1980; VIERNSTEIN, 1984; WEINELT, 1962, 1965). Bedeutend höhere Schüttungsmengen können v. a. im Unteren Buntsandstein, bevorzugt am Top der Bröckelschiefer, beobachtet werden. So schütten im Ausstrich des Unteren Buntsandsteins auf dem Gebiet des Kartenblattes Nr. 5922 Frammersbach, die Lohrquelle 20–70 l/s und die Dorfquelle Habichsthal 30–90 l/s (APEL, 1978).

Daneben wurden beim bergmännischen Abbau des in Spalten in den Buntsandstein eingedrungenen Schwerspates im nördlichen Spessart z. T. erhebliche Wassermengen angetroffen (WEINELT, 1978).

3.2.1.2 Muschelkalk

Die Grundwasserführung des Muschelkalks ist von seiner Klüftung, von Schichtfugen und der Verkarstung abhängig (Kluft-Grundwasserleiter). Bei gut ausgebildetem Kluft- und Karsthohlraumvolumen weist er höhere Grundwasserführung auf, wo hingegen unverkarstete Bereiche grundwasserhemmend wirken können. Der Muschelkalk wird im Maingebiet im allgemeinen zwischen 200 und 250 m mächtig. Nur östlich Kulmbach sowie im Raum Bayreuth sinkt die Mächtigkeit dieses Schichtpakets auf unter 200 m, im äußersten Südosten sogar auf ca. 150 m ab (beckenrandnahe Fazies) (EMMERT, 1981).

Stratigraphisch wird der Muschelkalk in den Unteren Muschelkalk (Wellenkalk), den Mittleren Muschelkalk und den Oberen Muschelkalk (Hauptmuschelkalk) untergliedert. Während Unterer und Oberer Muschelkalk überwiegend aus Kalken bzw. Kalkstein-Tonstein-Wechselfolgen aufgebaut werden, ist der Mittlere Muschelkalk durch einen regen Wechsel toniger und karbonatischer Pakete mit Gips-, Anhydrit-, z. T. auch Salz-Lagen und -Linsen charakterisiert. Im südöstlichen Bruchschollenland, insbesondere südöstlich Bayreuth sind im Muschelkalk sandig-dolomitische Horizonte ausgebildet.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Lithologie und Klüftung, aber auch von der Verkarstung, kann der Muschelkalk als mäßiger bis sehr guter Kluft- und/oder Karst-Grundwasserleiter ausgebildet sein. Ein mehrfacher Grundwasser-Stockwerksbau, der sich mit Hilfe des unterschiedlichen Wasserchemismus belegen läßt, kann festgestellt werden.

Die Basis des untersten Muschelkalk-Grundwasserstockwerks stellen die Röttone dar, die stratigraphisch bereits zum liegenden Buntsandstein gehören. Bei fehlender bzw. geringer Überdeckung weist der Untere Muschelkalk ein höheres Kluftvolumen auf und ist (z. B. in der Südrhön, im Westen der Mainfränkischen Platten und in tektonischen Hebungszonen) teilweise verkarstet. Grundwasserführend ist dann der überwiegende Teil des 80–100 m mächtigen Schichtpaketes. Im Ausstrich des Unteren Muschelkalks hat dieses Grundwasserstockwerk eine freie Grundwasseroberfläche. Bei Überlagerung durch den Mittleren Muschelkalk können dessen basale Bereiche zusammen mit den teils mergelig ausgebildeten Orbicularis-Schichten (am Top des Unteren Muschelkalks) als Grundwasserdeckschicht bzw. als Trennhorizont zu hangenden Wässern im Mittleren Muschelkalk wirken.

Bei größerer Überdeckung, bereichsweise auch unter dem Maintalquartär (z. B. nordwestlich Würzburg), wirken die Wellenkalkfolgen grundwasserhemmend. Die Wasserführung ist dann auf die kristallinen Kalke, insbesondere auf den Schaumkalkbank-Bereich beschränkt. Dieser weist vor allem in der Zeller und Zellinger Mulde (nordwestlich Würzburg) eine starke Wasserführung auf.

In Abhängigkeit von der Verkarstung können die Kluftvolumina im Unteren Muschelkalk auf 2–4 % ansteigen; bei fehlender Verkarstung liegen die Werte unter 1 % (BITTERSÖHL, 1980). Aufgrund der regional stark schwankenden Bedingungen weisen die Durchlässigkeitsbeiwerte eine große Streubreite auf. Obwohl für die Bilanzräume "Sinn-Saale-Gebiet" und "Mittelmain" nur Werte von acht Lokalitäten vorliegen, schwanken diese bereits innerhalb zweier Zehner-Potenzen zwischen $2,1 \cdot 10^{-6}$ und $2,4 \cdot 10^{-4}$ m/s. Dabei sollte berücksichtigt werden, daß gerade beim unverkarsteten Unteren Muschelkalk kaum durchlässige Bereiche mit relativ gut durchlässigen abwechseln, die bei der Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwerts (aus Pumpversuchsdaten) über die gesamte Filterstrecke des betreffenden Brunnens gemittelt werden.

Die normal 40–70 m, in Steinsalzfazies 70–95 m mächtige Gesteinsfolge des Mittleren Muschelkalks ist bedeutend heterogener als der Untere Muschelkalk aufgebaut. Es wechseln dolomitische Mergel- und Tonsteine, Gelbkalk-, Zellenkalk- und Dolomitsteine, Residualtone und -mergel sowie Gips-, Anhydrit-, z. T. auch Salz-Lager und -Linsen. – Gips, Anhydrit und Salz sind vor allem dort zu erwarten, wo der Mittlere Muschelkalk eine mächtige Überdeckung aufweist und daher wenig ausgelaugt ist. Salz steht im Mittleren Muschelkalk zwischen Schweinfurt (im Westen), Eltmann (im Osten) und Burgbernheim (im Süden) an. Im Raum Kitzingen — Kleinlangheim wurden (bei über 100 m Überdeckung) 30 m Steinsalz erbohrt.

Da es sich um einen Verband rasch wechselnder Gesteine handelt, sind die hydraulischen Zusammenhänge im Mittleren Muschelkalk relativ kompliziert. Während die Zellenkalke sowie die verkarsteten Gipse sehr gute Wasserwegsamkeit aufweisen, wirken Mergel, Tonsteine, Residualschluffe und deren Äquivalente als Grundwasserstauer. Salzvorkommen, z. B. östlich Kitzingen, sind ebenfalls als Grundwasserstauer anzusehen. Unverkarsteter Gips und Anhydrit besitzen nur eine geringe, meist auf wenige Klüfte beschränkte Wasserwegsamkeit (vgl. Bohrung Weyer – BÜTTNER & SCHWARZMEIER, in Vorbereitung). Kalksteine, wie der Stylolithenkalk, dolomitische Mergel und Dolomitsteine dürften ähnliche Kennwerte aufweisen wie der Untere Muschelkalk (exakte Daten liegen hierfür jedoch nicht vor).

Der Mittlere Muschelkalk kann weitestgehend als eigenes Grundwasserstockwerk betrachtet werden. Seine Grundwassersohle bilden schluffig-mergelige Lagen an der Basis, z. T. zusammen mit grundwasserhemmenden Bereichen des Unteren Muschelkalks. Die eigentlichen wasserführenden Schichten sind die Zellenkalkstein-Horizonte (die in ihrer Lage und Anzahl nicht konstant durchhalten) und der teilweise verkarstete Gips bzw. Anhydrit (soweit vorhanden).

Insbesondere im Ausstrich (oder bei nur geringer Überdeckung) des Mittleren Muschelkalks sind zwischen den Zellenkalkstein-Horizonten immer wieder wasserstauende Schluffe eingelagert, die die vertikale Zirkulation stark beeinträchtigen. Bohrungen, die in den Mittleren Muschelkalk niedergebracht werden, durchteufen so meist eine Wechsellage aus äußerst gut durchlässigen bzw. wasserwegsamem Schichten und Zonen verminderter Durchlässigkeiten sowie sogar nahezu undurchlässiger Sperrschichten. Die Durchlässigkeitsbeiwerte schwanken im allgemeinen (für die Gesamtheit des Mittleren Muschelkalks) um 10^{-5} m/s. Dabei können für die verkarsteten Gips- und Anhydritlinsen sowie für die Zellenkalke durchaus Werte zwischen 10^{-4} und 10^{-3} m/s angenommen werden.

Eine Stockwerkstrennung vom liegenden Mittleren Muschelkalk zum hangenden Oberen Muschelkalk ist vielerorts sowohl mit unterschiedlichen Grundwasserspiegelhöhen und/oder Ergiebigkeiten als auch mit Hilfe deutlicher hydrochemischer Unterschiede nachweisbar. – So wurde im Zuge der Grundwassererkundung 3.03 Lauertal (Grabfeld) der Obere und Mittlere Muschelkalk erschlossen. Im Oberen Muschelkalk erzielte man eine nur unzureichende Ergiebigkeit. Bei einer Entnahme von 2,5 bis 3,0 l/s wurde trotz hoher Absenkung (auf über 1/2 H, d. h. 30 bzw. 40 m) keine Beharrung erreicht. Der Sulfatgehalt des geförderten Wassers betrug ca. 30 mg/l, die Gesamthärte ca. 25 °dH. Nachdem etwa 25 m Mittlerer Muschelkalk durchteuft waren, wurde ein weiterer Pumpversuch gefahren. Nun ergab sich, bei einer Absenkung von etwa 40 m (ca. 1/2 H, Beharrungszustand), eine Fördermenge von 20 l/s. Der Sulfatgehalt stieg allerdings auf über 340 mg/l, die Gesamthärte auf 40 °dH an (LFW, 1975 e).

Ähnliche Beobachtungen wurden auch bei Neuerschließungen im Umfeld von Schweinfurt gemacht, so an der Bohrung Ottenhausen III (BÜTTNER, 1984). Hier ist jedoch anzumerken, daß in der Praxis Bohrungen meist gleichzeitig beide Grundwasserstockwerke erschließen, und sich somit eine gemeinsame Spiegelhöhe und ein Mischchemismus einstellen.

Das rund 80–100 m mächtige Schichtpaket des Oberen Muschelkalkes ist durch einen regen Wechsel dünnbankiger Kalksteinhorizonte mit Ton-/Mergelzwischenlagen gekennzeichnet. Gelegentlich sind mächtigere Kalksteinbänke und Tonfolgen ausgebildet. Im unteren und oberen Abschnitt treten in der Regel die Tonanteile stärker hervor als im übrigen Bereich.

Der Obere Muschelkalk ist überwiegend als Kluft-Grundwasserleiter anzusehen. Verkarstungserscheinungen, die für eine erhöhte Wasserwegsamkeit relevant sind, werden nur selten, dann v. a. in Störungszonen angetroffen (z. B. Quellen bei Hausen östlich Schweinfurt – DOBNER & FRANK, 1982). Erst in den letzten Jahren wurden fossile Hohlräume in der Heustreuer und der Kissingen-Haßfurter Störungzone im Oberen Muschelkalk entdeckt (bei Großbardorf im Gebiet des Kartenblattes Nr. 5728 Oberlauringen und bei Buch, Blattgebiet Nr. 5928 Obertheres). Die Entstehung dieser Hohlräume ist primär auf Gipsauslaugung im Mittleren Muschelkalk zurückzuführen (BÜTTNER, 1987, 1989 a).

Daneben geben einige Bäche, die ihr Einzugsgebiet im Keuperareal haben, bei Querung des Muschelkalk-Ausstrichs, je nach Dichtigkeit des Talbodens, Wasser an den Muschelkalk ab.

Die Sohlfläche des Grundwasserstockwerks im oberen Muschelkalk kann aus lithofaziellen Gründen nicht im gesamten Maingebiet auf denselben Horizont bezogen werden. So ist beispielsweise im Raum Würzburg — Schweinfurt etwa 5 m über der Basis des Oberen Muschelkalks ein mehrere Meter mächtiges Tonpaket mit nur gelegentlichen kalkigen Zwischenlagen ("Zeller Tonsteinhorizont") entwickelt, das die vertikale Grundwasserbewegung stark einschränkt und somit eine Stockwerkstrennung bewirkt. In der Heustreuer Störungzone, bei Hollstadt (östlich Bad Neustadt) ist der entsprechende Horizont dagegen viel kalkiger ausgebildet. Die Stockwerkstrennung vollzieht sich dort schon in der oberen Hälfte des Mittleren Muschelkalks aufgrund der dort vorkommenden Mergelschiefer. Hierbei kann das in den Stylolithenkalken zirkulierende Wasser sowohl aus hydraulischer als auch aus hydrochemischer Sicht dem Grundwasserstockwerk des Oberen Muschelkalks zugerechnet werden (s. Detailprofile: HOFFMANN, 1967 a; BÜTTNER & STÜRMER, 1984). Gelegentlich, v. a. in Verwerfungszonen, besteht über Klüfte eine hydraulische Verbindung zwischen dem Stockwerk des Oberen und dem des Mittleren Muschelkalks. In seinem Ausstrich besitzt der Obere Muschelkalk eine weitgehend freie Grundwasseroberfläche. Eingelagerte mächtigere Tonhorizonte wirken bereichsweise als Grundwasserdeckschicht, in Verbindung mit dickbankigen Kalksteinlagen z. T. auch als hangende Grundwasservorkommen. Beim Abtauchen des Oberen Muschelkalks unter den hangenden Keuper bildet der Ostracodenton (des Oberen Muschelkalks) die Dachfläche dieses Grundwasserstockwerks.

Die aus Pumpversuchsdaten gewonnenen Durchlässigkeitsbeiwerte werden auch beim Oberen Muschelkalk aus besser und schlechter durchlässigen Bereichen ermittelt. Sie schwanken um 10^{-5} m/s; GEORGOTAS & UDLUFT (1978 a) geben einen Mittelwert von $3 \cdot 10^{-5}$ m/s bei 4 Proben an.

Neben der bisher beschriebenen kalkigen Ausbildung treten im gesamten Muschelkalkgebiet südöstlich Bayreuth zunehmend sandige Horizonte, Lagen und Linsen mit dolomitischer Bindung auf. Das Wasser bewegt sich hier bevorzugt auf Klüften. Aufgrund der besonderen tektonischen Bedingungen (Bruchschollenland) ist in diesem Raum der Muschelkalk entweder über das Niveau des Haupt-Grundwasserstockwerkes herausgehoben oder aber in große Tiefe abgesenkt (und damit unter mächtiger Überlagerung). Daher kommt ihm dort keine wasserwirtschaftliche Bedeutung zu (FRANK, 1977).

Im Ausstrich des Muschelkalkes tritt eine Vielzahl von Quelltypen auf:

- Schichtquellen entspringen z. B. an der Muschelkalk-Röt-Grenze, aber auch an Tonstein-Kalkstein-Grenzen innerhalb des Muschelkalkpaketes (z. B. hangende Grundwasservorkommen im Oberen Muschelkalk). In Abhängigkeit von der Größe ihres Einzugsgebietes und der Mächtigkeit des entsprechenden Grundwasservorkommens unterliegen sie mehr oder weniger großen Schüttungsschwankungen bzw. zeigen unterschiedliche Ergiebigkeiten.

- Im Talniveau treten durch den Stau des Grundwassers gegen das schluffige Talquartär Stauquellen aus. Einige davon weisen beachtliche Schüttungen auf (z. B. die "Kalte Quelle" bei Heidingsfeld, südlich Würzburg) und werden bei geringer anthropogener Belastung und gleichzeitig niedriger Sulfathärte zur Wasserversorgung genutzt. Auf vergleichbare hydraulische Zusammenhänge sind Quellen an Verwerfungen zurückzuführen, bei denen ein überwiegend kalkiger (gut durchlässiger) Horizont gegen Ton- bzw. Schluffstein versetzt ist. Zu den bekanntesten Quellaustritten dieser Gruppe im Maingebiet zählen die Quellen an der Würzburger Bahnhofsstörung, die, langjährig beobachtet, durchschnittlich etwa 120 l/s schütten (HOFFMANN, 1967 a).
- Karstquellen sind im Maingebiet vielfach an Bruch- und Biegetektonik gebunden. Sie weisen häufig, jahreszeitlich bedingt, große Schüttungsschwankungen auf. Das Schüttungsverhalten (z. B. verzögertes Eintreten des Frühjahrs-Hochwassers) ist von der Größe des jeweiligen Einzugsgebietes sowie der Intensität der Verkarstung (Karsthohlraum- und Kluftvolumen) abhängig. Stark schüttende Quellen dieses Typs entspringen z. B. am Übergang des Südostabfalls der Spessart-Rhön-Schwelle zur Zellinger Mulde (SCHWARZMEIER, 1977). Sehr ergiebige Karstquellen häufen sich entlang der Heustreuer Störungszone. So weist die am Fuß des südöstlichen Steilabfalles der Hohen Rhön in Urspringen gelegene Bahra-Quelle (Kirchbrunnen) einen Trockenwetterabfluß von 100 l/s auf; als Maximum wurden 700 l/s beobachtet (BITTERSOHL, 1980). Die zur Trinkwasserversorgung genutzten Quellen von Mittelstreu (nordöstlich Bad Neustadt a. d. Saale) schütten zusammen zwischen 100 und 530 l/s (GEORGOTAS & UDLUFT, 1978 a).
- Nicht selten werden Austritte aus dem Anstehenden durch Hangschutt verschleiert. Das Quellwasser gelangt dann erst am Fuß des Schuttkörpers an die Geländeoberfläche. Dieser Quelltyp zeigt ein ausgeglicheneres Schüttungsverhalten, da die dem eigentlichen Quellmund vorgelagerte Lockersediment-Schürze eine mehr oder weniger hohe Retention bewirkt (Zwischenspeicherung des Quellwassers im Schuttkörper).

3.2.1.3 Keuper

Große Bereiche des Keupers sind tonig ausgebildet und daher als Grundwasserstauer zu betrachten. Sandsteinhorizonte des Unteren Keupers, sandige Abfolgen des Sandsteinkeupers und der Rhätsandstein werden örtlich für die Trinkwasserversorgung genutzt.

Der Keuper erreicht im Maingebiet im allgemeinen Mächtigkeiten zwischen 400 und 500 m. Lediglich im Raum Bamberg — Bayreuth — Coburg wächst er auf über 500 m an (Bohrung Staffelstein: 530 m; Bohrung Mürsbach: 531 m) (BERGER, 1981). Stratigraphisch wird der Keuper in folgende Einheiten gegliedert: Unterer Keuper (früher als Letten(kohlen) keuper bezeichnet), Mittlerer Keuper (Gipskeuper, Sandsteinkeuper), Oberer Keuper (Rhät).

Das Schichtgebäude des Keupers umfaßt Sand- und Tonsteinpakete, Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen, Anhydrit- bzw. Gipslagen sowie gelegentliche karbonatische Ablagerungen. Sand- und Tonsteine weisen starke horizontale Verzahnung auf. Vor allem in den oberen Schichtgliedern ist nach Osten eine zunehmende Versandung festzustellen. Aufgrund der z. T. innerhalb kurzer Entfernungen wechselnden Lithologie werden die hydraulischen Eigenschaften faziespezifisch beschrieben.

In Bezug auf das Grundwasser zeigt der Keuper einen mehrfachen Stockwerksbau; grundwasserleitend sind vor allem die größeren Sandsteinpakete. Durch Faziesverzahnungen besitzen diese (regional gesehen) meist nur beschränkte Einzugsgebiete. Eine exakte, stratigraphische Gliederung in einzelne Grundwasserstockwerke ist daher nicht möglich. Fazies- und verwerfungsbedingt können lokal hydraulische Verbindungen zwischen einzelnen Stockwerken ausgebildet sein.

Der Untere Keuper stellt im Normalfall eine Tonstein-Sandstein-Wechselfolge mit kalkig-dolomitischen Zwischenlagen dar. Neben einem raschen vertikalen Gesteinswechsel treten intensive fazielle Verzahnungen auf. Der Übergang zum hangenden Mittleren Keuper wird durch den 2–5 m mächtigen Grenzdolomit gekennzeichnet. Die in der Regel 40–50 m betragende Mächtigkeit des Unteren Keupers verringert sich nach Südosten (Raum Bayreuth) und Südwesten zu (Raum Ochsenfurt) auf ca. 30 m. Im Umland von Bayreuth verliert der Untere Keuper sein typisches Erscheinungsbild, wird zunehmend sandiger und läßt sich nur mehr schwer von den hangenden Abfolgen unterscheiden.

Das Grundwasser bewegt sich im Unteren Keuper fast ausschließlich auf Kluft- und Schichtfugen. Wasserleitend sind v. a. Sandsteine und Kalksteinhorizonte, mit Einschränkungen auch Lagen von Mergelsteinen. Für örtliche Versorgungen werden insbesondere Sandsteinhorizonte (wie der "Werk-sandstein" und der "Obere Sandstein") wasserwirtschaftlich genutzt. – Verwerfungen wirken in diesem Schichtpaket eher abdichtend als wasserwegsam, was vertikale Durchlässigkeiten vermindert.

Die Kluftvolumina der Sandsteine des Unteren Keupers betragen 0,1–1,2 (meist um 0,5) % (GEORGOTAS & UDLUFT, 1978 a). In Zerrüttungszonen, z. B. der Heustreuer Störungszone, kann das Kluftvolumen auf 3 % ansteigen (SCHMITT, 1982).

Der knapp 200 m mächtige Gipskeuper gliedert sich in Myophorienschichten (bzw. Benker Sandstein), Estherien- und Lehrbergschichten. Er streicht nur in einem vergleichsweise schmalen Streifen entlang der Keuper-Landstufe sowie in einzelnen tektonischen Schollen des Bruchschollenlandes (zwischen Kulmbach und südöstlich Bayreuth) aus und unterlagert den Ausstrich des Sandsteinkeupers und des Juras.

Der Gipskeuper ist überwiegend tonig, also als Grundwasserstauer ausgebildet. Höhere Durchlässigkeiten können nur im Gipskarst (insbesondere in den Grundgips-Schichten) sowie im Schilfsandstein vorgefunden werden. Dieser ist in seiner primären Lagerung zwischen wenig durchlässige bis nahezu undurchlässige Schichten eingespannt, was sein Grundwasser-Leitvermögen, besonders im vertikalen Durchsatz, extrem einschränkt. Oberflächennah bildet er häufig eine Plateaufläche der Keuper-Landstufe und hat, trotz lokal großer Mächtigkeiten (0–50 m), ein relativ geringes Grundwasser-Speichervermögen. Im Schilfsandstein wurden, in Abhängigkeit von der Tektonik, Kluftvolumina zwischen 0,35 und 1 % gemessen. Das entwässerbare Hohlraumvolumen des Gipskeupers liegt bei etwa 0,1–0,2 % (GEORGOTAS & UDLUFT, 1978 a).

Die Grundwasserführung der in den Gipskeuper eingeschalteten Steinmergelbänke ist, wasserwirtschaftlich gesehen, unbedeutend.

Im südöstlichen Bruchschollenland verzahnt sich die tonige Ausbildung der Myophorienschichten mit dem Benker Sandstein. In Bohrungen auf dem Gebiet des Kartenblattes Nr. 6035 Bayreuth zeigte sich eine Mächtigkeit dieses sandigen Schichtgliedes bis zu 102 m (EMMERT, 1977). Der Benker Sandstein ist ein wichtiger Grundwasserleiter; so bezieht z. B. die Stadt Bayreuth große Teile ihres Trinkwassers aus diesem Horizont. Südöstlich Bayreuth, in der tektonischen Mulde von Kirchenlaibach ist das Grundwasser im Benker Sandstein artesisch gespannt. Dort niedergebrachte Wasserbohrungen zeigen Ergiebigkeiten von z. T. mehr als 100 l/s (KANZ & SCHNITZER, 1978).

Der im Maingebiet 200–250 m mächtige Sandsteinkeuper gliedert sich in Blasensandstein, Burgsandstein und Feuerletten. Sein Ausstrich ist weitgehend auf den Bilanzraum II (Coburger Land) und das Bruchschollenland beschränkt. Die Serie ist aus sich verzahnenden Tonstein- und Sandsteinpaketen aufgebaut. Nordwestlich der Linie Bamberg — Kronach herrscht generell eher tonige, südöstlich eher sandige Ausbildung vor. In der unteren Hälfte des Sandsteinkeupers treten, bevorzugt in tonigen Fazieslagen, linsenförmige Gipseinschaltungen auf. Zum Hangenden hin wird der Sandsteinkeuper vom Feuerletten, einer im Coburger Land und im westlichen Bruchschollenland 40–80 m, im südöstlichen Bruchschollenland 20–60 m mächtigen Tonsteinfole (mit wenigen, geringmächtigen Sandstein-einlagerungen) abgeschlossen.

Während die Tonsteine weitgehend als Grundwasserstauer in Erscheinung treten, sind die Sandsteinhorizonte als bedingte Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter zu betrachten. Die Grundwasserführung ist auch hier nahezu ausschließlich auf Kluft- und Schichtfugen beschränkt. Aufgrund ihrer faziell bedingten, häufig nur geringen horizontalen Erstreckung und der Tatsache, daß sie oft von grundwasserhemmenden Schichten (bzw. Stauern) umgeben sind, weisen die Sandsteine des Sandsteinkeupers meist nur geringe Ergiebigkeiten auf. – Erhöhte Grundwasserwegsamkeiten zeigen dolomitisches gebundene Sandsteinhorizonte im Mittleren und Oberen Burgsandstein (wie sie z. B. bei der Bohrung Baunach II angetroffen wurden).

Nordwestlich der Linie Bamberg — Kronach kommt dem Sandsteinkeuper nur untergeordnet wasserwirtschaftliche Bedeutung zu. Quellschüttungen und Brunnenergiebigkeiten sind meist gering. Eine Ausnahme bildet das untere Baunachtal; dort liegen die Brunnenergiebigkeiten zwischen 5 und 10 l/s, z.T. sogar darüber.

Im südöstlichen Bruchschollenland nimmt der Sandsteingehalt im Sandsteinkeuper zu. So wurde in Bohrungen auf dem Gebiet des Kartenblattes Nr. 6035 Bayreuth immerhin ein Sandsteinanteil von ca. 30 % des gesamten Schichtpakets gemessen (Bohrungen Laineck 1 und 5; FRANK, 1977).

Dennoch ist die Ergiebigkeit des Sandsteinkeupers im allgemeinen im Bruchschollenland nicht wesentlich höher als im Coburger Land. Bereiche höherer Ergiebigkeiten treten v. a. um Bayreuth und Kulmbach auf. Im Raum Bayreuth können aus dem Burgsandstein Fördermengen bis zu 20 l/s erschlossen werden; die Durchlässigkeitsbeiwerte schwanken dort im Blasensandstein zwischen 2,6 und $14 \cdot 10^{-5}$ m/s, im Burgsandstein zwischen 1,4 und $33 \cdot 10^{-5}$ m/s (NOSRAT-NEZAMI, 1975).

Das im Westen etwa 30 m, im südöstlichen Bruchschollenland 0–20 m mächtige Rhät schließt den Keuper nach oben hin ab. Das Rhät baut sich aus wechsellagernden Sand- und Tonsteinen, z. T. auch aus mächtigeren Sandsteinpaketen auf. Die Tonsteine wirken meist grundwasserstauend. Rhätsandsteine bzw. Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen können als bedingte Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter bezeichnet werden. An der Basis der mächtigeren Sandsteinpakete treten Schichtquellen aus, die zur örtlichen Wasserversorgung genutzt werden.

Der Rhätsandstein wird bei massiger, sandiger Ausbildung von einem ausgeprägten Kluftnetz durchzogen. In solchen Fällen weist er, wie z. B. im Raum Bayreuth ($1,2\text{--}9,1 \cdot 10^{-4}$ m/s; NOSRAT-NEZAMI, 1975), hohe Gebirgsdurchlässigkeiten auf. Die Fließgeschwindigkeiten können in einem derartigen Aquifer auf immerhin 50–100 m/Tag ansteigen, wie Untersuchungen von KANZ & SCHNITZER (1979) zeigen.

Im Keuper gehören die Schichtquellen zu den am häufigsten vertretenen Quelltypen. Sie entspringen meist an der Basis einer Sandsteinlage bzw. eines mächtigeren Sandsteinpaketes, seltener am Ausbiß einer Steinmergellage oder eines kalkigen Horizontes. Ihre Schüttung ist von der jeweiligen Größe des Einzugsgebietes, von der Mächtigkeit des entsprechenden Grundwasserleiters und seinem Kluftvolumen abhängig. Markante Quellhorizonte finden sich im Bilanzraum III (Mittelmain) an der Basis des Werksandsteins des Unteren Keupers sowie im Bilanzraum II (Coburger Land) an der Grenze Feuerletten — Rhätsandstein. Im Mittleren Keuper fehlen, aufgrund intensiver fazieller Verzahnungen, stratigraphisch exakt zu fixierende Quellhorizonte.

Häufig sind Schichtquellen durch Hangschutt verschleiert, sie treten daher tiefer in Form von Schuttquellen aus. An Verwerfungen (toniges gegen sandiges Schichtpaket) oder beim Abtauchen einer grundwasserleitenden Schicht unter das tonig-schluffige Talniveau können gelegentlich Stauquellen beobachtet werden.

Im allgemeinen sind die Schüttungen von Keuperquellen gering. Sie liegen in der Regel im Jahresmittel deutlich unter 5 l/s.

3.2.2 Jura

Während der Lias mit Ausnahme basaler Bereiche überwiegend als Grundwasserstauer ausgebildet ist, stellen der Dogger-Beta-Sandstein und der Malmkarst zwei wichtige Grundwasserleiter dar, die bereits heute von zahlreichen Versorgungen genutzt werden.

Der Jura streicht nur in Teilgebieten der Bilanzräume II (Coburger Land) sowie I (Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland) über Tage aus; er erreicht dort 350–500 m Mächtigkeit. Stratigraphisch und farblich läßt sich die Serie in drei Einheiten unterteilen, nämlich in den

- Schwarzen Jura oder Lias, der an seiner Basis aus Sandsteinen und Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen, im mittleren und oberen Bereich fast ausnahmslos aus Tonsteinen besteht,
- Braunen Jura oder Dogger, der zumeist von Sandstein- und Tonsteinfolgen aufgebaut wird, sowie in den
- Weißen Jura oder Malm, der überwiegend karbonatisch ausgebildet ist.

Zu Beginn des Lias stieß das Meer rasch von Norden her vor und überflutete die Keuperlandschaft. Im Verlauf des Doggers wurde die tonige durch eine sandige Sedimentation abgelöst, was auf bewegteres Wasser schließen läßt. Durch Zufuhr kalkreicher Tiefenwässer wurden im Malm vermehrt Karbonate abgesetzt. In ganz Süddeutschland, so auch im Untersuchungsgebiet, begann ein inten-

sives Wachstum von Schwammriffen; in den zwischenliegenden Becken wurden Bank- und Plattenkalke abgelagert. Gegen Ende des Malm erfolgte von Norden her eine rasche Verlandung.

3.2.2.1 Lias

Der Lias streicht in einem schmalen Streifen entlang der Jura-Landstufe sowie in tektonisch abgesenkten Schollen des Bruchschollenlandes und am Großen Haßberg (Nassacher Höhe) über Tage aus. Er unterlagert Dogger und Malm in der Nördlichen Frankenalb und in tektonischen Schollen nördlich Kulmbach.

Von Westen nach Osten ist eine deutliche Mächtigkeitsabnahme festzustellen. Während für die Haßberge eine Gesamtmächtigkeit von etwa 160 m angenommen werden kann, ist der Lias südöstlich Bayreuth auf ca. 60–70 m reduziert (EMMERT, 1977; MEYER & SCHMIDT-KALER, 1981 a).

Die basalen Bereiche des Lias (Lias Alpha) werden in den Haßbergen, aber auch mit Annäherung an das Thüringisch-Fränkische Mittelgebirge von Sandsteinen und sich verzahnenden Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen aufgebaut. Diese erreichen in den Haßbergen ca. 40 m (Pylonoten- und Angulatschichten), im Raum Bayreuth ca. 30 m Mächtigkeit (GÜMBELscher Sandstein und Arietensandstein). – Da sich der basale Abschnitt des Lias häufig lithologisch kaum vom darunter liegenden Rhät unterscheidet, werden diese beiden stratigraphisch aufeinanderfolgenden Einheiten oft als Rhät(o)lias zusammengefaßt.

Auch hydrogeologisch stellen dann unterer Lias und Rhät einen einheitlichen Grundwasserleiter dar. Denn die pelitischen Zwischenlagen des Lias Alpha sind nur geringmächtig ausgebildet und z. T. geklüftet, so daß sie einen vertikalen Wasserdurchsatz nicht verhindern können. Der Rhätlias-Grundwasserleiter ist auf dem Gebiet der Kartenblätter Nr. 6031 Bamberg Nord und Nr. 6032 Scheßlitz durch Versorgungsbrunnen erschlossen (APEL, 1972 a). Die Wasserbewegung vollzieht sich fast ausschließlich über den Klufthohlraum.

Die Wasserführung dieser Abfolge ist von vielen Faktoren abhängig; so z. B. von der tektonischen Lage (in Sattel- oder Muldenstrukturen), der Größe des Einzugsgebietes (zusammenhängendes Gebiet, Zeugenberg, tektonische Scholle) und seiner Überdeckung (Möglichkeit der Grundwasserneubildung). Dies spiegelt eine exemplarische Gegenüberstellung der hydrogeologischen Bedeutung des Rhätlias-Bereiches in verschiedenen Teilgebieten des untersuchten Raumes wider: Während der Rhätlias im Raum Weismain — Bayreuth überwiegend über die Vorflut herausgehoben wurde und daher hydrogeologisch von nur geringer Bedeutung ist (APEL, 1972 b; FRANK, 1977), kann er im Raum Creußen als wichtiger Grundwasserleiter angesehen werden (FÜRST, 1956). – Inselartige Rhätlias-Vorkommen westlich des Baunachtals speisen meist periodische Quellen, mit häufig nur geringer Schüttung. Demgegenüber tritt an der Basis des Rhätsandsteins östlich des Baunachtals ein markanter Quellhorizont aus (vgl. Kap. 3.2.1.3 Keuper); dort steht der Rhätlias flächig an.

Die hangenden Abfolgen des Lias sind aus Tonsteinpaketen mit gelegentlichen karbonatischen Einschaltungen aufgebaut. Dieser Abschnitt erreicht im Westen bis 120 m, im Südosten (Raum Bayreuth) ca. 40 m Mächtigkeit; bedeutsamster Tonhorizont ist dabei der Amaltheenton des Lias Delta.

Hydrogeologisch sind diese mächtigen Tonsteinfolgen als Grundwasserstauer anzusehen. Sie bilden das Dach des Rhätlias-Stockwerkes und zusammen mit dem ebenfalls tonigen Dogger Alpha die Grundwassersohle des hangenden Dogger-Stockwerkes. – Wasserwirtschaftlich unbedeutend sind in das Tonsteinpaket eingelagerte karbonatische Bänke.

3.2.2.2 Dogger

Der Dogger streicht vornehmlich entlang der Jura-Landstufe, untergeordnet auch auf tektonisch abgesenkten Schollen nördlich Kulmbach aus. Die Ausstrichsbreite ist wegen der größeren Härte bzw. Verwitterungsresistenz der Gesteine dieses Schichtpaketes geringer als die des Lias. In der Nördlichen Frankenalb und in einer tektonischen Scholle nördlich Kulmbach (bei Kirchleus) unterlagert der Dogger den Malm. Auch im Dogger ist von Westen nach Osten eine ausgeprägte Mächtigkeitsabnahme festzustellen, die am deutlichsten der Opalinuston (Dogger Alpha) widerspiegelt. Die Gesamtmächtigkeit des Doggers beträgt im Raum Bamberg — Coburg 170–180 m, im Raum Bayreuth ca. 160 m (MEYER & SCHMIDT-KALER, 1981 b).

Der Dogger weist lithologisch eine klare Dreigliederung auf: Die Basis bildet ein 50–100 m mächtiges Tonpaket, der Opalinuston. Dieses wird vom Eisensandstein des Dogger Beta überlagert. Die Sandsteine verzahnen sich lokal mit Tonsteinen. Der Dogger Beta mißt in der Nördlichen Frankenalb zwischen 50 und 70 m. Darüber folgt ein Bereich, der von Kalken und Kalksandsteinen zum Hangenden in Mergel überleitet. Diese Abfolge umfaßt den Dogger Gamma bis Zeta und wird im Raum Staffelstein ca. 35 m, östlich Bamberg 15–25 m mächtig.

Die Dreigliederung des Dogger-Schichtpaketes spiegelt sich in der hydrogeologischen Situation wider. Die mächtige, monotone Folge von Schiefertönen und Tonsteinen an der Basis des Doggers ist wasserundurchlässig und wirkt als Grundwasserstauer. Sie stellt somit die Grundwassersohlschicht des sie überlagernden Grundwasserleiters, des Doggersandsteins, dar. Obwohl die Sandsteine dieses Horizontes fest bis mürbe bzw. locker gebunden sind, gilt auch hier, daß die Anordnung und Ausbildung der Klüfte und Schichtfugen in Bezug auf ihr Wasserleitvermögen eine weitaus größere Rolle spielen, als die Permeabilität des ungestörten Gesteinsverbandes (APEL, 1972 b).

Die tonig-mergeligen Gesteine des oberen Doggers (Ornatenton) decken, zusammen mit Kalkmergeln des unteren Malms, das Dogger-Grundwasserstockwerk ab.

An der Grenze Opalinuston — Doggersandstein ist ein markanter Quellhorizont festzustellen. Weitere, nicht horizontgebundene Schichtquellaustritte sind über schluffig-tonigen Zwischenlagen der Sandsteinfohge zu beobachten.

Die Ergiebigkeit des Dogger-Grundwasserstockwerks ist stark von der lokalen tektonischen Situation und dem Kluftvolumen beeinflußt. So weisen einzelne Doggerquellen auf dem Gebiet des Kartenblattes Nr. 5933 Weismain, in der Kordigast-Mulde (MEYER, VIOHL & ZORN, 1972) gelegen, Schüttungen bis 7 l/s auf; aus dem Brunnen der Stadt Weismain können 11 l/s entnommen werden, seine spezifische Ergiebigkeit beträgt ca. 2 l/(s*m). Die Mehrzahl der Doggerquellen dieses Blattgebietes schüttet allerdings lediglich zwischen 0,1 und 2 l/s (APEL, 1972 b). Ähnliche Beobachtungen wurden auch auf den benachbarten Blattgebieten gemacht (APEL, 1972 a; HEGENBERGER & SCHIRMER, 1967).

3.2.2.3 Malm

Der Malm schließt die Jura-Schichtenfolge nach oben hin ab. Er streicht weitflächig in der Nördlichen Frankenalb aus; seine resistenten Gesteine verursachen den Steilanstieg der Jura-Landstufe sowie – im Zusammenwirken mit der Verkarstung – das flächige Erscheinungsbild der Malmtafel.

Daneben existiert im Bruchschollenland eine kleine, tektonisch abgesenkte Malm-Scholle bei Kirchleus, die jedoch hydrogeologisch betrachtet keine Bedeutung besitzt.

Seine größten Mächtigkeiten innerhalb des Planungsraumes erreicht der Malm in der nördlichen Fortsetzung der Hollfelder Mulde (Raum Kleinziegenfeld). Hier, im südlichen Teil des Blattgebietes Nr. 5933 Weismain, steht der obere Malm noch in größerem Umfang an. Die Gesamtmächtigkeit des Malms beträgt dort ca. 180 m (MEYER, 1972), in den anderen Bereichen des dargestellten Raumes schwankt sie um 160 m. Die obersten jurassischen Schichtglieder gehören dabei dem Malm Epsilon an; jüngere Ablagerungen des Malms wurden (erdgeschichtlich) später erodiert.

Die Schichtenfolge des Malms besteht weitgehend aus karbonatischen Sedimenten. An ihrer Basis überwiegen mergelige Gesteine. So erreichen die Unteren Mergelkalke (Malm Alpha) immerhin ca. 20 m Mächtigkeit. In den hangenden Schichten nimmt der Tongehalt zugunsten des Karbonatgehaltes ab. Bankige Ausbildungen verzahnen sich mit Riffazies. Bereichsweise sind Dolomit und dolomitisierte Kalkgesteine verbreitet.

Im Malm ist ein Grundwasser-Stockwerksbau ausgebildet. Die Grundwassersohle stellt dabei der Obere Dogger (Ornatenton) zusammen mit den weiträumig wasserundurchlässigen Schichten des Malm Alpha dar. Obwohl letzterer lokal eine gewisse Wasserwegsamkeit, z. B. durch zwischenlagerte Kalksteinbänke, besitzt, ist er dennoch selbst in Riffazies weitgehend mergelig, also als Grundwasserstauer ausgebildet.

In den darüber folgenden Malmeinheiten stehen Kalk- und Dolomitgesteine sowohl in Schicht- als auch in Massenfazies in vertikalem und horizontalem Wechsel an, die durchgehend grundwasserleitend sind. Lediglich im Malm Gamma sind in der geschichteten Fazies Kalkmergelschichten ein-

geschaltet, die weit weniger wasserwegsame Klüfte und Bankungsfugen aufweisen als die sie umgebenden Kalk- und Dolomitgesteine. Die Mergel-, Kalkmergel- und Mergelkalkschichten wirken sich nur hemmend auf den vertikalen Wasserdurchsatz aus. Ansonsten stellen die Malmablagerungen oberhalb der wasserstauenden Basis einen einheitlichen, unterschiedlich durchlässigen und in seiner Gesamtheit ergiebigen Grundwasserleiter dar. Der zum Planungsraum zählende Malmbereich (unbedeckter seichter und tiefer Karst) weist eine freie Grundwasseroberfläche auf.

Die Wasserführung ist im Malm ausschließlich auf das Kluftnetz bzw. die Schichtfugen der Karbonatgesteine (mit Einschränkungen auch der Mergelkalke) beschränkt. Durch Verkarstungsvorgänge wurden bevorzugte Klüfte zu Gerinnen erweitert, so daß ein ausgeprägter Kluft-Karst-Grundwasserleiter vorliegt. Die Verkarstung des Malms begann in der Frankenalb während der Kreidezeit und setzte sich über das Tertiär bis heute fort. Die Verkarstungsintensität war allerdings in den wärmeren, subtropischen Epochen der jüngeren Erdvergangenheit aufgrund der anders gearteten klimatischen Voraussetzungen bedeutend größer als heute bzw. als während der pleistozänen Kaltzeiten.

In Abhängigkeit von der Tiefenlage der Grundwassersohlschicht können Bereiche des seichten und des tiefen Karstes unterschieden werden. Im seichten Karst streicht die Grundwassersohle über dem entsprechenden Talboden bzw. Erosionsniveau aus, im tiefen Karst taucht sie darunter ab.

Die Tiefenlage der Grundwassersohlschicht steht in der Nördlichen Frankenalb in engem Zusammenhang mit großräumigen Verbiegungen. Bedeutsamstes tektonisches Element ist hier die NW-SE-streichende Hollfelder Mulde, deren Achse über Staffelstein — Hollfeld verläuft und nach Südosten abtaucht. — Daher gehören Bereiche der zentralen Nördlichen Frankenalb (soweit sie hier vom Planungsgebiet erfaßt werden) dem tiefen Karst, Randbereiche dem seichten Karst an. Die Grenze tiefer Karst — seichter Karst verläuft im Planungsraum etwa parallel zum Oberrand der Jura-Landsstufe (Albtrauf), wobei ihr Abstand (albeinwärts) von diesem zwischen 2 und 7 km, im Mittel um 4 km beträgt.

Im seichten Karst treten an der Grundwassersohle Schichtquellen aus; meist ist dort ein deutlicher Quellhorizont ausgebildet. Diese Quellen unterliegen starken Schüttungsschwankungen und können nach Starkregen bzw. bei Schneeschmelze Eintrübung zeigen, da sie Oberflächeneinflüssen unterliegen und die Karstwasser-Speicherkapazität im seichten Karst vergleichsweise gering ist. Die mittlere Schüttung dieser Quellen liegt meist deutlich unter 10 l/s. Dennoch wird eine Vielzahl dieser Schichtquellen am Albrand zur örtlichen Wasserversorgung genutzt. — Gelegentlich werden an zwischengelagerten Ton- oder Mergelhorizonten Quellaustritte hangender Grundwasservorkommen festgestellt. Diese weisen meist nur geringe Schüttung auf und versiegen häufig in Trockenperioden. Für die Wasserversorgung sind sie unbedeutend.

Schichtquellen des seichten Karstes sind häufig von mächtigen Schuttschürzen überdeckt. Dadurch verlagern sich die Quellaustritte talwärts. Gelegentlich tritt dieses Wasser nicht in Schuttquellen des Malms aus, sondern infiltriert in den oberflächennah aufgelockerten Doggersandstein, vermischt sich mit dem Doggerwasser und tritt als Mischwasser an der Oberkante des Opalinuston zu Tage (vgl. Kap. 3.2.2.2) (HEGENBERGER & SCHIRMER, 1967).

Die Quellen des tiefen Karstes gehören zu den Stauquellen; sie treten häufig in Quelltöpfen oder Quellweihern zu Tage (so z. B. die zur Wasserversorgung von Arnstein und Großziegenfeld genutzten Austritte oder die Weismain- und die Krassachquelle). Zum Teil infiltrieren sie auch vom Karstwasserkörper in die Vorflut bzw. in die grobkörnigen Talsedimente. Derartige Bereiche wurden stellenweise durch Flachbrunnen erschlossen (z. B. ehemalige Versorgung Rothmannsthal oder Quellen an der Weihersmühle). Gelegentlich treten Quellen im tiefen Karst auch an Klüften, leicht oberhalb des Talniveaus aus, so im oberen Krassachtal. Die Krassach und der Weismain erhalten ihr Wasser aus dem tiefen Karst, wobei als bedeutende Spender die bereits erwähnten Austritte von Arnstein und Großziegenfeld zu nennen sind; diese Quellen schütten mehrere 10er l/s.

Obwohl der tiefe Karst eine hohe Grundwasser-Speicherkapazität aufweist, wirken sich Oberflächeneinflüsse im Bereich des unbedeckten Karstes, der im Raum des Kleinziegenfelder(= Weismain-)Tals und des Krassachtals vorliegt, auch auf dieses Grundwasser aus. Darauf weisen Trübungen der betreffenden Quellwässer hin. (Vgl. hierzu: Spezialuntersuchungen in der Nördlichen Frankenalb, Rahmenplanung Main, Teil II.)

3.2.3 Kreide

Die Kreideablagerungen im Planungsgebiet sind hydrogeologisch weitgehend bedeutungslos, da sie nur vereinzelt und in kleiner Verbereitung vorkommen.

Für den Zeitraum der Unterkreide wird in Nordbayern eine durchgehende Festlandsperiode angenommen. Erst in der Oberkreide erfolgten vereinzelte Meeresvorstöße von Süden in einem schmalen Meeresarm bis in den Raum Bayreuth — Bamberg.

Limnisch-fluviatile Kreideablagerungen sind im Planungsgebiet nur auf der Hochfläche der Nördlichen Frankenalb erhalten. Sie erreichen in der Ziegenfelder Bucht, südlich von Weismain, Mächtigkeiten bis zu 15 m und bedecken dort größere, zusammenhängende Areale. In den übrigen Teilgebieten des hier berücksichtigten Frankenjuras sind Kreidesedimente nur reliktiert erhalten. Sie füllen Hohlformen des Malmkarstes aus und erreichen nur wenige Meter Mächtigkeit, häufig unter 1 m. Lithologisch handelt es sich um Quarzsandsteine und Sande mit tonigen Zwischenlagen (MEYER, 1972, 1981 a; HEGENBERGER & SCHIRMER, 1967; ANTONIADIS et al., 1972). Hydrologisch wirken diese Ablagerungen lediglich filternd für das Sickerwasser; zum Teil schirmen sie (in Abhängigkeit von Mächtigkeit und Ausdehnung) das Karstwasser vor schädlichen Oberflächeneinflüssen ab (APEL, 1972 b).

3.3 Känozoikum

3.3.1 Tertiär

Bezogen auf das gesamte Mainingebiet sind tertiäre Ablagerungen hydrogeologisch nur von lokaler Bedeutung, wie etwa die mächtigen Kies-Sand-Abfolgen südlich von Aschaffenburg und die Basalte der Langen Rhön.

Als Folge der Absenkung des Rheintalgrabens kamen im Aschaffener Becken und in der Seligenstädter Mulde marine, brackische, fluviatile und limnische Sedimente zur Ablagerung. Die Sedimentationsprozesse beginnen hier im Oligozän und dauern bis ins Oberpliozän an. Die älteren Sedimente sind als Mergel, Tone und schluffige Feinsande, die jüngeren überwiegend als Sand-Kies-Wechselfolge ausgebildet (RISCH, 1981).

Nördlich von Aschaffenburg sind die tonig-feinsandigen Tertiär-Ablagerungen nicht für die Grundwassergewinnung geeignet. Sie bilden dort, auf dem Gebiet des Kartenblattes Nr. 5920 Alzenau i. Ufr., die Sohle des pleistozänen Grundwasserleiters (ANDRES, 1967).

Im Gegensatz dazu stellen pliozäne Sande und Kiese in der Großostheimer Senke, zusammen mit gleichartigen altquartären Abfolgen des Hangenden, einen wichtigen Porengrundwasserleiter dar. Sie erreichen hier meist 25–30 m, in Erosionsrinnen sogar bis 50 m Mächtigkeit. Während ihre Mächtigkeit nach Norden zu im Raum Stockstadt deutlich abnimmt und dort nur noch wenige Meter beträgt, setzt sich die möglicherweise tektonisch angelegte Flußrinne nordwestlich von Großostheim nach Hessen hin fort. Für den Bereich der Kiese geben ANDRES & MATTHESS (1971) Durchlässigkeitsbeiwerte von 1 bis $3 \cdot 10^{-3}$ m/s an; in zwischengelagerten Tonen und Feinsanden sind entsprechend niedrigere Werte zu erwarten.

Die Versuchsbohrung I der Grundwassererkundung Großwallstadt erschließt Quartär und Tertiär der südlichen Großostheimer Senke. Die Kiese und Sande, mit gelegentlichen tonigen Zwischenlagen, erreichen dort eine Gesamtmächtigkeit von etwa 54 m, wobei ca. 45 m grundwassererfüllt sind; der Tertiäranteil dieses Profils beträgt 30–35 m. An der Grenze Quartär — Tertiär ist ein feinsandig-schluffig-toniger Horizont ausgebildet. Ob dieser Bereich eine lokale Bildung darstellt oder sich über weitere Distanzen in der Großostheimer Senke verfolgen läßt, und inwieweit sich über ihn eine Stockwerkstrennung vollzieht, konnte nicht geklärt werden. Bei einem bei 60 m Bohrtiefe durchgeführten Pumpversuch wurde eine maximale Ergiebigkeit von 53 l/s erzielt; dies entspricht einer spezifischen Ergiebigkeit von ca. 1 l/(s*m) (LfW, 1976 b, c).

Tertiäre Sedimente sind im Mainingebiet nicht allein auf den Aschaffener Raum beschränkt. Auch in der Rhön wurden vom Oligozän bis ins Miozän unter teils brackischen, teils limnischen Bedingungen Tone und sandige Tone mit gelegentlicher Kohleführung abgelagert. Diese Abfolgen unterlagern häufig tertiäre Ergußgesteine oder wechsellagern mit Basalten und Tuffen. Sie können im Bereich der Langen

Rhön ca. 100 m Mächtigkeit erreichen. Aufgrund ihrer Lithologie sind diese Ablagerungen als Grundwasserstauer zu bezeichnen. Falls sie an der Basis mächtiger Ergußgesteine ausgebildet sind, stellen sie deren Grundwassersohle dar.

Weiterhin kamen in der Vorrhön und im Obermain-Hügelland im Pliozän bzw. an der Grenze Pliozän — Pleistozän mehrere Meter, z. T. bis über 20 m mächtige fluviatile Sedimente zur Ablagerung. Dabei handelt es sich überwiegend um Sande und Kiese, mit gelegentlichen tonigen Einschaltungen. Die Vorkommen sind meist nur relikartig erhalten; sie sind weit über die heutige Vorflut herausgehoben und daher überwiegend grundwasserfrei.

Tertiäre Ergußgesteine finden sich im Planungsgebiet in der Rhön und Südrhön, im nördlichen Odenwald (Raum Mömlingen), im Nordwestteil des Itz-Baunach-Hügellandes, in den Haßbergen sowie nord- und südöstlich Schweinfurt; die drei letztgenannten Vorkommen gehören der Heldburger Gangschar an. Für die Hauptphase des Rhönvulkanismus wird untermiozänes Alter angenommen (LIPPOLT, 1978); Kalium-Argon-Datierungen an Basalten der Heldburger Gangschar zeigen ober-eozänes bis untermiozänes Alter an (LIPPOLT in: POHL & SOFFEL, 1977).

Während die Basalte, die im Rhönbereich häufig säulig absondern, ein beachtliches Kluftvolumen aufweisen und daher, bei ausreichender Erstreckung, als lokal bedeutender Grundwasserleiter angesehen werden können, sind Tuffitlagen eher als grundwasserhemmend bzw. als Grundwasserstauer zu betrachten. Tuffbrekzien hingegen können durchaus ein gewisses Kluftvolumen aufweisen.

Die Basalte der Rhön spielen eine wichtige Rolle für den Grundwasserhaushalt dieses Gebietes (insbesondere für das Einzugsgebiet der Streu). Die Basalte vernetzen sich im Bereich der Langen Rhön deckenartig und verzahnen sich mit tuffitischen und tonigen Zwischenlagen. Insgesamt stellen diese Gesteine dort einen zwar heterogenen, jedoch zusammenhängenden Grundwasserleiter dar. Die Sohle dieses Vorkommens bilden häufig tertiäre sandig-tonige Seeablagerungen mit gelegentlichen Braunkohleeinschaltungen. Südwestlich der Linie Bischofsheim — Gersfeld sind die Basaltvorkommen auf einzelne, sich wenig verzahnende Schlotte beschränkt. Flächenmäßig größere Vorkommen finden sich am Kreuzberg sowie östlich Oberbach. Die Basalte liegen hier z. T. direkt dem triassischen Schichtverband auf.

In den Basalten bewegt sich das Wasser ausschließlich auf Klüften. Diese sind durch Abkühlungsvorgänge nach dem Aufdringen des Magmas entstanden. Spaltenweiten in der Größenordnung einiger Dezimeter (bis >1 m), wie sie z. B. im Bereich der Frauenhöhle westlich Hausen v. d. Rhön zu sehen sind, können darüber hinaus mit Hangzerreißung in Beziehung gebracht werden. In der Langen Rhön tritt das Basaltwasser in einer Vielzahl kleiner Schichtquellen an der Grundwassersohle aus. In der Kuppenrhön, südwestlich Bischofsheim, liegen die Quellen an Grenzen zu schlechter durchlässigen Gesteinen (so z. B. zu Tuffiten und zu Tonen des Buntsandsteins), oder das Grundwasser des Basalts infiltriert in den liegenden Schichtverband und tritt dann tiefer (als Mischwasser) zu Tage. Nach BITTERSÖHL (1980) liegt das entwässerbare Hohlräumvolumen der Basalte zwischen 0,5 und 1 %.

Die Basalte im nördlichen Odenwald und die der Heldburger Gangschar erreichen, mit wenigen Ausnahmen, nur einige Meter Gangbreite, manchmal sogar deutlich weniger. Ihre Längserstreckung variiert von wenigen Metern bis zu mehreren 100 m (vgl. BÜTTNER, 1984, 1989 b; SCHWARZMEIER, 1981 b; SCHRÖDER, 1965, 1976; WEHNER, 1965). Sie sind daher als Grundwasserleiter von nur untergeordneter Bedeutung; sie können allerdings einen hydraulischen Kontakt zwischen zwei getrennten Grundwasserstockwerken herstellen.

Eine ähnliche hydraulische Funktion dürften postvulkanische Schwerspatgänge im nördlichen Spessart und in der Rhön ausüben. Beim Abbau dieser Gangfüllungen trat ein z. T. beachtlicher Wasserzudrang auf, der erkennen läßt, daß diese Gänge ein gewisses Dränungsvermögen besitzen (vgl. WEINELT, 1978).

Tertiäres Alter besitzen weiterhin eine Reihe tiefgründiger Verwitterungsdecken im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge und im kristallinen Vorspessart. Sie weisen meist ein gutes Rückhaltevermögen auf und sind die Grundlage zahlreicher Schicht- und Schuttquellen sowie Vernässungszonen. (Aufgrund der speziellen regionalen Zusammenhänge werden die tertiären Verwitterungsdecken zusammen mit den verschiedenen Ausgangsgesteinen beschrieben.)

3.3.2 Quartär

Für die Trinkwassergewinnung bedeutsam sind vor allem die grundwassererfüllten Sande und Kiese des Maintalquartärs. Diese Ablagerungen werden aufgrund ihrer Komplexität als eigenes Kapitel behandelt. – Alle übrigen quartären Sedimente spielen für die Trinkwassergewinnung im Maingebiet nur eine untergeordnete Rolle.

Das Quartär umfaßt die jüngste und zugleich kürzeste Epoche der erdgeschichtlichen Entwicklung. Es begann vor etwa 2 Millionen Jahren, dauert bis heute an und teilt sich stratigraphisch in Pleistozän und Holozän. Die Grenze Holozän — Pleistozän liegt bei etwa 10.000 Jahren vor heute.

Im Pleistozän wechselten Kalt- und Warmperioden einander ab; während dieser Zeit gehörte das Maingebiet dem eisfreien Periglazial-Bereich an. Dieser unterlag im jahreszeitlichen Wechsel verschiedenen Verwitterungs- und Umlagerungsprozessen: So lockerte z. B. der Spaltenfrost oberflächennah die Gesteinsdecken; es entstanden Blockschutt und Blockmeere. Durch Solifluktion (Bodenfließen) über gefrorenem Untergrund bildeten sich Fließerden und Wanderschutt. Aus Sandsteinrücken, Schotterfluren und Verwitterungsdecken wurden Sand und Staub ausgeblasen und im Windschatten von Erhebungen sowie vor Landstufen wieder sedimentiert. So entstanden z. T. mehrere Meter (bis 10er-Meter) mächtige Löß- und Flugsandvorkommen.

Der Main tiefte sich bereits im frühen Pleistozän fast bis auf sein heutiges Talniveau ein. Später wurden Teile dieser Hohlform jedoch wieder mit Sanden und Kiesen verfüllt (Cromer-Aufschüttung), die anschließend einer erneuten, weitgehenden Ausräumung anheimfielen. An den Talflanken blieben Terrassenreste erhalten.

Im Jungpleistozän tiefte sich der Main bis unter die heutige Talsohle ein und lagerte in einer nachfolgenden Aufschüttungsphase unterschiedlich mächtige Schotter ab. Während des Holozäns dauerten im Maintal Erosion und Akkumulation an; neben sandig-kiesigen Ablagerungen wurden Auelehme sedimentiert. In Altwässern setzten sich mehrere Meter mächtige tonig-schluffige Lagen ab.

Während im Pleistozän weitgehend das heutige Landschaftsbild geformt wurde, fanden im Holozän nur kleinräumige Veränderungen, wie z. B. Bildung von Schwemmfächern und Hangschutt, Auflandung der Talsohlen oder Aufwuchs von Mooren statt (in Anlehnung an: JERZ & SCHWARZMEIER, 1981; JERZ, 1981).

Flugsande und sandig-kiesige Terrassenreste oberhalb des Vorflutniveaus sind meist grundwasserfrei, besitzen nur geringes Rückhaltevermögen und üben, als Deckschichten, einen nur bedingten Schutz für darunter befindliche Grundwasservorkommen aus.

Fließerden und Wanderschutt können, in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein, ähnlich wie der Löß, Niederschlagswasser aufnehmen und geben dieses langsam wieder ab; sie haben ein beachtliches Rückhaltevermögen. Allerdings sind Quellen, die ausschließlich aus solchen Lockergesteinen gespeist werden, selten und ihre Schüttung ist vergleichsweise gering. Dagegen werden Austritte aus schluffig-sandigen bzw. steinigen Deckschichten öfters beobachtet.

Pleistozäner Blockschutt und Blockmeere sowie holozäner Hangschutt können in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung bzw. der Sortierung ihrer Komponenten in unterschiedlichem Maße Wasser aufnehmen und speichern. Gelegentlich treten aus solchen Deckschichten temporäre Quellen aus. Meist verschleiern derartige Lockergesteine Quellaustritte aus dem Festgestein. – Tonig-schluffige Deckschichten bewirken einen besseren Grundwasserschutz als sandige.

Talfüllungen weisen, mit Ausnahme derjenigen des Maintals, nur geringe Mächtigkeiten und eine häufig tonig-schluffige Matrix auf, in der die gröberen Komponenten liegen. Daher führen sie, mit wenigen Ausnahmen, kaum Grundwasser.

3.3.2.1 Maintalquartär

Geologisch-morphologische Übersicht

Von den Ablagerungen, die der Main während seiner wechselvollen Geschichte zwischen Sedimentation und Erosion hinterlassen hat (KÖRBER, 1962), sind wasserwirtschaftlich vorwiegend nur die seit dem Altpleistozän (Cromer) hinterlassenen Sedimente von Bedeutung. Diese bilden das in der Regel

durch Terrassenkanten morphologisch nur wenig gegliederte Maintal. Die Mainsedimente kleiden ein Paläorelief aus; ihre Mächtigkeiten und laterale Ausdehnung sind, bedingt durch vielfältige Erosions- und Aufschüttungsphasen, sehr unterschiedlich.

Von der hessisch-bayerischen Grenze flußaufwärts läßt sich das Maintal unter geologischen und morphologischen Gesichtspunkten in vier Großabschnitte gliedern:

1. Das Aschaffener Becken
2. Das Buntsandsteingebiet zwischen Obernburg und Karlstadt
3. Das Muschelkalk-Keuper-Land zwischen Karlstadt und Haßfurt
4. Das Fränkische Keuper-Lias-Land zwischen Haßfurt und Kulmbach

Die seitliche Ausdehnung des Maintals und damit seiner sandig-kiesigen, grundwasserführenden Füllung beträgt über große Flußabschnitte nur wenige hundert Meter. So hatte südlich des Aschaffener Beckens der Fluß bis etwa Wipfeld nur geringe Möglichkeiten einer seitlichen Ausdehnung. Erst mit dem Schweinfurter Becken erreicht das Maintal wieder eine Breite bis etwa 4 km. Nach einer weiteren Verengung östlich Schweinfurt erfolgt ab Haßfurt eine anhaltende Ausdehnung auf 2–3 km, die das Maintal bis an den Zusammenfluß von Rotem und Weißem Main in etwa beibehält. Für wasserwirtschaftliche Belange ist neben der Talbreite die Mächtigkeit der grundwassererfüllten Talsedimente von Wichtigkeit. So sind große Mächtigkeiten von Sand und Kies in Terrassen, die sich im Nahbereich des Flusses erkennen lassen und gegen den Talrand ansteigen, dort wasserwirtschaftlich interessant, wo unter ihnen ein ehemaliger, tief eingeschnittener, altpleistozäner Mainlauf begraben liegt. Ähnliche Aussagen gelten auch für Umlaufberge.

Beispiele für relativ mächtige, aber nur gering grundwasserführende Talauffüllungen sind Terrassen bei Miltenberg, Trennfeld, Marktheidenfeld, Karlburg, Schweinfurt sowie die Hochterrasse bei Triebmarktzeuln (Abb. 12, 13), des weiteren die Talbuchten bei Steinbach und Karlstadt, der Umlaufberg bei Burgkunstadt und Hochterrasse in den Gebieten Miltenberg und Zapfendorf.

Weitere Einzelheiten zur Grundwassermächtigkeit sind bei DOBNER (1980) dargestellt.

Hydrogeologie des Maintales

Aufbau des Grundwasserleiters

Für die Grundwasserhöflichkeit ist der vertikale Aufbau der Talfüllung von Bedeutung. Durch das lebhaftes Wechselspiel von Erosion und Akkumulation sowie durch Auslaugungsvorgänge läßt sich verständlicherweise kein einheitliches Bild des Schichtprofils zeichnen. Doch deutet sich vielfach in flußnahen Talbereichen eine Ineinanderschachtelung von feinerkörnigen jüngeren und gröberkörnigen älteren Sedimenten an, die gegen die Oberfläche von einer nacheiszeitlichen sandig-schluffigen Auenlehmdecke abgeschlossen werden. Gegen den Talrand zu nimmt die Mächtigkeit der jungpleistozänen Einlagerung meist rasch ab, so daß die altpleistozänen Sedimente (Hochterrasse) an die Oberfläche treten; deren Grundwasserführung ist in der Regel um so geringer, je weiter sie vom Main entfernt liegen.

Die altpleistozänen Sedimente enthalten mehr Kies als die eher sandigen jungpleistozänen Einlagerungen. Häufig findet man über dem präquartären Liegenden nochmals eine wenige Dezimeter mächtige Schicht besonders grober Komponenten aus Großgeröllen oder Gesteinsbrocken. Unregelmäßigkeiten im Schichtaufbau und Abweichungen von dem oben angegebenen Profilschema tauchen bevorzugt in engen Maintalabschnitten auf, da hier Schutt- und Schwemmfächer aus Seitentälern und Schutthalde unter Steilhängen sich mit den Mainsedimenten verzahnen bzw. diese überlagern können. Die Flußabschnitte mit eher weiten Talräumen sind gekennzeichnet durch verlandete Altmainschlingen, so daß mehrere Meter tiefe Rinnen mit Feinsedimenten – teils mit organischen Einlagerungen – in die kiesig-sandige Abfolge eingreifen.

Da dem Zufluß von Grundwasser aus dem präquartären Liegenden in die Talkiese und -sande besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist, wurde die Art und Ausbildung dieser Gesteine in Abb. 19 dargestellt. Neben der Gesteinsausbildung sind die Klüftung im Bereich bevorzugter Störungszonen, die Verwitterung, Verkarstung und Auslaugung als wesentliche Gesichtspunkte zu nennen, die den Zufluß aus dem tieferen Untergrund bedingen.

Hydrologisch vermitteln die Sande und Kiese des Maintalquartärs zwischen dem Vorfluter Main und den grundwasserleitenden Schichten des Festgesteinsuntergrundes. So besteht in jenen Talabschnitten, wo die quartäre Talfüllung in die älteren grundwasserleitenden Schichten eingelagert ist (Abb. 14), ein hydrogeologischer Zusammenhang zwischen den quartären Grundwasserleitern und dem Main mit einem ausgeprägten Grundwassergefälle zur Vorflut hin. Dagegen ist in jenen Talabschnitten, wo die quartäre Talfüllung undurchlässigen Schichten auflagert (Abb. 15), der hydraulische Zusammenhang zwischen den grundwasserleitenden Schichten des Präquartärs und dem Main nicht unmittelbar gegeben. Dort kommen häufig Quellen in den Talflanken oberhalb der Maintalterrassen vor, deren Wasser entweder in Bächen oberflächlich dem Main zugeführt wird oder im Hangschutt versickert und in die quartäre Talfüllung infiltriert. Es können auch bei sonst undurchlässig wirkendem Untergrund an einzelnen bevorzugten Stellen Grundwasseraustritte an der Basis des Maintalquartärs auftreten. Aufstöße höher mineralisierten Tiefenwassers lassen sich gelegentlich durch die chemische Beschaffenheit des aus Quartärbrunnen geförderten Grundwassers belegen (Mischwasser). Zwischen den Zuständen, wie sie in Abb. 14 und 15 verglichen werden, gibt es im Maintal verschiedene, nach Durchlässigkeiten modifizierte Übergänge.

In den Engtalstrecken, in denen der Grundwasserspiegel mit dem Mainwasserspiegel zusammenfällt, treten nur dort mächtigere grundwassererfüllte Kiese und Sande auf, wo der rezente Fluß nicht einer altpleistozänen Mainvertiefung folgt. Als Beispiel sei hier das Aschaffener Becken angeführt, in dem eine ehemalige Mainrinne von Obernburg etwa entlang der Bundesstraße 469 führt und dann nordwestlich Niedernberg nach Ringheim umbiegt. Hier sind bis über 30 m mächtige, z. T. grundwassererfüllte Talkiese nachgewiesen.

Weitere günstige Umstände für die Entstehung größerer Quartär- und somit Grundwassermächtigkeiten sind Auslaugungsvorgänge (Gips- und Salzführung des Mittleren Muschelkalkes), die ein Absinken der Festgesteinsunterlage zur Folge haben und dadurch mächtigere Mainaufschüttungen ermöglichen. Im Bereich der Auslaugungen tiefliegender Gipsschichten im Raum Ochsenfurt — Marktstett — Volkach (HOBLE, 1971) und im geringen Umfang bei Schweinfurt (DOBNER & FRANK, 1982) werden häufig Talfüllungen mit einer Mächtigkeit des Porengrundwassers von rund 10 m angetroffen; an einer Stelle konnten sogar über 25 m nachgewiesen werden. Dies ist gegenüber den übrigen Talabschnitten, in denen 3–8 m die Regel und 10 m Grundwassermächtigkeit die Ausnahme bilden, eine enorme Erhöhung. Derartige Grundwasservorkommen werden in den meisten Fällen für Versorgungszwecke bereits genutzt.

In den kanalisierten Laufabschnitten ergibt sich ein zusätzlicher Effekt durch die Aufstauwirkung im Oberwasser der Staustufen. Die Isolinien verschiedener Grundwasserstände (Abb. 16 und 17) geben einen Anhaltspunkt über Größenordnung und Reichweite dieser die natürliche Mächtigkeit überlagernden technischen Eingriffe. Die Grundwassermächtigkeiten im unkanalisierten Mainabschnitt zwischen Bamberg und Lichtenfels sind in Abb. 18 dargestellt.

Das Grundwassergefälle kann in weiten Grenzen schwanken. In flußnahen Bereichen ist es bei ca. 0,2–0,5 % anzusetzen; es steigt gegen den Talhang häufig an und erreicht örtlich bis über 3 %. Dies findet seine Ursache in den wenig permeablen Hanglehmen und Schwemmfächern, die sich von der Talflanke her mit den Mainkiesen und -sanden verzahnen und vermischen und so den Grundwasserstrom bremsen.

Grundwasserführung

Die Durchlässigkeit der quartären Schichten ist entsprechend dem oben beschriebenen Vertikalprofil unterschiedlich. In den überwiegend sandigen Bereichen variieren die k_f -Werte etwa von $1 \cdot 10^{-3}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$ m/s und in den mehr kiesigen (meist altpleistozänen) Profilabschnitten von ca. $5 \cdot 10^{-3}$ bis $5 \cdot 10^{-2}$ m/s. Eine Auswertung von Pumpversuchen an 92 Brunnen, die aus den unterschiedlichsten Horizonten Wasser fördern, ergab eine Schwankung der Werte von $2 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$ m/s; lediglich 2 Brunnen mit Durchlässigkeitsbeiwerten des Grundwasserleiters von $1,7 \cdot 10^{-2}$ und $1,4 \cdot 10^{-2}$ m/s lagen außerhalb dieser Spanne (ausgewählte k_f -Werte, Tab. 8).

Bedeutenden Einfluß auf die Wassergewinnung hat die Durchlässigkeit des Liegenden. Hier ist zu unterscheiden zwischen der Gesteins- und der Gebirgsdurchlässigkeit. Die Gesteinsdurchlässigkeit der kalkigen sowie der stark tonigen Gesteine ist bezüglich des permeablen Porenraumes praktisch gleich Null. Auch bei den Sandsteinen kann sie vernachlässigt werden, lediglich die tertiären Sande des

Aschaffener Beckens besitzen eine gewisse Permeabilität. Für die Wassergewinnung von entscheidender Bedeutung ist die Gebirgsdurchlässigkeit, die von der Klüftung bzw. der Verkarstung der Gesteine abhängt; sie ermöglicht die Infiltration der Tiefen- und Hangwässer in das Maintalquartär. Über die Gebirgsdurchlässigkeit der einzelnen Gesteine bzw. stratigraphischen Einheiten geben die Kap. 3.1 und 3.2 Auskunft. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß Wasserzutritte aus dem Liegenden, besonders aus dem Mittleren Muschelkalk, den Schaumkalkbänken des Unteren Muschelkalks und aus den sandigen Schichten des Buntsandsteins zu erwarten sind. Geringere Mengen sind anzunehmen aus dem Oberen Muschelkalk, dem Sandsteinkeuper und aus den sandig ausgebildeten Tertiärschichten.

Die Grundwasserströmung ist in der Regel auf den Main gerichtet, der die Vorflut bildet. Dabei überwiegt die senkrecht auf den Fluß gerichtete Komponente, nur in den durch größere Flußschlingen gekennzeichneten Abschnitt zwischen Haßfurt und Wipfeld erreicht der flußparallele Anteil einen größeren Einfluß (s. Abb. 16 und 17). Anthropogene Eingriffe wie verfüllte Kiesgruben und Absenktichter an Wassergewinnungsanlagen bewirken geringe Abweichungen des natürlichen Grundwasserflusses. Im Oberwasser von Staustufen erfolgt eine Veränderung des natürlichen Potentialgefälles, das Mainwasser infiltriert in den Porengrundwasserleiter (Uferfiltration). Dadurch wird das seitlich zuströmende Grundwasser zurückgestaut bzw. zu einem Umließen der Staustufe gezwungen. Dieses Phänomen bleibt weitgehend auf den unmittelbaren Staustufenbereich beschränkt. Natürliche Austritte von Uferfiltrat konnten auch im Bereich zwischen größeren Mainschlingen nachgewiesen werden.

Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung ist über die einzelnen Talabschnitte unterschiedlich verteilt. Die höchste Rate entfällt auf den Spessarttrand; sie ist mit ca. $8 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ anzugeben. In den Trockengebieten um Schweinfurt erreicht sie mit ca. $3-4 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ ihr Minimum. Ohne große Berechnungen anstellen zu müssen, läßt sich erkennen, daß die dem Maintal zuzurechnende Grundwasserneubildung nur einen Bruchteil des heute aus den Talsedimenten geförderten Wassers ausmachen kann. Daraus ergibt sich die Bedeutung des aus dem Festgesteinsuntergrund in das Maintalquartär einspeisenden Grundwassers (vgl. Kap. 7.4.2 und 7.6.2).

Grundwasserentnahme

Für die Beurteilung einer Grundwasser-Entnahmemöglichkeit aus dem Talquartär sind im wesentlichen die vorgenannten Kriterien wie Ausdehnung und Grundwasserführung bzw. Grundwasserhöflichkeit der Talsedimente sowie Gefälle und Durchlässigkeit verantwortlich. Wie oben angesprochen, läßt sich unter Berücksichtigung von Niederschlag und Verdunstung bereits aus Abschätzungen erkennen, daß das aus den Talsedimenten geförderte Wasser, dessen Mengen in Abb. 19 als Kreise dargestellt sind, nur zu einem gewissen Anteil aus der Grundwasserneubildung der Talauflage stammen kann (DOBNER, 1980). Das geförderte Wasser hat seinen Ursprung weitgehend im Uferfiltrat, in Hang- und Tiefenwasser sowie in der Grundwasseranreicherung. Gewinnungsmöglichkeiten der letztgenannten Art mit ihren wichtigsten Besonderheiten werden im folgenden kurz dargestellt.

Neben dem genannten Austritt von Uferfiltrat an Staustufen und Flußschlingen wird bei Grundwasserabsenkungen an Brunnen nahe dem Fluß Uferfiltrat gefördert. Seine Menge aufgrund von theoretischen Berechnungen zu ermitteln, ist sehr schwierig, da in der Regel zu viele Faktoren unbekannt sind. Generell nimmt der Anteil des Uferfiltrates mit Annäherung der Brunnen an den Fluß zu. Eine Verminderung des Uferfiltrat-Anteils ergibt sich bei Zustrom aufsteigenden Tiefenwassers, im Fall von Hangwasserzutritten sowie bei höherer Dichtigkeit der Mainsohle. Die Durchlässigkeiten in Brunnennähe können sich gelegentlich im Laufe des Brunnenbetriebes über mehrere Jahre nachteilig verändern, so daß man nicht immer von einem einmal ermittelten Zustand ausgehen kann. Bei wenig Zufluß vom Hang und Festgesteinsuntergrund kann dagegen der Einfluß des Uferfiltrates so weit ansteigen, daß es den Brunnen nicht nur flußseitig zuströmt, sondern auch die Brunnen umfließt und diesen allseitig zuströmt (KANZ, 1977).

Entzieht man dem Fluß Wasser und versickert dieses über Becken oder freies Gelände im Oberstrom von Entnahmehäusern, so spricht man von Grundwasseranreicherung. Derzeit sind im Maintal zwei derartige Anlagen von unterschiedlicher Konzeption in Betrieb:

Die AZKO Glanzstoffwerke bei Obernburg versickern das Wasser der Elsave, eines rechten Nebenflusses des Mains, um den großen Bedarf an Brauchwasser zu decken. Nach der Einleitung des Flußwassers in Vorklärbecken wird das Wasser über Sickerbecken (ca. 20 %) und rund 20 ha Wiesenfläche (ca. 80 %) versickert und im Abstand von 60 bis 100 m aus 20 Brunnen wieder entnommen.

Eine weitere Grundwasseranreicherung betreibt die Rhön-Maintal-Gruppe bei Weyer (Abb. 20). Hier wird über Sickerbecken mit Kiesfiltern Mainwasser, das vorher in einen Baggersee (Forster Bucht) geleitet wird, versickert und über eine Brunnengalerie entnommen. Als hydrogeologische Besonderheit ist hier das zusätzlich auf Störungen auftretende harte Tiefenwasser zu erwähnen, mit dem das versickerte Flußwasser bei der Förderung vermischt wird.

Die Erfahrungen, die aus dem Betrieb dieser Anlagen vorliegen (THIELE, 1971; IGI, 1978, 1982, 1985, 1986, 1987 b; STRENG, 1983), lassen sich infolge verschiedener hydrogeologischer und anderer Gegebenheiten sowie unterschiedlicher Zielsetzungen nicht generell vergleichen. Es sollen aber an dieser Stelle die wichtigsten Vor- und Nachteile derartiger Anlagen, die im gewissen Umfang auch für gewöhnliches Uferfiltrat gelten, Erwähnung finden.

Mit der Anreicherung kann die förderbare Grundwassermenge erheblich gesteigert und wie im Fall Weyer die Gesamthärte des aus dem Mittleren Muschelkalk aufsteigenden Tiefenwassers herabgesetzt werden. Durch gezielte Variation von Versickerung und Entnahme kann die Verweildauer des Infiltrates gesteuert und dadurch die Qualität des Förderwassers beeinflußt werden. Die Nachteile einer solchen Anreicherung mit Flußwasser liegen in erster Linie in der starken anthropogenen Belastung des Mainwassers. Dazu zählen insbesondere der Phosphatgehalt, die gegenüber dem Grundwasser erhöhten Alkalien-Konzentrationen und die im Winter ansteigenden Ammoniumwerte. Hohe Wassertemperaturen des Mains, die im Sommer über 8 Wochen bei 20–24 °C liegen, können trotz geringer Abkühlung die Qualität des Wassers beeinflussen. Bei Hochwasser führt der Main verstärkt Schwebstoffe, welche die Filter in den Sickerbecken schnell zusetzen, was wiederum hohe Unterhaltskosten für die Anlage bedeuten kann. Algenwachstum und Zersetzung von organischen Substanzen können geschmacksbeeinflussend wirken. Darüber hinaus besteht fortwährend die Möglichkeit, daß im Zuge eines gewässerrelevanten Schadensfalles eine vorübergehend extrem hohe Belastung des Flußwassers eintritt, was den Betrieb der Anlage für längere Zeit einschränken oder gar unmöglich machen könnte.

Als Alternative für die eben genannten Nutzungsarten stehen in einigen Flußabschnitten die aus dem unterlagernden Festgestein ins Maintalquartär aufsteigenden Tiefenwässer zur Verfügung; diese werden auch vielerorts genutzt. Tiefenwässer dringen fast ausschließlich aus dem Muschelkalk auf, wobei der größte Anteil aus dem Mittleren Muschelkalk stammt. Gerade in Bereichen hoher Ergiebigkeit sind die Wässer aus dem Mittleren Muschelkalk stark "gips"haltig und erreichen Härtegrade bis über 40 °dH. Aufgrund ihrer hohen Sulfathärte sind diese Wässer nur bedingt für die Trinkwasserversorgung geeignet.

Neben dem auf wenige Bereiche beschränkten Zutritt von Tiefenwasser strömt auf weiten Abschnitten über die Talflanken Grundwasser dem Maintalquartär zu. Dies setzt eine gewisse Grundwasser-Wegsamkeit des Festgesteinsrahmens bzw. der ihm auflagernden Verwitterungsbildungen und Lockersedimente voraus. Da das Klufnetz im Bereich der Talflanken durch die lithostatische Druckentlastung geweitet ist, findet das Wasser im dortigen Festgesteinsuntergrund bevorzugte Wege in die Talsohle. Des weiteren kann von dichten Talhängen zutretendes Oberflächenwasser bei der Passage durchlässiger Areale der Talfüllung in diese infiltrieren. Eine quantitative Abschätzung der von den Talflanken in das Maintalquartär einspeisenden Grund- und Oberflächenwässer ist kaum möglich, da sich dieser Zufluß auf weite Gebiete verteilt.

Vertikalbrunnen in Hangnähe bzw. Horizontalbrunnen, deren Filterstränge bis nahe an den Talrand verlegt sind, fördern häufig Wässer mit erhöhten Nitratkonzentrationen. Besonders auffällig tritt diese anthropogene Beeinflussung in hangnahen Grundwässern auf, wenn die Hänge einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung (z. B. Weinbau) unterliegen.

Möglichkeiten künftiger Nutzung

Aus den oben kurz dargestellten geologischen, morphologischen und hydrogeologischen Vorgaben ist deutlich zu erkennen, mit welchen Problemen die Grundwassererschließung und -nutzung im Maintal zu rechnen hat. Aus unveröffentlichten Untersuchungsberichten ergibt sich zusammenfassend,

daß dort eine Grundwassererschließung im großen Stil kaum möglich sein dürfte, ohne erhebliche Nachteile, sei es durch Uferfiltrat oder durch besonders hartes Tiefenwasser, in Kauf nehmen zu müssen.

Die starke Besiedelungsdichte, die Beanspruchung von Flächen durch Verkehr und Industrie sowie in einigen Bereichen durch Kiesgewinnung, erschweren die Möglichkeiten von zusätzlichen Trinkwassererschließungen im Maintal. Untersuchungen zur Erkundung von Trinkwassergewinnungsgebieten sind im Maintal kaum noch erfolgversprechend. Zuletzt wurden günstig erscheinende Standorte bei Roßstadt (LfW, 1976 d, 1978 d), Untertheres (STADTWERKE SCHWEINFURT) und Bamberg untersucht. Viele andere Erkundungen blieben für eine größere Wassergewinnung erfolglos.

4 Gefährdung der Grundwasserleiter

Die Gefährdung der Grundwasserleiter geht von vielen, unterschiedlichen Schadstoffquellen aus; so z. B. von diffus verteilten Schmutz- und Sickerwässern im Bereich von Siedlungs- und Gewerbegebieten, von Eluaten aus ungedichteten Deponien bzw. aus Altlastdeponien, von der Art und Weise der Bodennutzung (Überdüngung; Reste von Pflanzenschutzmitteln u. ä.) von punktuellen Abwasser-Einleitungen, von mehr oder weniger hoch belasteten Straßenabwässern, von Schadstoffen aus der Luft, die der Niederschlag in den Boden verfrachtet, und dergleichen mehr. Die Kenntnis von der Grundwasserneubildungsrate und der Mächtigkeit und Ausbildung der Deckschichten wird zur Abschätzung des Schadstoffeintrages benötigt. In der Regel ist ein Grundwasserleiter um so besser geschützt, je tiefer er liegt; hangende Grundwasservorkommen können den Hauptgrundwasserleiter vor Kontamination schützen.

Ausgangsgestein, Morphologie, Deckschichten und Bodennutzung stehen dabei häufig in engem Zusammenhang: So verursachen unterschiedlich verwitterungsresistente Ausgangsgesteine bzw. Abfolgen verschiedenartige Landschaftsformen, die eine ackerbauliche Nutzung begünstigen oder auch unmöglich machen können.

An flachen Hängen und in Muldenbereichen sowie am Hangfuß sind meist mächtige Deckschichten akkumuliert, während diese auf flächigen Erhebungen und Steilhängen meist geringmächtig ausgebildet sind, oder vollständig fehlen können. Hier wäre, bei entsprechender Nutzung, am schnellsten ein Durchpausen anthropogener Einflüsse zu erwarten.

Der Schadstofftransport im Boden setzt sich aus einer Vielzahl komplizierter Vorgänge zusammen, auf deren Darstellung hier bewußt verzichtet wird, da sie den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. So spielen u. a. der pH-Wert, Huminsäuren, der Ton- bzw. Schluffanteil (Adsorptionsvermögen) sowie die Kornsortierung der jeweiligen Deckschicht ebenso eine Rolle, wie die eigentlichen Sickervorgänge von der ungesättigten zur gesättigten Zone.

Sichtlichen Einfluß auf die Gefährdung der Grundwasserleiter hat u. a. die Art der Bodennutzung. Über die generelle Verteilung von Wald und Ackerland im Mairgebiet sowie der wichtigsten Deckschichten (bezogen auf die naturräumlichen Haupteinheiten) informiert Tab. 1. Nachfolgend wird ergänzend auf grundwasserleiterspezifische Einzelheiten eingegangen.

Die kristallinen Gesteine weisen im allgemeinen nur eine geringe Wasserführung auf. Sie werden hier lediglich wegen der lokalen Besonderheiten erwähnt.

Das Kristallin des Vorspessarts ist tiefgründig verwittert und bildet ein flachwelliges Hügelland. Dieses ist entlang des Aschaffalts weitflächig lößbedeckt. Es existieren somit gute Voraussetzungen für die landwirtschaftliche Nutzung. Eine davon ausgehende Beeinflussung des dortigen Grundwassers ist daher zu erwarten. Am Westrand des kristallinen Vorspessarts wird der Schadstoffeintrag durch Weinanbau, der eine noch intensivere Bodenbehandlung verlangt, verstärkt.

Ähnlich wie der kristalline Vorspessart ist auch die Münchberger Gneismasse wenig zertalt. Die meist flächigen Bereiche werden weitgehend landwirtschaftlich genutzt, wenngleich die Intensität der Nutzung aufgrund des rauheren Klimas (Höhenlage) und der fehlenden Lößbedeckung bedeutend geringer als im Vorspessart ist. In der Münchberger Gneismasse ist daher mit einem höheren Schadstoffeintrag als im zertalten, bewaldeten nördlichen Frankenwald und im Fichtelgebirge zu rechnen; dessen Ausmaß ist allerdings niedriger als in den intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Vorspessarts einzuschätzen.

Der Rotliegend-Ausstrich des Stockheimer Beckens liegt im hügeligen, überwiegend bewaldeten nördlichen Frankenwald. Das Grundwasservorkommen wird über Klüfte aus älteren paläozoischen Gesteinen gespeist, deren Einzugsgebiet fast vollständig bewaldet ist; oberflächiger Schadstoffeintrag ist daher kaum zu erwarten.

Der Buntsandstein wird meist von sandig-grusigen Deckschichten verhüllt; lediglich in Hochlagen können diese stark reduziert sein bzw. vollständig fehlen. Aufgrund der intensiven Zertalung und der ungünstigen Bodenqualitäten wird im Ausstrich des Unteren und Mittleren Buntsandsteins kaum Ackerbau betrieben. In den Talbereichen erfolgt meist nur eine Grünlandnutzung. Der Waldflächenanteil beträgt in den genannten Gebieten 80–90 %. Daher unterliegen die Grundwasservorkommen in

diesem stratigraphischen Abschnitt des Buntsandsteins keinen weiterreichenden schädlichen Einflüssen. Lokale Gefährdungen bestehen allerdings im Nahbereich der Bundesautobahnen Würzburg — Frankfurt und Würzburg — Kassel.

Tonige Einschaltungen und mächtige Tonabfolgen im Oberen Buntsandstein erzeugen Verebnungsflächen, auf denen z. T. flächig Löß abgelagert wurde. Hier tritt die forstwirtschaftliche Nutzung zugunsten des Ackerbaus zurück. Derartige, vorwiegend der Landwirtschaft dienende Gebiete im Ausstrich des Oberen Buntsandsteins stellen die nähere Umgebung des Maintals zwischen Wertheim und Gemünden, das Umfeld des Saaletals zwischen Gemünden und Bad Neustadt sowie ein größerer Bereich im Raum Miltenberg dar. Bei letzterem handelt es sich um eine tektonische Scholle, deren Oberfläche von Schichten des Oberen Buntsandsteins eingenommen wird. Dort ist eine Kontamination des im Oberen Buntsandstein zirkulierenden Wassers wahrscheinlich. Doch überall, wo der Obere Buntsandstein als hangendes Grundwasserstockwerk ausgebildet ist, schirmt er den Buntsandstein-Hauptgrundwasserleiter vor Oberflächeneinflüssen ab.

Der Muschelkalk weist im Maingebiet eine nur geringe Ausstrichsbreite auf; er wird meist weitflächig vom Unteren Keuper überdeckt, der somit eine gewisse Schutzfunktion für das Muschelkalkwasser übernimmt. Lockersedimente, überwiegend Gesteinsschutt mit wechselnden sandigen und tonigen Anteilen, verhüllen in der Regel die flacher geneigten Bereiche und das nähere Umfeld der Täler. Der Muschelkalk ist im Nahbereich der Fränkischen Saale und im Raum Würzburg allerdings weitgehend unbedeckt. Sein Ausstrich wird vorwiegend landwirtschaftlich genutzt, was sich auf die Qualität des Muschelkalk-Grundwassers besonders nachteilig auswirkt. Größere, zusammenhängende Waldgebiete, in denen eine weitaus geringere Kontaminationsgefahr für diesen Grundwasserleiter gegeben ist, stellen der Gramschatzer Wald (nördlich Würzburg) und das Hesselbacher Waldland (nordöstlich Schweinfurt) dar.

Neben dem Schadstoffeintrag durch die Landwirtschaft besteht im Muschelkalkkarst eine weitere Gefährdung durch Versickerung bzw. Einleitung mechanisch vorgeklärter Abwässer. Eine zusätzliche Belastung des Muschelkalkwassers durch intensive Düngung und Spritzmittel erfolgt in Weinanbaugebieten, so im Maintalbereich zwischen Gemünden und Haßfurt, insbesondere in den Räumen Würzburg und Volkach, sowie an den Talhängen der Fränkischen Saale im Raum Hammelburg.

Der Untere Keuper streicht weitflächig über dem Oberen Muschelkalk aus und erzeugt ein flachwelliges Relief. Große Teile seines Ausstrichs werden von Löß, am Steigerwaldrand auch von Flugsand verhüllt. Während die Löß(lehm)bedeckten Keuperflächen die ideale Voraussetzung für einen intensiven Ackerbau darstellen, wird in Sonderkulturen am Steigerwaldrand Obst und Gemüse angebaut. Der Waldanteil erreicht im Mittel ca. 25 % und schwankt im Raum Ochsenfurt — Giebelstadt — Uffenheim um 10 %. Entsprechend stark ist der obere Grundwasserleiter (Werksandstein) durch Oberflächeneinflüsse geprägt.

In Taleinschnitten, insbesondere zum Maintal hin, fehlt die Keuperüberdeckung. Hier steht der Muschelkalk unter Verwitterungsschutt an. Aus dem Keuper abfließendes, z. T. stark anthropogen beeinflusstes Wasser infiltriert teilweise in den Oberen Muschelkalk.

Tonig-schluffige Verwitterungsdecken, meist mit nur geringem Schuttanteil, verhüllen den Mittleren Keuper. Der Gipskeuper ist weitgehend grundwasserfrei und wird daher nicht näher betrachtet. Im Sandsteinkeuper trifft man, faziell bedingt, sehr heterogene Verhältnisse an. Außerdem sind die weiträumigen, flächig ausgebildeten Talbereiche meist landwirtschaftlich genutzt, während die Höhenrücken dazwischen überwiegend von Wald bestanden sind. Der Wald nimmt rund ein Drittel der Gesamtfläche ein. Insbesondere im Ausstrich der Sandsteine können über Verwitterungsdecken Schadstoffe in den Grundwasserleiter gelangen.

Im Bruchschollenland wird der Mittlere Keuper meist von grusig-sandigen Decken mit höherem Schuttanteil verhüllt; vielerorts weisen die Sandsteine fast keine Überdeckung auf. Bei gleich hoher Nutzungsintensität wie im Vorland der Keuper-Landstufe wäre die Grundwassergefährdung höher als auf jenem. Tatsächlich wird jedoch der Ausstrich der Keupersandsteine im Bruchschollenland vielerorts als Grünland genutzt, was allgemein eine geringere Auswaschung der Böden bedeutet. Da Grünlandflächen häufig organisch gedüngt werden, vollzieht sich auch über eine derartige Nutzung ein gewisser Nitratreintrag.

Im Ausstrich der Rhätlias-Übergangsschichten sind ähnliche Verhältnisse wie im Sandsteinkeuper zu erwarten. Die Sandstein-Höhenrücken sind großflächig waldbestanden, was sich günstig auf die Grundwasserbeschaffenheit auswirkt. Die dem Lias zugehörigen tonigen Feinsedimente bilden bei entsprechend großer, zusammenhängender Verbreitung eine Grundwasserdeckschicht, die einerseits das Rhät-Grundwasser abschirmt, andererseits jedoch die Grundwasserneubildung reduziert.

Der Ausstrich des Doggers ist im Planungsgebiet mit Ausnahme der Umgebung von Weismain auf einen schmalen Streifen entlang der Jura-Steilstufe beschränkt, und nur dieser Saum ist anthropogenen Einflüssen ausgesetzt. Dabei ist der Doggerausstrich aus morphologisch-lithologischen Gründen über weite Bereiche forstwirtschaftlich genutzt, was keine negativen Auswirkungen auf die Qualität des Dogger-Grundwassers mit sich bringt.

Der Malmkarst ist weitgehend unbedeckt; die weitflächige Verebnung der Albhochfläche dient überwiegend der Landwirtschaft. Eine Gefährdung des Karstgrundwassers besteht jedoch nicht allein durch die landwirtschaftliche Nutzung, sondern auch durch Abwassereinleitungen einzelner, auf der Hochfläche gelegener Orte. Im Malmkarst ist, verglichen mit anderen Grundwasserlandschaften, der jeweilige Verdünnungsfaktor maßgebend für die Beschaffenheit des Grundwassers.

Der deckenartige Ausstrich der tertiären Rhön-Basalte ist weitgehend von sehr geringmächtigen Verwitterungsbildungen verhüllt. Das rauhe Klima und der karge Boden erlauben jedoch keine landwirtschaftliche Nutzung. Die Lange Rhön, zwischen Bischofsheim und Fladungen, stellt ein Naturschutzgebiet dar; hier wechseln, ähnlich wie bei allen großflächigen Basaltausstrichen der Rhön, heideartige Formen, waldbestandene Gebiete und kleinere moorige Flächen einander ab. Ein anthropogener Stoffeintrag in das Grundwasser ist hier kaum zu erwarten.

5 Hydrogeochemische Beurteilung der Grundwässer nach Grundwasserleitern

Der Chemismus der Grundwässer wird von den petrographischen Eigenschaften des jeweiligen Grundwasserleiters, der Aufenthaltsdauer in ihm, von den chemischen Reaktionen mit dem Boden und von anthropogenen Einwirkungen beeinflusst.

Wie im Kapitel 3 (Hydrogeologische Beschreibung der Grundwasserstockwerke bzw. Grundwasserleiter) dargestellt wurde, greifen verschiedene stratigraphische Einheiten und damit verbunden, auch die entsprechenden Grundwasserleiter über die Bilanzraumgrenzen. Daher wird die hydrogeochemische Beurteilung der Grundwässer von der Bilanzraumgliederung losgelöst und in zwei eigenen Kapiteln behandelt.

Im Kapitel 5 werden die Wässer der verschiedenen Grundwasserleiter, geordnet nach deren stratigraphischer Abfolge, hydrochemisch charakterisiert. Bereits hier wird auf regionale bzw. lokale hydrogeochemische Besonderheiten eingegangen. Es finden vor allem die geogen bedingten Eigenschaften Berücksichtigung; auf Einschränkung der Nutzbarkeit durch Überschreiten von Grenzwerten wird hingewiesen. Dieses Kapitel vermittelt einen Überblick über

- die Gesamtmineralisation (als Näherungswert wird hierfür die elektrische Leitfähigkeit verwendet),
- die Typisierung nach FURTAK & LANGGUTH (1967) (siehe Abb. 21),
- die Beurteilung der Gesamthärte nach KLUT-OLSZEWSKI (1945),
- die Konzentrationen wichtiger Ionen (soweit diese für den Grundwasserleiter typisch sind oder innerhalb des Grundwasserleiters regionale Unterschiede aufweisen),
- die Aggressivität der Wässer,
- die Schwankungsbreite der pH-Werte,
- Besonderheiten (reduzierte Wässer, geogen bedingtes Überschreiten von Grenzwerten, hohe Gehalte von Spurenstoffen, usw.).

Eine Übersicht der hydrochemischen Beschaffenheit der Grundwässer im Planungsgebiet sowie eine Gegenüberstellung wichtiger hydrochemischer Parameter vermittelt Tab. 17.

5.1 Kristalline Gesteine des Paläozoikums (Metamorphite und Magmatite)

Fichtelgebirge und Münchberger Gneismasse

Für den Untersuchungsraum standen ca. 60 Vollanalysen zur Verfügung, die dem GLA freundlicherweise von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (FAUTH, 1976) überlassen wurden.

Die Wässer sind in der Regel durch einen sehr geringen Lösungsinhalt gekennzeichnet; ihre Gesamtmineralisation übersteigt nur selten 50 mg/l, die elektrischen Leitfähigkeiten liegen meist unter 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dementsprechend sind die Wässer als weich bis sehr weich zu charakterisieren. Ihre Gesamthärte erreicht nur selten 5 $^{\circ}\text{dH}$; die Karbonathärte liegt meist unter 1 $^{\circ}\text{dH}$.

Im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) können die Wässer aus dem Fichtelgebirge und der Münchberger Gneismasse relativ einheitlich als "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt, überwiegend sulfatisch-chloridisch" klassifiziert werden. Davon abweichend erscheinen im Piper-Diagramm einige Wässer in der Feldergruppe der "Alkalischen Wässer" (Abb. 22). – Im Gegensatz zu den höher mineralisierten Wässern im übrigen Planungsgebiet, wo die Eisen- und Ammonium-Ionen an der prozentualen Ionenverteilung nur in Spuren beteiligt sind, zählen hier Eisen und Ammonium zu den Hauptionen, obwohl ihre absoluten Konzentrationen nicht oder nur wenig höher sind als in den stärker mineralisierten Grundwässern. Daher wurde hier in der Ionenbilanz Ammonium bei den einwertigen und Eisen bei den zweiwertigen Kationen mitberücksichtigt.

Aufgrund der geogen bedingten, sehr niedrigen Gesamtmineralisation machen sich bei diesen Wässern anthropogene Einflüsse verstärkt bemerkbar. Daher weist die Punktverteilung im Anionendreieck (Abb. 22) eine große Streuung auf, wobei in der Gesamtheit sulfat- bzw. chloridbetonte Wässer überwiegen.

Erhöhte Sulfat-, Chlorid- und Nitratgehalte sind in den Kristallinwässern weitgehend auf anthropogene Ursachen, wie Düngung, Salzstreuung im Winterhalbjahr und Eintrag durch "sauren Regen" zurückzuführen. Ihre Konzentrationen unterliegen, prozentual betrachtet, großen Schwankungen. So erreichen die Chloridwerte meist zwischen 1 und 10 mg/l, können in einzelnen Fällen aber auch bis 55 mg/l ansteigen; die Sulfatgehalte überschreiten kaum 20 mg/l; die Nitratgehalte liegen in der Regel bei knapp 10 mg/l, z. T. werden jedoch auch Konzentrationen bis 50 mg/l gemessen. Neben lokal hohen Nitratgehalten konnten z. T. bis zu 0,2 mg/l Nitrit nachgewiesen werden.

Wie bereits die äußerst niedrige Karbonathärte erwarten läßt, weisen diese Wässer sehr geringe Hydrogencarbonatgehalte auf. Sie schwanken im allgemeinen um 10 mg/l, wobei Maximalwerte bis zu 70 mg/l erreicht werden.

Die Kationenverteilung variiert zwar in engeren Grenzen als die der Anionen, jedoch weist auch sie, prozentual betrachtet, eine vergleichsweise große Streubreite auf. So enthalten die Kristallinwässer hier zwischen 20 und 50 % Alkalien, zwischen 40 und 60 % Calcium und zwischen 10 und 30 % Magnesium. Dabei übersteigt, absolut betrachtet, die Calciumkonzentration nur selten 10 mg/l und liegt häufig unter 5 mg/l. Der höchste gemessene Calciumgehalt erreichte 40 mg/l; er dürfte anthropogene Ursachen haben. Die Magnesiumwerte liegen meist unter 5 mg/l, nur in wenigen Proben wurde die 10-mg/l-Marke überschritten.

Die allgemein relativ hohen Natrium- und Kaliumgehalte in den Grundwässern sind im wesentlichen auf zwei Ursachen zurückzuführen. Primär nehmen bei der Verwitterung feldspatreicher Kristallingesteine die Alkaligehalte im Grundwasser merklich zu, ohne daß die Anionen-Konzentration entsprechend mitsteigt. Solche Verhältnisse werden in Quellen und Brunnen angetroffen, deren Einzugsgebiete fast ausschließlich forstwirtschaftlich genutzt werden. Sekundär bedingte Alkalien-Konzentrationszunahmen (bis zu 25 mg/l), die in Verbindung mit erhöhten Chlorid- und Nitratwerten beobachtet werden, lassen sich in vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Gebieten feststellen. Die Ursache hierfür dürfte anthropogener Art (v. a. Düngung) sein.

In etlichen Kristallinwässern wurden relativ hohe Eisengehalte von bis zu 5,5 mg/l gemessen. Die überwiegende Zahl der untersuchten Wässer wies allerdings Eisenkonzentrationen von unter 1 mg/l, z. T. sogar von weniger als 0,1 mg/l auf. Die besonders hohen Eisenkonzentrationen können über 10 % der Gesamt-Kationen-Bilanz ausmachen. Deshalb wurde bei solchen Wässern der Eisengehalt mit in die Ionenbilanz einbezogen. – Die hohen Eisengehalte sind auf Lösung von Eisen aus dem Gesteinsverband zurückzuführen. Diese Lösungsvorgänge werden durch den "sauren Regen" und durch das geringe Puffervermögen der kristallinen Gesteine begünstigt.

Die Mangankonzentrationen treten demgegenüber stark in den Hintergrund, weil in den überwiegend sauren Silikatgesteinen dieser Gegend das Eisen/Mangan-Verhältnis deutlich größer ist als in basischen Silikaten. Für Mangan wurde hier ein Maximalwert von 0,15 mg/l festgestellt. Örtlich treten erhöhte Ammoniumgehalte bis zu 0,5 mg/l auf, die anthropogener Ursache (Verschmutzungsindikator) sind.

Erhöhte Eisen-, Mangan- und Ammoniumgehalte können im Fichtelgebirge auch mit Moorwässern in Beziehung gebracht werden.

Der mittlere pH-Wert beträgt 5,7. Eine Reihe von Wässern weist pH-Werte zwischen 4,0 und 5,0 auf. Solche Wässer sind als sauer zu bezeichnen; sie entstammen zumeist anmoorigen Einzugsgebieten. In allen Proben konnte freie Kohlensäure nachgewiesen werden. Sie erreicht Maximalwerte von bis zu 50 mg/l, wovon ein Teil stets aggressiv wirkt. – Die niedrigen pH-Werte und die hohen Gehalte an freier Kohlensäure sind auf das geringe Pufferungsvermögen der kristallinen Gesteine zurückzuführen und bewirken ihrerseits eine verstärkte Lösungsbereitschaft sonst weniger mobiler Ionen aus dem Gesteinsverband (z. B. Eisen, Schwermetalle).

Die meisten der untersuchten Wässer waren nahezu sauerstoffgesättigt, nur wenige zeigten deutliche Sauerstoffdefizite. Da es sich bei diesen Proben fast ausschließlich um Quellwässer handelte, kann dies als Hinweis darauf interpretiert werden, daß der Kluftraum (des Festgesteins) bzw. der Porenraum (der Verwitterungsdecken) überwiegend gut durchlüftet bzw. die Verweildauer im Untergrund relativ kurz ist.

Kristalliner Vorspessart

Aus dem kristallinen Vorspessart lagen ca. 40 Teilanalysen aus den 50er und 60er Jahren vor. Daher können für dieses Gebiet nur Tendenzen aufgezeigt werden. Die Wässer sind im allgemeinen schwach mineralisiert. Aufgrund der weitflächigen landwirtschaftlichen Nutzung bei z. T. mächtiger Lößüberdeckung sind die Gesamtmineralisationen allerdings höher als im Fichtelgebirge und in der Münchberger Gneismasse. So wurden elektrische Leitfähigkeiten von bis zu 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen. Die Gesamthärte dieser Wässer schwankt um 5 $^{\circ}\text{dH}$, die Karbonathärte um 2,5 $^{\circ}\text{dH}$. Hieraus läßt sich eine durchschnittliche Hydrogenkarbonat-Konzentration von 150 mg/l berechnen. Dieser im Vergleich zum Fichtelgebirge und zur Münchberger Gneismasse hohe Wert dürfte auf eine Aufhärtung des Kristallinwassers durch lößbeeinflusste Sickerwässer zurückzuführen sein.

Bezüglich der Interpretation der Sulfat-, Chlorid- und Nitratkonzentrationen sollte berücksichtigt werden, daß die hier vorliegenden Daten überwiegend 30–35 Jahre alt sind und die Düngung bzw. der anthropogene Stoffeintrag seither erheblich intensiviert wurde. Andererseits können uns die vorliegenden Daten aufzeigen, wie etwa der geogen bedingte Wasserchemismus dieser Gegend sein dürfte. So schwankt eine Vielzahl der Sulfatgehalte um 20 mg/l; Anstiege auf über 100 mg/l scheinen anthropogene Ursachen zu haben. Die Chloridkonzentrationen liegen (unbeeinflusst) meist unter 10 mg/l. Bereits in den 50er und 60er Jahren wurden im kristallinen Vorspessart Nitratgehalte von maximal 30 mg/l gemessen. Vor allem für den intensiv landwirtschaftlich genutzten Westteil des Vorspessarts können heute Nitratwerte von über 50 mg/l erwartet werden.

Verwendbare Angaben über Gehalte an Alkalien bzw. Erdalkalien liegen nicht vor. Soweit vorhanden, wurden Eisen und Mangan nur in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen. Die Wässer reagieren in Abhängigkeit von der Lößbedeckung neutral bis schwach sauer; der mittlere pH-Wert schwankt um 6,3. Die Mehrzahl der Wässer führt freie Kohlensäure (bis zu 50 mg/l). Die Quellwässer sind weitgehend sauerstoffgesättigt.

5.2 Nichtmetamorphes Mittelkambrium bis Unterkarbon

Das Mittelkambrium streicht im Untersuchungsgebiet nur über geringe Flächen aus und ist hydrogeologisch weitgehend bedeutungslos. Hydrochemische Daten von Wässern aus mittelkambrischen Sedimenten standen den Rahmenplan-Untersuchungen nicht zur Verfügung.

Von Wässern aus ordovizischen, silurischen und devonischen Gesteinsserien des nördlichen Frankenwaldes liegen 14 Vollanalysen vor (APEL, 1982). In Abhängigkeit von der Lithologie und/oder anthropogenen Einflüssen weisen diese Wässer eine geringe bis mittlere Gesamtmineralisation auf. So schwankt die elektrische Leitfähigkeit um 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Maximalwerte von knapp 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ werden bei Wässern aus dem silurischen Ockerkalk erreicht. Trotz unterschiedlicher Lithologie (Tonschiefer und Kalksteine) können diese Wässer im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) einheitlich als "Normal erdalkalische Wässer, hydrogenkarbonatisch-sulfatisch" klassifiziert werden. Dabei ist ein leichtes Überwiegen des Hydrogenkarbonat-Anteiles festzustellen (Abb. 23).

In Abhängigkeit von geogenen und anthropogenen Einflüssen schwankt auch die Gesamthärte. Diese liegt durchschnittlich bei 9 $^{\circ}\text{dH}$, wobei Wässer aus dem silurischen Ockerkalk 17 $^{\circ}\text{dH}$ erreichen können. Somit ist die Gruppe der abgehandelten Wässer als weich bis mittelhart zu kennzeichnen. Die pH-Werte schwanken zwischen 6,6 und 8,2; die Wässer reagieren somit schwach sauer bis leicht basisch. Fast stets sind geringe Mengen an freier, z. T. auch an aggressiver Kohlensäure vorhanden. Lokal treten reduzierte Wässer auf. Sie zeichnen sich durch Sauerstoffdefizite, erhöhte Eisen- und Mangangehalte sowie durch niedrige Nitratkonzentrationen aus.

In dem aus dem Ockerkalk geförderten Rohwasser der Wasserversorgung Ludwigsstadt (Ottendorf) wurden bei Spurenstoffuntersuchungen anormal hohe Cadmium- und Selenwerte gemessen (APEL, 1986). Cadmium erreichte 0,12, Selen 1,01 mg/l. Diese Spurenstoffe stammen aus Schwarzschiefern, die dort den Ockerkalk unter- und überlagern und sind somit geogenen Ursprungs.

Zur Charakterisierung von Wässern aus dem Unterkarbon des Frankenwaldes standen 46 Vollanalysen (APEL, 1979, 1982) und einige Teilanalysen zur Verfügung. Die Wässer sind, geogen bedingt, in der Regel nur schwach mineralisiert. So schwanken ihre elektrischen Leitfähigkeiten um 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die Gesamthärten um 3 $^{\circ}\text{dH}$. Aufgrund dieser niedrigen Gesamtmineralisation machen sich anthropogene Einflüsse, insbesondere in der prozentualen Ionenverteilung, verstärkt bemerkbar. So kann

bereits eine geringe Zunahme der Nitrat- bzw. Chloridkonzentrationen die Typisierung entscheidend beeinflussen. Sowohl die Anionen als auch die Kationen weisen bei den Unterkarbonwässern im Piper-Diagramm eine große Streubreite auf. Im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) können "Normal erdalkalische Wässer", bzw. "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt", "Hydrogenkarbonatische-sulfatische" Wässer und schließlich "Überwiegend sulfatische" Wässer ausgeschieden werden. Weiterhin lassen sich Wässer mit einer Sulfatvormacht von solchen mit einer Chlorid-Nitrat-Vormacht unterscheiden (Abb. 23).

Gemessen an den Nitratgehalten dürften sich die landwirtschaftlich bedingten Einflüsse auf das Grundwasser in diesem Gebiet noch in engen Grenzen halten. Bei diesen schwach mineralisierten Wässern muß allerdings auch der Stoffeintrag über den "sauren Regen" Berücksichtigung finden. Die pH-Werte liegen zwischen 4,3 und 8, im sauren bis schwach alkalischen Bereich; zumal geogen bedingt die sauren Niederschläge in der karbonatarmen Gesteinsserie häufig nicht neutralisiert werden können. Deshalb wurde neben freier auch aggressive Kohlensäure fast überall festgestellt. Einige Quellen weisen stark kalkaggressives Wasser auf.

Unter reduzierten Bedingungen, die dort bevorzugt in Brunnen angetroffen werden, treten erhöhte Eisen- und Mangan-Konzentrationen auf. In den primär eisen- und manganschüssigen unterkarbonischen Sedimentgesteinen überführen saure Sickerwässer einen merklichen Teil dieser Schwermetalle in den gelösten Zustand. Solche Grundwässer müssen für Trinkwasserzwecke zumeist aufbereitet werden, zumal dem Schichtverband Karbonatbestandteile zur Pufferung saurer Wässer fehlen.

5.3 Rotliegendes

Im Planungsgebiet ist das Rotliegende, mit Ausnahme der Vorkommen im Stockheimer Becken, von nur geringer wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Deshalb werden nur Wässer aus diesem Bereich beschrieben. – Die folgenden Ausführungen stützen sich auf 10 Vollanalysen (APEL, 1979), wovon eine ein Quellwasser, die restlichen neun ein aus Brunnen gefördertes Wasser repräsentieren.

Die Grundwasserleiter sind bevorzugt aus Sandsteinen und Fanglomeraten aufgebaut, daher sind die durchsetzenden Wässer nur schwach mineralisiert. Die elektrischen Leitfähigkeiten schwanken zwischen 250 und 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die mittlere Gesamthärte beträgt 7,0 $^{\circ}\text{dH}$. Im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) können die Rotliegendewässer als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch" charakterisiert werden (Abb. 24). Im Gegensatz zu den Wässern aus den angrenzenden Gesteinen des Unterkarbons ist bei den Kationen eine deutliche Vorherrschaft des Calciums zu erkennen. Des weiteren tritt der Hydrogenkarbonatgehalt stark hervor; er liegt, mit einer Ausnahme, bei den untersuchten Wässern zwischen knapp 40 und 180 mg/l, bei einem Mittelwert von 130 mg/l. Demgegenüber übersteigen die Chlorid- und Nitratkonzentrationen nur selten 20 mg/l; die Sulfatkonzentration erreicht nur gelegentlich Werte über 25 mg/l. In den Einzugsgebieten überwiegt die forstwirtschaftliche Nutzung. Anthropogene Einwirkungen konnten an den untersuchten Grundwasserproben nicht erkannt werden. Als Ursache des vergleichsweise hohen Hydrogenkarbonatgehaltes, der sich auch in einer mittleren Karbonathärte von 6,0 $^{\circ}\text{dH}$ widerspiegelt, kommen die in der Gesteinsabfolge eingelagerten Kalksteinbänkchen und karbonatischen Brekzien in Betracht (v. HORSTIG, 1979).

Aufgrund dieser kalkigen Einschaltungen sind die pH-Werte der Rotliegendewässer, bis auf wenige Ausnahmen, neutral; der mittlere pH-Wert liegt bei 7,2. Einige Wässer enthalten beachtliche Mengen an aggressiver Kohlensäure (bis 35 mg/l). Die Eisengehalte unterliegen starken Schwankungen (von 0,02 bis 0,26 mg/l), wobei in einigen Wasserversorgungen das Rohwasser aufgrund der hohen Eisenkonzentrationen aufbereitet wird.

5.4 Zechstein

Von Wässern aus dem Zechstein liegen nur zwei Teilanalysen aus dem Raum Schöllkrippen (Spessart) vor. Diese repräsentieren ein schwach mineralisiertes, mittelhartes, alkalisch reagierendes Wasser, das geringe Mengen an aggressiver Kohlensäure führt.

Der weitaus größte Teil der Zechsteinwässer ist infolge von Salz-, Gips- und Anhydritauslaugungen sehr stark mineralisiert und kann daher nicht als Trinkwasser verwendet werden. Die Zechstein-Mineralwässer werden in Kap. 8 näher beschrieben.

5.5 Buntsandstein

Der Buntsandstein stellt im Planungsgebiet einen wichtigen Grundwasserleiter dar. Er besitzt in der Regel einen Grundwasser-Stockwerksbau. Während der Untere Buntsandstein vorwiegend im waldreichen, landwirtschaftlich wenig genutzten Spessart ausstreicht, steht der Mittlere und Obere Buntsandstein neben dem Spessart-Ostrand in größerer Verbreitung im Gebiet der Sinn und in der Südrhön an. Ein schmaler Streifen des Buntsandsteins erstreckt sich zwischen Thüringisch-Fränkischem Mittelgebirge und Frankenalb in NW-SE-Richtung. Je nach stratigraphischer und regionaler Lage der Grundwasserleiter lassen sich Unterschiede in der Hydrogeochemie feststellen.

5.5.1 Unterer und Mittlerer Buntsandstein

Für den Unteren Buntsandstein standen ca. 60 Vollanalysen zur Verfügung. Die Gesamtmineralisation der Wässer ist gesteinsbedingt vergleichsweise niedrig. Im Spessart und im Bilanzraum IV "Sinn-Saale-Gebiet" beträgt die durchschnittliche elektrische Leitfähigkeit meist weniger als 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$; gebietsweise kann sie in Einzelfällen bis 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ansteigen. Die Wässer können im Sinne der Klassifizierung von FURTAK & LANGGUTH (1967) dem Typ der "Erdalkalischen Wässer mit höherem Alkaligehalt, überwiegend sulfatisch bzw. überwiegend chloridisch" zugeordnet werden (Abb. 25). Es sind weiche bis sehr weiche Wässer, deren durchschnittliche Gesamthärte um 2 °dH beträgt. Die Chlorid-, Nitrat- und Sulfatgehalte sind in der Regel relativ gering; je 20 mg/l werden nur selten überschritten.

Im Spessart treten lokal erhöhte Chloridwerte bis zu 80 mg/l, verbunden mit überdurchschnittlichen Natriumkonzentrationen bis 35 mg/l auf. Da diese Proben in der Nähe der Spessartautobahn genommen wurden, dürften die Wässer von Streusalz beeinflusst sein. Sulfatwerte bis 100 mg/l lassen sich vereinzelt im Bilanzraum Sinn-Saale-Gebiet beobachten. Anthropogene Beeinflussungen (Düngung) sind hier wahrscheinlich.

Die pH-Werte liegen mit einer Schwankungsbreite von 4,8 bis 7,9 überwiegend im sauren, gelegentlich im neutralen bis schwach alkalischen Bereich. Gehalte an aggressiver Kohlensäure können in den meisten Wässern festgestellt werden. Sauerstoff-Sättigungswerte liegen nur aus dem Spessartbereich vor. Hier sind die meisten Wässer annähernd sauerstoffgesättigt, deutliche Hinweise auf reduzierte Wässer ergeben sich nicht. Lokal erhöhte Eisen- und Manganwerte können eine Aufbereitung des Rohwassers nötig machen. Die Bohrungen Staffelstein (GUDDEN, 1977) und Rodach sowie die Trinkwassererschließung Gemünden-Hofstetten (LfW, 1981) erhielten im Unteren Buntsandstein aufsteigende Zuflüsse stark chloridhaltiger Wässer, die von der Salinarfazies des tiefer liegenden Zechsteins beeinflusst sein dürften.

Im Bilanzraum I "Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland" werden Mischwässer aus Unterem und Mittlerem Buntsandstein gefördert. Sie lassen, bis auf leicht erhöhte Calcium- und Hydrogenkarbonatwerte, in der Anionen- und Kationenkonzentration tendenziell keine Unterschiede zu den Wässern des Unteren Buntsandsteins im Spessart und Sinn-Saale-Gebiet erkennen.

Zur Beurteilung der Wässer aus dem Mittleren Buntsandstein standen etwa 50 Vollanalysen zur Verfügung. Man kann diese Wässer zwei Grundwassertypen zuordnen: zum einen dem Typ der "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt" bzw. "Normal erdalkalischen Wässern, überwiegend sulfatisch", die durchschnittliche elektrische Leitfähigkeiten von 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aufweisen; zum anderen dem der "Normal erdalkalischen Wässer, überwiegend "hydrogenkarbonatisch" bzw. "hydrogenkarbonatisch bis sulfatisch" (Abb. 26), in denen durchschnittliche Leitfähigkeitswerte von 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen werden.

Bis auf lokal leicht erhöhte Calcium- und Hydrogenkarbonat-Konzentrationen lassen die Wässer des erstgenannten, allgemein verbreiteten Typs im Vergleich mit denen des Unteren Buntsandsteins tendenziell keine größeren Unterschiede in der Anionen- und Kationenkonzentration erkennen. Der zweite Grundwassertyp ist auf einzelne Vorkommen im Sinn-Saale-Raum beschränkt. Ihn charakterisieren hohe Hydrogenkarbonatwerte (maximal 360 mg/l, im Durchschnitt 200 mg/l) und relativ hohe Calciumgehalte (maximal 80 mg/l) sowie Magnesiumwerte bis 23 mg/l. Beeinflussende Faktoren können hier zum einen die Zusickerung höher mineralisierter Wässer aus dem Unteren Muschelkalk sein, zum anderen die regional verbreitete Kalkung von Feldern und nicht zuletzt eine Kohlendioxid-Zufuhr aus der postvulkanischen Phase des Rhönvulkanismus.

Die Gesamthärte der schwach mineralisierten Wässer liegt bei durchschnittlich 3 °dH, sie steigt bei den stärker mineralisierten Wässern auf im Mittel 10 °dH an. Die Chlorid- und Nitratkonzentration ist mit durchschnittlich 15 mg/l und 13 mg/l vergleichsweise niedrig. Lokal steigt die Nitratkonzentration auf über 60 mg/l an. Die Sulfatwerte erreichen bis 90 mg/l und schwanken im Mittel zwischen 20 und 25 mg/l. Während die schwach mineralisierten Wässer mit einem pH-Wert von rund 5,7 deutlich sauren Charakter aufweisen, bewegen sich die stärker mineralisierten Wässer im Bereich des Neutralpunktes (durchschnittlicher pH-Wert 7).

In Trinkwassergewinnungsanlagen erfordern lokal auftretende Eisen- und Mangankonzentrationen, die bis 0,7 mg/l bzw. bis 1 mg/l erreichen können, eine Aufbereitung des Rohwassers. Die durchschnittlichen Kaliumwerte von 3 mg/l erscheinen relativ erhöht. Maximalwerte bis zu 21 mg/l Kalium sind stets mit überdurchschnittlich hohen Chlorid- und Nitratgehalten verbunden und auf Düngung in der Landwirtschaft zurückzuführen.

5.5.2 Oberer Buntsandstein

Im Oberen Buntsandstein, aus dem 62 Vollanalysen vorliegen, stehen sich schwach mineralisierte Wässer mit elektrischen Leitfähigkeitswerten um 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und stärker mineralisierte Wässer mit Werten um 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gegenüber. Letztere zeichnen sich vor allem durch erhöhte Calcium-, Magnesium- und Hydrogenkarbonatwerte aus; teilweise treten auch Sulfatwässer auf. Das Hydrogenkarbonat rührt von zusickernden Wässern aus dem Unteren Muschelkalk her, erhöhte Sulfatgehalte können auf Gipsvorkommen in den Rötgesteinen des Oberen Buntsandsteins zurückgeführt werden.

Die Wässer lassen sich mit Hilfe der Hydrogenkarbonat-Konzentration in zwei verschiedene Gruppen unterteilen: Dabei können Wässer mit über 90 mg/l Hydrogenkarbonat als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch" bzw. "hydrogenkarbonatisch-sulfatisch", Wässer mit weniger als 90 mg/l Hydrogenkarbonat im allgemeinen als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend sulfatisch" bzw. als "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaliegehalt, überwiegend sulfatisch" bzw. "überwiegend chloridisch" charakterisiert werden (Abb. 27).

Die Gesamthärte beträgt bei schwach mineralisierten Wässern rund 6 °dH. Bei den höher mineralisierten Wässern liegt die durchschnittliche Gesamthärte bei 22 °dH, wobei hier besonders die Sulfathärte vorherrschend wird. In schwach mineralisierten bzw. bei sulfatbetonten Wässern liegt die durchschnittliche Hydrogenkarbonat-Konzentration um 60 mg/l, sie steigt in den vom Muschelkalk beeinflussten Wässern auf im Mittel ca. 320 mg/l an. Die Sulfatwerte liegen normalerweise bei ca. 30 mg/l und erreichen in durch Gipsauslaugung beeinflussten Wässern mittlere Werte um 110 mg/l und Maxima bis 440 mg/l. Bei einer Schwankungsbreite von je weniger als 1 bis 90 mg/l und Durchschnittswerten von je 30 mg/l zeigen Chlorid und Nitrat, vor allem in landwirtschaftlich genutzten Gebieten, eine erhöhte Tendenz.

Höher mineralisierte Wässer schwanken um pH 7,4, während die schwach mineralisierten mit rund pH 6,1 schwach sauren Charakter zeigen. Lokal lassen sich Eisenkonzentrationen bis 0,25 mg/l beobachten, sie machen eine Aufbereitung des Rohwassers nötig. Selten treten erhöhte Manganwerte auf. Zu beachten sind Kaliumkonzentrationen um durchschnittlich 3 mg/l mit Maxima bis 20 mg/l. Sie sind oft an erhöhte Chlorid- und Nitratwerte gebunden und dürften aus der landwirtschaftlichen Düngung herrühren.

5.6 Muschelkalk

5.6.1 Unterer Muschelkalk

Zur Beurteilung des Chemismus der Wässer aus dem Unteren Muschelkalk standen ca. 60 Vollanalysen zur Verfügung. Diese Wässer sind geogen bedingt vergleichsweise hoch mineralisiert; ihre durchschnittliche elektrische Leitfähigkeit liegt bei 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, wobei einige Analysen auch Werte von knapp 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aufweisen. Es handelt sich um Calcium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Wässer, die einheitlich im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch" typisiert werden können. Wenige Wässer tendieren zu "hydrogenkarbonatisch-sulfatisch", wobei im allgemeinen aufgrund des kalkigen Grundwasserleiters der Hydrogenkarbonat-Anteil überwiegt (Abb. 28). Die Hydrogenkarbonat-Konzentration beträgt im Mittel 330 mg/l, sie steigt in einzelnen Wässern bis zu 520 mg/l an.

Die Nitrat- und Chloridgehalte sind in großem Maße von der Bodennutzung, der Besiedlungsdichte, der Ausprägung des Verkehrsnetzes (Salzstreuung) sowie von der Mächtigkeit und Ausbildung der Überlagerung abhängig. Sie weisen daher große Unterschiede auf; dabei liegen die durchschnittlichen Nitratgehalte bei 30 mg/l, die mittleren Chloridgehalte bei 24 mg/l. Bereichsweise steigt in einigen Gebieten der Chloridgehalt auf knapp 80 mg/l und der Nitratgehalt auf über 100 mg/l an. Besonders hohe Nitratkonzentrationen in Wässern des Unteren Muschelkalks wurden in den Weinbaugebieten von Thüngersheim und Retzstadt (zwischen Würzburg und Gemünden) gemessen.

Die durchschnittliche Sulfatkonzentration beträgt etwa 50 mg/l. Auch sie unterliegt großen Schwankungen, von weniger als 10 mg/l bis gebietsweise zu etwa 150 mg/l. Die erhöhten Werte können aus der Düngung stammen, wenn sie zusammen mit höheren Nitrat- und/oder Chloridkonzentrationen auftreten. Ebenso ist eine Beeinflussung durch Gipsabsonderungen im Röt des Oberen Buntsandsteins (z. B. bei aus Brunnen gefördertem Wasser) oder durch die Gipsvorkommen im Mittleren Muschelkalk (bei Überlagerung durch diesen: Aufhärtung während der Passage der ungesättigten Zone) möglich. – Mit einem mittleren pH-Wert von 7,4 liegen alle Wässer im basischen Bereich bzw. nahe am Neutralpunkt.

Bei den Kationen herrscht eine deutliche Calcium-Vormacht mit 110 mg/l im Mittel vor. Die Magnesiumkonzentrationen liegen um 20 mg/l, sie können gebietsweise bis 40 mg/l steigen. Bei den Alkalien lassen sich vereinzelt erhöhte Werte feststellen. So treten Kalium-Werte bis 13 mg/l (im Durchschnitt 2 mg/l) und Natriumgehalte bis über 27 mg/l (im Durchschnitt 5 mg/l) oft zusammen mit Chlorid- und Nitratkonzentrationen auf, die über dem Durchschnitt liegen. Hier kann eine Beeinflussung der Wässer durch die Landwirtschaft angenommen werden.

Angaben zur Sauerstoffsättigung liegen nur für Teilgebiete vor. Sauerstoffdefizite lassen sich v. a. bei aus Brunnen geförderten Wässern beobachten. – Bei reduzierten Wässern können erhöhte Eisenkonzentrationen von bis zu 0,5 mg/l auftreten. Solche Wässer müssen vor ihrer Verwendung als Trinkwasser aufbereitet werden.

In allen Analysen-Fällen, bei denen das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht berechnet wurde, konnte keine aggressive Kohlensäure festgestellt werden. Dieser Befund läßt sich aufgrund des karbonatischen Chemismus des Grundwasserleiters für die Wässer des Unteren Muschelkalkes verallgemeinern.

5.6.2 Mittlerer Muschelkalk

Für den Mittleren Muschelkalk standen ca. 20 Vollanalysen zur Verfügung. Somit ist nur ein tendenzieller Vergleich mit den Wässern des Unteren Muschelkalks möglich. In Bezug auf die elektrische Leitfähigkeit kann man Wässer mit durchschnittlich 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ von solchen mit durchschnittlich 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Maxima knapp 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) trennen.

Die Wässer des Mittleren Muschelkalks können im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) im allgemeinen als "Normal erdalkalische Wässer" bezeichnet werden (Abb. 29). Dabei lassen sich Wässer mit hydrogenkarbonatischer von solchen mit sulfatischer Betonung unterscheiden. Daneben können auch hydrogenkarbonatisch-sulfatische Wässer beobachtet werden. Untergeordnet tritt der Grundwassertyp "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt" auf.

Die vorwiegend hydrogenkarbonatischen Wässer ähneln hinsichtlich ihres Gesamtchemismus tendenziell denen des Unteren Muschelkalks. Bei durchschnittlichen Hydrogenkarbonat-Werten von 370 mg/l liegen die Sulfatwerte deutlich unter 100 mg/l.

Beim Typ hydrogenkarbonatischer bis sulfatischer Wässer, sowie bei den vorwiegend sulfatischen Wässern steigt der Sulfatgehalt bei gleichbleibender Hydrogenkarbonat-Konzentration auf Werte um 370 mg/l an und kann lokal sogar weit über 1000 mg/l erreichen. Dieses Sulfat stammt vorwiegend aus den Gipsen und Anhydriten des Mittleren Muschelkalks. Parallel dazu nehmen bei einigen der Wässer im Raum Kitzingen die Chloridkonzentrationen auf über 70 mg/l zu, während sie allgemein um 20 mg/l schwanken. Lokal treten Solen auf, deren Lösungsinhalt aus der Salinarfazies des Mittleren Muschelkalks stammt. Diese Wässer sind für Trinkwasserzwecke nicht geeignet.

Die Nitratgehalte bewegen sich im Mittel um 40 mg/l, was auf eine deutliche Beeinflussung durch Düngung hinweist. Abhängig von der Sulfatkonzentration lassen sich bei niedrigen Sulfatgehalten

Gesamthärten um 23 °dH feststellen, während sie in Wässern mit erhöhten Sulfatgehalten bei durchschnittlich 46 °dH liegen und in stark sulfatbetonten Wässern auf bis zu 100 °dH steigen können. Die Karbonathärten schwanken einheitlich um 17 °dH, weil das Karbonatlösungspotential gleichbleibend ist.

Mit durchschnittlich 35 mg/l und maximal 70 mg/l zeigt die Magnesiumkonzentration gegenüber dem Unteren Muschelkalk leicht erhöhte Tendenz. Die Calciumwerte schwanken um 140 mg/l. Während die unbeeinflussten Kaliumgehalte zwischen 2 und 3 mg/l liegen, weisen einige Analysen Kaliumwerte bis zu 8 mg/l aus. Diese Wässer stehen zumeist in Verbindung mit erhöhten Chlorid- und Nitratgehalten. Bei einem durchschnittlichen pH-Wert von 7,2 sind die Wässer zumeist neutral bis schwach alkalisch.

Repräsentative Angaben über Gehalte an aggressiver Kohlensäure fehlen; aufgrund der lithologischen Voraussetzungen sind allerdings nur geringe Gehalte zu erwarten.

Relativ viele der untersuchten Wässer aus dem Mittleren Muschelkalk weisen deutliche Sauerstoffdefizite auf. Diese sind häufig verbunden mit geringen Ammoniumkonzentrationen (um 0,1 mg/l) sowie gelegentlich erhöhten Eisengehalten. Die Sauerstoffdefizite belegen eine verhältnismäßig lange Verweildauer im Untergrund.

5.6.3 Oberer Muschelkalk

Es liegen ca. 70 Vollanalysen von Wässern des Oberen Muschelkalks vor. Diese sind vergleichsweise stark mineralisiert. Es lassen sich elektrische Leitfähigkeiten zwischen knapp 300 und ca. 1100 µS/cm, bei einem Mittelwert von etwa 750 µS/cm feststellen. In Abb. 30 kommen die Wässer einheitlich in die Feldergruppe der "Normal erdalkalischen Wässer, überwiegend hydrogencarbonatisch" bzw. "hydrogencarbonatisch-sulfatisch" zu liegen, sie ähneln hierin den Wässern des Unteren Muschelkalks. Die Gesamthärten bewegen sich um 26 °dH, somit sind die Wässer als hart, teilweise als sehr hart zu bezeichnen. Der Anteil der Karbonathärte beträgt im Mittel ca. 19 °dH.

Der Hydrogencarbonatgehalt liegt relativ einheitlich im Durchschnitt bei 400 mg/l, wobei Maxima bis 610 mg/l auftreten. Im Gegensatz dazu schwanken die Werte für Sulfat, Nitrat und Chlorid vergleichsweise stark. Vorherrschend sind Wässer mit einem durchschnittlichen Sulfatgehalt von ca. 50 mg/l, vereinzelt treten jedoch solche mit bis zu etwa 135 mg/l Sulfat auf. Falls es sich nicht um Mischwässer aus Oberem und Mittlerem Muschelkalk handelt (vgl. "Mischwässer"), stehen solche Wässer stets in Verbindung mit hohen Chloridwerten, die mit bis zu 125 mg/l über dem Durchschnitt von 42 mg/l liegen. Die Nitratwerte betragen in derartigen Wässern maximal rund 150 mg/l und unterscheiden sich damit von den durchschnittlich vorkommenden 30 bis 35 mg/l. Die hohen Sulfatwerte in Verbindung mit gleichfalls erhöhten Nitrat- und Chloridwerten treten in stärkerem Maße in Gebieten auf, in denen intensiver Wein- und Gemüseanbau betrieben wird (Räume Würzburg, Kitzingen, Volkach und Prichsenstadt). Somit dürften die überdurchschnittlichen Gehalte der genannten Inhaltsstoffe aus der Düngung stammen.

Die Wässer aus dem Oberen Muschelkalk reagieren bei einem mittleren pH-Wert von 7,4 allgemein neutral bis schwach alkalisch.

Bei den Kationen ist im Vergleich mit den ähnlich klassifizierten Wässern des Unteren Muschelkalks eine deutliche Tendenz zu erhöhten Magnesiumwerten festzustellen (Abb. 30). Bei durchschnittlichen Konzentrationen um 45 mg/l liegen die höchsten Magnesiumgehalte bei 90 mg/l. Die Mittelwerte für das Calcium bewegen sich um 120 mg/l. Vergleichsweise niedrig sind die Natriumwerte mit durchschnittlich 9 mg/l. Der mittlere Kaliumgehalt schwankt um 3 mg/l; Maximalwerte von 5 mg/l treten zusammen mit erhöhten Chlorid-, Nitrat- und Sulfatgehalten auf und sind anthropogen bedingt.

Für Teilgebiete liegen Daten über die Sauerstoffsättigung vor. Hierbei lassen v. a. aus Brunnen geförderte Wässer deutliche Sauerstoffdefizite erkennen, die gelegentlich mit erhöhten Eisenkonzentrationen verknüpft sind.

"Mischwässer"

Von "Mischwässern" aus dem Oberen und Mittleren Muschelkalk liegen ca. 50 Vollanalysen vor. Es handelt sich zum einen um Wässer, die im Oberen Muschelkalk austreten und deren Chemismus durch hydraulische Kurzschlüsse über Klüfte und Spalten vom liegenden Mittleren Muschelkalk beein-

flußt wird, zum anderen um echte Mischwässer aus Oberem und Mittlerem Muschelkalk. Letztere liegen vor, wenn z. B. ein Brunnen aus beiden Horizonten gleichzeitig fördert oder aber durch die Förderung Wasser über Klüfte und Spalten an Störungssystemen aus dem unter der Brunnensohle liegenden Mittleren Muschelkalk angesaugt wird. Diese Effekte bedingen einen von den Wässern des Oberen Muschelkalks abweichenden Chemismus, der sich vor allem in einer stärkeren Sulfatbetonung äußert.

Bei diesen Vorkommen handelt es sich entsprechend der Klassifizierung von FURTAK & LANGGUTH (1967) um "Normal erdalkalische Wässer" bzw. um "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt". Hinsichtlich der Anionen können sie von "überwiegend sulfatisch" bis "überwiegend chloridisch" eingestuft werden (vgl. Abb. 30). Sie weisen bei einem Mittelwert ihrer elektrischen Leitfähigkeit von 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eine Gesamthärte von 40 $^\circ\text{dH}$ mit Maxima über 100 $^\circ\text{dH}$ auf, wobei der Anteil der Karbonathärte zwischen 10 $^\circ\text{dH}$ und 25 $^\circ\text{dH}$ schwankt und zumeist bei ca. 20 $^\circ\text{dH}$ liegt.

Die Hydrogenkarbonat-Konzentration ist mit Werten zwischen 200 und 550 mg/l (mittlerer Gehalt 400 mg/l) derjenigen unbeeinflusster Wässer aus dem Oberen Muschelkalk gleich. – Der durchschnittliche Chloridgehalt beträgt 33 mg/l. Einige wenige Wässer auf dem Gebiet der Kartenblätter Nr. 5928 Obertheres und Nr. 6027 Grettstadt fallen mit Maxima bis 250 mg/l auf. Diese im Maintalbereich austretenden Wässer sind, wie einige chloridbetonte Mineralwässer im Umfeld von Kitzingen, durch Salzvorkommen im Mittleren Muschelkalk beeinflusst.

Hinsichtlich des Sulfatgehaltes lassen sich Wässer mit weniger als 100 mg/l – ihr Durchschnittswert schwankt um 60 mg/l – von solchen mit mehr als 100 mg/l – hier liegt der Mittelwert bei 500 mg/l – trennen. Die erhöhten Sulfatwerte spiegeln die Beeinflussung durch die Sulfatfazies des Mittleren Muschelkalks wider. Die bereits erwähnten hohen Chloridwerte auf den Blattgebieten Nr. 6027 Grettstadt und Nr. 5928 Obertheres stehen immer in Verbindung mit Sulfatkonzentrationen über 1000 mg/l. Die Tatsache, daß bei diesen Vorkommen die Nitratgehalte unter 5 mg/l liegen, läßt vermuten, daß es sich hier um reduzierte Wässer handelt. – Die Nitratgehalte der Mischwässer weisen einen Durchschnittswert von 17 mg/l auf und übersteigen mit Maxima von knapp 150 mg/l vergleichsweise selten die 50-mg/l-Marke. Die höchsten beobachteten Nitratbelastungen finden sich in den Gebieten der Meßtischblätter Nr. 5927 Schweinfurt, Nr. 6127 Volkach und Nr. 6326 Ochsenfurt; also in Bereichen, in denen intensiv Landwirtschaft und Weinbau betrieben werden.

Die mittleren Calciumkonzentrationen liegen bei 150 mg/l; bei starker Sulfatbetonung können allerdings Calciumgehalte bis zu 670 mg/l erreicht werden. Ähnlich wie bei den Wässern aus dem Oberen Muschelkalk werden auch hier relativ hohe Magnesiumkonzentrationen von durchschnittlich 50 mg/l angetroffen. Die Natriumwerte schwanken im allgemeinen um 15 mg/l. Sie können jedoch bei erhöhten Chloridgehalten deutlich (bis auf 120 mg/l) ansteigen. Die Kaliumkonzentrationen zeigen mit durchschnittlich 4 mg/l und Maximalwerten um 9 mg/l erhöhte Tendenz. – Die Erhöhung der Alkalien-Anteile kann bei dieser Wassergruppe sowohl geogene als auch anthropogene Ursachen haben.

Der durchschnittliche pH-Wert der Mischwässer aus Oberem und Mittlerem Muschelkalk beträgt 7,2. Die Wässer reagieren somit neutral bis leicht alkalisch. – Aufgrund des Gesteinschemismus kann davon ausgegangen werden, daß diese Wässer weitgehend frei von aggressiver Kohlensäure sind; allerdings liegen hierüber keine Daten vor.

Bei der überwiegenden Anzahl der aus Brunnen geförderten Mischwässer sowie bei den im Maintal aufsteigenden chloridbetonten Quellwässern wurden deutliche Sauerstoffdefizite festgestellt.

5.7 Keuper

5.7.1 Unterer Keuper

Zur Beurteilung des Grundwassers im Unteren Keuper standen ca. 180 Vollanalysen zur Verfügung. Davon stellen 24 Proben Mischwässer zwischen dem Stockwerk des Oberen Muschelkalks und dem des Unteren Keupers dar. – Die hohe Anzahl der Analysen erklärt sich durch eine hohe Anzahl von Grundwasseraufschlüssen auf der relativ großen Ausstrichsbreite des Unteren Keupers. Dennoch ist der Untere Keuper wasserwirtschaftlich wenig bedeutsam.

Die Wässer wechseln von schwach bis sehr stark mineralisiert. Die elektrische Leitfähigkeit schwankt von wenigen 100 bis über 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, bei einem Mittelwert von etwa 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Diese Unterschied-

lichkeit der Mineralisierungsgrade, wie auch die verschiedenartige Betonung der Wässer aus Gesteinen des Unteren Keupers ist auf die differenzierte Lithologie des Anstehenden, auf Mächtigkeit und Ausbildung der Deckschichten sowie auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen.

Zwar stellen die wichtigsten Grundwasserleiter im Unteren Keuper Sandsteinhorizonte dar, deren Grundwasser, geogen bedingt, primär nur schwach mineralisiert ist. Die bei der Grundwasserneubildung erfolgende Passage des Sickerwassers durch zwischengelagerte Kalksteinbänke bzw. z. T. mächtig ausgebildete Lößüberdeckung bewirkt allerdings eine deutliche Aufhärtung. Darüber hinaus wird der flachwellige Ausstrich des Unteren Keupers gebietsweise intensiv landwirtschaftlich genutzt. In Abhängigkeit von dieser Nutzung können die Konzentrationen der Stoffe Nitrat, Chlorid und Sulfat die entsprechenden geogenen Gehalte um ein Vielfaches übersteigen.

Die vorliegenden Wässer aus dem Unteren Keuper können im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch" bzw. "hydrogenkarbonatisch-sulfatisch" klassifiziert werden (Abb. 32). Ihre Gesamthärte beträgt im Mittel etwa 30 °dH, bei einer durchschnittlichen Karbonathärte von 18 °dH. In stark anthropogen beeinflussten Wässern kann die Gesamthärte bis auf 70 °dH ansteigen.

Der mittlere Hydrogenkarbonatgehalt liegt bei 400 mg/l, wobei die Werte im allgemeinen zwischen etwa 20 und knapp 600 mg/l schwanken. Mächtige Lößüberdeckungen und/oder die Passage des Sickerwassers durch karbonatreiche Sedimente bewirken einen Anstieg der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen.

Der mittlere Chloridgehalt der vorliegenden Wässer beträgt etwa 65 mg/l. Maximalwerte von ca. 200 mg/l Chlorid werden gehäuft in den Gebieten der Kartenblätter Nr. 6426 Aub, Nr. 6326 Ochsenfurt und Nr. 6026 Werneck beobachtet. Insbesondere im Ochsenfurter Gau und wahrscheinlich auch im Raum von Aub sind diese hohen Chloridwerte auf die intensive landwirtschaftliche Nutzung (Düngung) zurückzuführen, während bei Werneck aufsteigende chloridreiche Tiefenwässer das Grundwasser im Unteren Keuper beeinflussen.

Die Nitratbelastung ist im Ausstrich des Keupers unterschiedlich stark. Hohe Nitratgehalte von meist über 50 mg/l treten in den intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten, so z. B. im Maindreieck, südlich und östlich davon und im Maintalbereich auf. Dabei können Maximalwerte bis zu 130 mg/l erreicht werden. Außerhalb dieser Gebiete sinken die Nitratgehalte zumeist auf unter 50 mg/l.

Die meisten Wässer weisen Sulfatgehalte um 50 mg/l auf. Von diesen läßt sich eine Gruppe mit deutlich höheren Sulfatwerten abtrennen. Darin werden Konzentrationen zwischen 90 und 200 mg/l sowie Maximalwerte bis zu 1000 mg/l erreicht. Derart hohe Sulfatgehalte treten v. a. in solchen Grundwasservorkommen des Unteren Keupers auf, in deren Einzugsbereich Mittlerer Keuper ansteht. Dort laugt das Sickerwasser bei der Passage durch den Grundgips des Mittleren Keupers und/oder durch lokal im Grenzdolomit ausgebildete Gipslagen und -linsen den Gips aus und mischt sich schließlich im eigentlichen Grundwasserleiter mit geringer mineralisiertem Keuperwasser. – Bereichsweise können bei entsprechendem Calciumdefizit erhöhte Sulfatwerte auch auf Düngung zurückzuführen sein; Konzentrationen von einigen 100 mg/l dürften jedoch eher geogene Ursachen haben.

Die Calciumgehalte variieren von 30–250 mg/l, bei einem Mittelwert von 110 mg/l. Das Calcium ist meist an das Sulfat bzw. das Hydrogenkarbonat gebunden. Diese weisen ihrerseits, mehrheitlich geogen bedingt, große Schwankungsbreiten auf. Daher dürften die sehr unterschiedlichen Calciumkonzentrationen ebenfalls vorwiegend geogene Ursachen haben.

Die Magnesiumkonzentrationen liegen zumeist um oder unter 50 mg/l; teilweise treten allerdings Gehalte bis zu 110 mg/l auf, die oft in Zusammenhang mit erhöhten Sulfatwerten stehen. Dies kann vorwiegend anthropogene Gründe haben, denn zahlreiche Volldünger besitzen deutliche Gehalte an Magnesiumsulfat (KANZ, 1980).

Die Summe der Alkalien liegt mehrheitlich unter 20 mg/l. So schwanken die Natriumkonzentrationen meist um 10 mg/l, die Kaliumkonzentrationen um 4 mg/l. Häufig können erhöhte Alkaliengehalte mit überdurchschnittlich hohen Chlorid- und Nitratwerten in Beziehung gebracht werden (Düngung).

Allerdings lassen erhöhte Alkalien-Konzentrationen auch darauf schließen, daß es sich hierbei um Austauschwässer handeln könnte. Derartige Wässer werden von sechs Vollanalysen aus dem Grabfeld

bzw. dem Hesselbacher Waldland repräsentiert. Sie zeichnen sich durch stark erhöhte Natriumgehalte zwischen 40 und 120 mg/l aus. Die Nitrat- und Chloridkonzentrationen dieser Wässer sind mehrheitlich relativ niedrig, so daß ein anthropogener Einfluß weitgehend ausgeschlossen werden kann.

Vier dieser Wässer werden aus Brunnen im Umfeld von Lendershausen (bei Hofheim i. Ufr.) aus dem Grenzbereich Muschelkalk — Keuper gefördert. — Die Wässer zeigen unterschiedlich hohe Calcium-, Magnesium- und Natriumkonzentrationen. Die Sulfatgehalte schwanken zwischen 50 und 340 mg/l, die Hydrogenkarbonatgehalte zwischen 500 und 800 mg/l. Es wird angenommen, daß diese Wässer durch stärker mineralisierte Tiefenwässer, möglicherweise im Gefolge der Vulkanite der Heldburger Gangschar, beeinflußt werden; zumal der Säuerling von Lendershausen (Tab. 16 c, Nr. 74, Nr. 75) nur ca. 1 km von diesen Brunnen entfernt ist. — Ein vergleichbarer Grundwassertyp, mit wahrscheinlich ähnlicher Genese, wurde durch eine Sondierungsbohrung in der Abersfelder Mulde (Gebiet des Kartenblattes Nr. 5928 Obertheres) erschlossen (BÜTTNER, 1981, 1984).

Ein weiteres Austauschwasser fördert der Brunnen von Ottelmannshausen (nördlich von Bad Königshofen). Sein Wasser wird durch sehr hohe Natrium- und Kaliumgehalte von 106 bzw. 21 mg/l, bei Sulfatkonzentrationen von über 1000 mg/l charakterisiert. Die hohen Sulfatwerte dürften mit dem überlagernden, gipsführenden Mittleren Keuper in Beziehung zu bringen sein.

Die Eisengehalte der Wässer aus dem Unteren Keuper übersteigen häufig 0,1 mg/l; Maximalwerte erreichen immerhin 5 mg/l. Der Eisengehalt stammt meist von eisenreichen Sandsteinen. Demgegenüber betragen die Mangankonzentrationen meist unter 0,1 mg/l.

Der durchschnittliche pH-Wert liegt bei 7,3. Die Wässer reagieren somit überwiegend neutral. Dabei können schwach mineralisierte Wässer (deren Einzugsgebiet von kaum bedeckten Sandsteinen gebildet wird) pH-Werte <7 aufweisen.

Größtenteils zeigt das Grundwasser des Unteren Keupers erhebliche Sauerstoffdefizite. — Daten über die Kalkaggressivität lagen nicht vor. Aufgrund des im Unteren Keuper vorherrschenden Gesteinschemismus (im allgemeinen karbonatarm) lassen jedoch nur die schwächer mineralisierten Wässer aggressive Kohlensäure erwarten.

Neben den Wässern aus dem Unteren Keuper wurden auch 20 Mischwässer aus Oberem Muschelkalk und Untere Keuper erfaßt. Diese zeigen tendenziell keine großen Unterschiede zum Chemismus der Wässer aus dem Unteren Keuper. Allerdings sind ihre Sulfatwerte leicht erhöht; sie schwanken im allgemeinen zwischen 100 und 200 mg/l.

5.7.2 Gipskeuper

Vom Grundwasser aus dem Gipskeuper liegen 50 Vollanalysen vor. Wie bereits der Name "Gipskeuper" andeutet, werden die meisten dieser Wässer chemisch von Sulfatgesteinen geprägt. Das Schichtpaket, in dem Gips in Lagen und Linsen bzw. als Imprägnation auftritt, wird vom Grundwasser auf Schichtfugen und Klüften durchsetzt und dabei mehr oder weniger stark ausgelaugt. Der Gipskeuper ist aufgrund der geringen Ergiebigkeiten sowie der häufig sehr hohen Gesamtmineralisation seiner Wässer wasserwirtschaftlich unbedeutend; davon ausgenommen ist die sandige Fazies im südöstlichen Bruchschollenland.

Bezüglich der Sulfatgehalte können verschiedene Grundwassertypen ausgeschieden werden, die ihrerseits charakteristische Gesamtmineralisationen aufweisen (Abb. 33):

- So verfügen Wässer mit weniger als 100 mg/l (im Mittel ca. 40 mg/l) Sulfat in der Regel über elektrische Leitfähigkeiten um 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$; sie können im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch" typisiert werden. Die mittlere Gesamthärte solcher Wässer liegt etwa bei 20 °dH, die durchschnittliche Karbonathärte bei 17 °dH. Derartige Wässer stammen meist aus dem Schilfsandstein bzw. dem Benker Sandstein, der in diesem Fall nicht (oder nur unwesentlich) von sulfatreichen Sickerwässern des Hangenden beeinflußt wird.
- Eine zweite Gruppe bilden Wässer mit Sulfatgehalten zwischen 100 und 500 mg/l bzw. mit durchschnittlich 250 mg/l. Diese weisen elektrische Leitfähigkeiten um 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf und können im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, hydrogenkar-

bonatisch-sulfatisch" bezeichnet werden. Die mittlere Gesamthärte erreicht etwa 35 °dH, wobei die Karbonathärte bei diesen Wässern ca. 20 °dH beträgt. Es handelt sich hierbei um Vorkommen in Sandsteinhorizonten (Schilfsandstein und Benker Sandstein) sowie in Steinmergelbänken, die über hydraulische Kurzschlüsse von Sickerwässern aus den gipsführenden Tonsteinen beeinflusst werden. Zudem führt der Benker Sandstein bereichsweise Gipslagen, die zu einer Aufhärtung des Wassers führen können. Weiterhin können derart charakterisierte Wässer aus ausgelaugten Partien der Gipslagen bzw. des Gipskarstes (Grundgips) stammen.

- Schließlich kann eine dritte Gruppe mit Sulfatgehalten von über 600 mg/l ausgeschieden werden. Die Mittelwerte schwanken dabei um 1300 mg/l Sulfat, die Maximalwerte erreichen ca. 1600 mg/l. Diese Wässer sind stark mineralisiert und weisen elektrische Leitfähigkeiten von durchschnittlich knapp 2300 µS/cm auf. Sie können im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend sulfatisch" typisiert werden. Ihre mittlere Gesamthärte beträgt ca. 95 °dH, die Karbonathärte 18 °dH. Solche Wässer sind aufgrund ihres hohen Mineralisierungsgrades als Trinkwasser unbrauchbar. Sie entstammen meist dem Gipskarst (Grundgips).

Die Hydrogenkarbonatgehalte schwanken insgesamt zwischen 10 und knapp 600 mg/l, wobei die meisten Werte nahe am Mittelwert von 390 mg/l liegen. – Die Chloridkonzentrationen bewegen sich durchschnittlich um 30 mg/l; Maximalwerte erreichen knapp 70 mg/l. Dies weist, wie auch die vergleichsweise niedrigen Nitratgehalte, auf eine geringe anthropogene Beeinflussung der Wässer hin. So beträgt die mittlere Nitratkonzentration nur etwa 25 mg/l; wenige Wässer erreichen 50 mg/l.

Eng mit den Sulfatgehalten sind die Calciumkonzentrationen verknüpft. So zeigen die relativ gering mineralisierten Wässer, mit unter 100 mg/l Sulfat, durchschnittliche Calciumwerte von 80 mg/l und ein ausgeglichenes Calcium/Magnesium-Verhältnis (1:1). Bei den stärker mineralisierten Wässern der zweiten Gruppe steigt der mittlere Calciumgehalt auf 120 mg/l an; diese Wässer sind leicht calciumbetont. Demgegenüber besitzen Wässer mit über 600 mg/l Sulfat eine deutliche Calcium-Vormacht; die Calciumgehalte erreichen hier im Mittel 500 mg/l. Dabei verschiebt sich das Calcium/Magnesium-Verhältnis auf ca. 3:1.

Die Magnesiumwerte betragen durchschnittlich 70 mg/l. Bei höheren Sulfatgehalten steigen sie tendenziell an und erreichen vereinzelt Höchstwerte bis 160 mg/l.

Die Alkalien treten im Gegensatz zu den Erdalkalien stark zurück. Das Natrium erreicht im Mittel ca. 15 mg/l, bei Maximalwerten von 40 mg/l. Der Kaliumanteil ist mit 6 mg/l im Durchschnitt und Höchstkonzentrationen bis 20 mg/l, verglichen mit anderen Grundwasserleitern, relativ hoch. Es wird angenommen, daß die hohen Kaliumkonzentrationen aus der Düngung stammen.

Bedingt durch die hohen Calciumgehalte sind alkalibetonte Austauschwässer im Gipskeuper selten. Natriumgehalte von 40 mg/l und mehr wurden stets zusammen mit sehr hohen Calciumkonzentrationen beobachtet.

Der durchschnittliche pH-Wert liegt bei 7,2. Die Wässer reagieren überwiegend neutral. – Daten zur Sauerstoffsättigung sowie über aggressive Kohlensäure lagen nur in ungenügender Anzahl vor; daher wird auf weitere Interpretationen verzichtet.

5.7.3 Sandsteinkeuper

Vom Grundwasser des Sandsteinkeupers liegen ca. 70 Vollanalysen vor. Obwohl die grundwasserführenden Horizonte hier relativ einheitlich von Sandsteinen gebildet werden, bewirken zwischengeschaltete Gips-, Anhydrit- und Dolomittagen sowie sulfatische und karbonatische Bindemittel der sandigen Abfolgen unterschiedlich hohe Aufhärtungen.

Daher betragen die mittleren elektrischen Leitfähigkeiten immerhin etwa 600 µS/cm; Maximalwerte von über 1000 µS/cm werden allerdings nur selten erreicht. Typmäßig läßt sich die Mehrzahl der Wässer im Sinne von Furtak & Langguth (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch" bezeichnen. Daneben können jeweils einige Vorkommen als "Normal erdalkalische Wässer, hydrogenkarbonatisch-sulfatisch" bzw. "überwiegend sulfatisch", als "erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt, überwiegend hydrogenkarbonatisch" bzw. "überwiegend sulfatisch" sowie als "Alkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch" klassifiziert werden (Abb. 34). – Die mittlere Karbonathärte beträgt 14 °dH. Der Mittelwert der Gesamthärte liegt mit 19 °dH nur knapp

darüber; Maximalwerte steigen allerdings bis auf über 70 °dH an. Zum Teil ist die Karbonathärte größer als die Gesamthärte; dies kann als Hinweis auf das Vorhandensein von Austauschwässern gedeutet werden.

Die durchschnittlichen Hydrogenkarbonatgehalte betragen in der Regel 300 mg/l und erreichen vereinzelt 550 mg/l. Als Ursprung des Hydrogenkarbonates kommen karbonatische Lagen in den Sandsteinen (z. B. die "Dolomitische Arkose") sowie karbonatisch gebundene Sandsteine in Betracht. Einige wenige, allgemein schwach mineralisierte Wässer führen Hydrogenkarbonat-Konzentrationen von weniger als 100 mg/l, z. T. sogar weniger als 50 mg/l. Sie erscheinen in der Ionenbilanz als sulfatbetonte Wässer, trotz gleichzeitig niedriger Sulfatwerte (ca. 40 mg/l), da bei dieser Betrachtung der Sulfatanteil relativ stärker bewertet wird als der Hydrogenkarbonatanteil.

Aufgrund ihrer Sulfatgehalte können die Wässer aus dem Sandsteinkeuper in zwei genetisch unterschiedliche Gruppen eingeteilt werden. So lassen sich Wässer mit Sulfatgehalten von 100 bis knapp 1000 mg/l (wobei die Mehrzahl dieser Gruppe unter 500 mg/l liegt) von solchen mit Sulfatkonzentrationen von unter 100 mg/l und Mittelwerten bei 40 mg/l unterscheiden. Während erstere ihren Lösungsinhalt aus Gips- und Anhydritlagen und -linsen sowie aus stark sulfatisch gebundenen sandigen Sedimenten beziehen, entstammen die Wässer mit den niedrigen Sulfatgehalten aus nahezu gipsfreien Sandsteinpaketen.

Da der Ausstrich des Sandsteinkeupers zum überwiegenden Teil nur einer geringen landwirtschaftlichen Nutzung unterliegt, schwanken die mittleren Werte für Chlorid und Nitrat lediglich um 15 mg/l. In einer Quelle, die im Gebiet des Kartenblattes Nr. 6128 Ebrach unmittelbar an der Bundesstraße 22 liegt, wurden ca. 170 mg/l Chlorid gemessen. Das ist ein augenfälliges Beispiel für die Einwirkungen des Streusalzes auf das Grundwasser.

Die Calciumgehalte der vergleichsweise gering mineralisierten Wässer aus dem Sandsteinkeuper liegen im Mittel unter 20 mg/l. Die höher mineralisierten Wässer führen dagegen durchschnittlich etwa 70 mg/l Calcium; Höchstwerte von über 200 mg/l sind selten. Ebenso bleiben die Magnesiumkonzentrationen bei den geringer mineralisierten Wässern unter 10 mg/l, während sie bei den stärker mineralisierten um 40 mg/l schwanken. – In der Ionenbilanz erreicht das Magnesium häufig über 40 % der Kationensumme; somit ist das Calcium/Magnesium-Verhältnis nahezu ausgeglichen.

Die Mehrzahl der Wässer weist geogen bedingt geringe Alkaliwerte auf, was zugleich auf das Fehlen einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung hindeuten kann. Es wurden durchschnittliche Natriumgehalte von 6 mg/l (mit Maximalwerten von 15 mg/l) und mittlere Kaliumgehalte von 3,5 mg/l analysiert. Allerdings gibt es auch Wässer mit höheren Alkalianteilen, bei zugleich niedrigen Nitrat- und Chloridwerten. Es handelt sich dabei um Austauschwässer des Natrium-Sulfat- bzw. des Natrium-Hydrogenkarbonat-Typs. Diese sind in Abb. 35 als Detail der Abb. 34 dargestellt. (Für diese Darstellung erschien es sinnvoll, Wässer mit Alkalien-Konzentrationen zwischen 20 und 50 mg/l von solchen mit Gehalten von über 50 mg/l abzutrennen.) Wässer mit höheren Alkaligehalten können im Sandsteinkeuper bis zu 180 mg/l Natrium und bis zu 15 mg/l Kalium führen. Der Alkalienanteil dieser Wässer beträgt in der Kationensumme meist mehr als 30 %, teilweise sogar über 50 % (Abb. 35). Gleichzeitig ist die Karbonathärte größer als die Gesamthärte und die Sulfatgehalte betragen in der Regel über 100 mg/l.

Die Eisen- und Manganwerte übersteigen bei Wässern aus dem Sandsteinkeuper nur selten 0,1 mg/l; die höchsten Konzentrationen liegen für Eisen bei 0,5 mg/l, für Mangan bei 0,3 mg/l. Erhöhte Eisen- und Manganhalte dürften aus Sandsteinen stammen.

Der durchschnittliche pH-Wert liegt bei 7,2. Insbesondere die gering mineralisierten Wässer können schwach sauer reagieren, wohingegen die stärker mineralisierten meist neutralen bzw. schwach alkalischen Charakter aufweisen.

Einige Wässer weisen teils erhebliche Sauerstoffdefizite auf. Zu diesen gehören vor allem die Austauschwässer, was auf ihre längere Verweildauer im Untergrund hindeutet. Bei der Mehrzahl der Proben macht jedoch die Sauerstoffsättigung über 60 % aus.

Aussagen über freie bzw. aggressive Kohlensäure können nicht getroffen werden, da hierfür nicht genügend Daten vorliegen.

5.8 Rhätlias und Lias

Der Rhätlias ist, wasserwirtschaftlich betrachtet, als Grundwasserleiter nur von untergeordneter Bedeutung; der Lias ist unbedeutend. Daher liegen aus diesen stratigraphischen Bereichen nur wenige Vollanalysen vor: elf von Wässern aus Rhätlias-Sandsteinen und zwei von Wässern aus dem kalkigen Lias.

Aufgrund der geringen Analysenzahl können in Bezug auf die Hydrochemie keine statistisch gesicherten Aussagen getroffen werden; es lassen sich nur Bereiche abstecken und Tendenzen herausarbeiten.

Die Wässer aus den Rhätlias-Sandsteinen lassen sich im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer" charakterisieren. Die Einstufung bezüglich der Anionen streut von "überwiegend sulfatisch" über "hydrogenkarbonatisch-sulfatisch" bis zu "überwiegend hydrogenkarbonatisch" (Abb. 36).

Die Wässer sind überwiegend nur gering mineralisiert, mit durchschnittlichen Karbonathärten von 8 °dH und mittleren Gesamthärten von etwa 12 °dH. Die Hydrogenkarbonatgehalte schwanken im allgemeinen zwischen 50 und 200 mg/l. Erhöhte Hydrogenkarbonatwerte dürften ursächlich auf karbonatisches Bindemittel der Sandsteine und/oder auf hydraulische Kurzschlüsse zu dem in karbonatischen Bänken des Hangenden zirkulierenden Wasser zurückzuführen sein.

Wie schon in der Typisierung angedeutet, weisen die Sulfatkonzentrationen große Unterschiede auf. So stehen Gehalte von unter 40 mg/l Maximalwerten von 250 mg/l gegenüber. Die hohen Sulfatkonzentrationen dürften weitgehend geogene Ursache haben und wahrscheinlich auf Auslaugung von in die Schichtenfolge eingelagerten Gipsschnüren zurückzuführen sein.

Da der Ausstrich der Rhätlias-Sandsteine weitgehend mit Wald bestanden ist, sind die Nitrat- und Chloridwerte tendenziell niedrig; sie liegen meist unter 10 mg/l. In Abhängigkeit von der Nutzung des Einzugsgebietes des jeweiligen Grundwasserkörpers können sie allerdings auch Maximalwerte von knapp 50 mg/l erreichen. Die Calciumgehalte schwanken, in Abhängigkeit von den Hydrogenkarbonat- bzw. Sulfat-Konzentrationen, zwischen 40 und 80 mg/l, die Magnesiumkonzentrationen zwischen 10 und 55 mg/l.

Die meisten der untersuchten Wässer weisen nur geringe Alkaliengehalte von etwa 8–12 mg/l auf, ihr prozentualer Anteil tritt gegenüber den Erdalkalien stark zurück. – Abweichend davon erreichen die Alkalien in einigen Austauschwässern über 15 % der Gesamtkationen. Zu solchen Austauschwässern zählen zwei Vorkommen aus dem Raum Oberlauringen, die gemäß der Einteilung nach FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt, überwiegend sulfatisch" zu typisieren sind. Der primäre Chemismus dieser Rhätlias-Quellwässer wird vermutlich durch entlang der Haßberg-Randstörung aufsteigende Tiefenwässer überprägt. – Darüber hinaus fallen zwei weitere untersuchte Grundwasserproben aus Rhätsandsteinen durch erhöhte Alkalienkonzentrationen (von ca. 15 mg/l) auf. Sie sind hydrogenkarbonatbetont und zeigen in ihrer Anionensumme nur geringe prozentuale Anteile von Chlorid, Nitrat und Sulfat. Für diese Wässer wird angenommen, daß sie ebenfalls von aufsteigenden Wässern aus tieferen Stockwerken beeinflusst werden.

Einige der aus dem Rhätsandstein geförderten Wässer weisen beachtlich hohe Eisengehalte von ca. 1 mg/l auf. Der erhöhte Eisengehalt wird auf die eisenschüssigen Sandsteine im Schichtverband zurückgeführt. Die Mobilisierung des Eisens wird durch den leicht sauren Charakter des Grundwassers, wie er für die schwach mineralisierten Sandsteinwässer typisch ist, ermöglicht. – Wässer mit derart hohen Eisengehalten werden in der Regel für Trinkwasserzwecke aufbereitet.

Aus dem kalkigen Lias Gamma (den Numismalis-Schichten) und dem Lias Epsilon (den Posidonien-schichten) liegen nur zwei Voll- und einige Teilanalysen vor. Die Wässer sind etwas stärker mineralisiert als diejenigen aus dem Rhätsandstein, Calcium-Hydrogenkarbonatbetont und von neutralem bis schwach basischem Charakter.

Die Magnesium- und Alkalienanteile treten zurück; lokal werden erhöhte Sulfatgehalte bis zu 30 mg/l beobachtet. Der Calcium-Hydrogenkarbonat-Gehalt ist geogenen Ursprungs und steht in ursächlichem Zusammenhang mit den kalkigen Grundwasserleitern. Erhöhte Sulfatwerte sind auf Oxidation von in den Lias eingelagerten Sulfiden zurückzuführen.

5.9 Dogger

Das Dogger-Grundwasserstockwerk wurde auf der Grundlage von 22 Vollanalysen hydrochemisch charakterisiert.

Die Gesamtmineralisation liegt bei durchschnittlich 470 mg/l, die elektrische Leitfähigkeit im Mittel ca. 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Eine Ausnahme hiervon bildet das Wasser der Quelle "Gemeindebrunnen" bei Görau (Gebiet des Kartenblattes Nr. 5933 Weismain), das eine Gesamtmineralisation weniger als 100 mg/l (elektrische Leitfähigkeit rund 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$) aufweist. Die Gesamthärte beträgt im Mittel 20 °dH, wovon der Karbonathärte-Anteil rund 15 °dH ausmacht. Die untersuchten Wässer lassen sich im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) einheitlich klassifizieren als "Normal erdalkalische, überwiegend hydrogenkarbonatische Wässer". Lediglich die o. a. Probe des "Gemeindebrunnens" ist dem Grundwassertyp "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt, überwiegend chloridisch" zuzurechnen (Abb. 37), da bei dieser Quelle die, wenn auch gegenüber den Durchschnittswerten nur geringfügig erhöhten, Alkali- und Chloridkonzentrationen in der Ionenbilanz stärker in Erscheinung treten.

Bei den Anionen läßt sich eine deutliche Vormacht des Hydrogencarbonats erkennen; seine Durchschnittskonzentration beträgt 330 mg/l, sein Anteil an der Anionensumme über 70 %. Das Hydrogencarbonat ist, ebenso wie das zugehörige Calcium, geogenen Ursprungs; es stellt das Produkt der Auflösung des calcitischen Bindemittels der vorwiegend sandig ausgebildeten Doggerserie durch kohlendioxidhaltige Sickerwässer dar.

Vergleichsweise gering fallen mit je 9 mg/l die Mittelwerte für Chlorid und Nitrat aus; Nitratgehalte von mehr als 20 mg/l werden selten erreicht. Aufgrund der vorliegenden niedrigen Konzentrationen läßt sich eine grundsätzliche Aussage über die Herkunft der Parameter Chlorid und Nitrat nicht treffen; es ist jedoch davon auszugehen, daß eine geogene Grundbelastung vorliegt, die durch anthropogene Einflüsse (landwirtschaftliche Düngung, Massentierhaltung, Abfalldeponien, Abwasserversickerung) zumindest örtlich verstärkt wird. Das Vorhandensein von Nitrat deutet auf aerobes Milieu (durchlüftete Wässer) hin.

Die Sulfatwerte liegen, bei einer durchschnittlichen Konzentration von 28 mg/l, selten höher als 50 mg/l. Lediglich ein Brunnen der Wasserversorgung "Poxdorfer Gruppe" (knapp außerhalb des Untersuchungsgebietes) im Bereich des Kartenblattes Nr. 6032 Scheßlitz und eine Quelle auf dem Blattgebiet 5733 Kronach weisen Sulfatgehalte deutlich über 100 mg/l auf. Beide Wässer werden vermutlich durch sulfathaltige Tiefenwässer, die an Verwerfungen aufsteigen, beeinflusst.

Auf der Seite der Kationen zeigt sich eine starke Dominanz des Calciums; sein Anteil an der Summe der Kationen liegt, bei einer Durchschnittskonzentration von 100 mg/l, meist über 70 %. Der hohe Calciumgehalt steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem entsprechenden Vorherrschen des Partnerions Hydrogencarbonat auf der Seite der Anionen, wobei auch das Calcium geogenen Ursprungs ist. Das Magnesium weist demgegenüber mit oft weniger als 25 % einen weit geringeren Anteil an der Kationensumme sowie mit 13 mg/l einen vergleichsweise niedrigen Mittelwert der Konzentration auf. Dies ist auf die Magnesiumarmut der Dogger-Gesteinsfolge zurückzuführen. Auch die ungewöhnlich niedrigen Natriumkonzentrationen (Mittel 3 mg/l, nur in wenigen Fällen >5 mg/l) erklären sich aus den geochemischen Gegebenheiten des Aquifers. Als normal im Vergleich mit anderen Grundwässern sind dagegen die Kalium-Werte (Mittel 2 mg/l, Maxima bis zu 8 mg/l) anzusehen; eine anthropogene Beeinflussung ist nicht zu erkennen. Wegen des sehr geringen Natriumgehaltes beträgt das Verhältnis Natrium : Kalium nur 3 : 2.

Fast alle Wässer weisen tendenziell erhöhte Eisengehalte bis um 1 mg/l (in wenigen Fällen sogar erheblich darüber) auf, die aus den Eisenoxid-Anreicherungen des Dogger-Beta-Sandsteins stammen. Die Lösung des Eisens aus dem Gesteinskörper erfolgt zwar unter reduzierenden Bedingungen bzw. im sauren Milieu (pH <4,8); jedoch kommt es während des Fördervorganges in den Brunnen meist zur Vermischung mit sauerstoffreicherem bzw. basischem Wasser, so daß die untersuchten Brunnenwässer nicht das originäre Milieu der Doggersandstein-Wässer widerspiegeln. Soll eisenhaltiges Wasser als Trink- oder Brauchwasser genutzt werden, ist eine Aufbereitung (Belüftung und Filtration) erforderlich.

Der pH-Wert beträgt durchschnittlich 7,7 (leicht basisch), teilweise kommen Wässer mit pH >8 vor. Eine Ausnahme hiervon bildet der bereits erwähnte "Gemeindebrunnen" (Quelle) bei Görau, dessen

Wasser mit pH 6,3 bereits im schwach sauren Bereich liegt. Wegen seines Gehaltes von 4,4 mg/l freier Kohlensäure bei nur 0,7 °dH Karbonathärte muß das Vorhandensein von aggressiver Kohlensäure erwartet werden. Von den übrigen der untersuchten Wässer führt, bei Gehalten an freier Kohlensäure zwischen 5 und 40 mg/l, nur ein Teil aggressive Kohlensäure; es sind dies vor allem jene Wässer mit pH-Werten um 7,0. Mit 0 bis 40 % Sauerstoffsättigung treten bei einzelnen Wässern größere Sauerstoffdefizite auf, zumeist liegt der Sättigungsindex jedoch oberhalb 70 %. Die sauerstofffreien bzw. -armen Wässer entstammen Grundwasserleitern, in denen reduzierendes Milieu vorherrscht.

5.10 Malm

Zur Beurteilung des Grundwassers aus dem Malmkarst standen etwa 60 Vollanalysen und eine Reihe von Teilanalysen zur Verfügung. – Die Wässer sind mittelstark bis stark mineralisiert, ihre elektrischen Leitfähigkeiten schwanken zwischen 350 und 750 µS/cm.

Mit einem Mittelwert von 15 °dH (Maximum 18 °dH macht die Karbonathärte einen hohen Anteil an der Gesamthärte (Mittelwert 19 °dH, Maximum 23 °dH) aus. Gemäß der Einteilung von Furtak & Langguth (1967) sind nahezu alle untersuchten Wässer als "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch" zu klassifizieren; lediglich drei Proben, die jedoch noch Hydrogenkarbonat-Betonung aufweisen, fallen in den Bereich "hydrogenkarbonatisch-sulfatisch" (Abb. 38).

Auf der Seite der Anionen gibt sich eine überragende Vormacht des Hydrogenkarbonates (Mittelwert 330 mg/l, Maximum 390 mg/l) zu erkennen, was bei der überwiegend kalkig/dolomitischen Ausbildung des Grundwasserleiters nicht anders erwartet werden kann. Bei denjenigen Wässern allerdings, die dem Schichtglied Malm Alpha entstammen, beträgt die Hydrogenkarbonat-Konzentration lediglich 100 bis 200 mg/l; dies rührt von der mergeligen Ausbildung des Malm Alpha (Zurücktreten des Karbonatanteiles) her. Der Malm Alpha-Beta nimmt, oberflächennah verbreitet, im wesentlichen die Areale des seichten Karstes ein, wo die Aufenthaltsdauer des durchsetzenden Karstwassers deutlich geringer ist als im tiefen Karst. Die ansonsten in den Malmwässern vorliegende Hydrogenkarbonat-Vormacht tritt nicht nur bei einem Vergleich der absoluten Konzentrationswerte, sondern auch in der Ionenbilanz deutlich in Erscheinung: das Hydrogenkarbonat erreicht Anteile zwischen 70 und 90 %. Dementsprechend niedrig liegen die Gehalte an den übrigen Anionen.

Beim Chlorid ist ein Mittelwert von etwa 20 mg/l zu verzeichnen; die Maxima erreichen über 40 mg/l. Aus diesem Rahmen fällt eine Quelle bei Tiefenellern im Gebiet des Kartenblattes Nr. 6032 Scheßlitz, bei der neben einem Chloridwert von 90 mg/l zugleich ein hoher Natriumgehalt festgestellt wurde; der Gesamtbefund zeigt auf, daß die Quelle durch die Aufbringung von Tausalz auf eine nahe gelegene Straße beeinträchtigt wird. Die Sulfatkonzentration übersteigt selten 50 mg/l, sie liegt im Mittel bei 30 mg/l. Mit rund 70 mg/l auffallend hoch ist der Sulfatgehalt zweier Quellen (Görau, Zultenberg) in dem Gebiet des Kartenblattes Nr. 5933 Weismain, die an der dort z. T. tektonisch bedingten Grenze Ornatenton gegen Malm Alpha (Massenfazies) entspringen: aufgrund ihrer jeweiligen Lage dicht unterhalb einer Ortschaft ist eine anthropogene Beeinflussung anzunehmen. Der Nitratgehalt der Malmwässer beträgt im Mittel 26 mg/l, wobei die Werte nur in Einzelfällen unter 10 mg/l verbleiben, während die Maxima gebietsweise um bzw. über 50 mg/l erreichen. Als Ursache der insgesamt hohen Nitratgehalte ist wohl die landwirtschaftliche Düngung in Verbindung mit der relativ geringen Abschirmung des Karstwassers durch lehmige Deckschichten zu nennen.

Einen deutlichen Hinweis auf anthropogene Beeinflussung liefert der gebietsweise festgestellte Phosphat-Gehalt; hier beträgt der Mittelwert aus 42 Analysen knapp 0,1 mg/l, bei Maxima von 0,35 mg/l. Als "Phosphor-Quellen" kommen landwirtschaftliche Düngung, Massentierhaltung und Abwasserversickerung bzw. -versenkung (in Dolinen des Malm-Karstkörpers) in Betracht.

Bezüglich der Erdalkalien (Calcium, Magnesium) lassen sich zwei verschiedene Wassertypen erkennen: zum einen Wässer mit deutlicher Calciumvormacht und Magnesiumanteilen unter 20 %, meist sogar unter 10 %, zum anderen Wässer mit einem Magnesiumanteil zwischen 30 und 50 % und entsprechend geringem Calcium-Anteil (Abb. 38).

Bei den Wässern mit Calciumvormacht beträgt die Konzentration des Calciums stets zwischen 100 und 130 mg/l, wobei die Magnesiumgehalte unter 10 mg/l, meist sogar unter 5 mg/l zu liegen kommen. Diese Wässer entstammen überwiegend der kalkigen Bankfazies der Malm-Schichtglieder Alpha bis Gamma, welche ein, lithologisch bedingt, geringeres Magnesiumangebot aufweist. Die Wässer mit

höherem Magnesiumgehalt – der Mittelwert liegt hier bei 27 mg/l (Maxima bis 40 mg/l) – und Calciumwerten um 100 mg/l kommen aus der dolomitisierten Massenkalkfazies des Malm bzw. sind von dieser beeinflusst. Mit Ausnahme der bereits erwähnten Quelle bei Tiefenellern ist allen Wässern ein geringer Alkalienanteil (Natrium, Kalium) von unter 10 % gemein. Die Durchschnittskonzentrationen betragen für das Natrium 5 mg/l; Werte über 10 mg/l stehen zumeist mit erhöhten Chloridgehalten in Verbindung. Für das Kalium ergeben sich Mittelwerte von 1,3 mg/l bei Maxima bis ca. 8 mg/l. Die erhöhten Konzentrationen der Alkalien lassen sich auf anthropogene Faktoren zurückführen: im Falle des Natrium vorwiegend auf Tausalz-Ausbringung (s. o. Quelle bei Tiefenellern), bei Kalium auf Mineraldünger-Anwendung (intensive landwirtschaftliche Nutzung).

Der durchschnittliche pH-Wert der Malmwässer liegt bei 7,5; die Wässer reagieren somit leicht basisch, was sich aufgrund der geochemischen Charakteristik des Aquifers erwarten läßt. Freie Kohlensäure ist mit Gehalten zwischen 2,6 und 33 mg/l (Mittelwert 16,5 mg/l) vertreten. Aggressive Kohlensäure fehlt im allgemeinen, doch lassen sich Ausnahmen hiervon feststellen, so bei der für die Wasserversorgung Würzgau gefaßten Quelle (Gebiet des Kartenblattes Nr. 6032 Scheßlitz), wo in einer Probe rund 20 mg/l bestimmt wurden.

Der hohe Sauerstoff-Sättigungsindex (>70 %) der meisten Wässer belegt deren Prägung durch oberflächennahe (durchlüftete) Zuflüsse; nur wenige Proben weisen mit Sättigungsindizes von unter 50 % deutliche Sauerstoffdefizite auf. Letztgenannte geben zusammen mit Eisengehalten von über 0,1 mg/l (Höchstwerte bis 0,8 mg/l) zu erkennen, daß die Wässer Aquiferen mit reduzierendem Milieu entstammen. Solche Wässer bedürfen im Falle der Trinkwassernutzung einer Aufbereitung durch Belüftung und Filtration. – Die Mangangehalte liegen meist unter der Nachweisgrenze.

5.11 Tertiär

Die Beurteilung des Grundwassers in den tertiären Vulkaniten der Rhön basiert auf 13 Voll- sowie einigen Teilanalysen. Aufgrund des geringen Datenmaterials lassen sich nur Tendenzen aufzeigen.

Der durchweg geringe Mineralisationsgrad des Grundwassers ist geogen bedingt. Die elektrischen Leitfähigkeiten schwanken zwischen 30 und 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Gerade deshalb können anthropogen bedingte Einflüsse deutliche Veränderungen in der Ionenbilanz hervorrufen. Daher zeigen die Wässer im Piper-Diagramm eine starke Streuung (Abb. 39). So kann ein Teil der Vorkommen im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer", ein anderer als "Erdalkalische Wässer mit höheren Alkaligehalt" typisiert werden. Es treten einerseits hydrogenkarbonatbetonte, andererseits überwiegend sulfatische bzw. chloridische Wässer sowie deren Übergänge auf. – Die durchschnittlichen Härten sind sehr niedrig; so beträgt die mittlere Gesamthärte ca. 2 °dH, die Karbonathärte ca. 1,5 °dH. Somit sind die Wässer als sehr weich zu bezeichnen.

Entsprechend den geringen Gesamtmineralisationen weisen auch die Anionengehalte sehr niedrige Werte auf. So beträgt die mittlere Hydrogenkarbonat-Konzentration etwa 30 mg/l, wobei die Maximalwerte bei 90 mg/l liegen. Die Sulfatgehalte übersteigen nur selten 13 mg/l, bei einem durchschnittlichen Wert von 9 mg/l. Chlorid überschreitet in der Regel nicht 10 mg/l, der Mittelwert liegt hier bei 4 mg/l. Der Nitratgehalt erreicht im Durchschnitt nur 2 mg/l. Die besonders niedrigen Chlorid- und Nitratkonzentrationen spiegeln weitgehend intakte, natürliche Grundwasserverhältnisse wider, die in dem Naturschutzgebiet "Hohe Rhön", in dem weitflächig intensiver Ackerbau unterbleibt, auch zu erwarten sind. Darüber hinaus sind die Basalthärtlinge der Kuppen-Rhön weitgehend waldbestanden. Trotz der niedrigen Konzentrationen an gelösten Stoffen kann der relative Nitratanteil an der Gesamtsumme der Anionen immerhin bis zu 10 % ausmachen.

Die Calciumgehalte liegen im Mittel bei 7 mg/l, die Magnesiumkonzentrationen bei 4 mg/l. Dabei schwankt das Calcium/Magnesium-Verhältnis zwischen 3:1 und 1:3. – Die mittleren Natriumgehalte betragen 3 mg/l. Lediglich in einem Fall wurde mit 11 mg/l Natrium ein deutlich erhöhter Wert gemessen, der mit ebenfalls erhöhten Chlorid- und Nitratgehalten korreliert werden kann und daher anthropogene Ursachen haben dürfte. Die Kaliumgehalte bewegen sich zwischen 0 und 2 mg/l, bei einem Mittelwert von 0,7 mg/l.

Der durchschnittliche pH-Wert beträgt 6,6. Das Grundwasser hat einen leicht sauren Charakter. Folgende chemische Parameter bleiben aufgrund fehlender Analysendaten unberücksichtigt: Eisen, freier gelöster Sauerstoff, der Sauerstoff-Sättigungsindex sowie die freie gelöste Kohlensäure.

Die Wässer aus den tertiären fluviatilen Sedimenten des Aschaffener Beckens werden nicht als eigene Gruppe, sondern zusammen mit den Wässern aus den ebenfalls dort anstehenden quartären Sedimenten behandelt, da Quartär und Tertiär in diesem Raum einen gemeinsamen Grundwasserleiter bilden.

5.12 Quartär

Von den quartären Ablagerungen stellen im Planungsgebiet lediglich fluviatile Sande und Kiese des Maintalquartärs einen eigenständigen Grundwasserleiter dar. Die übrigen quartären Lockersedimente können als Deckschichten den Chemismus der Sickerwässer bei der Bodenpassage beeinflussen. Derartige Vorgänge sind bei der Abhandlung der einzelnen Grundwasserleiter (Kap. 3) berücksichtigt.

5.12.1 Maintalquartär

Einleitung

Das Grundwasser, das in der quartären Talfüllung vorkommt, wird nur zu einem geringen Teil durch die Niederschläge im Maintalbereich neugebildet. Es setzt sich vielmehr aus unterschiedlichen Wässern zusammen:

- So infiltriert, bevorzugt im Oberstrom von Staustufen, Flußwasser des Mains in die quartären Sedimente (Uferfiltrat).
- Aus dem Festgesteinsrahmen des Maintales gelangen unterschiedlich stark mineralisierte Wässer in die quartäre Talfüllung.
- Von den Hängen tritt z. T. von anthropogenen Einflüssen geprägtes Wasser zu.
- Schließlich wird ein Teil des Wassers über die Niederschlagsversickerung im Bereich der Talsohle neugebildet.

Je nach Mineralisationsgrad dieser einzelnen Wässer und nach ihrem Mischungsverhältnis entstehen charakteristische Zustände, die für einzelne Mainabschnitte getrennt beschrieben werden.

Das Grundwasser, das dem Main entsprechend dem natürlichen Gefälle zuströmt, läßt sich chemisch gesehen nur bedingt mit Wässern aus ständig beanspruchten Brunnen derselben Grundwasserleiter vergleichen. Denn durch die Beanspruchung des Grundwasserleiters wird aufgrund der künstlichen Erhöhung der Grundwasser-Fließgeschwindigkeit (versteiltes Gefälle am Absenkrichter) die Verweilzeit im Quartär verkürzt. Wegen der besonderen Lage der Brunnen und ihres unterschiedlichen Ausbaus kann es dabei bevorzugt zur Förderung von Uferfiltrat, Hang- oder Tiefenwasser kommen, wodurch der natürliche Chemismus des unbeanspruchten Grundwassers überlagert wird bzw. nicht mehr vorhanden ist. Dies sollte bei der Beurteilung der aus dem Maintalquartär geförderten Wässer berücksichtigt werden, zumal fast alle chemischen Analysen aus dauernd beanspruchten Brunnen stammen.

Typisches, von den quartären Lockersedimenten geprägtes Grundwasser wäre am ehesten dort anzutreffen, wo durch ein geringes Gefälle und eine breite Talauflage eine lange Verweildauer im quartären Untergrund gewährleistet ist. Weiterhin sollte die Talauflage in diesem Bereich möglichst wenig landwirtschaftlich genutzt sein, um eine anthropogene Beeinflussung zu vermeiden. Schließlich sollte der Festgesteinsrahmen der quartären Talfüllung möglichst dicht sein, um eine Mischung mit stärker mineralisierten Wässern zu vermeiden bzw. eventuell zuströmende Wässer sollten möglichst schwach mineralisiert sein. Derartige Verhältnisse sind im heutigen Maintal fast nicht mehr vorhanden, so daß sich der Typus eines unbeeinflussten Quartärgrundwassers praktisch nicht erfassen läßt.

Das Flußwasser des Mains ist durch starke anthropogene Beeinflussung, besonders durch seine Oxidierbarkeit (Kaliumpermanganat-Verbrauch ca. 14–15 mg/l), durch einen hohen Phosphatgehalt (ca. 2 mg/l) und einen erhöhten Alkaliengehalt gekennzeichnet und läßt sich häufig als Uferfiltrat durch vom Grundwasser abweichende Temperaturen nachweisen. Bei der Abschätzung des Uferfiltrateinflusses auf das Grundwasser ist neben solchen chemisch-biologischen und physikalischen Vorgängen im durchströmten Gestein (z. B. Abbau der organischen Substanzen, Nitratreduktion) auch der Faktor Zeit zu berücksichtigen. So wird mit der Zeit die Ausströmungsfläche an der Flußsohle zunehmend abgedichtet. Auf der anderen Seite wird die Sorptions- und Austauschkapazität des Grundwasserleiters vor allem gegenüber Kalium geringer. Die sich daraus ergebende Veränderung des Grundwasser-

Chemismus wird durch jahreszeitliche Schwankungen, insbesondere beim Zufluß von Hangwasser, überlagert, da z. B. mit Zunahme der biologischen Aktivität eine vermehrte Lösung von Hydrogencarbonat eintritt. Weitere Einflüsse sind Grundwasserstandsschwankungen und die Häufigkeit und Verteilung der Niederschläge, die vor allem im unbeeinflussten Grundwasser eine Schichtung hinsichtlich des Chemismus hervorrufen.

Die im Maintal angetroffenen Wässer werden darüber hinaus durch die hohe Siedlungsdichte sowie durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung (v. a. im Aschaffener Becken) deutlich anthropogen überprägt. Vor derartigen Einflüssen wird das Grundwasser insbesondere in den mainnahen jungen Talauen durch die reliefauskleidenden, 1,5–4,0 m mächtigen, gering durchlässigen Auelehmdecken flächenwirksam abgeschirmt. Die Auelehmdecken liegen allerdings vergleichsweise morphologisch tief, so daß sie bei größeren Hochwässern überflutet (und z. T. erodiert) werden. Andererseits sind die höher gelegenen Terrassen nur örtlich mit grundwasserschützenden Feinsedimenten über 1 m Mächtigkeit bedeckt; meist beschränken sich solche Bereiche auf Schwemmfächer oder ehemalige, heute verlandete Mainschleifen.

Die aus dem Maintalquartär gewonnenen Wässer sind häufig sauerstoffuntersättigt, also reduziert. Deshalb weisen sie meist zwar nur geringe Mengen an Nitrat, statt dessen allerdings beträchtliche Konzentrationen von Ammonium auf. Vereinzelt kann auch Nitrit nachgewiesen werden. Da von den vorliegenden Analysen nicht in allen Fällen Ammonium und Nitrit bestimmt wurden, ist ein Vergleich anthropogener Einflüsse nicht immer möglich. Der Nitratgehalt allein ist hier nicht als das ausschlaggebende Kriterium anzusehen. Daher werden im folgenden Nitratgehalte nur dann diskutiert, wenn Ammonium mitbestimmt wurde oder die Wässer weitgehend sauerstoffgesättigt sind. Des weiteren enthalten die reduzierten Wässer (aus dem Maintalquartär) meist nicht unwesentliche Gehalte von Eisen und Mangan. Daher ist ihre Aufbereitung meist unumgänglich.

Hydrogeochemische Detailbetrachtungen

Zur hydrogeochemischen Beurteilung wurde das Maintalquartär in Abhängigkeit von den durchflossenen Gesteinseinheiten in vier Teilabschnitte gegliedert; dies sind, von ober- nach unterstrom:

- Flußstrecke Burgkunstadt — Haßfurt: Keuper und Lias;
- Flußstrecke Haßfurt — Karlstadt: Muschelkalk;
- Flußstrecke Karlstadt — Obernburg: Buntsandstein;
- Flußstrecke Obernburg — Alzenau: Tertiär und Kristallin.

Die Datenverteilung entlang der Flußstrecke ist – in Abhängigkeit von Standorten der Trinkwasserverschließung – heterogen, so daß nur tendenzielle Aussagen getroffen werden können.

Flußstrecke Burgkunstadt — Haßfurt

Von dem Streckenabschnitt Burgkunstadt — Bamberg liegen keine Vollanalysen vor. Es wird vermutet, daß die dort anzutreffenden Wässer im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, hydrogenkarbonatisch-sulfatisch" zu klassifizieren sind. Gebietsweise ist eine Aufhärtung durch sulfatreiche Zuflüsse aus gipshaltigen Partien des Sandsteinkeupers oder durch Sulfidoxidation in Liasgesteinen zu erwarten.

Für den Streckenabschnitt Bamberg — Haßfurt standen 6 Vollanalysen zur Verfügung, die sich auf den Talabschnitt Roßstadt — Haßfurt beziehen. Das Unterlagernde des Maintalquartärs bildet dort ausschließlich der Gipskeuper. Die Analysen betreffen zum einen Teil ständig fördernde Versorgungsbrunnen (Ebelsbach, Haßfurt), zum anderen Teil wurden sie im Zuge der Pumpversuche im Grundwasser-Erkundungsgebiet Roßstadt (LfW, 1976 d, 1978 d) durchgeführt.

Die Wässer lassen sich im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, hydrogenkarbonatisch-sulfatisch" mit Tendenzen zu "überwiegend hydrogenkarbonatisch" einerseits und "überwiegend sulfatisch" andererseits klassifizieren (Abb. 40).

Die Karbonathärte schwankt zwischen 11 °dH und 22 °dH, bei der Gesamthärte liegen die Werte zwischen 17 °dH und 37 °dH. Die Hydrogencarbonat-Konzentrationen bewegen sich meist um 350 mg/l. Die Schwankungen der Sulfatgehalte sind meist geogen bedingt; die Werte steigen bei

Haßfurt auf über 200 mg/l an und liegen sonst zwischen 50 und 100 mg/l. Die Chloridkonzentrationen der betrachteten Analysen betragen ca. 40 bis 110 mg/l; diese Schwankungen dürften weitgehend anthropogene Ursachen haben. In den Versuchsbohrungen Roßstadt wurden zum Teil über 100 mg/l Nitrat gemessen; wegen der starken anthropogenen Einflüsse kann dieses Wasser nicht als Trinkwasser genutzt werden.

Die Calciumgehalte variieren zwischen 80 und 170 mg/l und orientieren sich dabei meist an den jeweiligen Sulfatkonzentrationen. Die Gehalte an Magnesium bewegen sich zwischen 25 und 80 mg/l. Während bei Roßstadt die Natriumkonzentrationen unter 10 mg/l und die Kaliumgehalte unter 2 mg/l liegen, steigen sie in Haßfurt auf 26 bzw. 7,5 mg/l an. Die relativ hohen Alkalien- und Magnesiumgehalte zeigen wahrscheinlich eine Einflußnahme durch die Landwirtschaft an.

In den Brunnen von Ebelsbach wurden Eisengehalte von 1 mg/l, Mangangehalte von 2,5 mg/l gemessen. – Die pH-Werte bewegen sich um 7,6.

Streckenabschnitt Haßfurt — Karlstadt

Vom Teilabschnitt Haßfurt — Würzburg lagen 45 Vollanalysen vor. Diese stammen zum überwiegenden Teil aus Förder- und Versuchsbrunnen der Wassererschließungen Wonfurt, Untertheres, Weyer (Wasserzweckverband Rhön-Maintal-Gruppe), Schweinfurt, Marktsteft und Sulzfeld (beide letztgenannte vom Zweckverband Fernwasserversorgung Franken). Darüber hinaus gehen hydrochemisch untersuchte Pegelbohrungen und Brauchwasserbrunnen von Grafenrheinfeld, Marktsteft, Sulzfeld, Ochsenfurt und Sommerhausen in die Betrachtung mit ein.

Der Main fließt in diesem Bereich weitgehend durch den Oberen Muschelkalk. Gerade im Maintal ist eine Einflußnahme durch aufsteigende Wässer aus dem Mittleren Muschelkalk zu erwarten. Lediglich zwischen Schweinfurt und Hirschfeld, in der tektonischen Schweinfurter Mulde, wird die Quartärbasis aus Unterem Keuper aufgebaut.

Vom Teilabschnitt Würzburg — Karlstadt standen keine Vollanalysen zur Verfügung. Hier bilden meist Gesteine des Mittleren und Unteren Muschelkalks die Talsohle. Lediglich im Thüngersheimer Sattel schneidet sich das Maintal in den Oberen Buntsandstein ein.

Für den Bereich Würzburg — Karlstadt lehnt sich die hydrochemische Betrachtung des Grundwassers an die zu erwartenden natürlichen hydrochemischen Verhältnisse an, ohne eventuell vorhandene anthropogene Einwirkungen berücksichtigen zu können.

Teilabschnitt Haßfurt — Würzburg

In diesem Talabschnitt sind die geförderten Wässer vergleichsweise hoch mineralisiert. Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit liegen zwischen 500 und 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Vorkommen lassen sich im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) vorwiegend als "Normal erdalkalische Wässer" klassifizieren, einige Proben müssen im Piper-Diagramm in der Feldergruppe "mit höherem Alkaligehalt" dargestellt werden. Die meisten Wässer sind als "hydrogenkarbonatisch-sulfatisch", wenige "überwiegend sulfatisch-chloridisch" bzw. als "überwiegend hydrogenkarbonatisch" einzustufen (Abb. 41).

Bereits aus der hohen Gesamtmineralisation und aus der Klassifizierung ist zu erkennen, daß die aus dem Maintalquartär geförderten Wässer dieses Teilabschnittes deutlich von Wässern aus dem Mittleren Muschelkalk beeinflußt werden (Gips- und Salzvorkommen im Mittleren Muschelkalk im Raum Haßfurt — Schweinfurt — Kitzingen).

Die durchschnittliche Karbonathärte beträgt 15 °dH, die Gesamthärte 25 °dH. Hohe Sulfatgehalte bedingen eine Aufhärtung bis über 40 °dH Gesamthärte.

Die Wässer zeigen mittlere Hydrogenkarbonatwerte von 330 mg/l und Maxima bis 740 mg/l (Marktsteft, Pegel 4). Bezüglich der Chloridgehalte lassen sich Wässer mit erhöhten (im Mittel 110 mg/l) von solchen mit niedrigeren Konzentrationen (um 40 mg/l) trennen. Parallel zu erhöhten Chlorid- treten erhöhte Natriumwerte auf; in der Wasserversorgung Marktsteft lassen sich Natriumgehalte bis 115 mg/l feststellen. Hiervon sind des weiteren die Lokalitäten Sulzfeld und Grafenrheinfeld betroffen. Ursache sind aufsteigende, salzhaltige Tiefenwässer aus dem Mittleren Muschelkalk und/oder intensive landwirtschaftliche Nutzung des Maintalquartärs. Bezüglich des Sulfates können Wässer mit Gehalten über 100 mg/l von solchen mit Gehalten unter 100 mg/l unterschieden werden. Bei letzteren bewegen

sich die Konzentrationen um 60–90 mg/l, bei ersteren liegen sie im Schnitt um 200 mg/l. Diese erhöhten Werte lassen sich auf Beeinflussungen aus den Gipsvorkommen im Mittleren Muschelkalk zurückführen.

Aufgrund intensiver landwirtschaftlicher Nutzung im Einzugsgebiet einzelner Brunnen der Grundwasser-Gewinnungsanlagen Wonfurt und Marktstett werden dort Nitratkonzentrationen von über 50 mg/l gemessen; im allgemeinen liegen die Nitratgehalte jedoch niedriger.

Die Wässer zeigen Calciumgehalte von im Schnitt 130 mg/l, vereinzelt führen sie auch mehr als 200 mg/l. Demgegenüber ist die mittlere Magnesiumkonzentration mit 25 mg/l vergleichsweise gering.

Nur wenig niedriger als beim Magnesium liegen mit rund 23 mg/l die Mittelwerte für Natrium, was in diesem Abschnitt des Maintales sowohl geogene als auch anthropogene Ursachen hat. Mit durchschnittlich 5 mg/l zeigen die Kaliumwerte erhöhte Tendenz. Kaliumkonzentrationen über 10 mg/l mit Höchstwerten bis 46 mg/l liegen aus den Bohrungen bei Grafenrheinfeld vor; dies dürfte weitgehend auf anthropogene Ursachen zurückzuführen sein. Zahlreiche Wasserproben weisen erhöhte Eisen- und Manganhalte auf. Im Fall Untertheres liegen die Eisenkonzentrationen über 1,0 mg/l, die Manganwerte schwanken zwischen 0,3 und 0,8 mg/l. Höchstwerte bis knapp 8 mg/l Eisen werden in Grafenrheinfeld erreicht, bis 1,2 mg/l Mangan tritt in der Wasserversorgung Schweinfurt auf.

Mit meist unter 5 mg/l Sauerstoff zeigen die Wässer überwiegend hohe Sauerstoffdefizite, es handelt sich dabei in der Regel um reduzierte Wässer. Gehalte an freier Kohlensäure schwanken zwischen 10 und 90 mg/l. Angaben über aggressive Kohlensäure lagen nicht vor. Für Untertheres und Wonfurt wurden die Phosphatkonzentrationen ermittelt, die einen Hinweis auf anthropogene Einflüsse geben. Sie schwanken in Untertheres zwischen ca. 0,1 und 0,54 mg/l, in Wonfurt zwischen 0,02 und 0,13 mg/l.

Teilabschnitt Würzburg — Karlstadt

Für die relativ kurzen, im Mittleren Muschelkalk verlaufenden Bereiche werden ähnliche hydrogeochemische Verhältnisse wie im Abschnitt Haßfurt — Würzburg vermutet.

Zumeist wird die Quartärbasis in diesem Teilabschnitt jedoch aus Unterem Muschelkalk aufgebaut. Hier können, geogen bedingt, hydrogenkarbonatisch betonte Wässer angenommen werden. (Allerdings darf bezüglich der Sulfatgehalte die Grundlast des Mainwassers nicht unberücksichtigt bleiben. So bestimmte KANZ (1977) einen mittleren Sulfatgehalt des Mainwassers von ca. 110 mg/l.)

Im Thüngersheimer Sattel, wo der Festgesteinsuntergrund des Tales aus Oberem Buntsandstein aufgebaut ist, kommen Gipseinschaltungen in der Sedimentfolge vor, die eine Sulfataufhärtung des Grundwassers im Maintalquartär bewirken können.

Streckenabschnitt Karlstadt — Obernburg

In diesem Bereich des Maintales bildet der Buntsandstein den Festgesteinsrahmen. Aus diesem Streckenabschnitt standen 17 Vollanalysen (vorwiegend von Brunnen) zur Verfügung. Davon lassen sich anhand des Bezugswertes 400 mg/l der Gesamtmineralisation eine höher und eine niedriger mineralisierte Gruppe von Wässern unterscheiden (Abb. 42).

Die erste Gruppe (Wässer mit einer Gesamtmineralisation >400 mg/l) umfaßt insgesamt 9 Analysen, vorwiegend aus dem Raum Karlstadt (7 Analysen) sowie von den Lokalitäten Wernfeld und Markttheidenfeld. Bei einer durchschnittlichen elektrischen Leitfähigkeit von 780 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lassen sich die Wässer im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer, hydrogenkarbonatisch-sulfatisch" klassifizieren. Nur die Analyse Markttheidenfeld liegt in der Piper-Diagramm-Feldergruppe "überwiegend hydrogenkarbonatisch". Bei einer Karbonathärte von 15 °dH erreicht die Gesamthärte rund 22 °dH.

Die zweite Gruppe (Wässer mit einer Gesamtmineralisation <400 mg/l) umfaßt die Lokalitäten Rodenbach, Erlach, Röllfeld und Breitenbrunn. Aufgrund der geringeren Gesamtmineralisation zeigen sie mit ca. 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eine niedrigere elektrische Leitfähigkeit. Es handelt sich um "Normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbonatisch"; nur die Analyse Röllfeld, Brunnen I, zeigt eine Tendenz zu "hydrogenkarbonatisch-sulfatisch". Die Karbonathärten bewegen sich um 7 °dH, ebenso liegt die Gesamthärte mit 9 °dH im Durchschnitt deutlich tiefer als bei der ersten Gruppe.

Auch bei den Anionen lassen sich Unterschiede erkennen. So ergeben sich für die erste Gruppe der Wässer Mittelwerte von 320 mg/l beim Hydrogenkarbonat, 45 mg/l für Chlorid und 110 mg/l beim Sulfat. Im Gegensatz dazu enthalten die Wässer der zweiten Gruppe im Durchschnitt nur 150 mg/l Hydrogenkarbonat, 12 mg/l Chlorid und 25 mg/l Sulfat.

Ebenso ist beim Calciumgehalt eine deutliche Trennung zwischen den Wässern der ersten (Konzentration im Mittel bei 120 mg/l) und der zweiten Gruppe (ca. 45 mg/l) gegeben. Nicht so klar fällt die Unterscheidung bei den Magnesiumwerten aus. Sie bewegen sich in der ersten Gruppe tendenziell zwischen 20 und 30 mg/l, in der zweiten Gruppe schwanken sie überwiegend zwischen 6 und 20 mg/l. Die Natriumgehalte liegen mit 23 mg/l und die Kaliumwerte mit 6 mg/l in der ersten Gruppe tendenziell höher als in der zweiten Gruppe (Mittelwerte hier: Natrium 5 mg/l, Kalium 2 mg/l).

Der Grund für diese Unterschiede liegt in der Beeinflussung des Porengrundwassers durch Hangwässer und durch aufsteigende Tiefenwässer. Das Grundwasser im Maintalquartär des Raumes Karlstadt wird durch zutretendes Calcium-Hydrogenkarbonatreiches Hangwasser (aus dem Unteren Muschelkalk) beeinflusst; die erhöhten Sulfatgehalte stammen aus aufsteigenden sulfathaltigen Wässern der Rötgipse des Oberen Buntsandsteins. Während in Wernfeld aufgrund erhöhter Chlorid-, Sulfat- und Nitratwerte eine Beeinflussung durch Düngung zu vermuten ist, muß die Aufhärtung der Probe Marktheidenfeld auf zuströmendes Wasser aus Lößüberdeckung zurückgeführt werden; eventuell wirkt sich auch der in der Nähe anstehende Muschelkalk auf die Mineralisation aus. Die Wässer der zweiten Gruppe werden ausschließlich durch schwach mineralisierte Zuflüsse aus dem Buntsandstein beeinflusst.

Die Eisenkonzentrationen bleiben allgemein unter 0,1 mg/l, vereinzelt finden sich für Mangan Höchstwerte von 0,35 mg/l. Freie Kohlensäure ist im Mittel mit 25 mg/l vorhanden. Mit einem durchschnittlichen pH-Wert von 7,5 reagieren die Wässer der ersten Gruppe allgemein leicht basisch; die Wässer der zweiten Gruppe schwanken uneinheitlich zwischen pH 6,5 und 7,7. Soweit bei den Analysen angegeben, zeigen alle Wässer unterschiedlich hohe Sauerstoffdefizite, die Sättigungsindizes betragen zwischen 10 und 90 %.

Streckenabschnitt Obernburg — Alzenau

In diesem Streckenabschnitt werden Wässer aus dem sogenannten Aschaffener Becken betrachtet. Für die Beurteilung standen etwa 30 Vollanalysen aus den 60er Jahren und eine Reihe von Teilanalysen aus den 80er Jahren zur Verfügung.

Die Talfüllung des Mains wird dort von z. T. mehrere 10er Meter mächtigen, quartären und tertiären Sanden und Kiesen aufgebaut. Den Festgesteinsrahmen bilden Sandsteine (untergeordnet auch Tonsteine) des Buntsandsteins und das Kristallin. Es darf angenommen werden, daß aus diesen Gesteinen überwiegend nur gering mineralisierte Wässer beiströmen.

Das Aschaffener Becken wird allerdings weitflächig intensiv landwirtschaftlich genutzt und ist v. a. im nördlichen Teil dicht besiedelt. Diese anthropogenen Faktoren spiegeln sich auch deutlich in der Beschaffenheit der hier vorkommenden Grundwässer wider. Sie überlagern die geogene Prägung der primär nur schwach mineralisierten Wässer.

Die Grundwässer des Aschaffener Beckens können im Sinne von FURTAK & LANGGUTH (1967) als "Normal erdalkalische Wässer", z. T. auch als "Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt" klassifiziert werden (Abb. 43). Aufgrund der unterschiedlichen anthropogenen Einflüsse weist die Punktverteilung der Analysenwerte im Piper-Diagramm eine große Streuung auf.

Die Wässer wurden nach ihrem Nitratgehalt gegliedert, wobei eine Konzentration von 40 mg/l als Grenze sinnvoll erschien. Ein Vergleich der Nitratwerte war hier möglich, da die meisten Wässer annähernd sauerstoffgesättigt sind. Nur wenige Proben weisen mit Sauerstoffgehalten von weniger als 6 mg/l deutliche Sauerstoffdefizite auf. Wässer mit weniger als 40 mg/l Nitrat sind stärker hydrogencarbonatbetont als die Wässer mit höheren Nitratgehalten; bei letzteren treten die Nitrat- und Chloridanteile verstärkt in den Vordergrund.

Einschränkend muß angemerkt werden, daß die hier verwendeten Analysendaten aus den 60er Jahren stammen und die entsprechenden Grundwässer im allgemeinen stärker nitratbetont sind. Der Schwerpunkt der Nitratbelastung liegt derzeit im Raum Aschaffenburg; dort steigen lokal die Nitratwerte bis auf 150 mg/l an. In den übrigen Gebieten schwanken sie zwischen 25 und 90 mg/l (Abb. 47).

Die Karbonathärten schwanken zwischen unter 1 °dH, bei den schwach mineralisierten (bzw. kaum anthropogen beeinflussten) und 16 °dH, bei den stärker mineralisierten Grundwässern. Ähnlich bewegt sich die Gesamthärte im Bereich von 5 bis 21 °dH. Dementsprechend unterliegen die Hydrogenkarbonatgehalte sehr großen Schwankungen; die Werte streuen zwischen 20 und 350 mg/l. Die erhöhten Hydrogenkarbonat-Konzentrationen tragen wesentlich zum Ausmaß der Gesamtmineralisation dieser Wässer bei. Derart hohe Gehalte können im Maintalquartär des Aschaffener Beckens geogene wie auch anthropogene Ursachen haben. Zum einen kommen als mögliche "Kalklieferanten" kalkhaltige quartäre Schotter in Frage. Andererseits werden die überwiegend sandigen Böden im Aschaffener Becken z. T. stark gekalkt, um die Bodenqualität aufzubessern. Der Düngerkalk kann in merklichen Mengen gelöst mit den Sickerwässern in den Untergrund gelangen. Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, daß weite Flächen während der Vegetationszeit künstlich beregnet werden.

Die Chloridgehalte schwanken um einen Mittelwert von ca. 25 mg/l; die Maxima erreichen 40 mg/l. Die hohen Chloridwerte dürften in den Grundwässern des Aschaffener Beckens ebenfalls weitgehend anthropogene Ursachen haben. – Die Sulfatgehalte liegen im Raum Großwallstadt unter 20 mg/l, in den übrigen Gebieten bewegen sie sich in der Regel um 50 mg/l. Anthropogener Eintrag tritt im Aschaffener Becken beim Parameter Sulfat nicht so stark in den Vordergrund wie bei Nitrat und Chlorid.

Die Calciumkonzentrationen liegen meist unter 100 mg/l, wobei in Abhängigkeit von der Höhe des Hydrogenkarbonatgehaltes Höchstwerte von etwa 110 mg/l Niedrigstwerten von 20 mg/l gegenüberstehen. Die Magnesiumgehalte betragen im Mittel 10 mg/l, mit Maxima bis 30 mg/l. Das Calcium/Magnesium-Verhältnis schwankt zwischen 4:1 und 2:1.

Für die Alkalien lassen sich nur prozentuale Summenwerte aus der Kationenbilanz angeben. Der überwiegende Teil der Wässer weist einen Alkalienanteil zwischen 3 und 20 % auf. Neun Proben zeigen deutlich erhöhte Werte zwischen 20 und 40 %, sie lassen sich auf anthropogene Einflüsse zurückführen.

Die pH-Werte streuen zwischen 5,8 und 7,5; die Wässer reagieren also schwach sauer bis leicht alkalisch. Der Gehalt an freier Kohlensäure beträgt durchschnittlich etwa 40 mg/l. Die meisten Wässer sind sauerstoffgesättigt, nur wenige Proben zeigen deutliche Sauerstoffdefizite.

Zusammenfassung

Das Porengrundwasser des Maintalquartärs ist vornehmlich durch das Grundwasser und die Durchlässigkeit des präquartären (zum Teil auch prätertiären) Festgesteinsuntergrundes geprägt. Sein Chemismus wird bei mainnahen Brunnen durch Uferfiltrat, in intensiv landwirtschaftlich genutzten und/oder dicht besiedelten Gebieten durch anthropogene Einwirkungen überlagert. Eine für den gesamten Mainlauf typische chemische Beschaffenheit des Talgrundwassers läßt sich nicht erkennen.

6 Thematische Karten

6.1 Einleitung

Flächendeckend für den gesamten Planungsraum wurden Kartendarstellungen ausgewählter hydrochemischer und hydraulischer Parameter erarbeitet, um einen regionalen Überblick über die kausalen Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften des Grundwassers und den Gesteinsabfolgen der einzelnen Grundwasserstockwerke vermitteln zu können.

Jeder Kartendarstellung ist eine stark vereinfachte Lithologie des genutzten obersten Hauptgrundwasserleiters unterlegt (vgl. Abb. 44, hydrogeologisches Grundkarte). Dabei wurde die geologisch-stratigraphische Schichtenfolge nach hydrogeologischen Gesichtspunkten in hydrogeologische Einheiten gegliedert; ähnliche Gesteinsarten sind mit der gleichen Signatur gekennzeichnet. So führen sowohl der Ausstrich der Malmkalke als auch der des Muschelkalks eine einheitliche Signatur für Kalkstein bzw. Dolomit. Weiterhin werden in der Gruppe "Sandstein mit Tonstein wechsellagernd" der Sandsteinkeuper und die Rhätlias-Übergangsschichten zusammengefaßt.

Die hydrochemischen Wertungen beziehen sich jeweils auf den genutzten Hauptgrundwasserleiter. Lediglich im Ausstrich des Unteren Keupers wurden neben dem Hauptgrundwasserleiter (Muschelkalk) auch die charakteristischen Werte des in den Sand- und Kalksteinen des Unteren Keupers vorkommenden Grundwassers mitberücksichtigt. Falls diese deutlich von den Konzentrationen der Wässer im liegenden Muschelkalk differieren, wurden sie mit einer von rechts oben nach links unten fallenden Schraffur gekennzeichnet.

Eine gegenläufige Schraffur stellt, bei streuenden Werten über mehrere Größenklassen, eine Verzahnung im Hauptgrundwasserleiter dar. Bei der Beurteilung der Chloridgehalte wurde darüber hinaus eine spezielle Signatur (senkrechte Balken) zur Kennzeichnung artesisch aufsteigender chloridreicher Tiefenwässer gewählt.

Die Größenklassen wurden so abgestuft, daß sich die Grundwasserleiter auf übersichtliche Weise regional charakterisieren lassen. Grundwasserleiter-spezifische Einzeldaten, Konzentrationsspannen und Mittelwerte ausgewählter Wasserinhaltsstoffe bzw. Parameter sowie eine Interpretation geogener und anthropogener Einflüsse finden sich demgegenüber im Kapitel 5 (Hydrochemische Beurteilung der Grundwässer nach Grundwasserleitern).

6.2 Beschreibung der Karten

6.2.1 Sulfatgehalte

Die hydrochemische Karte der Sulfatgehalte (Abb. 45) spiegelt in erster Linie den auf Sulfat bezogenen Chemismus des wasserwirtschaftlich genutzten Untergrundes wider; sekundär werden aber auch anthropogene Einflüsse erkennbar.

Die niedrigsten Sulfatgehalte finden sich im oberirdischen Verbreitungsgebiet des Kristallins (Vorspessart bei Aschaffenburg, Fichtelgebirge), des Paläozoikums (Frankenwald) sowie des Unteren und Mittleren Buntsandsteins (Spessart, Südrhön, Thüringer-Wald-Vorland). Dort liegen die Sulfatwerte durchweg unter 25 mg/l (dunkelblaue Signatur), was sich nicht nur aus den geochemischen Gegebenheiten des Untergrundes ableiten, sondern auch auf die geringe ackerbauliche Nutzung dieser überwiegend waldbestandenen Gebiete zurückführen läßt.

Geringe Sulfatkonzentrationen (<25 mg/l) werden durchweg auch in jenen Bereichen beobachtet, wo sich der grundwasserführende Sandsteinkeuper in Form von Höhenzügen morphologisch deutlich über das Vorflutniveau heraushebt. Aufgrund der exponierten Lage wurden dort die primär vorhandenen Gipsgehalte in der Matrix des Sandsteins im Laufe der Erdgeschichte herausgelöst und weggeführt (chemische Verwitterung).

Daneben gibt es Gebiete, deren Grundwasserleiter primär wenige lösliche Sulfatbestandteile aufweisen. Folglich müssen dort auch die Grundwässer sulfatarm sein. Andernfalls sind anthropogene Einflüsse, zumeist Auswirkungen der Überdüngung, Ursache erhöhter Sulfatwerte im Grundwasser. Solche Räume stellen das Aschaffener Becken (Quartärsedimente des Rhein-Main-Tieflandes), der kristalline Vorspessart und der Südostrand der Vorrhön (Buntsandstein) dar. Die Sulfatgehalte im Grundwasser steigen dort bis über 100 mg/l an.

Zu den Gebieten mit leicht erhöhter Sulfatbeaufschlagung des Grundwassers (Klasse 25 bis 125 mg/l – hellblaue Signatur in Abb. 45) zählen auch weite Teile der Mainfränkischen Platten und des Obermain-Hügellandes. Der Untergrund dieser Bereiche, der in stratigraphischer Hinsicht die Spanne vom Oberen Muschelkalk bis zum Malm umfaßt, setzt sich aus sehr unterschiedlichen Sedimentgesteinen zusammen (Abb. 45). Dementsprechend können für die Tatsache, daß der Sulfatgehalt trotz geochemischer Inhomogenitäten des Gesteinskörpers keiner ausgeprägten räumlichen Variation unterliegt, nicht allein geogene Faktoren verantwortlich gemacht werden, sondern es müssen auch anthropogene Einflüsse (Landwirtschaft) angenommen werden. Als gesteinsbedingte Ursache des Sulfatgehaltes in diesen Bereichen sind sowohl Gips- bzw. Anhydrit-Zwischenschaltungen in karbonatischen bzw. sandigen Lagen (Mittlerer Muschelkalk, Gipskeuper) als auch Gipsgehalte in der Matrix von Sandsteinen (Sandsteinkeuper) zu nennen.

Das Auftreten höherer bis sehr hoher (125 bis >1000 mg/l) Sulfatwerte in den Grundwässern des Maingebietes muß auf eine gemeinsame Ursache zurückgeführt werden, nämlich auf die Auslaugung von Anhydrit- bzw. Gipslagern in Sedimenten des Mittleren Muschelkalks und des Gipskeupers.

Kennzeichnend für den Ausstrichbereich des Mittleren Muschelkalks ist eine starke räumliche Variation der Gesamthärte (Gipshärte) in den Grundwässern. Dies läßt sich auf unterschiedliche Auslaugungszustände zurückführen; so gibt es Areale bzw. Horizonte mit bereits ausgelaugten Sulfatgesteinslagern neben bzw. über solchen, bei denen der Lösungsprozeß noch im Gange ist. Nicht selten kommt es bei solcher Konstellation zur Bildung von Mischwässern, die – je nach Anteilen stärker oder weniger befrachteter Komponenten – zwischen 25 und 250 mg/l Sulfatgehalt aufweisen (grüne Signatur und hellblau-grüne Schraffur).

Vereinzelt gibt es im Mittleren Muschelkalk Areale, in denen die Sulfat-Mineralisation des Grundwassers der Klasse 250–1000 mg/l (gelbe Signatur bzw. Schraffur) zuzuordnen ist, wie in der Schweinfurter Rhön und im Raum Würzburg. Dort unterliegen Gipsvorkommen wegen ihrer nicht exponierten Position unterhalb des Vorflutniveaus einer offenbar schwächeren Lösungskinetik, die eine noch stärkere Sulfatauslaugung nicht zuläßt. Ähnlich hohe Werte finden sich im Bereich von Störungszonen, in denen Tiefenwässer aus dem Zechstein-Salinar aufsteigen, so entlang der Heustreuer (und u. U. der Kissingen-Haßfurter) Störungszone; auf denselben Bahnen gelangen auch Gipswässer aus dem Mittleren Muschelkalk an die Oberfläche. Schließlich sind die Grundwässer des Gipskeupers der tektonischen Schweinfurter Mulde zu nennen, die bezüglich ihres Sulfatanteiles ebenso in die Klasse 250–1000 mg/l fallen. Dort handelt es sich um Mischwässer unterschiedlich stark ausgelaugter Calciumsulfatlager, deren Chemismus sich mit dem der Quartärgrundwässer des Maintales überlagert.

Die Grundwässer mit den höchsten Sulfatgehalten (>1000 mg/l) des gesamten Planungsgebietes treten, wie aus Abb. 45 (rote Kennung) ersichtlich, innerhalb einer durchgängigen, schmalen Zone auf, welche durch das Vorland von Steigerwald und Haßbergen, den Süd- und Ostteil des Grabfeldes sowie durch das nördliche Coburger Land gebildet wird. Es handelt sich hierbei, vereinfacht (s. Kap. 5.7.2), um den Ausstrichbereich der stratigraphischen Einheit "Gipskeuper", deren Bezeichnung bereits auf den vorherrschenden geochemischen Gesteinscharakter und hieraus abzuleitend, auf die sulfatische Prägung der darin enthaltenen Grundwässer hinweist. Die Grundwässer des Gipskeupers sind zufolge ihrer außerordentlich hohen Sulfat-Mineralisation in der Regel für eine Trinkwassernutzung nicht geeignet.

6.2.2 Chloridgehalte

Die Chloridgehalte schwanken im Planungsgebiet im allgemeinen zwischen weniger als 10 und 100 mg/l (Abb. 46). Gehalte bis etwa 15 mg/l Chlorid können fast in allen Schichtfolgen als geogener Untergrund angesehen werden.

Mächtige Salzlager treten demgegenüber in den Salinarfazies des Mittleren Muschelkalks und des Zechsteins auf. Insbesondere an Verwerfungen steigen z. T. hochmineralisierte, chloridreiche Wässer aus dem Untergrund auf. Diese können sich z. T. mit den Grundwässern der genutzten oberen Grundwasserleiter mischen und dann dort zu einer Erhöhung der Chloridgehalte führen. Artesisch aufsteigende chloridreiche Tiefenwässer mit Konzentrationen von mehr als 200 mg/l sind in Abb. 46 durch senkrechte Balken gekennzeichnet. Die Mehrzahl dieser Wässer bzw. ihre Genese wird im Kap. 8 (Mineral- und Thermalwässer) kurz beschrieben.

Einen regionalen Schwerpunkt, in dem geogen bedingte chloridreiche Grundwässer mit Gehalten von 100 bis über 200 mg/l beobachtet werden können, stellt der Raum Kitzingen — Schweinfurt — Haßfurt dar. Dieses Areal deckt sich in etwa mit dem Verbreitungsgebiet der Steinsalzvorkommen im Mittleren Muschelkalk.

Bereiche, die vor allem von chloridreichen Zechsteinwässern beeinflusst werden, sind die Heustreuer Störungszone, die Räume Bad Neustadt und Bad Königshofen, schließlich einzelne Vorkommen im Tal der Fränkischen Saale (bei Bad Kissingen, Gräfendorf und Gemünden), am westlichen Spessarttrand (Bad Sodenthal), im Coburger Land und im nordwestlichen Bruchschollenland.

Mit Hilfe der großflächig vorkommenden Chloridgehalte (zwischen <10 und 100 mg/l) kann der Planungsraum in drei Teilgebiete untergliedert werden. Diese Konzentrationsunterschiede weisen überwiegend auf anthropogene Einwirkungen hin.

Die niedrigsten Chloridgehalte werden in Grundwässern aus Sandsteinen, Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen, kristallinen Gesteinen (einschließlich paläozoischer Schiefer) und jungen Ergußgesteinen gemessen. Regional treten sie großflächig in Spessart, Rhön, Thüringisch-Fränkischem Mittelgebirge und Bruchschollenland auf; größere zusammenhängende Areale sind daneben in der Südrhön und im Fränkischen Lias-Keuper-Land zu beobachten. Diese Gebiete zeichnen sich durch ein Zurücktreten der landwirtschaftlichen Nutzung, z. T. auch durch dichten Waldbestand aus. Die Chloridkonzentrationen, die hier mehrheitlich unter 10 mg/l liegen (dunkelblaue Signatur), können als "geogener Background" interpretiert werden.

Leicht erhöhte Tendenzen mit Chloridgehalten zwischen 10 und 25 mg/l (hellblaue Signatur) weisen Wässer auf, deren Grundwasserleiter zwar aus den gleichen Gesteinen wie die Wässer mit niedrigen Chloridkonzentrationen aufgebaut werden, deren Einzugsbereiche allerdings größeren anthropogenen Einflüssen ausgesetzt sind. So wird beispielsweise die Südrhön im allgemeinen stärker landwirtschaftlich genutzt als Rhön und Spessart. Unterschiedlich starker landwirtschaftlicher Nutzung und Besiedelungsdichte unterliegt auch das Coburger Land, wodurch hier Bereiche mit erhöhten Chloridgehalten und solche mit niedrigen Chloridwerten miteinander wechseln. — Trotz der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und sehr starken Besiedelungsdichte zeigen Wässer aus den Sanden und Kiesen des Aschaffener Beckens generell nur leicht erhöhte Chloridwerte.

Grundwasservorkommen, deren Einzugsgebiet von wichtigen Straßen durchzogen wird, lassen aufgrund der winterlichen Salzstreuung meist ein tendenzielles Ansteigen des Chloridgehaltes erkennen. Besonders gut ist dies am Ostabfall des Spessarts festzustellen. Hier quert die Bundesautobahn Frankfurt — Würzburg den Buntsandstein-Spessart. Die Chloridkonzentrationen, die in der weiteren Umgebung im allgemeinen unter 10 mg/l liegen, steigen im Nahbereich auf 10–25 mg/l an; in einigen Quellen werden sogar deutlich höhere Gehalte gemessen.

Wässer aus Karbonatgesteinen scheinen im Planungsgebiet höhere Chloridwerte aufzuweisen als solche aus Sandsteinen bzw. Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen. Dies dürfte allerdings ursächlich nicht mit der Lithologie der Grundwasserleiter, sondern vielmehr mit der Bodennutzung der Karbonatgesteine im Untersuchungsgebiet und mit deren geringem Filterungsvermögen zusammenhängen. So unterliegen die Ausstriche von Muschelkalk und Malmkarst großflächig einer z. T. intensiven landwirtschaftlichen Nutzung. Andererseits werden in einigen Grundwässern aus dem Muschelkalk des Bruchschollenlandes und des nördlichen Coburger Landes auch sehr niedrige Chloridkonzentrationen von unter 10 mg/l gemessen. Weiterhin gibt HOBERGER (1977) für geogen bedingte Chloridgehalte im Muschelkalk des Taubergebiets Maximalwerte von 15 mg/l an.

Die großflächig höchsten Chloridgehalte werden in Grundwässern angetroffen, die aus dem Maindreieck, dem Ochsenfurter Gau, dem Steigerwald- und Haßbergvorland und dem Grabfeldgau stammen. Ein weiteres zusammenhängendes Gebiet mit sehr hohen Chloridgehalten stellt die südöstliche Ecke des Spessarts zusammen mit Teilbereichen der Marktheidenfelder Platte dar. In diesen Arealen wird sehr intensiv Landwirtschaft betrieben. Der Waldanteil beträgt z. T. nur etwa 10 %. Dementsprechend steigen die Chloridgehalte im allgemeinen auf 25–100 mg/l an (grüne Signatur). Vor allem bei Grundwassererschließungen durch Brunnenbohrungen kann es im Raum Kitzingen — Schweinfurt — Haßfurt zu Überlagerungen durch geogen bedingte sehr hohe Chloridgehalte kommen, die ursächlich auf Salzvorkommen im Mittleren Muschelkalk zurückzuführen sind (gelbe Signatur, gelb-grüne Schraffur und senkrechte rote Balken). Daneben sind stark schwankende Chloridgehalte zwischen 10

und 100 mg/l, so z. B. am nördlichen Rand der Frankenalb, im Maintal nördlich Bamberg und vereinzelt in der Südrhön, mit anthropogenen Einflüssen in Beziehung zu bringen.

6.2.3 Nitratgehalte

Der Nitratgehalt in ober- und unterirdischen Wässern unterliegt starken jahreszeitlichen Schwankungen, die sowohl in natürlichen als auch in anthropogenen Gegebenheiten begründet sind. Als natürlicher Faktor ist das saisonale Wechselspiel zwischen Aufwuchs und Abbau der Pflanzenmasse anzusehen. Dazu kommt eine periodisch wiederkehrende, z. T. außerordentlich hohe Nitratfreisetzung durch Düngungsmaßnahmen (Stallmist, Gülle, Kunstdünger) durch landwirtschaftliche Nutzung. Weitere künstliche "Nitratquellen" sind Massentierhaltungen (u. a. auf Freilandflächen), Abfalldeponien und Anlagen zur Abwasserversickerung bzw. -versenkung. In saisonabhängigem Ausmaß gelangt das auf natürliche oder künstliche Weise erzeugte Nitrat über den Sickerwasserpfad von der Erdoberfläche in das Grundwasser.

Die vorliegende Karte der Nitratgehalte in den Grundwässern des Planungsraumes (Abb. 47) basiert auf den bisher bekannten Höchstwerten, d. h. sie stellt ein Abbild der im Erfassungszeitraum aufgetretenen Maximalbelastungen dar.

Für das gesamte Planungsgebiet ist von einem geogenen mittleren Grundgehalt von rund 10 mg/l Nitrat auszugehen. Dieser Wert wird fast überall im Planungsgebiet überschritten; es gibt weite Bereiche, in denen der Nitratgehalt ein Mehrfaches des geogenen Grundwertes ausmacht. Daraus läßt sich erkennen, welches Ausmaß die anthropogene Nitratbelastung der Grundwässer des Mairgebietes angenommen hat. Weiterhin ist zu beachten, daß aufgrund der eingangs erwähnten starken saisonalen Schwankungen auch in Räumen mit durchschnittlich niedriger Belastung vorübergehend hohe Werte auftreten können. Insgesamt jedoch spiegeln die Nitratkonzentrationen des Grundwassers die Intensität der landbaulichen Nutzung des Planungsraumes wider.

Die Konzentrationsklasse ≤ 25 mg/l (blaue Signatur) umfaßt zum einen walddreiche Areale mit vergleichsweise geringer landwirtschaftlicher Nutzung. Hierzu zählen: Teile des Odenwaldes, der östliche Bereich des kristallinen Vorspessarts, der Sandstein-Spessart, die Hochrhön, weite Bereiche des Hesselbacher Waldlandes, der nördliche Abschnitt der Haßberge sowie der Nordteil des Frankenswaldes. Zum anderen gehören hierher auch Bereiche, in denen das Hauptgrundwasserstockwerk (Muschelkalk) zwar niedrige Nitratgehalte (≤ 25 mg/l) aufweist, jedoch die hangenden Grundwasservorkommen (z. B. Unterer Keuper) einer erhöhten, anthropogen bedingten Belastung (Intensiv-Landwirtschaft) unterliegen. Dies ist der Fall im Ostteil des Gollach-Gaues sowie im Schweinfurter Becken.

Einer gemischten Klasse mit teils niedrigen, teils erhöhten Nitratkonzentrationen (<25 bis 50 mg/l) gehören die auf Abb. 47 blau-grün ausgewiesenen Flächen an. Hierunter fallen: der Nordwestteil des kristallinen Vorspessarts, schmale Zonen der Mainfränkischen Platten, die Umgebung von Bad Neustadt a. d. Saale, Teilbereiche des Hesselbacher Waldlandes, die Nordausläufer der Nördlichen Frankenalb, ein großer Teil des Obermain-Hügellandes sowie das Fichtelgebirge und der südliche Frankenswald. – Des weiteren gibt es inselartige Bereiche, die durch Nitratgehalte von überwiegend <25 bis 50 mg/l gekennzeichnet sind, an einzelnen Stellen aber auch Werte bis 90 mg/l aufweisen. Man findet diese (in Abb. 47 als blau-gelb gestreifte Zonen ausgeschieden) im Obermain-Hügelland und im Bereich der nördlichen Mainfränkischen Platten.

Eine noch breitere Streuung der Nitratgehalte des Grundwassers tritt in folgenden Abschnitten des Planungsraumes auf: am Westrand des Mainvierecks (Zone Aschaffenburg — Miltenberg), im südöstlichen Spessart, im Maindreieck und im östlich anschließenden Steigerwald-Vorland sowie im Südteil und an der Ostabdachung der Haßberge (Itz-Baunach-Hügelland im Dreieck Bamberg — Haßfurt — Coburg). Hiervon betroffen ist auch das hangende Grundwasserstockwerk des Unteren Keupers im Südteil der Mainfränkischen Platten (Ochsenfurter und Gollach-Gau) und im Steigerwald-Vorland zwischen Marktbreit und dem Schweinfurter Becken. In den genannten Räumen liegen die Nitratkonzentrationen überwiegend im Bereich 25–90 mg/l (grün-gelbe Schraffur); untergeordnet kommen Werte <25 mg/l vor, doch wurden andererseits an einigen wenigen Stellen mehr als 90 mg/l festgestellt.

Ausgesprochene Belastungsschwerpunkte, an denen der Nitratgehalt im Grundwasser in der Regel 50–150 mg/l (gelb-hellrote Schraffur), z. T. auch darüber beträgt, stellen der Raum Aschaffenburg (kristalliner Vorspessart), eine Zone im Maindreieck bei Würzburg, der Maintalbereich zwischen Kitzin-

gen und Schweinfurt sowie das östlich daran anschließende Vorland des Steigerwaldes dar. Gemeinsame Ursache dieser starken Belastungen ist eine hochintensive landwirtschaftliche Nutzung, die im Bereich des Maintales (Würzburg — Kitzingen — Volkach) in Form des Weinanbaues, im Steigerwald-Vorland in Form von gemischten Sonderkulturen (Anbau von Obst, Wein, Gemüse auf sandigen Böden) gegeben ist. Im Raum zwischen Kitzingen und dem Schweinfurter Becken (Maintal, Steigerwald-Vorland) ist vor allem der hangende Grundwasserleiter des Unteren Keupers von der aufgezeigten hohen anthropogenen Nitratbelastung mit Werten bis zu 150 mg/l betroffen.

6.2.4 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische (richtiger: elektrolytische) Leitfähigkeit einer wäßrigen Lösung resultiert aus ihrem Gehalt an dissoziierten Stoffen (Ionen). Die Leitfähigkeit steigt mit der Konzentration der in der Lösung enthaltenen Ionen. Somit liefert der Parameter elektrische Leitfähigkeit, welcher mit sehr einfachen Mitteln (geeichtes elektrisches Meßgerät) vor Ort bestimmt werden kann, einen sicheren Anhaltspunkt für den Mineralisationsgrad eines Wassers.

Ebenso wie bei den übrigen der im vorliegenden Abschnitt erläuterten hydrochemischen Kenngrößen, ergibt sich die Mineralisation bzw. die elektrische Leitfähigkeit der Grundwässer aus dem Zusammenwirken geogener und anthropogener Faktoren. Überlagerungseffekte nicht nur zwischen geogenen und anthropogenen Faktoren, sondern zusätzlich auch infolge wechselnder Untergrundgegebenheiten bedingen eine Komplikation der Mineralisationsverhältnisse.

Entsprechend der unter den mitteleuropäischen Klimabedingungen sehr langsam ablaufenden chemischen Verwitterung der Silikatgesteine weist das in diesen Gesteinen vorkommende Grundwasser einen sehr geringen Gehalt an gelösten festen Stoffen auf. Als silikatischer Untergrund sind innerhalb des Planungsraumes in erster Linie das Kristallin, der Buntsandstein und die tertiären Vulkanite, zum Teil aber auch die paläozoischen Gesteinseinheiten anzusprechen. Lösungsinhalte des Grundwassers im mittleren Konzentrationsbereich, in der Hauptsache aus Hydrogenkarbonat-, Calcium- und Magnesium-Ionen zusammengesetzt, markieren das Verbreitungsgebiet karbonatischer Grundwasserleiter. Hierher gehören: die kalkig-dolomitischen Ausbildungen des Muschelkalkes, der Jura-Körper und die kalkig gebundenen Sandsteine des Keupers. Hohe bis sehr hohe Mineralisationen und damit entsprechend hohe Werte der elektrischen Leitfähigkeit liegen bei Gesteinen mit einem bedeutenden Anteil leichtlöslicher Komponenten, wie Gips und Steinsalz, vor. Im Planungsraum fallen hierunter die Grundwässer im Bereich der Anhydrit- und/oder Gips-Vorkommen des Mittleren Muschelkalkes und des Gipskeupers (Sulfatwässer) sowie die aus dem Zechstein-Salinar entlang von Störungszonen aufsteigenden Tiefenwässer (chloridbetonte Mineralwässer).

Die anthropogene Aufhärtung der Grundwässer wird in erster Linie durch die künstliche, teils gezielte, teils unbeabsichtigte Ausbringung von Stoffen auf der Erdoberfläche bzw. in den Untergrund verursacht. Als ausschlaggebende Faktoren hierbei sind Maßnahmen der Landwirtschaft (Anwendung von Natur- und Kunstdünger; Massentierhaltung), der Abwasserbeseitigung (Ableitung ungeklärter oder unzureichend gereinigter Abwässer in Oberflächengewässer oder in den Untergrund, hierher gehören auch Versickerungen von Straßenabflüssen; undichte Kanalisationssysteme) und der Abfallbeseitigung (Übertritt von Deponiesickerwässern in den Grundwasserleiter) zu nennen. Treten in einem Grundwasserkörper erhöhte elektrische Leitfähigkeiten auf, die sich nicht aus den örtlichen geochemischen Gegebenheiten ableiten lassen, so müssen in der Regel die oben genannten Ursachen in Betracht gezogen werden.

Innerhalb des Planungsraumes sind als Bereiche niedrigster Mineralisation (Leitfähigkeitsklasse ≥ 10 bis $150 \mu\text{S}/\text{cm}$ – violette Kennung in Abb. 48) zu nennen: der östliche Abschnitt des kristallinen Vorspessarts, der bewaldete Sandstein-Spessart, Teile der Süd- und der Hochrhön, das Hohe Fichtelgebirge und die Münchberger Hochfläche. Dabei handelt es sich um Gebiete mit gesteinsbedingt schwacher Aufhärtung des Grundwassers, die außerdem zum weitaus überwiegenden Teil waldbestanden sind und somit einer sehr geringen landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen.

Innerhalb dieser Großzonen, welche durch das Verbreitungsgebiet der Gesteinseinheiten Kristallin, Paläozoikum und Buntsandstein sowie der tertiären Vulkanite gebildet werden, gibt es auch Lokaltäten, an denen das Grundwasser Leitfähigkeitswerte aufweist, die nicht allein den örtlichen geochemischen Verhältnissen zugeschrieben werden können; vielmehr kommen dort anthropogene Einflüsse zum Tragen. Als solche Bereiche mit Leitfähigkeitswerten zwischen 10 und $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Kennung:

violett-hellblau gestreift) lassen sich u. a. ausscheiden: das Aschaffener Becken (Quartärsedimente) und der anschließende westliche Teil des kristallinen Vorspessarts, der bayerische Anteil des Odenwaldes (Buntsandstein) sowie der Großteil des Frankenwaldes (Paläozoikum).

Leitfähigkeiten zwischen 150 und 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kennung: blau-grün gestreift) kennzeichnen einen schmalen Saum entlang der Fränkischen Saale am Nordwestrand der Mainfränkischen Platten sowie eine NW-SE-verlaufende Zone im Obermain-Hügelland, gebildet aus den Gegenden um Neustadt bei Coburg und um Kronach sowie aus einem Streifen entlang des Roten Mains. Der Gesteinsuntergrund dieser Areale setzt sich aus sandig-tonigen Abfolgen des Buntsandsteins und des Keupers zusammen. Auch dort müssen für die Tatsache, daß die Grundwässer trotz geogen niedriger Aufhärtung erhöhte Leitfähigkeitswerte aufweisen, anthropogene Einflüsse in Form verstärkter landwirtschaftlicher Nutzung verantwortlich gemacht werden.

Als Bereiche erhöhter elektrischer Leitfähigkeit mit Werten innerhalb der Mischklasse 300 bis 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kennung: dunkelgrün), für die in erster Linie die karbonatgesteinsbürtigen Ionen Hydrogenkarbonat, Calcium und Magnesium verantwortlich zeichnen, sind das Einzugsgebiet des Weismains und der daran anschließende Abschnitt des Obermain-Hügellandes (Ausläufer der Jura-Platte) sowie der Muschelkalk-Ausstrich zwischen Mellrichstadt und der Hohen Rhön zu nennen. Im Itzgrund dagegen tragen die Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen des Mittleren Keupers nur wenig zur Mineralisation des Grundwassers bei; die dort festgestellten höheren Leitfähigkeitswerte müssen vielmehr auf anthropogene, in der Hauptsache landwirtschaftliche Einflüsse zurückgeführt werden.

Elektrische Leitfähigkeiten zwischen 500 und 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kennfarbe: hellgrün) lassen sich vor allem in der Osthälfte des Planungsraumes feststellen. Die Ursachen der Grundwasseraufhärtung sind dort vielgestaltig. Als geogene Faktoren müssen zum einen Karbonatgesteine bzw. karbonatische Komponenten in den Grundwasserleitern genannt werden. Hiervon wiederum seien zunächst die Muschelkalk-Gebiete erwähnt: ein langgestreckter, schmaler Streifen des Bruchschollenlandes östlich der Linie Kronach — Kulmbach — Bayreuth sowie ein Teil des Hesselbacher Waldlandes. Als weitere Einheit mit karbonatharten Grundwässern erscheint der Malmkarst am Rand der Nördlichen Frankenalb südlich Lichtenfels a. Main und westlich Bayreuth. Da sich in den stratigraphischen Einheiten Rhät-Lias bis Dogger ebenfalls karbonatische Komponenten (z. T. als Bindemittel von Sandsteinen, z. T. als Gemengteil der Mergel, z. T. in Form von Kalk- und Dolomitstein) in nennenswertem Umfang finden, zeichnen sich die aus dieser Gesteinsabfolge aufgebauten Nordausläufer der Juraplatte im Bereich des Itz-Baunach-Hügellandes klar als Leiter härteren Grundwassers ab. Neben den Karbonaten treten Sulfatanteile als Verursacher der geogenen Grundwasseraufhärtung in Erscheinung. Dies ist der Fall bei den Sandsteinen des Mittleren Keupers (z. T. gipshaltige Bindemittel) in weiten Bereichen der Haßberge, sowie im nordwestlichen Abschnitt des Itz-Baunach-Hügellandes. Der Leitfähigkeitsklasse >500 bis 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sind schließlich auch die Grundwässer in den quartären Schottern des Maintales zwischen den Einmündungen von Rodach und Itz sowie zwischen der Regnitzmündung und der Ortschaft Zeil a. Main zuzuordnen. Die Mineralisation dieser Porengrundwässer läßt sich zum einen aus dem Vorhandensein karbonatischer Komponenten in den petrographisch vielfältigen Mainschottern herleiten; zum anderen muß davon ausgegangen werden, daß eine Aufhärtung des Grundwassers infolge der landwirtschaftlichen Nutzung der Main-Talauen stattfindet.

Grundwässer mit einer Leitfähigkeit zwischen 500 und 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kennung: hellgrün-gelb gestreift) nehmen einen bedeutenden Anteil der betrachteten Region ein. Sie finden sich vor allem im mittleren Abschnitt des Planungsraumes in den als "Mainfränkische Platten" zusammengefaßten Gäulandschaften. Die relativ hohe Mineralisation der Grundwässer dieses Gebietes wird sowohl durch geogene als auch durch anthropogene Gegebenheiten verursacht. Für die gesteinsbedingte Aufhärtung zeichnen karbonatische und sulfatische Ausgangsstoffe verantwortlich. Ausschlaggebend für die hohe Leitfähigkeit der Muschelkalk-Grundwässer der Mainfränkischen Platten sind in Bereichen kalkiger Gesteinsausbildung Hydrogenkarbonat- und Calcium-Ionen, während bei den von Anhydriten und Gipsen beeinflussten Grundwässern des Mittleren Muschelkalks Sulfat- und ebenfalls wieder Calcium-Ionen im Vordergrund stehen. Ein maßgeblicher Anteil an der Calcium-Hydrogenkarbonat-Prägung der Grundwässer kommt im Bereich der Gäuplatten des Maindreieck-Raumes auch den ausgedehnten kalkreichen Lößauflagen zu. Wegen des gelegentlichen Auftretens von Gipslagen bzw. -linsen weisen auch die im Sandsteinkeuper zirkulierenden Grundwässer stellenweise höhere (sulfatbestimmte) Härten auf, so an der Ostabdachung der Haßberge und im Itz-Baunach-Hügelland. Als Auswirkung der Intensivlandwirtschaft kommt vor allem im Raum des Maindreiecks zu den hohen gesteinsbedingten Mineralisationen noch eine anthropogene Aufhärtung hinzu.

In den näheren Umgebungen von Würzburg und Schweinfurt finden sich jeweils kleinere Areale mit Leitfähigkeitswerten des Grundwassers zwischen 750 und 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kennung: gelb). Dort handelt es sich um Mischwässer aus dem Mittleren und Oberen Muschelkalk, deren Chemismus maßgeblich durch Sulfat-, Calcium- und Hydrogenkarbonat-Ionen bestimmt wird.

Grundwässer der Leitfähigkeits-Mischklasse >750 bis >1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kennung: gelb-rot gestreift) sind im Raum Würzburg, im Bereich der Spitze des Maindreiecks (Raum Kitzingen, Ochsenfurter und Gollach-Gau), im Schweinfurter Becken und dem südöstlich daran anschließenden Steigerwald-Vorland, im Grabfeld östlich Bad Neustadt a. d. Saale sowie vereinzelt zwischen Coburg und Kronach anzutreffen. Gemeinsam ist diesen Vorkommen eine geogene Prägung durch hochmineralisierte Komponenten sulfatischer und/oder chloridischer Herkunft. Im Bereich der Maindreieck-Spitze bilden Mittlerer und Oberer Muschelkalk den Aquifer solcher Wässer. Zwischen Kitzingen und Schweinfurt auftretende Calciumsulfat-Natriumchlorid-Wässer gehen auf Salzlager im Mittleren Muschelkalk zurück. Die höher mineralisierten Grundwässer der (tektonischen) Schweinfurter Mulde stammen aus dem Gipskeuper. Im Falle des Grabfeldes und von Coburg — Kronach ergeben sich die hohen Leitfähigkeiten aus besonderen hydrogeologischen Gegebenheiten: Entlang von Verwerfungen (Heustreuer Störungszone, Fränkische Linie) steigen dort hochmineralisierte Tiefengrundwässer aus dem Zechstein-Salinar auf.

Elektrische Leitfähigkeiten von durchgängig über 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kennfarbe rot in Abb. 48) weisen die im Gipskeuper enthaltenen Grundwässer auf. Ihre hohe Mineralisation kommt durch Auslaugung der Gipseinlagerungen in der tonigen Folge des Grundwasserleiters zustande. Aufgrund des sehr hohen Sulfatgehaltes sind sie für eine Trinkwasser-Verwendung nicht geeignet. Das Verbreitungsgebiet von Grundwässern dieser Klasse umfaßt den Ausstrich des Gipskeupers im Steigerwald-Vorland, an der Westabdachung der Haßberge, im östlichen (bayerischen) Grabfeld sowie im nördlichen Coburger Land.

6.2.5 pH-Werte

Unter dem pH-Wert wird der negative dekadische Logarithmus der Konzentration des Hydronium-Ions (Wassermolekül mit angelagertem Wasserstoff-Ion) in einem wäßrigen Medium verstanden. Die Azidität bzw. Basizität (Alkalität) einer wäßrigen Lösung ergibt sich aus ihrem Gehalt an Wasserstoff- bzw. Hydronium-Ionen. Im Hinblick auf das hydrochemische Reaktionsverhalten sind die Bereiche "sauer" ($\text{pH} < 7$), "neutral" (pH um 7) und "basisch" ($\text{pH} > 7$) zu unterscheiden.

Der pH-Wert eines Grundwassers wird durch den Chemismus des Grundwasserleiters bestimmt. Silikatische Gesteine mit geringem Puffervermögen, wie Kristallin und Buntsandstein, enthalten sauer reagierende Grundwässer, wogegen Karbonatgesteine (Muschelkalk, Malm) eine leicht alkalische (basische) Prägung des Grundwassers hervorrufen. Auch das Ausmaß der Mineralisation des Grundwassers gibt sich über den pH-Wert zu erkennen, da im allgemeinen weiches, also gering mineralisiertes Wasser aus silikatischen Gesteinen einen niedrigeren pH-Wert aufweist als hartes Wasser aus karbonatbestimmten Gesteinen. Da natürlich vorkommende Wässer gewöhnlich gelöstes Kohlendioxid-Gas und Hydrogenkarbonat-Ionen, die mit der Kohlensäure ein gepuffertes System bilden, enthalten, variiert in diesen Wässern der pH-Wert im allgemeinen nur zwischen 5,0 und 8,0. Neben der geogenen Prägung des pH-Wertes spielen auch anthropogene Einflüsse, vor allem die landwirtschaftliche Düngung, eine wichtige Rolle für die Azidität bzw. Basizität des Grundwassers. So verursacht der Einsatz von Kalisalzen als Düngemittel infolge Ionenaustauschvorgängen im Boden eine Freisetzung von Calcium-Ionen und damit eine Erhöhung des pH-Wertes des Grundwassers.

Ausgeprägt sauer reagierende Grundwässer ($\text{pH} < 6,5$) finden sich in erster Linie im Verbreitungsgebiet des Kristallins (Fichtelgebirge) und des Buntsandsteins (Spessart, Rhön), untergeordnet auch in paläozoischen Schieferen (Frankenwald) und in den Vulkaniten der Rhön. Gemeinsames Merkmal solcher Bereiche ist eine ausgedehnte Bewaldung bei vergleichsweise geringer landwirtschaftlicher Nutzung. Innerhalb der genannten Areale gibt es weite Bereiche mit pH-Werten zwischen 5,5 und 6,5 (rote Kennung in Abb. 49). Kleinere Inseln (gelbe Kennung) darin treten sogar durch Werte $< 5,5$ (stark saures Milieu) hervor.

Einen größeren Anteil nehmen Flächen mit einer räumlichen Variation des pH-Wertes zwischen 5,5 und 7,5 (leicht sauer bis neutral – Kennung: rot-blau gestreift) ein. Hierzu zählen: der Odenwald, der Südwestteil des Sandsteinspessarts, der kristalline Vorspessart, Abschnitte der Süd- und Hochrhön,

das Obermain-Hügelland und der Hauptteil des Frankenwaldes. Dabei handelt es sich um Areale, die zwar eine gesteinsbedingte saure Grundprägung aufweisen, in denen aber eine anthropogene Überprägung mit Verschiebung zum neutralen Milieu hin gegeben ist.

Etwa die Hälfte der Fläche des Planungsraumes muß dem neutralen Grundwassermilieu ($6,5 < \text{pH} \leq 7,5$ – blaue Kennung in Abb. 49) zugewiesen werden. Im einzelnen gehören in diese Kategorie: ein Großteil des Aschaffener Beckens (v. a. das Verbreitungsareal der Quartärsedimente), der weitaus größte Anteil der Mainfränkischen Platten, die Nordausläufer der Nördlichen Frankenalb im Raum Lichtenfels sowie der nordwestliche Abschnitt des Obermain-Hügellandes. Die intermediäre Grundwasserprägung resultiert aus dem vorherrschenden Gesteinscharakter: es handelt sich um die Karbonat- und Sulfatgesteine des Muschelkalkes, um Karbonatlagen des Unteren Keupers und z. T. karbonatisch gebundene Sandsteine des Mittleren Keupers. Im Ausstrich des Sandsteinkeupers sind um den Neutralpunkt schwankende pH-Werte auch auf Kalkung bzw. Düngung der landwirtschaftlichen Flächen zurückzuführen.

Innerhalb des oben umrissenen Verbreitungsgebietes neutral reagierender Grundwässer treten einige Bereiche leicht alkalischen Charakters ($6,5 < \text{pH} \leq 8,5$ – Kennung: blau-grüne Streifen) hervor. Verantwortlich für die Alkalität sind teils geogene, teils anthropogene Gegebenheiten. So muß im südlichen Bereich des Maindreiecks (Raum Würzburg — Kitzingen — Volkach) neben den auf den Gäuplatten verbreiteten kalkigen (= basischen) Lößauflagen auch die dort betriebene Intensiv-Landwirtschaft (vgl. Kap. 6.2.3 Nitratgehalte) als Ursache für die Erhöhung des pH-Wertes angesehen werden. Die zweite große, zusammenhängende alkalische Zone zeichnet im Gebiet des Obermains die Nordausläufer des Juras, einer vorwiegend karbonatischen Gesteinsserie, nach.

Eine noch stärkere Alkalität ($7,5 < \text{pH} \leq 8,5$ – Kennung: grün) schließlich charakterisiert die in den silurischen Ockerkalken des Frankenwald-Paläozoikums zirkulierenden Grundwässer. Dabei handelt es sich allerdings um engbegrenzte Vorkommen, denen in Bezug auf den Gesamt-Planungsraum lediglich eine sehr untergeordnete Rolle zukommt.

6.2.6 Ergiebigkeiten

Die Ergiebigkeiten werden von den Durchlässigkeiten und dem Speichervermögen der jeweiligen Gesteine bestimmt. Sie können innerhalb eines Grundwasserleiters starken Schwankungen unterliegen. Abb. 50 stellt eine Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse dar; sie orientiert sich an Quellschüttungen und Förderleistungen der Brunnen. Detailliertere Informationen bezüglich der Ergiebigkeiten der einzelnen Grundwasserleiter finden sich in den Kapiteln 3 und 7.

Im Planungsraum sind Gebiete mit einer Ergiebigkeit der Quellen und Brunnen zwischen 1 und 5 l/s (gelbe Signatur) am häufigsten vertreten. Hierunter fallen weite Bereiche der mesozoischen Sedimentgesteine sowie Teilgebiete des Kristallins.

Die geringsten Ergiebigkeiten weisen Teilbereiche des kristallinen Vorspessarts und des Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirges, einzelne Areale im Ausstrich des Buntsandsteins (v. a. im Oberen Buntsandstein) sowie große Teile des Unteren Keupers auf (rote Signatur). Die geringen Ergiebigkeiten von unter 1 l/s sind einerseits auf ein kleineres Speichervermögen der Grundwasserleiter, andererseits auf fehlende bzw. nur geringmächtig ausgebildete, aufnahme- bzw. speicherfähige Schutt- und Verwitterungsdecken zurückzuführen.

Zu den Gebieten, in denen im allgemeinen Einzelergiebigkeiten zwischen 0,1 und 5 l/s erwartet werden können, zählen der Ausstrich der Vulkanite der Rhön, Teilbereiche des Buntsandstein-Ausstrichs, weite Areale, in denen der Gips- und Sandsteinkeuper zu Tage treten, sowie regellos verteilte Einzelvorkommen (gelb-rote Signatur).

Ergiebigkeiten zwischen 5 und 10 l/s treten vor allem im Muschelkalk-Ausstrich im näheren Umfeld von Schweinfurt und Bad Neustadt a. d. Saale auf (hellgrüne Signatur). Innerhalb dieses Gebietes werden bereichsweise deutlich höhere Quellschüttungen bzw. Brunnenförderleistungen von 5–25 l/s (hellgrüne-dunkelgrüne Schraffur) erreicht; in einzelnen Fällen werden dort Ergiebigkeiten von 25–100 l/s, z.T. sogar darüber registriert (hell- und dunkelblaue Signatur). Solch hohe Werte sind mit intensiv verkarstem (v. a. Unterem und Mittlerem) Muschelkalk und/oder an Verwerfungen mit wesentlich erhöhter Klüftigkeit in Verbindung zu bringen.

Erhöhte Ergiebigkeiten werden darüber hinaus im Ausstrich des Buntsandsteins in Spessart und Südrhön festgestellt. In Abhängigkeit vom Kluftvolumen der Sandsteine unterliegen hier die Schüttungen großen Streubreiten. Es können relativ gering schüttende (<1 l/s) Quellen neben vergleichsweise stark schüttenden (bis 25 l/s) beobachtet werden (Gebiete mit hell- und dunkelgrüner Signatur bzw. hellgrün-gelber und dunkelgrün-gelber Schraffur). Vor allem im nördlichen Spessart-Hauptkamm weisen einzelne Quellen Ergiebigkeiten von über 25 l/s (hellblaue Schraffur) auf. Ein ähnliches Verhalten, wenn auch insgesamt geringere Werte, zeigt auch der Ausstrich des Sandsteinkeupers am Ostabfall der Keuper-Landstufe. Die Ergiebigkeiten schwanken hier z. T. zwischen 1 und 10 l/s (gelb-hellgrüne Schraffur).

Als weitere Zonen erhöhter Ergiebigkeit sind die Bereiche der Talränder, v. a. des Maintales, zu nennen. Durch die Hangzerreißung sind die Klüfte in Talnähe geweitet worden. Die Eintiefung des Mains auf sein heutiges Niveau vollzog sich bereits im Altquartär, so konnten sich, über einen vergleichsweise langen Zeitraum, erhöhte Wasserwegsamkeiten zum Hauptvorfluter bilden. Weiterhin wird der grundwassererfüllte Talbereich in der Regel von Sanden und Kiesen aufgebaut, die ihrerseits gute Durchlässigkeiten und Speichereigenschaften aufweisen. In Abhängigkeit solcher Faktoren können auf weiten Strecken des Maintals Ergiebigkeiten zwischen 5 und 10 l/s, häufig auch bis 25 l/s beobachtet werden (hellgrüne Signatur bzw. hellgrün-dunkelgrüne Schraffur). Besonders hervorzuheben ist dabei das Aschaffener Becken, wo aufgrund der hohen Quartärmächtigkeiten und z. T. tektonischer Ursachen Ergiebigkeiten zwischen 25 und 100 l/s, z. T. sogar darüber, vorliegen. Grundwasser, das dem Maintalquartär aus dem z. T. verkarsteten Muschelkalk zuströmt, kann auch im Maintalbereich zwischen Schweinfurt und Ochsenfurt und bei Würzburg sehr hohe Ergiebigkeiten ermöglichen. (Die Aussagen für das Maintal und seine nähere Umgebung beziehen sich fast ausschließlich auf die Erschließung durch Brunnen. Bei der Erschließung in Festgesteinen sind natürlich auch in Gebieten, in denen im allgemeinen erhöhte Ergiebigkeiten auftreten, Fehlbohrungen nicht auszuschließen).

Im Bruchschollenland und im Nordteil des Coburger Landes treten inselartig einzelne Gebiete mit erhöhten bis sehr hohen Ergiebigkeiten in Erscheinung. Derartige Areale, die sowohl im Ausstrich der Sandsteine von Buntsandstein und Keuper, als auch in den kalkigen Abfolgen des Muschelkalks beobachtet werden können, sind meist mit starker Bruchtektonik (und damit verbunden einer Erhöhung des Kluftvolumens) in Beziehung zu bringen. In solchen Gebieten steigen die Ergiebigkeiten auf 5–10 l/s an. Gelegentlich werden auch höhere Werte, im allgemeinen zwischen 25 und 100 l/s erreicht.

Im Kristallin des Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirges treten nur vereinzelt Quellen mit erhöhten Schüttungen bzw. ergiebigere Brunnen auf. Diese lassen sich dann einerseits auf geweitete Klüfte des Festgesteins, andererseits auf mächtige, speicherfähige Zersatz- und Schuttdecken zurückführen.

7 Regionale Betrachtungen

7.1 Bilanzraumgliederung und Methodik zur Ermittlung des Grundwasserdargebotes

7.1.1 Bilanzraumgliederung

Für die hydrogeologischen Detailbetrachtungen, wie Dargebotsermittlung einzelner Gebiete, aktueller Stand der Wasserversorgung und Abschätzung potentieller Grundwasserreserven wurde der Planungsraum in Teilgebiete, sogenannte Bilanzräume, untergliedert. Diese Einteilung orientiert sich zunächst an geologisch-geomorphologischen Haupteinheiten, wobei dann im Detail politische Grenzen berücksichtigt werden. Dadurch liegen im Planungsgebiet Teilflächen, die nicht zum Main hin entwässern; andererseits schneidet die bayerische Staatsgrenze Flußgebiete ab, die zum Main gerichtet sind. Daneben kommt es zwischen einzelnen Bilanzräumen immer wieder zu Überschneidungen benachbarter geologisch-geomorphologischer Einheiten sowie Einzugsgebieten verschiedener Gewässer. Folgende Bilanzräume wurden abgegrenzt:

Nr. Bezeichnung

- I Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (sog. 'Altes Gebirge') und Bruchschollenland
- II Coburger Land
- III Mittelmain
- IV Sinn-Saale-Gebiet
- V Spessart
- VI Nördliche Frankenalb

Mit Ausnahme des Bilanzraums "Nördliche Frankenalb" werden alle Bilanzräume in diesem Teil der Rahmenplanung bearbeitet. Im Gebiet der Nördlichen Frankenalb wurden vom GLA geologisch-hydrogeologische Spezialarbeiten durchgeführt, über deren Ergebnisse getrennt berichtet wird (Rahmenplan Main, Teil II).

Das Maintal durchzieht alle Bilanzräume; grundwasserführend sind dort Sande und Kiese des Maintalquartärs. Dieser Porengrundwasserleiter steht z. T. in Wechselwirkung mit den verschiedenen Kluft- und Karstgrundwasserleitern, stellt aber eine selbstständige Einheit dar. Die Beschreibung der hydraulischen und der hydrochemischen Gegebenheiten des im Maintalquartär vorkommenden Grundwassers setzt die Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse im Taluntergrund sowie in den Talflanken voraus. Daher wird das Maintalquartär abschnittsweise bei den einzelnen Bilanzräumen abgehandelt.

7.1.2 Ermittlung des Grundwasserdargebotes

Definitionen

Den Ausführungen über die Verfahrensweise bei der Ermittlung des Grundwasserdargebotes seien einige Begriffserklärungen vorangestellt. Sie entsprechen den in DIN 4049 TEIL 1 (1979) bzw. – soweit dort nicht enthalten – den vom ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG (1977) und von ARMBRUSTER (1982) gegebenen Vorschlägen.

Bei zeitvariablen Größen wird im folgenden, soweit nichts anderes vermerkt ist, ein mittlerer und langjährig gültiger Wert verstanden.

Grundwasserneubildung (Grundwasserneubildungsrate) [mm/a , $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$]:

Wasservolumen pro Zeiteinheit welches durch Infiltration von Niederschlags- oder Oberflächenwasser räumlich und zeitlich ungleichmäßig das Grundwasser ergänzt.

Grundwasserdargebot (eines Teilgebietes) [m^3/s , l/s]:

Grundwasserneubildung vermehrt durch den (unterirdischen) Grundwasserzustrom. Bezogen auf ein unterirdisches Einzugsgebiet (Grundwassereinzugsgebiet) sind beide Begriffe identisch.

Grundwasserabfluß [m^3/s , l/s]:

Der Teil des Abflusses (oberirdischer Abfluß), der dem Vorfluter aus dem Grundwasser zufließt.

Grundwasserzustrom (-abstrom) [m³/s, l/s]:

Wasser, das einem betrachteten Gebiet unterirdisch zuströmt (bzw. aus ihm abströmt).

Oberirdische Einzugsgebiet [km²]:

Das durch oberirdische Wasserscheiden begrenzte Einzugsgebiet.

Unterirdisches Einzugsgebiet (Grundwassereinzugsgebiet) [km²]:

Gebiet, dem der Grundwasserabfluß (und/oder -abstrom) in einem gewählten Querschnitt entstammt.

In der Wasserwirtschaft wird der Begriff Grundwasserdargebot durch Zusätze wie "nutzbares", "verbrauchbares", "verfügbares", "natürliches", "gewinnbares", etc. weiter spezifiziert bzw. eingeschränkt. Dabei geht es vor allem um die Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher, ökonomischer, ökologischer oder fassungstechnischer Belange. Stets muß jedoch das Grundwasserdargebot nach obiger Definition zugrunde gelegt werden. Wie bereits im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Isar (GLA, 1978), wird das so definierte Dargebot als hydrologisches (Grundwasser-) Dargebot, bzw. als natürliches Grundwasserdargebot bezeichnet und damit der ("künstliche") Anteil von Uferfiltrat bei der Grundwasserförderung in Flußtälern ausgrenzt.

Methoden

Für die Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung werden grundsätzlich Angaben benötigt, die für eine definierte Fläche Gültigkeit haben. Es handelt sich dabei um statistische Mittelwerte, nicht nur bezogen auf eine Zeitreihe, sondern auch auf die betrachtete Fläche. Dies muß bei der weiteren Verarbeitung der Werte berücksichtigt werden. In erster Annäherung können diese Angaben jedoch bei der Betrachtung ergiebiger Fassungsräume meist als unterer Wert angenommen werden (ergiebige Fassungsräume = höhere Höffigkeit = höhere Neubildung). Extrembeispiel ist die Grundwasserneubildung für Gebiete mit Versickerung des Oberflächenabflusses (z. B. Oberer Muschelkalk in Bilanzraum III).

Voraussetzung für die Ermittlung des Grundwasserdargebotes ist die Kenntnis der mittleren Grundwasserneubildung über einen längeren Zeitraum. Für die mitteleuropäischen Klimabedingungen gibt es verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Grundwasserneubildung. Sie sind in ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG (1977) erstmals zusammengestellt, erläutert und kritisch gewürdigt. Von den zahlreichen Verfahren kommen jedoch nur wenige bei wasserwirtschaftlichen Aufgabenstellungen häufiger zur Anwendung bzw. sind prinzipiell dafür geeignet, so die Bestimmung

- aus dem Abfluß in Vorflutern:
 - MoMnQ- und MoMnQ_r-Verfahren (WUNDT 1953, KILLE 1970),
 - $\frac{1}{n} \sum 6$ -MoMnQ-Verfahren (niedrigster Mittelwert der kleinsten Tagesabflüsse von 6 zusammenhängenden Monaten) nach KÖPF & ROTHASCHER (1980),
 - Linien-Verfahren nach NATERMANN (1951),
 - Statistik der Trockenwetterabflüsse nach SCHROEDER (1955);
- aus der Wasserhaushaltsgleichung;
- über den unterirdischen Grundwasserabstrom;
- mit Hilfe von Grundwassermodellen.

Verfahren, die über den **Chemismus** von Niederschlag, Grundwasser und Oberflächenwasser die Grundwasserneubildung oder den Grundwasserabfluß bestimmen, sind entweder in ihrer Anwendbarkeit auf anthropogen nicht beeinflusste Gebiete beschränkt oder wissenschaftlich noch nicht ausdiskutiert.

Die direkte Erfassung der Grundwasserneubildungsrate mit **Lysimetern** oder über den Bodenwasserhaushalt ist meist entweder nur für kleine einheitliche Gebiete oder für einen begrenzten Beobachtungszeitraum möglich. Die Grundwasserneubildung uneinheitlich aufgebauter Einzugsgebiete oder die mittlere Grundwasserneubildung ist, wenn überhaupt, nur mit sehr großem Aufwand zu ermitteln.

Grundwassermodelle sind zwar sehr aufwendig, haben aber den Vorteil, daß praktisch alle Einflußgrößen berücksichtigt werden können. Voraussetzung für die Erstellung eines Grundwassermodells ist jedoch, daß das zu behandelnde Gebiet hydrogeologisch gut untersucht ist (Aquiferdaten, Grundwasser Oberfläche) und eine mehrfache Eichung an bekannten Zuständen erfolgen kann.

Bei einfachen Verfahren, die nur Aquiferdaten (Durchlässigkeit, Transmissivität) verarbeiten – etwa die Berechnung des Grundwasserabstromes – muß häufig mit größeren Fehlerspannen gerechnet werden als dies unter optimalen Bedingungen bei den Abflußverfahren oder bei der Wasserhaushaltsgleichung der Fall wäre. Diese Methode ist für Kluffgrundwasserleiter nur in Ausnahmefällen gut anwendbar.

Auch die Wasserhaushaltsgleichung stellt nur in Gebieten ohne oberirdische Entwässerung ein eigenständiges Verfahren dar. – Es verbleiben demnach für eine routinemäßige Anwendung nur die hydrologisch-stochastischen Verfahren.

Hydrologisch-analytische Verfahren wie Messungen des Niedrigwasserabflusses am Ende längerer Trockenperioden – vor allem Reihenabflußmessungen – können dort, wo nicht in ausreichendem Maße langjährig beobachtete Abflußmeßstellen vorhanden sind, gute Werte für das Mindestmaß der Grundwasserneubildung liefern. Durch Vergleich mit langjährig beobachteten Meßstellen ist es u. U. möglich, auch für andere Abflußjahre die Grundwasserneubildung anzugeben bzw. einen Durchschnittswert zu erhalten.

Grundsätzlich sollte bei der Ermittlung der Grundwasserneubildung stets die Anwendung mehrerer, mit ihren Eingangsdaten voneinander unabhängiger Verfahren angestrebt werden.

Für den vorliegenden hydrogeologischen Fachbeitrag wurden die Verfahren, die auf der Auswertung der monatlichen Niedrigwasserabflüsse basieren, für eine erste Grundausswertung herangezogen. Eine weitere Bestätigung bzw. Präzisierung der so erhaltenen Werte konnte über zusätzliche Auswertungen, etwa von Niedrigwasserabflüssen, dort gemacht werden, wo ergiebige (auch derzeit stark genutzte) Fassungsräume vorliegen bzw. wo die angewandten Verfahren sichtlich falsche Ergebnisse liefern.

Als notwendige Voraussetzungen für die großflächige Anwendung eines Berechnungsverfahrens sind zu benennen:

- langjährige Beobachtungsdaten;
- standardisierbare, einfache Berechnungsverfahren;
- eine ausreichende Anzahl von gleichmäßig verteilten Meßstellen im Gesamtgebiet.

Die Ausgangswerte für die weitere Ermittlung des Grundwasserdargebotes der einzelnen Bilanzräume bzw. hydrogeologischer Einheiten lieferten die monatlichen Niedrigwasserabflüsse. Von ihnen wird angenommen, daß sie nur Grundwasserabfluß enthalten.

Dieser – mittlere, langjährige – Grundwasserabfluß wird gleichgesetzt der mittleren, langjährigen Grundwasserneubildung. Die dafür vorgeschlagenen verschiedenen Berechnungsverfahren berücksichtigen die klimatischen Bedingungen unterschiedlicher Landschaftsräume.

Das Verfahren nach KILLE (1970) berücksichtigt die in Hessen gewonnenen Erfahrungen, daß besonders im Mittelgebirge und Gebirgsvorland im Winterhalbjahr die MoMNQ-Werte Anteile von reinem Oberflächenwasserabfluß, zumindest aber sogenannten Interflow (Zwischenabfluß in Deckschichten bzw. Abfluß oberhalb des ersten Grundwasserstockwerkes) und Subsurface-Abfluß (im Bereich der Verwitterungsdecke) enthalten. Zur Abtrennung dieser Fremddanteile wurde das der Größe nach geordnete Kollektiv der MoNQ-Werte betrachtet. Die graphische Darstellung ergibt ein Bild ähnlich einer Dauerlinie. Die verlängerte Ausgleichsgerade kann als Trennlinie zwischen den Oberflächen- bzw. oberflächennahen Abflüssen und dem reinen Grundwasserabfluß angesehen werden. Aus der Fläche unter der Ausgleichsgeraden kann der mittlere Grundwasserabfluß berechnet werden. Er entspricht der Mittelordinate der Ausgleichsgeraden.

Der nach diesem Verfahren gewonnene Wert ($MoMNQ_r$) bildete bei den vorliegenden Untersuchungen in der Regel den "oberen" Wert für die Grundwasserneubildung eines Pegelinzugsgebietes.

Nach dem vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) vorgeschlagenen Verfahren (KÖPF & ROTHASCHER, 1980; ROTHASCHER, 1987) wurde der niedrigste Mittelwert der kleinsten Tagesabflüsse von 6 zusammenhängenden Monaten als Grundwasserneubildung $MQ_G = \frac{1}{n} \sum 6-MoMNQ$ bezeichnet. Dabei wird angenommen, "daß damit das Verfahren auch für Südbayern anwendbar ist, weil der Einfluß der Schneeschmelze in den Alpen automatisch eliminiert wird: Die niedrigsten Sechs-

monatskombinationen treten hier nämlich in den Herbst- und Wintermonaten auf, in denen der Niederschlag gering ist, bzw. in Form von Schnee festliegt und daher keinen Beitrag zum Abfluß leisten kann". Der so gewonnene Wert bildete in der Regel den "unteren" Wert für die Grundwasserneubildung eines Pegelinzugsgebietes.

Bei der Auswertung der Abflußmeßwerte für das Maingebiet hat sich gezeigt, daß die so erhaltenen Werte im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge größer sind als die wahre bzw. nach hydrogeologischen Erwägungen plausible Grundwasserneubildung ($MoMNQ_r$ bzw. $\frac{1}{n}\sum 6-MoMNQ > MQ_G$).

Verwendet man statt dieser Werte den Betrag für NQ_G (= der niedrigste Wert aus den 6-MoMNQ-Werten einer Jahresreihe), so erhält man bei genügend langer Beobachtungsreihe plausible Beträge für die Grundwasserneubildung.

In Gebieten, wo eine Versickerung von Oberflächenabflüssen im Oberen Muschelkalk stattfindet, ist die aus den Abflußwerten ermittelte Grundwasserneubildung bei weitem zu gering. Hier wird vorläufig ersatzweise an ein Nachbargebiet ohne Versickerung angeglichen. Die wahre Grundwasserneubildung ist hier nur durch gezielte Reihenabflußmessungen zu erhalten. Da diese Verhältnisse praktisch ausschließlich dort anzutreffen sind, wo auch ergiebige Fassungsräume vorliegen (Maintal-Nähe), ist die Quantifizierung der Versickerung von großer Bedeutung für die weiteren Aussagen im Hinblick auf das wahre Dargebot dieser Räume; mithin auch für einige Kernaussagen des Wasserwirtschaftlichen Rahmenplans Main.

Unterschiedliche Zeitreihen für eine Auswertung der Niedrigwasserabflüsse über die Ermittlung von Reduktionfaktoren o. ä. vergleichbar zu machen, ist sehr aufwendig. Es wurde daher so verfahren, wie von ROTHASCHER (1987) vorgeschlagen:

"Die Erfahrung zeigt, daß Niedrigabflüsse nach den hier definierten Mittelwerten von unterschiedlichen Jahresreihen weit weniger abhängig sind als Extremwertstatistiken z. B. für seltene Hochwasserabflüsse. Die Verwendung von Werten unterschiedlich langer Jahresreihen ist daher generell im Rahmen der hier erforderlichen Genauigkeit zulässig, wobei selbstverständlich gewisse Grenzen nach unten bei der Bewertung der Aussagekraft der Berechnungen zu beachten sind; eine Mindestbeobachtungsdauer von fünf Jahren sollte in der Regel nicht unterschritten werden."

Meßstellen, in deren Einzugsgebiet Stauhaltungen, Wasserausleitungen oder Wasserzuleitungen erfolgen, wurden für die weiteren Berechnungen nicht verwendet.

Bei der Ermittlung der Grundwasserneubildung der einzelnen Bilanzräume wurden die geeigneten Meßstellen nach den oben ausgeführten Kriterien ausgewählt und das Wertepaar $\frac{1}{n}\sum 6-MoMNQ$: $\frac{1}{n}\sum 12-MoMNQ_r$ für den "unteren" und den "oberen" Grenzwert der Grundwasserneubildung ermittelt. Nicht durch Meßstellen erfaßte Flächen wurden durch Vergrößerung benachbarter Flächen geschlossen. Dabei wurden die hydrogeologischen, klimatischen (Niederschlag, Verdunstung) und morphologischen Verhältnisse berücksichtigt.

Aus dem so ermittelten lückenlosen Flächenmosaik wurden durch einfache Summation der "untere" und "obere" Bilanzraumwert für die Grundwasserneubildung errechnet.

Die Dokumentation erfolgte über Karten (Abb. 51 und 52) und Tabellen (Tab. 9 bis 13). Zusätzlich sind bilanzraumweise alle Meßstellen, die einer Auswertung nach dem Verfahren KILLE (1970) unterzogen wurden, bzw. in LfW (1987) veröffentlicht sind, mit folgenden Informationen in Tabellen zusammengefaßt (Tab. 9-13):

1. Meßstellen-Nummer
2. Gewässer
3. Pegelbezeichnung
4. Oberirdisches Einzugsgebiet
5. Jahresreihe
6. mittlere Abflußspende (Mq)
7. Niedrigwasser-Abflußspende (Nq)
8. monatliche mittlere Niedrigwasser-Abflußspende nach WUNDT ($\frac{1}{n}\sum 12-MoMNq$)

9. reduzierte monatliche mittlere Niedrigwasser-Abflußspende nach KILLE ($\frac{1}{n}\sum 12\text{-MoMNq}_i$)
10. monatliche mittlere Niedrigwasser-Abflußspende nach ROTHASCHER (LfW) ($\frac{1}{n}\sum 6\text{-MoMNq}$)
11. Bezugsmonate der nach dem Verfahren 'ROTHASCHER' ermittelten Werte
12. mittlere Niedrigwasser-Abflußspende der Sommermonate nach WUNDT ($= \frac{1}{n}\sum \text{SoMoMNq}$)
13. Niedrigwasser-Abflußspende nach ROTHASCHER (LfW)(Nq_G)
14. Bezugsjahr der nach dem Verfahren 'ROTHASCHER' ermittelten Werte
15. Verhältnis des Wertes der monatlichen mittleren Niedrigwasser-Abflußspende, der nach dem Verfahren KILLE ermittelt wurde (Nr. 9), zu dem der nach dem Verfahren ROTHASCHER bestimmt wurde (Nr. 10)
16. Verhältnis des Wertes der monatlichen mittleren Niedrigwasser-Abflußspende, der nach dem Verfahren ROTHASCHER ermittelt wurde (Nr. 10), zur monatlichen mittleren Abflußspende (Nr. 6)
17. Verhältnis des Wertes der monatlichen mittleren Niedrigwasser-Abflußspende, der nach dem Verfahren WUNDT ermittelt wurde (Nr. 8), zu dem der nach dem Verfahren KILLE bestimmt wurde (Nr. 9)
18. Verhältnis des Wertes der monatlichen mittleren Niedrigwasser-Abflußspende, der nach dem Verfahren ROTHASCHER ermittelt wurde (Nr. 10), zur ebenfalls nach dem Verfahren ROTHASCHER bestimmten Niedrigwasserspense (Nr. 13)
19. Angaben über die Geologie des Einzugsgebietes
20. Bemerkungen zu besonderen Verhältnissen (wie z. B. Versickerung von Abflüssen)

Weitere erläuternde Texte sind in den entsprechenden Bilanzraum-Kapiteln enthalten.

7.2 Bilanzraum I: "Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland"

7.2.1 Grundwasseroberfläche und Vorflut

Der Bilanzraum "Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland" ist geologisch und lithologisch heterogen aufgebaut. Die Fränkische Linie trennt die präkambrischen und paläozoischen Kristallin- und Sedimentgesteine im Norden und Osten von den Sedimenten der Trias und des Jura im Westen und Süden. Sie scheidet somit auch zwei morphologisch, klimatisch und hydrogeologisch stark unterschiedliche Gebiete.

7.2.1.1 Oberirdischer Abfluß

Mit zwei Ausnahmen strömen sämtliche Gewässer im Bilanzraum dem Main und seinen Quellflüssen zu. Im Südostteil, nördlich von Neustadt am Kulm, schneidet das Einzugsgebiet der Haidenaab den Bilanzraum. Sie entwässert zur Naab und somit zur Donau. Bei Ludwigsstadt im Norden des Bilanzraumes fließt die Loquitz nach Norden der Saale (Elbgebiet) zu. Beide Gebiete werden durch jeweils eine Hauptwasserscheide vom restlichen Bilanzraum abgetrennt. Dieser gliedert sich in die Einzugsgebiete der Rodach (nordwestlicher Frankenwald), des Weißen Mains (Fichtelgebirge) und des Roten Mains (Obermain-Hügelland), die durch Wasserscheiden 3. Unterteilung getrennt werden. Westlich von Kulmbach fließen die Quellflüsse des Mains, der Rote Main und der Weiße Main, zusammen.

Im Einzugsgebiet der Rodach und des Weißen Mains ist das Gewässernetz sehr dicht. Das gegenüber dem Obermain-Hügelland höhere Niederschlagsaufkommen (bis 1300 mm/a) sowie das geringe Speichervermögen der Gesteine bedingen einen hohen Oberflächenabfluß. Der Weiße Main entspringt am Ochsenkopf im Fichtelgebirge und tritt bei Bad Berneck in das Bruchschollenland ein. Ihm fließen die Kronach, deren Oberlauf im Fichtelgebirge liegt, sowie die Ölschnitz und die Schorgast aus der Münchberger Gneismasse zu. Bevorzugte, tektonisch angelegte Talrichtungen sind NE-SW und SE-NW. Mit der Trebgast, die beim gleichnamigen Ort in den Weißen Main mündet, erhält dieser auch einen Zufluß aus dem Obermain-Hügelland.

Das Gefälle des Weißen Mains und seiner Fichtelgebirgs-Zuflüsse ist im Ober- und Mittellauf mit bis zu 5,5 % bzw. 2 % sehr hoch. Die Gewässer haben hier erosiven Charakter. Bei Übertritt in das Obermain-Hügelland nimmt das Flußgefälle stark ab (0,2 %) und der Main verliert seine ausschließliche erosive Natur. Eine Wasserscheide 3. Unterteilung trennt im Nordwesten der Münchberger Gneismasse das Einzugsgebiet des Weißen Mains von dem der Rodach. Letzteres umfaßt große Bereiche im

nordwestlichen Frankenwald; Teile davon liegen bereits in Thüringen (Tettau, Föritz). Die Entwässerung erfolgt, durch Schichtstreichen und Bruchtektonik vorgezeichnet, von Nordosten nach Südwesten. Wichtige Nebenflüsse der Rodach sind Steinach, Haßlach und Kronach. Die Bäche Tschirner und Nordhalbener Ködel wurden bei Mauthaus zu einem Trinkwasserspeicher aufgestaut. Die Rodach mündet bereits außerhalb des Bilanzraumes zwischen Burgkunstadt und Lichtenfels in den Main. Das Gefälle der Rodach und ihrer Zuflüsse ist im Ober- und Mittellauf ähnlich hoch wie im Fichtelgebirge und geht beim Übertritt in das Obermain-Hügelland schnell zurück. Hier verbreitern sich die Täler trichterförmig.

Im Gegensatz zu Frankenwald und Fichtelgebirge ist das Gewässernetz des Obermain-Hügellandes dünn. Von der Frankenalb fließen einige wenige Bäche dem Roten Main zu. Dessen Ursprung befindet sich westlich von Creußen im Doggergestein. Die bedeutendsten Nebenflüsse sind die Warme Steinach, die im Fichtelgebirge entspringt und einen dementsprechend steilen Oberlauf hat (0,68 %), sowie ein weiterer Fluß namens Ölschnitz.

Zwischen dem Zusammenfluß von Rotem und Weißem Main und der Mündung der Rodach erhält der Main kaum Zuflüsse. Sein Gefälle beträgt zwischen 0,06 und 0,1 %.

7.2.1.2 Unterirdischer Abfluß

Im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge ist kein einheitlicher Grundwasserleiter ausgebildet. Über die Grundwasseroberfläche wird daher keine Aussage gemacht.

Im Bruchschollenland sind verschiedene Grundwasserleiter vertreten; es sind dies überwiegend mesozoische (bereichsweise auch paläozoische) Sandsteine, Sandstein-Sandschiefer-Wechselfolgen und Kalksteine. Im einzelnen handelt es sich um sandige Abfolgen des Perms, um den Buntsandstein, den Muschelkalk, den teilweise als Sandstein ausgebildeten Gipskeuper (Benker Sandstein), den Rhät-sandstein, den Doggersandstein und den Malmkarst. Durch Aufeinander-Lagerung mehrerer grundwasserführender Schichtpakete, die durch Tonhorizonte voneinander getrennt sind, liegt ein mehrfacher Grundwasser-Stockwerksbau von geringen Flächengrößen vor. Aufgrund der bruchtektonischen Zerstückelung kommen Schollen verschieden alter stratigraphischer Folgen nebeneinander vor. So streichen östlich der Kulmbacher Störung Buntsandstein und Muschelkalk, westlich dieser Verwerfung Gesteine des Mittleren und Oberen Keupers und des Juras aus. Der Sandsteinkeuper kann zusammen mit dem dort vorkommenden Benker Sandstein des Gipskeupers als der Hauptgrundwasserleiter des Bruchschollenlandes angesehen werden.

Grundwasserhöhengleichen liegen für den Buntsandstein, den Sandsteinkeuper und den Malm vor (LFW, 1985). Da sich v. a. im Sandsteinkeuper sandige und tonige Schichtbereiche vertikal und horizontal stark verzahnen, stellt sich die Grundwasseroberfläche in seinem Ausstrich stark vereinfacht dar. Die Grundwasseroberflächen passen sich meist deutlich dem Relief der Landschaft an. Als Vorflut wirken dabei der Main, seine beiden Quellflüsse (Roter und Weißer Main), Rodach und Steinach sowie deren Nebenbäche.

Die Gefällswerte der Grundwasseroberfläche schwanken im unbedeckten Sandsteinkeuper zwischen 0,5 und 2,0 %, bei einem Mittelwert um 0,7 %. Bei einer Überdeckung durch hangende Schichtpakete werden in der Darstellung der Grundwasserhöhengleichen nur noch Tendenzen erkennbar. Die Gefälle sind hier scheinbar geringer, was jedoch auch auf lückenhaftes Datenmaterial zurückzuführen sein kann. Im Stockwerk des Sandsteinkeupers ist im Gebiet zwischen dem Main bei Staffelstein und dem Roten Main eine Grundwasserschwelle ausgebildet, deren Achse etwa von Creußen entlang des Albrandes nach Lichtenfels zieht und die ihrerseits weitgehend mit tektonischen Hochstrukturen korrelierbar sein dürfte.

Der Ausstrich des Buntsandsteins ist im Bruchschollenland meist auf einen weniger als 10 km breiten Streifen beschränkt. Wegen der speziellen tektonischen Verhältnisse und der geringen Ausstrichsbreite wird hier auf eine Wertung des unterschiedlichen Gefällsverhaltens zwischen Sandsteinkeuper und Buntsandstein verzichtet. Erwähnenswert ist lediglich das extrem steile Gefälle beiderseits des Weißen-Main-Tales (2–3 %).

Der Bilanzraum I umschließt im Westen eine Teilfläche der Nördlichen Frankenalb. Für den Albrand liegen keine Aussagen zur Grundwasseroberfläche vor. Hier kann ein relativ steiles Gefälle erwartet werden. In den westlichen Bereichen dieser Teilfläche ist die Grundwasseroberfläche bereits nach

Südwesten, zur Wiesent hin geneigt. Die sehr stark schüttende Friesenquelle (rd. 400 l/s) bei Kasendorf erzeugt einen großen, nach drei Richtungen in die Alb reichenden Absenktrichter. Zwischen ihrem Einzugsgebiet und dem von Weismain und Krassach ist etwa an der Grenze zum Bilanzraum "Coburger Land" eine Grundwasserscheide ausgebildet.

7.2.2 Grundwasserneubildung

Die Methoden zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate nach KILLE (1970) und ROTHASCHER (1987) sind für weite Teile des gesamten Planungsgebietes gut anwendbar, allerdings ergeben sie für den Teilraum "Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge" zu hohe Werte. Dies ist auf die speziellen Niederschlagsverhältnisse und auf das geringe Speichervermögen der Gesteine zurückzuführen. So fallen hier im Mittel 800–1200 mm Niederschlag im Jahr; weiterhin sind in der Regel keine längeren, d. h. über mehrere Monate anhaltenden Trockenperioden ausgebildet. Die paläozoischen Gesteine nehmen wegen ihres geringen Speichervermögens nur einen geringen Teil des Niederschlags auf. Die sie überlagernden Schutt- und Verwitterungsdecken weisen zwar eine vergleichsweise höhere Speicherkapazität auf, erreichen jedoch in der Regel nur Mächtigkeiten bis zu 5 m (in Ausnahmefällen bis 20 m) und sind daher im allgemeinen relativ rasch gesättigt. Deshalb fließt den Vorflutern ständig ein beträchtlicher Anteil des Niederschlagswassers zu.

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge wird daher, in Anlehnung an APEL (1982), die mittlere Niedrigwasserabflußspende (MNq) verwendet. Tab. 14 zeigt eine Gegenüberstellung dieser Methode mit den nach KILLE und ROTHASCHER ermittelten Werten.

Wie aus Tab. 14 ersichtlich, sind die Grundwasserneubildungsraten im nördlichen Frankenwald, insbesondere im Ausstrich des Unterkarbons (I-A, I-B, I-C), trotz mittlerer jährlicher Niederschlagshöhen von 800–1000 mm sehr niedrig. Dabei weisen die Teilgebiete I-A und I-B die niedrigsten Werte des gesamten Planungsraumes auf.

Etwa 10 % des Teilgebietes I-A werden von relativ mächtigen porösen und geklüfteten Rotliegend-Sedimenten aufgebaut, die eine Grundwasserneubildungsrate von 4–5 l/(s*km²) erwarten lassen, die größer als jene in den anderen paläozoischen Gesteinseinheiten ist. Im Bereich der Münchberger Gneismasse, die in etwa dem Teilgebiet I-G entspricht, tritt aufgrund mächtiger Zersatzdecken bei gleichbleibendem Niederschlagsaufkommen ein erhöhter Wert der Grundwasserneubildung von 3,2 l/(s*km²) auf. Der weitere Anstieg auf 4,3 l/(s*km²) im südöstlich angrenzenden Teilgebiet I-I ist bei gleichbleibend mächtigen Zersatzdecken auf eine Steigerung des mittleren Jahresniederschlags um ca. 100 mm zurückzuführen.

Im Bruchschollenland wird die Grundwasserneubildung, wie auch im gesamten übrigen Planungsgebiet, nach den Methoden KILLE (1970) und ROTHASCHER (1987) beurteilt.

Im Ausstrich der überwiegend triassischen Schichtenfolge schwanken die Werte meist um 3 l/(s*km²); die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen liegen hier im allgemeinen zwischen 650 und 750 mm. Die Grundwasserneubildung mittelt sich dabei über tonige, sandige und kalkige Bereiche. Im Ausstrich der Sandsteine und Kalksteine ist eine Erhöhung, im Ausstrich der Tonsteine eine Verminderung dieser Werte zu erwarten.

Das Teilgebiet I-K zeichnet sich mit dem Wertepaar 1,3/1,9 l/(s*km²) durch vergleichsweise niedrige Grundwasserneubildungsraten aus. Dieses Teilgebiet entspricht flächenmäßig dem Pegelgebiet "Roter Main/Schlehenmühle" und ähnelt in seiner Charakteristik stark dem von ihm umschlossenen Pegelgebiet "Roter Main/Creußen". Ob und in welcher Größenordnung oberhalb der Meßstellen eine Versickerung und ein Abströmen in ein benachbartes Teilgebiet stattfindet, kann zunächst nicht geklärt werden. Dieses Problem erscheint zumindest erwähnenswert, da das Teilgebiet I-K vom Teilgebiet I-J, das sich durch erhöhte Grundwasserneubildungswerte (3,4/3,8 l/(s*km²)) auszeichnet, umgeben wird. Bei ähnlichen Voraussetzungen bezüglich des Niederschlags und der Geologie liegen im Teilgebiet I-K die Werte der Grundwasserneubildung unter 2 l/(s*km²) und schwanken im Teilgebiet I-J um 3,6 l/(s*km²). Eine Versickerung im Teilgebiet I-K und ein Zutagetreten im Teilgebiet I-J sind daher nicht auszuschließen.

Eine weitere Fläche erhöhter Grundwasserneubildung stellt das Teilgebiet I-D dar. Auffälligerweise differieren hier die nach den unterschiedlichen Methoden gewonnenen Grundwasserneubildungswerte um rd. 30 %. Dies ist darauf zurückzuführen, daß ein großer Teil des Pegelgebietes "Steinach/Horb",

von dem dieser Bereich abgeleitet wurde, im Paläozoikum des Thüringer Waldes liegt. Um ein für die im Teilgebiet I-D anstehenden Schichten realistisches Wertepaar zu erhalten, ist eine Korrektur unumgänglich. Für den Paläozoikum-Anteil (der ca. 40 % des Pegelgebietes "Steinach/Horb" einnimmt) können ähnliche geologische Gegebenheiten und Niederschlagsverhältnisse wie im Teilgebiet I-A angenommen werden. Nimmt man nun das Wertepaar 3,0/4,4 für den Paläozoikum-Anteil, so erhält man für den übrigen Bereich ein Wertepaar von 4,5 bzw. 5,6 l/(s*km²). Da im Teilgebiet I-D gut geklüfteter Buntsandstein dominiert (LfW 1975 f), ist hier der nach der Methode von KILLE gewonnene Wert (also 5,6 l/(s*km²)) am wahrscheinlichsten.

Die größten Grundwasserneubildungsraten werden im Bruchschollenland im Teilgebiet I-H erreicht. Dieser Bereich zählt naturräumlich eigentlich bereits zur Nördlichen Frankenalb, wurde jedoch aufgrund der speziellen Abgrenzung des Planungsgebietes (nach den Gemeindegrenzen) dem Bilanzraum I "Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland" angegliedert. Die Fläche I-H gehört überwiegend zum tiefen Malmkarst; die Grundwasserneubildungswerte 6,2 bzw. 6,0 l/(s*km²) wurden vom Pegelgebiet "Wiesent/Hollfeld" abgeleitet. Es muß jedoch angenommen werden, daß diese Werte insgesamt etwas zu niedrig sind, da wahrscheinlich ein Teil des im Pegelinzugsgebiet neugebildeten Grundwassers nicht im oberen Wiesenttal bzw. im Kainachtal austritt, sondern entweder weiter im Süden oder im Nordosten zu Tage tritt, so z. B. in der Friesenquelle bei Kasendorf, die ca. 400 l/s schüttet. Die Grundwasserneubildungswerte dürften somit im Teilgebiet I-H um 7 l/(s*km²) schwanken.

7.2.3 Wasserversorgung und Wassererschließung

"Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge"

Wie bereits im Kap. 7.2.2 (Grundwasserneubildung) dargelegt wurde, stellen die nördlichen Bereiche des Frankenwaldes, trotz eines hohen Niederschlagsaufkommens, Grundwassermangelgebiete dar. Im Ausstrich des Karbons, wie auch des Devons und Ordoviziums, werden die Gemeinden meist von Quellen mit nur geringer Schüttung versorgt. Brunnen spielen hier in der Regel eine untergeordnete Rolle. So finden sich in den Teilgebieten I-A, I-B und I-C nur wenige Trinkwassererschließungen. Die Jahresfördermengen dieser Anlagen liegen im allgemeinen unter 0,1 Mio. m³/a; dies entspricht einer Dauerförderleistung von weniger als 3 l/s.

Die Rotliegendenbecken bei Pressig und Stockheim sind für die Wassergewinnung von örtlicher Bedeutung. Das Wasser wird hier durch mehrere Brunnen erschlossen, deren Gesamtleistung etwa 40 l/s beträgt (APEL, 1979) (bei einer 12stündigen Förderung entspräche dies einer Dauerleistung von ca. 20 l/s bzw. 0,6 Mio. m³/a).

In der Münchberger Gneismasse und im Fichtelgebirge sind vor allem die Schutt- und Zersatzdecken von wasserwirtschaftlichem Interesse. Das dort gespeicherte Grundwasser wird meist mit Hilfe von Quelfassungen und Sickergalerien gefördert. Die Mehrzahl der zumeist kleinen Anlagen deckt den örtlichen Bedarf. Daneben sind die Erschließungen bei Warmensteinach und nördlich Marktschorgast von regionaler Bedeutung. Diese speisen ihr Wasser in die Ortsnetze von Bayreuth bzw. Kulmbach ein; ihre jährlichen Fördermengen betragen zwischen 1 und 5 Mio. m³.

Die Grundwässer im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge weisen meist einen pH-Wert von unter 7, gelegentlich sogar unter 6 auf; dies erfordert häufig eine Aufbereitung. Der geringe pH-Wert kann örtlich zur Mobilisation von Schwermetallen führen. Im allgemeinen handelt es sich um schwach mineralisierte Wässer, die kaum bzw. nur gering anthropogen beeinflusst sind. Die Nitratkonzentration liegt hier meist unter 50 mg/l.

Zur Ergänzung des örtlichen Bedarfs sind noch weitere Erschließungen, vor allem in der Münchberger Gneismasse und dem Fichtelgebirge möglich. Regional bedeutsame oder sogar überregionale Grundwasservorkommen sind jedoch hier nicht zu erwarten.

Erwähnt sei noch, daß die Trinkwassertalsperre Mauthaus (Ködeltalsperre), die im Teilgebiet I-C liegt, die Städte Bamberg, Bayreuth und Coburg sowie den nördlichen oberfränkischen Raum mit aufbereitetem Oberflächenwasser versorgt; die jährliche Fördermenge aus der Trinkwassertalsperre beträgt über 12,7 Mio. m³, dies entspricht rund 400 l/s (Wert von 1991, nach BGW-Statistik 1992).

"Bruchschollenland"

Die mesozoischen Schichten des Bruchschollenlandes werden weitgehend durch Brunnen, untergeordnet auch durch Quellen erschlossen. Neben einer Vielzahl kleinerer und mittlerer Versorgungsanlagen, von örtlicher Bedeutung, mit Jahresfördermengen von weniger als 0,1 Mio. m³ (<3 l/s) bis 0,5 Mio. m³ (16 l/s), sind spezielle Versorgungsschwerpunkte von regionaler Bedeutung hervorzuheben. Es handelt sich dabei um Grundwasserfassungen in den Stadtbereichen Kronach, Kulmbach und Bayreuth sowie bei Seybothenreuth. Diese Brunnen mit relativ hohen Ergiebigkeiten erschließen gut geklüftete Sandsteine des Buntsandsteins und des Mittleren Keupers; die Jahresfördermengen dieser Anlagen betragen 1–5 Mio. m³/a. Neben diesen bereits genutzten Grundwasservorkommen wurden im Rahmen des Grundwasser-Erkundungsprogrammes zwei weitere Vorkommen von regionaler bis überregionaler Bedeutung entdeckt. Diese liegen beide im Teilgebiet I-D, für das eine Grundwasserneubildungsrate von 5,6 l/s km² angenommen wird. Es handelt sich dabei um die Erkundungen "Steinachtal" (LfW, 1975 f; Grundwassererkundung 4.04) und "Haßlachtal" (LfW, 1975 g; Grundwassererkundung 4.06). Beide Anlagen erschließen den hier bis in große Tiefen gut geklüfteten Buntsandstein und sind nur ca. 8 km voneinander entfernt.

Die Brunnen der Erkundung "Steinachtal" liegen im Talbereich nahe Mitwitz, z. T. unmittelbar an der Grenze zu Thüringen. Neben den Versuchsbohrungen stehen hier bereits die Brunnen Steinach I und II, Mitwitz und Wörlsdorf sowie Brauchwasserbrunnen. Aus den bestehenden Anlagen werden ca. 50 l/s gefördert (LfW, 1975 f).

Bei der Erkundung wurden fünf Bohrungen niedergebracht, wobei die Versuchsbohrung südlich von Mitwitz durch chloridreiches Tiefenwasser beeinflusst ist und daher bei der weiteren wasserwirtschaftlichen Beurteilung unberücksichtigt bleiben muß. Die verbleibenden vier Bohrstellen sind 250 m bis über 1000 m voneinander und über 500 m von bestehenden Brunnen entfernt. Während der Einzelpumpversuche wurden benachbarte Bohrungen nur unwesentlich beeinflusst; die maximale Entnahmelistung betrug jeweils 30 l/s. Daten über einen gemeinsamen Pumpversuch liegen dem GLA nicht vor. Es muß jedoch davon ausgegangen werden, daß sich die vier Brunnen bei länger andauerndem gemeinsamen Pumpbetrieb gegenseitig beeinflussen können und daß wahrscheinlich bei einer Überbeanspruchung chloridreiches Wasser aus tieferen Grundwasserleitern gefördert wird. Im Hinblick auf eine Grundwasserneubildungsrate von 5–5,6 l/(s*km²) und einer günstigeren geometrischen Anordnung einer späteren Erschließung wird von einer maximalen Förderleistung von insgesamt 90–110 l/s ausgegangen. Dies entspricht einer Dauerbeanspruchung von ca. 50 l/s bzw. 1,6 Mio. m³/a.

Die Bohrungen der Erkundung "Haßlachtal" befinden sich nördlich der Stadt Kronach im Tal der Haßlach, ca. 3–4 km östlich der Grenze zu Thüringen. Im Nahbereich der Erkundung liegen mehrere kleine Wasserfassungen, die jedoch im Hinblick auf die hier förderbaren Wassermengen von nur untergeordneter Bedeutung sind. Erwähnenswert erscheint jedoch eine Erschließung am nördlichen Ortsrand von Kronach mit einer Gesamtfördermenge von 0,1–0,5 Mio. m³/a. Diese Anlage ist etwa 1 km vom südlichen Versuchsbrunnen entfernt.

Im Untersuchungsgebiet wurden sechs Bohrungen niedergebracht, die zwischen 300 und 400 m voneinander entfernt sind. Die Ergiebigkeiten wurden ebenfalls aus Einzelpumpversuchen ermittelt, sie schwanken zwischen 22 und 33 l/s. Bei einer gemeinsamen Förderung sind ähnliche Einschränkungen wie im Erkundungsgebiet "Steinachtal" zu erwarten. Daher wird auch für das Erkundungsgebiet "Haßlachtal" eine maximale Gesamtförderleistung von nur 100 l/s bzw. eine Dauerförderleistung von ca. 50 l/s (bzw. 1,6 Mio. m³/a) angenommen.

Die ebenfalls im Grundwasser-Erkundungsprogramm untersuchten Vorkommen im Umfeld von Creußen (LfW, 1975 h) können als örtlich bis regional bedeutsam eingestuft werden: So erzielten die beiden Versuchsbohrungen bei Wolfsbach Einzelergiebigkeiten von nur 8 bzw. 15 l/s. Sie können daher nur als Ergänzung für die örtliche Wasserversorgung herangezogen werden.

Die südlich von Creußen geplante Brunnengalerie liegt im Teilgebiet I-K. Wie bereits im Kap. 7.2.2 (Grundwasserneubildung) erörtert, treten hier die niedrigsten Grundwasserneubildungsraten des gesamten Bruchschollenlandes auf (1,3 bzw. 1,9 l/(s*km²)). Selbst wenn man für den Ausstrich des Benker Sandsteins eine erhöhte Grundwasserneubildung annimmt, erscheint, im Vergleich mit den benachbarten Teilgebieten, eine Grundwasserneubildungsrate von max. 3 l/(s*km²) als sinnvoll. Multipliziert man diesen Wert mit der Ausstrichsfläche des Benker Sandsteins zwischen Bayreuth und

seiner südlichen tektonischen Begrenzung (ca. 16 km²), so erhält man knapp 50 l/s. Die Grundwasserneubildungsrate im überlagernden Sandsteinkeuper müßte bei den gewählten Voraussetzungen bedeutend niedriger sein, so daß im speziellen Fall über diesen nur ca. 20–30 l/s gewonnen werden könnten.

Vergleicht man nun diese Werte mit der für die Brunnengalerie Creußen Süd vorhergesagten Fördermenge von gut 100 l/s, so hat es den Anschein, daß diese zu hoch ist; zumal bei den beiden hier niedergebrachten Versuchsbohrungen in Einzelpumpversuchen nur Ergiebigkeiten von 20 bzw. 220 l/s erzielt wurden. Aufgrund der hier erörterten Tatsachen dürfte die maximale Förderleistung einer Brunnengalerie, die den Benker Sandstein bei Creußen erschließt, im günstigsten Fall 30–40 l/s betragen; dies entspricht einer Dauerförderung von ca. 20 l/s bzw. 0,6 Mio. m³/a.

Der Mineralisierungsgrad der in den Teilgebieten I-D, I-E, I-F, I-J und I-K gewinnbaren Wässer schwankt aufgrund der Verschiedenheit der Grundwasserleiter sehr stark. Durch Vorkommen von Gipslagern und -linsen, aber auch durch Überbeanspruchung können hoch mineralisierte Wässer gefördert werden, die die Verwendung als Trinkwasser stark einschränken oder sogar unmöglich machen. Insbesondere bei oberflächennahen Erschließungen werden, anthropogen bedingt, Nitratwerte von über 50 mg/l beobachtet im allgemeinen liegen die Nitratgehalte unter 50 mg/l.

Neben den bereits vom LfW untersuchten Grundwasservorkommen und möglichen Vorrangflächen zur Wassererschließung im eigentlichen Bruchschollenland, wird ergänzend auf die Teilfläche I-H verwiesen. Hier wären im Malmkarst verhältnismäßig große Wassermengen zu erschließen, die z. Zt. allerdings durch flächenhafte Düngung und punktuelle bzw. lineare Versickerung von Abwässern (in Dolinen, Sickerschächten und Versitzgruben u. ä.) beeinflusst werden. Als Erschließungsgebiet käme dabei der Raum Kasendorf — Azendorf — Wonsees in Frage. Aus diesem Gebiet fließen gegenwärtig über Friesenquelle, Krassach und Kainach mehrere 100 l/s ungenutzt ab. Eine erschließbare Wassermenge (über mehrere Brunnen) von über 100 l/s erscheint daher durchaus als realistisch. Voraussetzung dafür sind allerdings eine nachhaltige Verbesserung der Entsorgungssituation und eine deutliche Reduzierung der flächenhaften Düngung.

7.3 Bilanzraum II: "Coburger Land"

7.3.1 Grundwasseroberfläche und Vorflut

7.3.1.1 Oberirdischer Abfluß

Im Bilanzraum "Coburger Land" erfolgt der oberirdische Abfluß von Norden her zunächst über eine Reihe kleinerer Flüsse, die schließlich am Südrand des Bilanzraumes in den Hauptvorfluter Main münden. Es handelt sich dabei u. a. um die Itz und die Baunach, die ca. 65 bzw. 50 km Länge erreichen und sich nahe des Ortes Baunach mit dem Main vereinen. Ein weiterer wichtiger Vorfluter im Bilanzraum II ist die Rodach; sie wird ca. 35 km lang und mündet bei Schenkenau in die Itz.

Baunach und Rodach sind, wie viele ihrer Zuflüsse, NW-SE-gerichtet und entwässern die nach Osten geneigte Keuper-Landstufe. Dabei ist das Gefälle der Bäche geringer als das Einfallen der Schichten.

Die Itz fließt weitgehend von Norden nach Süden. Ihr Oberlauf entwässert mit zahlreichen Nebenbächen südliche Teile des Thüringer Waldes und seines mesozoischen Vorlandes. Im Thüringer Wald entspringt weiterhin die ebenfalls N-S-verlaufende Steinach. Die größten Teile ihres Flußgebietes liegen außerhalb des Bilanzraums. Teile der Flußgebiete von Rodach und Itz, einige ihrer Zuflüsse sowie der Ober- und Mittellauf der Steinach gehören zu Thüringen. Von Nordosten kommend mündet bei Schwürbitz ein weiterer Fluß namens Rodach in den Main; sein Einzugsgebiet liegt vorwiegend im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge (Bilanzraum I).

Während der Main im Bilanzraum "Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland" überwiegend SE-NW-gerichtet ist, schwenkt er bei Schwürbitz nach Südwesten um; von Staffelstein bis Hallstadt verläuft er in SSW-Richtung. Dadurch umfließt er die Jura-Landstufe. Aus dem Jura-Ausstrich erhält er einige kurze Zuflüsse, die vereinzelt durch ziemlich stark schüttende Karstquellen gespeist werden. Der mengenmäßig wichtigste Zufluß aus der Jura-Schichtstufe ist der Weismain; er entspringt in Kleinziegenfeld und mündet bei Burgkunstadt in den Main; er erreicht knapp 20 km Länge. Ein weiterer bedeutsamer Zufluß ist der Lauterbach. Er mündet bei Staffelstein in den Main. In seinem Einzugsgebiet liegen die stark schüttenden Quellen von Serkendorf, Schwabthal, End und Kaider. Von Nordosten mündet schließlich der ca. 25 km lange Leitenbach in den Main. Lediglich sein oberstes Einzugsgebiet wird unterhalb von Wattendorf von stark schüttenden Karstquellen gespeist.

Die Flüsse in der Nordwesthälfte des Bilanzraumes "Coburger Land", also Itz, Baunach und Rodach, die auf weiten Strecken den Sandsteinkeuper queren, zeigen ähnliche Gefälleverhalten. Sie besitzen stets einen steilen Oberlauf, mit einem Gefälle von 2,0–3,0 %. Bereits in ihrem Mittellauf verflachen sie schnell; die Gefälle schwanken, in Abhängigkeit von dem durchflossenen Gesteinsverband, zwischen 0,1 % (Baunach) und 0,5 % (Rodach); im Unterlauf überschreiten sie kaum 0,1 %. Während sie im Ober- und (mit Einschränkungen) teilweise auch im Mittellauf erodieren, akkumulieren sie in der Regel im Mittel- und Unterlauf. Gänzlich verschieden dazu verhält sich der Weismain, der sich in bedeutend härtere Gesteine des Malm und Doggers eingetieft hat. Zwar fällt seine Talsohle im Oberlauf mit nur 1,4 % ein, sie verflacht jedoch nicht so rasch, so daß das Gefälle im Mittellauf noch 0,7 % und im Unterlauf noch 0,5 % beträgt. Daher hat der Weismain fast durchweg erosiven Charakter.

Ein ähnliches Gefälleverhalten wie der Weismain zeigen auch die übrigen dem Main aus der Jura-Schichtstufe zuströmenden Gewässer. Da diese meist kürzer sind als der Weismain, weisen sie teilweise sogar in den Unterläufen Gefällswerte von über 0,5 % auf (z. B. Lauterbach 0,5–1,0 %).

Eine Mittelstellung zwischen den Zuflüssen aus der Keuper-Landstufe und denen aus dem nördlichen Frankenjura nimmt der Leitenbach ein. Er entspringt zwar im Malmkarst und durchquert dann den Dogger, fließt jedoch auf über 80 % seiner Gesamterstreckung durch weichere Gesteine des Lias, Mittleren und Oberen Keupers. Daher erreicht er im Oberlauf ca. 2,3 % Gefälle, im Mittellauf ist seine Talsohle immerhin noch zwischen 0,5 und 0,75 % geneigt, um dann schließlich im Unterlauf auf ca. 0,3 % zu verflachen.

Die Maintalsole weist im gesamten Bilanzraum nur ein schwaches Gefälle auf; dieses schwankt mit geringer Abweichung um 0,1 %.

7.3.1.2 Unterirdischer Abfluß

Im Bilanzraum "Coburger Land" sind verschiedene Grundwasserleiter sowie z. T. mehrere übereinander liegende Grundwasserstockwerke ausgebildet. Als Grundwasserleiter treten folgende Schichtglieder in Erscheinung:

Den überwiegenden Teil des Bilanzraums nimmt der Sandsteinkeuper ein. Im Raum Baunach — Sesslach — Lichtenfels wird dieser von Rhät bzw. Rhät-Lias-Grenzschichten weitflächig überlagert. Entlang der Jura-Schichtstufe stellen der Doggersandstein und schließlich der verkarstete Malmkalk zwei wichtige Grundwasserleiter dar. Malmkarst, Doggersandstein und Rhätsandstein sind voneinander durch Tonhorizonte (Grundwasserstauer) getrennt; sie können einander überlagern und liegen ihrerseits dem Sandsteinkeuper auf. Dadurch kommt es hier zu einem mehrfachen Grundwasser-Stockwerksbau.

Im Rhätsandstein ist keine einheitliche Grundwasseroberfläche ausgebildet. Wie bereits im Kap. 3 (Hydrogeologische Beschreibung der Grundwasserstockwerke bzw. Grundwasserleiter) dargelegt wurde, baut sich dieser Grundwasserleiter aus sich lateral verzahnenden Sand- und Tonsteinen auf. Diese Aussage gilt abgeschwächt auch für den Sandsteinkeuper. Der hier angegebene "Grundwasserspiegel" kann daher nur als Vereinfachung der tatsächlichen Grundwasseroberfläche gesehen werden.

Im äußersten Nordosten des Bilanzraums II streichen im Vorland des Thüringer Waldes Buntsandstein und Muschelkalk aus. Diese beiden Grundwasserleiter fallen relativ steil nach Süden ein, so daß ihre Ausstrichsbreite auf ca. 10 km beschränkt ist. Sie werden nach Süden von dem nur in einigen Horizonten grundwasserführenden Unteren Keuper und schließlich von dem weitgehend als Grundwasserstauer ausgebildeten Gipskeuper überdeckt.

Für den Bilanzraum "Coburger Land" liegt für den Buntsandstein, den Sandsteinkeuper und den Malm jeweils eine Darstellung der Grundwasseroberfläche vor (LfW, 1985). Diese wurde für Buntsandstein und Sandsteinkeuper stark vereinfacht.

Die Grundwasserhöhengleichen lassen deutlich erkennen, daß sich die Grundwasseroberfläche dem Oberflächenrelief anpaßt. Als Vorfluter fungieren im Ausstrich des Sandsteinkeupers Baunach, Rodach, Itz und Main, im Ausstrich des Buntsandsteins Itz und Steinach sowie deren größere Nebenbäche.

Tendenziell betrachtet ist die Grundwasseroberfläche im Ausstrich des Buntsandsteins morphologisch stärker ausgeprägt als im Sandsteinkeuper. Dies dürfte hier allerdings nicht lithologische

Ursachen haben, sondern ist wahrscheinlich auf die unterschiedliche Datendichte zurückzuführen. Die Gefällswerte der Grundwasseroberfläche schwanken in den Sandsteinen bzw. den Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen zwischen 0,3 und 2,0 %, bei einem Mittelwert um 0,6 %.

Bei der Darstellung der Grundwasseroberfläche des Malmkarstes blieb die kleinräumige Zerlappung des Albrandes unberücksichtigt. Zwischen dem Kleinziegenfelder Tal (=Weismaintal) und den Einzugsgebieten von Leitenbach und Lauterbach ist jeweils eine deutliche Grundwasserschwelle ausgebildet. Die Grundwasseroberfläche ist steil zum Weismain bzw. zum Leitenbach geneigt. Das Gefälle schwankt hier zwischen 0,15 und 0,20 %. Ähnlich hohe Gefälle sind am Rand der Jura-Steilstufe zu erwarten.

7.3.2 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildungsraten sind im Bilanzraum "Coburger Land" über weite Bereiche (II-A, II-B, II-C, II-D) verhältnismäßig niedrig und schwanken zwischen 2 und 3 l/(s*km²). Dies ist einerseits auf die geringen mittleren Niederschlagshöhen von nur 600–700 mm/a, andererseits auf die speziellen hydrogeologischen Verhältnisse zurückzuführen: So erlauben die Tonstein-Sandstein- bzw. -Sand-schiefer-Wechselfolgen des Mittleren und Oberen Keupers sowie des Lias nur einen begrenzten vertikalen Wasserdurchsatz. Zum einen sind aufgrund horizontaler fazieller Verzahnungen von sandigen und tonigen Schichten die Grundwasserleiter nicht großflächig ausgedehnt, zum anderen fehlen größere Zerrüttungszonen mit erhöhtem Kluftvolumen. In den Ton- und Tonsteinschichten wirken nämlich eventuell vorhandene Verwerfungen in der Regel grundwasserhemmend, weil der bei der tektonischen Beanspruchung anfallende Gesteinszerrieb die Klüfte plombieren kann, da er fast ausschließlich wiederum aus quellfähigem Tonmaterial besteht.

Im Ausstrich des Doggers sowie im seichten Malmkarst (II-G) treten vergleichsweise höhere Grundwasserneubildungsraten von 3,0/3,8 l/(s*km²) auf. Da für den Teilraum II-G spezielle Bemessungsdaten fehlten, wurden diese Werte vom Pegelgebiet "Leinleiterbach/Unterleinleiter" abgeleitet. Dabei dürften die Grundwasserneubildungsraten im Dogger zwischen 2,5 und 3,5, im Malm zwischen 3,5 und 4,5 l/(s*km²) betragen.

Die Teilgebiete II-E, II-F, II-H und II-I weisen relativ hohe Grundwasserneubildungsraten auf. Im Teilgebiet II-F sind jedoch große Unterschiede aufgrund der Ermittlungsmethoden (ROTHASCHER/KILLE) festzustellen. Das Teilgebiet II-F wurde vom Pegelgebiet "Steinach/Horb" abgeleitet. Der überwiegende Teil dieses Einzugsgebietes liegt außerhalb des Bilanzraums, in Thüringen. Während dort die mittleren Jahresniederschläge zwischen 850 und 1100 mm betragen, schwanken sie im Teilgebiet II-F lediglich zwischen 700 und 850 mm. Etwa 40 % des Pegelinzugsgebietes wird aus Paläozoikum (des Thüringer Waldes), ca. 50 % aus Buntsandstein aufgebaut. Die Teilfläche II-F setzt sich demgegenüber etwa jeweils zur Hälfte aus Buntsandstein sowie Oberem Keuper, Lias und Dogger zusammen. Die im Bilanzraum I und in weiten Teilen des Bilanzraumes II gemachten Erfahrungen zeigen, daß der nach KILLE gewonnene Wert von 5,1 l/(s*km²) für diese Teilfläche zu groß sein dürfte. Eine Grundwasserneubildungsrate von 3,5–4,5 l/(s*km²) erscheint (in Annäherung an den Raum II-E) realistischer.

Im Teilgebiet II-E liegen die mittleren jährlichen Niederschläge zwischen 650 und 850 mm. Die Werte der Grundwasserneubildungsrate wurden vom Pegel "Itz/Coburg (Güterbahnhof)" abgeleitet. Etwa 35 % dieses Pegelinzugsgebietes liegen nördlich des Bilanzraums. Dieses Gebiet wird weitgehend vom Pegel "Itz/Fischbach" erfaßt, der mit dem Wertepaar 4,6 und 5,8 l/(s*km²) eine ähnliche Charakteristik wie das Gesamtgebiet und somit die Fläche II-E aufweist. Eine Korrektur ist hier also nicht notwendig.

Die Teilfläche II-E läßt sich, hydrogeologisch betrachtet, in zwei Einheiten aufteilen. Im Norden streichen gut durchlässige Schichten des Buntsandsteins und des Muschelkalks aus, im Süden dagegen der schlechter durchlässige Keuper. Daher dürfte die Grundwasserneubildungsrate im Norden ca. 7–8 l/(s*km²), im Süden lediglich 2–3 l/(s*km²) betragen. Das Schichtpaket ist mit 3–5 % nach Süden geneigt, daher wäre auch südlich des gut durchlässigen Bereichs im Ausstrich des Mittleren und Unteren Keupers eine Erschießung von Muschelkalk- und/oder Buntsandsteinwasser möglich. Bei zu großer Überdeckung dürfte allerdings in diesen Schichten nur noch ein geringes wasserwegesames Kluftvolumen ausgebildet sein.

Die größten Grundwasserneubildungsraten des Bilanzraumes "Coburger Land" weisen die Teilflächen II-H und II-I auf. Diese Gebiete werden weitestgehend vom Malmkarst der Nördlichen Franken-

alb aufgebaut und zeichnen sich durch mittlere jährliche Niederschlagshöhen von 650–750 mm aus. – Das Wertepaar für die Teilfläche II-I wurde vom Pegel "Wiesent/Hollfeld" abgeleitet. Da jedoch angenommen wird, daß ein Teil des in der nördlichen Hollfelder Mulde neugebildeten Wassers nicht im oberen Wiesental austritt, sondern erst weiter südlich in den Vorfluter strömt, dürfte die eigentliche Grundwasserneubildung hier etwas höher liegen, nämlich bei rund 7 statt 6,3 bzw. 6 l/(s*km²).

7.3.3 Wasserversorgung und Wassererschließung

Die Wassergewinnung vollzieht sich im Bilanzraum "Coburger Land" über eine Vielzahl kleinerer Quellen und Brunnen. Die Fördermengen dieser Anlagen liegen meist unter 0,1 Mio. m³/a. Anthropogen bedingte Qualitätseinschränkungen treten vor allem bei oberflächennahen Erschließungen am Ostabfall der Haßberge und im seichten Karst auf.

Zur Ergänzung des örtlichen Bedarfs sind im Ausstrich des Mittleren und Oberen Keupers einzelne Bohrungen (mit Ergiebigkeiten von in der Regel unter 10 l/s) möglich. Daneben könnte versucht werden, die unter Keuper-Bedeckung abtauchenden Schichten des Muschelkalks (möglicherweise auch des Buntsandsteins) nordwestlich von Coburg zu erschließen. Dabei könnte man sich gleichzeitig die Funktion des überwiegend schluffig-tonigen Keupers als lithologische Barriere gegenüber dem Eintrag anthropogener Stoffe in den liegenden Grundwasserleiter (Abschirmungseffekt) zunutze machen. Die insgesamt hier gewinnbare Wassermenge dürfte allerdings 20 l/s kaum übersteigen. Das Einzugsgebiet liegt zwar weiter nördlich, aber die geologische Situation ermöglicht dort, das qualitativ bessere Wasser zu nutzen.

Die Grundwasservorkommen nördlich von Coburg sind regional bedeutsam. Zahlreiche, z. T. sehr ergiebige Brunnen nordöstlich von Coburg, im Lautertal und bei Neustadt, versorgen den Siedlungsraum Coburg — Neustadt; ihre jährliche Fördermenge beträgt insgesamt knapp 5 Mio. m³. Lokal kann es hier durch aufsteigende chloridreiche Tiefenwässer zu geogen bedingten Qualitätseinschränkungen kommen. Die anthropogene Beeinflussung ist verhältnismäßig gering; so liegen die Nitratwerte im Coburger Raum meist unter 50 mg/l.

Die Lichtenfelder Wasserversorgung stützt sich auf die Quellen bei End, die aufgrund ihrer Ergiebigkeit (Jahresfördermengen über 1 Mio. m³) als regional bedeutsam einzuschätzen sind. Wegen ihrer Lage im seichten, unbedeckten Karst reagieren diese Quellen allerdings sensibel auf anthropogene Einflüsse. So hatte beispielsweise im Frühjahr 1986 eine bakterielle Verunreinigung durch einen Düngeunfall (hohe Zahl von *Escherichia coli*) zur Folge, daß die Stadt Lichtenfels vorübergehend aus Tankwagen versorgt werden mußte.

Überregionale Grundwasservorräte sind im Bilanzraum "Coburger Land" nur im tiefen Malmkarst der Hollfelder Mulde (Nördliche Frankenalb, II-H, II-I) zu erwarten. Zur Zeit besteht dort noch kein ausreichender Grundwasserschutz. Neben dem großflächigen Stoffeintrag durch die Düngung findet noch stellenweise (Dolinen, Sickergräben, Versitzgruben und dergleichen) eine nicht unerhebliche Beeinträchtigung durch das Einleiten von Abwässern in den Karstgesteinskörper des Malms statt. Nach einer Verbesserung der Entsorgungssituation und nach einer merklichen Reduzierung der Düngung könnten z. B. im Raum Wattendorf — Großziegenfeld größere Mengen an Trinkwasser (über 50 l/s) erschlossen werden.

7.4 Bilanzraum III: "Mittelmain"

7.4.1 Grundwasseroberfläche und Vorflut

7.4.1.1 Oberirdischer Abfluß

Der Main quert das Untersuchungsgebiet zwischen der Regnitzmündung (Bamberg) und Gambach (nördlich Karlstadt) und bildet dabei das Mairdreieck.

Im Talabschnitt Bamberg — Schweinfurt fließt er in ESE-WNW-Richtung und erhält hier die meisten Zuflüsse aus Norden. Es handelt sich u. a. um den Ebelsbach, die Nassach, die Wässernach und die Steinach. Die Flüsse und Bäche weisen im Oberlauf erosives (Gefälle von über 0,5 %), im Mittel- und Unterlauf meist akkumulierendes Verhalten (0,2–0,5 % Gefälle) auf. Davon weicht die Wässernach ab; sie hat sogar im Unterlauf mit 0,8 % Gefälle noch erosiven Charakter.

Auf der Strecke Schweinfurt — Marktbreit fließen vom Steigerwald u. a. der Unkenbach, die Volkach, die Schwarzach und der Breitbach dem Main zu. Diese größeren Bäche sind meist E-W-gerichtet. Von der östlichen Hälfte des Maindreiecks erhält der Hauptvorfluter auf diesem Streckenabschnitt nur wenige, kleinere Zuflüsse. Der bedeutendste ist der N-S-gerichtete Dettelbach.

Im Streckenabschnitt Marktbreit — Gambach münden von orohydrographisch links, d. h. von Süden bzw. Westen kommend, nur kleinere, zumeist unbedeutende Zuflüsse in den Main. Pleichach, Dürrbach, Retzbach und Wern entwässern mit ihren Nebenbächen das Maindreieck und fließen dem Main aus nördlicher bzw. östlicher Richtung zu. Das Einzugsgebiet der Wern, die ca. 5 km unterstrom des Bilanzraum-Grenzpunktes Gambach in den Main mündet, liegt nahezu vollständig im Bilanzraum "Mittelmain"; nicht zugeschlagen wurden allerdings Quell- und Mündungsgebiet dieses Flusses. — Die Mehrzahl der in den beiden letzten Abschnitten genannten größeren Bäche erodiert im Oberlauf und akkumuliert im Unterlauf.

Die Einzugsgebiete der kleineren Zuflüsse sind durch Wasserscheiden 3. Unterteilung voneinander getrennt. Wasserscheiden 2. Unterteilung trennen die Einzugsgebiete des Sinn-Saale-Gewässernetzes, des Mittelmains, der Baunach und der Regnitz voneinander. Im Süden und Südwesten wurden dem Bilanzraum Teile des Tauber-Einzugsgebietes, das ebenfalls durch eine Wasserscheide 2. Unterteilung vom restlichen Untersuchungsgebiet getrennt ist, zugeschlagen. Es sind dies neben dem Oberlauf der Tauber die Schandtauber und die Gollach sowie die Oberläufe der Steinach und des Wittigbaches.

Das Maintal ist zwischen der Regnitzmündung und Haßfurt relativ breit, verengt sich dann beim Durchfließen der Muschelkalk-Aufwölbung des Kissingen-Haßfurter Sattels, um sich südlich Schweinfurt im Keuper-Ausstrich des Schweinfurter Beckens wieder trichterförmig zu erweitern. Ab Hirschfeld fließt der Main bis Karlstadt überwiegend im Muschelkalk, sein Tal ist daher relativ eng. Das Gefälle des Maintals schwankt im Bilanzraum zwischen 0,01 und 0,1 %.

7.4.1.2 Unterirdischer Abfluß

Im Bilanzraum III sind v. a. der Muschelkalk und Teile des Unteren Keupers grundwasserleitend. Der Mittlere Keuper streicht nur in einigen Randgebieten aus und ist hier weitgehend als Grundwasserstauer ausgebildet.

Der Muschelkalk, dem im folgenden besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird, teilt sich eigentlich in mehrere Grundwasserstockwerke (vgl. Kap. 3.2.1.2 Muschelkalk). In der "Grundwassergleichenkarte von Bayern" (LfW, 1985) wird er jedoch als eine Einheit betrachtet. Dies stellt eine starke Vereinfachung der tatsächlichen hydrogeologischen Verhältnisse dar. Die Grundwasseroberfläche ist im Maindreieck und seiner näheren Umrandung im allgemeinen zum Main hin gerichtet. Die Wern ist unterhalb von Arnstein ebenfalls Vorfluter. Zwischen dem südlichen Maindreieck und dem Wertal ist eine Grundwasserschwelle ausgebildet, die den Verlauf des Thüngersheimer Sattels widerspiegelt. Östlich von Werneck ist die Grundwasseroberfläche zur Schweinfurter Mulde hin geneigt. Eine weitere deutliche Grundwasserschwelle verläuft etwa an der nördlichen Bilanzraumgrenze. Sie trennt das unterirdische Einzugsgebiet der Fränkischen Saale von dem der Wern bzw. vom Maintal. Als hydraulisch wirksame Verwerfung durchquert die Kissingen-Haßfurter Störungszone diese Wasserscheide. Eine dränende Funktion dieser Verwerfungszone zum Main hin kann aufgrund zahlreicher Quellaustritte im Maintal angenommen werden.

Westlich des Maindreiecks erscheint das Relief der Grundwasseroberfläche stärker gegliedert als im übrigen Bilanzraum. Dies ist wahrscheinlich auf die hier größere Datendichte zurückzuführen. Deutlich gibt sich die südwestliche Fortsetzung des Thüngersheimer Sattels zu erkennen, der einerseits eine Grundwasserschwelle darstellt und in dem andererseits bereits der liegende Buntsandstein über Tage ausstreicht. Nördlich und südlich davon deuten sich die Zellinger bzw. Zeller Mulde an. Etwa in der Mitte des Muschelkalk-Ausstrichs verläuft zwischen Maindreieck und Mainviereck eine etwa S-N-gerichtete Grundwasserschwelle. Die Gefällsverhältnisse scheinen sehr uneinheitlich; dies ist wahrscheinlich in erster Linie auf die unterschiedliche Datendichte des verwendeten Materials wie auch auf die Vereinfachung der Hydrogeologie im Maindreieck zurückzuführen. Daher wird auf eine Wertung dieser Daten verzichtet.

7.4.2 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildungsraten sind im Bilanzraum III vergleichsweise niedrig, was einerseits auf den geringen mittleren Niederschlag von in der Regel 550–650 mm/a, andererseits auf die schlechte vertikale Durchlässigkeit des großflächig ausstreichenden Unteren Keupers zurückzuführen ist.

Die für die Teilgebiete III-D und III-F gewonnenen Wertepaare müssen korrigiert werden, da offensichtlich oberhalb der Abflußmeßstellen ein Teil des Wassers versickert und unterirdisch dem Hauptvorfluter zuströmt. Die tatsächliche Grundwasserneubildungsrate ist hier also größer als die gemessene.

Aufgrund ähnlicher geologischer und klimatischer Verhältnisse wird für das Teilgebiet III-D das Wertepaar des Teilgebiets III-A, für das Teilgebiet III-F das Wertepaar des Teilgebiets III-E übernommen. Die Grundwasserneubildung beträgt demnach im Teilgebiet III-D 2,4 bzw. 2,9 l/(s*km²), im Teilgebiet III-F 2,6 bzw. 3,0 l/(s*km²).

Die Werte des Teilgebietes III-B wurden vom Pegel "Nassach/Römershofen" abgeleitet. Das Einzugsgebiet dieses Pegels wird überwiegend von tonigen und sandigen Gesteinen des Unteren und Mittleren Keupers aufgebaut; demgegenüber streicht über weite Flächen in der Westhälfte des Teilgebiets III-B der Muschelkalk aus. Vom Pegel "Nassach/Römershofen" liegt nur der nach ROTHASCHER ermittelte Wert für die Grundwasserneubildungsrate (2,4 l/(s*km²)) vor. Ein Vergleich mit dem im Osten angrenzenden Teilgebiet II-A (2,3/2,5 l/(s*km²)) zeigt, bei gleichen Niederschlagsverhältnissen, eine gute Übereinstimmung; dieser Wert ist also für den Ausstrich des Gips- und Sandsteinkeupers des Teilgebiets III-B realistisch. Die Bereiche, in denen der Muschelkalk weitflächig ausstreicht, lassen jedoch eine größere Grundwasserneubildung erwarten. Vergleichbar mit der Westhälfte des Teilgebiets III-B ist nach geologischen Gesichtspunkten das Teilgebiet III-A, mit dem Wertepaar 2,4/2,9 l/(s*km²). Aufgrund der hier dargelegten Gesichtspunkte wird die für das Teilgebiet III-B ermittelte Grundwasserneubildungsrate von 2,4 l/(s*km²) als plausibel erachtet.

Die höchsten Grundwasserneubildungsraten werden im Teilgebiet III-G erreicht; sie betragen im Gegensatz zum übrigen Bilanzraum über 3 l/(s*km²). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, daß dort die mittleren jährlichen Niederschlagssummen um etwa 50–100 mm höher liegen als im restlichen Gebiet. – Seit der letzten Neugliederung der Bilanzraumgrenzen befindet sich dieses Teilgebiet außerhalb des Planungsraums; es bleibt daher bei der weiteren Diskussion unberücksichtigt.

Ausgehend von den hier dargelegten, gebietsbezogenen Grundwasserneubildungsraten können im Bilanzraum III für den Ausstrich des Keupers im allgemeinen Werte zwischen 1 und 3, für den des Muschelkalks zwischen 2 und 4 l/(s*km²) angenommen werden.

Für das Maintalquartär wurden die Grundwasserneubildungsraten mit Hilfe der mittleren jährlichen Niederschlags- und Verdunstungshöhen (KERN, 1954) ermittelt. Dabei wurde der oberirdische Abfluß vernachlässigt, der im Talbereich ohnehin minimal sein dürfte. So ergeben sich, in Abhängigkeit vom Niederschlag, Werte zwischen 3 und 6 l/(s*km²). Zwischen Bamberg und Haßfurt sowie zwischen Volkach und Würzburg bewegen sich die Werte um 4,5 l/(s*km²), im Raum Schweinfurt betragen sie zwischen 3 und 4 l/(s*km²).

7.4.3 Wasserversorgung und Wassererschließung

Aus Gesteinen des Unteren Keupers (bevorzugt aus Sandsteinen) werden einzelne Gemeinden versorgt. Diese Erschließungen sind meist nur für die jeweiligen Orte bedeutsam und liefern in der Regel Wassermengen unter 0,1 Mio. m³/a. Eine Ausnahme bildet dabei die Versorgung Werneck (Ettleben); diese liegt in der Schweinfurter Mulde und fördert zwischen 0,1 und 0,5 Mio. m³/a. Sie speist in ein Verbundnetz (Rhön-Maintal-Gruppe) ein und besitzt, mit Einschränkungen, regionale Bedeutung.

Die Grundwasservorkommen im Unteren Keuper sind wegen der räumlichen Begrenzung der Grundwasserleiter meist nur wenig ergiebig. Wichtige Neuerschließungen lassen sich hier nicht mehr erwarten. Darüber hinaus unterliegt eine Vielzahl der oberflächennahen Trinkwassergewinnungsanlagen durch intensive landwirtschaftliche Nutzung einer mehr oder weniger starken anthropogenen Beeinflussung. So schwanken neuerdings die Nitratgehalte der aus dem Unteren Keuper gewonnenen Wässer im Würzburger Raum im allgemeinen zwischen 25 und 90 mg/l. In einigen Bereichen, v. a. um Volkach, werden sogar über 90 mg/l Nitrat gemessen.

Zahlreiche Brunnen und Quellen liefern Wasser aus dem Muschelkalk. Neben einer Vielzahl kleinerer und mittlerer Versorgungsanlagen für lokal begrenzten Bedarf können Versorgungsschwerpunkte von regionaler Bedeutung hervorgehoben werden. Die Gewinnungsanlagen speisen dabei nicht nur in die Netze von Fernwasserversorgungen, sondern auch in die Ortsnetze der größeren Städte ein (Tab. 15).

Die Erschließung von Grundwasser im Muschelkalk ist häufig problematisch. So ist im Oberen und Unteren Muschelkalk nicht immer eine ausreichende Wasserwegsamkeit ausgebildet; andererseits werden im grundwasserhöflichen Mittleren Muschelkalk z. T. sehr hohe, geogen bedingte Sulfat-, gelegentlich auch Chloridkonzentrationen erreicht, so daß dieses Wasser, falls überhaupt, nur mit Einschränkungen als Trinkwasser genutzt werden kann.

Während aus dem Muschelkalk gewonnenes Wasser bei der Ausbildung eines hangenden Keuper-Grundwasserstockwerks nur gering anthropogen beeinflusst ist, schlägt die Belastung durch die Landwirtschaft (bzw. den Weinbau) im freien Muschelkalk-Ausstrich stark durch. So schwanken die Nitratgehalte im Muschelkalk-Ausstrich zwischen <25 und 90 mg/l; im Maintal wurden, bei intensivem Weinbau, sogar über 90 mg/l gemessen.

Aufgrund der geringen Grundwasserneubildungsraten, der möglichen Probleme und Risiken einer Neuerschließung sowie der geogen und anthropogen bedingten qualitativen Einschränkungen, sind im Bilanzraum "Mittelmain" zusätzlich keine größeren erschließbaren Grundwasservorräte im Muschelkalk zu erwarten. Weiterhin kann z. B. für die z. Zt. noch örtlich bedeutsamen "Würzburger Bahnhoftquellen" kein sicheres Schutzgebiet ausgewiesen werden. Ähnliche, wenn auch nicht so gravierende Gefährdungen bestehen für die Erschließungen am "Zeller Bock" und die Notversorgung "Kalte Quelle" (beide gehören zur Wasserversorgung Würzburg).

Örtliche Ergänzungen zur Wassergewinnung wären im Raum Würzburg z. B. im Gramschatzer Wald oder im Reichenberger Forst und im Raum Schweinfurt im Hesselbacher Waldland denkbar. Das Maintalquartär wird im Bilanzraum III, trotz enger räumlicher Begrenzung, intensiv wasserwirtschaftlich genutzt. Die wichtigsten Wassererschließungen, mit Fördermengen zwischen knapp 1 und über 5 Mio. m³/a, liegen bei Karlstadt, Marktstett und Sulzfeld (FWF), Volkach (FWF), Schweinfurt (Ortsnetz), Weyer (RMG) und Haßfurt. Bereits im Kap 7.4.2 (Grundwasserneubildung) wird ersichtlich, daß im Maintalquartär die größten Grundwasserneubildungsraten des Bilanzraums zu erwarten sind.

Vergleicht man jedoch die aktuellen Fördermengen mit der durch den Niederschlag neugebildeten Grundwassermenge, so wird deutlich, daß die Brunnen im Maintalquartär große Anteile an Uferfiltrat und an aufsteigendem tieferen Grundwasser (des triassischen Rahmens), z. T. auch von den Talflanken zutretendes Wasser fördern. Diese Aussage wird durch hydrogeochemische Erkenntnisse erhärtet (vgl. Kap. 5 Hydrogeochemische Beurteilung der Grundwässer nach Grundwasserleitern):

- Die Maintalstrecke zwischen Bamberg/Bischberg und Harrbach (nördlich Karlstadt) beträgt rund 170 km. Das für die Wassererschließung nutzbare Maintalquartär ist zwischen Harrbach und Schweinfurt im Mittel nur ca. 600 m breit. Auf der Flußstrecke Schweinfurt — Bamberg steigt die mittlere Breite auf knapp 1000 m an; allerdings sind hier die Grundwassermächtigkeiten in der Regel geringer als südlich von Schweinfurt (somit ist das Grundwasser hier schwerer zu erschließen).
- Große Bereiche des Maintales stehen aufgrund anderer Nutzungen (z. B. Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsflächen, Baggerseen, Bauschuttdeponien) der Grundwassererschließung nicht mehr zur Verfügung. So dürften im relativ dicht besiedelten Maintalabschnitt zwischen Harrbach und Schweinfurt ca. 60–70 %, im Abschnitt Schweinfurt — Bamberg ca. 50–60 % der Flächen anderen Nutzungen unterliegen. Demnach würde für die Grundwassernutzung eine Gesamtfäche von nur 45–55 km² zur Verfügung stehen. Nimmt man nun für dieses Gebiet eine mittlere Grundwasserneubildungsrate von 4,5 l/(s*km²), so entspricht dies einer Grundwasserneubildung von 200–250 l/s bzw. 6,3–7,9 Mio. m³/a.
- Aus dem Maintalquartär zwischen Gemünden und Bamberg werden zur Zeit zwischen 20 und 25 Mio. m³ Wasser pro Jahr gefördert. Das ist die drei- bis vierfache Menge des durch Niederschlag über dem Maintalquartär neugebildeten Talgrundwassers. Dabei sind die Einzugsgebiete der hier berücksichtigten Erschließungen kleiner als der Raum, der für eine Grundwassernutzung möglicherweise zur Verfügung stehen würde, da in die vorliegenden Betrachtungen auch heute intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen mit einbezogen wurden.
- Große Anteile des im Maintalbereich geförderten Wassers stammen, wie in Kap. 3.3.2.1 (Maintalquartär) dargelegt, nicht aus der Grundwasserneubildung, sondern aus dem Uferfiltrat, aus den Talhängen zutretendem Wasser und von aufsteigenden Tiefenwässern. So fördert beispielsweise

der Horizontalfilterbrunnen der Anlage "Sulzfeld" (FWF) ca. 75 % Uferfiltrat (DOBNER & FRANK, 1986). In der Anlage "Weyer" wird Mainwasser zur Versickerung gebracht, um das Grundwasserdargebot zu erhöhen (Kap. 3.3.2.1).

Die Förderung von Uferfiltrat ist, solange ausreichende Verweilzeiten im Untergrund gewährleistet werden können, unproblematisch. Eine zweite wichtige Voraussetzung sind die Filtereigenschaften des Porengrundwasserleiters. Allerdings verringert sich im Laufe der Zeit das Filtervermögen, vom Vorfluter ausgehend, in Richtung auf die fördernden Brunnen zu. Der Förderung von Uferfiltrat, aber auch der künstlichen Grundwasseranreicherung mittels Flußwasser sind daher im relativ engen Maintal natürliche, zeitliche Grenzen gesetzt. Daneben müßte bei Eintreten eines Chemie-Unfalls (z. B. auf dem Main oder in einem am Main stehenden industriellen Großbetrieb) aufgrund des hohen Uferfiltratanteils zeitlich befristet auf die Wassergewinnung aus den betroffenen Erschließungen verzichtet werden.

Aufsteigende Tiefenwässer führen v. a. bei einer Überbeanspruchung des Porengrundwasserleiters zu einer merklichen Erhöhung der Sulfat-, gegebenenfalls auch der Chloridgehalte und somit zu einer deutlichen Erhöhung der Gesamthärte. Bei erhöhten Anteilen von Hangwässern können, in Abhängigkeit von der Nutzung im weiteren Einzugsgebiet, auch relativ starke anthropogene Einflüsse festgestellt werden.

Der Bilanzraum "Mittelmain" wird heute weitgehend von den Grundwassererschließungen im Maintalbereich versorgt. Gleichwohl kann dieser Zustand auf lange Sicht nur eine Übergangslösung darstellen. Der wichtigste Grund hierfür ist das abnehmende Filtervermögen des Porengrundwasserleiters. Eine Gewinnbarkeit von Trinkwasser an den heutigen Stellen ist somit wahrscheinlich nur einige Zehner Jahre möglich; Brauchwasser könnte hier allerdings länger erschlossen werden.

Im Flußabschnitt Harrbach — Schweinfurt ist keine Steigerung der Fördermengen zu erwarten. Vielmehr weisen verschiedene Faktoren in einigen Anlagen auf Überbeanspruchungen hin; so z. B. bereichsweise hohe Nitratgehalte in der Erschließung "Sulzfeld-Marktstett" und z. T. erhöhte Sulfat- und Chloridwerte in den Erschließungen "Marktstett" und "Volkach".

Durch einen weiteren Ausbau der Erschließungen "Schweinfurt-Wehranlagen" und "Weyer" können die dort förderbaren Mengen jeweils um einige 10er l/s erhöht werden. Einen wesentlichen Anteil macht hierbei das Uferfiltrat bzw. künstlich angereichertes Grundwasser aus. Eine Erweiterung der kleineren und mittleren Erschließungen zwischen Schweinfurt und Bamberg ist meist nur mit qualitativen Einschränkungen möglich.

So mußten bei einer geplanten Erweiterung der Anlage "Wofurt" zwei Neubohrungen wegen zu hoher Nitratgehalte aufgegeben werden. Die Grundwassererkundung 3.04 Roßstadt wurde aus demselben Grund negativ beurteilt (LfW, 1978 d).

Die Trinkwassererschließung "Haßfurt" wird z. Zt. durch die im Oberstrom liegenden Klärteiche der Zuckerfabrik Zeil beeinträchtigt. Eine Sanierung bzw. Ersatzwasserbeschaffung ist hier unumgänglich.

Eine nur teilweise genutzte Erschließung stellt die Grundwassererkundung "Untereuerheim" der Stadtwerke Schweinfurt dar. Aus diesem Areal könnten ca. 80 l/s gefördert werden. Dies würde einer Steigerung der aktuellen Ableitung um ca. 50 l/s entsprechen. Auch hier wird überwiegend Uferfiltrat gefördert (BÜTTNER, 1984).

7.5 Bilanzraum IV: "Sinn-Saale-Gebiet"

7.5.1 Grundwasseroberfläche und Vorflut

7.5.1.1 Oberirdischer Abfluß

Der Oberirdische Abfluß des Bilanzraumes vollzieht sich überwiegend über die Flüsse Sinn und Fränkische Saale und nur ein kleiner Teil des Gebietes wird vom Sinderbach entwässert, der im nordöstlichen Spessart entspringt und direkt in den Main mündet.

Die bevorzugten Fließrichtungen sind NE-SW, ungefähr parallel zum Streichen der Schichtstufen (z. B. fließt die Fränkische Saale über weite Strecken ihres Laufs entlang der Muschelkalk-Schichtstufe), sowie NW-SE in Richtung Schichtfallen bzw. parallel zu den herzynisch verlaufenden Störungssystemen (z. B. Heustreuer Störungszone).

Die Fränkische Saale entspringt im Grabfeld östlich Königshofen an der Grenze zu Thüringen; sie erhält in ihrem Oberlauf über Sulz und Streu, Sonder- und Elsbach sowie Brend hauptsächlich Zuflüsse aus der niederschlagsreichen Rhön (bis 1300 mm/a). Hierbei weist vor allem die Brend mit 4,2 % im Oberlauf ein hohes Gefälle auf und wirkt mit 0,7 % auch im Unterlauf noch erosiv, während die Fränkische Saale mit nur 0,5 % im Oberlauf und 0,1 % im Mittellauf kaum erosiven Charakter zeigt. Die Milz fließt dem Oberlauf der Fränkischen Saale von Osten zu, ihr Einzugsgebiet liegt z. T. in Thüringen. Die Zuflüsse im Mittel- und Unterlauf, wie z. B. Thulba und Schondra, kommen vorwiegend aus nordwestlicher Richtung vom Buntsandsteinland der Südrhön, jedoch kaum aus Südosten von der Muschelkalk-Schichtstufe. Eine Ausnahme ist die Lauer, die sich bei Münnerstadt, entgegen dem allgemeinen Schichtfallen, durch den Muschelkalk gesägt hat. Sie besitzt mit 1 % nur im Oberlauf erosiven Charakter und verflacht sehr rasch auf 0,1 bis 0,2 %.

Die Sinn entspringt in der Nordwestflanke des Kreuzbergs (Rhön). Ihre wichtigsten Zuflüsse: Schmale Sinn und Jossa, liegen bereits außerhalb des Bilanzraums in Hessen. Zwischen Zeitlofs und Obersinn quert auch der Lauf der Sinn selbst hessisches Gebiet. Während die Sinn in ihrem Ober- und Mittellauf (2,5 bzw. 0,9 % Gefälle) ungefähr parallel zur Fränkischen Saale fließt, knickt sie bei Jossa, bedingt durch den im Westen aufsteigenden Spessart, nach Süden ab und fließt, parallel dem Hochspessart, mit 0,3 bis 0,4 % Gefälle der Saale zu. Die Sinn mündet in die Fränkische Saale, kurz bevor diese bei Gemünden in den Main fließt. Letzterer quert mit dem nördlichsten Zipfel zwischen Maindreieck und Mainviereck den Bilanzraum nur kurz.

Zwischen den einzelnen Teil-Einzugsgebieten im Bilanzraum sind Wasserscheiden 3. Unterteilung ausgebildet. Im Süden und Osten trennen Wasserscheiden 2. Unterteilung das "Sinn-Saale-Gebiet" von anderen Bilanzräumen. Im Norden wird der Bilanzraum von der Hauptwasserscheide zum Werra-Elbe-Gebiet begrenzt. Ausgenommen hiervon ist lediglich das auf bayerischem Gebiet bei Motten (nördlich Bad Brückenau) gelegene Ursprungsgebiet der Döllau, eines Zubringers der Fulda. Dieser Teil des Bilanzraums gehört somit zum Werra-Einzugsgebiet.

7.5.1.2 Unterirdischer Abfluß

Im Bilanzraum "Sinn-Saale-Gebiet" können zwei Haupt-Grundwasserleiter ausgeschieden werden. Es sind dies der Buntsandstein, der weite Teile der Rhön und der Südrhön einnimmt, und der Muschelkalk, der im nördlichen Abschnitt der Mainfränkischen Platten ansteht. In weiten Bereichen des Grabfelds wird der Muschelkalk vom Unteren und Teilen des Mittleren Keupers überdeckt, hier sind über seine Grundwasseroberfläche nur tendenzielle Aussagen möglich. Der Muschelkalk zeigt im Sinn-Saale-Gebiet meist eine Stockwerksgliederung; diese wird in der "Grundwassergleichenkarte von Bayern" (LfW, 1985) nicht berücksichtigt; die hydrogeologischen Verhältnisse sind also dort vereinfacht dargestellt. In gleicher Weise wurde die Heustreuer Störungszone nicht als "hydraulisch wirksame Verwerfung" berücksichtigt, wodurch im Nahbereich dieser Störung die lokalen Gegebenheiten ebenfalls stark generalisiert erscheinen.

Die in o. a. Publikation (LfW, 1985) wiedergegebene Grundwasseroberfläche des Buntsandstein-Stockwerks zeigt merkliche regionale Unterschiede. Einerseits zeichnet sie im Südwesten deutlich die Konturen der Landschaft nach, so daß steile mit flacheren Bereichen wechseln, andererseits läßt sie im Nordosten nur annäherungsweise ein Relief erkennen. Diese Unterschiede sind nicht auf die Geologie zurückzuführen, sondern spiegeln lediglich eine uneinheitliche Datendichte wider: Eigentlich müßten auch im stark generalisierten Teil nordöstlich der Schondra die Grundwasserhöhengleichen einen wesentlich differenzierteren Verlauf aufweisen.

Sinn und Saale sowie ihre größeren Zuflüsse üben auf den Buntsandstein-Grundwasserleiter eine Vorflutfunktion aus. Die Rhön stellt auf der Linie Kothen — Wildflecken — Bischofsheim — Fladungen eine ober- und unterirdische Wasserscheide zwischen den Flußgebieten von Main und Weser dar.

Das Grundwassergefälle des Muschelkalk-Grundwasserleiters ist einerseits auf die Vorfluter Streu, Fränkische Saale und Lauer, andererseits auf den Münnerstädter Graben gerichtet. — Zwischen den einzelnen Einzugsgebieten sind kleinere Grundwasserscheiden ausgebildet. Eine Hauptgrundwasserscheide verläuft etwa parallel zur südlichen Abgrenzung des Bilanzraums (vgl. Bilanzraum III). — Die Heustreuer Störungszone sowie die intensive Verkarstung im Raum Ostheim — Mellrichstadt — Unsleben dürften die hydrogeologischen Verhältnisse erheblich verkomplizieren. Die Gefällsverhältnisse im Muschelkalk sind stark generalisiert; um eine fehlerhafte Überinterpretation zu vermeiden, wird auf eine weitere Wertung verzichtet.

7.5.2 Grundwasserneubildung

Mit Hilfe der Grundwasserneubildungsraten läßt sich der Bilanzraum "Sinn-Saale-Gebiet" in zwei Komplexe gliedern. So treten im Norden und Nordosten in der Regel relativ hohe Werte zwischen 4 und 7 l/(s*km²) auf, während sie im Süden meist um 2–3 l/(s*km²) schwanken und nur selten 3 l/(s*km²) übersteigen. Diese Tendenzen sind sowohl auf die unterschiedliche Niederschlagsverteilung als auch auf die geologischen Verhältnisse, insbesondere auf die am Wasserdurchsatz beteiligte Klüftung zurückzuführen.

So werden in der Rhön und in der nördlichen Südrhön im allgemeinen mittlere jährliche Niederschlagshöhen zwischen 700 und 1200 mm gemessen. Hier streichen Vulkanite, Sandsteine und Kalksteine aus. In der Rhön und Teilen ihres Vorlandes, vor allem aber in der Heustreuer Störungszone, sind Muschelkalk und Buntsandstein intensiv tektonisch überprägt, wodurch das wasserwegsames Kluftvolumen erhöht wurde. Daher schwanken die Wertepaare in den Teilgebieten IV-B, IV-E, IV-G, IV-I und IV-J zwischen 3,9 und 5,7 bzw. 4,8 und 7,0 l/(s*km²).

Demgegenüber betragen die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen in den südwestlich angrenzenden Teilgebieten IV-A, IV-C und IV-F, die weitgehend zur Südrhön gehören, lediglich zwischen 700 und 850 mm. Darüber hinaus scheint in den hier flächig austreichenden Gesteinen des Buntsandsteins ein nur mäßig wasserwegsames Kluftvolumen ausgebildet zu sein. Daher sind die Grundwasserneubildungsraten hier bedeutend niedriger; ihre Wertepaare schwanken um 2 bzw. zwischen 2 und 3,5 l/(s*km²). Eine ähnliche Tendenz läßt sich auch für das Einzugsgebiet der Sulz (Teilgebiet IV-K) feststellen.

An die Südrhön schließen im Süden und Osten die Mainfränkischen Platten an. Dort streichen im wesentlichen Gesteine des Muschelkalks sowie des Unteren und Mittleren Keupers aus. In diesen kalkigen, sandigen und tonigen Serien sind unterschiedliche Wasserwegsamkeiten ausgebildet. Intensive Bruchtektonik der Heustreuer Störungszone und des Münnerstädter Grabens sowie Parallel-Verwerfungen zur Kissingen-Haßfurter Störungszone führten in einigen Gebieten zu einer Auflockerung des Gesteinsverbandes und somit zu einer Erhöhung der Wasserwegsamkeit. Die Niederschlagshöhen liegen hier im allgemeinen relativ niedrig, nämlich zwischen 550 und etwa 700 mm/a. Dabei werden die niedrigsten Werte (550–600 mm/a) im Grabfeld gemessen; hierzu zählen die Teilgebiete IV-H, IV-L, IV-M und IV-N.

Aufgrund der geringen Niederschlagshöhen, bei gleichzeitig niedrigen Wasserwegsamkeiten, liegen die Grundwasserneubildungsraten in den Teilgebieten IV-D, IV-L, IV-M und IV-N zwischen 2,3 und 2,6 bzw. zwischen 2,5 und 3,0 l/(s*km²). Mit dem Wertepaar 3,0/3,3 l/(s*km²) bildet das Teilgebiet IV-H eine Ausnahme. In seiner westlichen Hälfte streicht weitflächig der Muschelkalk aus; er wird hier von der Bruchtektonik des Münnerstädter Grabens zerlegt und weist daher erhöhte Wasserwegsamkeiten auf.

Die Wertepaare für die Teilgebiete IV-D und IV-N wurden von den jeweils benachbarten Pegelgebieten "Wern/Sachsenheim" und "Baunach/Lohr" übernommen, zumal die Teilgebiete ähnliche geologische Voraussetzungen aufweisen und flächenmäßig zu diesen Pegelgebieten gehören. Hier waren für die Bilanzraumabgrenzungen andere als hydrogeologische Prioritäten maßgebend. Im Fall des Teilgebietes IV-L wurden aufgrund fehlender aussagekräftiger Daten für ein vorwiegend aus Unterem Keuper und Oberem Muschelkalk aufgebautes Areal die Werte vom Pegelgebiet "Castellbach/Atzhausen" abgeleitet.

Naturräumlich betrachtet gehört das Teilgebiet IV-J weitgehend zu den Mainfränkischen Platten. Die speziellen hydrogeologischen Verhältnisse, v. a. das relativ große Grundwasserspeichervermögen im Kluftraum der Heustreuer Störungszone sowie eine bereichsweise ausgeprägte Verkarstung des Unteren Muschelkalks bedingen zusammen mit den hohen mittleren Jahresniederschlägen (600–1000 mm) die relativ hohen Grundwasserneubildungswerte von 3,9 bzw. 4,8 l/(s*km²).

7.5.3 Wasserversorgung und Wassererschließung

Im Bilanzraum "Sinn-Saale-Gebiet", vor allem in Rhön und Südrhön, ist die Wasserversorgung mehrheitlich auf eine Vielzahl kleinerer Fassungen von nur örtlicher Bedeutung beschränkt, deren jährliche Förderleistungen entweder unter 0,1 Mio. m³ oder zwischen 0,1 und 0,5 Mio. m³ liegen. Ergiebige Brunnen und Quellen versorgen die Siedlungsräume Bad Königshofen, Bad Neustadt, Bad Kissingen,

Bad Brückenau, Mellrichstadt und Hammelburg. Erwähnenswert erscheinen die Brunnen bei Reiterswiesen (Wasserversorgung Bad Kissingen) und südlich von Münnerstadt sowie die Brunnen und Quellen bei Bad Neustadt wegen ihrer Fördermengen von 1–5 Mio. m³/a.

Regional bedeutsam sind auch die Quellen und Brunnen im Kellersbachtal, mit einer jährlichen Förderleistung von über 1 Mio. m³, die in das Verbundnetz der Rhön-Maintal-Gruppe einspeisen. Weiterhin sind die Brunnen der Bad Königshofener Gruppe (insbesondere die Erschließung bei Großeibstadt) und die Quellen der Mellrichstädter Gruppe (bei Mittelstreu) zu nennen, deren Jahresförderung zwischen 0,5 und 1 Mio. m³ ausmacht.

Von den Grundwassererkundungen "2.01 Schonderfeld", "2.04 Rieneck", "3.01 bzw. 3.02 Willmars", "3.03 Lauertal", "3.05 Oberthulba" und "3.06 Waldberg" des LfW liegen dem GLA Ergebnisse vor. Die Erkundung "3.03 Lauertal" erschließt Muschelkalkwasser. In den übrigen Gebieten wurde versucht, Trinkwasser des Buntsandsteins zu erschließen.

Regionale, mit Einschränkungen auch überregionale Bedeutung haben die Erkundungen "2.01 Schonderfeld", "2.04 Rieneck", "3.01 bzw. 3.02 Willmars" und "Gemünden-Hofstetten". Mit Ausnahme der Erkundung "Gemünden-Hofstetten" dürften die ableitbaren maximalen Fördermengen jeweils unter 50 l/s liegen. Die maximal mögliche Förderleistung des Erkundungsgebietes "Gemünden-Hofstetten" beträgt 110 l/s bzw. rd. 2 Mio. m³/a (LfW, 1981), somit kommt dem Vorkommen überregionale Bedeutung zu. Es ist geplant, einen Anschluß an den Siedlungsraum Würzburg herzustellen. Die Erkundung "3.06 Waldberg" erbrachte lediglich eine Aufstockung des bereits genutzten Vorkommens der Rhön-Maintal-Gruppe im Kellersbachtal um maximal 10 l/s.

Hydrochemisch betrachtet können die Wässer aus dem Muschelkalk im Bilanzraum "Sinn-Saale-Gebiet" z. T. relativ hohe Sulfatgehalte aufweisen, was auf Anhydrit- und Gipsvorkommen zurückzuführen ist. Hohe Sulfatgehalte schränken die Verwendung als Trinkwasser ein und führen u. U. zu einer Aufgabe der Erschließung, wie im Fall der Erkundung "3.03 Lauertal"; dort erreichten die Sulfatkonzentrationen Werte bis 340 mg/l (LfW, 1975 e). Ebenfalls geogen bedingt sind die hohen Chloridgehalte von Tiefenwässern, die bevorzugt an tektonischen Zerrüttungszonen in Klüften aufsteigen. Sie kommen im Bilanzraum IV v. a. in der Heustreuer Störungszone sowie im Umfeld von Bad Neustadt, Bad Kissingen und Gemünden vor. Erhöhte Chloridkonzentrationen führen zu qualitativen Einschränkungen; so wurden bei der Grundwassererkundung "Gemünden-Hofstetten" Werte bis zu 80 mg/l festgestellt (LfW, 1981).

Die Rhön und die nördlichen Anteile der Südrhön weisen relativ große Wald- und Ödlandflächen auf und sind daher in der Regel nur geringen anthropogenen Einflüssen ausgesetzt. Demgegenüber sind aufgrund der dortigen Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur das Umfeld des Saale- und Streutals sowie das Grabfeld wesentlich stärker anthropogen beeinflusst. Die Nitratgehalte schwanken dort im allgemeinen zwischen 25 und 50 mg/l; gelegentlich werden 50 mg/l überschritten. Dabei werden v. a. in oberflächennahen Erschließungen meist hohe Nitratgehalte erreicht. Der Untere Muschelkalk reagiert als Grundwasserleiter besonders sensibel auf anthropogene Einflüsse. Seine hohe Durchlässigkeit weist den Unteren Muschelkalk einerseits als wasserwirtschaftlich wichtigen Grundwasserleiter aus, macht ihn andererseits aber besonders dort empfänglich für Schadstoffeinträge, wo diese Gesteinsserie an der Geländeoberfläche großflächig ausstreicht bzw. wo wasserdurchlässige bruchtektonische Strukturen die Verbindung zwischen dem Grundwasserleiter und der Geländeoberfläche herstellen (Heustreuer Störungszone, Münnerstädter Graben).

Angesichts der relativ hohen Grundwasserneubildungsraten in den Teilgebieten IV-B, IV-E, IV-G und IV-I und der dort weitgehend geringen anthropogenen Beeinflussung erscheinen diese Flächen für die Trinkwassererschließung interessant. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Bereiche gelenkt, die forstwirtschaftlich genutzt werden oder Ödland darstellen. Rechnet man nun die Gebiete, in denen z. Zt. bereits Trinkwasser erschlossen wird, ab, so verbleiben einige Flächen, die als "potentielle Erschließungsgebiete" weiter untersucht werden könnten. Es handelt sich dabei um:

- zwei überwiegend bewaldete Areale westlich und östlich von Obersinn mit jeweils ca. 30 km² Größe: Hier könnten, vorsichtig geschätzt, jeweils ca. 20–30 l/s, also insgesamt ca. 50 l/s erschlossen werden.
- bewaldete Areale nördlich und südlich des Staatsbades Brückenau. Hier stehen bereits kleinere und mittelgroße Erschließungen. Allerdings ist in diesem Raum zu berücksichtigen, daß auf-

steigende mineralstoffreiche Wässer Neuerschließungen nachhaltig beeinflussen können. Dennoch erscheint eine Ergänzung bzw. Steigerung der hier förderbaren Grundwassermenge (durch Neu Bohrungen) um rund 20 l/s möglich.

- ein großes zusammenhängendes Waldgebiet von knapp 40 km² Größe nordwestlich von Bad Neustadt (Burgwallbacher Forst). Hier könnten ca. 30–40 l/s erschlossen werden.
- die ca. 30 km² große Hohe Rhön. Hiervon sind ca. 25 km² als Naturschutzgebiet ausgewiesen. Viele der ungenutzten Quellen könnten durch einen Sammelstrang um eine Gesamtmenge von ca. 50 l/s angezapft werden, ohne daß diese Quellen versiegen würden.

Vergleichsweise hohe Grundwasserneubildungswerte weisen neben den behandelten Teilgebieten die Flächen IV-J und IV-H auf. Die anthropogene Beeinflussung ist jedoch in beiden Gebieten höher als in Rhön und Südrhön; weiterhin befindet sich hier bereits eine große Anzahl von Trinkwassererschließungen, so daß kaum eine nennenswerte Steigerung des erschließbaren Grundwassers zu erwarten wäre.

Generell kann davon ausgegangen werden, daß im Bilanzraum "Sinn-Saale-Gebiet" neben den hier einzeln aufgeführten Flächen, in Ergänzung zu bestehenden Anlagen, Erschließungen von örtlicher Bedeutung möglich sind. Dabei dürften die Ergiebigkeiten, in Abhängigkeit von der Wasserwegsamkeit des Gesteins, in der Regel unter 15 l/s betragen.

Im Buntsandstein wird generell die Erschließung mit Hilfe von Horizontalfilterbrunnen empfohlen, um das Erschließungsrisiko zu verringern.

7.6 Bilanzraum V: "Spessart"

7.6.1 Grundwasseroberfläche und Vorflut

7.6.1.1 Oberirdischer Abfluß

Der Hauptvorfluter des Bilanzraumes ist der Main; er umfließt den Spessart im Osten, Süden und Westen (Mainviereck) in einem zumeist engen Tal. Dieses weitet sich nördlich von Obernburg trichterförmig. Das Gefälle des Maintals beträgt im Bilanzraum "Spessart" zwischen 0,05 und 0,1 %.

Der Bilanzraum gliedert sich in die naturräumlichen Teilbereiche Spessart, die nördlichen Ausläufer des Odenwaldes, das Rhein-Main-Tiefland und die westlichen Teile der Mainfränkischen Platten. Der Oberflächenabfluß aus dem Spessart ist in der Regel über Bäche und kleine Flüsse, mit kleinräumigen Einzugsgebieten und steilen Tälern, auf den Main gerichtet. Auf dem morphologischen Scheitel des Spessarts ist eine markante N-S-verlaufende Wasserscheide (2. Unterteilung) ausgebildet. Westlich von ihr fließen alle Gewässer nach Westen bzw. Nordwesten (z. B. Elsava, Aschaff und Kahl), östlich davon nach Osten bis Südosten (z.B. Lohr, Hafenlohr, Rechtenbach und Haslochbach).

Aschaff und Kahl entwässern im Gegensatz zu den restlichen Spessartflüssen ein überwiegend nicht aus sedimentären, sondern aus kristallinen Gesteinen aufgebautes Einzugsgebiet. Diese lithologischen Unterschiede spiegeln sich im Gefällsverhalten der Gewässer wider. Während die Buntsandstein-Bäche steile Ober- und Mittelläufe aufweisen, verflachen Aschaff und Kahl bereits im Mittellauf (vergleiche hierzu: Kap. 2.2 und Tab. 5).

Der im Bilanzraum liegende Teil des nördlichen Odenwaldes deckt sich größtenteils mit dem Einzugsgebiet der Mud, die dem Main nach Norden hin zufließt. Ihr Gefällsverhalten ist vergleichbar dem der Bäche, die den Buntsandstein-Spessart entwässern.

Aus den westlichen Teilen der Mainfränkischen Platten, die zum Bilanzraum gehören und östlich, vor dem Spessart liegen, erhält der Main nur wenige Zuflüsse (z. B. Krebsbach, Karbach, Aalbach). Mit Ausnahme des Aalbachs legen diese nur kurze Fließstrecken zurück und führen nur wenig Wasser.

Im Aschaffenburger Becken fehlt, mit Ausnahme des Mains, eine ausgeprägte oberirdische Entwässerung. Lediglich aus dem Raum Großostheim — Pflaumheim fließt ein kleineres Gewässer (Pflaumbach — Alter Graben — Welzbach) zum Hauptvorfluter. Sein Ober- und Mittellauf liegt jedoch überwiegend im Buntsandstein des nördlichen Odenwaldes. Im äußersten Nordwesten quert die Gersprenz, deren Einzugsgebiet westlich bzw. südwestlich dieses Bilanzraumes liegt, das Rhein-Main-Tiefland und mündet bei Stockstadt in den Main.

7.6.1.2 Unterirdischer Abfluß

Der unterirdische Abfluß ist im Spessart auf die Seitentäler, in der Nähe des Mains direkt auf diesen gerichtet. Die Grundwasseroberfläche des obersten Grundwasserleiters weist ein ausgeprägtes Relief auf, bedingt durch die geringen Durchlässigkeiten sowie durch kleinräumigen, raschen Wechsel der Geländeoberfläche, die sich ihrerseits am Talnetz orientiert. Weiterhin läßt sich eine Grundwasser-Hauptschwelle erkennen, die sich in ihrer Lage annähernd mit der oberirdischen Hauptwasserscheide des Spessarts deckt, jedoch weniger deutlich ausgeprägt ist.

Für den nördlichen Odenwald können, trotz fehlender gesicherter Erkenntnisse, ähnliche Verhältnisse angenommen werden. Hier wird der Hauptgrundwasserleiter ebenfalls aus Buntsandstein aufgebaut, die Morphologie, vor allem die Form des Talnetzes entspricht der des Buntsandstein-Spessarts. Es dürfte daher ein Potentialgefälle zu Mud und Erf sowie zu deren Zuflüssen bestehen. Auch für den Buntsandstein-Ausstrich östlich des Mainvierecks werden ähnliche Verhältnisse vermutet. Im Nahbereich des Hauptvorfluters ist dabei ein direktes Zuströmen auf diesen wahrscheinlich.

In den westlichen Mainfränkischen Platten stellt der Muschelkalk den oberen Hauptgrundwasserleiter dar; aufgrund der anders gearteten Lithologie, insbesondere wegen der besseren Durchlässigkeit herrschen hier andere Verhältnisse als im Buntsandstein-Ausstrich: Die Grundwasseroberfläche ist weniger stark reliefiert und das Grundwassergefälle ist flacher.

Dennoch können mehrere Einzugsbereiche, die durch Schwellen voneinander getrennt sind, unterschieden werden. So fließt das Grundwasser im Süden des beobachteten Teilgebietes der Tauber bzw. dem Welzbach, einem ihrer Nebenflüsse, zu. Nördlich des Tauber-Einzugsgebietes ist eine Grundwasserschwelle ausgebildet. Zwischen ihr und der nördlichen Begrenzung des Einzugsgebietes des Karbaches ist das Potentialgefälle auf die größeren Mainzuflüsse (v. a. Aalbach und Karbach) gerichtet. Der Abfluß des Grundwassers vollzieht sich hier, großräumig betrachtet, über die Vorfluter nach Westen, also zum Ostrand des Mainvierecks. Nördlich bzw. östlich dieses Gebietes strömt das Grundwasser nach Südosten bzw. Osten zum Westrand des Mainsdreiecks.

Die Neigung der Grundwasseroberfläche schwankt im Ausstrich des Buntsandsteins zwischen 1,0 und 1,5 %, meist jedoch zwischen 2,5 und 3,5 %. Deutlich geringere Gefälle sind, wegen der besseren Durchlässigkeiten, im Muschelkalk anzutreffen. Zwar werden auch hier Neigungen von bis zu 5,0 % erreicht, doch variieren die Mittelwerte nur um etwa 0,9 %; die Minimalwerte liegen bei etwa 0,5 %.

Sämtliche in diesem Abschnitt dargestellten Sachverhalte wurden der "Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500.000" (LfW, 1985) entnommen. In dieser Karte sind die geologischen Haupteinheiten (Buntsandstein, Muschelkalk) jeweils vereinfacht zu einem Grundwasserleiter mit der zugehörigen Grundwasseroberfläche zusammengefaßt. Dadurch wird ein in Teilabschnitten kompliziertes Bild, wie es sich in der Wirklichkeit z.B. aus einem kleinräumigen Wechsel von Richtung und Betrag des Grundwassergefälles ergibt, generalisiert.

7.6.2 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildungsraten sind im Bilanzraum V "Spessart" in ihrer Gesamtheit relativ hoch. Sie schwanken im Hochspessart sowie in dessen westlichem Vorland zwischen 4 und 6,4 l/(s*km²) und liegen im südlichen und östlichen Maintalbereich sowie auf den Mainfränkischen Platten bei 2,8–3,6 l/(s*km²).

Die hohen Grundwasserneubildungsraten im Hochspessart sowie in dessen westlichem Vorland sind auf ein starkes Niederschlagsaufkommen (700–1000 mm/a) bei gleichzeitig guten Versickerungsbedingungen zurückzuführen. Beachtlich ist hierbei, daß die Teilflächen, die weitgehend aus paläozoischen Gesteinen aufgebaut sind (V-A, V-B), ebenfalls relativ hohe Grundwasserneubildungsraten aufweisen (zwischen 4 und 4,8 l/(s*km²)). Hierzu tragen mächtige, speicherfähige Verwitterungs- und Schuttdecken entscheidend bei.

Für das weitflächig ausstreichende Maintalquartär im Aschaffener Becken bzw. in der Seligenstädter Senke liegen keine Vergleichswerte vor. Daher wurde das Maintalquartär zunächst in die Teilgebiete V-A, V-B und V-C miteinbezogen. Flächenmäßig nimmt es jeweils etwa 25 % der Teilgebiete V-A und V-B sowie etwa 5 % des Teilgebietes V-C ein.

Mit Hilfe des mittleren Jahresniederschlags und der mittleren jährlichen Verdunstung wurde für diesen Raum die Grundwasserneubildung ermittelt; dabei wurde in der Maintalebene ein oberirdischer Abfluß weitestgehend ausgeschlossen. Die Grundwasserneubildung beträgt nach KERN (1954) ca. 250 mm/a bzw. $7,9 \text{ l/(s}\cdot\text{km}^2)$. Dies bedeutet, daß die Grundwasserneubildungsraten im Maintalquartär ca. 80 % höher liegen als in den Restflächen der Teilgebiete V-A, V-B und V-C.

Mit Ausnahme des Aschaffener Beckens schwankt die Breite des grundwassererfüllten Maintalquartärs im allgemeinen zwischen weniger als 200 und ca. 1000 m. Dabei ist das Maintal zwischen Gemünden und Würth a. M. fast ausschließlich eng ausgeformt. Somit ist das Maintalquartär dort in der Regel für die Grundwassererschließung von nur untergeordneter Bedeutung. Die Niederschlags- und Verdunstungswerte (KERN, 1954) sind im Maintalbereich zwischen Aschaffenburg und Gemünden einheitlich, deshalb kann für diesen Talabschnitt von einer Grundwasserneubildungsrate von ca. $8 \text{ l/(s}\cdot\text{km}^2)$ ausgegangen werden, die sich von der des Aschaffener Beckens nicht unterscheidet. Dieser Wert ist bedeutend höher, als die in den Teilgebieten V-D und V-C gewonnenen Größen. Da jedoch das Maintalquartär sich in diesen Teilgebieten flächenmäßig verschwindend klein ausnimmt, kann es hinsichtlich der gebietsbezogenen Grundwasserneubildung vernachlässigt werden.

Im Bereich der Süd- und Ostseite des Mainvierecks sowie im südlichen Odenwald-Anteil schwanken die Werte um $3,5 \text{ l/(s}\cdot\text{km}^2)$ (V-D). Die niedrigeren Beträge sind im Vergleich zu den o. a. Teilgebieten auf das hier geringere mittlere jährliche Niederschlagsaufkommen zurückzuführen, obwohl die geologischen Verhältnisse nicht wesentlich unterschiedlich sind. Die mittleren Jahresniederschläge betragen hier nur etwa 800 mm.

Das Wertepaar für das Teilgebiet V-G wurde von der Restfläche der Pegelgebiete "Wern/Sachsenheim" und "Wern/Arnstein" abgeleitet, da aus dem Teilgebiet selbst keine verwendbaren Daten vorlagen. Das Teilgebiet V-G gehört morphologisch, klimatisch und geologisch betrachtet nicht zum Spessart, sondern zu den Mainfränkischen Platten. In der zum Vergleich herangezogenen Restfläche herrschen etwa die gleichen geologischen und klimatischen Voraussetzungen. Die Grundwasserneubildungsrate beträgt dort knapp $3 \text{ l/(s}\cdot\text{km}^2)$ ($2,8$ bzw. $2,9 \text{ l/(s}\cdot\text{km}^2)$). Diese Rate entspricht tendenziell den Teilgebietswerten im Bilanzraum III "Mittelmain", ist jedoch, verglichen mit Bilanzraum III, etwas erhöht, was wohl auf die dort merklich höheren Niederschlagssummen (im Mittel 700 mm/a) zurückzuführen sein dürfte.

7.6.3 Wasserversorgung und Wassererschließung

Nach der Art der Grundwasserleiter (Poren- oder Klüftgesteine) können im Bilanzraum "Spessart" zwei Gewinnungsgruppen unterschieden werden. Dabei handelt es sich einerseits um Erschließungen von Grundwasser in den Sanden und Kiesen des Aschaffener Beckens bzw. der Seligenstädter Senke, andererseits um Brunnen und Quellen, die ihr Wasser aus dem Buntsandstein beziehen.

Ein Schwerpunkt der Wassergewinnung und der Wassernutzung liegt im Aschaffener Raum. Zahlreiche Brunnen erschließen hier pleistozäne und tertiäre Lockersedimente. Brunnengalerien stehen bei Alzenau, Kahl, Hörstein, Dettingen, Kleinostheim, Aschaffenburg und Großostheim; sie fördern insgesamt ca. 10–15 Mio. m^3/a .

Aufgrund der günstigen Grundwasserneubildungsraten und der relativ großen Grundwassermächtigkeiten besitzt der Aschaffener Raum für die Grundwassergewinnung regionale Bedeutung. Andererseits ist gerade dieses Gebiet dicht besiedelt und z. T. intensiv landwirtschaftlich genutzt. Dies hat wegen der meist nur geringen Überdeckung dazu geführt, daß in einigen Brunnen die Wässer deutliche Zeichen einer anthropogenen Beeinflussung aufweisen. So schwanken hier die Nitratgehalte im allgemeinen zwischen <25 und 90 mg/l , z. T. werden erhöhte Chloridgehalte zwischen 25 und 100 mg/l beobachtet.

Im Rahmen des Programmes "Grundwassererkundung in Bayern" (OBB, 1974) wurde bei Großwallstadt (Erkundungsgebiet 1.08) ein wichtiges Grundwasservorkommen entdeckt, das bislang noch nicht genutzt wird. Hier kann Wasser aus der Schichtenfolge Quartär, Tertiär und Buntsandstein erschlossen werden.

Aus den beiden ca. 100 m tiefen Versuchsbohrungen wurden in Einzelpumpversuchen (von max. 40 Stunden Dauer) 53 bzw. 55 l/s gefördert. Dabei stellte sich heraus, daß der eine Brunnen die überwiegende Wassermenge aus dem Buntsandstein, der andere aus dem Quartär bzw. Tertiär bezog

(LfW, 1976 b, c). Das LfW prognostizierte mit Hilfe der Pumpversuchsergebnisse aus mehreren Neubohrungen eine Fördermenge von 260 l/s. Wenn man, wegen der kurzen Dauer der Pumpversuche, diesen Wert reduziert und wenn man weiter berücksichtigt, daß sich zahlreiche Brunnen auf engem Raum (wie dies vom LfW zur Erschließung vorgeschlagen wurde) gegenseitig beeinflussen dürften, so erscheint dem GLA immerhin noch eine Gesamtfördermenge von ca. 100–150 l/s als realistisch. Falls dabei große Anteile aus den quartären und tertiären Lockersedimenten gefördert würden, sollte man durch eine geeignete Trinkwasserschutzvorsorge dieses Wasser vor anthropogenem Eintrag zu schützen suchen.

Im Gegensatz zum Aschaffenburg-Seligenstädter Becken spielt das Maintalquartär zwischen Wörth a. M. und Gemünden für die Wassergewinnung des Bilanzraumes "Spessart" eine nur untergeordnete Rolle.

Außerhalb des Maintals stützt sich die Wassererschließung auf die grundwasserführenden Schichten des Buntsandsteins. Erwähnenswert sind dabei v. a. Quellfassungen am Westrand des Hochspessarts, die in der Mehrzahl eine mittlere Ergiebigkeit von jeweils <0,1 bzw. 0,1–0,5 Mio. m³/a aufweisen. Sie decken meist den örtlichen Bedarf, finden gelegentlich allerdings auch für regionale Versorgungen Verwendung, so z. B. Quellen bei Waldaschaff, Hain und Sailauf, die den östlichen Siedlungsraum "Aschaffenburg" mitversorgen. Aus solchen Quellfassungen gewinnt beispielsweise der Zweckverband Aschaffaltgemeinden jährlich insgesamt ca. 1,5 Mio. m³ Trinkwasser.

Im Maintal wurde in den letzten Jahren verstärkt die Wassererschließung auf das dem Hauptvorfluter Main direkt zuströmende Buntsandsteinwasser ausgerichtet. Brunnengalerien von regionaler Bedeutung finden sich z. B. bei Lohr sowie zwischen Lohr und Marktheidenfeld; die jährliche Ergiebigkeit dieser Fassungen beträgt ca. 5–6 Mio. m³. Ebenfalls im Maintalbereich konnten durch Neuerschließungen bzw. Erkundungsvorhaben Vorkommen von meist regionaler Bedeutung festgestellt werden. Dies sind im einzelnen Grundwasservorkommen:

- südlich von Breitenbrunn (Erkundungsgebiet 1.09), mit einer prognostizierten Fördermenge von ca. 50 l/s (ermittelt aus Einzelpumpversuchen – LfW, 1984). Das GLA hält hier Fördermengen zwischen 30 und 40 l/s für realistischer.
- östlich von Bürgstadt, mit einer prognostizierten Spitzenleistung von 100 l/s (ermittelt aus einem Pumpversuch mit gleichzeitiger Förderung aus allen Brunnen – IGI, 1987 a).
- südlich von Röllfeld (Erkundungsgebiet 1.02) mit einer prognostizierten Spitzenleistung von 100 l/s (ermittelt aus Einzelpumpversuchen – LfW, 1975 d). Das GLA hält eine 12stündige Dauerförderung von 50–70 l/s für möglich.

Neben den bereits erkundeten und z. Zt. nur teilweise zur Wasserversorgung genutzten Gebieten schlägt das GLA im Bilanzraum V "Spessart" eine Reihe potentieller Erschließungsgebiete vor. Diese liegen ausschließlich im Ausstrich des Buntsandsteins, v. a. beiderseits des Spessart-Hauptkamms. Die hohen Grundwasserneubildungsraten sowie die derzeitige geringe Beanspruchung dieses Grundwasserleiters lassen hier noch nutzbare Grundwassermengen vermuten.

Um das aus dem Buntsandstein bekannte Erschließungsrisiko, das sich ausschließlich auf die Anlage von Vertikalbrunnen bezieht, zu umgehen, wird vorgeschlagen, das Buntsandsteinwasser mit entsprechend groß dimensionierten Horizontalbrunnen zu erschließen. Diese Brunnen müßten dann von den Talflanken z. B. des Hafenlohr- und Lohrtales in den Berg vorgetrieben und/oder an der Basis des Hauptgrundwasserleiters angesetzt werden.

Messungen des Niedrigwasserabflusses in den Jahren 1962 (KALWEIT, 1963) und 1975 (MATTHES & MURAWSKI, 1978) erbrachten für große Abschnitte von Lohr und Hafenlohr, aber auch auf Fließstrecken der im Teilgebiet V-D gelegenen Bäche sehr niedrige Abflußspenden bzw. Abflußrückgänge, obwohl dort aufgrund der Berechnungen nach den Verfahren von KILLE & ROTHASCHER bedeutend höhere Grundwasserneubildungsraten zu erwarten sind. Dies weist auf ein unterirdisches Abströmen zum Hauptvorfluter Main hin.

Zur Sicherung des künftigen Grundwasserbedarfs wird empfohlen, Horizontalfilterbrunnen im Abstrom der lokalisierten Aussickerungsstrecken anzulegen, um eventuelle ökologische Beeinträchtigungen der entsprechenden Ober- und Mittelläufe so gering wie möglich zu halten.

In folgenden Bereichen des Bilanzraums "Spessart" könnten, in der Weise wie bereits beschrieben, Horizontalfilterbrunnen angesetzt werden:

- in der Ostflanke des Elsava-Tales südlich der Ortschaft Heimbuchenthal;
- in der Nord- und Südflanke des Laufach-Tales, ausgehend vom Niveau der Bröckelschiefer-Basis;
- in der Westflanke des Haslochbach-Tales nordwestlich der Ortschaft Schollbrunn;
- mehrere Brunnen in den Flanken des Hafenlohr-Tales (v. a. im Unterlauf) und des Heinrichsbach-Tales;
- in beiden Flanken des Rechtenbachtals westlich und südöstlich der Ortschaft Rechtenbach;
- in den beiden Flanken des Lohr-Tales zwischen den Ortschaften Partenstein und Lohr a. M.;
- in den Flanken des Aubach-Tales kurz vor der Einmündung des Lohrbach-Tales;
- in der nördlichen und südlichen Flanke des Lohrbach-Tales zwischen den Ortschaften Heigenbrücken und Neuhütten.

Geogen bedingt sind die Buntsandsteinwässer meist schwach mineralisiert. Im Normalfall weisen sie niedrige Sulfat- und Chloridgehalte auf. Nur gelegentlich können die Chloridgehalte durch aufsteigende mineralstoffreiche Tiefenwässer so stark anwachsen, daß ein derartiges Wasser nicht mehr als Trinkwasser verwendet werden kann. Entlang der Bundesautobahn Aschaffenburg — Würzburg werden in Quellwässern erhöhte Chloridgehalte gemessen, die auf die Salzstreuung im Winterhalbjahr zurückzuführen sind. Die hier erreichte Konzentration führt in der Regel nicht zu einer Qualitätseinschränkung im Sinne der Trinkwasserverordnung. Große Teile des Bilanzraums sind waldbestanden und nur forstwirtschaftlich genutzt. Daher liegen die Nitratgehalte meist unter 25 mg/l. Lediglich im Maintalbereich sowie im Raum Miltenberg — Amorbach schwanken sie zwischen <25 und 90 mg/l; lokal wird dieser Wert sogar überschritten. Die teilweise hohen Nitratgehalte in den Räumen Aschaffenburg — Miltenberg — Amorbach und Marktheidenfeld — Wertheim stellen bereichsweise die Verwendbarkeit des hier gewinnbaren Grundwassers als Trinkwasser in Frage. Als Ursache ist die verstärkte landwirtschaftliche Nutzung anzusehen.

Wie bereits im Abschnitt 7.6.2 "Grundwasserneubildung" dargelegt, weisen die Teilgebiete V-A und V-B, in denen vorwiegend kristalline Gesteine anstehen, relativ hohe Grundwasserneubildungsraten auf. Daher müßten auch hier in hydrogeologisch günstigen Lagen (z. B. bei Ausbildung mächtiger Schutt- und Verwitterungsdecken) größere Mengen an Grundwasser erschließbar sein. Bislang werden zahlreiche Quellen (v. a. im Teilgebiet V-A) wasserwirtschaftlich genutzt. Einschränkend muß allerdings festgestellt werden, daß der kristalline Vorspessart weitflächig landwirtschaftlich genutzt wird, was zwangsläufig zu qualitativen Einschränkungen in der Verwendbarkeit des hier gewinnbaren Wassers führt.

Das Teilgebiet V-G weist mit Grundwasserneubildungsraten unter $3 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ die niedrigsten Werte im Bilanzraum "Spessart" auf. Zugleich liegen diese Werte jedoch leicht über dem Mittelwert des im Osten angrenzenden Bilanzraums. Das Teilgebiet wird bereits von einer Reihe kleinerer Versorgungsanlagen erschlossen. Darüber hinaus dürfte ein Teil des Grundwassers, das in den Gewinnungsanlagen Zellingen und Würzburg (Zeller Bock) gefördert wird, im Teilgebiet V-G neugebildet worden sein. Daraus wird ersichtlich, daß neben örtlichen Ergänzungen hier keine größeren Neuerschließungen möglich sein dürften. Weiterhin sollte erwähnt werden, daß das Teilgebiet V-G weitgehend landwirtschaftlich genutzt wird, und die hier ausstreichenden Schichten des Muschelkalks eine gute Durchlässigkeit aufweisen, so daß sich anthropogene Einflüsse schnell bemerkbar machen. So schwanken die Nitratgehalte im allgemeinen zwischen <25 und 90 mg/l.

8 Mineral- und Thermalwässer

8.1 Mineralwässer

Definitionsgemäß sind all diejenigen Wässer als Mineralwässer zu bezeichnen, die in 1 Kilogramm Wasser mindestens 1000 Milligramm gelöste feste Mineralstoffe oder 250 Milligramm freies gelöstes Kohlendioxid enthalten. Hierzu gehören im Maingebiet Chloridwässer, Hydrogenkarbonatwässer sowie Chlorid-, Sulfat- und Hydrogenkarbonat-betonte Wässer mit hohen Gehalten an freier gelöster Kohlensäure sowie deren Mischwässer (vgl. Abb. 53 und Tab. 16 a-c).

In Tab. 16 a-c sind in der Spalte "Charakteristika" die wichtigsten Ionen, jeweils getrennt nach Anionen und Kationen, in Millival-Prozent angegeben, um eine Typisierung der Wässer zu erleichtern. Tab. 16 a-c und Abb. 53 wurden v. a. mit Hilfe der Arbeiten von QUENTIN (1970), FRANK (1973), GEORGOTAS & UDLUFT (1978 b) und GUDDEN (1981, 1983) erstellt. Auf diese Basis stützt sich auch der kurz gehaltene Textteil, zumal die Mineral- und Thermalwässer den Themenkreis der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung nur berühren.

Einige der aufgeführten Vorkommen werden inzwischen nicht mehr genutzt. Entsprechende Mineralwasserbrunnen sind teilweise aus Rentabilitätsgründen verfüllt worden. Bei der Beurteilung dieser Vorkommen wurde auf Veröffentlichungen und Archivdaten zurückgegriffen. Die Lage der ehemaligen Brunnen kann als Anhaltspunkt für den hier erschließbaren Mineralwassertyp dienen.

Die Eignung eines Mineralwassers als "Heilwasser" muß erst durch ein balneologisches Gutachten festgestellt werden.

Im folgenden werden die "reinen" Calcium-Sulfat-Wässer im Ausstrich des Mittleren Muschelkalks und des Gipskeupers nicht berücksichtigt. Sie sind dort als oberflächennahe Grundwässer stark verbreitet (vgl. Kap. 5 Hydrogeochemische Beurteilung der Grundwässer nach Grundwasserleitern), ihre Erschließung wäre meist nicht zu rechtfertigen. Eine Berücksichtigung dieser Wässer in Abb. 53 und Tab. 16 a-c würde das Datenmaterial stark vergrößern und dadurch verkomplizieren, ohne daß die wesentliche Aussagekraft erhöht würde.

Abb. 53 läßt eine Häufung chloridbetonter Mineralwässer im Raum Bad Neustadt — Bad Kissingen, Wässer mit einer starken Sulfat-Vormacht im Maintal, im Raum Bad Königshofen und Rodach, schließlich hydrogenkarbonatbetonte Wässer v. a. um Bad Brückenau erkennen. Besonders in der Rhön und der Südrhön werden erhöhte Gehalte an freier gelöster Kohlensäure festgestellt.

Während die freie gelöste Kohlensäure, z. T. aber auch erhöhte Hydrogenkarbonatgehalte mit dem tertiären Vulkanismus in kausale Beziehung gebracht werden können, sind die Chlorid- und Sulfatgehalte auf Aus- bzw. Ablaugungsvorgänge sedimentärer Abfolgen zurückzuführen. So treten im Zechstein und im Mittleren Muschelkalk geschlossene Salzlager von mehreren 10er Metern Mächtigkeit auf. Die Verbreitung des Werra-Salzes im Zechstein sowie des Steinsalzes im Mittleren Muschelkalk ist ebenfalls Abb. 53 zu entnehmen. Diffus verteiltes Steinsalz kann lokal im Oberen Buntsandstein (Rötfolge) und im Mittleren Keuper beobachtet werden. Gips und Anhydrit, also das Ausgangsgestein sulfatreicher Mineralwässer, sind im Maingebiet stärker vertreten als das Steinsalz. Mächtige, zusammenhängende Sulfatgesteinsvorkommen sind im Zechstein, im Mittleren Muschelkalk und im Gipskeuper ausgebildet. Gips kann in Form von Lagen, Linsen, Knollen, Kluft- und Hohraumfüllungen oder als Bindemittel von Sandsteinen im Buntsandstein (v. a. im Oberen Buntsandstein), im Unteren Muschelkalk und im gesamten Keuper angetroffen werden.

Die weite Verbreitung von Gips, Anhydrit und Salz führt dazu, daß in den überwiegenden Teilen des Planungsraumes mindestens ein Salzwasserhorizont ausgebildet ist. Insgesamt darf davon ausgegangen werden, daß in größeren Tiefen, falls die Gebirgsdurchlässigkeiten die Ausbildung eines Grundwasserkörpers mit ausreichender Ergiebigkeit gestatten, fast überall Mineralwasser erschlossen werden kann (FRANK, 1973).

Abb. 53 zeigt chloridreiche Wässer, die sowohl Bereichen mit Steinsalzlager in der Schichtenfolge entstammen, als auch aus primär salzfreien Gebieten gewonnen werden können. Zur zweiten Gruppe zählen beispielsweise die Wässer von Harrbach, Hofstetten, Großostheim, Bad Sodenenthal, Mürsbach und Staffelstein.

FRANK (1973) verweist auf zwei unterschiedliche Entstehungsmöglichkeiten solcher Wässer aus salzfreien Gesteinseinheiten. Einerseits könnte es sich um salzige Porenwässer der entsprechenden Gesteine im Sinne von Restsalinar handeln, die bereits bei der Ablagerung entstanden sind. Andererseits könnten diese Wässer auch auf Klüften bzw. über Porenräume in das mineralwasserführende Schichtpaket eingewandert sein.

Als "Heilwässer" werden, unabhängig vom Gesamtgehalt an gelösten Mineralstoffen, Wässer bezeichnet, die besonders wirksame Bestandteile enthalten.

Im Planungsgebiet gehören zu dieser Gruppe (mit Einschränkungen) die Quellen in Haßfurt, Worfurt, Wülfingen, Untereuerheim, Sennfeld und Wipfeld. Diese Calcium-Sulfat-betonten Wässer führen zumindest zeitweise geringe Mengen an Schwefelwasserstoff bzw. Hydrogensulfid. Der Mindestgehalt, der hier erreicht werden muß, beträgt 1 mg/l titrierbarer Schwefel.

Als radonhaltiges Wasser kann die Tempelquelle in Bad Steben (wenige Kilometer östlich der Planungsgebietsgrenze) bezeichnet werden. Sie weist mit 74–140 M.E. eine erhöhte Strahlung auf; der geforderte Mindestwert beträgt 50 M.E..

8.2 Thermalwässer

Wässer mit einer Austrittstemperatur von ≥ 20 °C werden als Thermalwässer bezeichnet. Thermalwasser wird im Planungsgebiet in Bad Kissingen, Rodach und Staffelstein erschlossen. Daneben wurde bei Tiefbohrungen im Raum Mürsbach Thermalwasser angetroffen. Die Austrittstemperaturen der genutzten Wässer schwanken zwischen 21 und 50 °C (vgl. Tab. 16 c). Das Gebiet, in dem Thermalwässer mit über 30 °C durch Tiefbohrungen innerhalb des Planungsraumes erschlossen werden können, wurde nach FRANK (1973) und GUDDEN (1983) in Abb. 53 umgrenzt. Als Mindesttiefe, in der solche Wässer zu erwarten sind, gibt GUDDEN (1983) für Nordbayern 500–600 m an. Als potentielle Grundwasserleiter kommen dabei Sandsteine und Karbonatgesteine der Trias in Betracht. Allerdings weisen diese Schichten in derartigen Tiefen im allgemeinen meist nur geringe Ergiebigkeiten auf.

Die Thermalwässer sind in der Regel stark mineralisiert; die hydrochemische Typisierung der im Planungsraum auftretenden Thermalwässer ist Abb. 53 und Tab. 16 c zu entnehmen. Wegen der hohen Mineralisation und dem großen Erschließungsrisiko sollte die Erschließung von Thermalwässern im Planungsgebiet balneologischen Zwecken vorbehalten bleiben (vgl. GUDDEN, 1983).

9 Zusammenfassung

Der Bilanzraum I gliedert sich, in mehrfacher Hinsicht, in zwei unterschiedliche Teilbereiche: das niederschlagsreiche Thüringisch-Fränkische Mittelgebirge, das von präkambrischen und paläozoischen, teils kristallinen Gesteinen aufgebaut wird, und das im Südwesten anschließende Bruchschollenland. Letzteres zeigt ein für das Planungsgebiet durchschnittliches Niederschlagsaufkommen und wird überwiegend aus triassischen und jurassischen Sedimentgesteinsfolgen aufgebaut. Das Thüringisch-Fränkische Mittelgebirge birgt, trotz der hohen Niederschläge, in der Regel keine größeren Grundwasservorkommen, da die dort anstehenden Gesteine zumeist nur ein geringes Grundwasser-Speichervermögen besitzen. Die im Bruchschollenland gewinnbaren, z. T. beträchtlichen Wassermengen sind von lokaler bis regionaler Bedeutung.

Im Bilanzraum II "Coburger Land" streichen überwiegend der Sandsteinkeuper sowie die Rhät-Lias-Übergangsschichten aus. Im Südosten stehen Gesteine des Mittleren und Oberen Juras an; diese Gebiete gehören in naturräumlicher Hinsicht eigentlich zur Nördlichen Frankenalb. Faziell bedingt weist der Sandsteinkeuper im "Coburger Land" nur geringe Grundwasserhöflichkeit auf. Bedeutendere Grundwasservorkommen finden sich demgegenüber in den Teilbereichen der Nördlichen Frankenalb, die südöstlich des Mains anschließen. Besondere Bedeutung ist hierbei dem Tiefen Karst im Nordteil der tektonischen Hollfelder Mulde beizumessen, wo im Kleinziegenfelder Tal zahlreiche kräftige Quellen entspringen. Allerdings ist der Karstgesteinskörper in diesem Gebiet weitgehend unbedeckt und anthropogenen Einflüssen besonders stark ausgesetzt.

Der Bilanzraum III "Mittelmain" ist im Vergleich zu den benachbarten Bilanzräumen relativ dicht besiedelt. Dem dort vorhandenen großen Bedarf an Trinkwasser stehen ein sehr geringes Niederschlagsaufkommen ("Fränkische Trockenplatte"), ein niedriges Speichervermögen der weitflächig ausstreichenden Keupergesteine sowie nur bedingte Nutzbarkeit und Schützbarkeit des zur Verfügung stehenden Grundwassers gegenüber. So ist z. B. das Wasser aus dem Gipskeuper wegen extrem hoher Sulfatgehalte für die Nutzung als Trinkwasser ungeeignet. Ähnliches gilt häufig für die Wässer aus dem Mittleren Muschelkalk. Zusätzlich wird das Grundwasser im Bilanzraum III durch intensive landwirtschaftliche Nutzung (auch Sonderkulturen) qualitativ beeinträchtigt. Dieser Bilanzraum muß daher als Grundwassermangelgebiet bezeichnet werden. Beileitung von Trinkwasser aus anderen Gebieten erscheint als unabdingbar, wenn der entwicklungsbedingte Trinkwasserbedarf in diesem Raum weiter ansteigen sollte.

Im "Sinn-Saale-Gebiet", dem Bilanzraum IV, wechseln Bereiche mit relativ geringem Niederschlagsaufkommen, wie das Grabfeld, mit solchen, die sehr hohe Niederschläge aufweisen, wie die Rhön. Zugleich streichen im Grabfeld weitflächig Gesteine des Keupers aus, die wegen ihrer geringen Durchlässigkeiten niedrige Grundwasserneubildungsraten aufweisen und deshalb für die Erschließung von Trinkwasser nur bedingt geeignet sind. Im Ausstrich von Buntsandstein und Muschelkalk bestehen demgegenüber bessere Voraussetzungen für die Grundwasserneubildung und -erschließung. Regionale Bedeutung kommt dabei den tektonischen Mulden- und Grabenzonen (nordöstlicher Teil der Grabfeldmulde und Münnerstädter Graben) sowie den Störungszonen zu, da dort das Kluftvolumen der Gesteine und damit die Wasserwegsamkeiten erheblich erhöht sind. Außerdem vermehrt die im Muschelkalk mehr oder weniger stark ausgeprägte Verkarstung die Speicherkapazität des Grundwasserleiters. Einschränkungen sind v. a. bei Wässern aus dem Mittleren Muschelkalk zu erwarten, wo hohe, geogen bedingte Sulfatgehalte festzustellen sind. Darüber hinaus können in den Verwerfungszonen aufsteigende chloridreiche Zechsteinwässer die Trinkwasserqualität nachteilig beeinflussen.

Der Bilanzraum V "Spessart" setzt sich aus verschiedenen geologisch-geomorphologischen Teilgebieten zusammen: dem Rhein-Main-Tiefland, dem kristallinen Vorspessart, dem Buntsandstein-Spessart und dem Ostteil der Mainfränkischen Platten. Dabei kann der kristalline Vorspessart weitgehend als Grundwassermangelgebiet bezeichnet werden. Regionale wasserwirtschaftliche Bedeutung für den Wirtschaftsraum Aschaffenburg besitzen die Grundwasservorkommen in den Sanden und Kiesen des Aschaffener Beckens und der Großostheimer Senke. Durch intensive landwirtschaftliche Nutzung dieses Raumes pausen sich Oberflächeneinflüsse allerdings deutlich auf dieses Porengrundwasser durch und schränken damit seine Verwendbarkeit ein. Demgegenüber sind die Grundwasservorräte im Buntsandstein-Spessart als überregional bedeutsam einzustufen. Hohe Jahresniederschläge, durchlässige Deckschichten und geklüfteter Buntsandstein ermöglichen ein relativ hohes Grundwasserdargebot. Gleichzeitig ist dieses Gebiet ziemlich schwach besiedelt und überwiegend forstwirtschaftlich genutzt, so daß qualitätsmindernde Einflüsse weitgehend ausgeschlossen sind.

10 Literaturverzeichnis

- ANDRES, G. (1967): Hydrogeologische Verhältnisse der Untermainebene.— In: OKRUSCH, M., STREIT, R. & WEINELT, Wl.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5920 Alzenau i. Ufr.: 224–242; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- ANDRES, G. & MATTHESS, G. (1971): Hydrogeologie.— In STREIT, R. & WEINELT, Wl.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6020 Aschaffenburg: 217–230; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- ANTONIADIS, P., FYTROLAKIS, N., HEGENBERGER, W. & STRASSNER-MUNK, C. (1972): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6032 Scheßlitz.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 204 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- APEL, R. (1972 a): Hydrogeologie.— In: ANTONIADIS, P., FYTROLAKIS, N., HEGENBERGER, W. & STRASSNER-MUNK, C.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6032 Scheßlitz: 109–132; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1972 b): Hydrogeologie.— In: MEYER, R. K. F., VIOHL, G. & ZORN, H.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5933 Weismain: 87–107; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1972 c): Hydrogeologie.— In: WITTMANN, O.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6022 Rothenbuch: 77–88; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1978): Hydrogeologische Verhältnisse.— In: CRAMER, P. & WEINELT, Wl.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5922 Frammersbach: 105–116; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1979): Hydrogeologie.— In: HORSTIG, G. VON: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5633 Sonneberg (Bayer. Anteil) und zum Blatt Nr. 5634 Teuschnitz: 58–68; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1982): Hydrogeologische Verhältnisse.— In: HORSTIG, G. VON: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zu Blatt Nr. 5434 Leutenberg, Blatt Nr. 5533 Spechtsbrunn, Blatt Nr. 5534 Lehesten (Bayerische Anteile): 33–41; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1986): Über die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet der Wasserversorgungsbrunnen der Stadt Ludwigsstadt im Hinblick auf erhöhte Anteile von Spurenelementen im Trinkwasser.— [Gutachten Bayer. Geol. L.-Amt Nr. 408.2-4-413 vom 03.04.1986, erstattet an d. Staatl. Gesundheitsamt Kronach]
- ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG DER FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT (Hrsg.) (1977): Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate.— Geol. Jb., C 19: 3–98, 30 Abb., 9 Tab.; Hannover.
- ARMBRUSTER, J. (1982): Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebotes.— DVWK 4. Fortbildungslehrgang Grundwasser [unpag.]; Bonn.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (GLA) (1978): Hydrogeologische Verhältnisse und Grundwasserdargebot im Isargebiet.— In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (StMLU) (Hrsg.) (1979): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Isar - Band I: Planung, Gutachten: 195–232, 9 Anl.; München (Oldenbourg).
- BERGER, K. (1981): Keuper.— In: Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 49–54; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BITTERSOHL, J. (1980): Versickerung und Grundwasserneubildung in den quartären Deckschichten der Bayerischen Rhön.— Diss. Techn. Univ. München: 234 S.; München.
- BRINKMANN, R. (1948): Die Mitteldeutsche Schwelle.— Geol. Rdsch., 36: 56–66; Stuttgart.
- BÜTTNER, G. (1981): Geologische Kartierung des NW-Quadranten von Blatt 5928 Obertheres der topographischen Karte von Bayern 1:25.000 mit Beiträgen zur Lithologie des Mittleren Muschelkalks und zur anthropogenen Beeinflussung von Kluftgrundwasser.— Dipl.-Arb. Univ. Würzburg: XVI+100 S.; Würzburg.— [Unveröff.]

- (1984): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt 5928 Obertheres und zur Hydrogeologie im Maintalbereich sowie der Schweinfurter Rhön.— Diss. Univ. Würzburg: 216 S.; Würzburg.
- (1987): Der Erdfall von Großbardorf – eine Höhle im Hauptmuschelkalk?, Statusbericht 1987.— Naturwiss. Jb. Schweinfurt, 5: 29–45; Schweinfurt.
- (1989 a): Hydrogeologische Verhältnisse.— In: BÜTTNER, G. (1989): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5928 Obertheres: 92–118; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1989 b): Bodenmagnetische Messungen.— In: BÜTTNER, G. (1989): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5928 Obertheres: 84–91; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BÜTTNER, G. & SCHWARZMEIER, J. (in Vorbereitung): Die Bohrung Weyer, eine stratigraphische und lithologische Betrachtung des Mittleren und Unteren Muschelkalks.
- BÜTTNER, G. & STÜRMER, G. (1984): Vergleichende Stratigraphie im Hauptmuschelkalk Nordunterfrankens.— Naturwiss. Jb. Schweinfurt, 2: 50–58; Schweinfurt.
- CRAMER, P. & WEINELT, W. (1978): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5922 Frammersbach.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 137 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DILL, H. (1975): Die Geologie im Raum Weidenberg — Untersteinach, unter besonderer Berücksichtigung des Buntsandsteins und der nichtmetamorphen Liegendschichten.— Dipl.-Arb. Univ. Würzburg: 175 S.; Würzburg.— [Unveröff.]
- DIN 4049 BLATT 1 (1954): Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen, Teil I: quantitativ.— 26 S., 10 Abb., 1 Taf.; Berlin (Beuth).
- DIN 4049 BLATT 2 (1960): Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen, Teil II: qualitativ.— 10 S.; Berlin (Beuth).
- DIN 4049 TEIL 1 (1979): Hydrologie. Begriffe, quantitativ.— 54 S., 11 Abb., 2 Tab.; Berlin (Beuth).
- DOBNER, A. (1980): Hydrogeologie des Maintals.— In: BAYER. GEOLOGISCHES LANDESAMT: Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Donau und Main (Hydrogeologie): 27–42; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DOBNER, A. & FRANK, H. (1982): Hydrogeologie.— In: SCHWARZMEIER, J.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5927 Schweinfurt: 80–91; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1986): Hydrogeologie.— In: HAUNSCHILD, H.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6326 Ochsenfurt: 98–105; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- EMMERT, U. (1977): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6035 Bayreuth.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000, 180 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1981): Muschelkalk.— Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 46–48; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- EMMERT, U., HORSTIG, G. VON & WEINELT, W. (1960): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5835 Stadtsteinach.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 279 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- EMMERT, U., HORSTIG, G. VON STETTNER, G. & ZITZMANN, A. (1981): Geologische Übersichtskarte 1:200.000 CC 6334 Bayreuth.— B.-Anst. f. Geowissenschaften u. Rohstoffe (Hrsg.); Hannover.
- E+M BOHR-GMBH (1989): Bohrarchiv-Nr. 5017, Zeichen-Nr. S 752, Auftragsnummer: 5614/88, Bezeichnung: Stockheim Gemeinde, Tiefbrunnen Neukenroth II, Auftraggeber: Gemeinde 8647 Stockheim.— 3 S.; Hof (Saale).
- Entwicklungsgeschichte — Die Entwicklungsgeschichte der Erde. Brockhaus-Taschenbuch der Geologie.— 772 S., 229 Abb., 44 Tab.; Leipzig (Brockhaus) 1959.
- FAUTH, H. (1976): Bericht Nr. 46 des Referats 4.13 der BGR über Hydrochemische Untersuchungen im Fichtelgebirge (1974).— Ber. B.-Anst. Geowiss. u. Rohstoffe, Hannover.— [Unveröff.]

- FRANK, H. (1973): Gutachten des Bayerischen Geologischen Landesamtes über die Möglichkeit zur Neuerschließung von Mineral- und Thermalwässern und sonstigen potentiellen Heilwässern in Bayern.— Nr. 318eIV/2-1010: 143 S.— [Unveröff., 29.06.1973]
- (1977): Hydrogeologische Verhältnisse.— In: EMMERT, U.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6035 Bayreuth: 117-125; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- FÜRST, M. (1956): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6135 Creußen.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 52 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- FURTAK, H. & LANGGUTH, H. R. (1967): Zur Hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen.— Mem. Jah.- Congress, 1965, 7: 89-96; Hannover.
- GEORGOTAS, N. & UDLUFT, P. (1978 a): Sinn und Fränkische Saale.— In: Schriftenreihe Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 7, Das Mainprojekt: 65-84; München.
- (1978 b): Tiefes Grundwasser.— In: Schriftenreihe Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 7, Das Mainprojekt: 290-296; München.
- GUDDEN, H. (1970): Bericht über die Untersuchungsbohrung Mürsbach 1.— Bericht des Bayerischen Geol. L.-Amtes an die Ruhrgas AG, vom 20.11.1970, Nr. 2237; München.— [Unveröff.]
- (1977): Die Thermal-Mineralwasser-Erschließungsbohrung Staffelstein 1975.— Brunnenbau/Bau von Wasserwerken/Rohrleitungen (bbr), 28 (3): 85-92; Köln.
- (1981): Über Thermal-Mineralwasser-Bohrungen im Coburger Umland.— Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. 63: 229-252; Stuttgart.
- (1983): Über Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme in Bayern.— Geol. Jb., C 33: 5-25; Hannover.
- HEGENBERGER, W. & SCHIRMER, W. (1967): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5932 Ützing.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 156 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HERGESELL, G., HÜTTNER, R., SCHWARZMEIER, J. & ZITZMANN, A. (1985): Geologische Übersichtskarte 1:200.000 CC 6318 Frankfurt a. M. Ost.— B.-Anst. f. Geowissenschaften u. Rohstoffe; Hannover.
- HOBLER, M. (1971): Hydrogeologische Untersuchungen in der quartären Maintalfüllung im Raum Ochsenfurt/Unterfranken.— Diss. Univ. Würzburg: 111 S.; Würzburg.
- HOFFMANN, U. (1967 a): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6125 Würzburg Nord.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 94 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1967 b): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6225 Würzburg Süd.— Geol. Kt. Bayern 1:25000: 134 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HOHBERGER, K. (1977): Grundwasserbilanz, Chemismus und Stoffaustag im Einzugsgebiet der Tauber oberhalb von Bad Mergentheim.— Diss. Univ. Tübingen: 188 S.; Tübingen.
- HÖLTING, B. (1984): Hydrogeologie.— 2. Aufl.: XI+370 S., 104 Abb., 27 Tab.; Stuttgart (Ferdinand Enke).
- HORSTIG, G. VON (1979): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5633 Sonneberg (Bayer. Anteil) und zum Blatt 5634 Teuschnitz.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 116 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HORSTIG, G. VON & STETTNER, G. (1976): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5735 Schwarzenbach am Wald.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 178 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- IGI (1978): Trinkwassererschließung Weyer, Hydrogeologische Untersuchungen im Erschließungsgebiet Weyer.— Gutachten Ingenieur-Geol. Inst. S. Niedermeyer; Westheim.— [Unveröff., AZ 364-77]
- (1982): Trinkwassererschließung Weyer, Hydrogeologische und hydrologische Untersuchungen im Erweiterungsgebiet der Anreicherungs- und Brunnenanlage (mit Nachtrag).— Gutachten Ingenieur-Geol. Inst. S. Niedermeyer; Westheim.— [Unveröff., AZ 61-80H/N1]

- (1984): Ingenieurgeologische Stellungnahme zur Neubau-/Ausbaustrecke Aschaffenburg — Gemünden, Abschnitt Hösbach — Wiesthal km 0-18.— 11 Teilgutachten Ingenieur-Geol. Inst. S. Niedermeyer; Westheim.— [Unveröff., AZ 54004]
- (1985): Hydrogeologische Untersuchungen zur Erweiterung der Trinkwassererschließung Weyer.— Gutachten Ingenieur-Geol. Inst. S. Niedermeyer; Westheim.— [Unveröff., AZ 83295]
- (1986): Hydraulische, hydrochemische und bakteriologische Untersuchungen an den Fassungsbrunnen der Brunnengalerie II (Weyer).— Gutachten Ingenieur-Geol. Inst. S. Niedermeyer; Westheim.— [Unveröff., AZ 84387]
- (1987 a): Trinkwassererschließung Bürgstadt, Schlußbericht über die Erstellung der Tiefbrunnen TB 1, TB 2, TB 3.— Gutachten Ingenieur-Geol. Inst. S. Niedermeyer; Westheim.— [Unveröff., AZ 84340, 86273]
- (1987 b): Begleitende hydraulische, hydrochemische und bakteriologische Untersuchungen an den Fassungsbrunnen der Brunnengalerie II während des normalen Förderbetriebes (Weyer).— Gutachten Ingenieur-Geol. Inst. S. Niedermeyer; Westheim.— [Unveröff., AZ 86065]
- JERZ H. (1981): Holozän.— In: Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 149-151; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JERZ, H. & SCHWARZMEIER, J. (1981): Periglazialer Bereich.— In: Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 142-149; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- KALWEIT, H. (1963): Niedrigwassermessungen 1962 im Spessart, Auswertung der Meßergebnisse.— Erläuterungsbericht mit Anlagen, Gutachten für den Regierungspräsidenten in Wiesbaden; Koblenz.— [Unveröff.]
- KANZ, W. (1977): Das Talgrundwasser des Maintals im Grenzbereich Muschelkalk — Buntsandstein; Hydrogeologie und Beschaffenheit.— Diss. Univ. Tübingen: 118 S.; Tübingen.
- (1980): Gebräuchliche Mineraldünger und ihre chemische Zusammensetzung.— Arbeitsunterlage: 1 S.— [Unveröff.]
- KANZ, W. & SCHNITZER, W. A. (1978). Obermain.— In: Schriftenreihe Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 7, Das Mainprojekt: 36-50; München.
- (1979): Ein Grundwassermarkierungsversuch im Rhätolias-Sandstein des obermainischen Bruchschollenlandes (Blatt 5833 Burgkunstadt).— Geol. Bl. NO-Bayern, 29 (2/3): 126-130; Erlangen.
- KERN, H. (1954): Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflußkarten von Bayern (Jahresmittel 1901-1951).— Veröff. a. d. Amtsbereich d. Bayer. Landesstelle für Gewässerkde. München; München.
- KILLE, K. (1970): Das Verfahren MoMnQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren, langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse.— Z. dt. geol. Ges., Sonderheft Hydrogeologie Hydrochemie: 89-95; Hannover.
- KLUT-OLSZEWSKI (1945): Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle – seine Beurteilung und Aufbereitung.— 9. Aufl.: 281 S.; Berlin (Springer).
- KÖPF, E. & ROTHASCHER, A. (1980): Das natürliche Grundwasserdargebot in Bayern im Vergleich zu den Hauptkomponenten des Wasserkreislaufes.— Schriftenreihe Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 13: X+14 S., 4 Diagr., 1 Tab., 2 Kt. [im Text], 5 Kt. [beiliegend]; München.
- KÖRBER, H. (1962): Die Entwicklung des Maintales.— Würzburger Geograph. Arb. 10: 170 S.; Würzburg.
- KOWALCZYK, G. (1983): Das Rotliegende zwischen Taunus und Spessart.— Geol. Abh. Hessen, 84: 99 S.; Wiesbaden.
- LFW (1975 a): Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Bürgstadt, Kennziffer 1.01, Lkr. Miltenberg.— 4 S.; München.— [Unveröff.]
- (1975 b): Schlußgutachten für die Erkundungsgebiete Willmars, Kennziffer 3.01 und 3.02, Lkr. Rhön-Grabfeld.— 8 S.; München.— [Unveröff.]

- (1975 c): Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Schonderfeld, Kennziffer 2.01, Lkr. Main-Spessart.— 5 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1975 d): Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Röllfeld, Kennziffer 1.02, Lkr. Miltenberg.— 5 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1975 e): Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Lauertal, Kennziffer 3.03, Lkr. Bad Kissingen.— 4 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1975 f): Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Kennziffer 4.04 Steinach-Tal, Lkr. Coburg und Kronach.— 6 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1975 g): Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Kennziffer 4.06 Haßlach-Tal, Lkr. Kronach.— 7 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1975 h): Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Kennziffer 5.02 Creußen, Lkr. Bayreuth.— 4 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1976 a): Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Rieneck, Kennziffer 2.04, Lkr. Main-Spessart.— 4 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1976 b): Geologisches Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Großwallstadt, Kennziffer 1.08, Lkr. Miltenberg.— 4 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1976 c): Grundwassererkundung in Bayern 1975, Großwallstadt, Kennziffer 1.08, Auswertung der Pumpversuche.— 11 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1976 d): Aktenvormerkung: Grundwasservorkommen in Bayern 1976, Kennziffer 3.04, Kennwort Roßstadt, Lkr. Haßberge, Sachgebiet I/5.— 2 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1977 a): Erläuterung zum Bericht über das Erkundungsgebiet Wombach, Kennziffer 2.03, Lkr. Main-Spessart.— 17 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1978 a): Erläuterungen zum Schlußbericht über das Erkundungsgebiet Rück, Kennziffer 1.05, Lkr. Miltenberg.— 4 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1978 b): Erläuterungen zum Schlußbericht über das Erkundungsgebiet Schneeberg, Kennziffer 1.06, Lkr. Miltenberg.— 5 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1978 c): Erläuterungen zum Schlußbericht über das Erkundungsgebiet Kirschfurt, Kennziffer 1.07, Lkr. Miltenberg.— 4 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1978 d): Entwurf: Schlußgutachten für das Erkundungsgebiet Roßstadt, Kennziffer 3.04, Lkr. Haßberge.— 2 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1981): Schlußbericht für die Grundwassererschließung Gemünden-Hofstetten, Br. 2–7, des Zweckverbandes Fernwasserversorgung Mittelmain, Sitz Würzburg, Lkr. Main-Spessart.— 14 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1984): Erläuterungen zum Bericht über das Erkundungsgebiet Breitenbrunn, Kennziffer 1.09, Lkr. Miltenberg.— 17 S.; München.— [Unveröff.]
 - (1985): Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500.000, Stand 1985.— Schriftenreihe Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 20: 37 S.; München.— [Karte mit Erläuterungsheft]
 - (1987): Die Grundwasserneubildung in Bayern – Berechnet aus den Niedrigwasserabflüssen der oberirdischen Gewässer (Bearbeiter: ROTHASCHER, A.).— Inf.-Ber. Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 1987 (3): 86 S.; München.
- LIMPRICH, H. (1970): Berechnung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren und verbrauchbaren Grund- und Oberflächenwasserdargebotes für die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung.— Z. dt. geol. Ges., Sonderheft Hydrogeologie Hydrochemie: 69–88, 7 Abb., 4 Tab.; Hannover.
- LIPPOLT, H. J. (1978): K-Ar-Untersuchungen zum Alter des Rhön-Vulkanismus.— Forschungsreihe Mineral., 56 (1): 85; Stuttgart.

- MÄRZ, K. (1977): Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Buntsandstein und Muschelkalk Nordbayerns.— Hydrochem. hydrogeol. Mitt., 2: 1–170; München.
- MATTHESS, G. & UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie, Grundwasserhaushalt.— In: MATTHESS, G. (Hrsg.): Lehrbuch der Hydrogeologie, 1: XII+438 S., 214 Abb., 75 Tab.; Berlin, Stuttgart (Bornträger).
- MATTHESS, G. (Hrsg.) (1990): Lehrbuch der Hydrogeologie, 2, 2. Aufl., Die Beschaffenheit des Grundwassers.— X+498 S., 139 Abb., 116 Tab.; (Bornträger) Berlin, Stuttgart.
- MATTHESS, G. & MURAWSKI, H. (1978): Zuflüsse aus Spessart und Odenwald.— In: Schriftenreihe Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 7, Das Mainprojekt: 108–121; München.
- MEYER, R. K. F. (1972): Kreide.— In: MEYER, R. K. F., VIOHL, G. & ZORN, H.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5933 Weismain: 57–59; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1981 a): Kreide nördlich der Alpen.— In: Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 68–70; 74–78; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1981 b): Malm.— In: Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 62–68, München, (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (1981 a): Lias.— In: Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 55–57; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1981 b): Dogger.— In: Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 58–61; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MEYER, R. K. F., VIOHL, G. & ZORN, H. (1972): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5933 Weismain.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 160 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J., GELLERT, J., NEEF, E., MÜLLER-MINY, H. & SCHULTZE, J. H. (Hrsg.) (1961): Naturräumliche Gliederung und Waldverbreitung 1:1.000.000.— Die Bundesrepublik Deutschland in Karten: Bl. 5111; Bad Godesberg (B.-Anst. Landeskd.).
- MÜLLER, W. et al. (1974): Duden. Bd. 5: Fremdwörterbuch.— 3. Aufl.: 781 S.; Mannheim, Wien, Zürich (Bibliographisches Institut AG).
- MURAWSKI, H. (1977): Geologisches Wörterbuch.— 7. Aufl.: XI+280 S., 78 Abb., 1 Taf.; Stuttgart (Ferdinand Enke).
- NATERMANN, E. (1951): Die Linie des langfristigen Grundwassers (AuL) und die Trockenwetterabflüsse (TWL).— Wasserwirtschaft, Sonderh.; Stuttgart.
- NOSRAT-NEZAMI, M. (1975): Hydrogeologische und hydrochemischen Untersuchungen im Großraum Bayreuth.— Diss. Univ. Würzburg: 87 S.; Würzburg.
- OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYER. STAATSMINISTERIUM DES INNERN (OBB) (Hrsg.) (1974): Grundwassererkundung in Bayern.— Schriftenreihe "Wasserwirtschaft in Bayern", 13: 6 [unpag.] + 52 S.; München.
- OKRUSCH, M., STREIT, R. & WEINELT, W. (1967): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5920 Alzenau i. Ufr.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 336 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- OKRUSCH, M. & WEINELT, W. (1965): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5921 Schöllkrippen.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 327 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- POHL, J. & SOFFEL, H. (1977): Paleomagnetic and rockmagnetic investigations of Tertiary volcanics in north Bavaria.— J. Geophys., 42; Berlin, Heidelberg, New York.
- QUENTIN, K.-E. (1970): Die Heil- und Mineralquellen Nordbayerns.— Geologica Bavarica, 62: 312 S.; München.
- RICHTER, D. (1989): Ingenieur- und Hydrogeologie.— XIX+607 S., 362 Abb., 79 Tab.; Berlin, New York (Walter de Gruyter & CO).
- RISCH, H. (1981): Tertiär in Nordwest-Bayern.— Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 79–83; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

- RÖMPP, H. & ÜHLEIN, E. (1966): Chemie Lexikon.— 1–7: 7859 S.; Stuttgart (Franckh'sche Verlagsbuchhandlung W. Keller & CO).
- ROTHASCHER, A. (1987): Die Grundwasserneubildung in Bayern. Berechnet aus den Niedrigwasserabflüssen der oberirdischen Gewässer.— Informationsberichte Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 1987 (3): 86 S., 5 Abb., 48 Tab., 1 Kt.; München.
- SCHMITT, P. (1982): Herkunft und Beschaffenheit oberflächennaher Grundwässer und mineralstoffreicher Tiefenwässer im Muschelkalk-Keupergebiet des Grabfeldgaaes (Ufr.).— Diss. Techn. Univ. München: VII+235 S.; München.
- SCHROEDER, G. (1955): Die Grundwasserreserven der Flußgebiete.— Bes. Mitt. Dtsch. Gewässerkundl. Jb., 13: 26 S.; Koblenz.
- SCHRÖDER, B. (1965): Tektonik und Vulkanismus im oberpfälzer Bruchschollenland und fränkischen Grabfeld.— Erl. geol. Abh., 60: 90 S.; Erlangen.
- (1976): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5829 Hofheim/Ufr.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 116 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHWARZMEIER, J. (1977): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6024 Karlstadt und zum Blatt Nr. 6124 Remlingen.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 155 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1980): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6023 Lohr a. Main.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 159 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1981 a): Buntsandstein.— In: Erl. geol. Kt. Bayern 1:500.000: 41–45; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1981 b): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6027 Grettstadt.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 126 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SPÄTH, H. (1978): Naturräumliche Gliederung.— In: Schriftenreihe Bayer. L.-Amt Wasserwirtschaft, 7, Das Mainprojekt: 3–5; München.
- STRENG, R. (1983): Untersuchungen über Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit nach Anreicherung mit Oberflächenwasser am Beispiel der Trinkwassergewinnungsanlage Weyer des Zweckverbandes der Rhön-Maintal-Gruppe.— Dipl.-Arb. Fachhochschule Gießen-Friedberg: 69 S.— [Unveröff.]
- STETTNER, G. (1958): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5937 Fichtelberg.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 116 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1960): Erläuterungen zum Blatt Nr. 5836 Münchberg.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 163 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- THIELE, S. (1971): Grundwasserwirtschaftliche Begutachtung der Wasserversorgung des Werkes Obernburg der Glanzstoff AG.— Gutachten.— [Unveröff.]
- TRUSHEIM, F. (1964): Über den Untergrund Frankens – Ergebnisse von Tiefbohrungen in Franken und Nachbargebieten 1953–1960.— Geologica Bavarica, 54: 92 S.; München.
- VIERNSTEIN, M. (1984): Hydrogeologische Verhältnisse.— In: SCHWARZMEIER, J.: Geologische Karte von Bayern, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6122 Bischbrunn: 65–72; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WEHNER, H. (1965): Erläuterungen zur geologischen Kartierung auf der Westhälfte des Gradabteilungsblattes Gerolzhofen 1:25.000.— Dipl.-Arb. Univ. Würzburg: 56 S.; Würzburg.— [Unveröff.]
- WEINELT, Wl. (1962): Erläuterungen zum Blatt Nr. 6021 Haibach.— Geol. Kt. Bayern 1:25.000: 246 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1965): Hydrogeologische Beschreibung.— In: OKRUSCH, M. & WEINELT, Wl.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5921 Schöllkrippen: 228–239; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1978): Mineralgänge.— In: SCHWARZMEIER, J.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5922 Frammersbach: 65–78; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

- WILD, A. (1972): Die chemische Beschaffenheit des Grundwassers.— In: EMMERT, U. & HORSTIG, G. VON: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5734 Wallenfels: 175–179; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WUNDT, W. (1953): Gewässerkunde.— 320 S.; Berlin (Springer).
- (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen.— In: GRAHMANN, R.: Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung: 47–54; Remagen.
- WURSTER, P. (1968): Paläographie der deutschen Trias und die paläographische Orientierung der Lettenkohle in Südwestdeutschland.— *Eclogae geol. Helv.*, 61 (1): 157–166; Basel.
- ZWECKVERBAND FÜR WASSERVERSORGUNG RHÖN-MAINTAL-GRUPPE (Hrsg.) (1986): Wasser ist Leben, 1936–1986, 50 Jahre Wasserversorgung Rhön-Mainial-Gruppe.— 60 S.; Schweinfurt.

Anhang 1: Begriffserläuterungen

Abfluß	Wassermenge, welche in der Sekunde einen Abflußquerschnitt durchfließt
Abflußjahr	einjähriger, nach hydrologischen Gesichtspunkten festgesetzter Zeitraum
Abflußspende	Abfluß bezogen auf einen Quadratkilometer seines Einzugsgebiets
Ablaugung	Bezeichnung für durch Wasser hervorgerufene chemische Lösung
Absenktrichter	Raum zwischen der natürlichen und der abgesenkten Grundwasseroberfläche oder Grundwasserdruckfläche (Syn.: Senkungstrichter)
Abstandsgeschwindigkeit	tatsächliche Geschwindigkeit, die ein Wasserteilchen bei der Bewegung vom Punkt A zu Punkt B braucht (→ Fließgeschwindigkeit)
Adsorption	Aufnahme und Verdichtung von Gasen oder gelösten Stoffen an der Oberfläche fester Körper
aerob	Bezeichnung für Anwesenheit von freiem gelösten Sauerstoff
Akkumulation	Bezeichnung für Vorgang und Produkt der Ablagerung von Sedimenten (häufig verwendet bei verstärkter örtlicher Anhäufung in Gewässern oder durch den Wind)
Albtrauf	Stufenstirn der Fränkischen Alb
Alkali(en)	die in wässriger Lösung stark basischen Hydroxide von Kalium, Natrium, Lithium, Rubidium und Cäsium
alkalisch	basisch reagierend
Alkalität	Eigenschaft des Wassers, gemessen als Verbrauch an ml 1,0 n Säure bei Verwendung der Indikatoren Methylorange (m-Wert) bzw. Phenolphthalein (p-Wert) in 1 l Wasser
allochthon	Bezeichnung für Gesteinsbildungen aus ortsfremden Material
Amaltheenton	Schichtbezeichnung des Lias
Amphibolith	grünschwartzes, richtungslos körniges, hornblendereiches Gestein aus der Gruppe der kristallinen Schiefer
Angulatenschichten	Schichtbezeichnung des Lias
Anhydrit	gesteinsbildendes Mineral (CaSO_4); durch Wasseraufnahme entsteht Gips aus Anhydrit
Anionen	Ionen, die in wässriger Lösung, unter dem Einfluß des elektrischen Stroms zur Anode (Plus-Pol) wandern, da sie negativ geladen sind
Anionendreieck	Dreiecksdiagramm (Anionen) zur Charakterisierung eines Wassers
Aquifer	grundwassererfüllter Teil eines Grundwasserleiters
Arietensandstein	Schichtbezeichnung des Lias
Arkose	feldspat- und glimmerführendes sandsteinartiges Sedimentgestein
artesisches Wasser	gespanntes Grundwasser, das beim Anbohren von selbst über Flur ausläuft
Ausbiß	erdoberflächennaher Bereich einer Schicht, eines Ganges oder irgend eines anderen geologischen Körpers
Ausstrich	→ Ausbiß
Austauschkapazität	(Syn.: Ionenaustauschkapazität) äquivalente Masse an austauschbaren Ionen in Äquivalenteinheiten pro 100 g fester Substanz bei einem pH-Wert von 7,0
Austauschwässer	Wässer, deren Chemismus durch Ionenaustausch verändert wurde
autochthon	an Ort und Stelle entstanden

Azidität	Eigenschaft des Wassers, gemessen als Verbrauch an ml 1,0 n Lauge bei Verwendung der Indikatoren Methylorange (negativer m-Wert) bzw. Phenolphthalein (negativer p-Wert) in 1 l Wasser
Background	Untergrund, Grundbelastung, Grundlast
balneologisch	die Bäderkunde betreffend
Basalt	schwarzes Ergußgestein
Basizität	→ Alkalität
Beharrung	Zustand, wo bei gleichbleibender Entnahme die Grundwasserabsenkung nicht mehr fortschreitet
Beharrungszustand	→ Beharrung
Biegetektonik	Schichtverbiegungen aufgrund tektonischer Bewegungen (→ Tektonik)
Bilanzraum	durch naturräumliche und kommunale Grenzen festgelegtes Bezugsgebiet (innerhalb des Planungsraumes)
Bindemittel	"Zement", der die Räume zwischen den Körnern eines klastischen Sedimentes ausfüllt
Blasensandstein	Schichtbezeichnung im Mittleren Keuper
Blockmeer	Anhäufungen von Gesteinsblöcken, häufig auf Kämmen und Hängen der Mittelgebirge
Bodenfließen	→ Fließerde
Bodenmagnetik	an der Geländeoberfläche vorgenommene Messungen um Änderungen des Erdmagnetfeldes zu lokalisieren (Syn.: bodenmagnetische Messungen)
Bodenwasser	die Gesamtheit des im Boden befindlichen Wassers
brackisch	Bezeichnung für den Grenzbereich Salzwasser — Süßwasser
Braunkohlentertiär	Bezeichnung eines tertiären Schichtpaketes, das überwiegend aus Tonen und Braunkohlen aufgebaut ist; Verknüpfung von Gesteinsausbildung und Zeitangabe
Brekzie	verfestigtes Trümmergestein, dessen Bruchstücke eckig-kantig ausgebildet sind
Bröckelschiefer	Schichtbezeichnung des Unteren Buntsandsteins
Bruchtektonik	Zerbrechungserscheinungen (Klüfte, Fugen, Spalten, Verwerfungen etc.) aufgrund tektonischer Bewegungen
Brunnengalerie	Brunnenreihe
Bryozoen	'Moostierchen', in Kolonien lebende und stockbildende Tiere, die einen sackförmigen Körper und Tentakel besitzen
Buntsandstein	stratigraphische Bezeichnung (Abteilung der Trias)
Buntsandstein-Spessart	der Teil des Spessarts, in dem der Buntsandstein ausstreicht
Burgsandstein	Schichtbezeichnung des Mittleren Keupers
Cadmium	metallisches Element (Cd)
Calcit	Kalkspat, Calciumkarbonat (CaCO ₃)
Calcium	metallisches Element (Ca)
Chirotherienschiefer	Schichtbezeichnung des Oberen Buntsandsteins
Chlorid	einwertiges Anion (Cl ⁻), → Chloride
Chloride	Verbindungen von Metallen, Nichtmetallen oder organischen Radikalen mit Chlor
Cromer	eigentlich Cromer-Warmzeit, stratigraphische Unterbezeichnung im Mittelpleistozän

Deckgebirge	Gebirgskomplex, der sich im tektonischen Baustil und meist auch im Grad der Metamorphose von dem darunter liegenden Grundgebirge deutlich abhebt
Devon	stratigraphische Bezeichnung (Formation des Paläozoikums)
Deutsche Härte	Maßeinheit für die Wasserhärte ($[^{\circ}\text{dH}]$, $1^{\circ}\text{dH} = 0,179 \text{ mmol Ca/l} = 10 \text{ mg CaO/l}$)
Diabas	körniges, meist schwarzes, gelegentlich grünliches Ergußgestein
Diskordanz	ungleichsinnige Lagerung der Gesteinsschichten, winkliges Abstoßen der Schichtung
dissoziieren	zerfallen von Molekülen in einfachere Bestandteile (z.B. Ionen, Radikale, Elemente etc.)
Dogger	stratigraphische Bezeichnung (Abteilung des Jura; "Brauner Jura")
Doline	schlot-, trichter- oder schüsselartige Vertiefung der Karstoberfläche
Dolomit	gesteinsbildendes Mineral ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$)
dolomitisiert	mit Dolomit imprägniert
Druckwasserspiegel	Grundwasserspiegel bei gespanntem Grundwasser (Syn.: Druckspiegel)
Durchlässigkeitsbeiwert	Größe, welche den Widerstand (Reibung) eines vom Wasser durchflossenen Gesteins beschreibt (Syn.: k_f -Wert [m/s], Durchlässigkeitskoeffizient)
Effusion	Ausfluß vulkanischer Lava
Einrumpfung	Bildung einer einförmigen, flachwelligen Verebnungsfläche, die über einen gefalteten oder stark gestörten Untergrund hinweggreift
Einzugsgebiet	in der Horizontalprojektion gemessenes Gebiet, dem der Abfluß in einem gewählten Abflußquerschnitt entstammt
Eklogit	metamorphes Gestein, vorwiegend aus grasgrünem Omphazit und rotem Granat bestehend
Elbgebiet	zur Elbe hin entwässerndes Gebiet
elektrische Leitfähigkeit	Kehrwert des elektrischen Widerstands; erlaubt etwaigen Rückschluß über den gelösten Feststoffinhalt eines Wassers
Elektrolyse	durch elektrische Ströme bewirkte chemische Zersetzung
elektrolytisch	→ Elektrolyse
Eluat	durch Elution herausgelöster Stoff
Elution	Herauslösen von adsorbierten Stoffen aus festen Adsorptionsmitteln
Erdalkalien	Sammelbezeichnung für die in der 2. Hauptgruppe des Periodensystems stehenden, chemisch verwandten, fast ausschließlich zweiwertigen Metalle Barium, Beryllium, Calcium, Magnesium, Radium und Strontium
Erdfall	durch unterirdische Auslaugung durch plötzlichen Einsturz an der Erdoberfläche entstehender Trichter (→ Doline)
Erdgeschichte	umfassende Übersicht der Entwicklung der Erde und des Lebens mit Hilfe der in den Gesteinen überlieferten Zeugen
Ergiebigkeit	Förderleistung in l/s (→ spezifische Ergiebigkeit)
Ergußgestein	an der Oberfläche erstarrtes vulkanisches Gestein
Erosion	abtragende Tätigkeit von Wasser, Wind und Eis an der Erdoberfläche (Verb: erodieren)
Estherien	ca. 2–4 mm große Schalenkrebse

Estherien-Schichten	Schichtbezeichnung des Mittleren Keupers
exogen	Kräfte, die von außen auf die Erdoberfläche wirken (z.B. Sonnenstrahlung, Wasserkreislauf)
Fallen	Neigung des Schichtgebäudes (Syn.: Einfallen)
Fanglomerat	Schlammbrekzie, Ablagerungen aus Schichtfluten des ariden Klimabereichs
faziell	→ Fazies
Fazies	Bezeichnung für den Habitus, den ein Sediment bei seiner Bildung bezüglich seines petrographischen Aufbaus oder seines durch bestimmte Faziesfossilien charakterisierten Fossilinhalts aufweist
Feldspat	gesteinsbildendes Mineral der Silkatgruppe
Festgestein	ein Gestein in dem nicht die Poren, sondern die Fugen hydraulisch wirksame Räume bilden
Feuerletten	Schichtbezeichnung des Mittleren Keupers
Fichtelgebirge	Teilgebiet des Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirges (Lage im Südosten), das überwiegend aus Graniten und metamorphen Schiefern aufgebaut ist (Syn.: Hohes Fichtelgebirge)
Fiederspalten	auf Scherzonen an der Grenze zweier bewegter Schollen in gestaffelter Anordnung auftretende Fugen und Spalten
Firneis	durch Eiszement verkittete Eiskörner
Fließerde	infolge starker Durchnässung sich bildender Bodenbrei, der bereits bei geringen Gefällswinkeln hangabwärts fließt
Fließgeschwindigkeit	→ Abstandsgeschwindigkeit
Flußgebiet	Einzugsgebiet eines Flusses (→ Einzugsgebiet)
fluvial	vom fließenden Wasser (abgetragen, abgelagert etc.)
Fossil	Versteinerung, Überreste von Pflanzen und Tieren der geologischen Vergangenheit
Frankenalb	Schichtstufe zwischen dem Fränkischen Keuper-Lias-Land und dem Obermain-Hügelland, die von Gesteinen des Jura aufgebaut wird
Frankenjura	→ Frankenalb
Gäuplatte	Teilgebiet der Mainfränkischen Platten
Gebietsniederschläge	Niederschlagsmenge bezogen auf ein bestimmtes Gebiet
Gebirgsdurchlässigkeit	Summe von Gesteins-(oder Poren-)durchlässigkeit und Kluft-(oder Trennfugen-)durchlässigkeit [wird nur bei Festgesteinen verwendet]
geklüftet	→ Kluft
Genese	Entstehung, Entwicklung
Geochemie	Wissenschaftszweig, der sich mit der Untersuchung der chemischen Zusammensetzung der Gesteine, Minerale, Böden, Wasser und Gase in den verschiedenen Teilen der festen Erde, der Hydrosphäre und der Atmosphäre befaßt
geogen	gesteinsbürtig, gesteinsbedingt
Geologie	Wissenschaft von der Zusammensetzung, vom Bau und von der Geschichte der Erdkruste und von den Kräften, unter deren Wirkung sich die Bildung der Erdkruste vollzieht
Geomorphologie	Wissenschaft von den Formen der Erdoberfläche sowie der sie gestaltend wirkenden physischen Vorgänge
Geosynklinalgebiet	langgestrecktes Krustenfeld von einigen 100 km Breite und oft weit über 1.000 km Länge, das langsam sinkt und sich zu einem Sedimen-

	tationstrog mit erheblichen Sedimentmächtigkeiten entwickelt (Syn.: Geosynklinale, Geosynkline)
Geowissenschaften	Wissenschaften, die sich der Untersuchung des Aufbaus der Erde und ihrer Gesteine sowie ihrer Wasser- und Lufthülle widmen
Gesamthärte	Summe der im Wasser vorhandenen Erdalkali-Ionen besonders des Calciums und des Magnesiums (1 mval Erdalkali-Ionen pro Liter = 2,8° Deutsche Härte)
Gesteinsdurchlässigkeit	bei Festgesteinen: Durchlässigkeitskoeffizient des Gesteins, ohne Berücksichtigung des Kluftraums bei Lockergesteinen: Porendurchlässigkeit
Gewässerkunde	Teil der Hydrologie, der sich mit den Gewässern im natürlichen Wasserkreislauf zwischen dem Niederschlag auf dem Festland und dem Rückfluß ins Meer befaßt
Gips	gesteinsbildendes Mineral ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)
Gipsabsonderungen	Abscheidung von Gips aus einer Lösung, infolge des Verlustes an Lösungskraft (z.B. durch Verdunstung) (Syn.: Gipsausfällung)
Gipshärte	→ Sulfathärte
Gipskarst	→ Karst
Gipskeuper	unterer Abschnitt des Mittleren Keupers
Glimmerschiefer	kristalline Schiefer, die vorwiegend aus Glimmer und Quarz bestehen
Gneis	Gestein der Gruppe der kristallinen Schiefer, wesentlich bestehend aus Feldspat, Quarz und Glimmer (höherer Metamorphosegrad als der Glimmerschiefer)
Graben	ein zwischen zwei stehengebliebenen oder gehobenen Schollen an mehr oder weniger parallelen Verwerfungen abgesunkener Streifen der Erdoberfläche (Syn.: Grabenbruch)
Grabfeld	nördlicher Anteil der Mainfränkischen Platten, Vorland der Haßberge (Syn.: Grabfeld Gau)
Gradabteilungsblatt	Gebiet eines Kartenblattes im derzeit vom Bayerischen Landesvermessungsamt gewählten Rahmenblattschnitt (1:25.000)
Granit	magmatisches Gestein, vorwiegend aus Feldspat, Quarz und Glimmer oder Amphibolen bestehend
Grauwacke	dunkelgraues, sandsteinartiges Sedimentgestein
Grenzdolomit	Schichtbezeichnung des Unteren Keupers
Grundwasser (GW.)	Wasser, das Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und nur der Schwere (hydrostatischer Druck) unterliegt
gespanntes Grundwasser	Wasser eines GW.-körpers, dessen GW.-oberfläche und GW.-druckfläche nicht identisch sind
freies Grundwasser	Grundwasser, das oben nicht von einer schwer- oder undurchlässigen Schicht begrenzt ist und an dessen Oberfläche Wasser- und Luftdruck gleich sind
Grundwasserabsenkung	Erniedrigung der GW.-oberfläche oder GW.-druckfläche als Folge technischer Maßnahmen
Grundwasseranreicherung	künstliche Versickerung oder Versprühung von Flußwasser über dem eigentlichen Grundwasserleiter zur Erhöhung des Wasserdurchsatzes
Grundwasseraufschluß	Sammelbegriff für Quelle (= natürlicher) oder Wasserbohrung (= künstlicher)
Grundwasseraustritt	Natürliches Zutagetreten von Wasser, das dabei von Grundwasser zu oberirdischem Wasser wird

Grundwasserbilanz	mengenmäßige Erfassung des unterirdischen Anteils des Wasserkreislaufs
Grundwasserdargebot	GW.-neubildung vermehrt durch den (unterirdischen) GW.-zustrom [l/s , m^3/s]
Grundwasserdeckfläche	Grenzfläche zwischen einem GW.-leiter und einer darüber liegenden schwer oder undurchlässigen Schicht mit GW.-aufdruck
Grundwasserdeckschicht	über dem GW.-leiter liegende schwer- oder undurchlässige Schicht
Grundwassergleiche	Kurve gleicher und gleichzeitiger Höhe der GW.-stände, bezogen auf eine waagerechte Ebene, meist auf Normal Null (Syn.: Grundwasserhöhengleichen)
Grundwasserhemmer	Gesteinskörper, die im Vergleich zu einem benachbartem GW.-leiter gering gw.-durchlässig sind
Grundwasserhöhengleiche	→ Grundwassergleiche
Grundwasserkörper	GW.-vorkommen oder Teil eines solchen, das eindeutig abgegrenzt oder abgrenzbar ist
Grundwasserlandschaft	geologisch klar abgegrenzte Räume, die relativ einheitliche und typische Grundwasserverhältnisse aufweisen
Grundwasserleiter	der Teil der Erdrinde, der Grundwasser enthält und geeignet ist, es weiterzuleiten
GW.-markierungsversuch	Eingabe eines Markierungsstoffes (Tracers) in das Grundwasser um unterirdische Fließwege und hydraulischen Kennwerte zu erkunden
Grundwassermächtigkeit	lotrechter Abstand zwischen GW.-unter- und GW.-oberfläche
Grundwasserneubildung	Wasservolumen pro Zeiteinheit, welches durch Infiltration von Niederschlags- oder Oberflächenwasser räumlich und zeitlich ungleichmäßig das GW. ergänzt (Syn.: GW.-neubildungsrate; [mm/a], [$l/(s \cdot km^2)$])
Grundwasseroberfläche	obere Grenzfläche eines GW.-körpers
Grundwasserscheide	Grenzlinie, von der aus GW. nach verschiedenen Richtungen strömt (Syn.: GW.-schwelle)
Grundwassersohlschicht	schlecht durchlässige oder undurchlässige Schicht an der Basis eines GW.-körpers
Grundwasserspiegel	ausgeglichene Grenzfläche des Grundwassers gegen den atmosphärischen Druck
Grundwasserstauer	Gesteinskörper der wasserundurchlässig ist (Syn.: GW.-nichtleiter)
Grundwasserstockwerk	GW.-leiter einschließlich seiner unteren Begrenzung (→ GW.-Stauer) als Betrachtungseinheit innerhalb der senkrechten Gliederung der Erdrinde
Grus (Gesteinsgrus)	eckiges Schuttmaterial von Sand- bis Feinkiesgröße, das sich bei der physikalischen Verwitterung aus körnigen Gesteinen bildet
Hangend	→ Hangendes
Hangendes	das eine Bezugsschicht überlagernde Gestein, die zu einer Bezugsschicht geologisch jüngere Einheit
Hangwasser	oberflächennaher unterirdischer Abfluß (Interflow)
Haßberge	nordwestlicher Landschaftsteil des Fränkischen Keuper-Lias-Lands
Hauptmuschelkalk	stratigraphische Bezeichnung, Stufe der Abteilung Muschelkalk (Syn.: Oberer Muschelkalk)
Härtling	aufgrund seiner Widerstandsfähigkeit gegenüber Abtragung und Verwitterung über seine Umgebung herausragender Einzelberg
Heilwasser	Wässer aus Heilquellen, die medizinisch nachgewiesen krankheitsheilende, -lindernde oder -verhütende Eigenschaften haben

herzynisch	SE-NW-verlaufend (v.a. für Verwerfungen verwendet)
Hesselbacher Waldland	hügeliges Teilgebiet der Mainfränkischen Platten, nördlich Schweinfurt (Syn.: Schweinfurter Rhön)
Hochrhön	nordöstlicher Anteil der Rhön (Syn.: Lange Rhön)
Hohlraumvolumen	Quotient aus dem Volumen aller Hohlräume eines Gesteinskörpers und dessen Gesamtvolumen (Syn.: Hohlraumanteil)
Holozän	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Quartärs
Hornfels	dichtes feinkörniges kontaktmetamorphes Gestein des inneren Kontakthofes
Horst	ein von Verwerfungen begrenzter, gegenüber den Nachbarschollen gehobener oder bei deren Absenkung stehengebliebener Krustenteil
Höffigkeit	voraussichtlich auf Dauer nutzbare Grundwassermenge je Zeiteinheit (Erfahrungswert)
Hydraulik	Wissenschaft von den Strömungen der Flüssigkeiten
Hydro..., hydro...	in Zusammenhang mit Wasser stehend (z.B. Hydrochemie, Hydrogeologie etc.)
Hydrogenkarbonat	doppeltkohlenstoffsaures Salz mit Säurewasserstoffrest [HCO_3^-]
Hydrogensulfide	saure Salze des Schwefelwasserstoffs, bei dem ein Wasserstoff durch Metall ersetzt ist
Hydrogeochemie	Teilgebiet der Chemie das sich mit Grundwasserfragen beschäftigt
Hydrogeologie	Teilgebiet der Angewandten Geologie, Lehre von den Erscheinungen des Wassers in der Erdkruste
Hydrologie	Wissenschaft vom Wasser, seinen Eigenschaften und seinen Erscheinungsformen auf und unter der Landoberfläche
Hydronium-Ion	H_3O^+
Infiltrat	→ Infiltration
Infiltration	Zugang von Wasser in die Erdkruste
Interflow	oberflächennaher unterirdischer Abfluß
intermittierend	zeitweilig aussetzend
Ionenbilanz	Bilanz der Äquivalentkonzentrationen der Anionen und Kationen einer chemischen Analyse
Isolinie	Sammelbezeichnung für Linien gleicher Wertigkeit
Jahresreihe	Beobachtungszeitraum in Jahren
Jungpleistozän	stratigraphische Bezeichnung, Unterteilung der Abteilung Pleistozän (Quartär)
Jungtertiär	stratigraphische Bezeichnung, Unterteilung der Formation Tertiär (Syn.: Neogen)
Jura	stratigraphische Bezeichnung, System im Mesozoikum
jurassisch	→ Jura (Adjektiv)
Kaledonisch	Bezeichnung für Gebirgsbildungs- bzw. Faltungsära im Zeitraum zwischen Oberkambrium und Unterdevon
Kalisalze	natürliche Salze, die Kalium enthalten
Kalium	metallisches, stets einwertiges Element der 1. Hauptgruppe des Periodensystems (K^+)
Kalium-Argon-Methode	Bestimmungsmethode für das Alter von Gesteinen unter der Benutzung des Mengenverhältnisses des radioaktiven Kalium Isotops ^{40}K und seines Zerfallsproduktes ^{40}Ar

Kaliumpermanganat	KMnO ₄ , Oxidationsmittel; liefert bei der Wasseranalytik Hinweise auf Anteil organischer Inhaltsstoffe aber auch auf andere reduzierbare Stoffe (z.B. Nitrit)
Kaliumpermanganatverbrauch	Maßzahl für den Gehalt des Wassers an Stoffen, die durch KMnO ₄ angreifbar sind
Kalkaggressivität	über das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht hinausgehende freie Kohlensäure mit angreifenden Eigenschaften für Bau- und Werkstoffe
Kambrium	stratigraphische Bezeichnung, Formation im Paläozoikum
Kaolinisierung	Bildung von Kaolinit (Aluminiumhydroxysilikat) durch Verwitterung oder durch thermische Zersetzung aluminiumreicher Gesteine
Karbon	stratigraphische Bezeichnung, Formation im Paläozoikum
Karbonate	1. Salze der Kohlensäure 2. Karbonatgesteine (z.B. Kalkstein, Dolomit etc.)
Karbonathärte	Gehalt an Hydrogenkarbonaten, aller Kationen, insbesondere der Erdalkalien und Alkalien
Karsterscheinungen	Folgen der Auswaschung (Lösung, Auslaugung) leicht löslicher und stark zerklüfteter Gesteine (v.a. Kalk und Gips) durch Grundwasser oder oberirdisch abfließendes Wasser
Karstgrundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit durch Verkarstung erweiterten Trennfugen, Gerinnen und/oder Höhlen
Kationen	Ionen, die in wässriger Lösung, unter dem Einfluß des elektrischen Stroms zur Kathode (Minus-Pol) wandern, da sie positiv geladen sind
Känozoikum	stratigraphische Bezeichnung, Zeitalter (Syn.: Neozoikum, "Erdneuzeit")
Keuper	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung der Trias
k _f -Wert	→ Durchlässigkeitsbeiwert
klastisch	Bezeichnung für Sedimente, deren Material aus der mechanischen Zerstörung anderer Gesteine stammt (Trümmergestein)
Kluft	eine das Gestein und die Schichtung meist ebenflächig durchsetzende Fuge
Kluftgestein	→ Festgestein
Kluftgrundwasserleiter	Grundwasserleiter dessen durchflußwirksamer Hohlraumanteil überwiegend aus Klüften und anderen Trennfugen gebildet wird
Kluftvolumen	gesamter Hohlraum der Klüfte eines Gesteinskörpers
Konglomerat	diagenetisch verfestigter Schotter, dessen Geröllkomponenten deutlich zugerundet sind
Kontaktmetamorphose	Berührung der Gesteine mit aufsteigendem heißen Magma
Kreide	stratigraphische Bezeichnung, System im Mesozoikum
kretazisch	→ Kreide (Adjektiv)
Kristallin	hier im allgemeinen Sammelbegriff für Metamorphite und Magmatite
Kryoturbation	unregelmäßige Verfaltungen oder schlierig-gekröseartige Verknetungen oberflächennaher Bodenschichten (Zeugen periglazialer Klimateinwirkungen; Syn.: Brodel- oder Würgeboden)
Lehrbergschichten	Schichtbezeichnung des Mittleren Keupers
Lettenkohle	kohlige Einlagerungen im Unteren Keuper
Lias	stratigraphische Bezeichnung (Abteilung des Jura; "Schwarzer Jura")
Liegendes	eine Bezugsschicht unterlagerndes Gestein, geologisch älter als die Bezugsschicht (Syn.: Liegendschichten)

limnisch	Bezeichnung für Vorgänge, Produkte und Ablagerungen in Süßwasserseen
Lithofazies	Gesamtheit der anorganogenen Charakteristika eines Gesteins (Syn.: Petrofazies)
Lithologie	Gesteinskunde
lithostatischer Druck	Auflast durch die überlagernde Gesteinssäule
Lockergestein	ein Gestein in dem die Poren hydraulisch wirksame Räume bilden
Lösungsfracht	besser: 'Gehalt an gelösten Stoffen': Quotient aus der Masse der gelösten Stoffe und dem Volumen des Wassers [mg/l]
Löß	gelbes bis gelbbraunes, poröses, äolisches Staubsediment
Lysimeter	Gerät zur Messung der Durchsickerung
Magma	Masse teilweise oder vollkommen geschmolzener Silikate mit gelösten Gasen, die aus der Tiefe empordringen
Magmatite	aus Magma entstandene Gesteine
Magnesium	zweiwertiges metallisches Element der 2. Hauptgruppe des Periodensystems (Mg^{2+})
Malm	stratigraphische Bezeichnung (Abteilung des Jura; "Weißer Jura")
Mangan	metallisches Element mit verschiedenen Wertigkeiten (meist II-, IV- und VII-wertig) der 7. Nebengruppe des Periodensystems (z.B. Mn^{2+})
Massenfazies	massige Ausbildung von Gesteinen
Mächtigkeit	Dicke eines Gesteinspaketes bzw. eines grundwassererfüllten Körpers etc.
M.E.	Mache-Einheit: 1 M.E. ist 1/1000 derjenigen Radonmenge in 1 Liter Wasser, die durch ihre Alphastrahlung bei 15 °C und 101,3 kPa (= 760 Torr) durch Ionisation der Gasmoleküle eines geschlossenen Raumes in der Sekunde die Ladungsmenge einer elektrostatischen Einheit freisetzt. (1 M.E. = 0,364 Nanocurie/Liter [nCi/l] = 13,5 Becquerel/Liter [Bq/l])
Melaphyr	grünschwärzes bis schwarzes Ergußgestein mit wenig über 50 % Kieselsäure
Mergel	Sedimentgestein, Gemenge aus Ton und Kalk
Mesozoikum	stratigraphische Bezeichnung, Zeitalter
mesozoisch	→ Mesozoikum (Adjektiv)
Meßtischblatt	Topographische Karte 1:25.000; → Gradabteilungsblatt
Metamorphose	Umwandlung eines Gesteines in ein anderes, bewirkt durch Temperatur- und Druckveränderungen
Metamorphite	durch Metamorphose entstandene Gesteine
Mineralisation	Gehalt an gelösten Stoffen, → Lösungsfracht
Mineralquelle	eine Quelle, die Mineralwasser schüttet
Mineralstoffe	gelöste Feststoffe ('Salze')
Mineralwasser	natürliches Wasser mit mindestens 1.000 mg gelösten Stoffen in 1 kg Wasser oder mindestens 250 mg freies CO_2 in 1 kg Wasser
Miozän	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Tertiärs
Mittelkambrium	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Kambriums
Mittelwasserstand	arithmetischer Mittelwert der Wasserstände
Morphologie	hier im allgemeinen: Oberflächengestalt
Münchberger Gneismasse	geologische Bezeichnung für die Münchberger Hochfläche

Muschelkalk	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung der Trias
Myophorienschichten	hier: Schichtbezeichnung des Mittleren Keupers <i>(Anmerkung: nach Myophorien benannte Schichtglieder kommen in allen drei Abteilungen der Trias vor. [z.B. die Myophorien-Folge im Oberen Buntsandstein])</i>
Natrium	einwertiges metallisches Element der 1. Hauptgruppe des Periodensystems, Alkalimetall (Na^+)
Naturräume	Gebiete mit gleichartigen ökologischen Ausstattungen
Niedrigwasserabfluß	unterer Grenzwert der Abflüsse
Nitrat	einwertiges Anion (NO_3^-), → Nitrate
Nitrate	Salze der Salpetersäure
Nitrit	einwertiges Anion (NO_2^-), → Nitrite
Nitrite	Salze der Salpetrigen Säure
Numismalis-Mergel	Schichtbezeichnung des Lias
Numismalis-Schichten	→ Numismalis-Mergel
Obereozän	stratigraphische Bezeichnung, eigentlich: Oberes Eozän; Untergliederung der Abteilung Eozän der Formation Tertiär
Oberflächenabfluß	Teil des Abflusses der oberirdisch dem Vorfluter zufließt, ohne in den Boden eingedrungen zu sein
Oberkambrium	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Kambriums
Oberkarbon	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Karbons
Oberkreide	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung der Kreide
Oberpliozän	stratigraphische Bezeichnung, eigentlich: Oberes Pliozän; Untergliederung der Abteilung Pliozän der Formation Tertiär
oberstrom	flußaufwärts
Ockerkalk	gelblich verwitterndes Kalkgestein
Odenwaldkristallin	Anteil des Odenwalds, in dem das Kristallin ausbeißt
Oligozän	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Tertiärs
Ooid	kugelförmiger Körper, bei dem sich um ein Fremdteilchen konzentrische Schalen abgeschieden haben (Gestein: Oolith)
Opalinuston	Schichtbezeichnung des Doggers
Orbicularis-Schichten	Schichtbezeichnung des (Unteren) Muschelkalks
ordovizisch	→ Ordovizium (Adjektiv)
Ordovizium	stratigraphische Bezeichnung, Formation des Paläozoikums
Ornatenton	Schichtbezeichnung des Doggers
Orogenese	Gebirgsbildung
orohydrographisch	gebirgs- und wasserlaufbeschreibend
Orthogneis	aus Magmatit hervorgegangener Gneis
Ostracodenton	Schichtbezeichnung des (Oberen) Muschelkalks
Oxidierbarkeit	hier: Oxidierbarkeit des Wassers; → Kaliumpermanganat-Verbrauch
Paläogeographie	Erfassung des geographisch-morphologischen Bildes einzelner Zeitabschnitte der Erdgeschichte
Paläokarst	verkarstete Gesteinsschicht, bei der nur eine Verkarstung in geologisch vergangener Zeit nachweisbar ist. (Syn.: "fossiler Karst")
Paläorelief	Relief eines Gebietes in geologisch vergangener Zeit

Paläozoikum	stratigraphische Bezeichnung, Zeitalter ("Erdaltertum"); Adjektiv: paläozoisch
Pegel	Anlage zum Messen des Wasserstandes
Pegelbohrung	Grundwasser(stands)-Meßstelle
pelitisch	feinklastisch (feinkörniges Trümmergestein)
Perm	stratigraphische Bezeichnung, Formation des Paläozoikums
Permafrost	Dauerfrost
Permeabilität	Durchlässigkeit von Gesteinen für Flüssigkeiten oder Gase
Permotrias	stratigraphische Bezeichnung; Übergangsbereich Perm — Trias
Petrographie	Gesteinskunde
Phosphate	Salze der Orthophosphorsäure
pH-Wert	Maßzahl für die Wasserstoffionen-Konzentration zur Kennzeichnung der Reaktion eines Wassers
Phyllit	seidig glänzender, feinblättriger kristalliner Schiefer
Piper-Diagramm	Kombination von Dreieck- und Viereck-Diagrammen zur Charakterisierung und Typisierung von Wässern
Plattenkalk	Faziesbeschreibung eines Kalksteins
Plattensandstein	Schichtbezeichnung des (Oberen) Buntsandsteins
Pleistozän	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Quartärs
Pliozän	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Tertiärs
Plutonit	in der Tiefe der Erdkruste erstarrtes Gestein
Porengrundwasser	Grundwasser im Locker- oder Festgestein dessen durchflußwirksamer Hohlraumanteil überwiegend aus Poren gebildet wird
Porenraum	Gesamtheit aller Hohlräume eines Lockergesteins
Porenvolumen	→ Porenraum
Porenwasser	im Porenraum zirkulierende Wässer
Porosität	besser 'Gesamtporosität' oder 'absolute Porosität': Anteil des Porenvolumens am Gesamtvolumen
Posidonienschichten	hier: Schichtbezeichnung des Lias
Potentialgefälle	hier: hydraulisches Potentialgefälle: Differenz verschieden hoher hydraulischer Potentiale (z.B. Neigung der Grundwasseroberfläche) (Syn.: hydraulischer Gradient)
Präkambrium	stratigraphische Bezeichnung für gesamten Zeitraum vor dem Kambrium; Adjektiv: präkambrisch
Puffer	Substanzen oder Substanzgemische, die Wasserstoff- oder Hydroxylionen binden können, ohne daß sich die Reaktion ihrer Lösung wesentlich verschiebt
Pumpversuch	Probepumpen zur Erkundung der Leistungscharakteristik einer Wasserbohrung
Quartär	stratigraphische Bezeichnung, Formation des Känozoikums
Quarzit	fast nur aus Quarz bestehendes metamorphes Gestein; (z.T. auch für kieselig gebundene Sedimente verwendet)
Quarzporphyr	häufig rötliches oder graues Ergußgestein, in dessen Grundmasse freier Quarz erkennbar ist
Quellfassung	Erschließungsmaßnahme, um Quellwasser einer Nutzung zuzuführen
Quellhorizont	horizontgebundenes Austreten von Quellen

Quelltopf	in topfartiger wassererfüllter Hohlform austretende Karstquelle
Quelltyp	Typisierung verschiedener Quellaustritte (z.B. Schichtquelle, Stauquelle, Spaltenquelle etc.)
Quellweiher	in Weiher austretende Karstquelle (ähnlich Quelltopf)
Radon	farb- und geruchloses Edelgas (Rn)
Regnitzgebiet	zur Regnitz hin entwässerndes Gebiet
Residual... (R.)	z.B. R.-schluff, R.-ton; nicht verwitterbares oder auslaugbares Material (Syn.: Rückstands...)
Retention	Abflußhemmung und -verzögerung (Syn.: Rückhalt)
rezent	Bezeichnung für Lebewesen oder Bildungen der Gegenwart
Rhät	stratigraphische Bezeichnung; Stufe der Abteilung Keuper (Syn.: Oberer Keuper)
Rhätlias	Übergangsbereich vom Rhät zum Lias; stratigraphische Bezeichnung (Syn.: Rhätolias)
Rhätsandstein	Verknüpfung von Lithofazies und Zeitangabe (zur Unterscheidung von den Rhättonen)
Rohwasser	nicht aufbereitetes Wasser
Rotliegendes	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Perm
Röt	stratigraphische Bezeichnung; Stufe der Abteilung Buntsandstein (Syn.: Oberer Buntsandstein)
Rötquarzit	Schichtbezeichnung des Oberen Buntsandsteins
Röttone	Schichtbezeichnung des Oberen Buntsandsteins
Rumpffläche	durch Verwitterung und Abtragung in Zeiten tektonischer Ruhe entstandene, mehr oder weniger ausdruckslose wellige Ebene (Syn.: Fastebene)
Rückhaltevermögen	Fähigkeit zur Abflußhemmung; → Retention
Salinar	Gesteinskomplex, der überwiegend aus Salzgesteinen besteht
Sauerstoffdefizit	Fehlbetrag an Sauerstoff im Wasser gegenüber der Sauerstoffsättigung
Sauerstoffsättigung	Höchstmenge des gelösten Sauerstoffs, die im Wasser bei Gleichgewicht zwischen Luftsauerstoff und im Wasser gelösten Sauerstoff in Abhängigkeit von Temperatur, Druck und gelösten Stoffen enthalten sein kann [mg/l]
Sauerstoff-Sättigungsindex	Sauerstoffgehalt in Prozent der Sauerstoffsättigung
Säuerling	Mineralwasser mit einem natürlichen Gehalt von mindestens 1.000 mg CO ₂ in 1 kg Wasser (Syn.: Sauerbrunnen)
Schaumkalkbänke	Schichtbezeichnung des Unteren Muschelkalks
Scherbeanspruchung	Gesteinsverformung, bei der das Gestein zerlegt und zerschoben wird, ohne seinen Zusammenhang im Ganzen zu verlieren
Schichtquelle	Quelle, die an der Grenze durchlässiger gegen unterlagernde, weniger durchlässige Schichten auftritt
Schilfsandstein	Schichtbezeichnung des Mittleren Keupers
Schluff	Mineralkörnchen von 0,06–0,002 mm Durchmesser
Schüttung	Abfluß (einer Quelle) [l/s, m ³ /s]
Schwefelwasserstoff	farbloses, stark giftiges Gas, das ähnlich wie faule Eier riecht, H ₂ S
Schwerspat	BaSO ₄ , Mineral mit nichtmetallischem Glanz und relativ hoher Dichte (ca. 4,5)(Syn.: Baryt)

Selen	nichtmetallisches Element der 4. Hauptgruppe des Periodensystems, II-, IV- und VI-wertig, bildet metallische Modifikationen (chem. Zeichen Se)
Sickergalerie	hier: Drainagen zum Abfangen des Sickerwassers
Sickerwasser	Unterirdisches Wasser, das sich durch den wasser-ungesättigten Bereich, durch das Überwiegen der Schwerkraft abwärts bewegt
Silikate	Verbindungen von Siliziumdioxid mit basischen Oxiden
Silur	stratigraphische Bezeichnung, Formation im Paläozoikum
Solifluktion	→ Bodenfließen
Sondierungsbohrung	hier: geotechnische Erkundungsbohrung
Sorption	Aufnahme eines gasförmigen oder gelösten Stoffes von einer festen oder flüssigen Substanz an deren Oberfläche oder in ihrem Inneren
Spaltenquelle	Quellen die an Spalten oder Klüften austreten
Speichergestein	Grundwasserkörper mit ausreichendem Hohlräumvolumen, die eine Speicherung des neugebildeten Grundwassers erlaubt
spezifische Ergiebigkeit	Verhältnis der Förderleistung zur Absenkung im Brunnen (Syn.: spezifische Leistung)
Sprunghöhe	Größe der Vertikalkomponente des Verwerfungsbetrages an einem tektonischen Sprung
Spurenelement	Elemente, die in der Regel nur in Spuren vorkommen, aber im Naturhaushalt bereits in sehr geringen Konzentrationen eine wichtige Rolle spielen können
Stauquelle	Quellentyp, der auf schlecht durchlässige Einlagerungen im Grundwasserleiter und/oder auf eine Verengung des Durchflußquerschnittes (Eintalung oder Verwerfung) zurückzuführen ist
Steigerwald	Landschaftsteil des Fränkischen Keuper-Lias-Landes, südlich des Maintals
Steinsalz	gesteinsbildendes Mineral, NaCl
Störung	tektonischer Vorgang, der die ursprüngliche Lagerung eines Krustenteils verändert
Stratigraphie	Teilgebiet der Geologie, das sich mit der Aufeinanderfolge der Schichten und Formationen, ihrem Gesteins- und Fossilinhalt beschäftigt
Streichen	1. Richtung (Himmelsrichtung oder Gradangabe) der Horizontalen auf einer geneigten Fläche 2. im Text häufig 'streicht aus'; → Ausstrich
Stylolith	zylindrischer, an den Seiten längs geriefter Vorsprung, mit dem eine Kalkschicht in die angrenzende eingreift; (Drucklösungserscheinung)
Subsurface-Abfluß	Abfluß im Bereich der Verwitterungsdecke
Sulfat	zweiwertiges Anion, SO_4^{2-}
Sulfate	Salze der Schwefelsäure, die entstehen, wenn eines oder beide H-Ionen des H_2SO_4 -Moleküls durch Metallionen ersetzt werden
'Sulfathärte'	durch Sulfat, Chlorid und/oder Nitrat erzeugte Wasserhärte (Syn.: permanente Härte, 'Gipshärte', Nichtkarbonathärte)
Sulfid	Verbindung aus Schwefel und stärker elektropositiven Stoffen (meist Metalle), die als Salze des Schwefelwasserstoffs aufgefaßt werden können
Tektonik	Lehre vom Bau der Erdkruste und den Bewegungen und Kräften, die sie erzeugt haben

Tertiär	stratigraphische Bezeichnung, Formation im Känozoikum
Tiefengrundwasser	Wässer, die länger als menschlich historische Zeiten im Untergrund geblieben sind, also nicht am Wasserkreislauf beteiligt sind (Syn.: Tiefe Grundwasser, Tiefenwasser)
Tiefenwasser	→ Tiefengrundwasser
Titration	zur Durchführung einer maßanalytischen Bestimmung notwendiges Arbeitsverfahren; mittels Titerlösung (Maßlösung) wird die unbekannte Konzentration der Untersuchungsflüssigkeit bestimmt (Verb: titrieren)
Topographie	Beschreibung und Darstellung geographischer Örtlichkeiten
Transmissivität	Integral der Durchlässigkeit über die Grundwassermächtigkeit
Trias	stratigraphische Bezeichnung, Formation im Mesozoikum
Trinkwasserschutzgebiete	Gebiete, die zum qualitativen Schutz des Trinkwassers ausgewiesen werden
Trockenwetterabfluß	Abfluß in niederschlagsarmer Zeit, der den natürlichen ober- und unterirdischen Speicherräumen des Einzugsgebietes entstammt
Tuff	Gestein aus verfestigten vulkanischen Lockerprodukten
Tuffit	mit nichtvulkanischem Material vermengter Tuff
Übertage	an der Erdoberfläche
Uferfiltrat	Wasser, das aus oberirdischen Gewässern in die Erde eindringt (ausgenommen durch Versickerung)
Uferfiltration	Vorgang der Entstehung von Uferfiltrat
Umlaufberg	ein von der Flußerosion übriggelassener Berg in mitten eines Tales, der aus dem Sporn eines ehemaligen Talmeanders entstanden ist
Unterdevon	Stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Devon
Unterkarbon	Stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Karbon
Unterkreide	Stratigraphische Bezeichnung, Abteilung der Kreide
Untermiozän	Stratigraphische Bezeichnung, Untergliederung der Abteilung Miozän
Unterperm	Stratigraphische Bezeichnung, Untergliederung der Abteilung 'Rotliegendes'
unterstrom	flußabwärts
Varistikum	während der Variszischen Ära, deren Hauptphasen in Mitteleuropa zwischen dem Unter- und Oberkarbon stattfand, aufgefaltetes Gebirge (Syn.: Varisziden, Variszisches Gebirge)
Vergrusung	Vorgang der Bildung von Gesteinsgrus (→ Grus)
Verkarstung	Vorgang der Entstehung von Karsterscheinungen
Verweildauer	Zeitspanne, die ein Wasser zwischen der Versickerung und der Förderung im Untergrund verweilt (Syn.: Verweilzeit)
Verwerfung	Bruch, Sprung
Vindelizisches Land	Landscheide, die während der Triaszeit von der Böhmisches Masse über das Gebiet des heutigen Bodensees bis in die Westalpen verlief
Vollanalyse	Bestimmung aller Hauptionen, sodaß es möglich ist, eine Ionenbilanz zu erstellen
Volldünger	Dünger mit breitem Mineralstoffspektrum
Vorflut	Möglichkeit des Wassers, mit natürlichem Gefälle oder durch künstliche Hebung abzufließen
Vorfluter	der Vorflut dienendes Gewässer

Vorspessart	nordwestliches Teilgebiet des Spessarts (Kristallin-Ausstrich)(Syn.: Vorderer Spessart)
Vulkanit	vulkanisches Gestein
Vulkanismus	Gesamtbegriff für Vulkanische und subvulkanische Tätigkeit
Wasserhaltung	technische Maßnahme zur Regulierung von Oberflächen- und Grundwasserständen
Wasserhaushaltsgleichung	$N = A + V$ (Niederschlag = Verdunstung + Abfluß; nur für längeren Zeitraum mit längeren Mittelwerten gültig) (Syn.: Wasserbilanz-Gleichung, hydrologische Grundgleichung)
Wassermolekül	das Wassermolekül besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom; dabei sind die Wasserstoffatomkerne asymmetrisch zu den Elektronen und dem Sauerstoff-Atomkern angeordnet
Wasserscheide	Grenze zwischen Einzugsgebieten
Weißliegendes	stratigraphische Bezeichnung, Übergangsbereich Rotliegendes – mariner Zechstein
Wellenkalk	stratigraphische Bezeichnung, Stufe der Abteilung Muschelkalk
Werksandstein	Schichtbezeichnung des Unteren Keupers
Zechstein	stratigraphische Bezeichnung, Abteilung des Perm
Zeitreihe	Beobachtungszeitraum, (→ Jahresreihe)
Zellenkalk	zellig-poröser Kalkstein
Zersatz	→ Grus (Gesteinsgrus)
Zwischenabfluß	→ Interflow

Anhang 2: Liste der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen 1 – 53

- Abb. 1 Übersicht zur regionalen Bearbeitung
- Abb. 1a Übersicht zur naturräumlichen Gliederung
- Abb. 2 Geologische Übersichtskarte mit Bilanzraumgrenzen
- Abb. 3 Tektonische Übersichtskarte
- Abb. 4 Bezeichnung tektonischer Großstrukturen
- Abb. 5-10 Geologisch-hydrogeologische Profile:
 - Abb. 5 Rhön — Grabfeld (1)
 - Abb. 6 Aschaffener Becken — Spessart — Südrhön — Grabfeld (2)
 - Abb. 7 Odenwald — Spessart — Marktheidenfelder Gäuplatte (3)
 - Abb. 8 Mainfränkische Platten — Hesselbacher Waldland — Haßberge — Fränkische Alb — Bruchschollenland — Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (4)
 - Abb. 9 Südrhön — Mainfränkische Platten — Steigerwaldrand (5)
 - Abb. 10 Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (6)
- Abb. 11 Geologisch-hydrogeologisches Detailprofil Nordspessart
- Abb. 12 Ausgewählte Schnitte durch das Maintalquartär zwischen Kahl a. M. und Karlstadt
- Abb. 13 Ausgewählte Schnitte durch das Maintalquartär zwischen Karlstadt und Burgkunstadt
- Abb. 14 Hydrogeologischer Zusammenhang zwischen dem Maintalquartär und einem durchlässigen Festgesteinsrahmen
- Abb. 15 Hydrogeologischer Zusammenhang zwischen dem Maintalquartär und einem weitgehend undurchlässigen Festgesteinsrahmen
- Abb. 16 Grundwasserhöhengleichen eines Mittelwassers in den jungpleistozänen Mainablagerungen zwischen Haßfurt und Stammheim
- Abb. 17 Grundwasserhöhengleichen eines mittleren Hochwassers in den jungpleistozänen Mainablagerungen zwischen Haßfurt und Stammheim
- Abb. 18 Grundwassermächtigkeit in den quartären Mainsedimenten am Obermain
- Abb. 19 Wassermengen der aus dem Maintalquartär fördernden Wassererschließungen
- Abb. 20 Schematischer Schnitt durch die Wassergewinnungsanlage Weyer (Rhön-Maintal-Gruppe)
- Abb. 21 Typisierung nach FURTA & LANGGUTH (1967)
- Abb. 22 Wässer aus dem Kristallin (vorw. Fichtelgebirge — Münchberger Gneismasse)
- Abb. 23 Wässer aus dem Unterkarbon
- Abb. 24 Wässer aus dem Rotliegenden
- Abb. 25 Wässer aus dem Unteren Buntsandstein
- Abb. 26 Wässer aus dem Mittleren Buntsandstein
- Abb. 27 Wässer aus dem Oberen Buntsandstein
- Abb. 28 Wässer aus dem Unteren Muschelkalk
- Abb. 29 Wässer aus dem Mittleren Muschelkalk
- Abb. 30 Wässer aus dem Oberen Muschelkalk
- Abb. 31 Mischwässer aus Oberem und Mittlerem Muschelkalk
- Abb. 32 Wässer aus dem Unteren Keuper sowie Mischwässer aus Oberem Muschelkalk und Unteren Keuper
- Abb. 33 Wässer aus dem Gipskeuper
- Abb. 34 Wässer aus dem Sandsteinkeuper
- Abb. 35 Wässer aus dem Sandsteinkeuper mit erhöhter Alkalien-Konzentration
- Abb. 36 Wässer aus dem Rhät bzw. Lias
- Abb. 37 Wässer aus dem Dogger
- Abb. 38 Wässer aus dem Malm

Abb. 39	Wässer aus den tertiären Vulkaniten der Rhön
Abb. 40	Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Roßstadt und Haßfurt (Gipskeuper)
Abb. 41	Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Haßfurt und Würzburg (Muschelkalk — Unterer Keuper)
Abb. 42	Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Karlstadt und Obernburg (Buntsandstein)
Abb. 43	Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Obernburg und Alzenau i. Ufr.
Abb. 44	Hydrogeologische Grundkarte
Abb. 45	Sulfatgehalte im Maingebiet
Abb. 46	Chloridgehalte im Maingebiet
Abb. 47	Nitratgehalte im Maingebiet
Abb. 48	Elektrische Leitfähigkeit im Maingebiet
Abb. 49	ph-Werte im Maingebiet
Abb. 50	Ergiebigkeiten im Maingebiet
Abb. 51	Grundwasserneubildungsraten im Planungsgebiet
Abb. 52	Übersicht ergiebiger Grundwasservorkommen im Planungsgebiet
Abb. 53	Mineral- und Thermalwässer im Maingebiet

Tabellen 1 – 19

Tab. 1a/b	Übersicht der naturräumlichen Gliederung
Tab. 2	Geologisch-hydrogeologische Übersicht der paläozoischen Gesteine im Planungsgebiet
Tab. 3a/b	Geologisch-hydrogeologische Übersicht der permischen und triassischen Schichtenfolge im Planungsgebiet
Tab. 4	Geologisch-hydrogeologische Übersicht der jurassischen und kretazischen Schichtenfolge im Planungsgebiet
Tab. 5	Das Gefälleverhalten der Flüsse und größeren Bäche im Planungsgebiet
Tab. 6	Bilanzraumübersicht
Tab. 7	Durchlässigkeitsbeiwerte im Buntsandstein (berechnet nach Pumpversuchsdaten)
Tab. 8	Durchlässigkeitsbeiwerte in den Ablagerungen des Maintalquartärs
Tab. 9	Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum I Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland
Tab. 10	Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum II Coburger Land
Tab. 11	Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum III Mittelmain
Tab. 12	Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum IV Sinn-Saale Gebiet
Tab. 13	Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum V Spessart
Tab. 14	Gegenüberstellung verschiedener Methoden zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge
Tab. 15	Bedeutende Gewinnungsanlagen aus dem Grundwasserleiter des Muschelkalks im Bilanzraum III Mittelmain
Tab. 16a/b/c	Mineral- und Thermalwässer im Planungsgebiet
Tab. 17a/b/c	Übersicht der hydrochemischen Beschaffenheit der Grundwässer
Tab. 18	Stratigraphische Tabelle
Tab. 19	Stratigraphische Untergliederung der Trias

Tabellen 1 - 19

- Tab. 1a, 1b,** Übersicht der naturräumlichen Gliederung
- Tab. 2** Geologisch-hydrogeologische Übersicht der paläozoischen Gesteine im Planungsgebiet
- Tab. 3a, 3b,** Geologisch-hydrogeologische Übersicht der permischen und triassischen Schichtenfolge im Planungsgebiet
- Tab. 4** Geologisch-hydrogeologische Übersicht der jurassischen und kretazischen Schichtenfolge im Planungsgebiet
- Tab. 5** Das Gefälleverhalten der Flüsse und größeren Bäche im Planungsgebiet
- Tab. 6** Bilanzraumübersicht
- Tab. 7** Durchlässigkeitsbeiwerte im Buntsandstein (berechnet nach Pumpversuchstaten)
- Tab. 8** Durchlässigkeitsbeiwerte in den Ablagerungen des Maintalquartärs
- Tab. 9** Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum I Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland
- Tab. 10** Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum II Coburger Land
- Tab. 11** Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum III Mittelmain
- Tab. 12** Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum IV Sinn-Saale Gebiet
- Tab. 13** Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum V Spessart
- Tab. 14** Gegenüberstellung verschiedener Methoden zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge
- Tab. 15** Bedeutende Gewinnungsanlagen aus dem Grundwasserleiter des Muschelkalks im Bilanzraum III Mittelmain
- Tab. 16a, 16b, 16c,** Mineral- und Thermalwässer im Planungsgebiet
- Tab. 17a, 17b, 17c,** Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwasserleiter im Planungsraum (FURTAK & LANGGUTH)
- Tab. 18** Startigraphische Tabelle
- Tab. 19** Stratigraphische Untergliederung der Trias

Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Main
Hydrogeologie

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen und Tabellen

Tab. 1a Übersicht der naturräumlichen Gliederung

Tab. 1a

	Gruppen naturräumlicher Haupteinheiten (geogr. Bezeichnung)	Thüringisch - Fränkisches Mittelgebirge	Obermain - Hügelland mit Südl. Thüringer Wald - Vorland =(TH.V.)	Fränkisches Keuper-Lias-Land (incl. Albvorland = AV.)	Fränkische Alb	Mainfränkische Platten
	Lage vorwiegend bzw. untergeordnet () in Bilanzraum	"Altes Gebirge und Bruchschollenland"	"Altes Gebirge und Bruchschollenland" TH.V.: "Coburger Land"	"Coburger Land"; ("Gäufläche und Mittelmain") (AV.: "Nördliche Frankenalb")	"Nördliche Frankenalb" ("Coburger Land" u. "Altes Gebirge und Bruchschollenland")	"Gäufläche und Mittelmain", "Sinn-Saale-Gebiet" ("Coburger Land", "Spessart")
G e o l o g i e	Beschaffenheit der oberflächlich austretenden Gesteine	Schiefer, Konglomerate, Quarzite, Sandsteine, Kalksteine; metamorphe Gesteine, Granite des Paläozoikums (z. T. auch des Präkambriums)	Schluff-, Ton- und Sandsteine, sowie Kalk-, Mergel- und Dolomitgesteine der Trias und des Juras	Tonsteine mit gelegentlichen Gips- und Anhydriteinschaltungen, Sandschiefer und Sandsteine des Keupers Überwiegend sandig-tonige Abfolgen des Lias und Doggers	Kalk- und Dolomitsteine, Mergel des Malms; sandige bis tonige Sedimente der Kreide	tonige Abfolgen mit Gips und Anhydriteinschaltungen des Gipskeupers Überwiegend sandig-tonige Abfolgen des Unteren Keupers Kalk- und Tonstein-Wechselfolgen mit Gips- Anhydrit- und Salzeinschaltungen des Muschelkalks
	Beschaffenheit der Deckschichten	<u>überwiegend:</u> grusig-sandig-tonige Decken (aus dem Anstehenden) mit höherem bis sehr hohem Schuttanteil (Verwitterungsdecken) <u>gelegentlich:</u> geringmächtige parautochthone Decken aus paläozoischen Sedimenten und kristallinen Gesteinen	grusig-sandig-tonige Decken (aus dem Anstehenden) mit höherem Schuttanteil (Verwitterungslehme), geringmächtige parautochthone Decken aus Kalk-, Sand- und Tonstein, ältere Terrassen	<u>überwiegend:</u> tonig-schluffige Decken mit schwankenden Schuttanteilen untergeordnet: geringmächtige parautochthone Decken aus Sand- und Tonsteinen, Löss bzw. Lösslehm, Terrassen	<u>Hochfläche:</u> gering mächtige parautochthone Decken aus Kalk- und Sandstein, Löss u. Lösslehm <u>Randbereiche und Täler:</u> Schutt mit sandigen bis tonigen Zwischenmitteln (aus dem Anstehenden)	<u>im Südosten:</u> überwiegend Löss und Lösslehm <u>im Muschelkalkausstrich:</u> geringmächtige parautochthone Decken <u>übrige Bereiche:</u> tonig-schluffige Decken mit wechselndem Schuttanteil (aus dem Anstehenden)
M o r p h o l o g i e	Höhe über NN - Min.-Max. mittlere Höhe	~ 400 - 1000 m Ø 500 - 700 m	~ 250 - 600 m Ø 400 m	~ 200 - 500 m Ø 300 - 400 m	~ 300 - 600 m Ø 450 m	~ 150 - 400 m Ø 300 m
	typische Landschaftsformen	stark aufgelöstes Mittelgebirge bis wenig zertalte Hochflächen (Münchberger Gneismasse)	Hügelland	Landstufen, Hochflächen, einzelne Kuppen	Hochflächen, Kuppen, v- und kastenförmige Täler	<u>Keuper-Ausstrich:</u> weitflächige Verebnungen mit Dellen (Gipskeuperlandstufe) <u>Muschelkalk-Ausstrich:</u> hügelig - (Muschelkalklandstufe) <u>Maintal:</u> kastenförmig bis extrem asymmetrisch
K l i m a	Mittlere Jahrestemperatur Min.-Max. für die naturräumliche Einheit gemittelter Bereich	> 4 - < 7°C Ø > 5 - 6°C	> 6 - < 8°C Ø ≥ 7 - < 8°C	> 7 - < 9°C Ø > 7 - 8°C	> 6 - < 8°C Ø ≥ 7 - 8°C	> 7 - < 9°C Ø 8 - 8,5°C im Süden Ø 8°C im Norden
	Mittlerer Jahresniederschlag Min.-Max. für die naturräumliche Einheit gemittelter Bereich	900 - 1300 mm Ø 950 - 1000 mm	> 600 - 900 mm Ø 700 - 750 mm	> 500 - < 750 mm Ø 600 - 700 mm	> 700 - 950 mm Ø 800 mm	500 - < 750 mm Ø 550 - 650 mm
V e g e t a t i o n	vorwiegende Nutzung	Wald (75 %) Ackerland (Getreide, Hackfrucht)	Wald (25 %) Ackerland (Getreide, Hackfrucht) im Südosten > Grünland	Wald (30 - 35 %) Ackerland (Getreide, Hackfrucht)	Wald (40 %) Ackerland (Hackfrucht-Getreide)	Wald (25 %, im Südosten nur 10 %) Ackerland (Hackfrucht-Getreide)
	wichtige Sonderkulturen	keine	keine	vereinzelt Gemüse Albvorland (Raum Hersbruck): Hopfen	vereinzelt Gemüse Raum Hersbruck: Hopfen	Maintal, Steigerwald- und Haßbergvorland: intensiver Wein- und Gemüseanbau

Tab. 1b Übersicht der naturräumlichen Gliederung

Tab. 1b

	Gruppen naturräumlicher Haupteinheiten (geogr. Bezeichnung)	Südrhön	Spessart und Odenwald	Rhön mit Werra-Bergland	Rhein-Main-Tiefland
	Lage vorwiegend bzw. untergeordnet () in Bilanzraum	"Sinn-Saale-Gebiet"	"Spessart"	"Sinn-Saale-Gebiet"	"Spessart"
G e o l o g i e	Beschaffenheit der oberflächlich austreichenden Gesteine	Sand- und Tonsteinfolge des Buntsandsteins untergeordnet: Kalk- und Tonstein-Wechselfolgen des Muschelkalks, tertiäre Basaltintrusionen		Sand- u. Tonsteinfolgen des Buntsandsteins; Kalk- u. Tonstein (Mergel)-Wechselfolgen des Muschelkalks limnische, meist tonige Sedimente (u.a. Braunkohle), Basalt und Tuff des Tertiärs	sandig-kiesige quartäre Sedimente tonig-sandige tertiäre Ablagerungen untergeordnet: Kristalline Aufwölbungen
	Beschaffenheit der Deckschichten	<u>überwiegend:</u> tonig-schluffige Decken mit wechselnden Schuttanteilen (aus dem Anstehenden) <u>gelegentlich:</u> geringmächtige parautochthone Decken aus Sandsteinen <u>im Vorspessart:</u> aus Metamorphiten und Tiefengesteinen <u>lokal:</u> Löß und Lößlehm		<u>Basaltausstrich:</u> überwiegend geringmächtige parautochthone Decken <u>Übrige Bereiche:</u> vorwiegend tonig-schluffige Decken mit wechselnden Schuttanteilen (aus dem Anstehenden)	<u>überwiegend:</u> jüngere Terrassen, Löß und Diluvialsand
M o r p h o l o g i e	Höhe über NN - Min.-Max. mittlere Höhe	~ 100 - 600 m Ø 400 m	~ 50 - 600 m Ø 350 m	~ 250 - 930 Ø 500 - 600	~ 50 - 100
	typische Landschaftsformen	intensiv zertaltes Mittelgebirge Kristalliner Vorspessart: flachwellig		Kuppen und Hochflächen, z. T. tief eingeschnittene Täler	flächig, eben
K l i m a	Mittlere Jahrestemperatur Min.-Max. für die naturräumliche Einheit gemittelter Bereich	> 5 - < 9° C Ø 7° C	> 6 - < 9° C Ø > 7 - 8° C	> 4 - < 8° C Ø 6° C	Ø 9° C
	Mittlerer Jahresniederschlag Min.-Max. für die naturräumliche Einheit gemittelter Bereich	> 600 - 1100 mm Ø 800 - 900 mm	> 650 - < 1200 m Ø 900 mm	> 900 - < 1200 mm Ø 1000 mm	> 600 - < 700 mm Ø 650 mm
V e g e t a t i o n	vorwiegende Nutzung	Wald (70 %) Ackerland (Hackfrucht-Getreide) Grünland	Wald (80 %) Ackerland (Hackfrucht-Getreide) Grünland	Wald (35 %) Ackerland (Hackfrucht, Getreide) Grünland (ca. 25 %)	Wald (30 %) Ackerland (v.a. Hackfrucht)
	wichtige Sonderkulturen	im Saaletal: Wein- und Gemüseanbau	im Maintal: Weinanbau sowie in günstigen Lagen: Gemüseanbau	keine	Gemüseanbau

Tab. 2 Geologisch-hydrogeologische Übersicht der
paläozoischen Gesteine im Planungsgebiet

<i>Schichtenfolge</i>	<i>Lithologie</i>	<i>hydrogeologische Eigenschaften</i>
Karbon	Tonschiefer, Quarzite, Grauwacken, Kalke, Konglomerate	bedingte Grundwasserführung; lokal Kluft- und Karstgrundwasser
Devon	Tonschiefer, Flaser- und Knollenkalk, Diabas, Tuff	bedingte Grundwasserführung; lokal Kluft- bzw. Karstgrundwasser, Kluft- und Porengrundwasser im verwitter- ten Diabas
Silur	Kieselschiefer, Kalke, Lydit/Ton-Wechsellagen	bedingte Grundwasserführung; Kluftgrundwasser im Lydit
Ordovizium	Tonschiefer, Quarzite	bedingte Grundwasserführung; mäßige Kluftgrundwasserführung in Quarzit- und Schieferhorizonten
Kambrium	Grauwacken, Quarzite, Ton- und Kieselschiefer, Diabas, Tuff, Glimmer- schiefer	bedingte Grundwasserführung
Grundgebirge	Granit, Gneis	bedingte Grundwasserführung; Kluft- und Porengrundwasser nur in tektonisch beanspruchten bzw. ver- witterten Gesteinen

Tab. 3a Geologisch-hydrogeologische Übersicht der permischen und triassischen Schichtenfolge im Planungsgebiet

Schichtenfolge	Mächtigkeit (Angaben in Meter)		Lithologie		hydrogeologische Eigenschaften
	Raum A	Raum B	Raum A	Raum B	
Keuper	Coburger Land, nordwestliches Bruchschollenland	südöstliches Bruchschollenland	Coburger Land, nordwestliches Bruchschollenland	südöstliches Bruchschollenland	
Rhät	~ 30	0 - 20	Sand- und Tonsteine	Sand- und Tonsteine	teils grundwasserführend, teils hemmend bis stauend
Sandsteinkeuper					
Feuerletten	40 - 80	20 - 60	Tonsteine mit wenigen Dolomitlagen	Tonsteine mit Sandstein- und Dolomitlagen	Grundwasserstauer
Burgsandstein	130 - 150	~ 120	Sand- und Tonsteine in unregelmäßigem Wechsel	- - - - -	bedingte Kluft-/(Poren)-Grundwasserleiter
Blasensandstein	35 - 60		(basal gipsführend)		z. T. sehr hohe Sulfatgehalte (Gips)
Gipskeuper					
Lehrberg-schichten	25 - 40	25 - 50	Tonsteine z.T. mit Gips (wenige Steinmergelbänke)	Tonsteine mit Sandsteineinschlaltungen	Grundwasserstauer (Steinmergelbänke lokal grundwasserleitend)
Schilfsandstein		0 - 50	Ton-/Feinsandsteinwechselfolge (lokal massiver Sandstein)		bedingter Kluft-/(Poren)-Grundwasserleiter
Estherien-schichten	20 - 50	20 - 40	Tonmergel, z. T. mit Gips und Steinmergellagen	Tonstein - nach Südosten sandiger	Grundwasserstauer (Steinmergelbänke bedingt grundwasserleitend)
Myophorien-schichten	40 - 100	75 - 100	Tonsteine, Tonmergel (Grundgips)	Sand-/Tonstein-Wechselfolge (Benker-Sandstein)	A: Grundwasserstauer, bei verkarstetem Grundgips basaler Bereich grundwasserführend (meist hochmineralisiertes Gips-Wasser) B: Kluftgrundwasserleiter
Unterer Keuper	40 - 50	20 - 30	Tonmergel - Sandstein - Dolomitstein - Gelbkalk-Wechselfolge	Sand-/Tonstein-Wechselfolge	bedingter Kluftgrundwasserleiter "Werksandstein" und "Grenzdolomit" lokal als Kluftgrundwasserleiter bedeutsam
Muschelkalk	Gäufläche und Mittelmain, östliches Sinn-Saale Gebiet, Coburger Land	Bruchschollenland	Gäufläche und Mittelmain, östliches Sinn-Saale Gebiet, Coburger Land	Bruchschollenland	
Oberer Muschelkalk	70 - 100	55 - 70	Wechselfolge von Ton- und Kalksteinen, teils kristalline Kalkbänke	(nach Südosten Versandung)	bedingter Kluftgrundwasserleiter
Mittlerer Muschelkalk	40 - 70 (Steinsalzfazies: 70 - 95)	30 - 50	Wechselfolge dolomitischer Mergel- und Tonsteine, Gelb-, Zellenkalke und Dolomitsteine		bei Verkarstung sehr guter Grundwasserleiter, sonst beschränkter Kluftgrundwasserleiter, lokal dicht (Residualschluffe), durch Gips und Salz z. T. hochmineralisierte wässer
			Gips und Anhydrit Raum Burgbernheim - Schweinfurt - Eltmann: Steinsalz	Gips- und Anhydrit zurück-tretend, ab Bayreuth nach Südosten sandige Zwischen-lagen	
Unterer Muschelkalk	80 - 100	60 - 90	schwach mergelige Kalksteinbänke mit zwischen-gelagerten Schillkalken	oberer Teil wie im Raum A im unteren Bereich z. T. sandige Einschaltungen	bei Verkarstung guter bis sehr guter Grundwasserleiter, sonst bedingt grundwasserleitend bis grundwasserhemmend

Tab. 3b Geologisch-hydrogeologische Übersicht der permischen und triassischen Schichtenfolge im Planungsgebiet

Schichtenfolge	Mächtigkeit (Angaben in Meter)		Lithologie		hydrogeologische Eigenschaften		
	Spessart-Rhön-Coburger Land	Bruchschollenland	Spessart-Rhön-Coburger Land	Bruchschollenland			
Buntsandstein	Spessart-Rhön-Coburger Land	Bruchschollenland	Spessart-Rhön-Coburger Land	Bruchschollenland			
Oberer Buntsandstein	85 - 130	95 - 125	Wechsel feinsandiger Tonsteine mit Feinsandsteinlagen z.T. gipsführend	nach Süden sandiger werdend	Röttonsteine am Top: Grundwasserstauer, Rest: bedingter Kluft-/(Poren-) Grundwasserleiter, z.T. hochmineralisierte Wässer (Gips)		
Mittlerer Buntsandstein	170 - 225	190 - 230	Sandsteine mit gelegentlichen Geröll- u. Tonsteinlagen	Überwiegend Sandsteine, teils Mürbsandstein, basal: Kulmbacher Konglomerat (30 - 50 m)	i.d.R. Kluft-/(Poren-)Grundwasserleiter		
Unterer Buntsandstein	220 - 350	Kronach: ~ 260 Bayreuth: ~ 90	Sandsteine mit gelegentlichen Geröll- und Tonsteinlagen Basis: Bröckelschiefer (Tonsteine)	Sandsteine zur Basis toniger werdend	i.d.R. Kluft-/(Poren-)Grundwasserleiter Bröckelschiefer: Grundwasserstauer		
Perm	Vorspessart	Sinn-Saale Gebiet, Gäufläche und Mittelmain, Coburger Land, Bruchschollenland	Vorspessart	Sinn-Saale Gebiet, Gäufläche und Mittelmain, Coburger Land, Bruchschollenland			
Zechstein	0 - 40	~85 (West-Rand) - 290 (Mellrichstadt) meist um 110 - im Bereich des Werra-Steinsalzes 190 - 290	v. a. Kalke und Dolomite mit Tonsteinzwischenlagen	Anhydrit, Dolomitmergel und Tonsteine lokal bis fast 170 m Steinsalz	A: bedingter Kluftgrundwasserleiter B: in Rhön, Vorrhön, z. T. auch im Bereich Würzburg-Schweinfurt bedingter bis guter Kluft- und Karstgrundwasserleiter nach Osten (vgl. Bohrung Staffelstein) durch zunehmenden Tonanteil dichter werdend B: Wässer durch Salz und Gips meist hochmineralisiert		
Rotliegendes	Spessart, Rhön 0-200	Südrhön, südwestl. Spessart, Coburger Land 200-400	Gäufläche u. Mittelmain 300->800	Bruchschollenland <100 - ≥1000	Frankenalb südlich Bamberg - Bayreuth wahrscheinlich keine Ablagerungen nördlich Bamberg-Bayreuth 0 - 300	Wechsel fein - bis grobkörniger Sandsteinschüttungen, geringer Anteil Karbonat- und anhydrithaltiger Sedimente, vereinzelt Kohleflöze, Quarzporphyre und Tuffe; zum Hangenden (Oberrotliegendes) Übergang zu tonigen Sandsteinen und Fanglomeraten	Kluft-/(Poren-)Grundwasserleiter meist nur untergeordneter Bedeutung Ausnahme: Rotliegendtrübe am Ost-Rand des Bruchschollenlandes (z.B. bei Stockheim) regional bedeutende Grundwasservorkommen

Tab. 5

Tab. 5 Das Gefälleverhalten der Flüsse und größeren Bäche im Planungsgebiet

	Oberlauf bei				Mittellauf bei			Unterlauf bei	
	Gefälle in %				Gefälle in %			Gefälle in %	
(Roter) Main	Craimooos 0,9	Wolfsbach 0,6	Maineck 0,1	Ebensfeld 0,06	Trunstadt 0,1	Schweinfurt 0,05	Kitzingen 0,01	Wertheim 0,1	Aschaffenburg <0,05
(Weißer)	Fröbershammer 5,5	Bad Berneck 2,0							
Fränkische Saale	Alsleben 0,5		Großebstadt 0,1		Bad Neustadt ≤0,1	Bad Kissingen 0,1	Elfershausen ≤0,1	Gräfendorf 0,06	

Naturräumliche Haupteinheit	Thüringisch - Fränkisches - Mittelgebirge								Obermain - Hügelland und Thüringer Wald - Vorland			Frankenalb
Gewässer	Warme Steinach	Weisser Main	Schorgast	Untere Steinach	Rodach	Wilde Rodach	Haßlach	Roter Main	Ölschnitz	Röden	Weismain	
	Gefälle in %											
Oberlauf	6,8	5,5	5,0	3,3	5,0	5,0-6,0	2,3	0,9	0,8	3,3**	1,4	
Mittellauf	1,6	2,0	2,2	1,0	0,5-0,9	1,0	0,9	0,2-0,6	/	0,4	0,7	
Unterlauf	0,6**	0,2**	0,2**	0,5**	0,2**	0,4	0,3**	0,1	0,3	<0,1	0,5	

Naturräumliche Haupteinheit	Fränkisches - Keuper - Lias - Land			Mainfränkische Platten									
Gewässer	Itz	Rodach	Baunach	Lauer	Fränk. Saale	Nassach	Wärsernach*3	Wern	Volkach	Pleichach	Breitbach	Thierbach	Streu
	Gefälle in %												
Oberlauf	1,9	2,7	2,4	1,0	0,5	1,7	1,4	0,5	2,8	1,0	1,2	0,6	1,7**
Mittellauf	0,2-0,4	0,5	<0,1-0,1	0,2	0,1	0,4	1,0	0,1	0,2	0,1	0,6	/	0,5
Unterlauf	<0,1	0,1	<0,1-0,1	<0,1-0,1	/	0,2	0,8	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3

Naturräumliche Haupteinheit	Rhön und Südrhön				Spessart						
Gewässer	Brend	Kellersbach	Schondra	Sinn	Lohr	Hafenlohr	Elsava	Aschaff	Kahl	Mud	
	Gefälle in %										
Oberlauf	4,2	4,8	2,4	2,5	2,0	1,8	1,8	2,2	1,1	1,8	
Mittellauf	1,0	1,6	0,9-1,5	0,9	1,0	0,7	0,7	0,3	0,3	0,6	
Unterlauf	0,7	1,6	0,6	0,3**	0,3	0,5	0,4	0,2	0,4	0,2	

Bemerkungen: *1 Lage im Obermain - Hügelland *2 Lage im Thür.-Fränk.-Mittelgebirge *3 Lage im Hesselbacher Waldland dieses ist stärker reliefiert als die Umgebung *4 Lage im Werra-Bergland *5 Lage im Spessart

Tab. 6 Bilanzraumübersicht

Tab. 6

Bilanzraum - Bezeichnung	Thüringisch- Fränkisches Mittelgebirge (A) und Bruchschollenland (B)	Coburger Land	Gäufliche - Muschelkalk- Keuperland	Sinn - Saale- Gebiet	Spessart: Sandstein- Spessart (A) und Kristalliner Vorspessart (B)	Maintal	Nördliche Frankenalb
ausreichende Schichten bzw. Gesteine	A: Kristallin B: Rotliegendes bis Malm	nördlich Coburg: Buntsandstein bis Unterer Keuper Raum Staffelstein: Dogger-Malm Rest: Sandstein- keuper, Rhät-Lias- Übergangsschichten	Muschelkalk Unterer- bis Sandsteinkeuper	Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper (v.a. Unterer und Gipskeuper) tertiäre Erguß- und Sediment- gesteine	A: Buntsandstein B: Kristallin, Perm	Quartär	Dogger Malm Kreide
Hauptgrund- wasserleiter	A: tektonisch bean- spruchtes Paläo- zoikum, tertiäre Verwitterungsdecken B: Rotliegendes Buntsandstein Muschelkalk	Sandsteinkeuper im Süden Malm, Dogger	Muschelkalk (Unterer Keuper) Sandsteinkeuper	Buntsandstein Muschelkalk (Unterer Keuper) Basalt	A: Buntsandstein	Quartär u. ±liegender Haupt- grundwasserleiter	Doggersandstein Malmkarst
Qualitäts- einschränkung	lokal durch landwirtschaftliche Nutzung bei unzureichender Überdeckung		hohe Sulfatgehalte im Mittleren Muschelkalk und Mittleren Keuper z.T. Versalzung im Mittl. Muschelkalk extreme Belastung d. ob. Grundwasser- leiters durch inten- sive landwirtschaft- liche Nutzung auf der Gäufliche	lokal hohe Sulfat- gehalte im Oberem Buntsand- stein an Verwerfungs- zonen z. T. auf- steigende chlorid- reiche Wässer	- - -	lokal durch auf- steigende Tiefen- wässer beeinflusst lokal durch infil- triertes Mainwasser und intensiven Ackerbau bei unge- nüglicher Überdeckung beeinflusst	Gefährdung durch anthropogene Einflüsse (ins- bes. Abwasserein- leitung)
Erschließbarkeit	A: nur geringe Mengen er- schließbar B: erschließbare Mengen von regionaler Be- deutung	erschließbare Mengen von regionaler Bedeutung	hoher Wasserbedarf (Würzburg, Schweinfurt) - nur geringe er- schließbare quali- tativ gute Wasser- mengen Beileitung von Wasser aus anderen Bilanzräumen	in der Rhön und im Rhönvorland Grundwasservor- kommen von überregionaler Bedeutung	A: lokale Vorkommen überregio- naler Bedeutung (interner Aus- gleich) B: Wassermangel- gebiet	trotz mengenmäßig relativ großer Vor- kommen zunehmend durch sinkende Qualität (Überbean- spruchung) nur noch bedingt für Trink- wasser zu nutzen d. h. Ausgleich nötig (Aschaffenburg, Würzburg, Schweinfurt)	Grundwasser- vorräte von über- regionaler Be- deutung

**Tab. 7 Durchlässigkeitsbeiwerte im Buntsandstein
(berechnet nach Pumpversuchstaten)**

Grundwasserleiter	Schwankungsbreite		Mittelwert (aus.....Werten)	
	I	II	I	II
	alle Angaben in 10 ⁻⁶ m/s			
Buntsandstein (gesamt)	0,013 - 57	nn	12,1 (65)	17,0 (39)
Unterer Buntsandstein	0,88 - 35	nn	10,7 (15)	nn
Mittlerer Buntsandstein	nn	1,1 - 110	nn	27,0 (20)
Oberer Buntsandstein	nn	4,0 - 96	nn	7,4 (13)

I: Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Main

II: GEORGOTAS & UDLUFT (1978)

Tab. 8 Durchlässigkeitsbeiwerte in den Ablagerungen des Maintalquartärs

Lokalität	Tk 25	Streubreite (Angabe in m/s)	Mittelwert	Anzahl
				der Meß- werte
Kleinostheim	5920	4 x 10 ⁻⁵ bis 3 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴	9
Spessart-Gruppe (Alzenau)	5920	4 x 10 ⁻⁴ bis 2 x 10 ⁻³	12 x 10 ⁻⁴	27
Dettingen/Großwelzheim/Karlstein	5920	1,5 x 10 ⁻⁵ bis 2,3 x 10 ⁻³	14 x 10 ⁻⁴	27
Kahl a. M.	5920	2,5 x 10 ⁻⁴ bis 1,7 x 10 ⁻²	21 x 10 ⁻⁴	28
Alzenau	5920	4 x 10 ⁻⁴ bis 1,4 x 10 ⁻³	6,5 x 10 ⁻⁴	8
Großostheim/Aschaffenburg	6020	1 x 10 ⁻⁴ bis 1,4 x 10 ⁻²	14 x 10 ⁻⁴	22
Großwallstadt	6120	6 x 10 ⁻⁴ bis 1,6 x 10 ⁻³	12 x 10 ⁻⁴	16
Wörth	6221	4 x 10 ⁻⁴ bis 9 x 10 ⁻⁴	6,5 x 10 ⁻⁴	6
Kreuzwertheim	6223	-	3 x 10 ⁻⁴	6
Karlstadt	6024	7 x 10 ⁻⁴ bis 1,5 x 10 ⁻³	12 x 10 ⁻⁴	20
Marktstett/Sulzfeld/Marktbreit	6326	6 x 10 ⁻⁴ bis 2,3 x 10 ⁻³	9 x 10 ⁻⁴	27
Schweinfurt/Schonungen	5927	9 x 10 ⁻⁴ bis 3,4 x 10 ⁻³	19 x 10 ⁻⁴	21
Weyer/Rhön-Maintal-Gruppe	5927	8 x 10 ⁻⁴ bis 1,9 x 10 ⁻³	12,5 x 10 ⁻⁴	19
Gädheim	5928	-	15 x 10 ⁻⁴	6
Wonfurt	5928	7 x 10 ⁻⁴ bis 13,2 x 10 ⁻²	14 x 10 ⁻⁴	25
Haßfurt	5929	4 x 10 ⁻⁴ bis 8 x 10 ⁻⁴	6 x 10 ⁻⁴	16
Sand/Zeil/Ebelsbach/Eltmann	6029/6030	9 x 10 ⁻⁴ bis 4,3 x 10 ⁻³	14 x 10 ⁻⁴	18
Roßstadt	6030	1,2 x 10 ⁻³ bis 2,2 x 10 ⁻³	19 x 10 ⁻⁴	7

Tab. 9 Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate im Bilanzraum I
Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge und Bruchschollenland

Meß- stelle Nr.	Gewässer	Pegel	A _{EO} km ²	Jahres- reihe	Mq l/s	Nq km ²	MqG				NqG			9/10	10/6 %	8/9	10/13	Geologie	Bemerkungen	
							1/∑ 12-MoMnq		1/∑ 6-MoMnq		1/∑ SoMoMnq		LFW							Bezugs- jahr (LFW)
							MUNDT (Jahresreihe) l/s	KILLE (Jahresreihe) km ²	LFW (ROTHASCHER) (Jahresreihe) l/s · km ²	Monate	MUNDT (Jahresreihe) l/s	LFW								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
240 03 009	Main	Mainleus	1170	83/84	12,1	1,9	-	-	3,5 (83/84)	7-12	-	2,2	83/84	-	29	-	1,6	Grundgebirge, km, sm+so, l+ko, m		
240 04 001	Main	Theisau	1244	37/84	10,1	1,0	5,1 (51/80) 5,1 (37/83)	-	3,8 (37/84)	5-10	3,9 (51/80) 3,8 (37/83)	1,3	38	-	38	-	2,9	Grundgebirge, km, sm+so, l+ko, m		
241 10 508	Weißer Main	Bad Berneck Lackfabrik	55	30/84	20,1	<0,1	9,0 (51/80) 10,2 (30/83)	7,4 (51/80)	8,2 (30/84)	5-10	7,3 (51/80) 8,2 (30/83)	2,0	60	0,9	41	1,2 1,4	4,1	cbph, gr		
241 11 001	Weißer Main	Ködnitz	313	61/84	12,3	1,6	7,0 (61/80) 7,1 (61/83)	6,0 (61/80)	5,3 (61/84)	6-11	5,5 (61/80) 5,4 (61/83)	1,9	76/77	1,1	43	1,2	2,8	mb, ku, d		
241 13 007	Ölschnitz	Stein	76	58/83	-	-	9,3 (58/80) 9,5 (58/83)	8,1 (58/80)	-	-	7,3 (58/80) 7,3 (58/83)	-	-	-	-	1,2	-	mb > gr		
241 13 200	Ölschnitz	Stein Waldlust	91	74/83	-	-	9,2 (74/80) 9,3 (74/83)	8,0 (74/80)	-	-	6,9 (74/80) 6,7 (74/83)	-	-	-	-	1,2	-	mb > gr		
241 13 459	Ölschnitz	Bad Berneck	100	82/84	16,6	2,7	-	-	6,6 (82/84)	7-12	-	3,7	82/83	-	40	-	1,8	mb > gr		
241 13 506	Kronach	Neudorf	28	69/84	11,8	0,7	6,2 (71/80) 6,2 (71/83)	5,8 (71/80)	4,1 (69/84)	6-11	4,5 (71/80) 4,2 (71/83)	1,1	76/77	1,4	35	1,1	3,7	kmg > cbph		
241 14 000	Treggast	Treggast	62	55/84	6,5	0,3	3,8 (55/80) 3,8 (55/83)	3,5 (55/80)	3,0 (55/84)	5-10	3,0 (55/80) 3,0 (55/83)	1,0	76	1,2	46	1,1	3,0	sm, m, l + ko		
241 15 002	Schorgast	Wirsberg	77	68/84	13,2	0,7	7,5 (68/80) 8,1 (68/83)	6,4 (68/80)	6,0 (68/84)	7-12	6,2 (68/80) 6,4 (68/83)	2,3	76/77	1,1	45	1,2 1,3	2,6	cbg, gr, mB		
241 16 005	Schorgast	Untersteinach	245	61/84	13,6	0,5	7,5 (61/80) 7,6 (61/83)	6,4 (61/80)	5,4 (61/84)	6-11	6,0 (61/80) 5,9 (61/83)	2,2	76/77	1,2	40	1,2	2,5	cu > m		
241 17 008	Schorgast	Kauerndorf	247	79/84	18,2	4,6	-	-	10,2 (79/84)	6-11	-	6,1	82/83	-	59	-	1,7	cu, m		
241 18 000	Koserbach	Adlerhütte	33	59/84	15,3	0,6	9,5 (59/80) 9,7 (59/83)	7,8 (59/80)	7,0 (59/84)	6-11	7,4 (59/80) 7,4 (59/83)	2,8	76/77	1,1	46	1,2	2,5	gr, cbg, mB		
241 18 500	Untere Steinach	Oberhammer	65	58/84	17,1	1,5	8,0 (58/80) 8,3 (58/83)	6,8 (58/80)	5,9 (58/84)	6-11	6,0 (58/80) 6,0 (58/83)	2,2	64/65	1,2	35	1,2	2,7	cu, d, gr, cbg		
241 18 703	Untere Steinach	Untersteinach	140	57/84	14,6	0,1	6,8 (57/80) 6,9 (57/83)	5,6 (57/80)	4,7 (57/84)	6-11	4,9 (57/80) 4,9 (57/83)	1,7	76/77	1,2	33	1,2	2,8	cbg, mo, cu		
241 21 005	Roter Main	Creussen	35	70/84	7,7	0,3	2,4 (70/80) 2,5 (70/83)	1,9 (70/80)	1,6 (70/84)	5-10	1,5 (70/80) 1,6 (70/83)	0,3	76	1,2	21	1,3	5,3	l+ko, (kmF)		
241 22 008	Roter Main	Schlehenmühle	72	57/84	7,1	0,1	2,2 (57/80) 2,3 (57/83)	1,9 (57/80)	1,3 (57/84)	6-11	1,3 (57/80) 1,3 (57/83)	0,4	76/77	1,4	19	1,2	3,3	kms, b, l+ko		
241 23 000	Roter Main	Bayreuth	333	25/84	9,5	0,4	4,3 (51/80) 4,6 (25/83)	3,7 (51/80)	3,4 (25/84)	6-11	3,2 (51/80) 3,4 (25/83)	0,6	47/48	1,1	36	1,2	5,7	kms, l+ko, mo		
241 25006	Roter Main	Unterzettlitz	501	46/84	8,5	0,8	4,3 (51/80) 4,2 (46/83)	3,7 (51/80)	3,0 (46/84)	6-11	3,3 (51/80) 3,2 (46/83)	1,6	49/50	1,2	36	1,2 1,1	1,9	kms, l+ko, b		
241 26 009	Ölschnitz	Gampelmühle	62	63/84	7,9	1,0	4,4 (63/80) 4,5 (63/83)	3,8 (63/80)	3,4 (63/84)	6-11	3,6 (63/80) 3,6 (63/83)	1,8	76/77	1,1	43	1,2	1,9	kms, kmg, m, gr		
241 27 001	Almosbach	Birk	12	63/84	8,1	0,8	4,4 (63/80) 4,5 (63/83)	3,8 (63/80)	3,5 (63/84)	6-11	3,7 (63/80) 3,8 (63/83)	1,6	76/77	1,1	44	1,2	2,2	kmg, kms		
241 28 004	Warme Steinach	Untersteinach	73	53/84	15,9	0,6	7,5 (53/80) 7,7 (53/83)	6,5 (53/80)	5,4 (53/84)	6-11	5,3 (53/80) 5,4 (53/83)	1,5	62/63	1,2	34	1,2	3,6	cbph, s, gr, kms, ro		
241 40 509	Rodach	Streitmühle	56	23/84	16,9	0,2	6,5 (51/80) 5,6 (23/83)	5,2 (51/80)	3,5 (23/84)	5-10	3,9 (51/80) 3,4 (23/83)	0,7	47	1,5	20	1,3 1,1	5,0	cu, d		
241 41 002	Rodach	Mauthaus Bhf.	77	69/84	18,9	0,8	6,5 (69/80) 6,2 (69/83)	4,8 (69/80)	3,9 (69/84)	5-10	4,0 (69/80) 3,8 (69/83)	1,3	76	1,2	20	1,4 1,3	3,0	cu		
241 41 501	Rodach	Erlabrück	251	70/84	16,7	1,1	6,6 (70/80) 6,9 (70/83)	5,2 (70/80)	4,6 (70/84)	5-10	4,6 (70/80) 4,5 (70/83)	2,0	76	1,1	28	1,3	2,3	cu		
241 42 005	Rodach	Vogtendorf	308	65/84	16,3	0,3	6,9 (65/80) 7,1 (65/83)	5,6 (65/80)	4,7 (65/84)	6-11	4,6 (65/80) 4,6 (65/83)	2,1	76/77	1,2	29	1,2 1,3	2,2	m > cu		
241 43 008	Rodach	Unterlangens- stadt	713	31/84	14,7	0,3	5,3 (51/80) 5,8 (31/83)	4,1 (51/80)	3,4 (31/84)	5-10	3,2 (51/80) 3,3 (31/83)	1,0	47	1,2	23	1,3 1,4	3,4	s, l+ko, cu, m		
241 43 507	Langenau	Langenau	12	65/84	19,0	0,9	6,2 (65/80) 6,1 (65/83)	4,3 (65/80)	3,9 (65/84)	6-11	4,1 (65/80) 4,0 (65/83)	1,7	76/77	1,1	20	1,4	2,3	cu		
241 44 500	Nordhalbener Ködel	Mauthaus Speicher- zufl. 1	18	66/84	19,1	0,0	6,8 (66/80) 6,6 (66/83)	5,0 (66/80)	3,9 (66/84)	5-10	4,0 (66/80) 3,8 (66/83)	1,1	76	1,3	20	1,4 1,3	3,5	cu		
241 45 003	Tschirner Ködel	Mauthaus Speicher- zufl. 2	12	66/84	20,2	0,0	6,6 (66/80) 6,5 (66/83)	4,8 (66/80)	4,0 (66/84)	5-10	4,2 (66/80) 4,0 (66/83)	0,8	76	1,2	20	1,4	5,0	cu		
241 45 502	Wilde Rodach	Bernstein A.W.	36	60/84	17,6	0,3	6,7 (60/80) 6,8 (60/83)	5,7 (60/80)	5,0 (60/84)	6-11	5,2 (60/80) 5,2 (60/83)	1,7	75/76	1,1	29	1,2	2,9	cbg		
241 45 808	Wilde Rodach	Wallenfels Schule	96	23/84	16,7	0,1	6,0 (51/80) 6,1 (23/83)	5,0 (51/80)	3,9 (23/84)	5-10	4,0 (51/80) 3,9 (23/83)	0,6	76	1,3	23	1,2	6,5	cu > d		
241 46 305	Haßlach	Neukenroth	139	55/84	18,0	0,1	5,9 (55/80) 5,8 (55/83)	4,4 (55/80)	3,0 (55/84)	5-10	3,1 (55/80) 3,0 (55/83)	0,7	76	1,5	17	1,3	4,3	cu > ru		
241 47 600	Buchbach	Friedersdorf	11	58/84	20,4	0,9	6,6 (58/80) 6,5 (58/83)	5,1 (58/80)	4,0 (58/84)	6-11	4,2 (58/80) 4,0 (58/83)	0,9	83/84	1,3	20	1,3	4,4	cu		
241 48 001	Kronach	Steinberg	95	48/84	16,8	0,1	5,4 (51/80) 5,3 (48/83)	3,8 (51/80)	2,7 (48/84)	5-10	2,9 (51/80) 2,7 (48/83)	0,7	76	1,4	16	1,4	3,9	cu > ru		
241 48 500	Kremnitz	Geschwend	47	65/84	19,4	0,0	6,1 (65/80) 6,1 (65/83)	4,3 (65/80)	3,0 (65/84)	5-10	3,2 (65/80) 3,0 (65/83)	1,1	76	1,4	16	1,4	2,7	cu		
241 49 004	Kremnitz	Gifting	64	60/84	17,9	0,2	4,8 (60/80) 4,9 (60/83)	3,3 (60/80)	2,4 (60/84)	5-10	2,5 (60/80) 2,4 (60/83)	0,6	76	1,4	14	1,5	4,0	cu > ru		
241 49 503	Steinach	Horb	255	54/84	14,4	0,3	6,1 (54/80) 6,2 (54/83)	5,1 (54/80)	3,9 (54/80)	6-11	3,9 (54/80) 3,8 (54/83)	0,9	64/65	1,2	27	1,2	4,3	s, cu, l+ko		

**Tab. 10 Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate
im Bilanzraum II Coburger Land**

1	2	3	4	5	6	7	McG				NqG			15	16	17	18	19	20				
							$\frac{1}{n} \sum_{12-McMNq}$		$\frac{1}{n} \sum_{6-McMNq}$		$\frac{1}{n} \sum_{SoMoMNq}$		13							14	9/10	10/6	8/9
							WUNDT (Jahresreihe) l/s	KILLE (Jahresreihe) km ²	LEW (ROTHASCHER) (Jahresreihe) l/s · km ²	Monate	WUNDT (Jahresreihe) l/s	LEW km ²											
240 06 007	Main	Schwürbitz	2424	41/84	11,9	1,0	5,6 (51/80) 5,6 (41/83)	4,6 (51/80)	3,8 (41/84)	6-11	3,8 (51/80) 3,8 (41/83)	1,3	76/77	1,2	32	1,2	2,9	Grundgebirge, km, sm+so, l+ko					
241 34007	Weismain	Weismain	69	58/84	14,0	2,8	9,9 (58/80) 10,2 (58/83)	9,2 (58/80)	8,5 (58/84)	7-12	8,8 (58/80) 9,1 (58/83)	4,7	63/64	1,1	61	1,1	1,8	b, w, l + ko					
241 61 000	Itz	Fischbach	130	50/84	17,2	0,5	7,2 (51/80) 7,2 (50/83)	5,8 (51/80)	4,6 (50/84)	6-11	4,7 (51/80) 4,6 (50/83)	1,3	76/77	1,3	27	1,2	3,5	sm, mu, cu					
241 62 206	Itz	Coburg- Güterbahnhof	365	26/84	13,5	0,9	6,5 (51/80) 6,9 (26/83)	5,6 (51/80)	4,8 (26/84)	5-10	4,4 (51/80) 4,7 (26/83)	1,6	53	1,2	35	1,2	3,0	kms, kmg, ku, s m					
241 63 005	Itz	Schenkenau	956	69/84	9,8	0,8	4,7 (68/80) 4,9 (68/83)	3,7 (68/80)	3,2 (68/84)	6-11	3,2 (68/80) 3,3 (68/83)	1,5	76/77	1,2	33	1,3	2,1	kms, l + ko, kmF					
241 64 507	Röden	Wildenheid Kläranlage	24	81/84	24,3	3,3	-	-	6,6 (81/84)	5-10	-	4,9	82	-	27	-	1,4	sm, cu					
241 65 102	Röden	Mönchröden	71	58/84	13,3	0,1	6,6 (58/80) 6,7 (58/83)	5,4 (58/80)	4,4 (58/84)	6-11	4,5 (58/80) 4,5 (58/83)	1,7	64/65	1,2	33	1,2	2,6	sm, ku, cu					
241 65 306	Lauterbach	Oberlauter	31	82/84	33,5	6,1	-	-	12,9 (82/84)	7-12	-	8,7	83/84	-	38	-	1,5	sm > m, (r, z)					
241 67 006	Rodach	Heinersdorf	378	60/84	6,7	0,4	3,3 (60/80) 3,4 (60/83)	2,8 (60/80)	2,4 (60/84)	6-11	2,5 (60/80) 2,5 (60/83)	0,8	64/65	1,2	36	1,2	3,0	kms, kmg, ku, n, l+ko					
241 68 009	Kreck	Autenhausen	162	60/84	6,6	0,6	3,6 (60/80) 3,7 (60/83)	3,2 (60/80)	2,7 (60/84)	6-11	2,7 (60/80) 2,9 (60/83)	1,2	63/64	1,2	41	1,1	2,3	kms > kmg					
241 69 001	Merzbach	Unternerz- bach	11	77/84	7,1	0,0	2,0 (77/80) 1,6 (77/83)	1,2 (77/80)	0,9 (77/84)	6-11	0,6 (77/80) 0,7 (77/83)	0,9	80/81	1,3	13	1,7 1,3	1,0	kms					
241 83 002	Baunach	Lohr	166	63/84	5,7	0,1	2,9 (63/80) 3,7 (63/83)	2,5 (63/80)	2,3 (63/84)	6-11	2,4 (63/80) 2,4 (63/83)	0,7	65/66	1,1	40	1,2 1,4	3,3	kms > kmg					
241 86 000	Baunach	Leucherhof	383	30/84	5,3	0,2	2,7 (51/80) 2,5 (30/83)	2,4 (51/80)	1,9 (30/84)	6-11	2,2 (51/80) 2,0 (30/83)	0,4	47/48	1,3	36	1,1	4,8	kms > l + ko					
241 87 003	Weisach	Todtenweis- ach	19	74/84	7,0	0,5	3,9 (74/80) 3,7 (74/83)	3,4 (74/80)	2,7 (74/84)	5-10	2,9 (74/80) 2,6 (74/83)	1,1	83	1,3	39	1,1	2,5	kms					
241 87 502	Weisach	Pfarr- weisach	38	79/84	6,6	0,5	3,2 (79/80) 3,4 (79/83)	2,9 (79/80)	2,2 (79/84)	7-12	2,5 (79/80) 2,4 (79/83)	1,6	83/84	1,3	34	1,1 1,2	1,4	kms > l + ko					
241 88 006	Preppach	Ruppach	24	74/84	7,4	1,2	3,5 (74/80) 3,9 (74/83)	3,0 (74/80)	2,6 (74/84)	6-11	2,7 (74/80) 2,8 (74/83)	1,2	83/84	1,1	36	1,2 1,3	2,2	kms					

Tab. 11 Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate
im Bilanzraum III Mittelmain

Meß- stelle Nr.	Gewässer	Pegel	A _{EO} km ²	Jahres- reihe	Mq	Nq	MqG				MqG			9/10	10/6 %	8/9	10/13	Geologie	Bemerkungen	
							$\frac{1}{n} \sum 12\text{-MoMnq}$		$\frac{1}{n} \sum 6\text{-MoMnq}$		$\frac{1}{n} \sum \text{SoMoMnq}$		LFW							Bezugs- Jahr (LFW)
							WUNDT (Jahresreihe) 1/s	KILLE (Jahresreihe) km ²	LFW (ROTHASCHER) (Jahresreihe) 1/s · km ²	Monate	WUNDT (Jahresreihe) 1/s · km ²	LFW								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
243 22 506	Nassach	Römershofen	141	80/84	7,4	1,5	-	-	2,4 (80/84)	7-12	-	1,6	83/84	-	33	-	1,5	ku, kmg, mo		
243 36 806	Volkach	Dingolshausen	16	68/84	7,7	0,6	4,3 (68/80) 4,4 (68/83)	4,1 (68/80) 4,2 (68/83)	3,9 (68/84)	7-12	4,1 (68/80) 4,1 (68/83)	1,3	76/77	1,1	48	1,1	3,0	kmg > kms, (ku)		
243 38 007	Volkach	Brünstadt	43	60/84	5,6	0,0	2,8 (60/80) 2,9 (60/83)	2,4 (60/80) 2,5 (60/83)	2,3 (60/84)	6-11	2,4 (60/80) 2,4 (60/83)	0,5	76/77	1,1 1,0	41	1,1 1,1	4,6	ku, kmg		
243 38 506	Volkach	Obervolkach	79	72/84	4,8	0,3	2,3 (72/80) 2,7 (72/83)	2,1 (72/80) 2,4 (72/83)	2,0 (72/84)	6-11	1,7 (72/80) 2,0 (72/83)	0,5	76/77	1,2 1,1	42	1,2 1,1	2,0	ku, kmg		
243 49 003	Castellbach	Atzhausen	80	71/84	5,0	0,3	3,0 (71/80) 3,2 (71/83)	2,9 (71/80) 3,0 (71/83)	2,6 (71/84)	6-11	2,6 (71/80) 2,7 (71/83)	0,8	76/77	1,2 1,1	52	1,2 1,2	3,3	kmg > ku		
243 69 000	Breitbach	Marktbreit	152	76/84	3,8	0,2	1,5 (76/80) 2,3 (76/83)	1,4 (76/80) 1,7 (76/83)	1,7 (76/84)	7-12	1,3 (76/80) 1,8 (76/83)	0,4	76/77	1,0 0,8	45	1,1 1,1	4,1	ku, kmg, mo	Versickerung im mo	
243 74 805	Pleichach	Würzburg	127	58/83	2,7	0,1	1,7 (58/80) 1,8 (58/83)	1,4 (58/80) 1,6 (58/83)	1,4 (58/83)	7-12	1,7 (58/80) 1,5 (58/83)	0,2	76/77	1,1 1,0	52	1,1 1,1	7,0	ku > mo	vermutlich Versickerungen im mo	
243 81 006	Wern	Geldersheim	88	64/84	3,8	0,0	2,1 (64/80) 2,3 (64/83)	1,3 (64/80)	1,7 (64/84)	7-12	1,6 (64/80) 1,9 (64/83)	0,2	64/65	0,8	44	1,6	8,5	ku > mo, (mm)		
243 82 009	Wern	Zeuzleben	202	71/84	3,6	0,4	2,0 (71/80) 2,4 (71/83)	1,1? (71/80) 1,9 (71/83)	1,9 (71/84)	7-12	1,6 (71/80) 1,9 (71/83)	0,7	76/77	1,0 0,6	53	1,0 1,8	2,7	ku, kmg, (mo)		
243 82 304	Wern	Arnstein	329	77/84	4,3	0,3	2,1 (77/80) 2,8 (77/83)	2,0 (77/80) 2,4 (77/83)	2,1 (77/84)	7-12	1,8 (77/80) 2,4 (77/83)	0,9	77/78	1,1 1,0	49	1,1 1,1	2,3	ku, mo, kmg		
243 85 007	Wern	Sachsenheim	597	77/84	4,7	0,7	2,8 (77/80) 3,5 (77/83)	2,4 (77/80) 2,9 (77/83)	2,4 (77/84)	7-12	2,1 (77/80) 2,7 (77/83)	1,7	77/78	1,2 1,0	50	1,2 1,2	1,4	ku, mo, mm, (kmg)		
245 16 003	Ziegelbach	Schönrain	48	71/84	2,1	0,2	0,8 (71/80) 1,0 (71/83)	0,6 (71/80)	0,6 (71/84)	6-11	0,5 (71/80) 0,7 (71/83)	0,4	73/74	1,0	29	1,3 1,7	1,5	s (vorw. so) m (vorw. mu)	Versickerung, unterirdi- scher Zufl. z. Main verm.	
246 01 000	Tauber	Bockenfeld	70	54/84	8,7	1,0	4,3 (54/80) 4,4 (54/83)	3,8 (54/80)	3,3 (54/84)	6-11	3,4 (54/80) 3,4 (54/83)	1,6	76/77	1,1	37	1,2	3,0	kmg > ku		
246 23 003	Gollach	Bieberehren	160	65/84	3,8	0,0	1,8 (65/80) 2,0 (65/83)	1,2 (65/80)	1,2 (65/84)	7-12	1,4 (65/80) 1,4 (65/83)	0,2	76/77	1,0	32	1,6 1,5	10,0	ku > mo	Versickerung im mo und Ausleitung durch FWF	

Tab. 12 Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate
im Bilanzraum IV Sinn-Saale Gebiet

Meß- stelle Nr.	Gewässer	Pegel	A _{E0} km ²	Jahres- reihe	Mq	Nq	MqG				NqG			9/10	10/6	8/9	10/13	Geologie	Bemerkungen
							$\frac{1}{n} \sum 12\text{-MoMNq}$		$\frac{1}{n} \sum 6\text{-MoMNq}$		$\frac{1}{n} \sum \text{SoMoMNq}$	Lfw	Bezugs- Jahr (Lfw)						
							WUNDT (Jahresreihe) l/s	KILLE (Jahresreihe) km ²	LFW (ROTHASCHER) (Jahresreihe) l/s · km ²	Monate									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
244 01 001	Fränkische Saale	Bad Königshofen	78	70/84	5,2	0,8	2,9 (70/80) 3,0 (70/83)	2,7 (70/80)	2,4 (70/84)	6-11	2,4 (70/80) 2,5 (70/83)	1,0	76/77	1,1	46	1,1	2,4	kmg, kms	
244 03 007	Fränkische Saale	Salz	1022	61/84	8,6	1,0	4,8 (61/80) 4,8 (61/83)	3,7 (61/80)	3,0 (61/84)	6-11	3,3 (61/80) 3,4 (61/83)	1,2	76/77	1,2	35	1,3	2,5	k, m, s, (B)	
244 06 005	Fränkische Saale	Bad Kissingen	1587	30,51/ 84	7,5	0,1	4,3 (51/80) 4,0 (30/83)	3,6 (51/80)	2,8 (30/84)	6-11	3,2 (51/80) 2,9 (30/83)	1,0	47/48	1,3	37	1,2 1,1	2,8	k, s, m, (B)	
244 09 003	Fränkische Saale	Wolfs- münster	2131	31,51/ 84	7,4	0,2	4,1 (51/80) 4,0 (31/83)	3,5 (51/80)	2,6 (31/84)	6-11	2,9 (51/80) 2,8 (31/83)	0,95	34/35	1,4	35	1,2 1,1	2,7	s, k, m	
244 21 202	Streu	Nordheim	66	68/84	13,6	1,4	6,1 (68/80)	4,8 (68/80)	3,9 (68/84)	6-11	--	1,7	76/77	1,2	29	1,3	2,3	B, s, m	
244 22 001	Streu	Unsleben	439	68/84	8,6	0,5	4,5 (68/80) 4,7 (68/83)	3,5 (68/80)	2,9 (68/84)	6-11	3,3 (68/80) 3,3 (68/83)	1,1	76/77	1,4	34	1,3	2,6	m, s, ku, B	Versickerung im Bereich der Heustreuer Störungs- zone vermutet
244 24 007	Sulz	Stockheim	51	74/84	6,3	0,6	3,0 (74/80) 3,2 (74/83)	2,5 (74/80)	2,2 (74/84)	6-11	2,1 (74/80) 2,3 (74/83)	1,0	76/77	1,1	40	1,2 1,3	2,2	s (vorw. su + sm)	
244 28 008	Els	Geckenua	66	68/84	13,8	0,8	7,3 (68/80) 7,2 (68/83)	6,0 (68/80)	4,9 (68/84)	5-10	5,1 (68/80) 4,8 (68/83)	1,2	76	1,2	36	1,2	4,1	m, s, B	
244 31 002	Brend	Unterweissen- brunn	48	77/84	19,0	0,8	7,1 (77/80) 6,7 (77/83)	4,6 (77/80)	3,3 (77/84)	6-11	3,8 (77/80) 3,6 (77/83)	1,7	83/84	1,4	17	1,5	1,9	s, B, m	
244 32 504	Brend	Schweinhof	112	55/84	14,4	0,45	6,5 (55/80) 6,7 (55/83)	5,5 (55/80)	4,0 (55/84)	6-11	4,1 (55/80) 4,1 (55/83)	1,2	76/77	1,4	28	1,2	3,3	s, m, B	
244 41 006	Lauer	Poppenlauer	154	69/84	4,9	0,5	2,4 (69/80) 2,6 (69/83)	1,9 (69/80)	1,8 (69/84)	7-12	2,0 (69/80) 2,1 (69/84)	0,5	76/77	1,1	37	1,3 1,4	3,6	k,m	Versickerung im Muschelkalk
244 41 301	Lauer	Münnerstadt	263	70/84	6,2	1,2	3,7 (70/80) 4,0 (70/83)	3,3 (70/80)	3,0 (70/84)	7-12	3,2 (70/80) 3,4 (70/83)	1,6	76/77	1,1	48	1,1 1,2	1,9	k,m	
244 56 003	Kellersbach	Waldberg	8	77/84	21,3	1,3	8,3 (77/80) 9,1 (77/83)	5,7 (77/80)	4,8 (77/84)	6-11	5,2 (77/80) 5,2 (77/83)	2,6	79/80	1,2	23	1,5 1,6	1,8	s (25 % so) > mu + B	
244 61 003	Lauter	Schlimpfhof	13	67/84	10,0	0,8	4,0 (67/80) 5,9 (67/83)	3,0 (67/80)	2,3 (67/84)	6-11	2,4 (67/80) 3,0 (67/83)	0,8	76/77	1,3	23	1,3 2,0	2,9	s (sm > su)	
244 81 000	Sinn	Bad Brückenua	91	54/84	17,4	0,2	8,3 (54/80) 8,4 (54/83)	7,0 (54/80)	5,7 (54/84)	6-11	5,9 (54/80) 5,9 (54/83)	1,8	57/58	1,2	10	1,2	3,2	s (25% so) > mu	
244 82 003	Sinn	Mittelsinn	457	51/84	12,6	1,3	6,9 (51/80) 7,1 (51/83)	5,6 (51/80)	4,5 (51/84)	6-11	4,8 (51/80) 4,8 (51/83)	1,7	76/77	1,2	36	1,2 1,3	2,6	s (sm > su)	
244 83 006	Sinn	Gemünden	610	59/84	11,8	1,1	6,3 (59/80) 6,5 (59/84)	4,7 (59/80)	3,9 (59/84)	6-11	4,2 (59/80) 4,2 (59/84)	1,7	76/77	1,2	33	1,3 1,4	2,3	s (sm > su)	

Tab. 13 Dokumentation zur Ermittlung der Neubildungsrate
im Bilanzraum V Spessart

Meß- stelle Nr.	Gewässer	Pegel	A _{EO} km ²	Jahres- reihe	Mq i/s	Nq km ²	MqG				NqG			9/10	10/6 %	8/9	10/13	Geologie	Bemerkungen
							$\frac{1}{n} \sum 12\text{-Mo}KNNq$		$\frac{1}{n} \sum 6\text{-Mo}NNq$		$\frac{1}{n} \sum SoMcMNq$	LFW km ²	Bezugs- jahr (LFW)						
							WUNDT (Jahresreihe) 1/s	KILLE (Jahresreihe) km ²	LFW (ROTHASCHER) (Jahresreihe) 1/s · km ²	Monate	WUNDT (Jahresreihe) 1/s								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
245 21 105	Lohr	Frammersbach	68	63/84	15,0	1,0	8,1 (63/80) 8,6 (63/83)	6,6 (63/80)	5,1 (63/84)	6-11	5,5 (63/80) 5,8 (63/83)	2,1	76/77	1,3	34	1,2 1,3	2,4	s (vorw. su)	
245 22 006	Lohr	Partenstein	220	54/84	13,8	1,1	8,1 (54/80) 8,4 (54/83)	6,4 (54/80)	5,3 (54/84)	6-11	5,7 (54/80) 5,8 (54/83)	2,4	76/77	1,2	38	1,3	2,2	s (vorw. su)	
245 38 006	Krebsbach	Erlach	7	79/84	8,6	0	1,9 (79/80) 3,0 (79/83)	1,9 (79/80)	1,7 (79/84)	6-11	1,6 (79/80) 2,1 (79/83)	1,4	79/80	1,1	20	1,0 1,6	1,2	s (vorw. so), (mu)	
245 61 303	Hafenlohr	Breitfurt	97	71/84	12,8	1,1	6,8 (71/80) 7,3 (71/83)	5,9 (71/80)	4,4 (71/84)	6-11	5,0 (71/80) 5,2 (71/83)	2,3	76/77	1,3	34	1,2	1,9	s (su + sm)	
245 62 000	Hafenlohr	Hafenlohr	147	71/84	11,8	0,4	6,1 (71/80) 6,7 (71/83)	5,2 (71/80)	3,8 (71/84)	6-11	4,3 (71/80) 4,7 (71/83)	1,6	76/77	1,4	32	1,2 1,3	2,4	s (su, sm, (so))	Versickerung - unterir- discher Zufluß zum Main vermutet
247 19 000	Erf	Bürgstadt	235	58/84	6,7	0,9	3,9 (58/80) 4,1 (58/83)	3,4 (58/80)	3,1 (58/84)	7-12	3,3 (58/80) 3,4 (58/83)	1,4	64/65	1,1	46	1,1 1,2	2,3	s (sm > sol, m)	
247 22 005	Mud	Weilbach	396	50/84	8,3	1,1	4,3 (50/80) 4,4 (50/83)	3,6 (50/80)	3,2 (50/84)	6-11	3,4 (50/80) 3,5 (50/83)	1,6	64/65	1,1	39	1,2	2,0	s > m	
247 52 006	Elsava	Rück	142	51/84	8,9	1,1	5,5 (51/80) 5,8 (51/83)	4,7 (51/80)	4,2 (51/84)	7-12	4,5 (51/80) 4,7 (51/83)	1,8	64/65	1,2	47	1,2	2,3	s (su > sm)	
247 58 002	Aschaff	Goldbach	144	58/84	9,8	0,8	5,3 (58/80) 5,7 (58/83)	4,5 (58/80)	4,0 (58/84)	6-11	4,1 (58/80) 4,4 (58/83)	1,4	64/65	1,1	41	1,2 1,3	2,8	Grundgebirge (ca. 75%) su (≈ 25%)	
247 75 001	Kahl	Michelbach	153	59/84	10,2	1,1	5,7 (59/80) 6,0 (59/83)	4,8 (59/80)	4,1 (59/84)	6-11	4,2 (59/80) 4,4 (59/83)	1,6	64/65	1,1	40	1,2 1,3	2,6	Grundgebirge (ca. 75%) su (≈ 25%),(z)	

Tab. 14 Gegenüberstellung verschiedener Methoden zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge

Methoden	KILLE	ROTHASCHER	mittl. Niedrigwasser-abflußspende
	$1/12 \sum 12 \cdot MoMNqr$	$1/n \sum 6 \cdot MoMNq$	MNq
Teil- gebiet	Angaben in l/(s x km ²)		
I-A	4,4	3,0	1,3
I-B	3,8	2,7	1,2
I-C	4,8	3,9	2,0
I-G	6,4	5,4	3,2
I-I	7,4	8,2	4,3

Tab. 15 Bedeutende Gewinnungsanlagen aus dem Grundwasserleiter des Muschelkalks im Bilanzraum III Mittelmain

Lokalität	Fördermenge Mio m ³ /a	Ortsnetz	regionaler Verbund
Hain	0,1 - 0,5	--	Rhön-Maintal Gruppe (RMG)
Poppenhausen	0,1 - 0,5	--	Rhön-Maintal Gruppe (RMG)
Schweinfurt	ca. 0,5	Schweinfurt	--
Kitzingen (mehrere Anlagen)	1,0 - 5,0	Kitzingen	--
Zellingen	1,0 - 5,0	Würzburg	--
Würzburg (mehrere Anlagen)	ca: 10,0	Würzburg	--
Ochsenfurt (mehrere Anlagen)	0,5 - 1,0	Ochsenfurt	--
Arnstein (mehrere Anlagen)	ca. 0,5	Arnstein	--

Tab. 16a Mineral- und Thermalwässer im Planungsgebiet

Tab. 16a

Cl-Wässer

	Ort	Bezeichnung	TK 1 : 25 000	R / H	Charakteristika	∑ Min. g/l	Q (l/s)	Besonderheiten (mg/l)
1	Neustadt a. d. Saale	Marien-Quelle	5627 Bad Neustadt a. d. Saale	R 35873 H 55766	Na (52), Ca (34), Cl (64)	2,4	2,0	CO ₂ 527
2	Heustreu		---	R 35900 H 55801	Na (49), Cl (52) Ca (34), SO ₄ (35)	2,5	n.n.	
3	Hollstadt		---	R 35916 H 55804	Na (66), Cl (69) Ca (25)	5,8	n.n.	
4	---		---	R 35918 H 55804	Na (67), Cl (71)	5,7	n.n.	
5	---		---	R 35918 H 55802	Na (67), Cl (64) Ca (24), SO ₄ (29)	5,7	n.n.	
6	---	Oberer Sauerbrunnen	---	R 35921 H 55801	Na (73), Cl (74)	6,1	n.n.	
7	---	Unterer Sauerbrunnen	---	R 35922 H 55802	Na (70), Cl (71)	5,9	0,8	
8	---	Stahlbrunnen	---	R 35922 H 55799	Na (67), Cl (70)	5,7	n.n.	
9	Königshofen i. Grabfeld	Urbani-Quelle	5628 Königshofen i. Grabfeld	R 36050 H 55748	Na (64), Cl (47) HCO ₃ (44)	10,4	1,5	
10	Königshofen	BN	5728 Oberlauringen	R 36045 H 55746	Na (77), Cl (61) SO ₄ (26)	12,6	n.n.	
11	Hofstetten	VB 1	5923 Rieneck	R 35468 H 55470	Na (70), Cl (55) SO ₄ (26)	2,4	13,1	(verfüllt)
12	Harrbach	Brunnen a. der Staustufe	5924 Gemünden	R 35516 H 55407	Ca (52), Na (27) Cl (48), SO ₄ (39)	1,2	7,6	
13	Sodenthal in Soden	Mineralquelle Englert	6021 Haibach	R 35143 H 55316	Na (68), Cl (72)	1,3	1,0	
14	---	Echterquelle	---	R 35144 H 55316	Na (88), Cl (81)	3,3	0,5	
15	Großwallstadt	Bohrung Großwallstadt	6120 Obernburg	R 35117 H 55276	Na (46), Cl (88) Ca (34)	2,4	25	
16	Unterpleichfeld		6126 Dettelbach	-	Na (60), Cl (29) SO ₄ (26), HCO ₃ (25)	1,5	n.n.	
17	Kitzingen	Sole Reubelshof	6227 Iphofen	R 35860 H 55131	Na (96), Cl (47)	18,5	n.n.	NaCl 120 000
18	Hellmitzheim	Brunnenbohrung	6327 Einersheim	R 35957 H 54049	Na (89), Cl (83)	64,0	n.n.	
19	Seehof bei Hellmitzheim	Bohrung im Seehof	6328 Scheinfeld	R 35968 H 55054	Na (87), Cl (86)	43,0	n.n.	

Cl-CO₂ - Wässer

20	Neustadt a. d. Saale	Neue Hauptbohrung	5627 Bad Neustadt a. d. Saale	R 35872 H 55766	Na (82), Cl (86)	39,0	2,0	NaCl 32 000 CO ₂ 2 300
21	---	Ausgebaute Versuchsbohrung	---	R 35872 H 55766	Na (87), Cl (91)	72,0	6,8	NaCl 63 000 CO ₂ > 2 000
22	---	Karl-Theodor-Quelle	---	R 35873 H 55766	Na (80), Cl (80)	43,7	n.n.	CO ₂ 1 600
23	---	Elisabeth-Quelle	---	R 35873 H 55766	Na (66), Cl (72)	10,7	0,9	NaCl 6 700 CO ₂ 1 700 Fe 5,2
24	---	Hermanns-Quelle	---	R 35873 H 55766	Na (68), Cl (80)	10,9	1,4	NaCl 7 200 CO ₂ 1 600 Fe 6
25	---	Bonifazius-Quelle	---	R 35873 H 55766	Na (78), Cl (84)	28,9	1,8	NaCl 22 000 CO ₂ 1 700 Fe 8,2
26	Heustreu	Salzbrunnen	---	R 35800 H 55810	Na (87), Cl (84)	34,6	n.n.	NaCl 27 900 CO ₂ 2 000 Fe 2 21,04
27	Hollstadt	Eisensäuerling	---	R 35915 H 55804	Na (64), Cl (67) Ca (25)	4,7	n.n.	
28	Bad Kissingen	Runder Brunnen	5726 Bad Kissingen Nord	R 35764 H 55650	Na (72), Cl (77)	16,9	6,7	NaCl 11 600 CO ₂ 1 800 Fe 13,7
29	---	Luitpoldsprudel	---	R 35772 H 55680	Na (50), Cl (41) Ca (30), HCO ₃ (36)	4,6	1,6	CO ₂ > 2 000 Fe 2 16,5
30	Burgsinn	Bavaria-Sprudel	5823 Burgsinn	R 35468 H 55576	Na (71), Cl (64)	18,5	n.n.	CO ₂ 3 600 Fe 2 16,9
31	Bad Kissingen	Maxbrunnen	5826 Bad Kissingen Süd	R 35770 H 55629	Na (68), Cl (73)	8,6	0,2	CO ₂ 2 500 Fe 2 9,5
32	---	Pandur-Quelle	---	R 35770 H 55629	Na (72), Cl (75)	9,5	0,1	CO ₂ 2 500 Fe 2 13,8
33	---	Rakoczy-Quelle	---	R 35770 H 55629	Na (68), Cl (74)	9,3	0,3	CO ₂ 2 540 Fe 2 10,4

Tab. 16b Mineral- und Thermalwässer im Planungsgebiet

SO₄ - Wässer

	Ort	Bezeichnung	TK 1 : 25 000	R / H	Charakteristika	Σ Min. g/l	Q (l/s)	Besonderheiten (mg/l)
34	Brückenau-Stadt	Siebener Sprudel (Stahlquelle)	5624 Bad Brückenau	R 35566 H 55764	Ca (72), SO ₄ (72) Mg (26)	2	0,3	
35	---	Siebener Sprudel (Schwefelquelle)	---	R 35566 H 55754	Ca (73), SO ₄ (72) HCO ₃ (28) ⁴	1,9	5,0	CO ₂ 271
36	Hollstadt		5627 Bad Neustadt a. d. Saale	R 35934 H 55794	Ca (46), SO ₄ (49) Na (28), Cl ⁴ (31)	2,2	n.n.	
37	Saal	Roter Brunnen	5628 Königshofen i. Grabfeld	R 35968 H 55754	Ca (67), SO ₄ (61) HCO ₃ (28) ⁴	2,0	n.n.	CO ₂ 400
38	Ottelmannshausen		---	R 36053 H 55787	Ca (71), SO ₄ (75)	2,1	n.n.	CO ₂ 328
39	Königshofen		---	R 36047 H 55747	Na (76), SO ₄ (50) HCO ₃ (27) ⁴	4,0	n.n.	
40	---	Regius-Quelle	---	R 36056 H 55751	Na (53), SO ₄ (49) Ca (30), Cl ⁴ (39)	5,2	n.n.	CO ₂ 328
41	Münnerstadt	Pfändler-Spital-Brunnen	5727 Münnerstadt	R 35852 H 55689	Ca (67), SO ₄ (69) Mg (28), HCO ₃ (28)	2,1	n.n.	
42	Grub a. Forst	Kupferbrunnen	5732 Sonnefeld	R 44307 H 55670	Ca (79), SO ₄ (78)	1,8	2,0	
43	Sennfeld	Hennebergquelle	5927 Schweinfurt	R 35909 H 55462	Ca (79), SO ₄ (76)	2,3	n.n.	
44	Untereuerheim	Quelle in Untereuerheim	5928 Obertheres	R 35995 H 55428	Ca (80), SO ₄ (76)	2,5	5,0	
45	Wülfingen-Bahndamm		---	R 36054 H 55442	Ca (80), SO ₄ (67)	2,9	0,8	
46	Wonfurt	Altachquelle	---	R 36060 H 55441	Ca (81), SO ₄ (72)	2,9	14,0	
47	Haßfurt	Benediktiner-Quelle (Rote Quelle)	5929 Haßfurt	R 43935 H 55450	Ca (77), SO ₄ (66)	3,1	8,0	
48	Lichtenau	Versuchsbohrung Lichtenau	6022 Rothenbuch	R 35321 H 55346	Ca - Mg - SO ₄	> 1,9	n.n.	
49	Schönarts	Bohrung Schönarts	6024 Karlstadt	R 35593 H 55366	Ca (72), SO ₄ (78)	2,6	n.n.	Fe 12,9 (Stammt vermutlich aus Verrohrung)
50	Wipfeld	Quelle ohne sichtbare Fassung	6027 Grettstadt	R 35845 H 55324	Ca (71), SO ₄ (76) Mg (26)	2,0	n.n.	
51	---	Quelle I	---	R 35851 H 55328	Ca (73), SO ₄ (75)	1,9	0,8	
52	---	Quelle II	---	R 35851 H 55328	Ca (73), SO ₄ (75)	1,9	0,1	
53	---	Kaiser Wilhelms-Quelle	---	R 35851 H 55328	Ca (77), SO ₄ (73)	1,0	n.n.	
54	---	Quelle im Badeweiher	---	R 35851 H 55328	Ca (74), SO ₄ (74)	1,9	n.n.	
55	Kloster Heidenfeld		---	R 35863 H 55371	Na (96), SO ₄ (65)	3,8	n.n.	
56	Lengfurt		6123 Markt-heidenfeld	R 35442 H 55188	Ca (75), SO ₄ (90)	1,9	n.n.	
57	Glashütten	Faalbrunnen	6134 Waischenfeld	R 44605 H 55282	Ca (61), SO ₄ (64) Mg (34), HCO ₃ (34)	1,7	0,2	
58	Würzburg	Bohrung Würzburg	6225 Würzburg Süd	R 35668 H 55182	Ca (75), SO ₄ (75)	2,1	n.n.	
59	Castell	Quelle in Castell	6228 Wiesentheid	R 35975 H 55126	Ca (75), SO ₄ (80)	2,7	0,4	
60	Rothenburg o. d. Tauber	Stahlquelle	6227 Rothenburg o. d. Tauber	R 35857 H 54709	Ca (83), SO ₄ (80)	2,4	n.n.	

SO₄ - CO₂ - Wässer

61	Brückenau-Stadt	Georgisprudel	5624 Bad Brückenau	R 35560 H 55751	Ca (61), SO ₄ (40) Cl (31)	4,6	0,4	CO ₂ 2 700 Fe 12,4
----	-----------------	---------------	--------------------	--------------------	--	-----	-----	----------------------------------

Tab. 16c

Tab. 16c Mineral- und Thermalwässer im Planungsgebiet

 HCO_3 - Wässer

	Ort	Bezeichnung	TK 1 : 25 000	R / H	Charakteristika	Σ Min. g/l	Q (l/s)	Besonderheiten (mg/l)
62	Brückenaue-Staatsbad	Knellquelle	5624 Bad Brückenaue	R 35534 H 55744	Ca (60), HCO_3 (68) Mg (25)	0,1	2,8	CO_2 > 250
63	Sodenthal in Soden	Rochusquelle	6021 Haibach	R 35145 H 55316	Na (71), HCO_3 (51) SO_4 (32)	1,0	0,04	
64	Grettstadt	Burkarts-Brunnen	6027 Grettstadt	R 35937 H 55396	Ca (36), HCO_3 (65) Mg (43), SO_4 (25)	1,4	2,7	NO_3 70-100

 HCO_3 - CO_2 - Wässer

65	Kothen	Pilsterquelle	5624 Bad Brückenaue	R 35551 H 55823	Ca (34), HCO_3 (72) Mg (31)	0,2	0,02	CO_2 2 500
66	Brückenaue-Staatsbad	König-Ludwig I-Quelle	---	R 35534 H 55744	Ca (50), HCO_3 (80) Mg (39)	0,4	1,9	CO_2 1 300 Fe^{2+} 8,1
67	---	Wernarzer-Quelle	---	R 35534 H 55744	Ca (49), HCO_3 (68) Mg (34)	0,1	0,2	CO_2 1 300
68	---	Sinnberger-Quelle	---	R 35534 H 55744	Ca (51), HCO_3 (73) Mg (32)	0,1	0,3	CO_2 2 000
69	Steben	Max-Marienquelle	5635 Nordhalben	R 44685 H 55771	Ca (75), HCO_3 (99)	2,1	0,1	CO_2 2 100
70	---	Tempelquelle	---	R 44741 H 55810	Ca (57), HCO_3 (77)	0,3	1,2	CO_2 1 250 Radon 74,0 M. E.
71	---	Wiesenquelle	---	R 44742 H 55810	Ca (57), HCO_3 (94)	0,5	3	CO_2 1 700 Fe^{2+} 10
72	Zeitlofs		5724 Zeitlofs	R 35489 H 55700	Ca (50), HCO_3 (58) Na (27), SO_4 (25)	3,4	n.n.	CO_2 2 500
73	Bad Bocklet	B.-N.-Quelle	5726 Bad Kissingen Nord	R 35769 H 55704	Na (37), HCO_3 (46) Ca (35), Cl^- (34)	4,7	17	CO_2 2 800 Fe^{2+} 17,3
74	Lendershausen	Alte Quelle	5828 Stadtlauringen	R 43916 H 55559	Ca (55), HCO_3 (86) Mg (32)	1,9	n.n.	CO_2 2 000
75	---	Neue Quelle	---	R 43916 H 55559	Ca (67), HCO_3 (86) Mg (25)	0,4	n.n.	CO_2 2 300 Fe^{2+} 8,2

Mischwässer

76	Bad Kissingen	Theresienbrunnen	5726 Bad Kissingen Nord	R 35761 H 55664	Na (71), Cl^- (43) HCO_3 (43)	1,3	1,2	CO_2 310
77	Thüngersheim		6125 Würzburg Nord	R 35604 H 55277	Ca (55), SO_4 (30) Na (28), HCO_3 (30)	1,1	n.n.	

Thermalwässer

78	Rodach	Rodach 1/1972	5630 Rodach b. Coburg	R 44123 H 55783	Ca (70), SO_4 (70) HCO_3 (25) 4	1	8	T 33 - 34°C
79	---	Rodach 2/1988 i. Muschelkalk	---	R 44118 H 55780	NaCl (50) CaSO_4 (50)	10	0,6	T 24°C
80	---	Buntsandstein	---	R 44118 H 55780	Ca (70), SO_4 (70) HCO_3 (25) 4	> 1	1,6 (6; ge- pumpt)	T 33 - 34°C
81	Bad Kissingen	Schönbornsprudel	5726 Bad Kissingen Nord	R 75763 H 55666	Na (71), Cl^- (69)	> 14	9,8	CO_2 1 500 Fe^{2+} 13,1 T 21°C
82	Staffelstein	Bohrung 1/1975	5831 Seßlach	R 44279 H 55531	Na (85), Cl^- (90)	> 90	0,9 (4; ge- pumpt)	CO_2 1 700 T 50°C
83	Mürsbach	Bohrungen 1 und 3 - 6, 1970/71	5931 Ebenfeld		Na (65), Cl^- (58) SO_4 (30)	max. 129	n.n.	CO_2 1 500 T > 50°C
	---	B 1	---	R 44192 H 55474				
	---	B 3	---	R 44181 H 55509				
	---	B 4	---	R 44181 H 55492				
	---	B 5	---	R 44199 H 55465				
	---	B 6	---	R 44181 H 55475				

Tab. 17a:

Tab. 17a: Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwasserleiter im Planungsraum (FURTA & LANGGÜTH)

P A L Ä O Z O I K U M	Wichtige hydrochemische Parameter ¹⁾		elektrische Leitfähigkeit $\mu\text{s}/\text{cm}$	Gesamthärte $^{\circ}\text{dH}$		Karbonathärte $^{\circ}\text{dH}$		Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) mg/l	Chlorid (Cl^-) mg/l		Sulfat (SO_4^{2-}) mg/l		Nitrat (NO_3^-) mg/l		pH-Wert		
	Grundwasserleiter	Kennzeichnung nach FURTA & LANGGÜTH		Zahl der Proben	I	II	I		II	I	II	I	II	I	II	I	II
	Kristallin	Vorwiegend erdalkalische Wasser mit höherem Alkaligehalt, überwiegend sulfatisch bzw. chloridisch und normal erdalkalische Wasser hydrogencarbonat-sulfatisch bzw. überwiegend sulfatisch	59	10 - 250	< 1 - 8	1	0 - 3	0,5	10	1 - 55	7	3 - 36	11	< 1 - 24 A: 50	6	3,8 - 7,5	5,7
	Nichtmetamorphes Karbonium bis Devon	Normal erdalkalische Wasser, hydrogencarbonat-sulfatisch	14	50 - 580	< 1 - 17	9	< 1 - 10	6	15 - 220	2 - 14 A: 42	8	13 - 99	49	< 1 - 23	9	6,6 - 8,2	7,4
	Unterkarbon (cu)	Vorw. normal erdalkalische Wasser u. Wasser mit höherem Alkaligehalt	55	70 - 260	1 - 8	3	0 - 7,5	2	0 - 170	1 - 53	7	6 - 45	23	< 1 - 27	8	4,3 - 8,0	6,3
	Rotliegendes (†)	Normal erdalkalische Wasser, überwiegend hydrogencarbonat-sulfatisch	10	200 - 350	4 - 10	7	2 - 8	6	40 - 180	4 - 17	9	14 - 28	21	5 - 22	11	5,9 - 7,8	7,2
	Unterer Buntsandstein (su)	Erdalkalische Wasser mit höherem Alkaligehalt, überwiegend sulfatisch u. überwiegend chloridisch	62	20 - 250	< 1 - 5,5	2	< 1 - 2,5	0,5	5 - 60	3 - 32 A: 80	8	5 - 25 A: 50-100	17	1 - 25	6	4,8 - 7,9	6,0
	Mittlerer Buntsandstein (sm)	Normal erdalkalische Wasser u. erdalkalische Wasser mit höherem Alkaligehalt	48	50 - 710	1 - 17	5	< 1 - 17	3,5	5 - 360	2 - 39	15	2 - 90	22	< 1 - 66	13	4,6 - 7,7	6,1
	Typ I	Normal erdalkalische Wasser u. erdalkalische Wasser mit höherem Alkaligehalt, überwiegend sulfatisch	33	50 - 310	1 - 6	3	< 1 - 3	1	5 - 70	2 - 37	14	3 - 40	20	< 1 - 66	12	4,6 - 7,1	5,7
	Typ II	Normal erdalkalische Wasser, überwiegend hydrogencarbonat-sulfatisch bzw. hydrogencarbonat-sulfatisch	15	190 - 710	5 - 17	10	4 - 17	9	90 - 360	6 - 39	17	2 - 90	25	2 - 48	14	6,4 - 7,7	7,0
	Oberer Buntsandstein (so)	Normal erdalkalische Wasser u. erdalkalische Wasser mit höherem Alkaligehalt	62	60 - 1140	1 - 44	11,5	< 1 - 20	7	5 - 410	< 1 - 88	27	3 - 440	56	1 - 90	31	4,6 - 8,0	6,5
	Typ I	Normal erdalkalische Wasser u. erdalkalische Wasser mit höherem Alkaligehalt, hydrogencarbonat-sulfatisch bzw. überwiegend sulfatisch	42	60 - 460	1 - 16	6,5	< 1 - 12	3	5 - 260	< 1 - 88	26	3 - 61	31	1 - 81	30	4,6 - 7,4	6,1
	Typ II	Normal erdalkalische Wasser, überwiegend hydrogencarbonat-sulfatisch	20	500 - 1140	13 - 44	22	10,5 - 19	15	230 - 410	< 1 - 46	28	10 - 440	107	3 - 90	34	6,9 - 8,0	7,4

¹⁾ I: Bereichsangaben (von/bis); II: Mittelwerte; A: Ausnahmen

Tab. 17b:

Tab. 17b: Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwasserleiter im Planungsraum (FURTA & LANGGUTH)

Grundwasserleiter	Wichtige hydrochemische Parameter ¹⁾		Zahl der Proben	Klassifizierung nach FURTA & LANGGUTH		elektrische Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$		Gesamthärte $^\circ\text{dH}$		Karbonathärte $^\circ\text{dH}$		Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) mg/l		Chlorid (Cl) mg/l		Sulfat (SO_4^{2-}) mg/l		Nitrat (NO_3^-) mg/l		pH-Wert		
	Normal erdalkalische Wasser, überwiegend hydrogenkarbonatisch	Normal erdalkalische Wasser		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Unterer Muschelkalk (mu)			56			340 - 900	600	8 - 30	21	7 - 24	15	150 - 520	330	2 - 78	24	8 - 135	49	< 1 - 113	30	< 1 - 113	7,0 - 8,1	7,4
Mittlerer Muschelkalk (mm)			22			400 - 2.000 A: > 200.000	910	21 - 92 A: 500	36	10 - 23	17	210 - 500	370	< 1 - 211 A: ~150.000	53	28 - 1.330 A: 4.520	230	< 1 - 81	37	< 1 - 81	6,9 - 7,6	7,2
Typ I			9			400 - 760	540	21 - 26	23	15 - 19	17	330 - 420	370	< 1 - 51	26	28 - 62	43	3 - 81	34	3 - 81	7,0 - 7,6	7,3
Typ II			12			600 - 2.000	1.190	24 - 92	46	10 - 23	17	210 - 500	370	7 - 211	73	105 - 1.330	370	< 1 - 69	39	< 1 - 69	6,9 - 7,3	7,1
Oberer Muschelkalk (mo)			68			280 - 1.110	760	9 - 38	26	8 - 28	18,5	170 - 610	400	< 1 - 125	42	13 - 134	49	1 - 152	32	1 - 152	7,0 - 8,2	7,4
Mittlerer u. Oberer Muschelkalk (mm/mo - Mischwasser)			50			630 - 2.220	1.100	19 - 106	40	10 - 25	18,5	210 - 550	400	9 - 82 A: 152/246	33	24 - 1.450	370	< 1 - 144	17	< 1 - 144	6,8 - 8,0 A: 6,5	7,2
Unterer Keuper (ku)			159			140 - 1.210 A: 1910	780	4 - 45 A: 70	28	< 1 - 27	18	20 - 590	390	6 - 180	64	9 - 302 A: 1.070	61	< 1 - 128	45	< 1 - 128	6,7 - 8,0 A: 6,2	7,3
Unterer Keuper Oberer Muschelkalk (ku/mo - Mischwasser)			24			450 - 1.600	970	16 - 50	30	10,5 - 37	20	220 - 810	440	5 - 208	61	24 - 509	154	< 1 - 91	20	< 1 - 91	7,0 - 7,8	7,3
Grpskeuper (kng)			50			430 - 2.650	1.520	10 - 111	61	< 1 - 27	18	20 - 590	390	3 - 66	29	21 - 1.610	740	1 - 110	23	1 - 110	6,9 - 7,6	7,2
Typ I			16			430 - 790	650	10 - 28	18	< 1 - 23	17	10 - 500	370	3 - 44	23	21 - 70	43	7 - 110	27	7 - 110	7,2 - 7,6 A: 5,6	7,3
Typ II			8			740 - 1.180	980	23 - 45	35	17 - 27	20	360 - 590	440	11 - 66	30	101 - 484	244	1 - 44	17	1 - 44	7,1 - 7,3	7,2
Typ III			26			1.400 - 2.650	2.220	58 - 111	95	15 - 21	18	320 - 460	390	3 - 62	32	650 - 1.610	1.320	3 - 52	23	3 - 52	6,9 - 7,4	7,1
Saundsteinkeuper (kms)			73			80 - 1.620	580	1 - 73	19	< 1 - 25	14	10 - 550	300	< 1 - 58	16	4 - 945	91	< 1 - 54	14	< 1 - 54	5,7 - 8,1	7,2
Typ I			60			80 - 1.000	500	1 - 30	16	< 1 - 25	14	10 - 550	300	1 - 58 A: 179	16	4 - 92	37	< 1 - 54	15	< 1 - 54	5,7 - 8,1	7,1
Typ II			13			520 - 1.620	970	7 - 73	31	5 - 25	14	100 - 550	300	< 1 - 35	14	100 - 945	340	< 1 - 34	9	< 1 - 34	7,0 - 8,0	7,4

¹⁾ I: Bereichsangaben (von/bis); II: Mittelwerte; A: Ausnahmen

Tab. 17c:

Tab. 17c: Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwasserleiter im Planungsraum (FUR TAK & LANGGUTH)

J U R A	Wichtige hydrochemische Parameter ^v		elektrische Leitfähigkeit µS/cm	Gesamthärte °dH		Karbonathärte °dH		Hydrogenkarbonat (HCO ₃ ⁻) mg/l	Chlorid (Cl ⁻) mg/l		Sulfat (SO ₄ ⁻²) mg/l		Nitrat (NO ₃ ⁻) mg/l		pH-Wert			
	Grundwasserleiter	Kennzeichnung nach FUR TAK & LANGGUTH		Zahl der Proben	I	II	I		II	I	II	I	II	I	II	I	II	
	Rhät und Lias (I+ko)	Vorwiegend normal erdalkalische Wässer	13	95 - 690	400	12	2 - 24	8	10 - 370	170	4 - 23	9	10 - 248	78	< 1 - 44	8	5,4 - 7,7	6,7
	Dogger (b)	Vorwiegend normal erdalkalische Wässer, überwiegend hydrogenkarbo- natisch	22	150 - 1.150	520	20	9 - 42 A: 1	15	130 - 420 A: 20	330	< 1 - 35	9	22 - 363 A: 6	28	< 1 - 25	9	7,0 - 8,2 A: 6,3	7,7
	Malm (w)	Normal erdalkalische Wässer, über- wiegend hydrogenkarbonatisch bzw. hydrogenkarbonatisch-sulfatisch	58	350 - 750	550	19	14 - 23	15	190 - 390	330	2 - 42	17	12 - 76	34	< 1 - 60	26	7,0 - 8,2 A: 6,7	7,5
	Tertiäre Vulkanite der Rhön	Normal erdalkalische Wässer sowie erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt	13	30 - 130	80	< 1 - 4	2	< 1 - 4	5 - 90	30	1 - 10	4	8 - 15	9	< 1 - 4	2	6,0 - 8,2	6,6
	Maintalquartär																	
	im Streckenabschnitt Haßfurt-Rodstadt	Vorwiegend normal erdalkalische Wässer	99	80 - 1.400	620	20	5 - 42	13	20 - 740	280	8 - 211	48	1 - 362	91	< 1 - 110	29	5,8 - 7,8	7,2
	im Streckenabschnitt Karlsbad-Haßfurt	Normal erdalkalische Wässer	6	80 - 1.000	320	27	17 - 37	16	230 - 480	350	37 - 110	64	50 - 285	108	< 1 - 110	59	7,3 - 7,8	7,6
	im Streckenabschnitt Rahmen: Gipssteuper																	
	im Streckenabschnitt Rahmen: vorw. Muschelkalk z.T. Unterer Keuper	Normal erdalkalische Wässer und erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt	45	500 - 1.400	790	23	15 - 42	15	210 - 740	330	14 - 211	70	39 - 362	129	< 1 - 75	23	7,1 - 7,6	7,3
	im Streckenabschnitt Oberburg-Karlsbad	Normal erdalkalische Wässer, über- wiegend hydrogenkarbonatisch sowie hydrogenkarbonatisch-sulfatisch	17	250 - 1.000	540	16	6 - 30	11	80 - 330	240	8 - 71	30	16 - 170	66	1 - 85	21	6,5 - 7,7	7,3
	im Streckenabschnitt Rahmen: Buntsandstein																	
	im Streckenabschnitt Kahl am Main - Oberburg (Aschaffener Becken)	Normal erdalkalische Wässer und erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt	31	200 - 640	470	15	5 - 21	11	20 - 350	240	11 - 40	24	1 - 70 A: 175	40	8 - 74	35	5,8 - 7,5	7,0
	im Streckenabschnitt Rahmen: vorw. tertiäre Lockergesteine																	

^v I: Bereichsangaben (von/bis); II: Mittelwerte; A: Ausnahmen

Tab. 18 Stratigraphische Tabelle

Zeitalter	Alter in Millionen Jahren	System/(Formation)	Abteilung
Känozoikum (Neozoikum)	0-1,7	Quartär	Holozän Pleistozän
	1,7-66	Tertiär	Pliozän Miozän Oligozän Eozän Paläozän
Mesozoikum	66-140	Kreide	Oberkreide Unterkreide
	140-210	Jura	Malm Dogger Lias
	210-250	Trias	Keuper Muschelkalk Buntsandstein
Paläozoikum	250-290	Perm	Zechstein Rotliegendes
	290-360	Karbon	Oberkarbon Unterkarbon
	360-410	Devon	Oberdevon Mitteldevon Unterdevon
	410-440	Silur	Oberes Silur Mittleres Silur Unteres Silur
	440-500	Ordovizium	Oberes Ordovizium Mittleres Ordovizium Unteres Ordovizium
	500-590	Kambrium	Oberkambrium Mittelkambrium Unterkambrium
	Präkambrium	>590	

Tab. 19 Stratigraphische Untergliederung der Trias

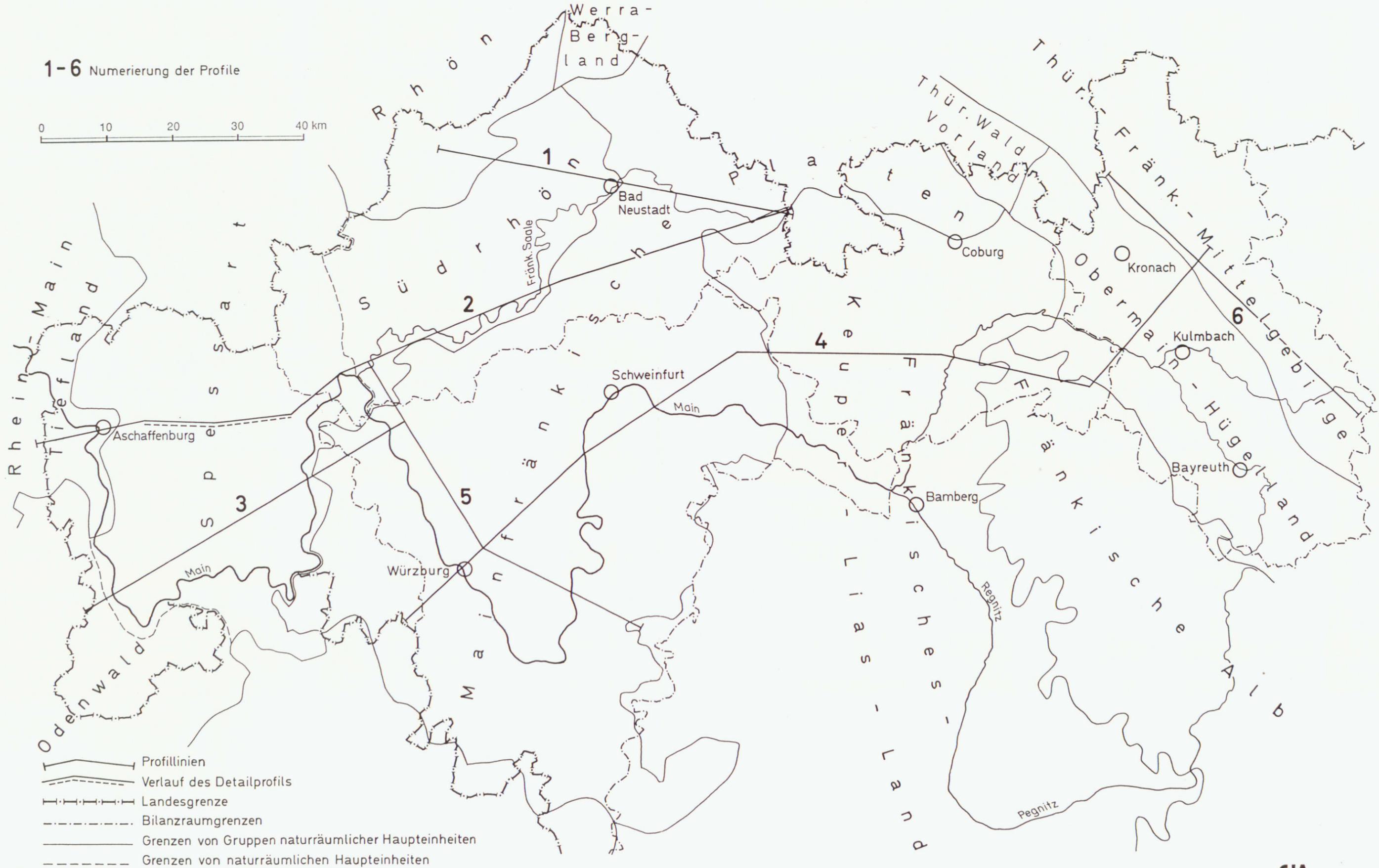
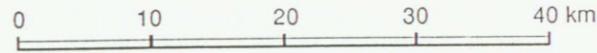
Formation	Abteilung	Stufe
Trias	Keuper	Oberer Keuper (Rhät)
		Mittlerer Keuper
		Sandsteinkeuper
		Gipskeuper
		Unterer Keuper
	Muschelkalk	Oberer Muschelkalk
		Mittlerer Muschelkalk
		Unterer Muschelkalk
	Buntsandstein	Oberer Buntsandstein (Röt)
		Mittlerer Buntsandstein
Unterer Buntsandstein		

Abbildungen 1 - 53

- Abb. 1** Übersicht zur regionalen Bearbeitung
- Abb. 1a** Übersicht zur naturräumlichen Gliederung
- Abb. 2** Geologische Übersichtskarte mit Bilanzraumgrenzen
- Abb. 3** Tektonische Übersichtskarte
- Abb. 4** Bezeichnung tektonischer Großstrukturen
- Abb. 5** Geologisch-hydrogeologisches Profil: Rhön-Grabfeld (1)
- Abb. 6** Geologisch-hydrogeologisches Profil: Aschaffener Becken - Spessart - Südrhön - Grabfeld (2)
- Abb. 7** Geologisch-hydrogeologisches Profil: Odenwald - Spessart - Marktheidenfelder Gäuplatte (3)
- Abb. 8** Geologisch-hydrogeologisches Profil: Mainfränkische Platten - Hesselbacher Waldland - Haßberge - Fränkische Alb - Bruchschollenland - Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (4)
- Abb. 9** Geologisch-hydrogeologisches Profil: Südrhön - Mainfränkische Platten - Steigerwaldrand (5)
- Abb. 10** Geologisch-hydrogeologisches Profil: Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (6)
- Abb. 11** Geologisch-hydrogeologisches Detailprofil Nordspessart
- Abb. 12** Ausgewählte Schnitte durch das Maintalquartär zwischen Kahl a.M. und Karlstadt
- Abb. 13** Ausgewählte Schnitte durch das Maintalquartär zwischen Karlstadt und Burgkunstadt
- Abb. 14** Hydrogeologischer Zusammenhang zwischen dem Maintalquartär und einem durchlässigen Festgesteinsrahmen
- Abb. 15** Hydrogeologischer Zusammenhang zwischen dem Maintalquartär und einem weitgehend undurchlässigen Festgesteinsrahmen
- Abb. 16** Grundwasserhöhengleichen eines Mittelwassers in den jungpleistozänen Mainablagerungen zwischen Haßfurt und Stammheim
- Abb. 17** Grundwasserhöhengleichen eines mittleren Hochwassers in den jungpleistozänen Mainablagerungen zwischen Haßfurt und Stammheim
- Abb. 18** Grundwassermächtigkeit in den quartären Mainsedimenten am Obermain
- Abb. 19** Wassermengen der aus dem Maintalquartär fördernden Wassererschließungen
- Abb. 20** Schematischer Schnitt durch die Wassergewinnungsanlage Weyer (Rhön-Maintal-Gruppe)
- Abb. 21** Typisierung nach FURTAK & LANGGUTH (1967)
- Abb. 22** Wässer aus dem Kristallin (vorw. Fichtelgebirge-Münchberger Gneismasse)
- Abb. 23** Wässer aus dem Unterkarbon
- Abb. 24** Wässer aus dem Rotliegenden
- Abb. 25** Wässer aus dem Unteren Buntsandstein
- Abb. 26** Wässer aus dem Mittleren Buntsandstein
- Abb. 27** Wässer aus dem Oberen Buntsandstein
- Abb. 28** Wässer aus dem Unteren Muschelkalk
- Abb. 29** Wässer aus dem Mittleren Muschelkalk
- Abb. 30** Wässer aus dem Oberen Muschelkalk
- Abb. 31** Mischwässer aus Oberem und Mittlerem Muschelkalk
- Abb. 32** Wässer aus dem Unteren Keuper sowie Mischwässer aus Oberem Muschelkalk und Unteren Keuper
- Abb. 33** Wässer aus dem Gipskeuper
- Abb. 34** Wässer aus dem Sandsteinkeuper
- Abb. 35** Wässer aus dem Sandsteinkeuper mit erhöhter Alkalien-Konzentration
- Abb. 36** Wässer aus dem Rhät bzw. Lias
- Abb. 37** Wässer aus dem Dogger
- Abb. 38** Wässer aus dem Malm
- Abb. 39** Wässer aus den tertiären Vulkaniten der Rhön
- Abb. 40** Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Roßstadt und Haßfurt (Gipskeuper)
- Abb. 41** Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Haßfurt und Würzburg (Muschelkalk-Unterer Keuper)
- Abb. 42** Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Karlstadt und Obernburg (Buntsandstein)
- Abb. 43** Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Obernburg und Alzenau i. Ufr.
- Abb. 44** Hydrogeologische Grundkarte
- Abb. 45** Sulfatgehalte im Maingebiet
- Abb. 46** Chloridgehalte im Maingebiet
- Abb. 47** Nitratgehalte im Maingebiet
- Abb. 48** Elektrische Leitfähigkeit im Maingebiet
- Abb. 49** pH-Werte im Maingebiet
- Abb. 50** Ergiebigkeiten im Maingebiet
- Abb. 51** Grundwasserneubildungsraten im Planungsgebiet
- Abb. 52** Übersicht ergiebiger Grundwasservorkommen im Planungsgebiet
- Abb. 53** Mineral- und Thermalwässer im Maingebiet

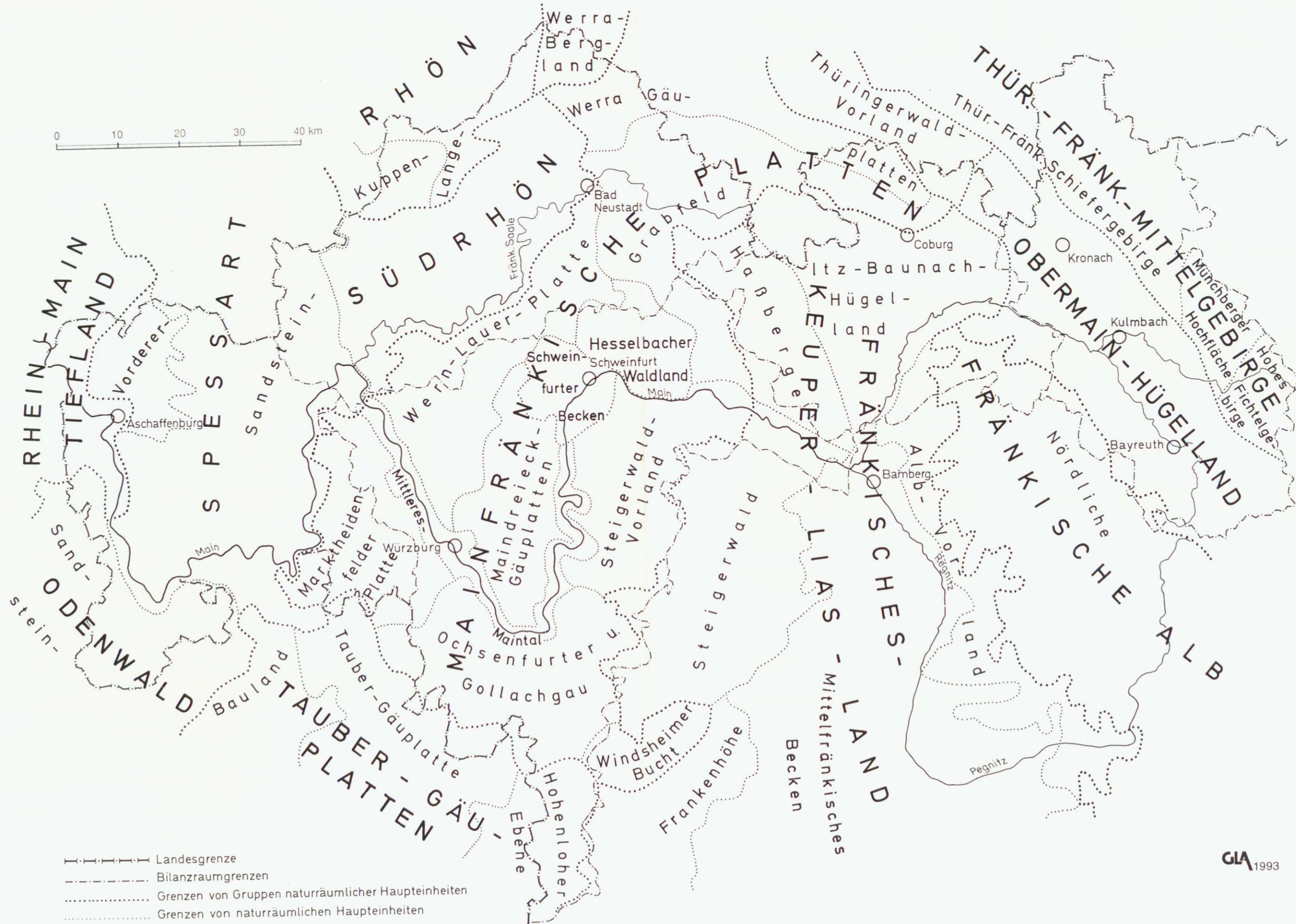
Übersicht zur regionalen Bearbeitung

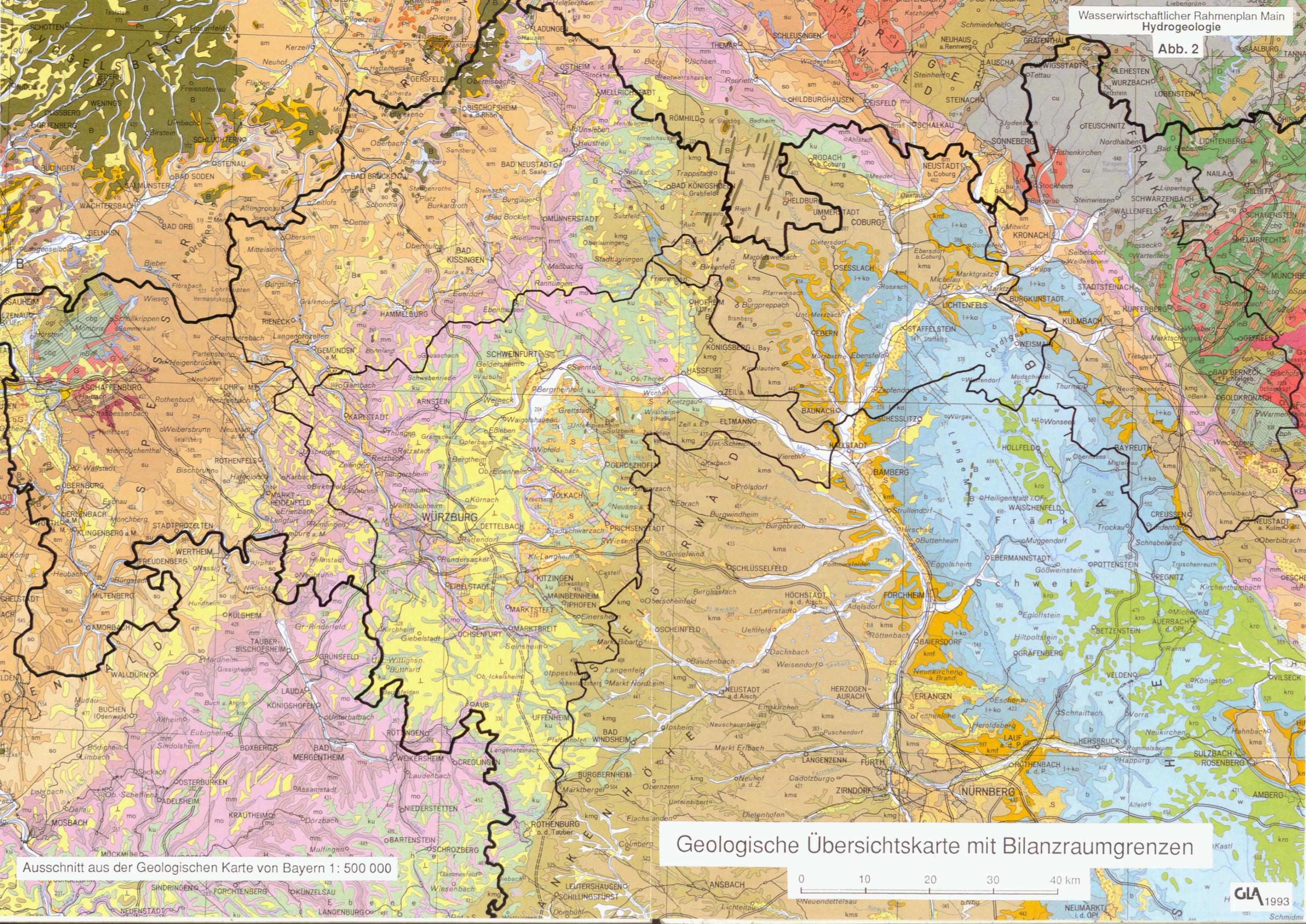
1-6 Numerierung der Profile



- Profillinien
- Verlauf des Detailprofils
- Landesgrenze
- Bilanzraumgrenzen
- Grenzen von Gruppen naturräumlicher Haupteinheiten
- Grenzen von naturräumlichen Haupteinheiten

Abb.1a



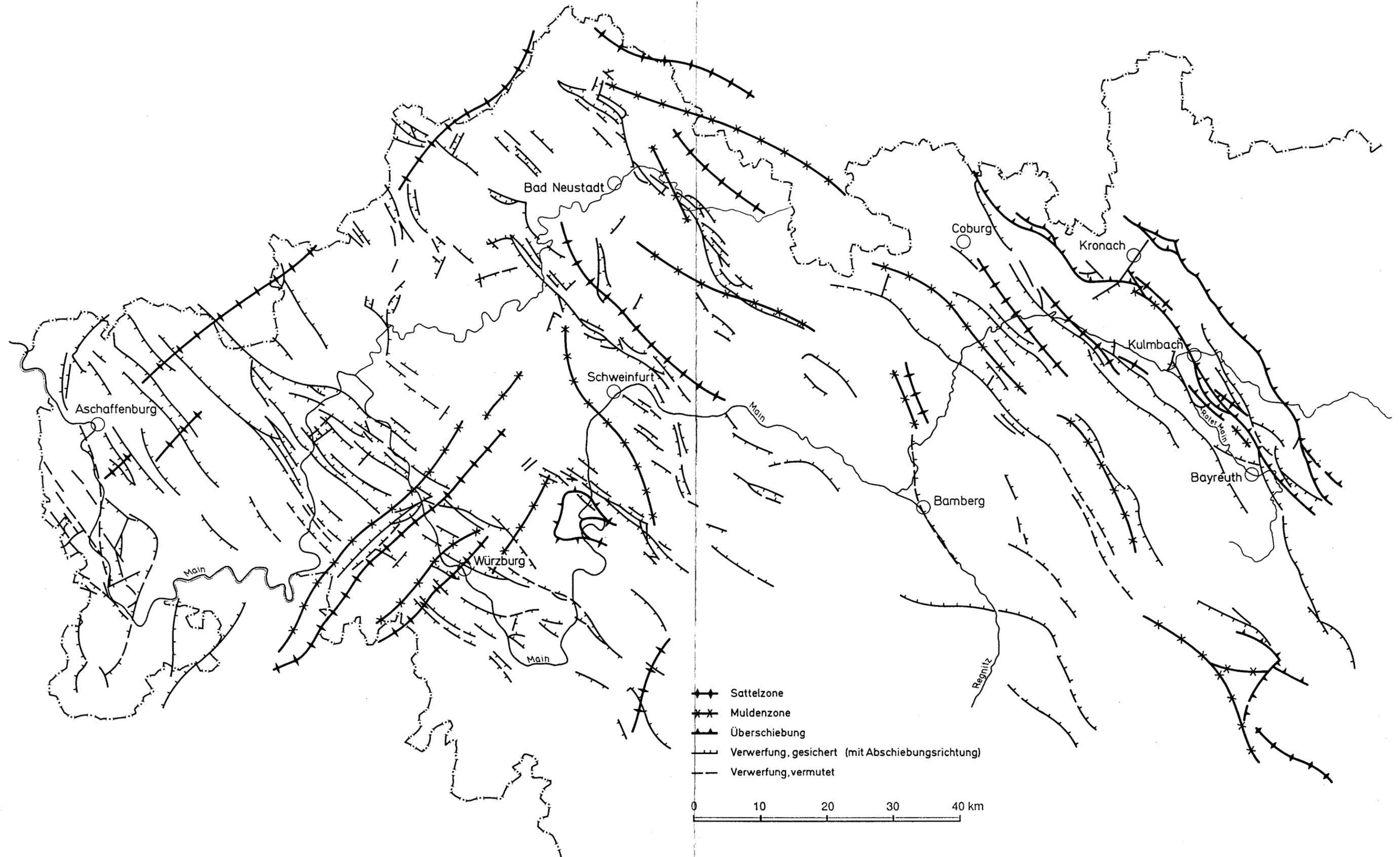


Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Bayern 1: 500 000

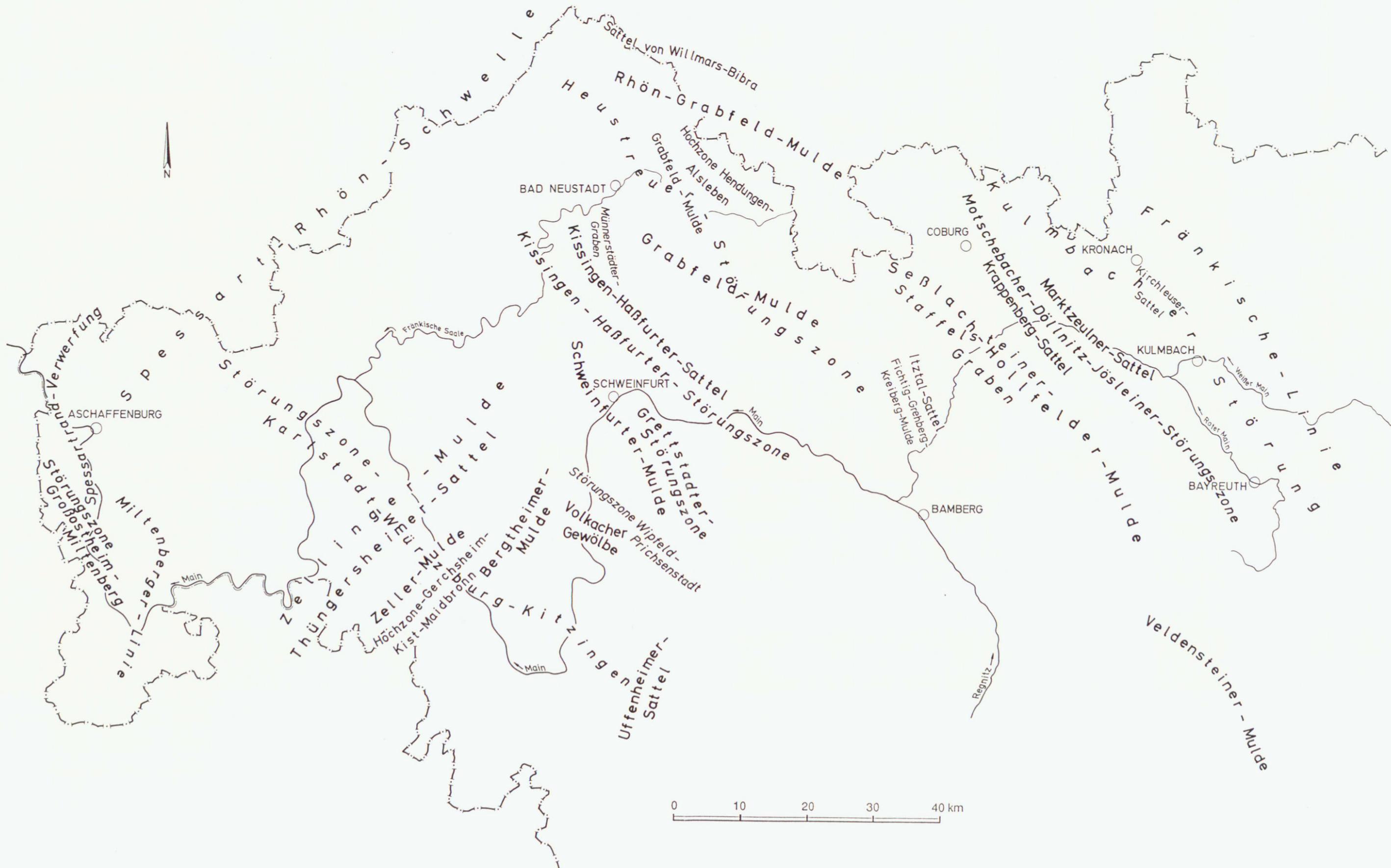
Geologische Übersichtskarte mit Bilanzraumgrenzen



Tektonische Übersichtskarte



Bezeichnung tektonischer Großstrukturen



Legende zu den Abbildungen 5 bis 11

Sediment - Gesteine

	Sandstein
	Konglomerat, Geröllhorizont
	Tonstein
	Mergel
	Sandschiefer bzw. Tonstein, sandig - Sandstein, tonig
	Kalkstein
	Dolomit
	Salz
	Gips



Kristalline, metamorphe Erguß- und Ganggesteine

	Granit (Altes Gebirge)
	Granitoider Gneis (Altes Gebirge)
	Diorit (Vorspessart)
	Amphibolith (Altes Gebirge)
	Prasinit - Phyllit - Wechselfolge der Gneisschieferzone der Münchberger Gneissmasse
	Kambrischer Phyllit (Altes Geb.)
	Gneis (allgemein) Altes Gebirge und Vorspessart
	Eklogit amphibolit (Altes Gebirge)
	Diabas (Altes Gebirge)
	Tonschiefer z. T. sandig
	Ganggesteine: Lp Lamporphyr (Altes Gebirge) Ba Baryt (Spessart) B Basalt (Sinn - Saale - Gebiet)

Stratigraphische (teils lithologische) Abkürzungen

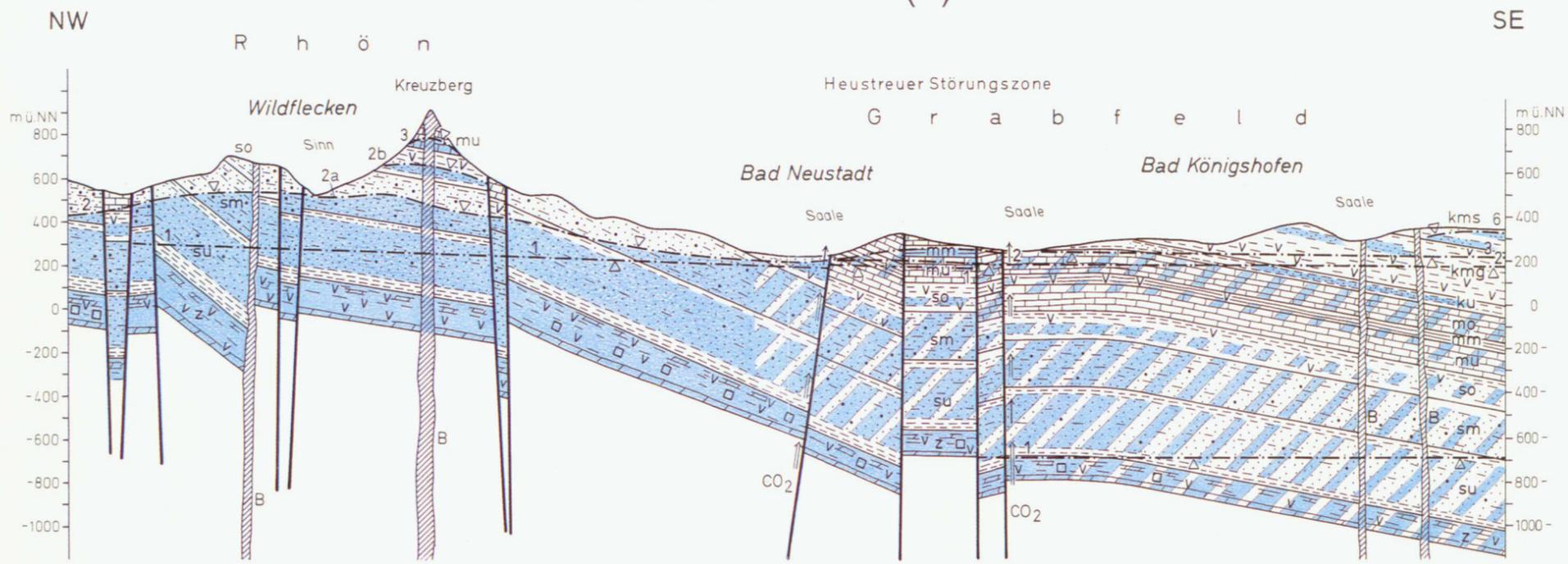
o	Ordoviz	
o,s	Ordoviz sandig	
o,t	Ordoviz tonig	
d	Devon	
cu	Unterkarbon	
ro 1,2	Oberrotliegend	
z	Zechstein	
s	Buntsandstein	
su, sm, so	Unterer-, Mittlerer- u. Oberer Buntsandstein	
su B	Bröckelschiefer	} nur in Detailprofil
su G	Gelnhausen - Folge	
su S	Salmünster - Folge	
mu, mm mo	Unterer-, Mittlerer- u. Oberer Muschelkalk	
ku	Unterer Keuper	
kmg	Gipskeuper	} Mittlerer Keuper
kms	Sandsteinkeuper	
ko	Rhät	
l	Lias	
b	Dogger	
w	Malm	

Hydrogeologische Zeichen

	Grundwasseroberfläche
	Grundwasserdruckspiegel
	a) Bohrung auf Profilinie b) Bohrung auf Profilinie projiziert
	Quellaustritte bzw. Quellhorizont
	freier Aufstieg mineralstoffreicher Wässer
	aufsteigendes CO ₂
	bedingt grundwasserleitend
	Grundwasserleiter, wenig bis mäßig durchlässig
	Grundwasserleiter, gut durchlässig

- 1 Grund- bzw. Druckwasserspiegel des Zechsteinstockwerks
- 2 Grund- bzw. Druckwasserspiegel des Buntsandstein Stockwerks
- 3 Grundwasserspiegel des Muschelkalk Stockwerks
- 4 Grundwasserspiegel lokaler Grundwasservorkommen im Unteren Keuper
- 5 Grund- bzw. Druckwasserspiegel des Gipskeuper Stockwerks (auch Benker Sandstein)
- 6 Grund- bzw. Druckwasserspiegel des Sandsteinkeuper Stockwerks
- 7 Grund- bzw. Druckwasserspiegel des Rhät - Lias Stockwerks (nur lokal ausgebildet)
- 8 Grund- bzw. Druckwasserspiegel des Dogger Stockwerks
- 9 Grundwasserspiegel des Malm

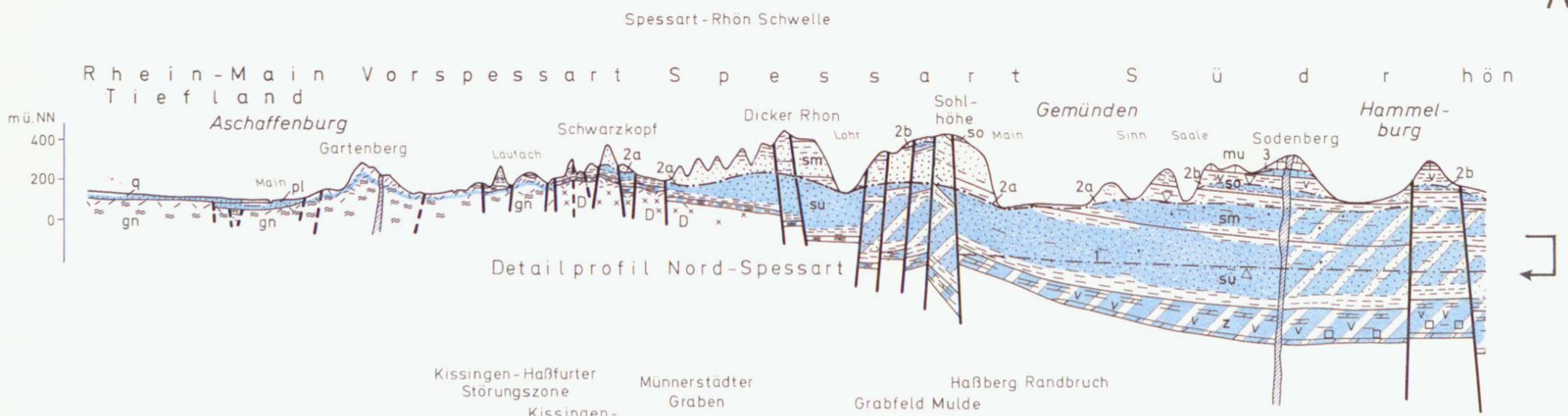
Geologisch-hydrogeologisches Profil: Rhön-Grabfeld (1)



PROFIL 1

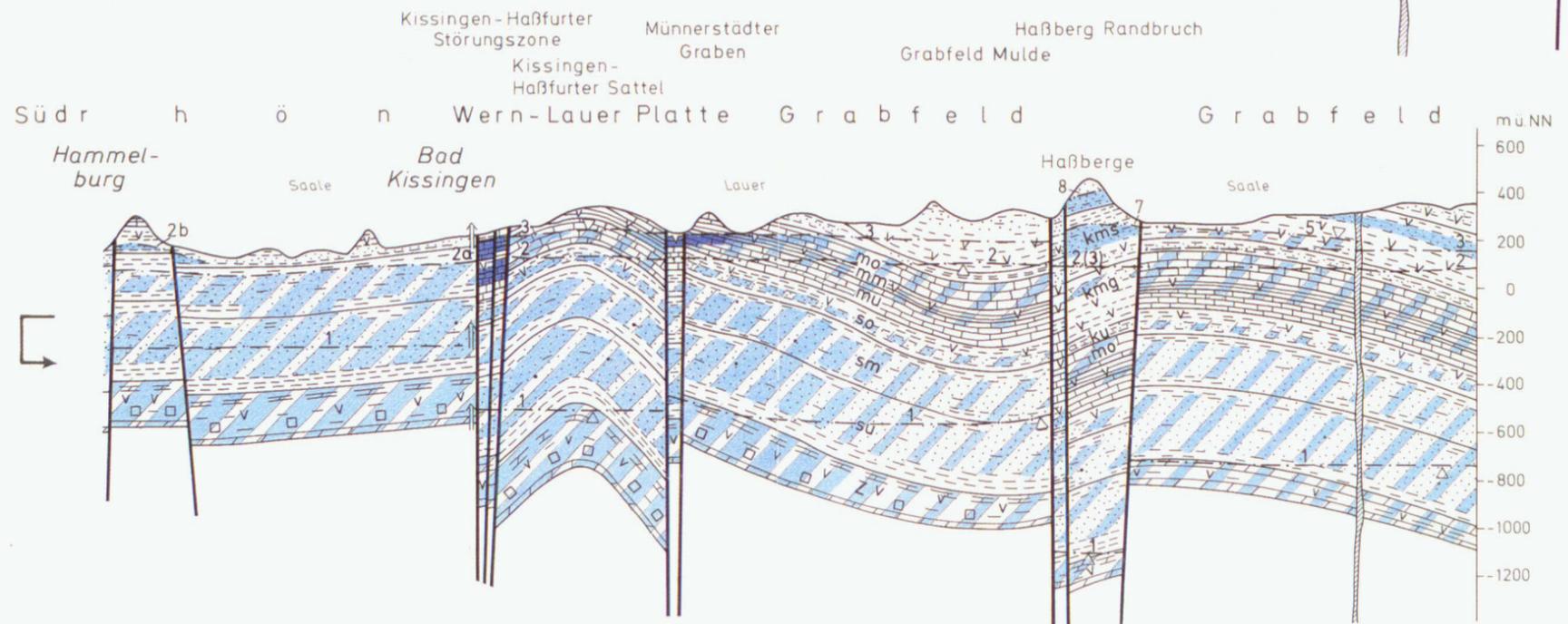
Abbildung 5

Geologisch-hydrogeologisches Profil: Aschaffener Becken - Spessart - Südrhön - Grabfeld (2)



PROFIL 2

Abbildung 6



Geologisch-hydrogeologisches Profil: Odenwald - Spessart - Marktheidenfelder Gäuplatte (3)

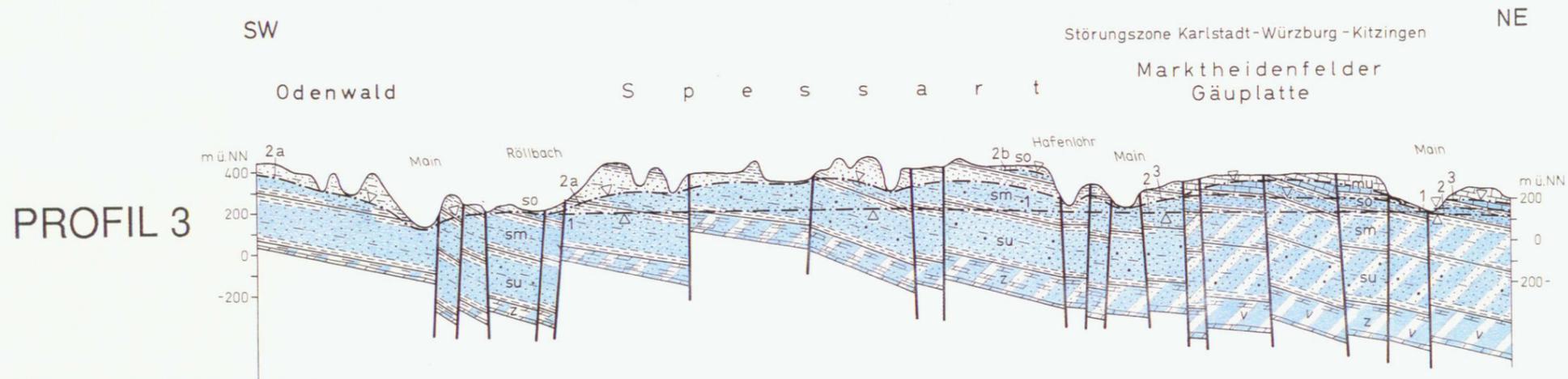


Abbildung 7

Geologisch-hydrogeologisches Profil: Mainfränkische Platten - Hesselbacher Waldland - Haßberge - Fränkische Alb- Bruchschollenland - Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (4)

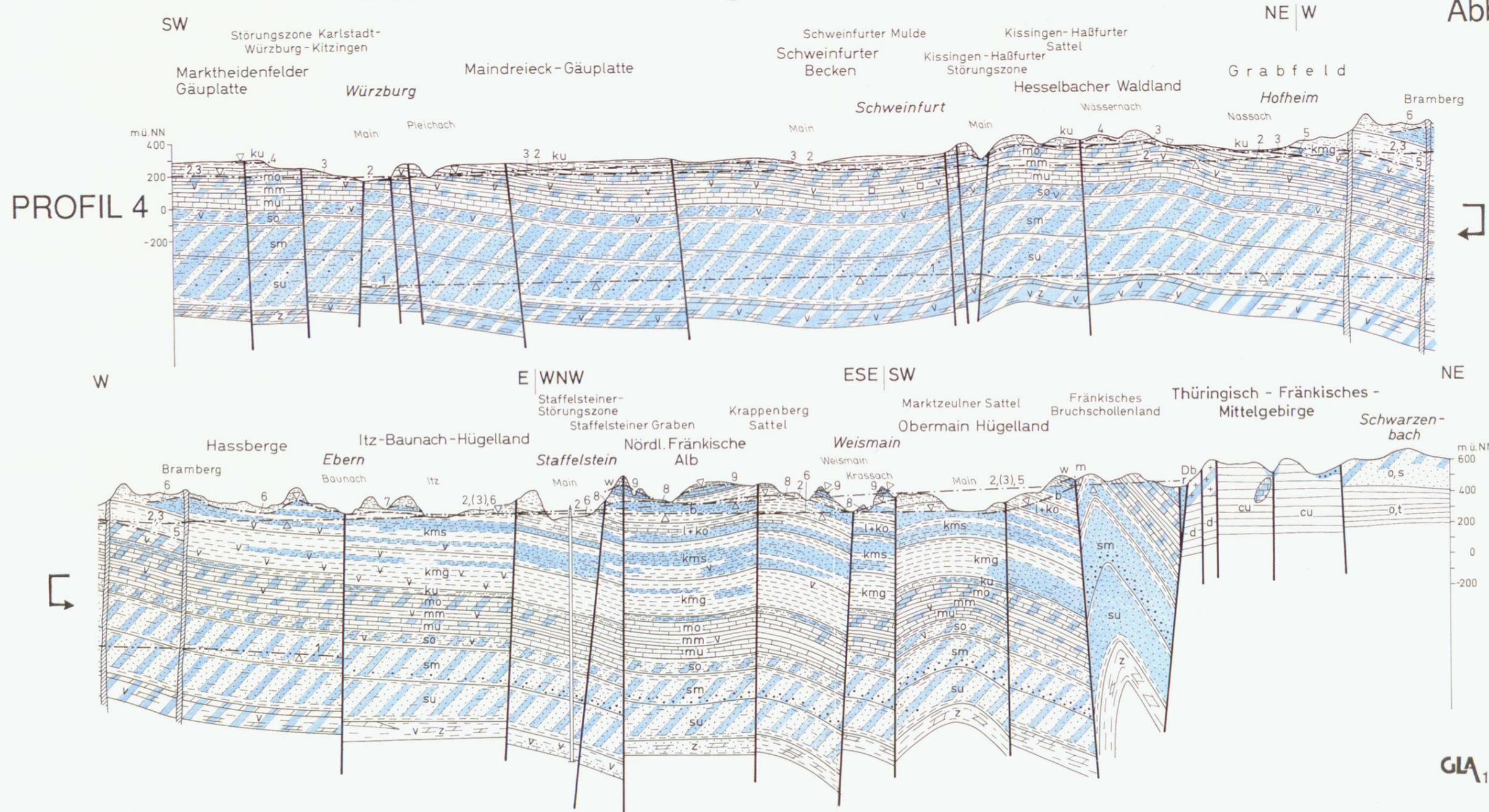
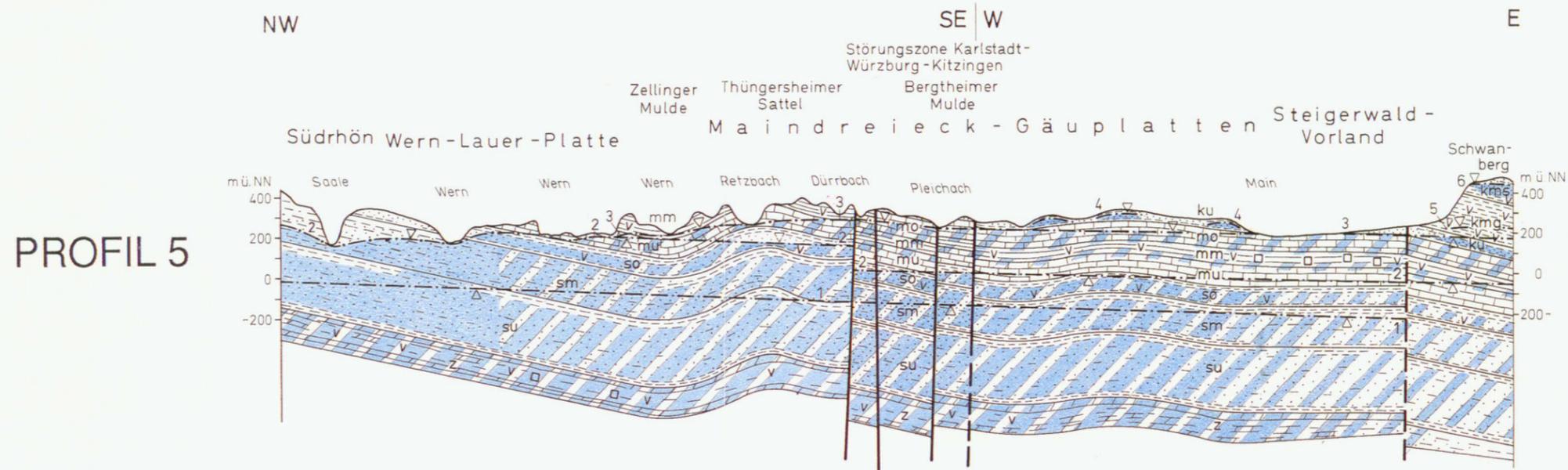


Abbildung 8

Geologisch-hydrogeologisches Profil: Südrhön - Mainfränkische Platten - Steigerwaldrand (5)

Abbildung 9

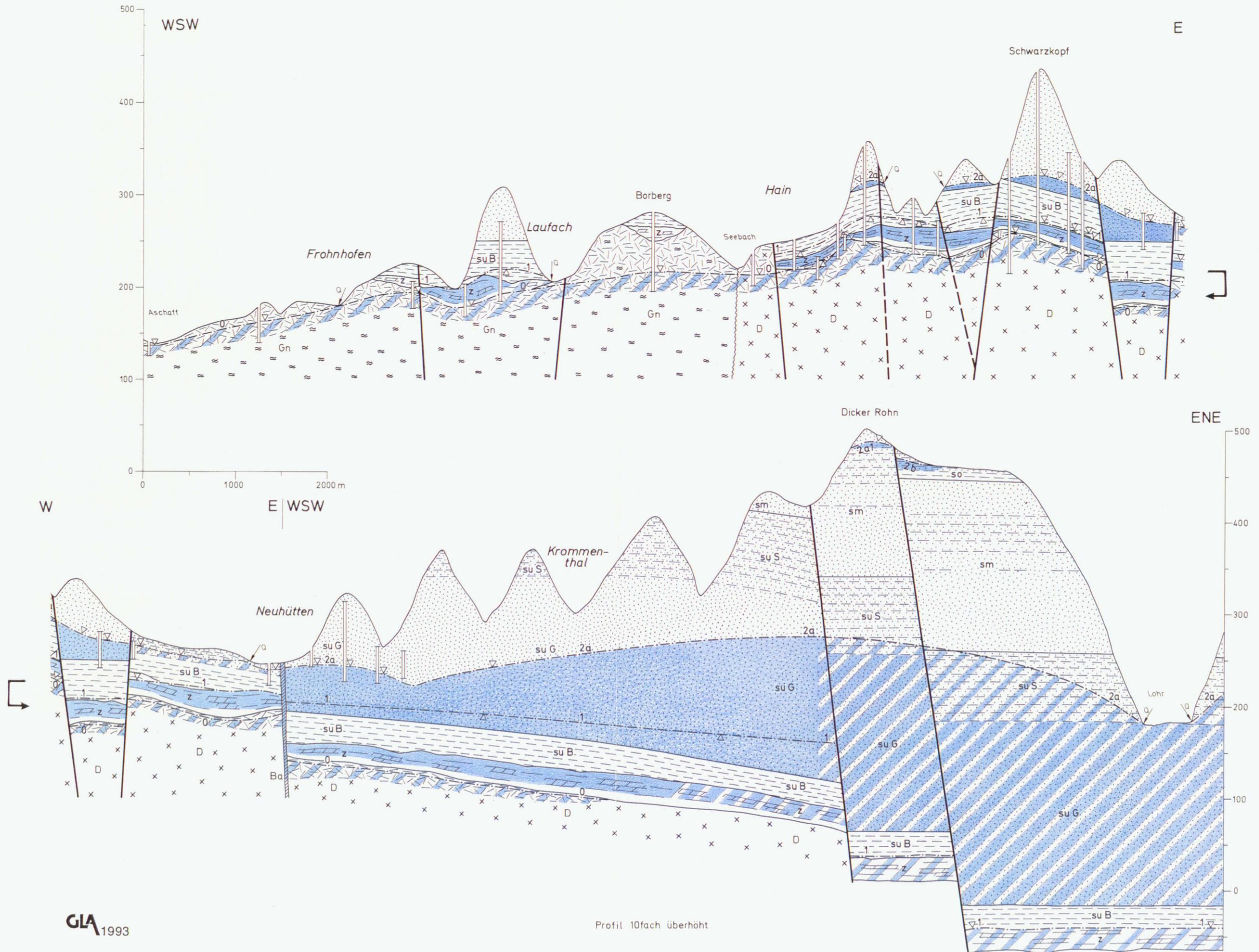


Geologisch-hydrogeologisches Profil: Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge (6)

Abbildung 10



Geologisch-hydrogeologisches Detailprofil Nordspessart



Legende zu den Abbildungen 12 und 13

65

-  Flugsand
 -  Sandig - lehmige Überdeckung
 -  Hangschutt, z. T. mit großen Gesteinsbrocken
 -  Sandig - kiesige Talfüllung
 -  Tonig - (mergelige) Talfüllung
 -  Tonige Talfüllung, z. T. verwitterter Muschelkalk
 -  Tertiär
 -  Lias
 -  Keuper
 -  Muschelkalk
 -  Buntsandstein
 -  Kristallin
-
- ▼ Geoelektrischer Meßpunkt
 - ▽ Seismischer Meßpunkt
- } Messungen:
Niedersächsisches
Landesamt für
Bodenforschung
- ||| Bohrung mit bzw. ohne Angabe der Endteufe
 -  Wasserspiegel, freiliegend
 -  Grundwasserspiegel

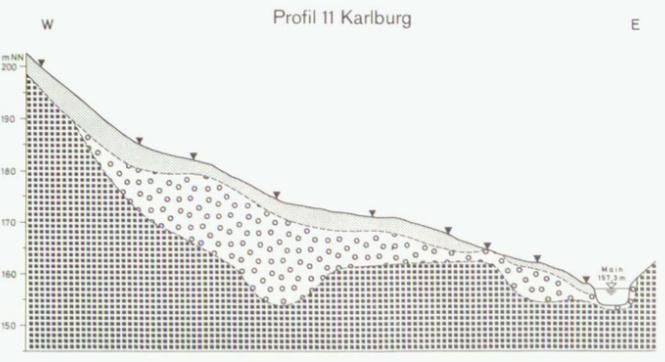
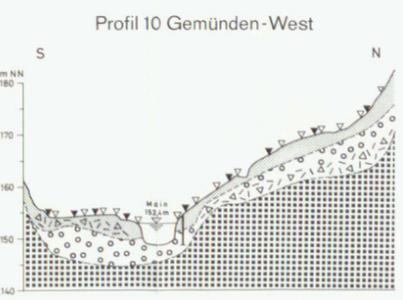
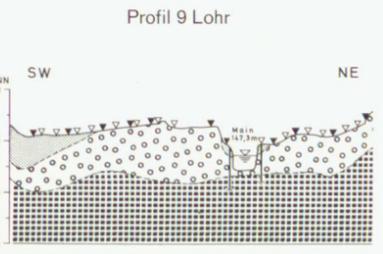
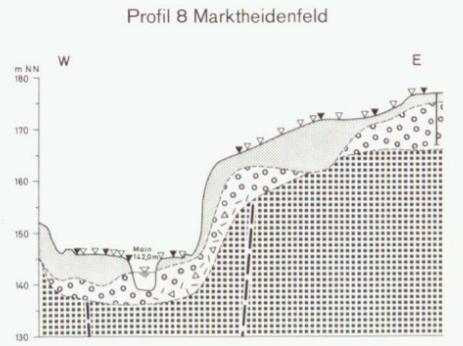
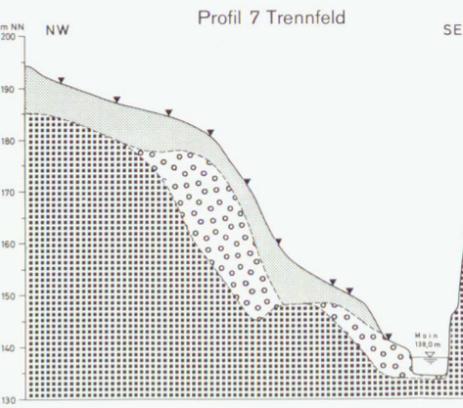
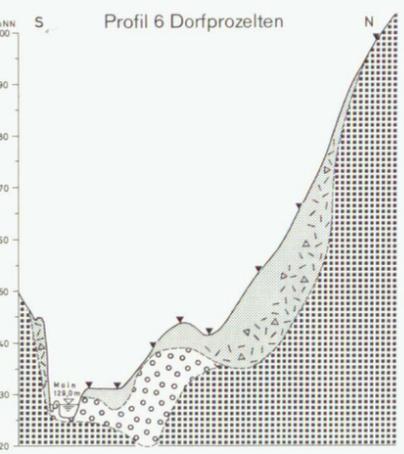
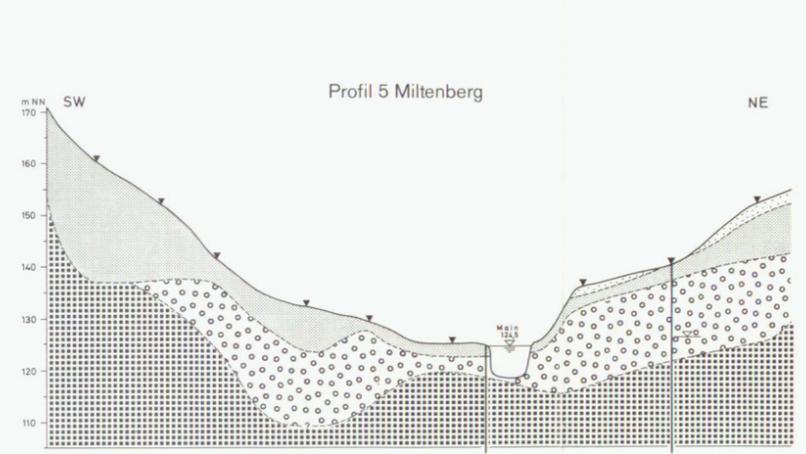
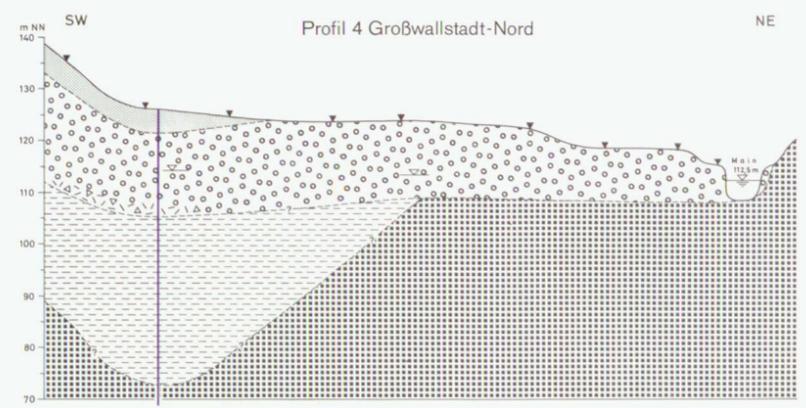
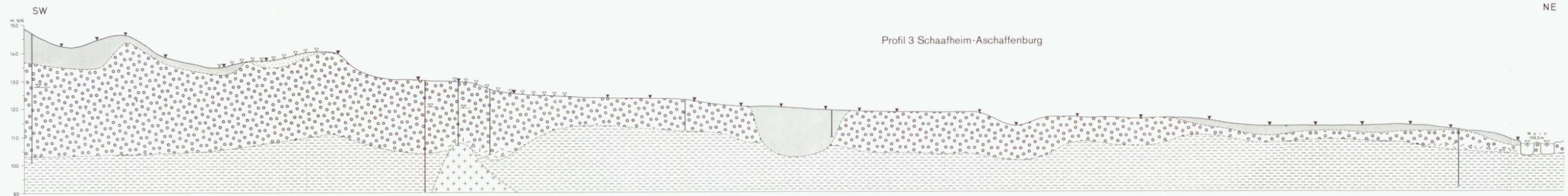
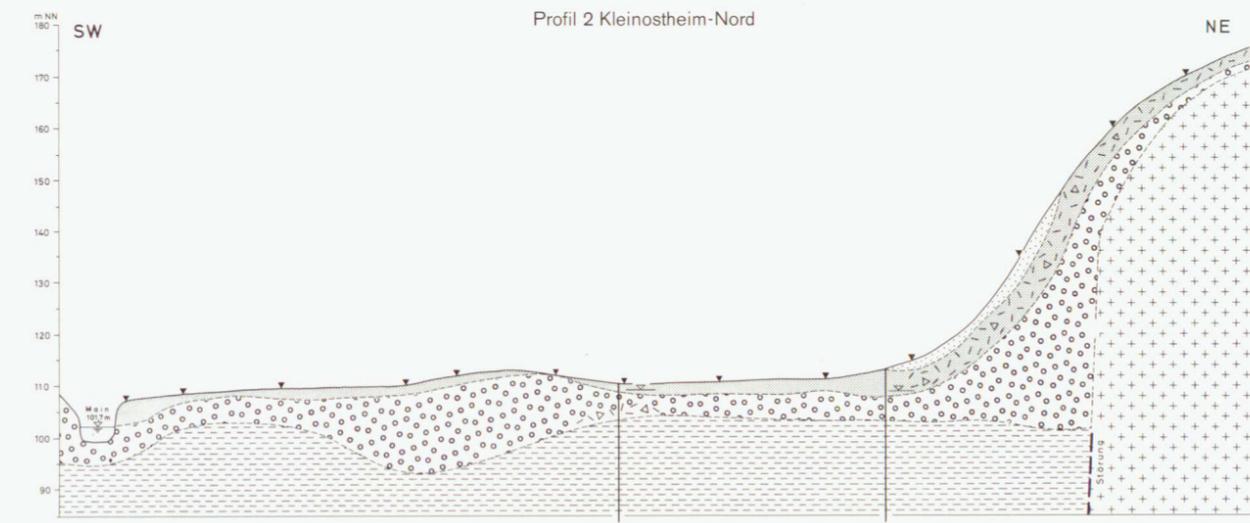
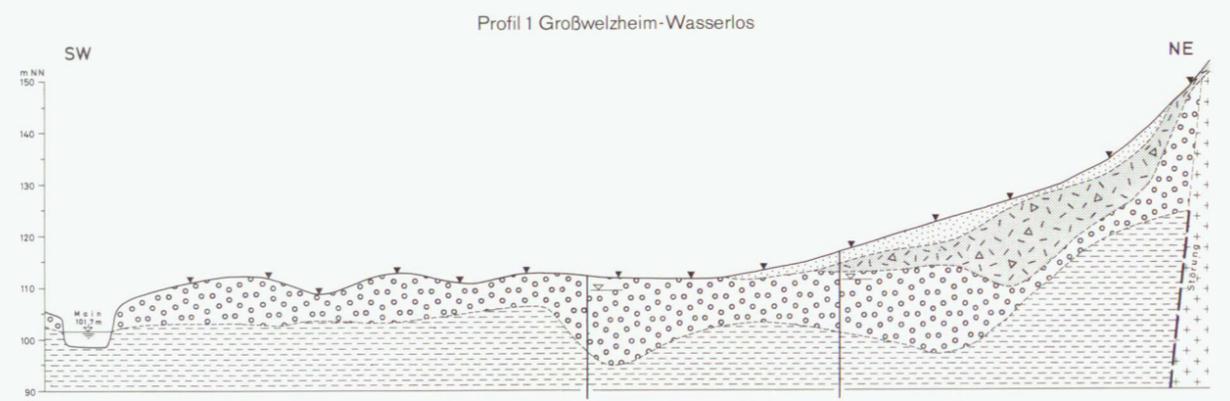
Profile aus A. DOBNER 1980

Lage der Profile 1-29 durch das Mainquartär

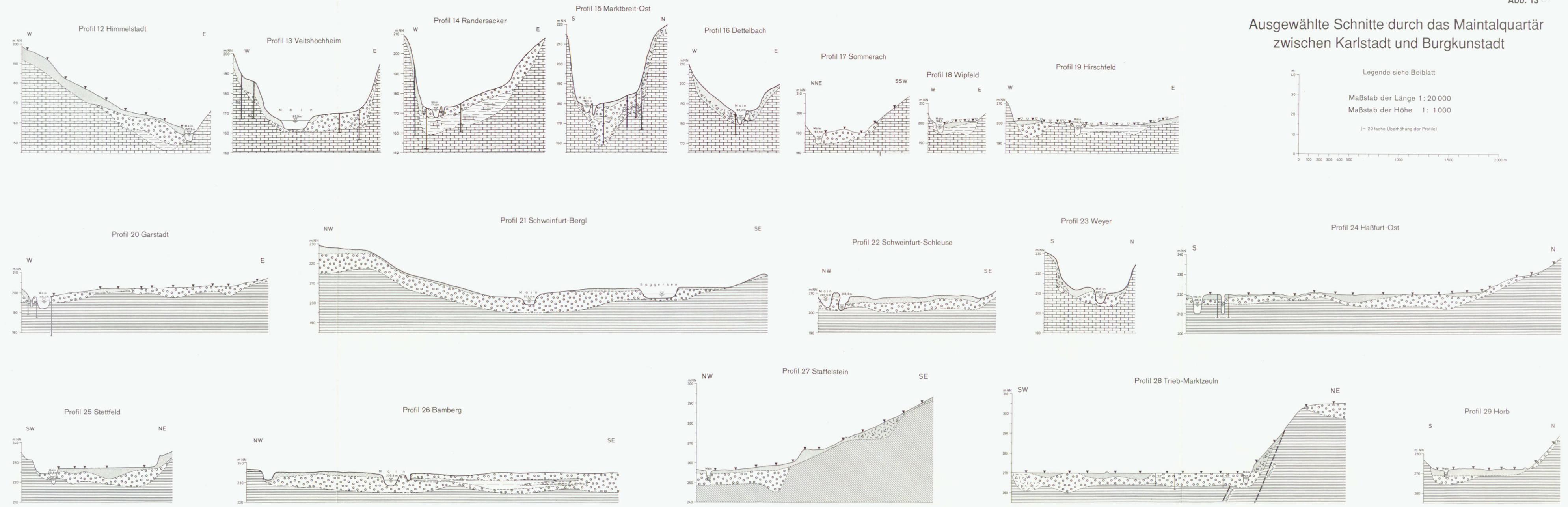


Ausgewählte Schnitte durch das Maintalquartär
 zwischen Kahl a.M. und Karlstadt

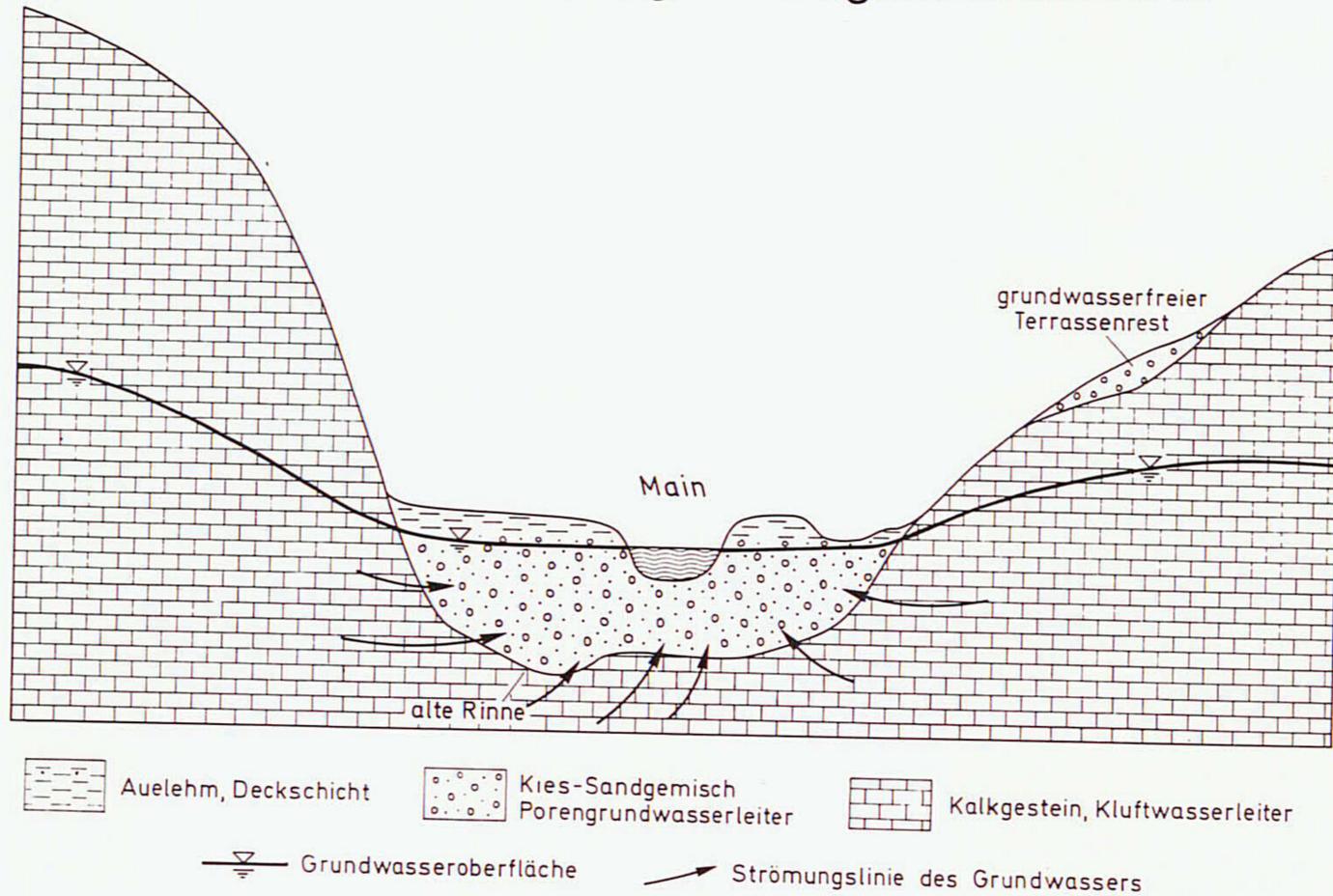
Legende siehe Beiblatt
 Maßstab der Länge 1 : 20 000
 Maßstab der Höhe 1 : 1 000
 (= 20 fache Überhöhung der Profile)



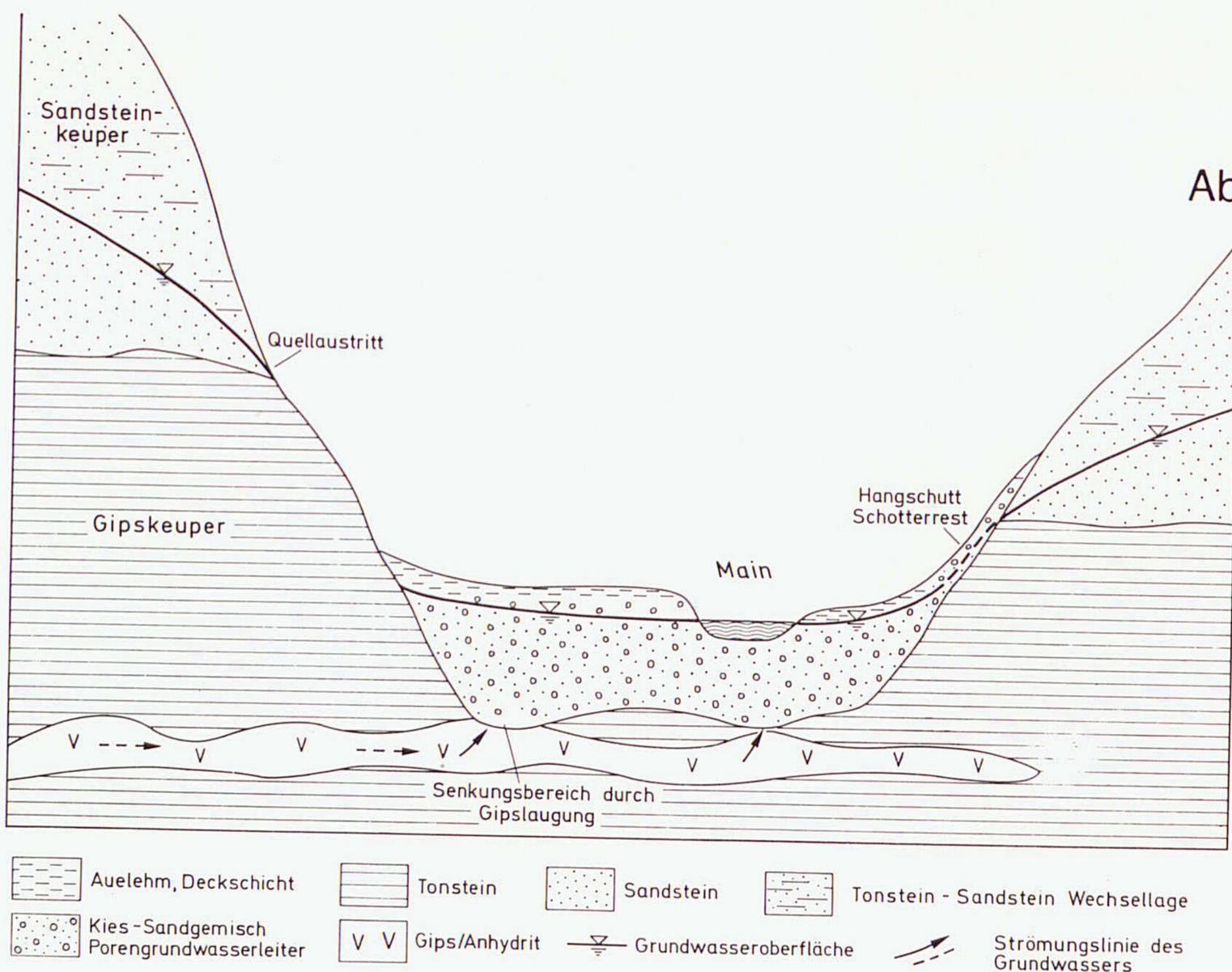
Ausgewählte Schnitte durch das Maintalquartär zwischen Karlstadt und Burgkunstadt

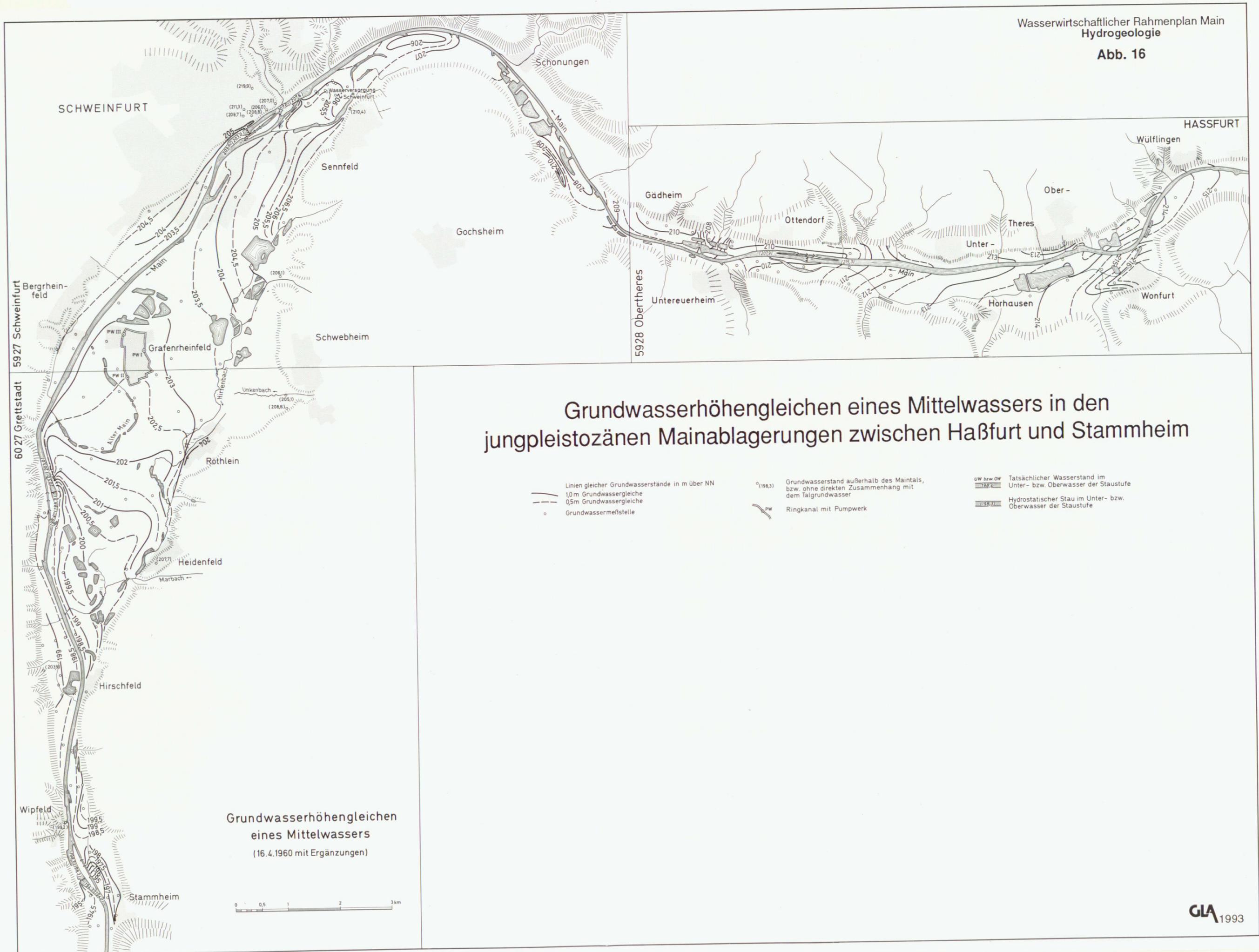


Hydrogeologischer Zusammenhang zwischen dem Maintalquartär und einem durchlässigen Festgesteinsrahmen



Hydrogeologischer Zusammenhang zwischen dem Maintalquartär und einem weitgehend undurchlässigen Festgesteinsrahmen

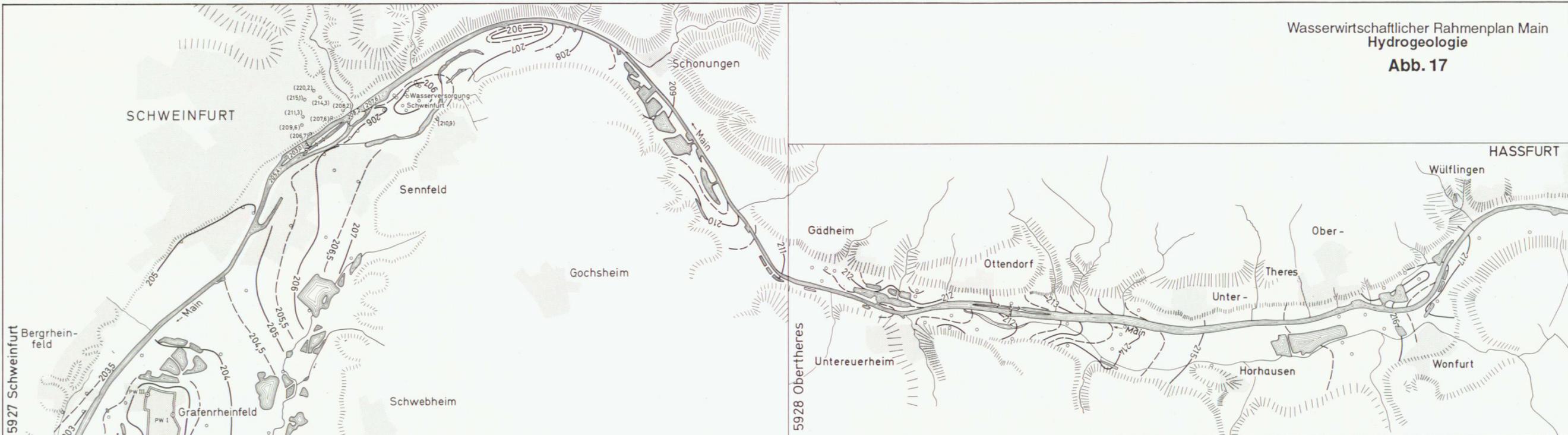




Grundwasserhöhengleichen eines Mittelwassers in den jungpleistozänen Mainablagerungen zwischen Haßfurt und Stammheim

- Linien gleicher Grundwasserstände in m über NN
- 1,0 m Grundwassergleiche
- 0,5 m Grundwassergleiche
- Grundwassermeßstelle
- (1983) Grundwasserstand außerhalb des Maintals, bzw. ohne direkten Zusammenhang mit dem Talgrundwasser
- PW Ringkanal mit Pumpwerk
- UW bzw. OW Tatsächlicher Wasserstand im Unter- bzw. Oberwasser der Staustufe
- Hydrostatischer Stau im Unter- bzw. Oberwasser der Staustufe

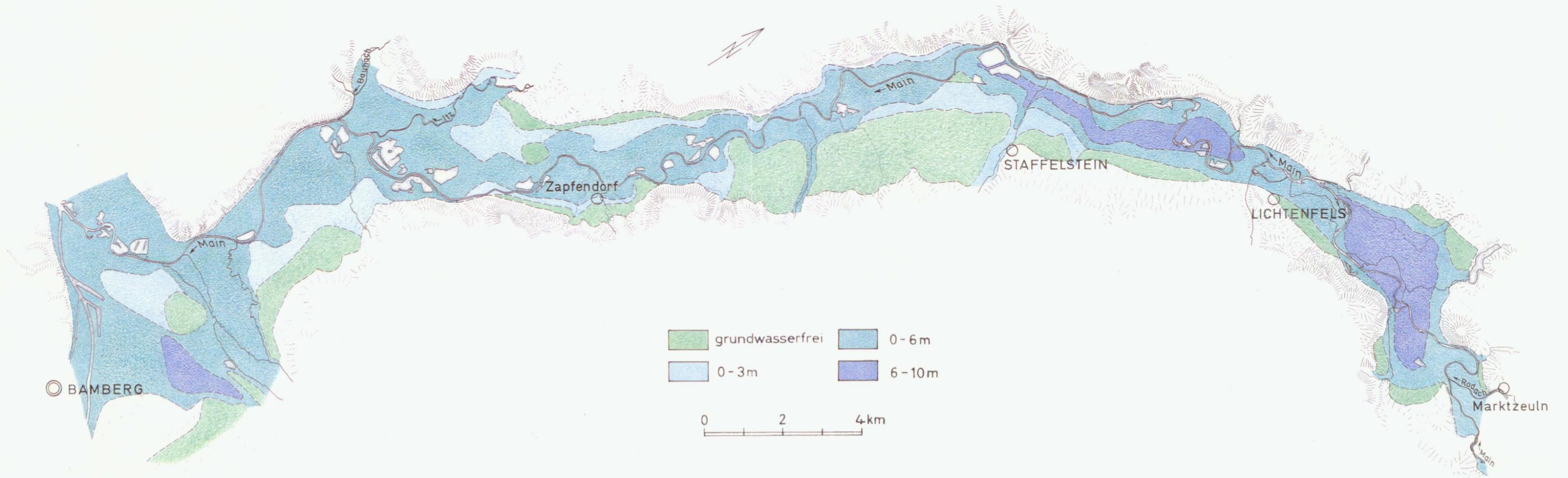
Grundwasserhöhengleichen eines Mittelwassers
(16.4.1960 mit Ergänzungen)



Grundwasserhöhengleichen eines mittleren Hochwassers in den jungpleistozänen Mainablagerungen zwischen Haßfurt und Stammheim

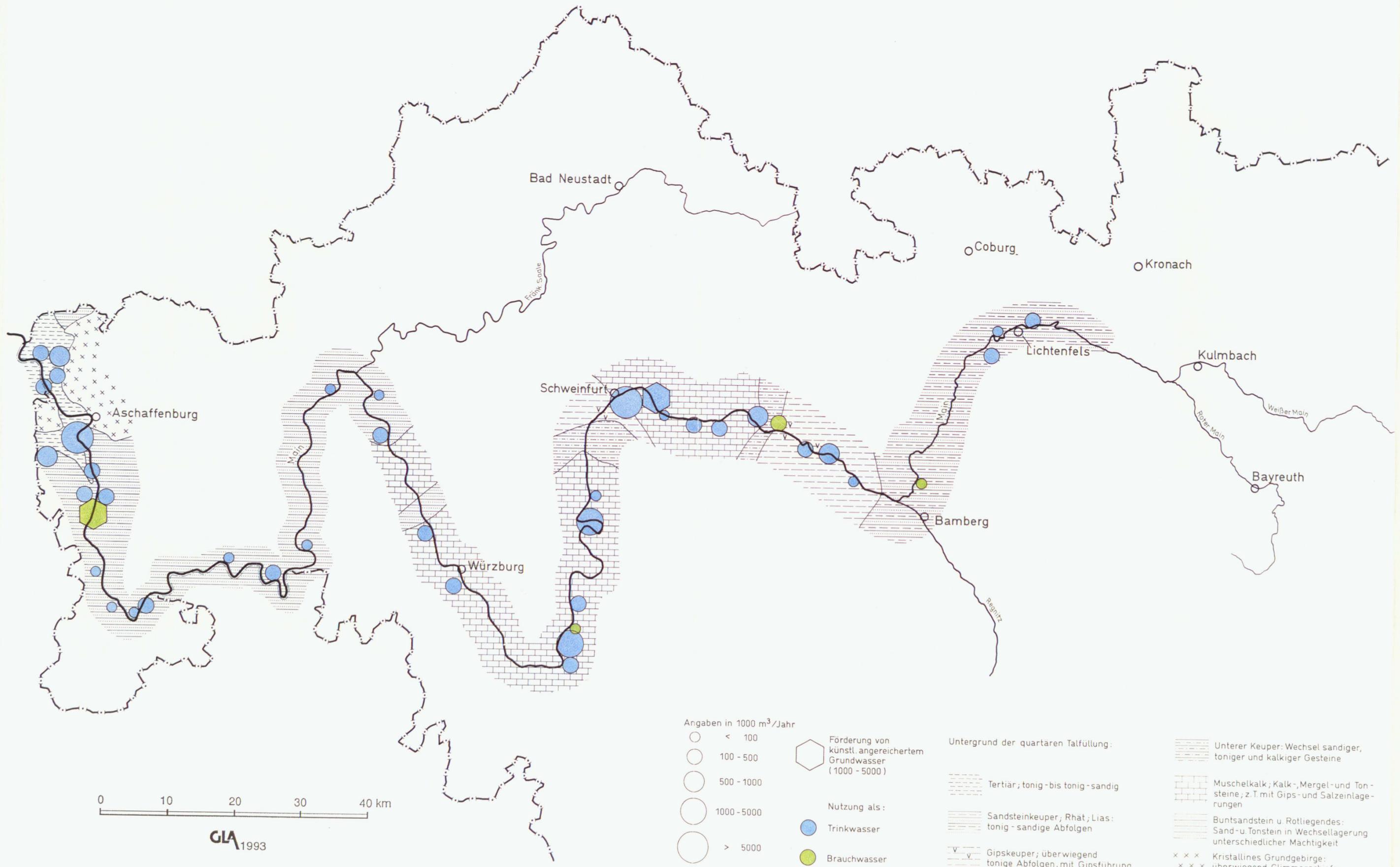
- Linien gleicher Grundwasserstände in m über NN
- 1,0m Grundwassergleiche
- - - 0,5m Grundwassergleiche
- Grundwassermeßstelle
- (198,3) Grundwasserstand außerhalb des Maintals bzw. ohne direkten Zusammenhang mit dem Talgrundwasser
- PW Ringkanal mit Pumpwerk
- UW bzw. OW Tatsächlicher Wasserstand im Unter- bzw. Oberwasser der Staustufe
- (199,4) Hydrostatischer Stau im Unter- bzw. Oberwasser der Staustufe
- (199,3)

Grundwassermächtigkeit in den quartären Mainsedimenten am Obermain



Wassermengen der aus dem Maintalquartär fördernden Wassererschließungen

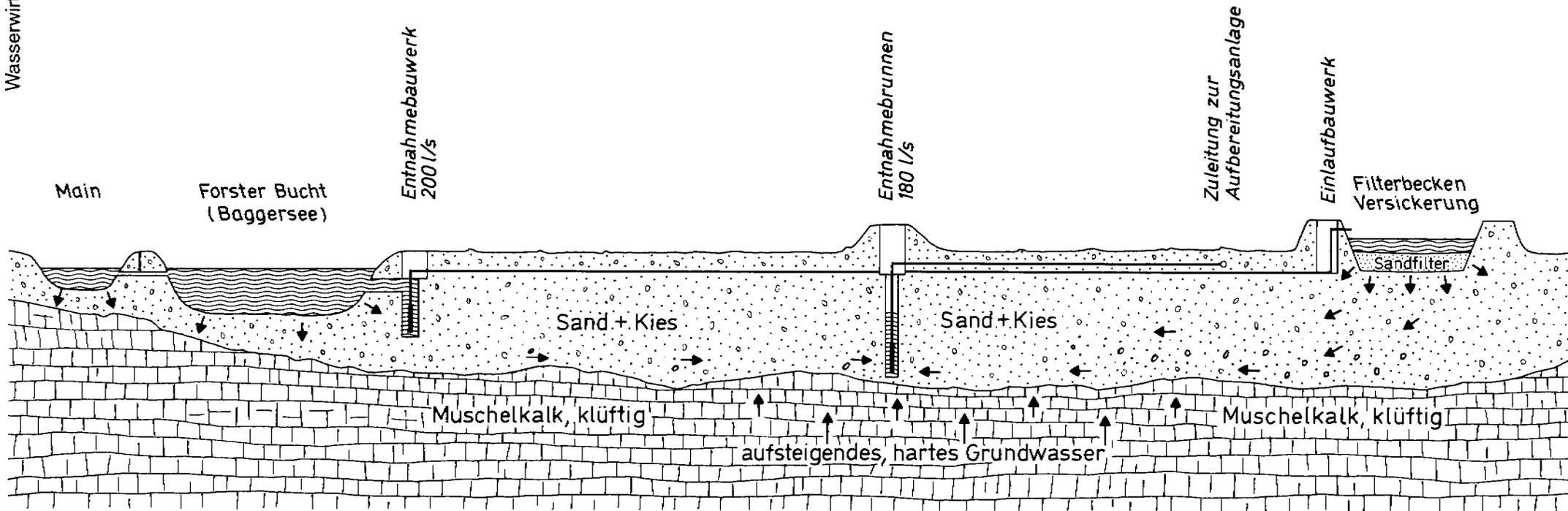
Abb. 19



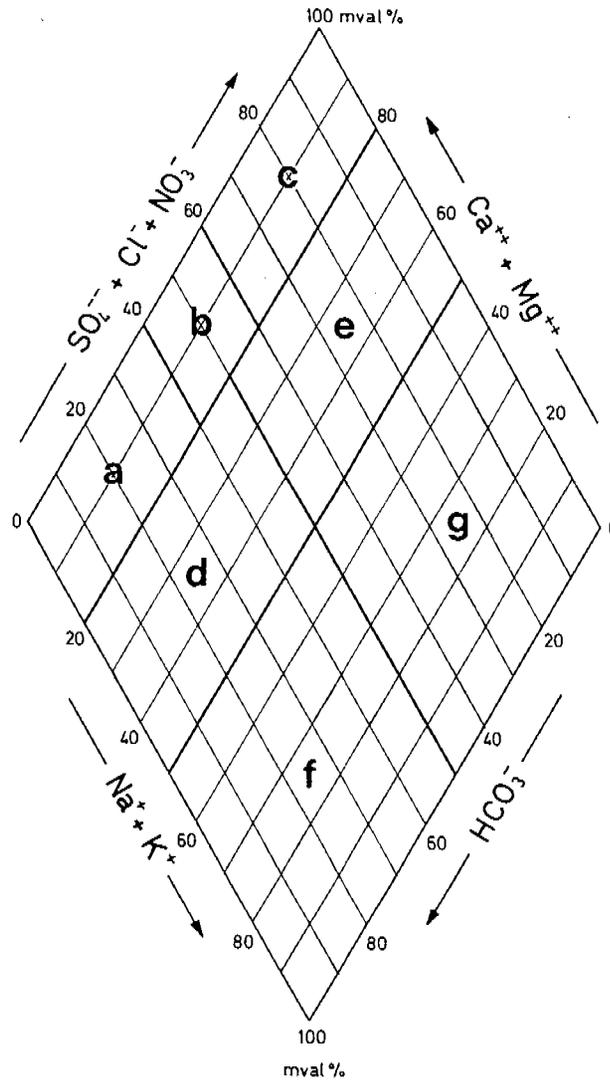
GLA 1993

- Angaben in 1000 m³/Jahr
- < 100
 - 100 - 500
 - 500 - 1000
 - 1000 - 5000
 - > 5000
- Förderung von künstl. angereichertem Grundwasser (1000 - 5000)
- Nutzung als:
- Trinkwasser
 - Brauchwasser
- Untergrund der quartären Talfüllung:
- Tertiär; tonig-bis tonig-sandig
 - Sandsteinkeuper; Rhät; Lias; tonig-sandige Abfolgen
 - Gipskeuper; überwiegend tonige Abfolgen, mit Gipsführung
 - Unterer Keuper: Wechsel sandiger, toniger und kalkiger Gesteine
 - Muschelkalk; Kalk-, Mergel- und Tonsteine; z.T. mit Gips- und Salzeinlagerungen
 - Buntsandstein u. Rotliegendes; Sand- u. Tonstein in Wechsellagerung unterschiedlicher Mächtigkeit
 - Kristallines Grundgebirge: überwiegend Glimmerschiefer

Schematischer Schnitt durch die Wassergewinnungsanlage Weyer (Rhön-Maintal-Gruppe)

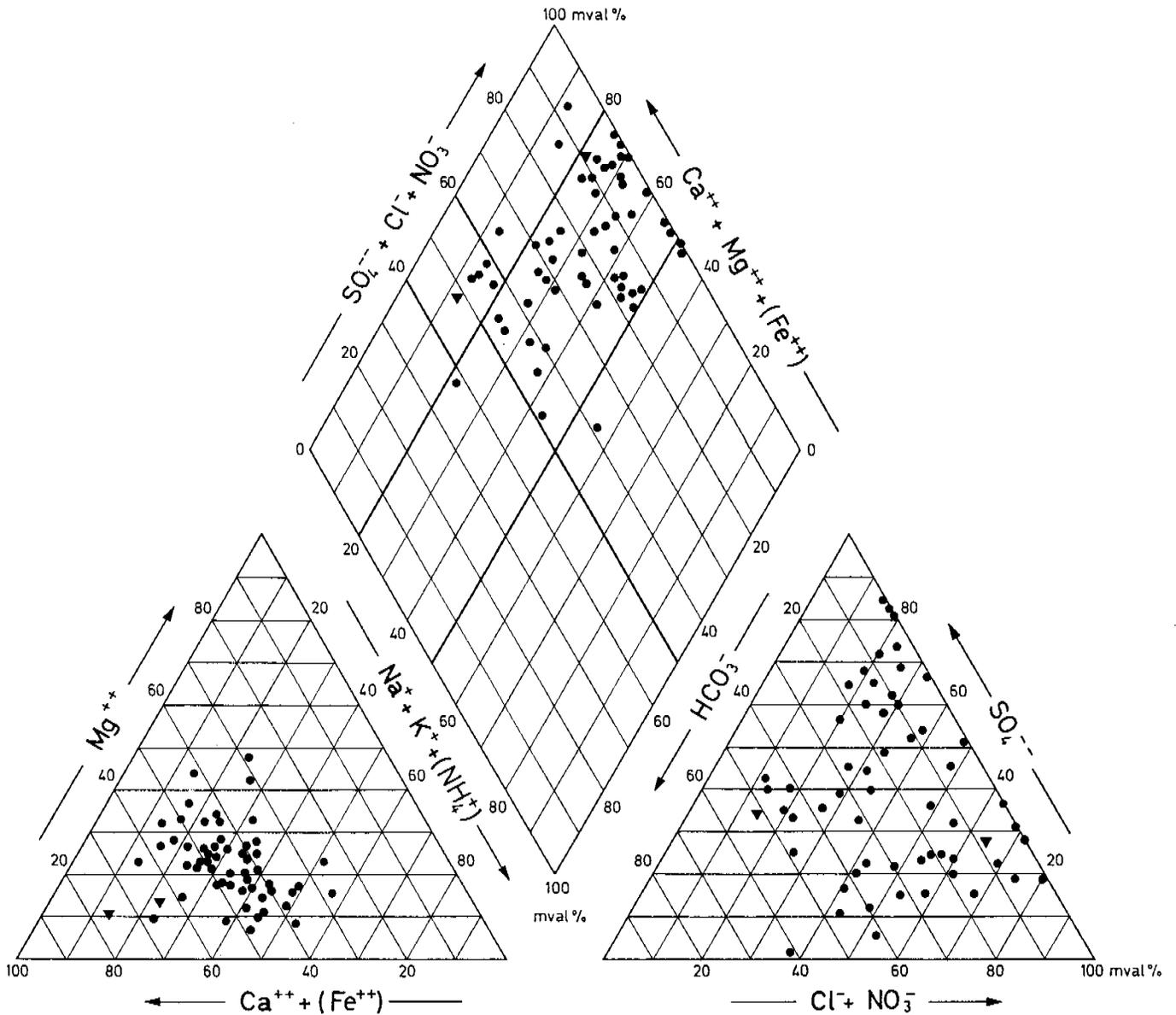


Typisierung nach FURTAK & LANGGUTH (1967)



- Normal erdalkalische Wässer
 - a) überwiegend hydrogenkarbonatisch
 - b) hydrogenkarbonatisch-sulfatisch
 - c) überwiegend sulfatisch
- Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt
 - d) überwiegend hydrogenkarbonatisch
 - e) überwiegend sulfatisch
 - überwiegend chloridisch
- Alkalische Wässer
 - f) überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
 - g) überwiegend sulfatisch-chloridisch
 - überwiegend chloridisch

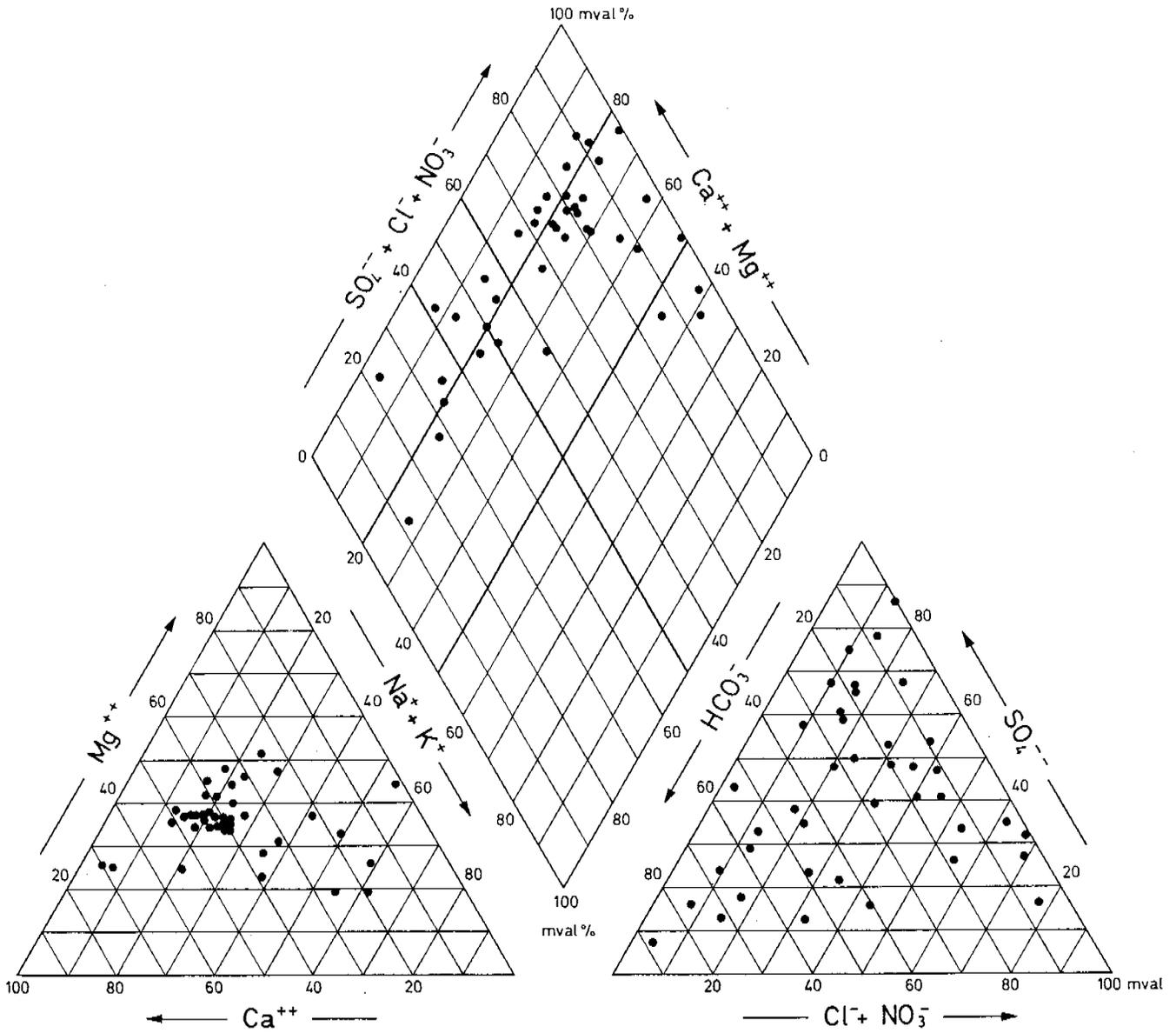
Abb. 22



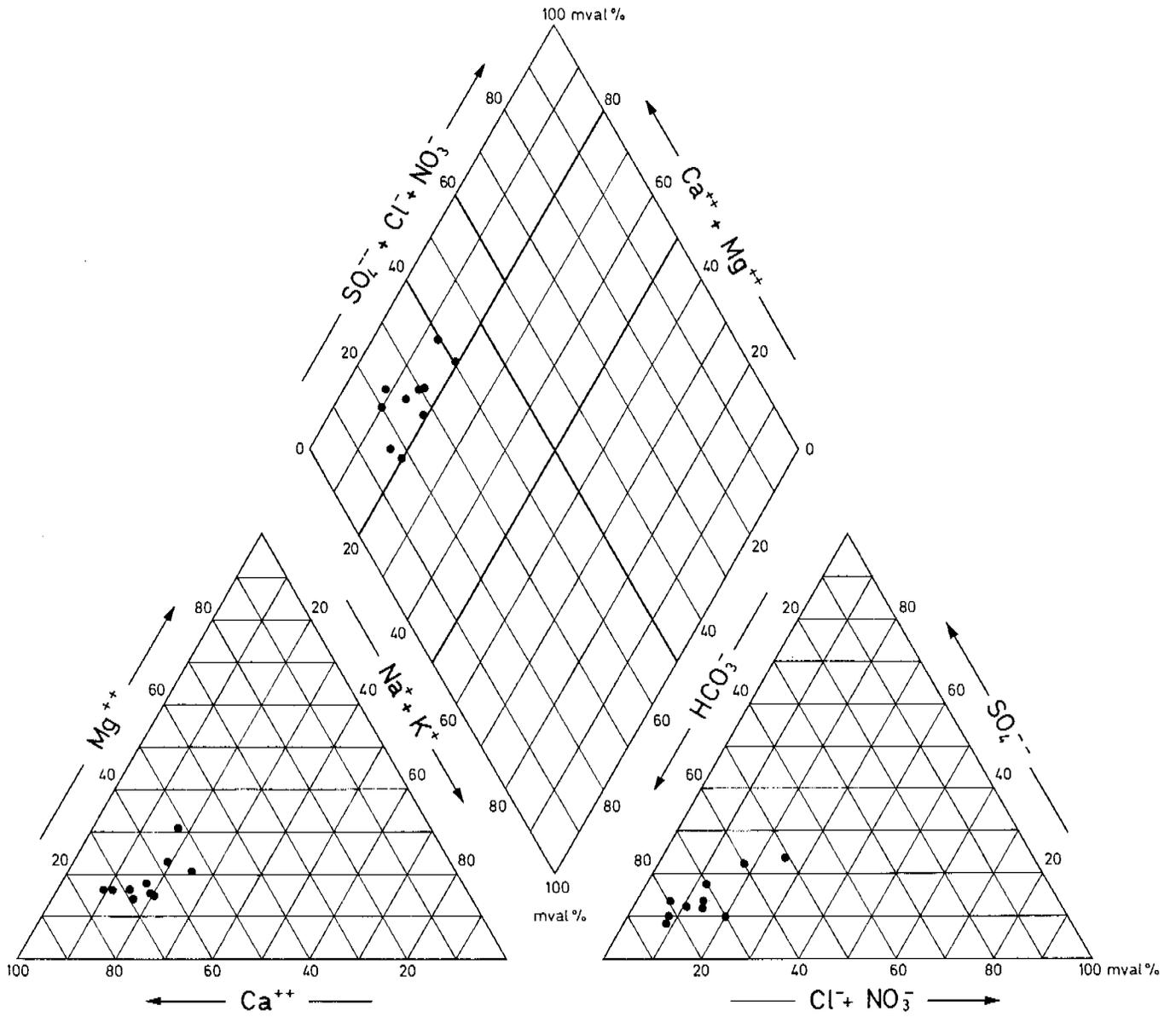
Wässer aus dem Kristallin

(Vorwiegend aus dem Fichtelgebirge und aus der südlichen Münchberger Gneismasse

- mit einer Gesamtmineralisation von weniger als 50 mg/l
- ▼ mit einer Gesamtmineralisation von 50 mg und darüber

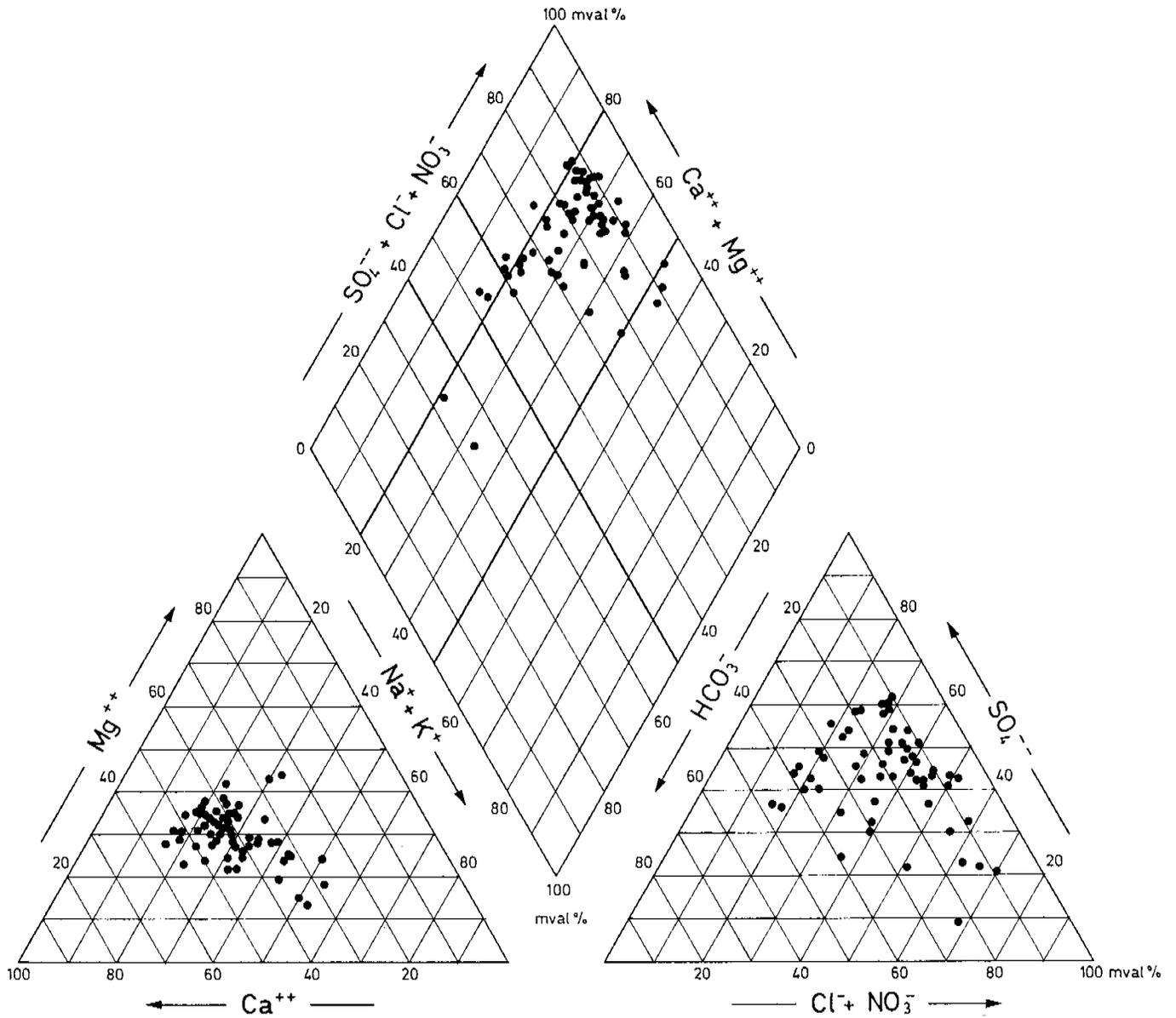


Wässer aus dem Unterkarbon

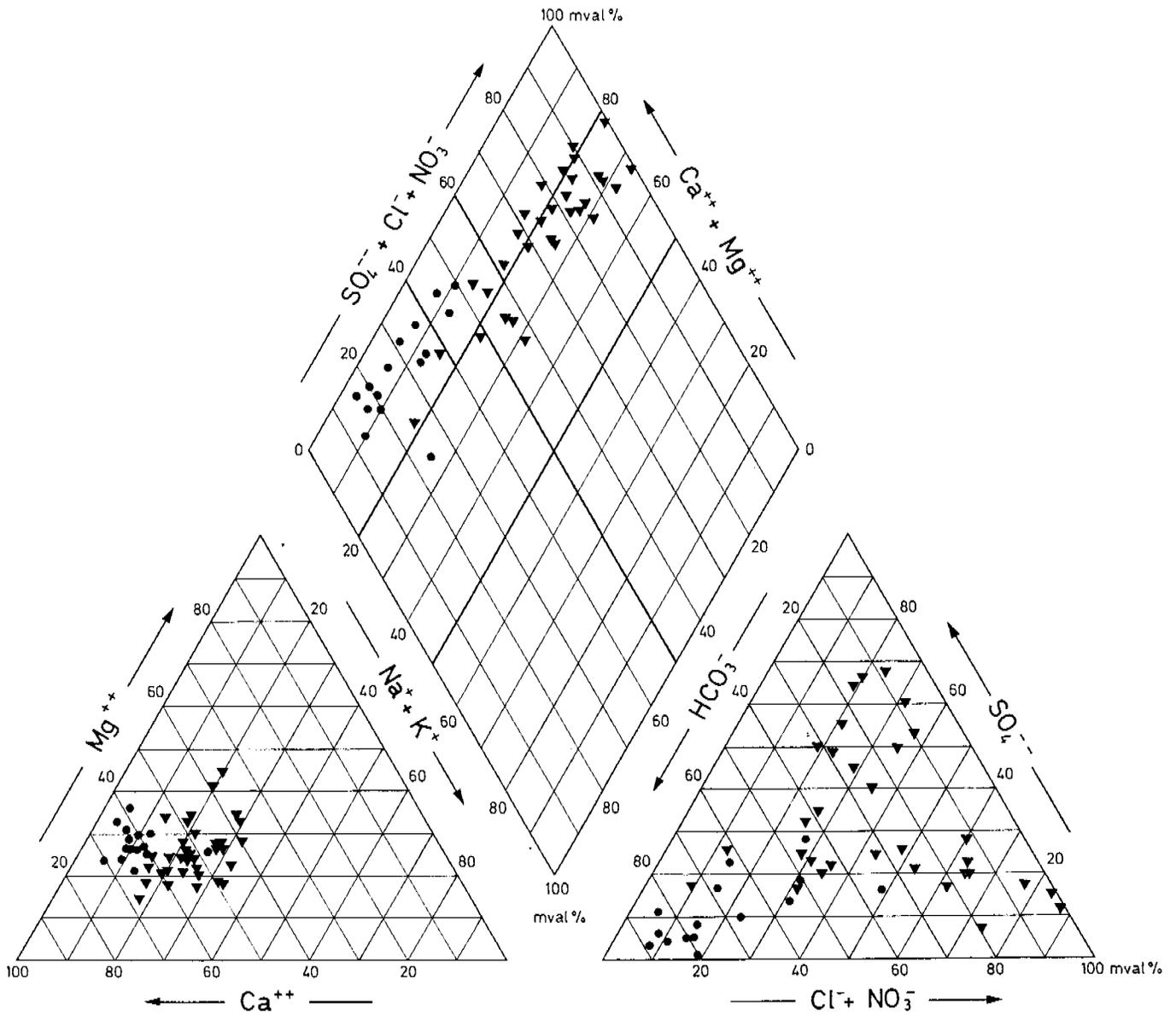


Wässer aus dem Rotliegenden

Abb. 25

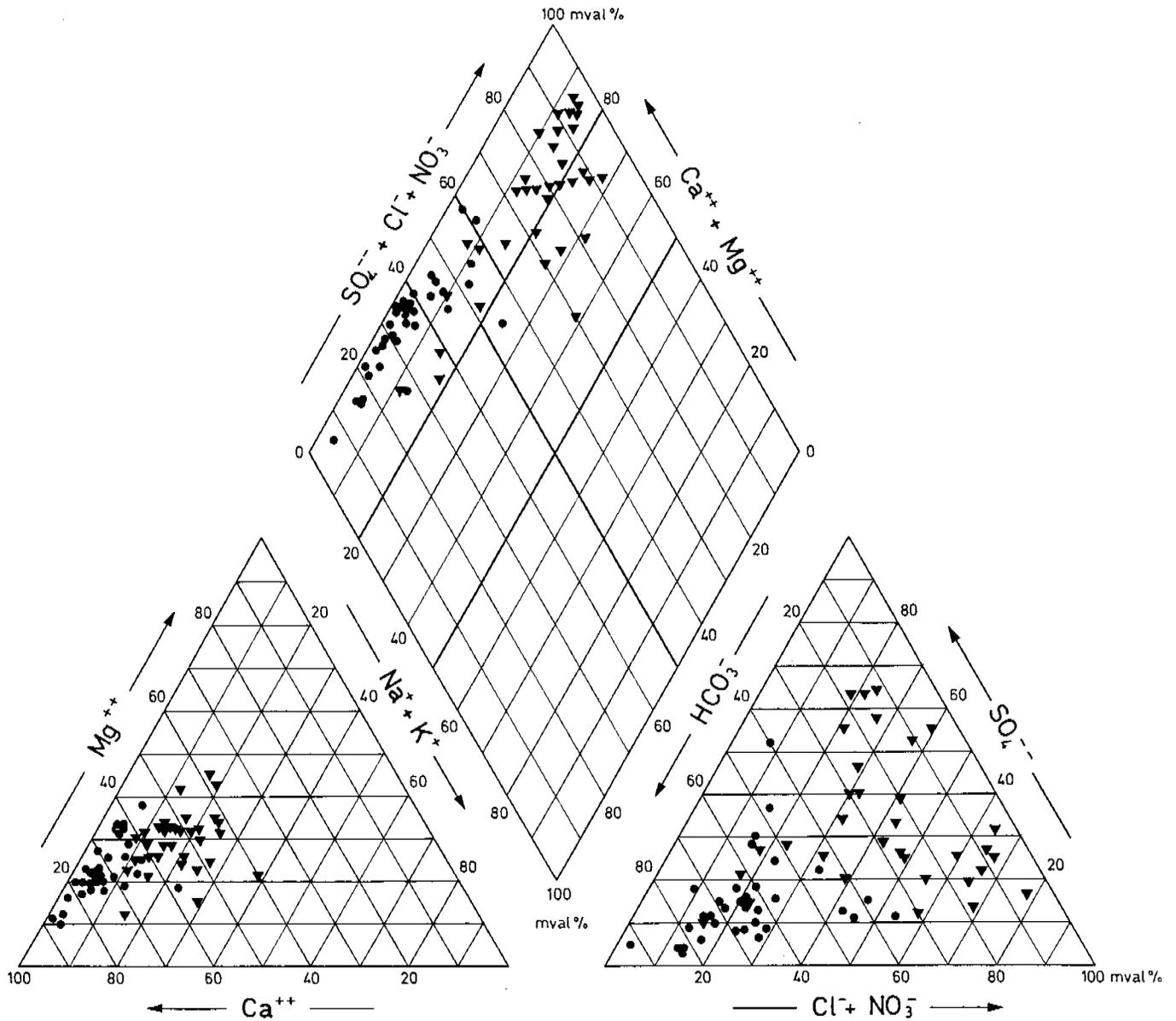


Wässer aus dem Unteren Buntsandstein



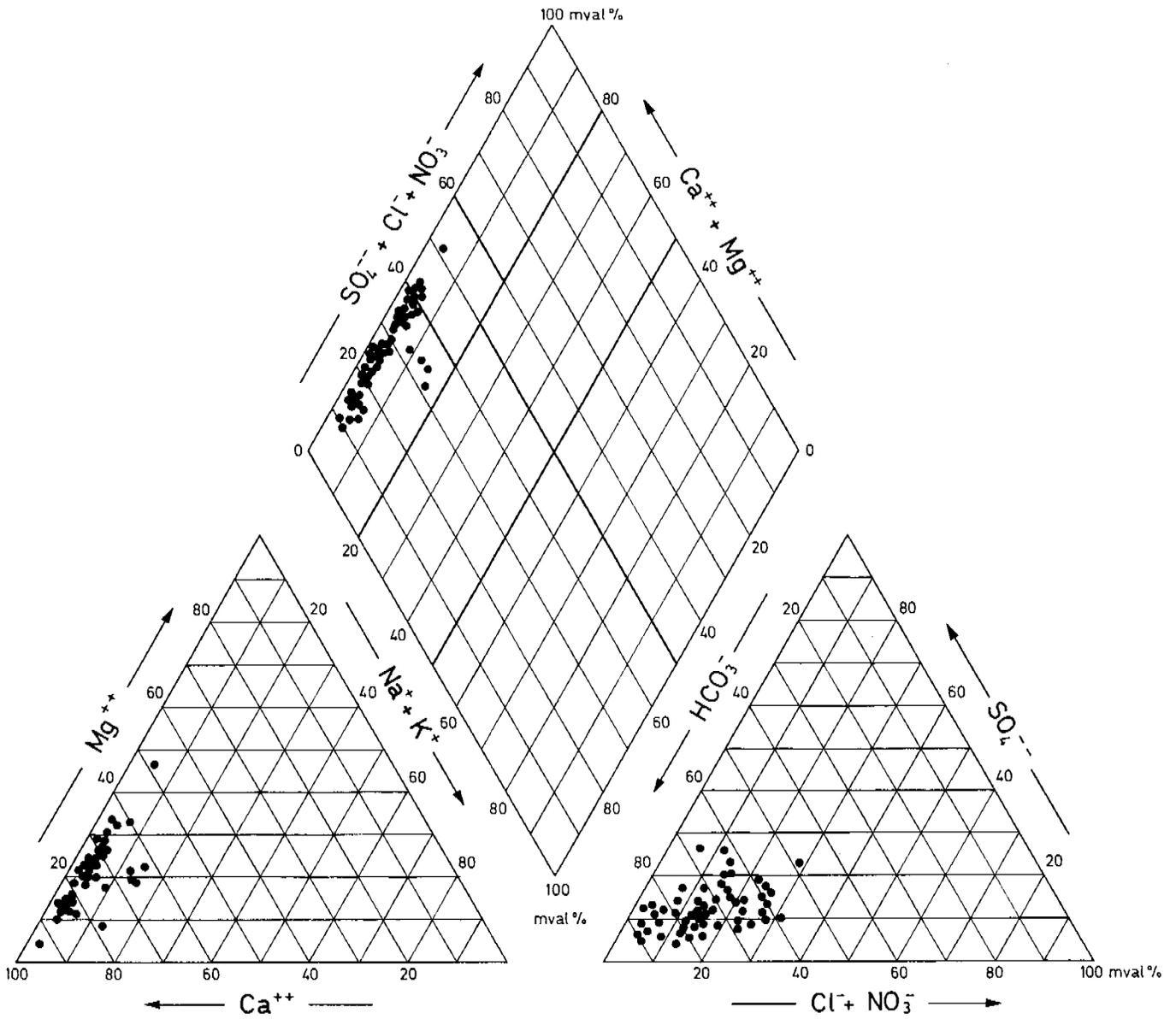
Wässer aus dem Mittleren Buntsandstein

- mit über 90mg HCO_3^- /l
- ▼ mit unter 90mg HCO_3^- /l

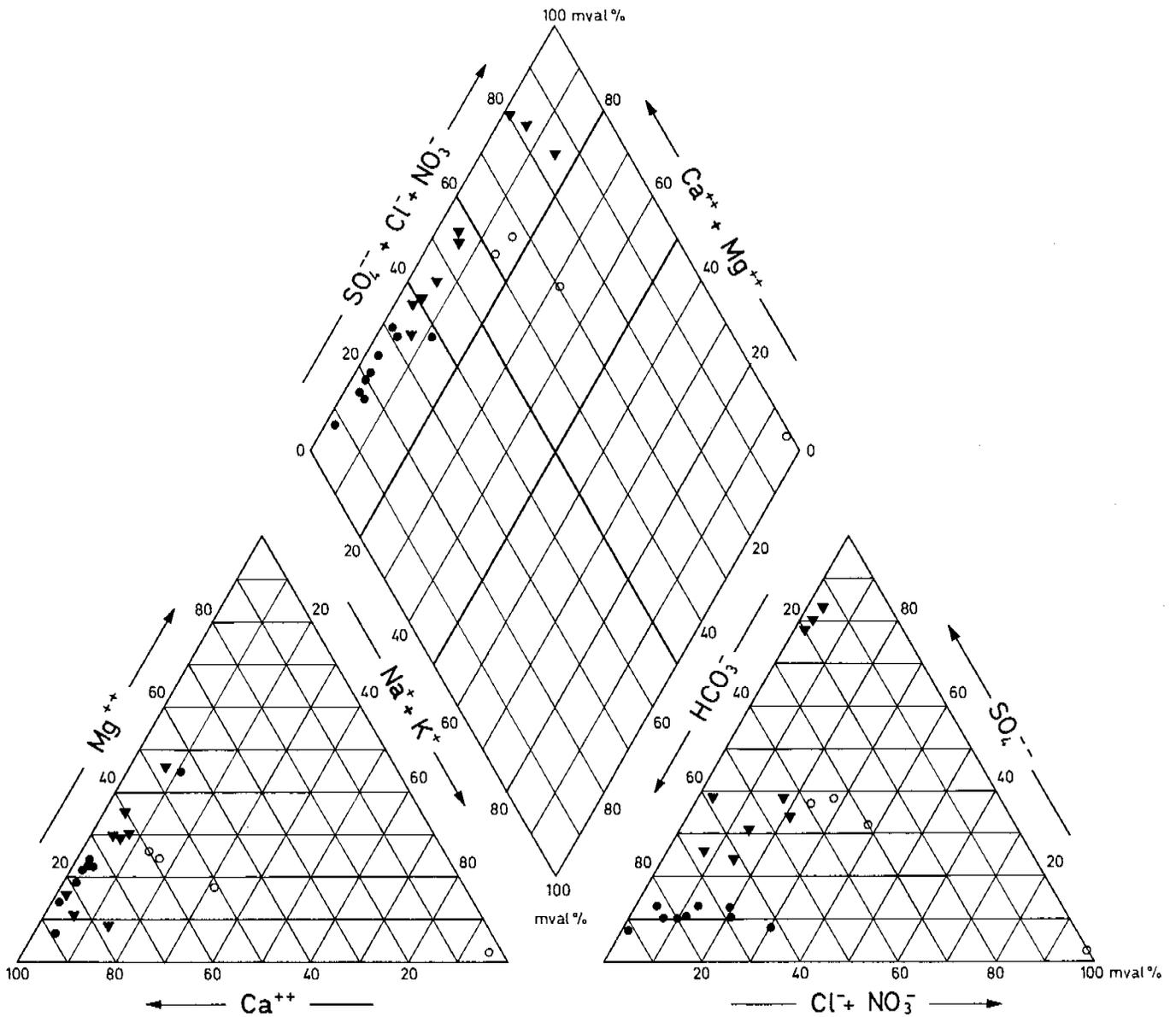


Wässer aus dem Oberen Buntsandstein

- mit über 90mg HCO_3^- /l
- ▼ mit unter 90mg HCO_3^- /l



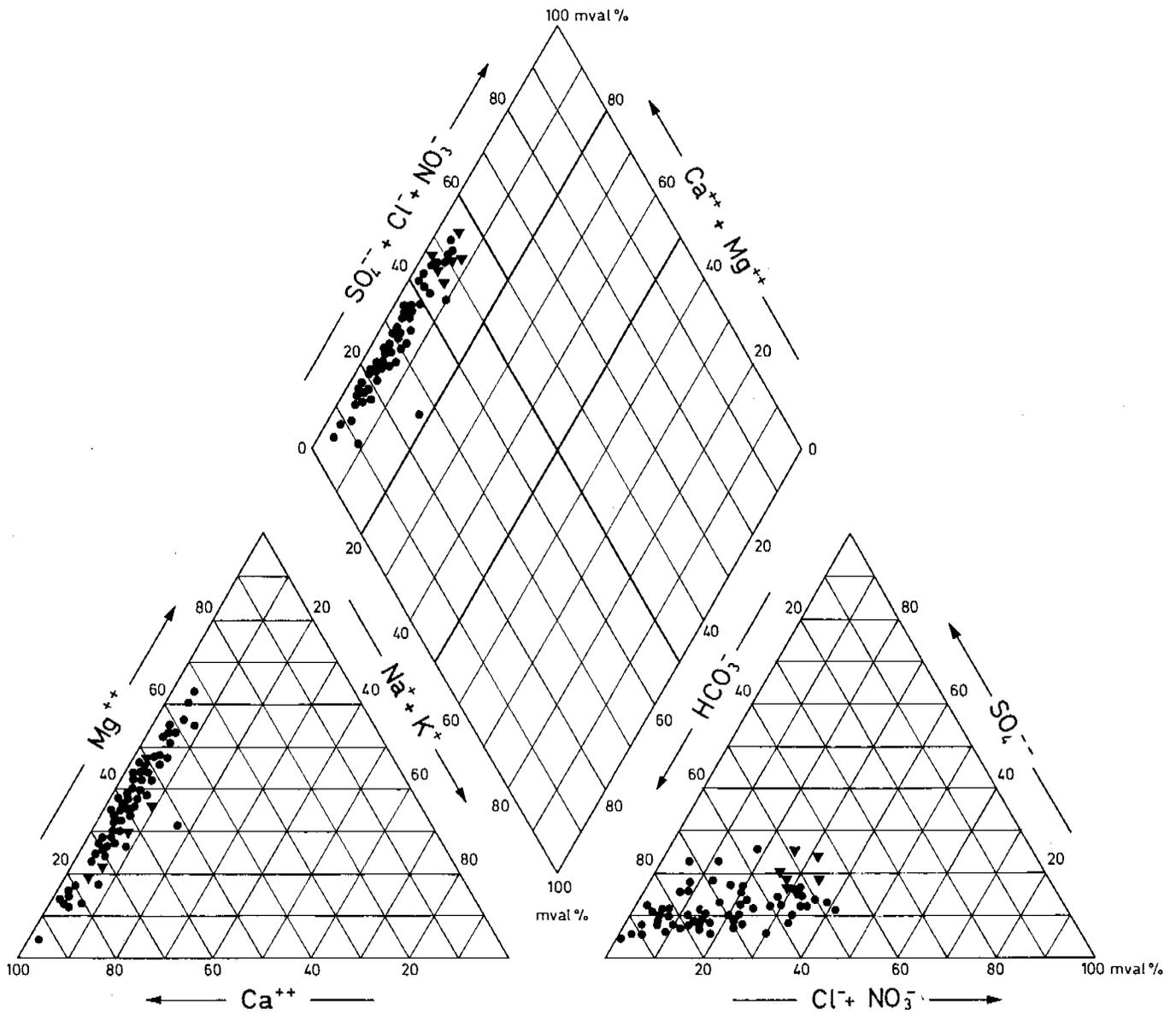
Wässer aus dem Unteren Muschelkalk



Wässer aus dem Mittleren Muschelkalk

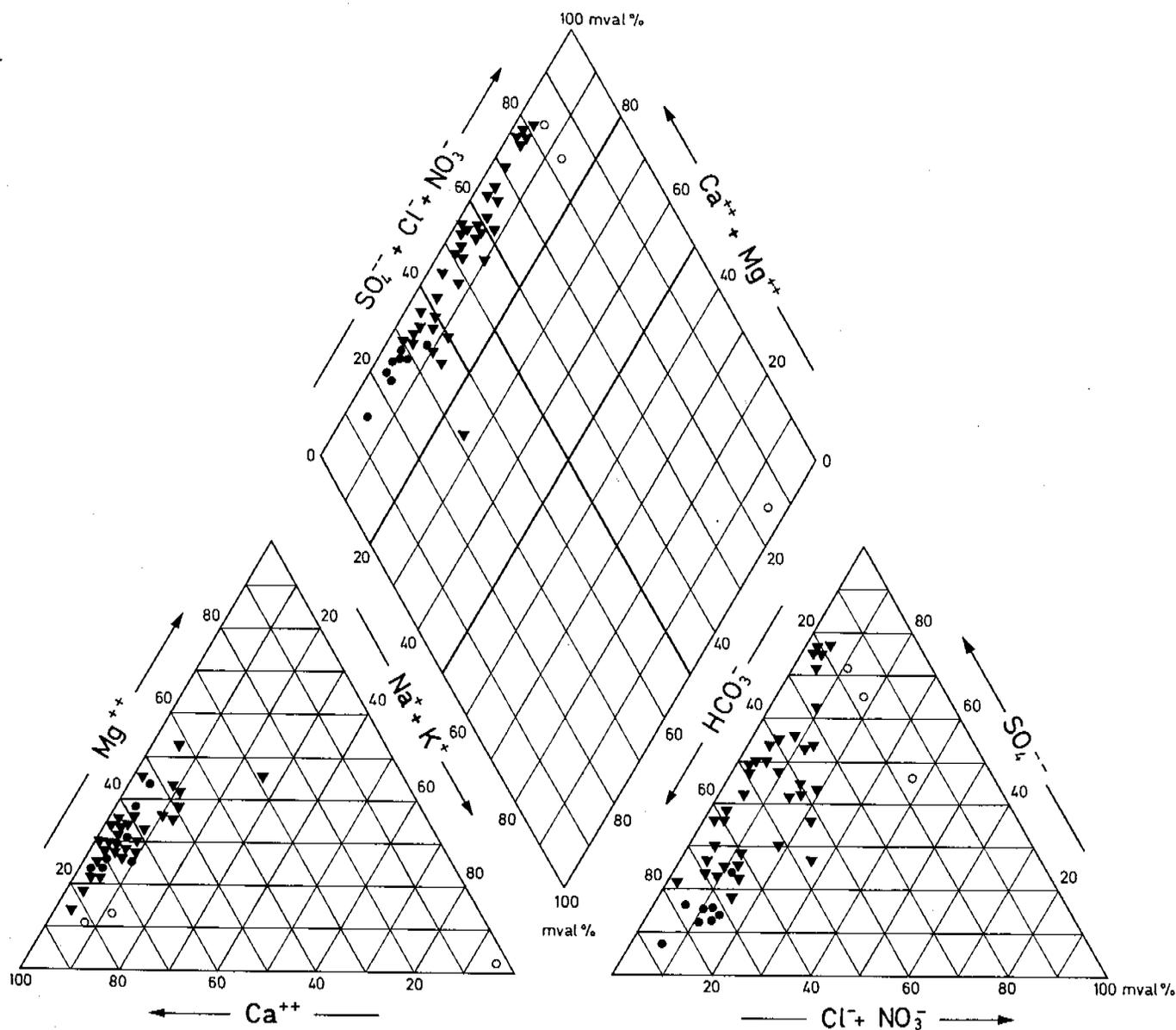
- mit weniger als 100 mg SO_4 /l
- ▼ mit über 100 mg SO_4 /l
- mit über 100 mg Cl /l (bei gleichzeitig hohen SO_4 -Konzentrationen)

Abb. 30



Wässer aus dem Oberen Muschelkalk

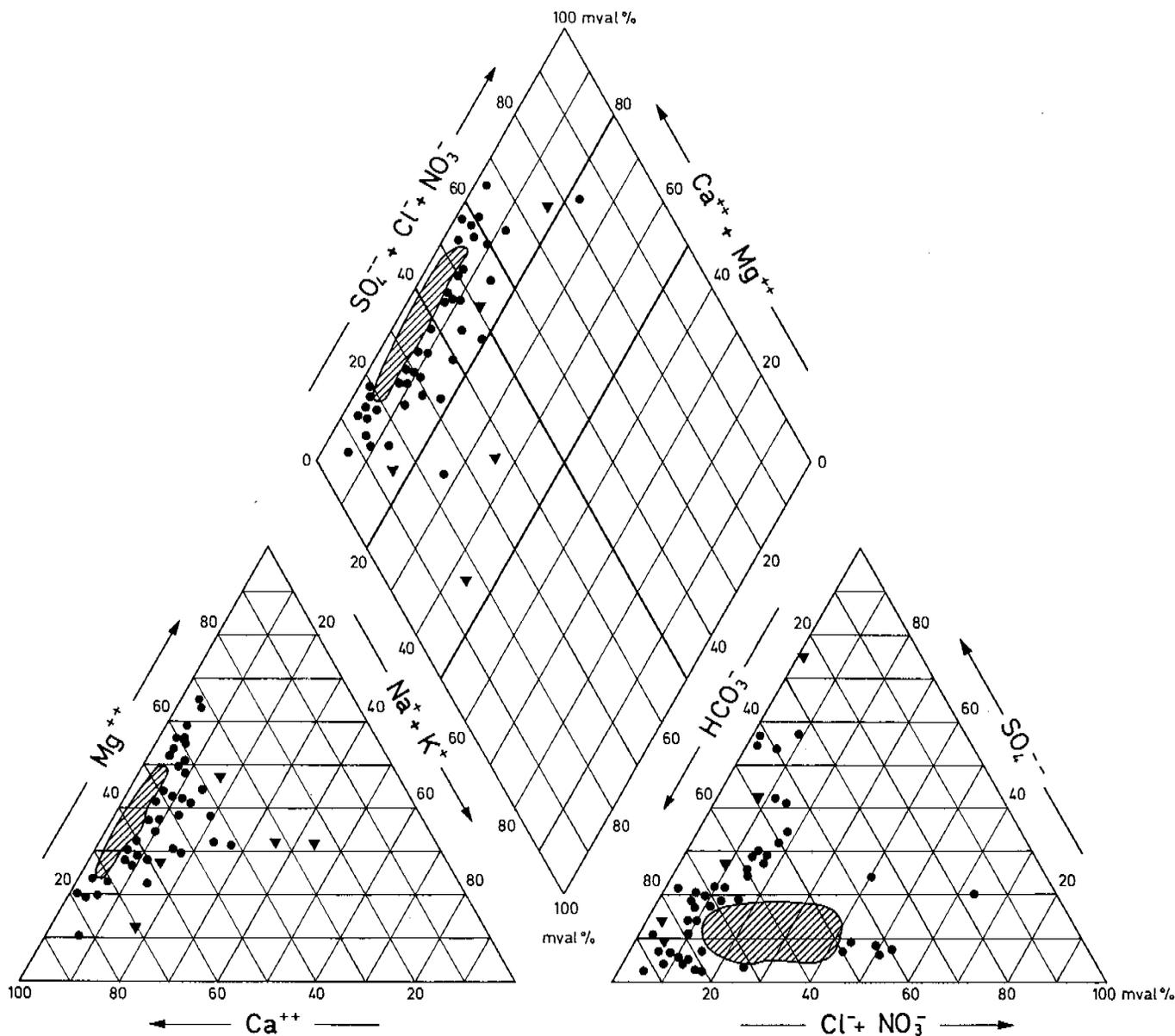
- mit weniger als 100mg SO_4 /l
- ▼ mit über 100mg SO_4 /l und über 50mg NO_3 /l



Mischwässer aus Oberem und Mittlerem Muschelkalk

- mit weniger als 100 mg SO_4/l
- ▼ mit über 100 mg SO_4/l
- mit über 100 mg Cl/l (bei gleichzeitig hohen SO_4 -Konzentrationen)

Abb.32

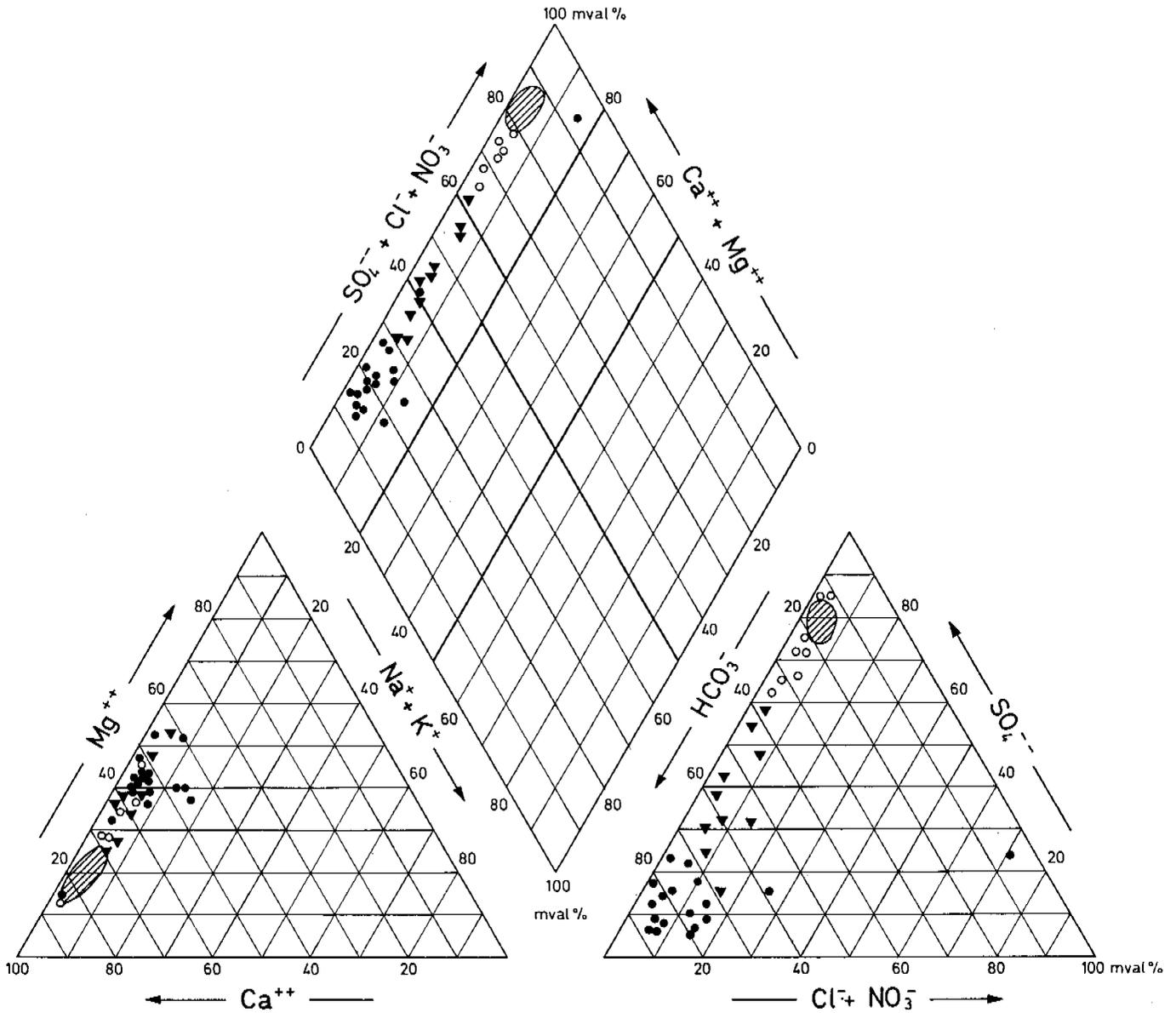


Wässer aus dem Unteren Keuper sowie Mischwässer aus
Oberem Muschelkalk und Unterem Keuper

• Einzelprobe

◐ Umfassende mehrerer Proben (ca.150)

▼ Austauschwässer, die aus demselben stratigraphischen
Bereich gefördert werden, mit Natrium-Konzentrationen
von über 40 mg/l bei gleichzeitig niedrigen Nitratgehalten.
(Einzelprobe)



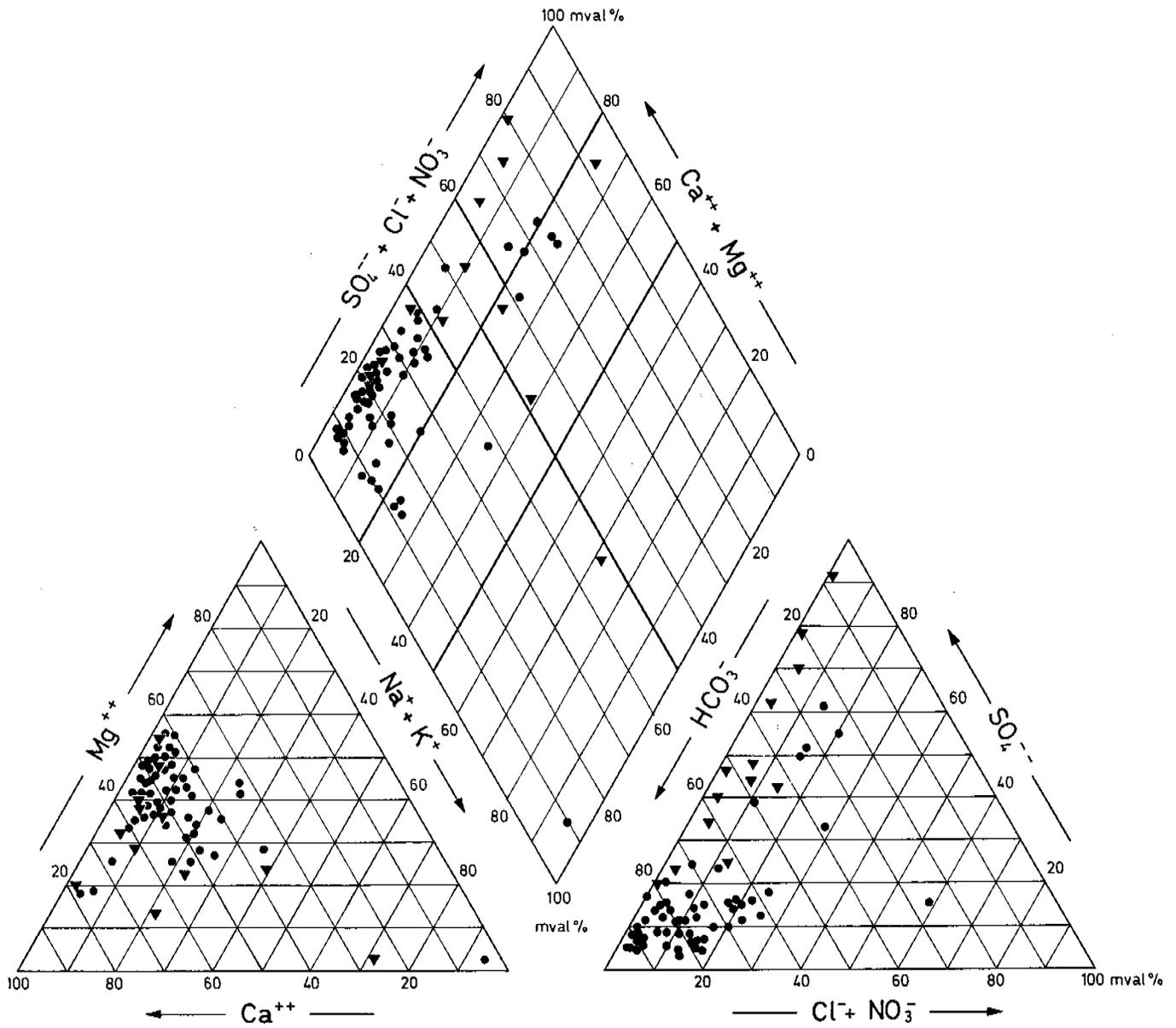
Wässer aus dem Gipskeuper

- mit weniger als 100 mg SO₄/l
- ▼ mit 100–600 mg SO₄/l
- mit über 600 mg SO₄/l (Einzelprobe)



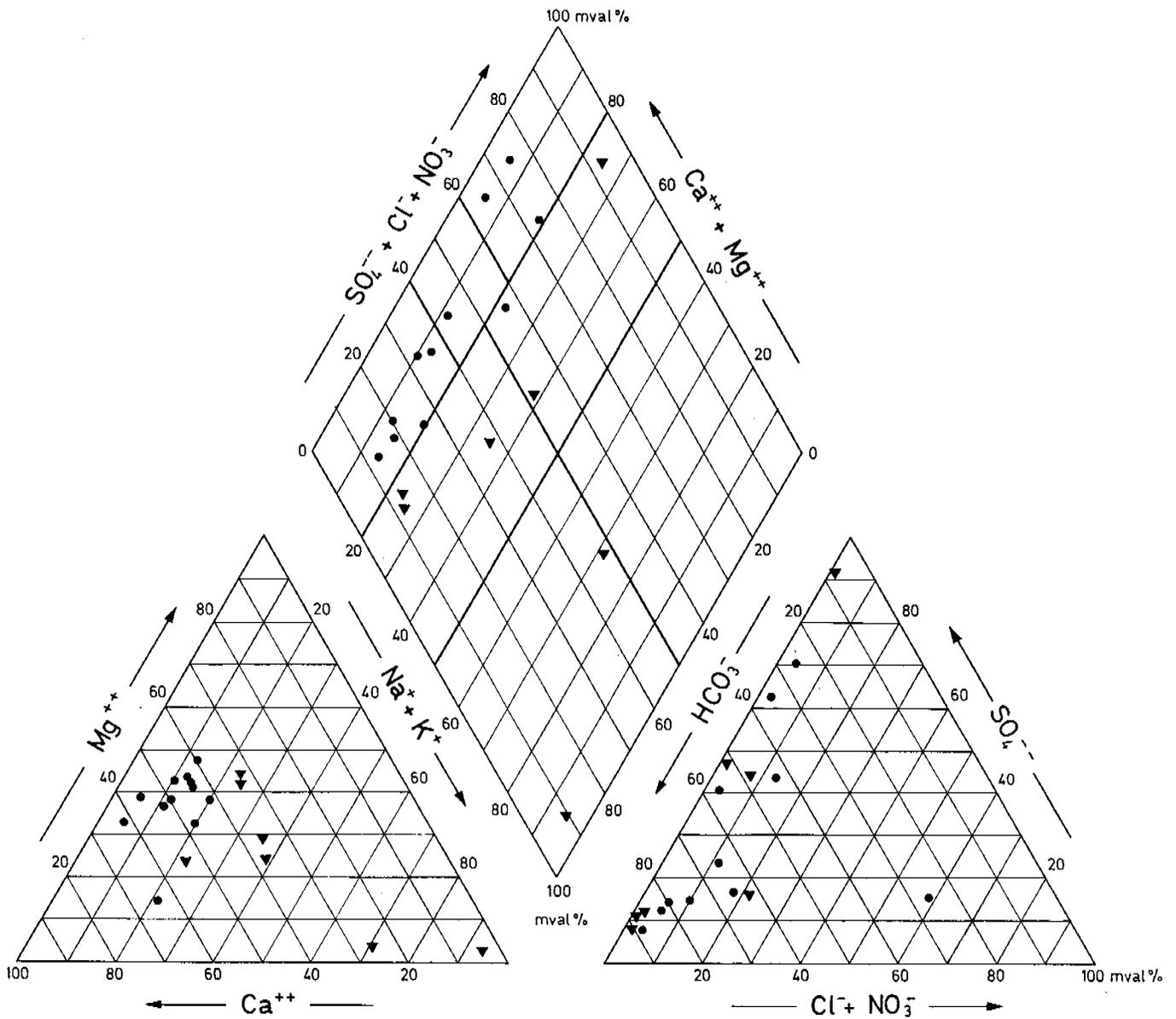
Umfassende mehrerer Proben (ca. 20)

Abb. 34



Wässer aus dem Sandsteinkeuper

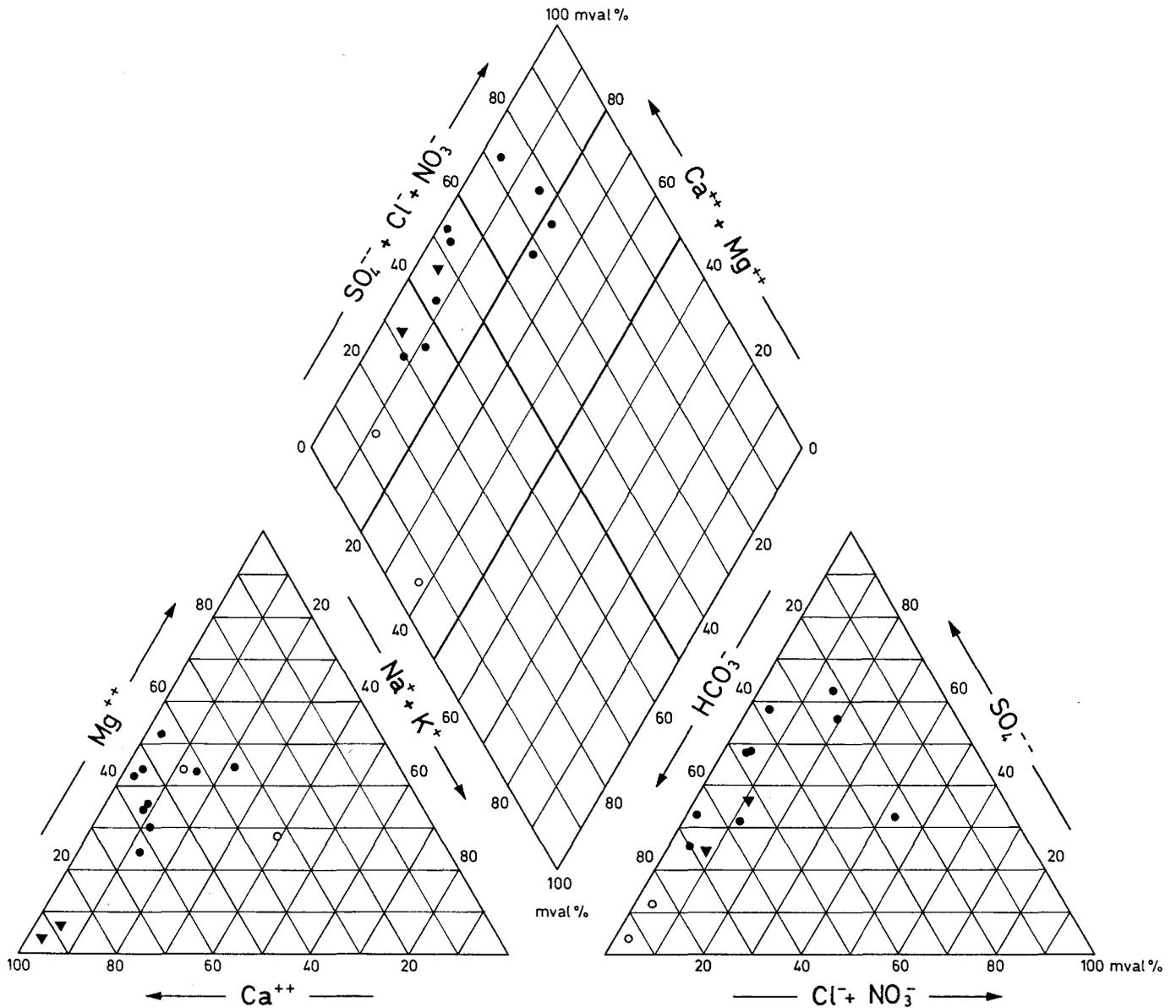
- mit weniger als 100 mg SO_4 / l
- ▼ mit über 100 mg SO_4 / l



Wässer aus dem Sandsteinkeuper mit erhöhter Alkalienkonzentration

- Alkalienkonzentration von 20 - 50 mg/l
- ▼ Alkalienkonzentration über 50 mg/l

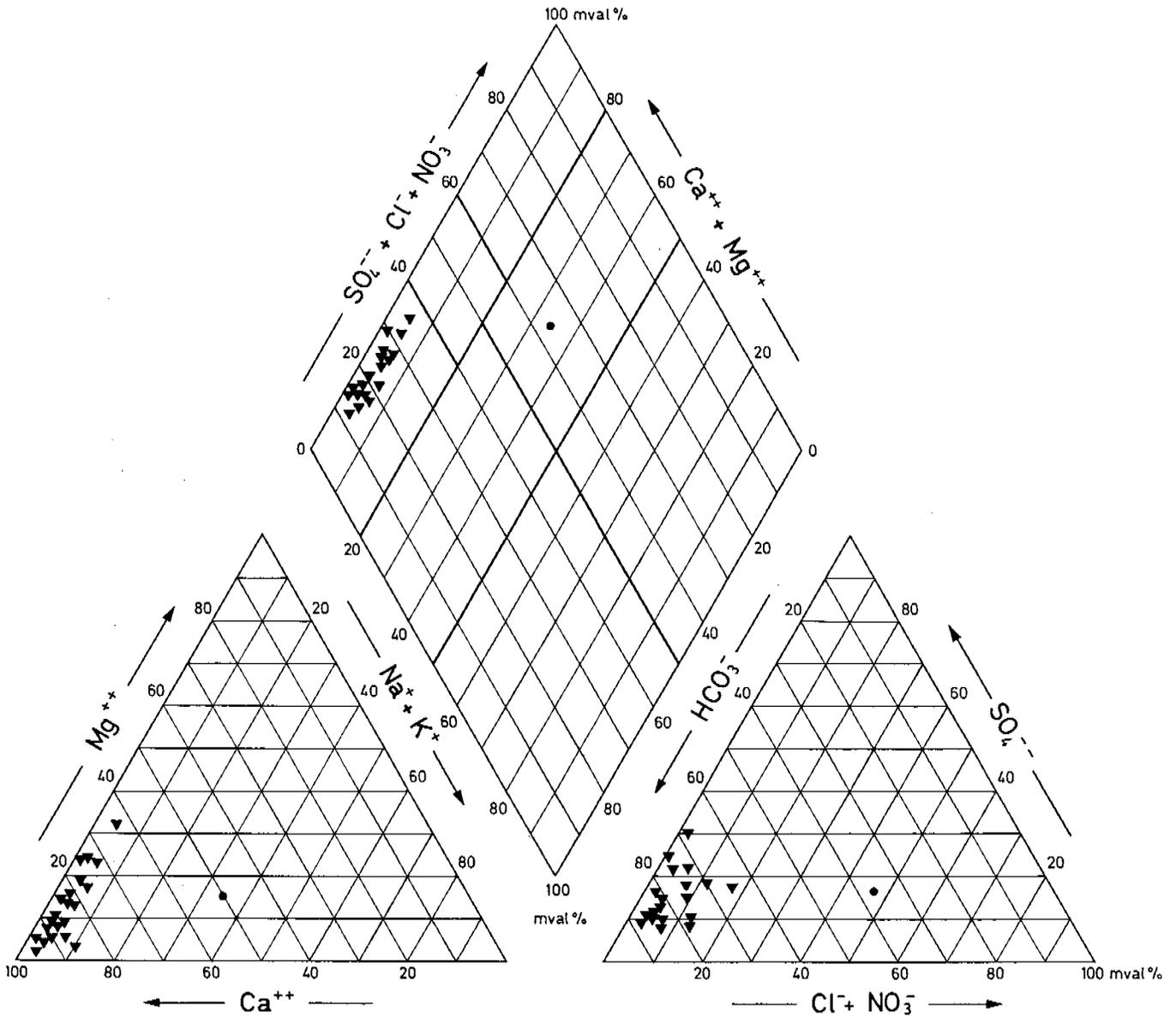
Abb. 36



Wässer aus dem Rhät bzw. Lias

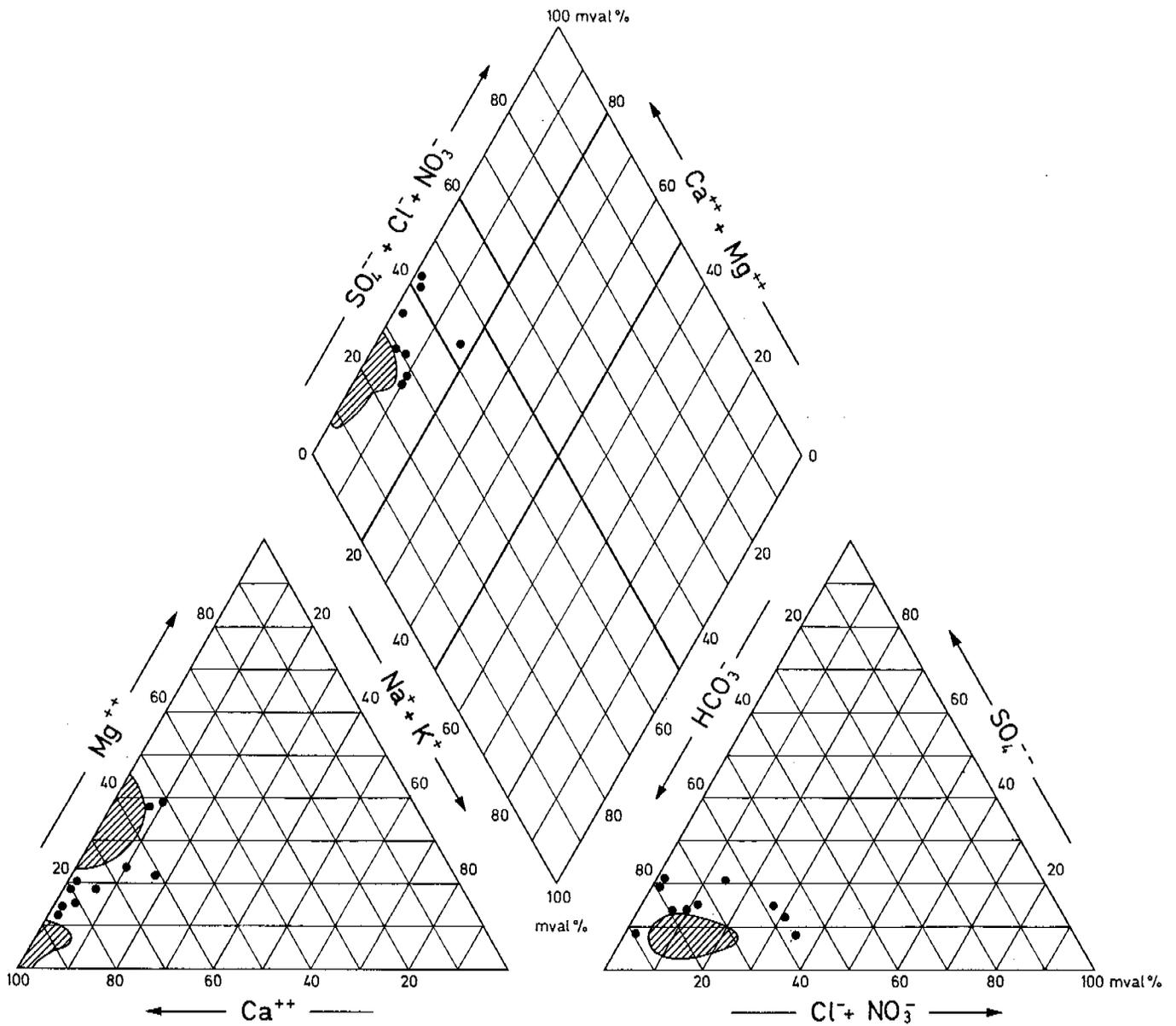
- Rhät/Lias Wasser (aus Sandsteinhorizonten)
- ▼ Lias Wasser (aus kalkig-mergeligen Horizonten)
- Austauschwässer bzw. von Austauschwässern beeinflusste Rhät/Lias Wasser, mit Alkaligehalten von über 15 mg/l

Abb. 37



Wässer aus dem Dogger

- mit einer Gesamtmineralisation von weniger als 100mg/l
- ▼ mit einer Gesamtmineralisation von 100 mg/l und darüber

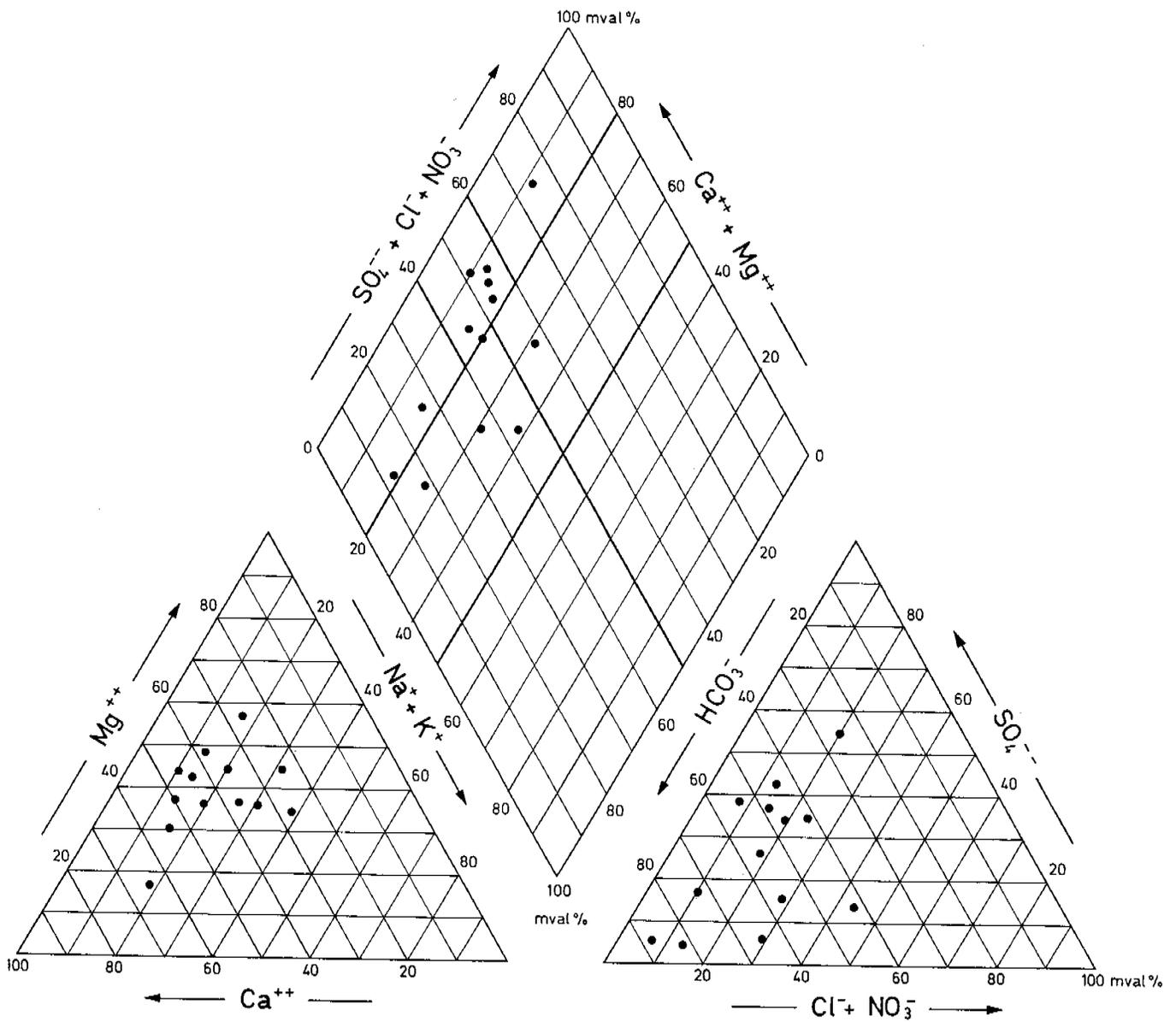


Wässer aus dem Malm

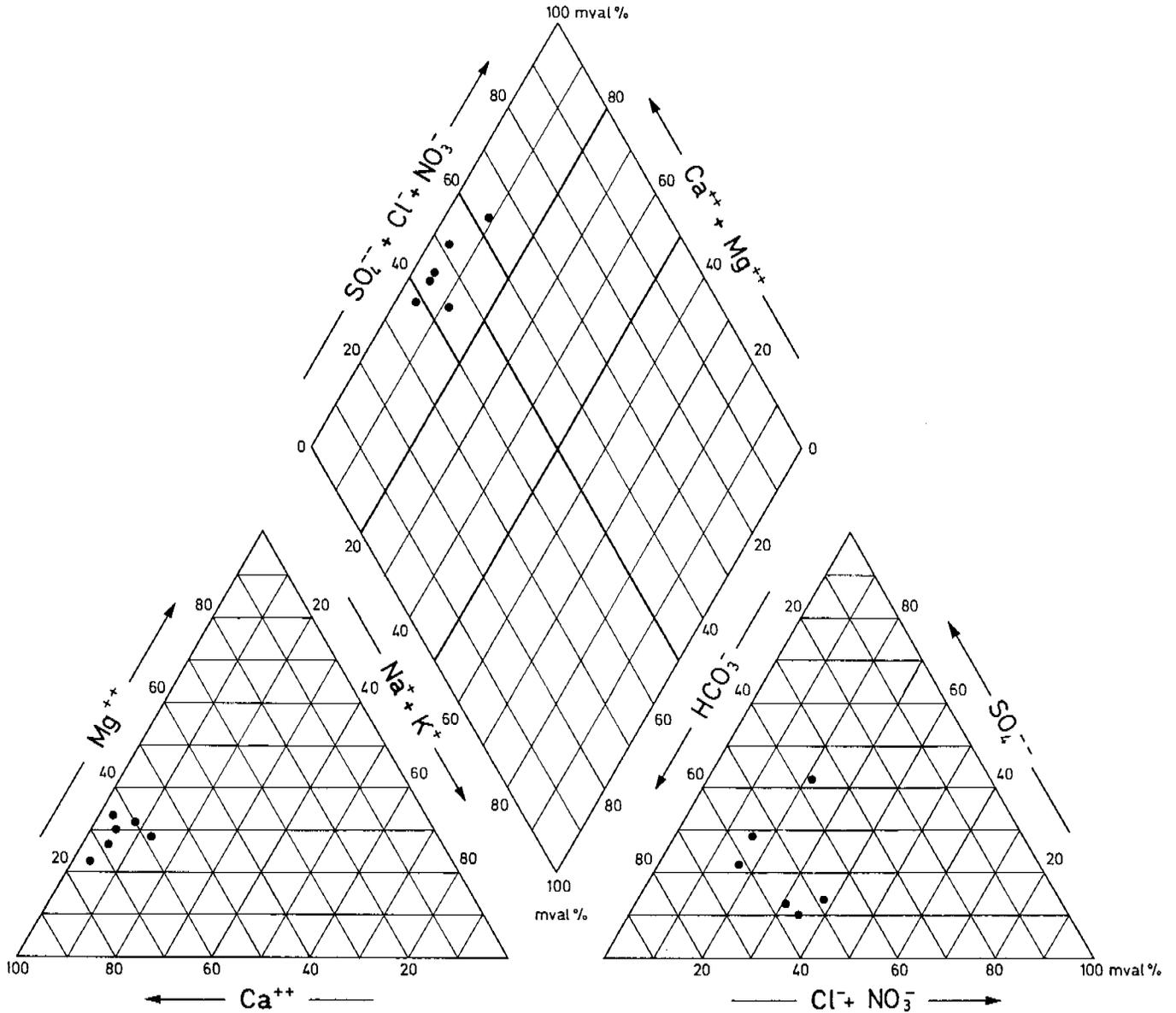
• Einzelanalyse

◐ Umfassende mehrerer Proben (ca. 60)

Abb. 39

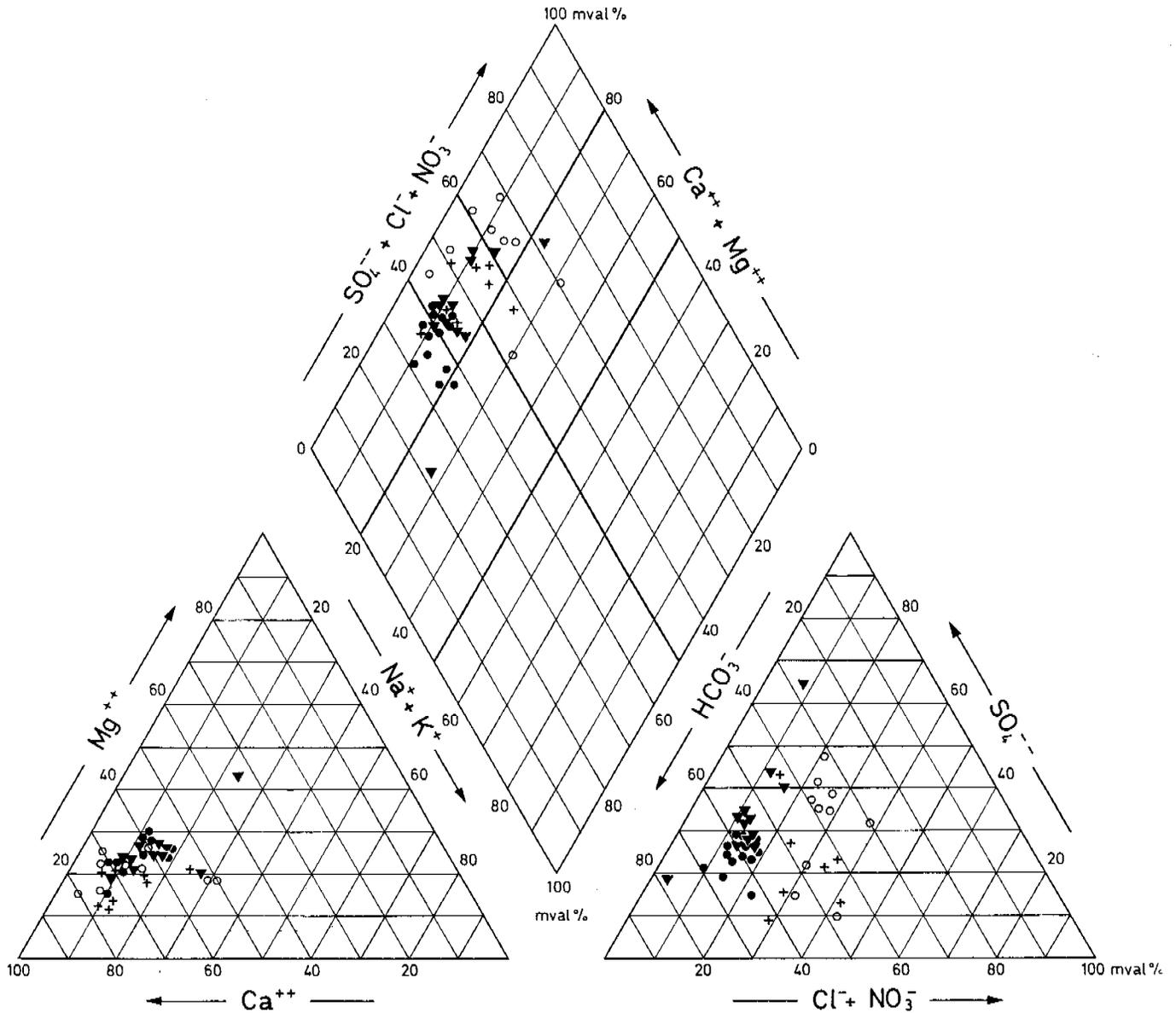


Wässer aus den tertiären Vulkaniten der Rhön



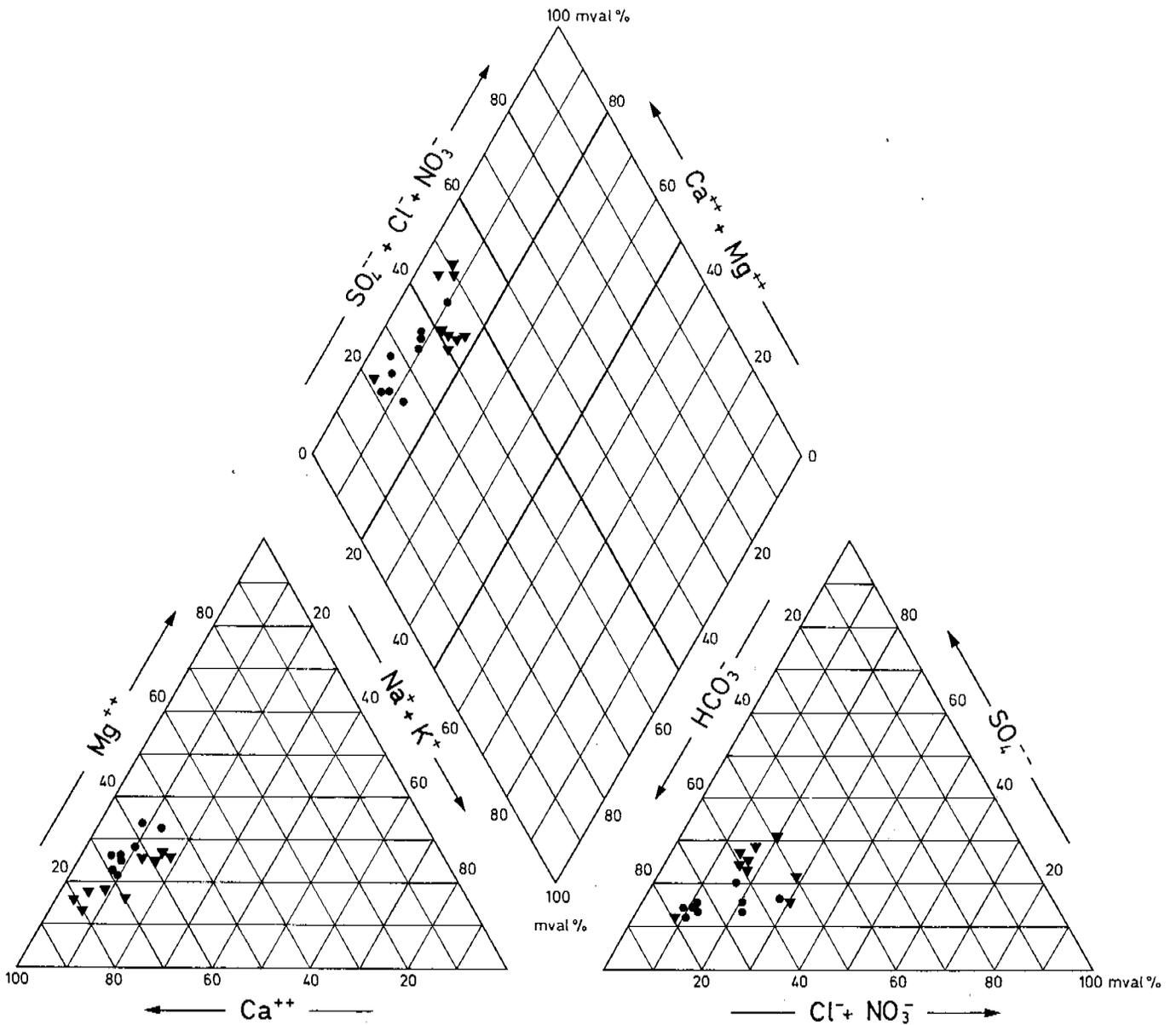
Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Roßstadt und Haßfurt
(Sohle des Maintalquartärs: Gipskeuper)

Abb. 41



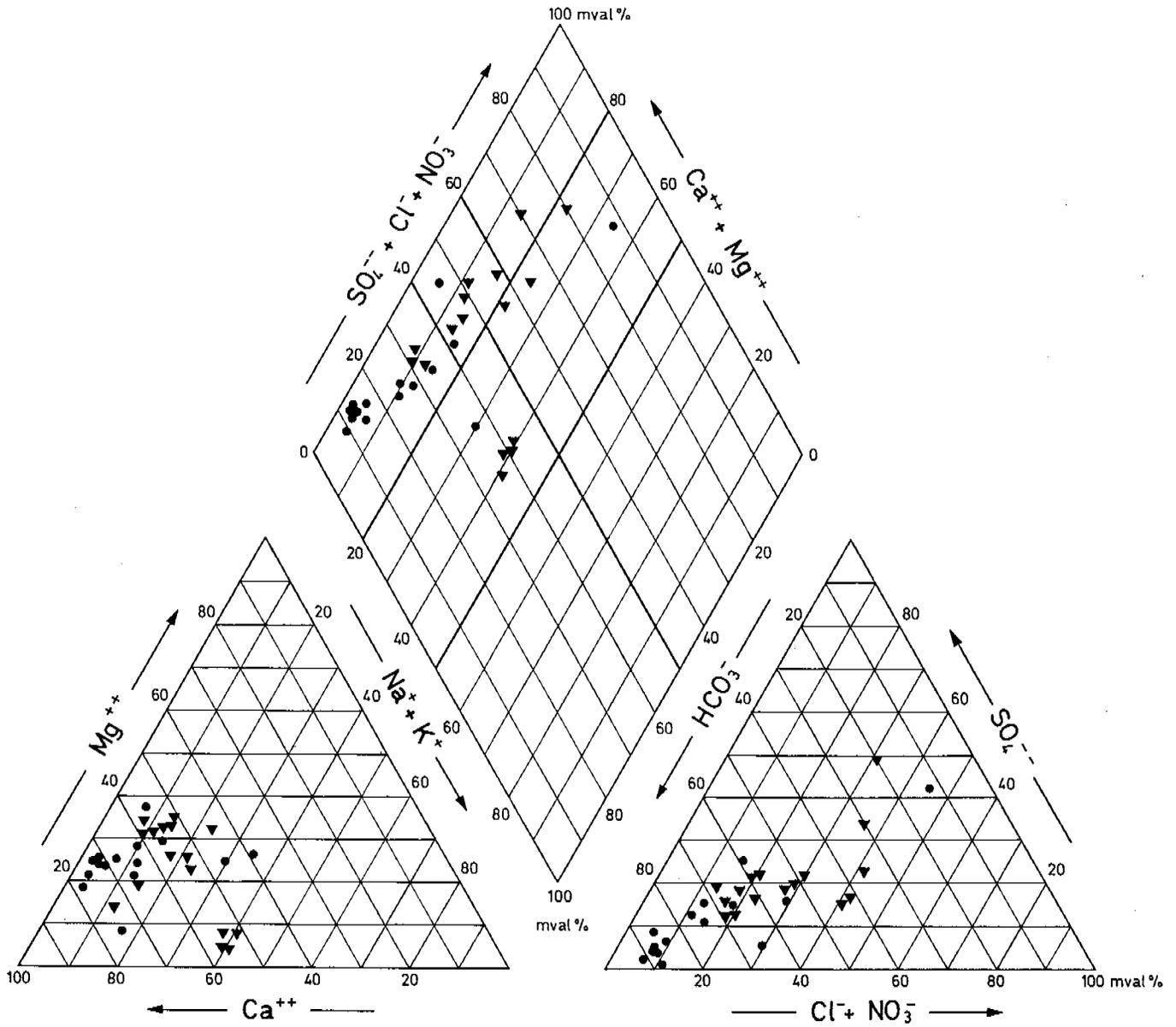
Wässer aus dem Maintalquartär im Flußabschnitt Haßfurt – Würzburg
(Sohle des Maintalquartärs: Muschelkalk und Unterer Keuper)

- mit weniger als 100 mg SO_4 /l
- ▼ mit über 100 mg SO_4 /l
- mit über 80 mg Cl/l (bei gleichzeitig hohen SO_4 -Konzentrationen)
- + mit über 40 mg NO_3 /l



Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Karlstadt und Obernburg
(Sohle des Maintalquartärs: Buntsandstein)

- mit einer Gesamtmineralisation von weniger als 400mg/l
- ▼ mit einer Gesamtmineralisation von 400mg/l und darüber



Wässer aus dem Maintalquartär zwischen Obernburg und Alzenau i. Ufr.

- mit weniger als 40 mg NO_3^-/l
- ▼ mit über 40 mg NO_3^-/l

Hydrogeologische Grundkarte

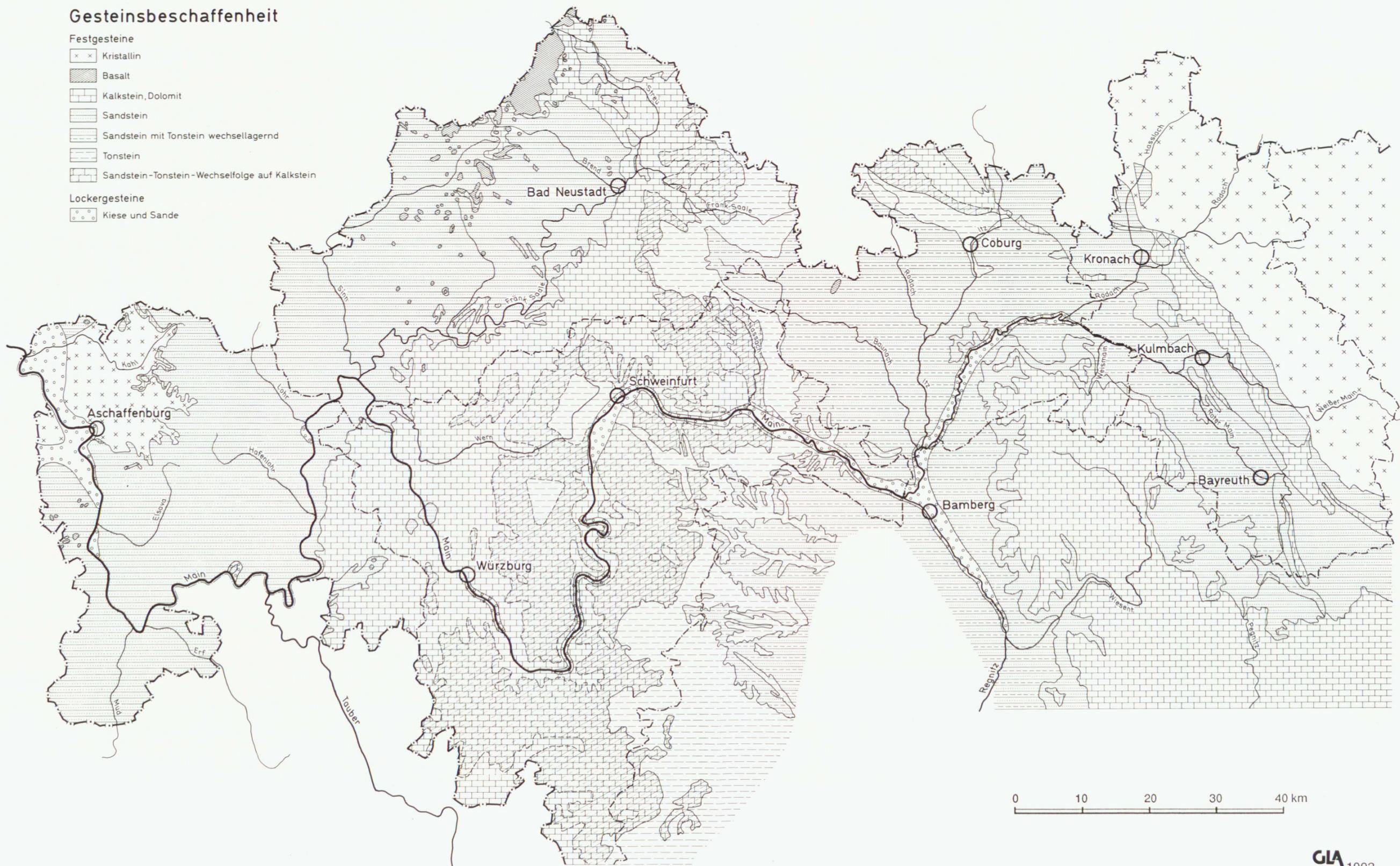
Gesteinsbeschaffenheit

Festgesteine

-  Kristallin
-  Basalt
-  Kalkstein, Dolomit
-  Sandstein
-  Sandstein mit Tonstein wechsellagernd
-  Tonstein
-  Sandstein-Tonstein-Wechselfolge auf Kalkstein

Lockergesteine

-  Kiese und Sande



Sulfatgehalte im Maingebiet

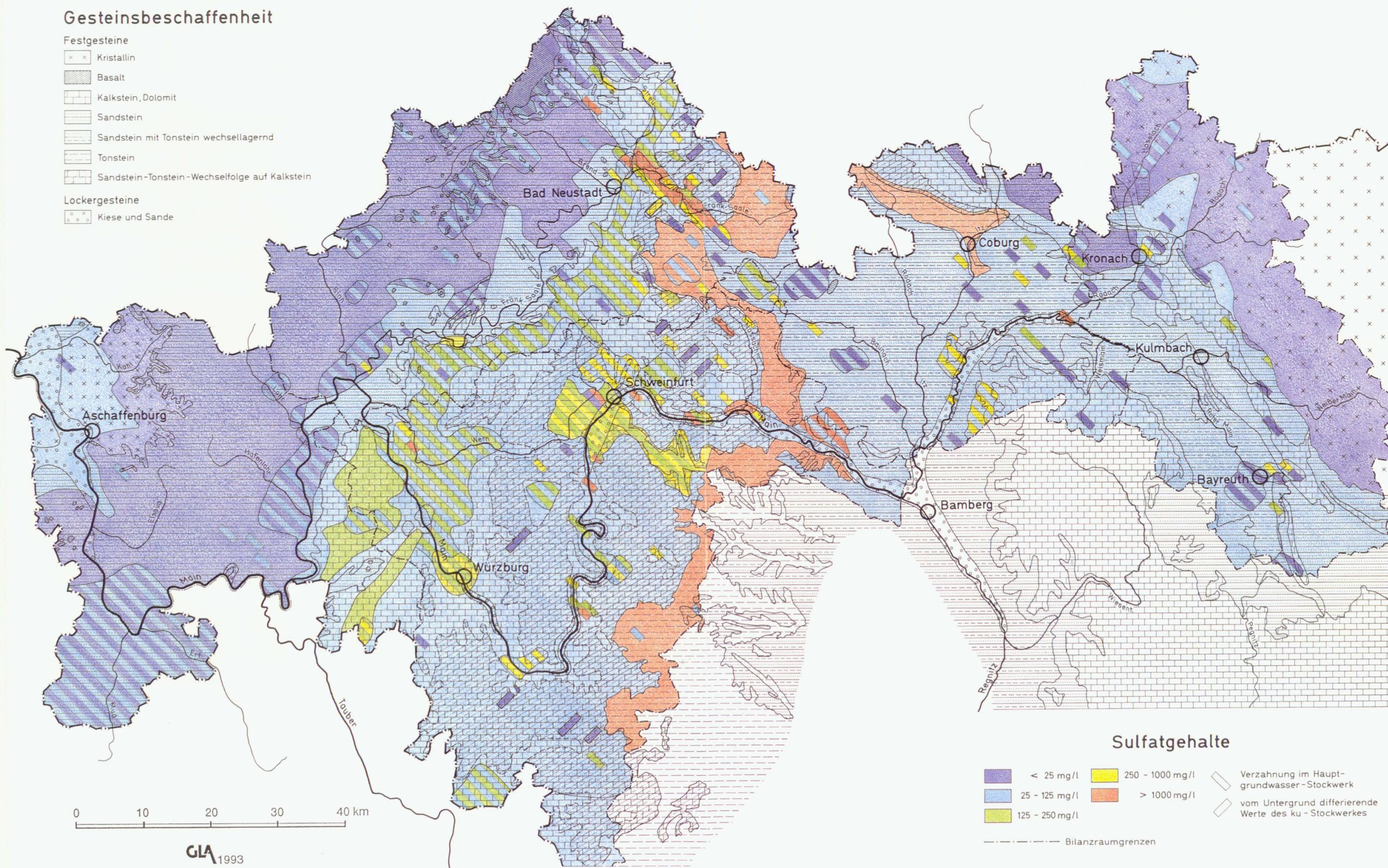
Gesteinsbeschaffenheit

Festgesteine

-  Kristallin
-  Basalt
-  Kalkstein, Dolomit
-  Sandstein
-  Sandstein mit Tonstein wechsellagernd
-  Tonstein
-  Sandstein-Tonstein-Wechselfolge auf Kalkstein

Lockergesteine

-  Kiese und Sande



Sulfatgehalte

-  < 25 mg/l
-  25 - 125 mg/l
-  125 - 250 mg/l
-  250 - 1000 mg/l
-  > 1000 mg/l
-  Verzahnung im Hauptgrundwasser-Stockwerk
-  vom Untergrund differierende Werte des ku-Stockwerkes
-  Bilanzraumgrenzen

Chloridgehalte im Maingebiet

Abb. 46

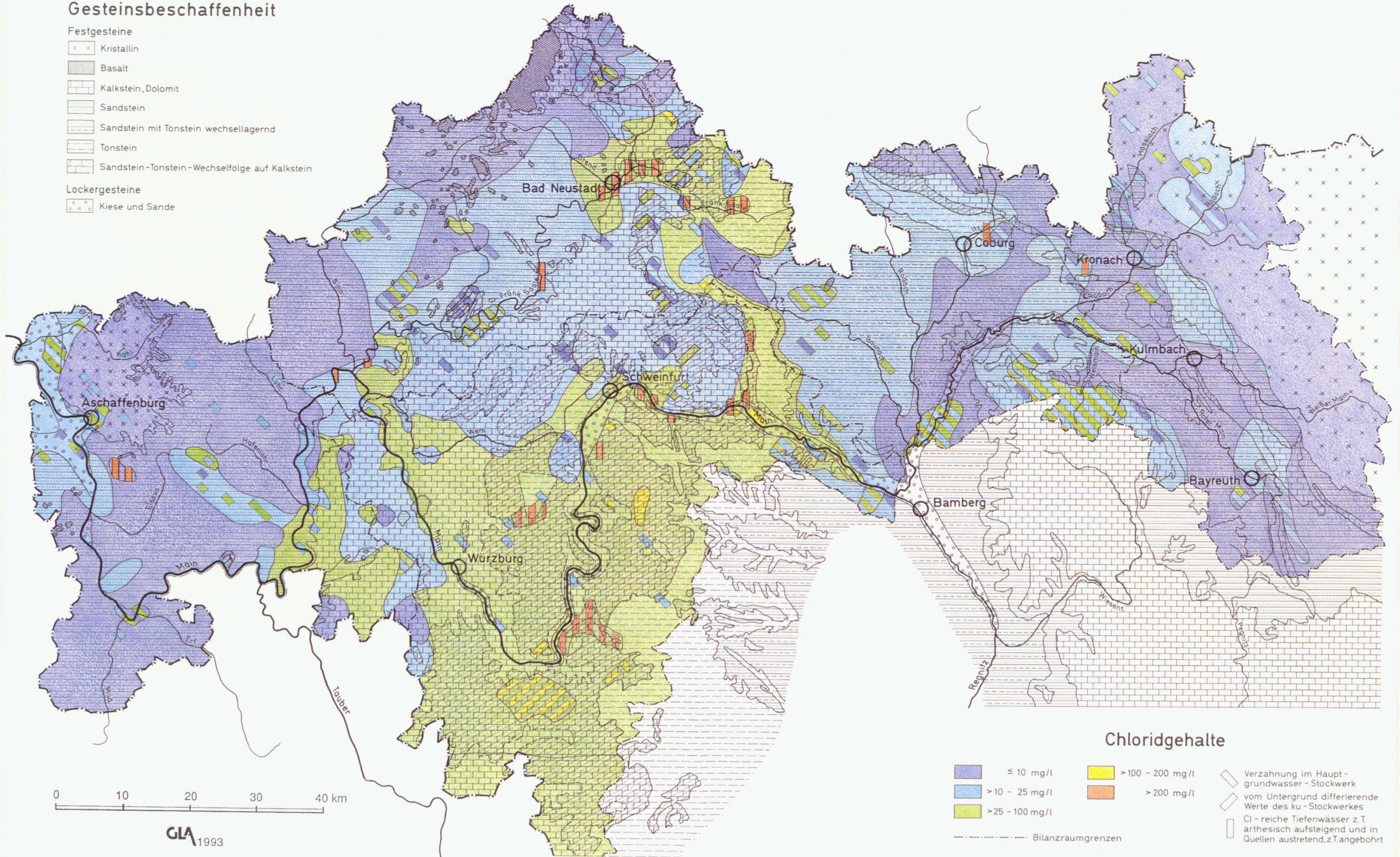
Gesteinsbeschaffenheit

Festgesteine

- Kristallin
- Basalt
- Kalkstein, Dolomit
- Sandstein
- Sandstein mit Tonstein wechsellagernd
- Tonstein
- Sandstein-Tonstein-Wechselfolge auf Kalkstein

Lockergesteine

- Kiese und Sande



Chloridgehalte

- ≤ 10 mg/l
- > 10 - 25 mg/l
- > 25 - 100 mg/l
- > 100 - 200 mg/l
- > 200 mg/l

--- Bilanzraumgrenzen

- Verzahnung im Hauptgrundwasser-Stockwerk
- vom Untergrund differierende Werte des ku-Stockwerkes
- Cl-reiche Tiefenwässer z.T. artesisch aufsteigend und in Quellen austretend, z.T. angebohrt

Nitratgehalte im Maingebiet

Abb. 47

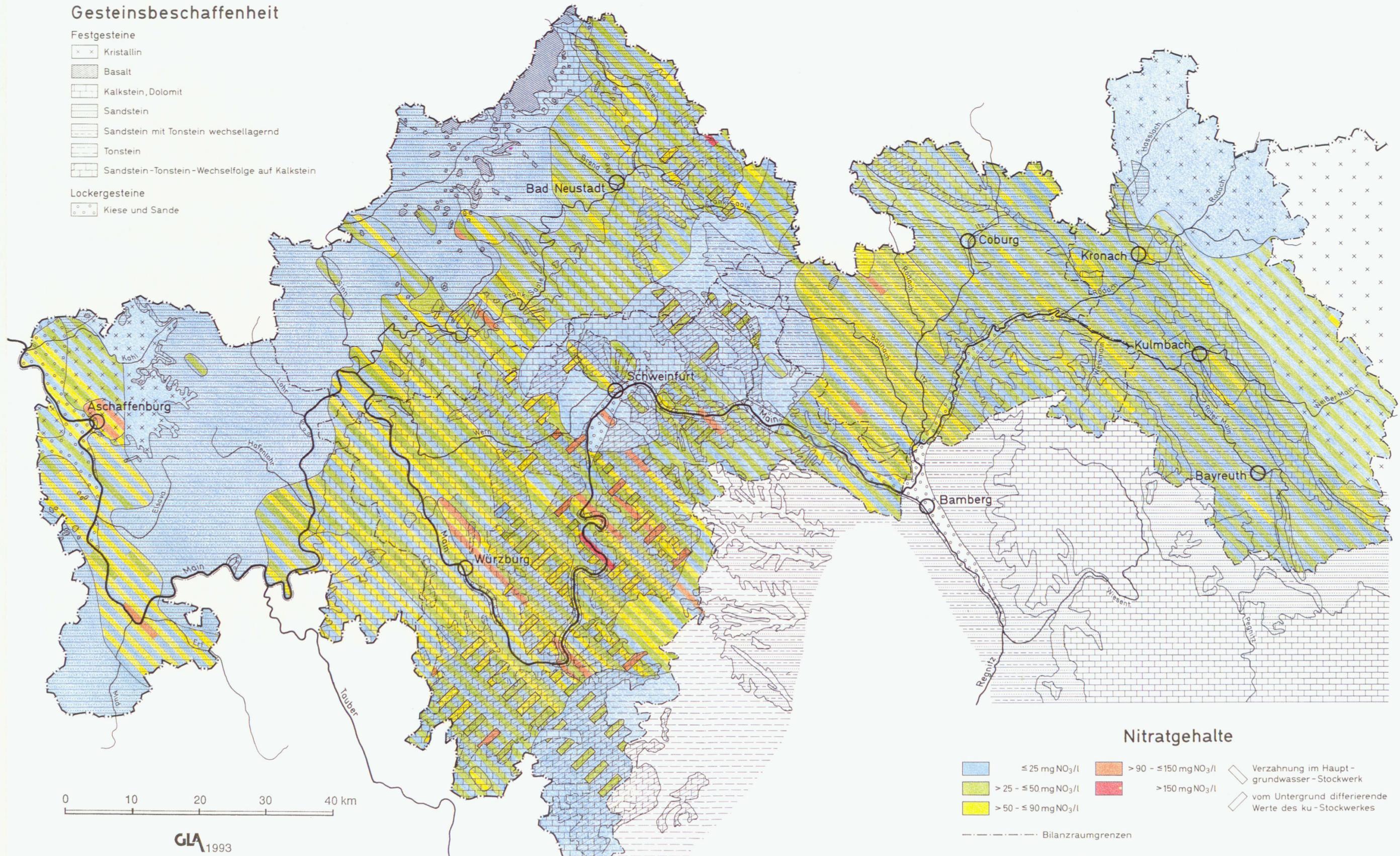
Gesteinsbeschaffenheit

Festgesteine

- Kristallin
- Basalt
- Kalkstein, Dolomit
- Sandstein
- Sandstein mit Tonstein wechsellagernd
- Tonstein
- Sandstein-Tonstein-Wechselfolge auf Kalkstein

Lockergesteine

- Kiese und Sande



Nitratgehalte

- ≤ 25 mg NO₃/l
- > 25 - ≤ 50 mg NO₃/l
- > 50 - ≤ 90 mg NO₃/l
- > 90 - ≤ 150 mg NO₃/l
- > 150 mg NO₃/l
- Verzahnung im Hauptgrundwasser-Stockwerk
- vom Untergrund differierende Werte des ku-Stockwerkes

--- Bilanzraumgrenzen

Elektrische Leitfähigkeit im Maingebiet

Abb. 48

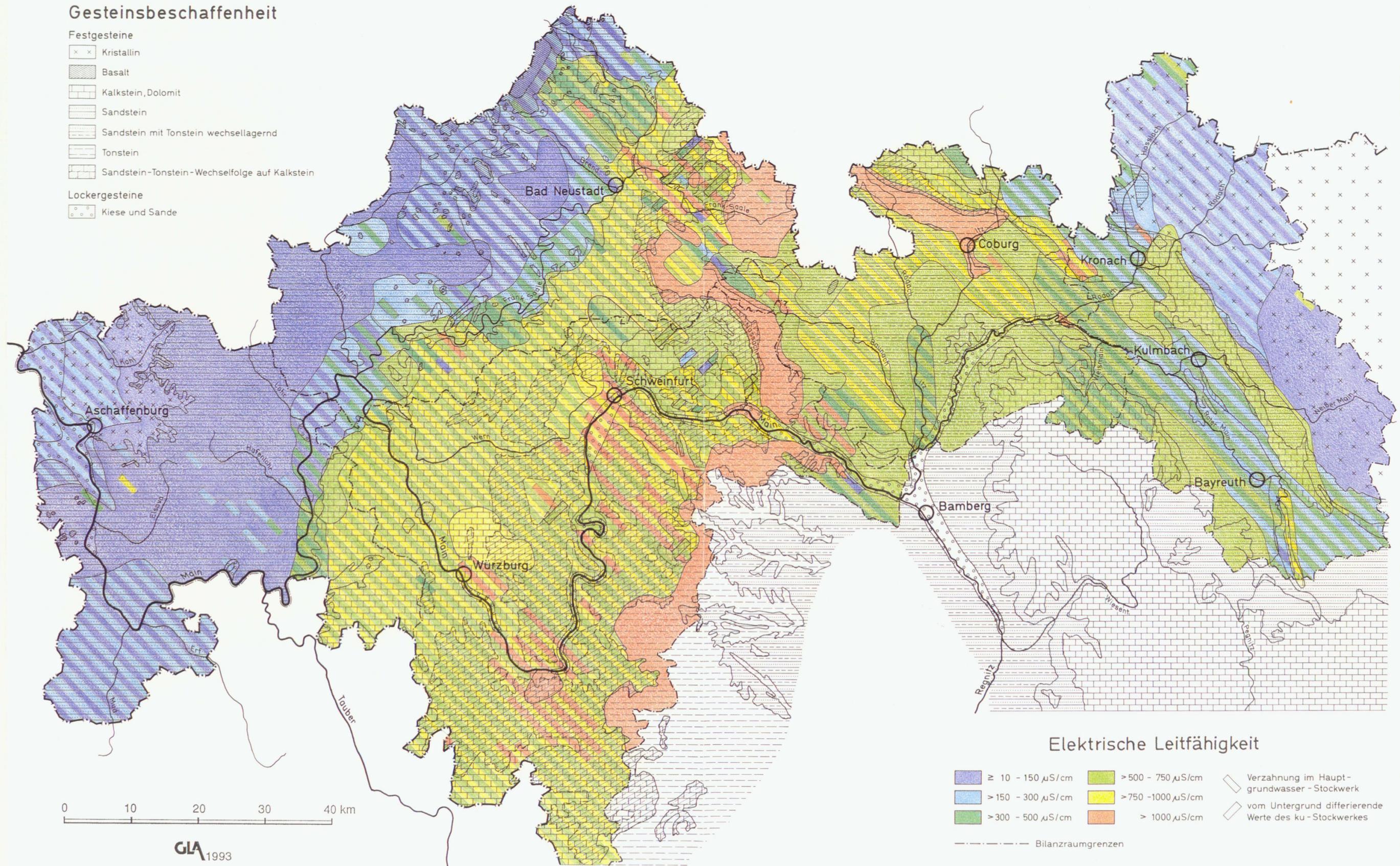
Gesteinsbeschaffenheit

Festgesteine

- Kristallin
- Basalt
- Kalkstein, Dolomit
- Sandstein
- Sandstein mit Tonstein wechsellagernd
- Tonstein
- Sandstein-Tonstein-Wechselfolge auf Kalkstein

Lockergesteine

- Kiese und Sande



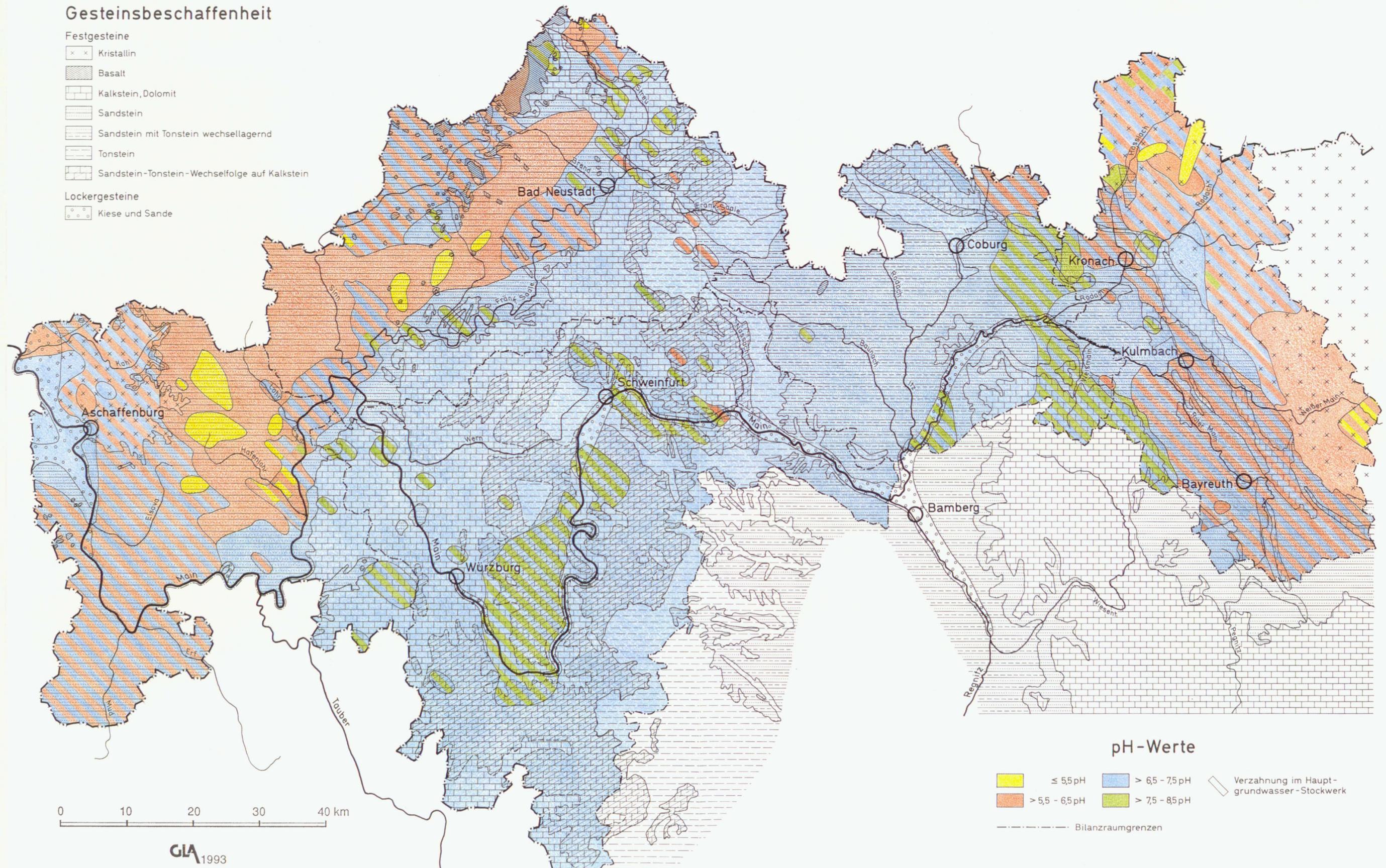
Elektrische Leitfähigkeit

- | | | | | | |
|--|--------------------------------|--|-------------------------------|--|---|
| | $\geq 10 - 150 \mu\text{S/cm}$ | | $> 500 - 750 \mu\text{S/cm}$ | | Verzahnung im Hauptgrundwasser-Stockwerk |
| | $> 150 - 300 \mu\text{S/cm}$ | | $> 750 - 1000 \mu\text{S/cm}$ | | vom Untergrund differierende Werte des ku-Stockwerkes |
| | $> 300 - 500 \mu\text{S/cm}$ | | $> 1000 \mu\text{S/cm}$ | | |

--- Bilanzraumgrenzen

0 10 20 30 40 km

ph-Werte im Maingebiet



Ergiebigkeiten im Maingebiet

Abb. 50

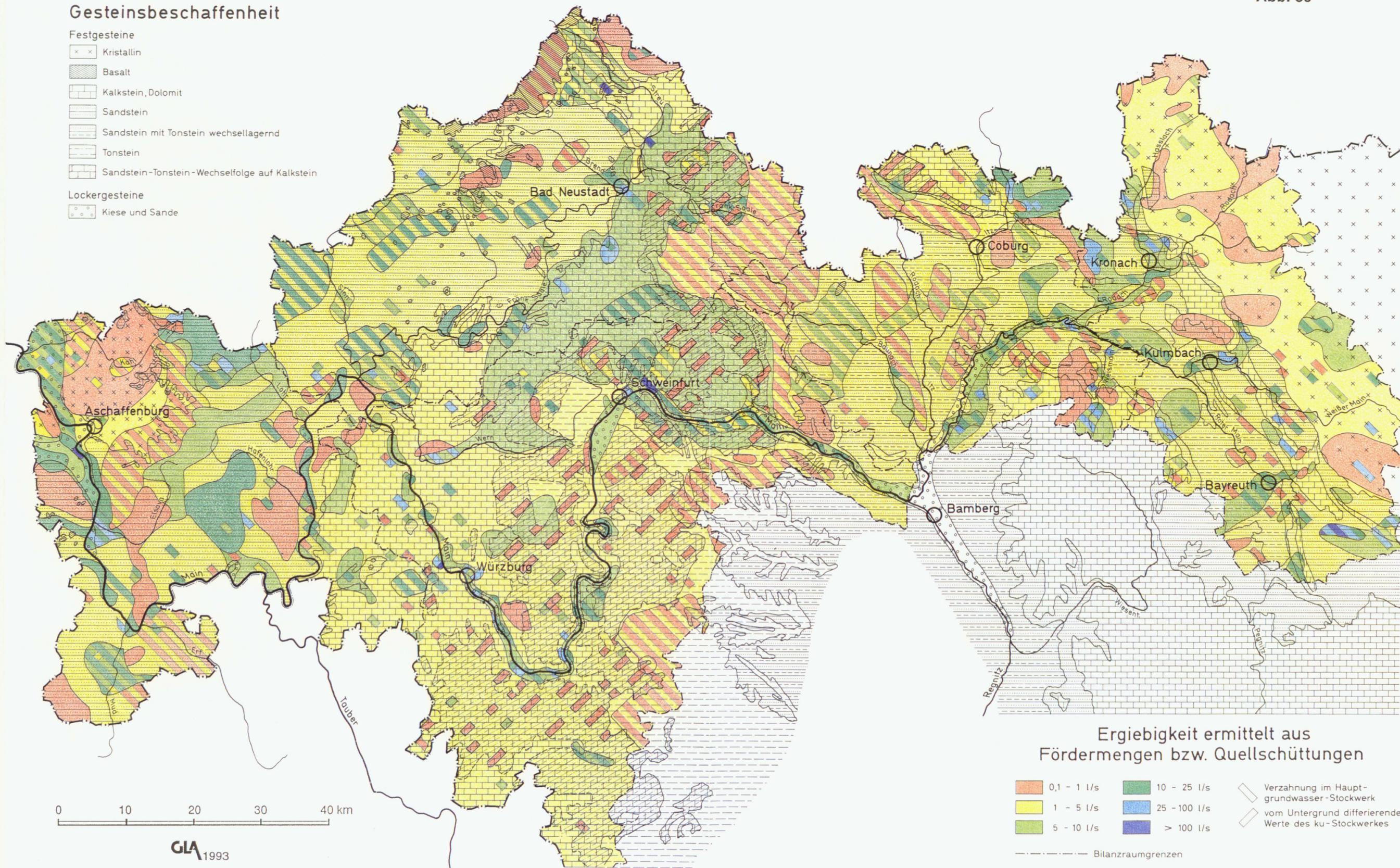
Gesteinsbeschaffenheit

Festgesteine

- Kristallin
- Basalt
- Kalkstein, Dolomit
- Sandstein
- Sandstein mit Tonstein wechsellagernd
- Tonstein
- Sandstein-Tonstein-Wechselfolge auf Kalkstein

Lockergesteine

- Kiese und Sande

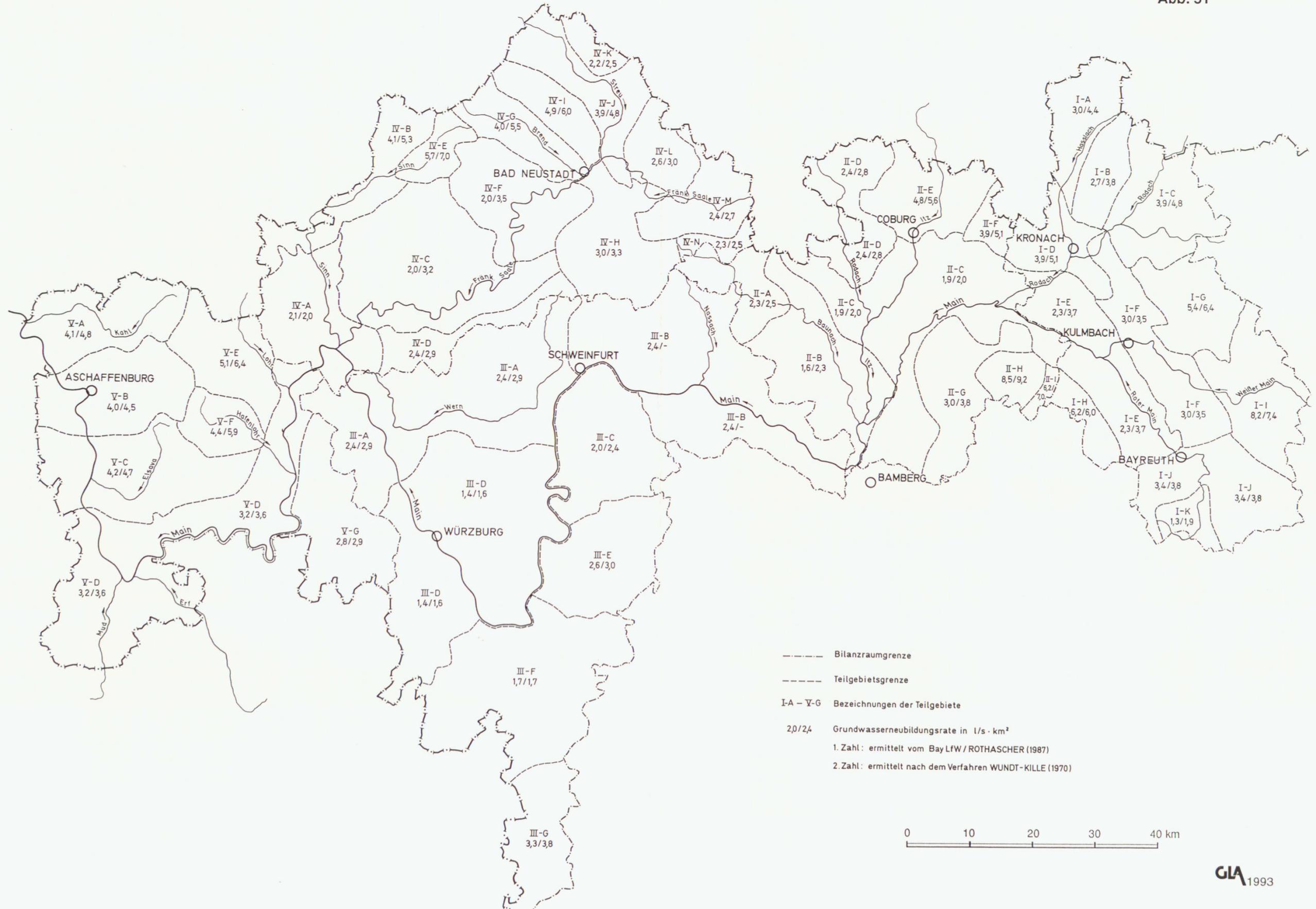


Ergiebigkeit ermittelt aus Fördermengen bzw. Quellschüttungen

- | | | |
|-------------|--------------|--|
| 0,1 - 1 l/s | 10 - 25 l/s | Verzahnung im Hauptgrundwasser-Stockwerk vom Untergrund differierende Werte des ku-Stockwerkes |
| 1 - 5 l/s | 25 - 100 l/s | |
| 5 - 10 l/s | > 100 l/s | |
- Bilanzraumgrenzen

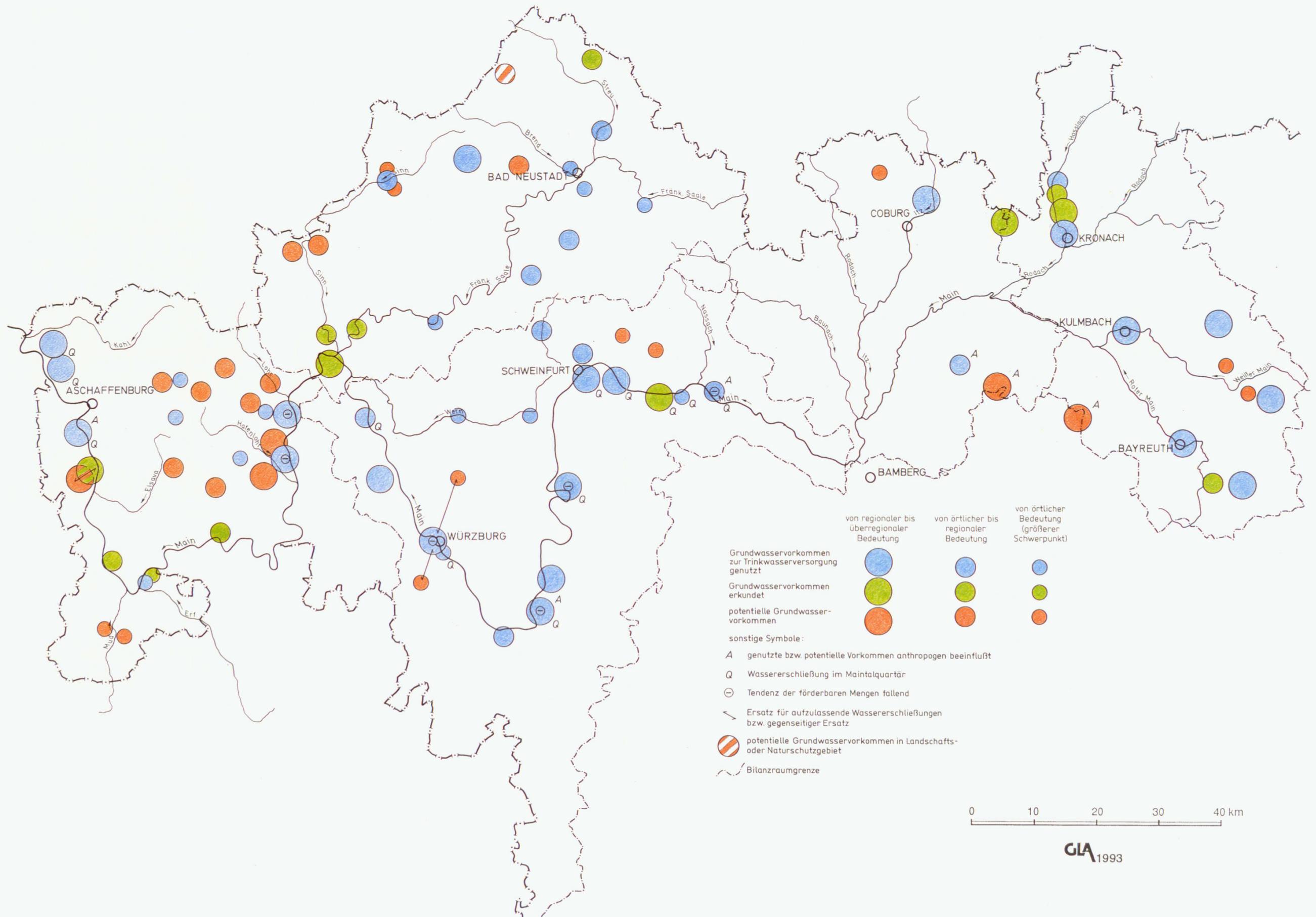
Grundwasserneubildungsraten im Planungsgebiet

Abb. 51



Übersicht ergiebiger Grundwasservorkommen im Planungsgebiet

Abb. 52



Mineral- und Thermalwässer im Maingebiet

