

Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

Oberrhenebene Raum Rastatt
(Karlsruhe-Bühl)

Erläuterungen

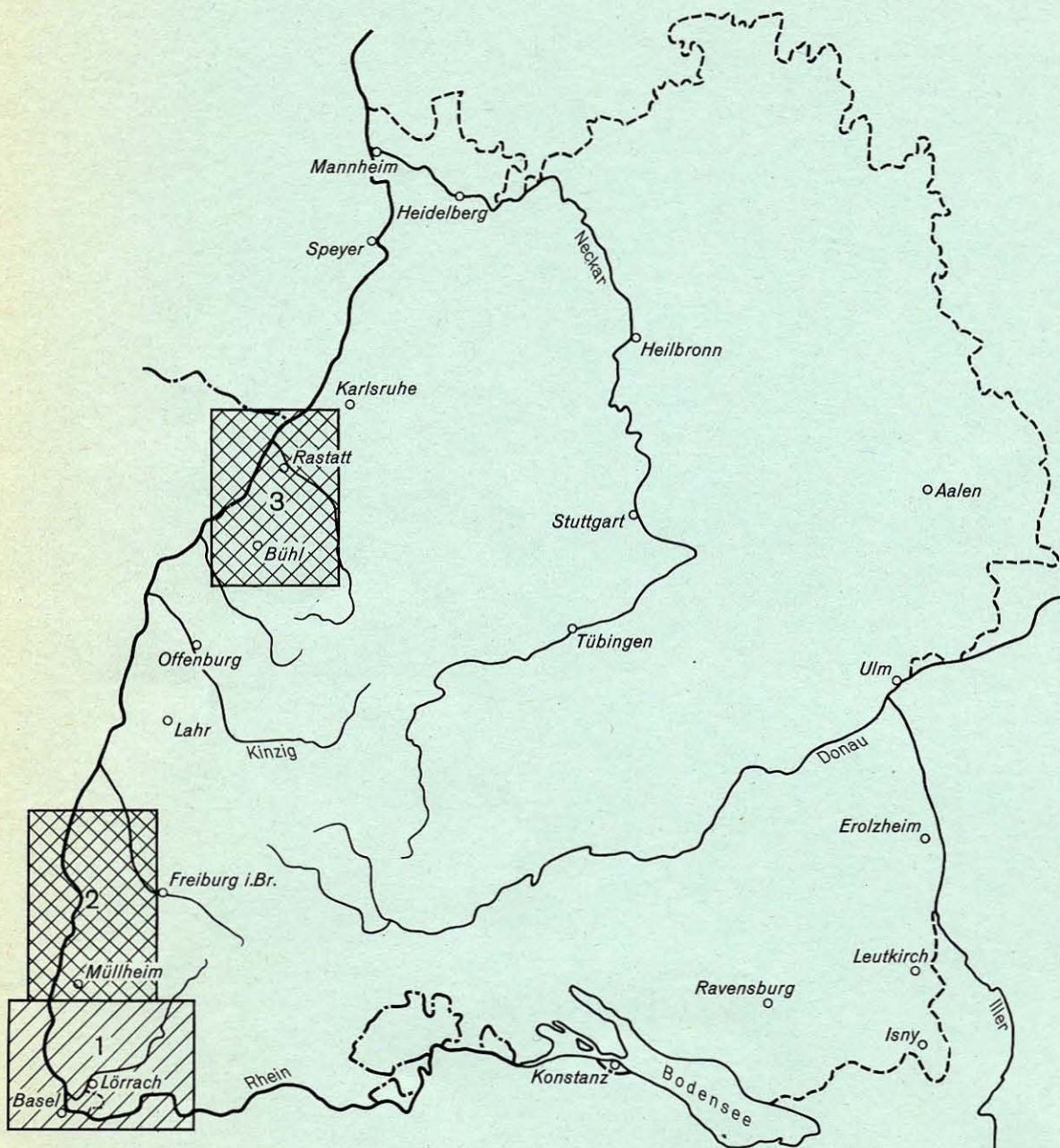


Hergestellt vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg/Br. und der Landesanstalt
für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft – Karlsruhe
unter Mitarbeit des Regierungspräsidiums Freiburg, Abt. Wasserwirtschaft

Im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg

Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

mit Erläuterungen (Erscheinungsjahr)



neu



bisher erschienen

1 Dinkelberg – Hochrhein (1975)

2 Kaiserstuhl – Markgräflerland (1978)

3 Raum Rastatt (1978)

Erläuterungen

zur hydrogeologischen Karte von

Baden–Württemberg

Oberrhenebene Raum Rastatt

(Karlsruhe–Bühl)

Mit 31 Abbildungen, 9 Tabellen, 6 Karten

**bearbeitet von O. HUPPMANN, Landesanstalt für Umweltschutz Baden - Württemberg,
Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, Karlsruhe und G. STRAYLE, Geologisches
Landesamt Baden - Württemberg, Freiburg i. Br.**

1978

0.	Vorbemerkung	5
1.	Allgemeine hydrologische Grundlagen	6
1.1	Untersuchungsraum	6
1.2	Hydrologische Meßeinrichtungen	6
1.3	Klimaverhältnisse	6
1.4	Gewässer	7
1.4.1	Fließgewässer	7
1.4.2	Altrheine und Baggerseen	9
1.5	Grundwasserentnahmen	9
1.6	Rheinausbau	9
2.	Geologie und Hydrogeologie	10
2.1	Einleitung	10
2.2	Geologische Verhältnisse	10
2.2.1	Gliederung, Aufbau und Tektonik	10
2.2.2	Quartäre Sedimente	11
2.2.3	Ablagerungen des Tertiärs	11
2.3	Hydrogeologische Grundlagen	11
2.3.1	Definition der Parameter	11
2.3.2	Abgrenzung des Aquifers	11
2.3.3	Hydrogeologische Untergliederung des Aquifers	11
2.3.3.1	Ergebnis der Untergliederung	12
2.3.3.2	Hydrogeologische Schnitte	12
2.3.3.3	Grundwasserstockwerke	13
2.3.3.4	Mächtigkeit des Aquifers	13
2.4	Auswertung der Pumpversuche	13
2.4.1	Unterlagen	13
2.4.2	Gliederung der Unterlagen	13
2.4.3	Regionale Verteilung der Aufschlüsse	14
2.4.4	Reihenfolge der Auswertung	14
2.4.5	Auswertung der Gruppe 1	14
2.4.6	Auswertung der Gruppe 2	14
2.4.6.1	Näherungsverfahren zur Transmissivitätsbestimmung	15
2.4.6.2	Ergebnis der Auswertung von Gruppe 1 und 2	19
2.4.7	Auswertung der Gruppe 3	19

	Seite
2.4.7.1	Gebiete unterschiedlicher Kiestypen 21
2.4.7.2	Ergebnisse der Korrelationsanalysen 21
2.5	Karte der Transmissivitätsverteilung (Karte V) 23
2.5.1	Entwicklung der Karte 23
2.5.2	Struktur der Isolinien 23
3.	Grundwasser 24
3.1	Allgemeines 24
3.2	Fließverhalten 24
3.3	Flurabstände und Schwankungen der Grundwasserstände 24
3.4	Beeinflussung der Grundwasserstände 28
3.4.1	Vergleichende Betrachtung von Ganglinien 28
3.4.2	Mathematisch-statistische Untersuchungen 28
3.5	Langfristiges Verhalten 32
4.	Hydrochemie des Grundwassers 34
4.1	Verwendetes Datenmaterial 34
4.2	Gesamthärte 34
4.3	Karbonathärte 34
4.4	Sauerstoff 34
4.5	Freie und kalkaggressive Kohlensäure 38
4.6	Eisen 38
4.7	Mangan 38
4.8	Chlorid 38
4.9	Nitrat 43
5.	Grundwasserhaushalt 46
5.1	Allgemeines zum Grundwassermodell 46
5.2	Grundwasserneubildung aus Niederschlag 47
5.3	Austauschwassermenge zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser 47
5.4	Grundwasserentnahmen 47
5.5	Bilanzierung 49
6.	Ausblick 49
7.	Zusammenfassung 50
8.	Literaturverzeichnis 50
	Verzeichnis der Abbildungen 52
	Verzeichnis der Tabellen 52
	Verzeichnis der Karten 52

0. Vorbemerkung

Die Hydrogeologische Kartierung des Landes Baden-Württemberg hat das Ziel, im Interesse der Wasserwirtschaft eine Dokumentation des Kenntnisstandes über die Grundwasservorkommen im Lande vorzunehmen. Sie ist eine Gemeinschaftsarbeit von Geologen, Wasserwirtschaftlern und Hydrologen unter Einbeziehung von Wissen weiterer Fachrichtungen, wie z.B. der Meteorologie. Die Ergebnisse der Hydrogeologischen Kartierung sind Grundlagen für wasserwirtschaftliche Planung und dienen in erster Linie der Sicherstellung der Wasserversorgung. Die Untersuchungen erfolgen in der Regel in zwei Stufen:

1. Sammeln und Auswerten der vorhandenen Unterlagen und Kenntnisse, Darstellen der geologischen und hydrologischen Verhältnisse, Aufzeigen noch zu klärender Fragen.
2. Durchführung gezielter Untersuchungen zur Beantwortung der Fragen aus der 1. Stufe mit dem Ziel der Grundwasserbilanzierung und der Möglichkeit, die menschlichen Eingriffe in den Wasserhaushalt optimal aufeinander abzustimmen.

Das bedeutendste Grundwasservorkommen des Landes Baden-Württemberg ist die Rheinebene. Die Hydrogeologische Kartierung gliedert sie in acht Untersuchungsräume, die von Norden nach Süden folgende Bezeichnungen haben:

1. Rhein – Neckar – Raum
2. Karlsruhe – Speyer
3. Raum Rastatt
4. Bühl – Offenburg
5. Raum Lahr
6. Freiburger Bucht
7. Kaiserstuhl – Markgräflerland
8. Dinkelberg – Hochrhein.

Der hier behandelte Raum Rastatt wurde ab 1972 im Zusammenhang mit dem Oberrheinausbau intensiv untersucht. Ziel der Untersuchungen war es zu erkennen, welche Auswirkungen durch den Ausbau des Oberrheins im Abschnitt Iffezheim-Neuburgweier insbesondere auf die Grundwasserverhältnisse zu erwarten sind und welche Begleitmaßnahmen zur Verhinderung bzw. Reduzierung schädlicher Veränderungen geeignet sind. Darüber wurde an anderer Stelle berichtet [17, 3, 21]. Die Hydrogeologische Kartierung des Raumes Rastatt beinhaltet deshalb einen Kenntnisstand, der über die erste Stufe hinausgeht.

1. Allgemeine hydrologische Grundlagen

1.1 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum erstreckt sich vom Rhein im Westen bis zum Gebirgsrand des Schwarzwaldes im Osten. Im Süden und Norden wird er von zwei in Ost-West-Richtung verlaufenden Linien in der Höhe von Bühl und Ettlingen bei Karlsruhe begrenzt. Die Fläche beträgt rd. 330 km². An Süd- und Nordrand liegt jeweils ein Streifen, in dem sich der Raum dieser Untersuchung mit den anschließenden Untersuchungsräumen der Hydrogeologischen Kartierung überschneidet. Zudem erstreckt sich der hydrogeologisch kartierte Raum Rastatt weiter nach Süden als das Untersuchungsgebiet zum Rheinausbau im Bereich Iffezheim – Neuburgweier.

Das Gebiet des hier durchschnittlich 10 km breiten rechten Teiles der Oberrheinebene ist in drei charakteristische Bereiche zu unterteilen. In der Rheinniederung zwischen Rhein und Hochgestade veränderte der Rhein vor seiner Korrektur durch Tulla ständig durch Hochwasser die Lage seines Bettes. Hier liegen zwischen Rhein und Hochwasserdamm umfangreiche Auwälder. Östlich schließt sich an die Rheinniederung die Niederterrasse an. Sie hebt sich im Norden des Kartiergebietes stärker heraus als im Süden und wird im Bereich Rastatt von der Murg durchschnitten. Zwischen Niederterrasse und Gebirgsrand folgt als flache Geländesenke die Kinzig-Murg-Niederung.

Besonders auffallend ist die Verteilung der Fließgewässer innerhalb der drei Landschaftsbereiche. In Rheinniederung und Kinzig-Murg-Niederung ist jeweils ein dichtes Netz von Oberflächengewässern vorhanden. Ein solches fehlt im nördlichen Abschnitt der Niederterrasse – abgesehen von den zu- und abflußlosen Baggerseen – vollständig.

1.2 Hydrologische Meßeinrichtungen

Klima- und Niederschlagsmeßstationen

Der Deutsche Wetterdienst unterhält im Untersuchungsraum Klimahauptstationen sowie Niederschlagsmeßstationen. Weitere Niederschlagsmesser System Hellmann befinden sich bei allen Lysimeterstationen des Landes Baden-Württemberg.

Sickerwassermeßanlagen

Der Erfassung der Grundwasserneubildung durch Versickerung von Niederschlagswasser dienen sechs Lysimeter System Friedrich-Franzen [9] des Landes Baden-Württemberg. Sie sind teilweise seit 1964 in Betrieb. Die Sickerwassermenge wird in 2- bis 3-tägigem Rhythmus gemessen. Dieser Lysimetertyp eignet sich nur für nichtbindige oder geringmächtige, bindige Deckschichten bei stets ungespanntem Grundwasser. Bei Verhältnissen, die diese Bedingungen nicht erfüllen, wird der Bodenwasserhaushalt und damit die Neubildung inzwischen unter anderem mit Neutronensonden untersucht.

Oberflächenpegel

An den Oberflächengewässern werden an den in Karte II dargestellten Orten die Wasserstände laufend beobachtet und davon teilweise die Abflüsse abgeleitet. Die ausgewerteten Daten einiger dieser Pegel werden im Gewässerkundlichen Jahrbuch, Sonderheft Land Baden-Württemberg, veröffentlicht. Daneben existieren ca. 30 Meßstellen im Altrheingebiet, die im Zusammenhang mit dem Oberrheinausbau geschaffen wurden. An ihnen werden die Wasserstände wöchentlich einmal gemessen. Für gelegentliche Beobachtungen wurden rd. 10 Meßstellen an den Oberflächengewässern eingerichtet, die eng mit dem Grundwasser korrespondieren, wovon jedoch keine Wasserstandsmessungen vorlagen.

Grundwassermeßstellen

Als erste und wichtigste Gruppe von Grundwassermeßstellen sind jene zu nennen, über die das Land Baden-Württemberg im Rahmen des hydrologischen Dienstes verfügt. Die ältesten Meßstellen stammen aus dem Jahre 1913. Die Beobachtungen sind jedoch unterschiedlich lange unterbrochen oder eingestellt worden. Die Meßstellen sind im Eigentum des Landes oder Dritter, insbesondere größerer Wasserwerke. An ihnen werden regelmäßig einmal wöchentlich (montags) die Wasserstände gemessen, vom Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft ausgewertet und in Form von Tabellen, Ganglinien und teilweise im Gewässerkundlichen Jahrbuch, Sonderheft Land Baden-Württemberg, herausgegeben. Vom Kartiergebiet werden gegenwärtig rd. 200 Meßstellen auf diese Weise ausgewertet; ihre Lage ist Karte II zu entnehmen. Die rechnerische mittlere Netzdichte beträgt gegenwärtig eine Grundwassermeßstelle pro 1,5 km². Das Meßnetz wird laufend möglichen Veränderungen bzw. Beeinflussungen der Grundwasserverhältnisse angepaßt.

Die Daten einer zweiten Gruppe von Grundwassermeßstellen, die von Dritten regelmäßig beobachtet werden, stehen bei Bedarf zur Verfügung. Es handelt sich insbesondere um Meßstellen im Zusammenhang mit dem Oberrheinausbau und im Bereich größerer Grundwasserentnahmestellen.

An etwa 20 Meßstellen dieser beiden Gruppen werden die Wasserstände durch Schreibgeräte kontinuierlich aufgezeichnet. Die Aufzeichnungen dienen einer genaueren Beurteilung von Beeinflussungen der Grundwasserverhältnisse durch anthropogene Eingriffe und der Erkundung der natürlichen Zusammenhänge.

Als dritte Gruppe von Grundwassermeßstellen sind jene zu nennen, die bei Bedarf beobachtet werden können. Sie werden in der Regel zu sogenannten Stichtagsmessungen herangezogen. Im betrachteten Gebiet sind gegenwärtig etwa 40 dieser Zusatzmeßstellen verfügbar.

1.3 Klimaverhältnisse

Da der Untersuchungsraum in der Oberrheinebene liegt, ist die örtliche Schwankung der Niederschlagsverteilung langfristig relativ gering. In Karte II sind die Isohyeten der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe für die Jahresreihe 1931–60, aufgestellt vom Deutschen Wetterdienst, eingetragen. Danach beträgt die mittlere jährliche Niederschlagshöhe in der Ebene rd. 900 mm. Sie steigt von NW nach SO von 850 auf 1000 mm/a an. Im anschließenden Schwarzwald nimmt die Niederschlagsmenge mit steigender Geländehöhe rasch zu. Zur Beurteilung der jährlichen Niederschlagsverteilung wurden die mittleren monatlichen Niederschlagshöhen, gemittelt aus vier Stationen des Deutschen Wetterdienstes über die Jahre 1964–1973, in Abb. 1.1 aufgetragen. Die zugehörigen Zahlenwerte sind Tab. 1.1 zu entnehmen. Danach fallen im Winterhalbjahr knapp 50 % des jährlichen Niederschlags.

Nach dem Klimaatlas für Baden-Württemberg des Deutschen Wetterdienstes beträgt die mittlere wirkliche Lufttemperatur für die Periode 1881–1930 im Jahr 9 bis 10°C, sie schwankt zwischen 0–1°C im Januar und 15–20°C im Juli. Die relative Luftfeuchtigkeit an der Station Forchheim beträgt gemäß den monatlichen Witterungsberichten für Baden des Deutschen Wetterdienstes für die Reihe 1964–73 im Jahresmittel 77,8%, wobei diese im Winterhalbjahr mit 81,4% höher ist als im Sommerhalbjahr mit 74,2%.

	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Wi.	So.	Ja.
Leiberstung	93,85	61,47	55,37	63,91	60,06	84,46	109,93	94,18	72,59	103,57	67,19	49,35	69,85	82,80	76,33
Rastatt	91,53	66,48	57,22	68,96	60,15	89,76	110,24	89,69	66,03	95,39	64,87	45,07	72,35	78,55	75,45
Steinmauern	90,97	67,79	57,95	70,87	57,83	80,53	108,76	90,37	61,44	89,12	61,71	47,09	70,99	76,42	73,70
Mörsch	90,03	63,06	55,42	63,86	62,15	80,58	105,96	99,44	66,44	94,64	60,55	45,64	69,18	78,78	73,98

Mittelwert	91,58	64,70	56,49	66,90	60,04	83,83	108,72	93,42	66,62	95,68	63,58	46,78	70,59	79,13	74,86
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tab. 1.1: Mittlere monatliche Niederschlagshöhen der Reihe 1964/1973 des Deutschen Wetterdienstes in mm.

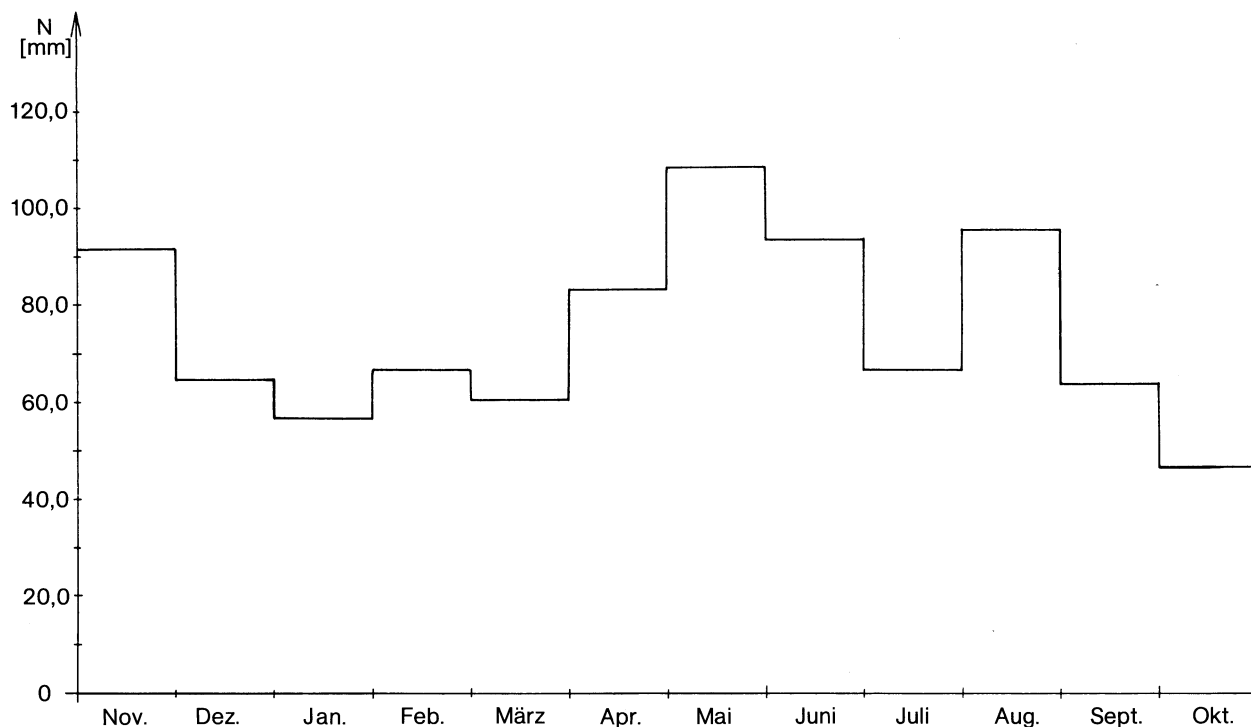


Abb.1.1: Mittlere monatliche Niederschlagshöhen der Reihe 1964/1973 der Stationen Leiberstung, Rastatt, Steinmauern und Mörsch des Deutschen Wetterdienstes

1.4 Gewässer

1.4.1 Fließgewässer

Das größte und bedeutendste Gewässer ist der Rhein. Zu seiner hydrologischen Charakterisierung können die Messungen am 8 km nördlich des Untersuchungsgebietes gelegenen Pegel Maxau herangezogen werden, da der Rhein auf der Zwischenstrecke keine nennenswerten Zuflüsse hat. Aus Abb. 1.2 ist zu entnehmen, daß die mittlere Wasserführung im Sommer deutlich höher ist als im Winter. Die größten Hochwässer laufen im Mittel im Monat Juni ab, die niedrigsten Abflüsse werden im Monat November beobachtet.

Der Vergleich mit den jahreszeitlichen Niederschlägen (Kap. 1.2) zeigt, daß der mittlere Jahresgang der Rheinabflüsse deutlich von dem der Niederschlagshöhe unterschieden ist. Die Erklärung liegt darin, daß der Rhein sein Haupteinzugsgebiet – bezogen auf Maxau – in den Alpen und dem Alpenvorland hat und damit seine Abflüsse durch die dortige Festlegung der Niederschläge in Schnee im Winter und die Schneeschmelze im Frühsommer geprägt werden. Daher wird der Rhein bezüglich der Oberrheinebene als „Fremdling“ im hydrologischen Sinne bezeichnet. Die Ausgeglichenheit der Rheinabflüsse, bedingt durch das relativ große Einzugsgebiet, kommt in der Dauerlinie zum Ausdruck. Der mittlere Abfluß wird an 200 Tagen im Jahr unterschritten.

	Winter	Sommer	Jahr
MNQ	591	735	560
MQ	1 060	1 390	1 250
MHQ	2 440	2 610	2 910

Tab. 1.2: Mittlere Abflüsse der Reihe 1931/1970 Pegel Maxau/Rhein in m³/s

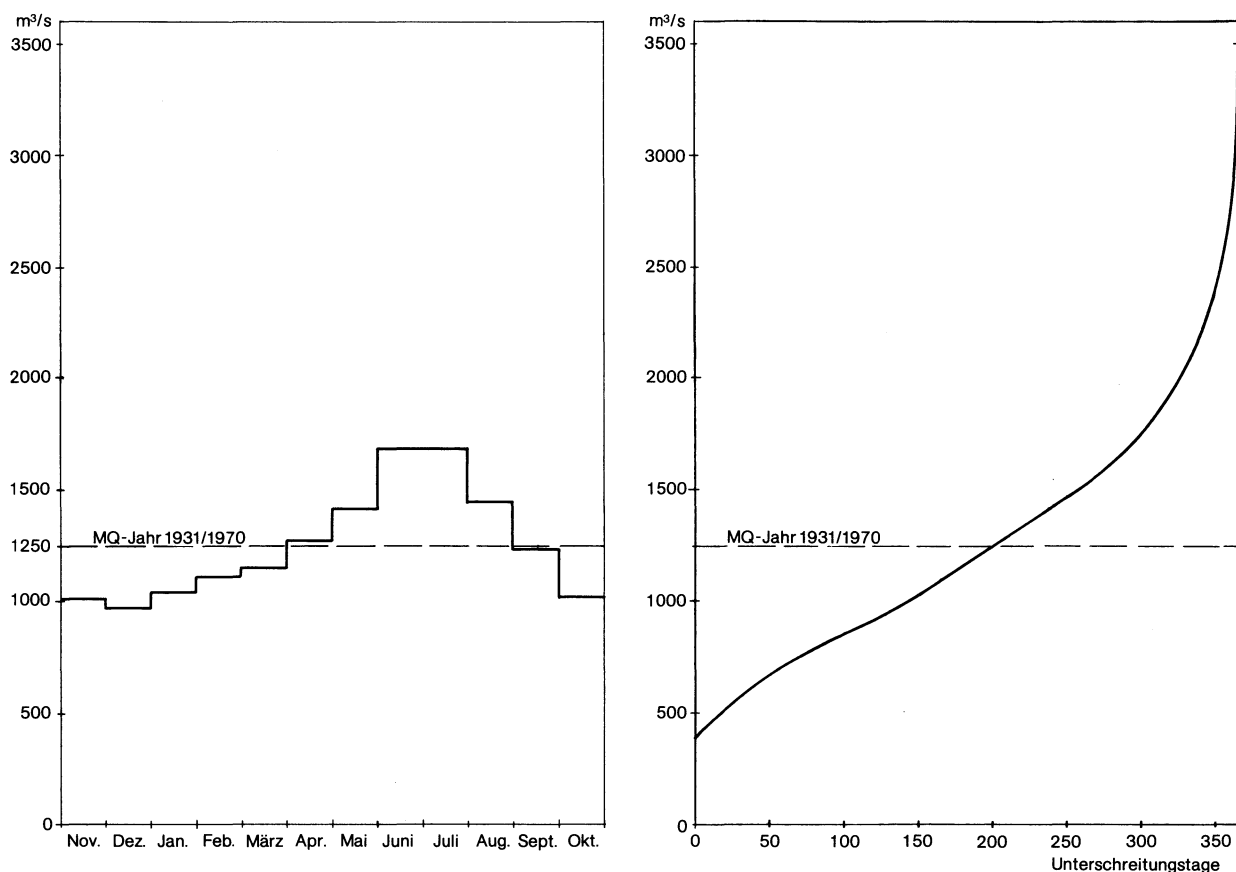


Abb.1.2: Mittlere Abflüsse und Dauerlinie der Reihe 1931/1970 Pegel Maxau/Rhein

Das zweitgrößte Fließgewässer im Kartiergebiet ist die Murg. Ihr Einzugsgebiet liegt fast vollständig im angrenzenden Schwarzwald. Der Pegel Rotenfels liegt am Eintritt der Murg in die Oberrheinebene. Abb. 1.3 und Tab. 1.3 zeigen, daß die mittlere Wasserführung im Winter deutlich über der im Sommer liegt. Die extrem hohen Abflüsse treten in der Regel im Monat Februar auf, die extrem niedrigen Abflüsse im Monat September. Die Dauerlinie zeigt den typischen Verlauf für ein Gewässer mit relativ kleinem Einzugsgebiet. An rd. 70 % der Tage im Jahr wird der mittlere Abfluß unterschritten, an 30 % der Tage wird dieser Abfluß meist erheblich überschritten.

	Winter	Sommer	Jahr
MNQ	4,9	3,7	3,4
MQ	19,4	12,0	15,7
MHQ	252	164	277

Tab. 1.3: Mittlere Abflüsse der Reihe 1922/1972 Pegel Rotenfels/Murg in m³/s

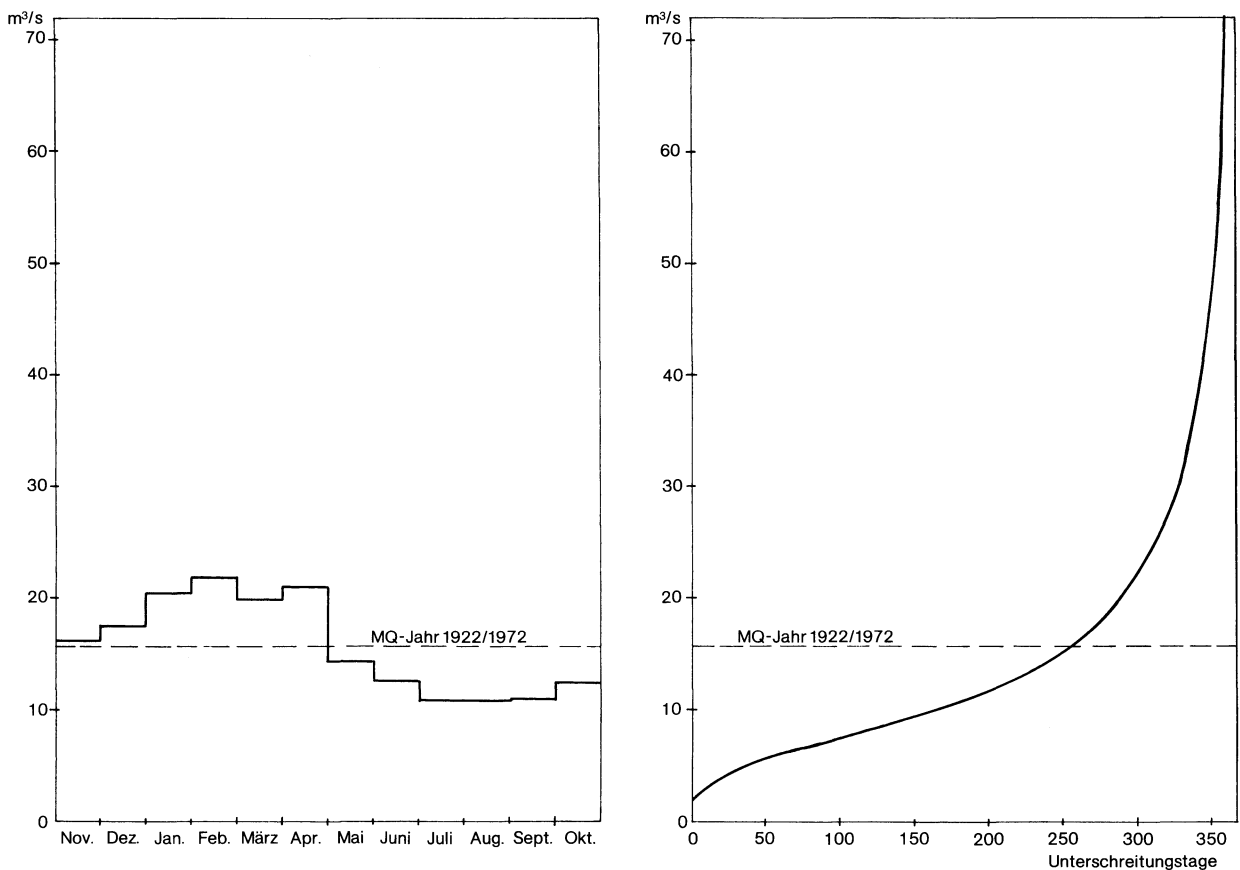


Abb.1.3: Mittlere Abflüsse und Dauerlinie der Reihe 1922/1972 Pegel Rotenfels/Murg

Die übrigen Gewässer, deren Haupteinzugsgebiete außerhalb des Untersuchungsraumes im angrenzenden Schwarzwald liegen, sind Bühlot-Sandbach und Oos. Ihre mittleren Abflüsse betragen etwa 1 bzw. 2 m³/s. Die Abflüsse und damit die Wasserstände der bisher genannten Gewässer werden durch Ereignisse in ihren Haupteinzugsgebieten außerhalb der Rheinebene bestimmt. Alle anderen Fließgewässer haben ihr Einzugsgebiet größtenteils oder ganz im Untersuchungsraum Rheinebene. Ihr Verhalten wird daher von den hier auftretenden hydrologischen Ereignissen – insbesondere von der Grundwassersituation – geprägt.

1.4.2 Altrheine und Baggerseen

Eine Zwischenstellung zwischen fließenden und stehenden Gewässern nehmen die Altrheine ein. Bei Rheinhochwasser wird die Rheinaue bis zum Hochwasserdamm (Kartell) überflutet. Die hier liegenden Altrheine werden dabei hauptsächlich von Rheinwasser durchströmt. Bei Abflüssen im Rhein, die nicht zur Überflutung der Rheinauen führen, gelangt nur vereinzelt Rheinwasser über Durchlaßbauwerke in die Altrheinarme. In dieser Zeit werden die Altrheine zum Teil durch in sie mündende Bäche aus dem Hinterland durchströmt. Größtenteils stammt aber das aus den Altrheinen in den Rhein fließende Wasser aus Grundwasser, das in die Altrheine austritt. Dies zeigen auch hydrochemische Untersuchungen. Einige Altrheine wurden und werden durch Kiesabbau vertieft und flächenmäßig vergrößert.

Alle übrigen Seen im Untersuchungsraum sind Baggerseen, an denen der Kiesabbau entweder beendet ist oder noch läuft. Diese Seen haben in der Regel keine oberirdischen Zu- und Abläufe. Sie werden im folgenden daher stets als Grundwasser behandelt.

1.5 Grundwasserentnahmen

Das Grundwasser im Untersuchungsraum wird von zahlreichen öffentlichen und gewerblichen Entnehmern genutzt. Das geförderte Wasser wird teilweise zur Trinkwasserversorgung nach außerhalb des Untersuchungsgebietes abgegeben. In Kartell sind die Entnahmestellen der öffentlichen Wasserversorgung eingetragen. Für die überschlägige Grundwasserbilanzierung (Kap. 5.5) wurden die öffentlichen und die gewerblichen Entnahmen erhoben. Die gewerblichen und landwirtschaftlichen Entnahmemengen sind bisher insgesamt niedriger als die öffentlichen.

1.6 Rheinausbau

Im Jahr 1977 wurde die Staustufe Iffezheim bei Rhein-km 344 in Betrieb genommen. Der Rheinabfluß wird jetzt immer zwischen den neuen Rheindämmen im Bereich des Rheinbettes abgeführt. Die Altrheinarme sind im Bereich der Stauhaltung vom Rhein getrennt. Dies machte Begleitmaßnahmen notwendig. Sollte unterhalb der Stufe Iffezheim eine weitere Staustufe bei Neuburgweier gebaut werden, so würden sich die hydrologischen Verhältnisse ändern. Die Kartierung beschreibt die Situation vor Bau und Inbetriebnahme der Staustufen.

2. Geologie und Hydrogeologie

2.1 Einleitung

Die Aufnahmen für die vorliegende Kartierung wurden ursprünglich im Rahmen der Voruntersuchungen für ein mathematisches Grundwassermodell vorgenommen [3]. Dadurch ergab sich die Notwendigkeit, methodisch und thematisch Alternativen gegenüber den bis dahin durchgeführten Kartierungen zu entwickeln.

Zuerst wurde vom Untersuchungsraum eine Bestandsaufnahme über die vorhandenen geologischen Aufnahmen, Beschreibungen, Bohrprofile, gutachtliche Äußerungen sowie geophysikalischen Untersuchungen vorgenommen. Eine ziemlich vollständige Unterlagensammlung von diesem Raum konnte aus Archiv und Registratur des Geologischen Landesamtes zusammengetragen werden. Darüber hinausgehende Erhebungen bei Gemeinden und anderen Behörden wurden nur vorgenommen, wenn erfolgsversprechende Hinweise vorlagen. Der Anteil dieser Unterlagen entspricht ca. 10 % des Gesamtmaterials. Er wird noch geringer, wenn man entsprechend Kapitel 2.4.2 nach dem Informationsgehalt untergliedert. Sämtliche während des Untersuchungszeitraums anfallenden Ergebnisse wurden berücksichtigt, so daß der gegenwärtige Untersuchungsstand aktuell ist.

In einem zweiten Untersuchungsstadium wurde das Unterlagenmaterial in Form von hydrogeologischen Schnitten dargestellt. Parallel dazu wurden die stratigraphischen und geologischen Befunde zusammengestellt [5] sowie die Pumpversuche ausgewertet. Im Anschluß daran wurden die Ergebnisse in Kartendarstellungen umgesetzt.

Herr Dipl. Geologe Kadum Sidki arbeitete an dem Untersuchungsprogramm über einen Zeitraum von mehreren Monaten mit und stellte erste Entwürfe der Schnitte und der Isopachenkarte her. Mit ihm zusammen wurde das hydrogeologische Gliederungsschema des Aquifers erarbeitet, das anschließend stratigraphisch und geologisch bestätigt wurde [5] und heute im Rheintalgraben allgemein Anwendung findet.

Die Schnitte im südlichen Untersuchungsgebiet und der Anschluß an die angrenzende Hydrogeologische Kartierung Bühl – Offenburg hat B. Junker entworfen.

2.2 Geologische Verhältnisse

2.2.1 Gliederung, Aufbau und Tektonik

Auf der Flurabstandskarte (vergl. Karte III) sind die Landschaftsbereiche Rheinniederung, Niederterrassenfläche und Kinzig-Murg-Rinne besonders deutlich zu erkennen. Rheinniederung und Niederterrassenfläche trennt ein im Mittel 8–10 m hoher, im südlichen Untersuchungsraum weniger deutlich hervortretender Steilrand, das sog. Hochgestade.

Die **Niederterrasse** baut sich aus Kiesen und Sanden auf, die stellenweise eine Flugsanddecke tragen. Die Kiese und Sande sind während der letzten Eiszeit abgelagert worden. In die Niederterrassenfläche die ursprünglich vom Rande der Vorbergzone bis in das Elsaß hinüberreichte, hat sich der holozäne Rhein eingetieft und einen Teil der eiszeitlichen Ablagerungen ausgeräumt und umgelagert. Hierbei entstand die **Rheinniederung** deren Kiese und Sande überwiegend von aufgearbeitetem Material der Niederterrasse stammen. Die holozäne rinnenartige Aufarbeitung reicht maximal bis zu einer Tiefe von 20 m u.G. Die Rheinniederung wird, abgesehen von einigen inselartigen Bereichen alter von Kiesverwitterungslehmen überdeckter Auekerne, von Auelehmen, den Hochwasserabsätzen des Rheins bedeckt. Am Fuße der Vorbergzone verläuft auf der Niederterrasse das Rinnensystem des ehemaligen **Kinzig-Murg-Flusses**, der vor allem beim Austritt der Murg aus dem Gebirge die Niederterrassenablagerungen stärker ausräumte. Die Rinnen wurden späterhin mit Lehmen, Sanden und Torfbildungen aufgefüllt.

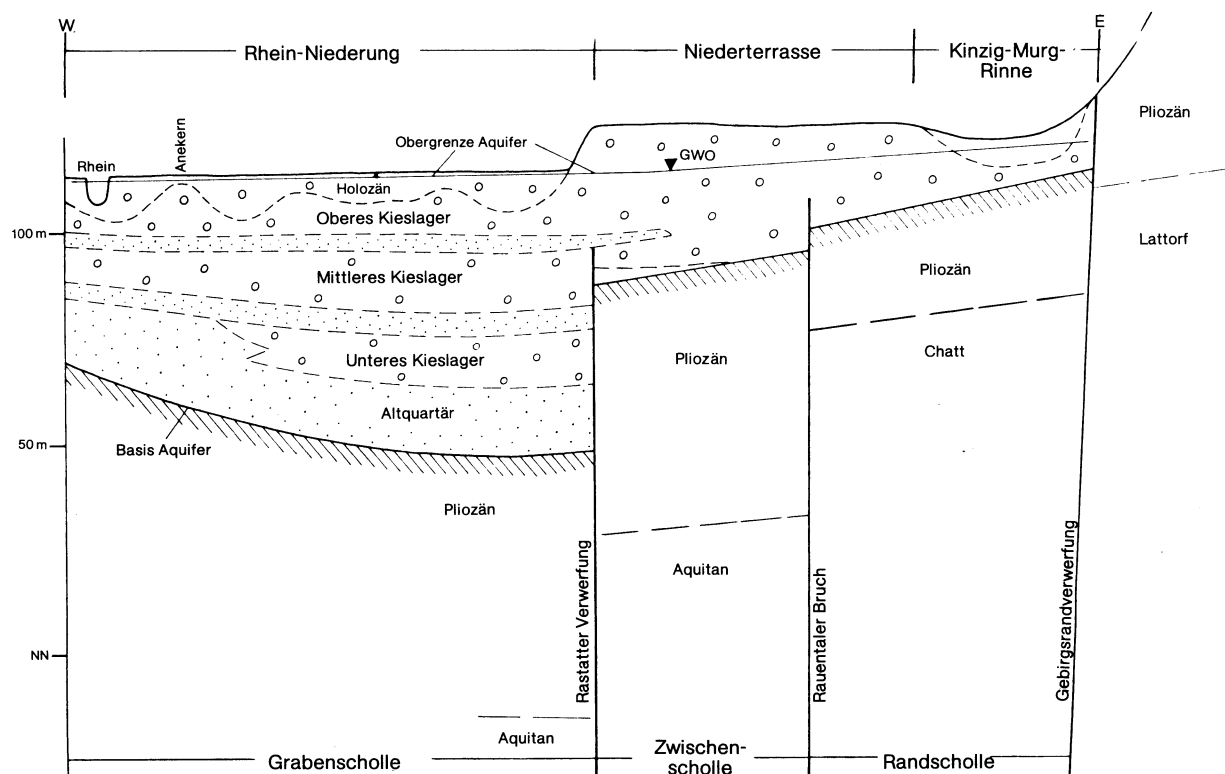


Abb. 2.1 : Schematischer geologischer Schnitt durch den Untersuchungsraum

Unter den zutage liegenden holozänen und jungpleistozänen Bildungen folgen ältere Ablagerungen des Quartärs, die ebenfalls von Kiesen und Sanden mit eingeschalteten Schluff- und Feinsandbänken aufgebaut werden. Diese Ablagerungen weisen im Untersuchungsraum recht unterschiedliche Mächtigkeiten auf. Dies ist vor allen Dingen durch eine Verwerfung bedingt, die mit N30–35 E Streichen am östlichen Rand des Stadtkerns von Rastatt entlang läuft, die sog. **Rastatter Verwerfung** [5]. Eine weitere Störung, allerdings mit wesentlich geringerem Verwurf läßt sich westlich von Rauental nachweisen. Dieser **Rauentaler Bruch** [5] läuft in spitzem Winkel in nördlicher Richtung auf die Rastatter Verwerfung zu. Diese Verwerfungen gliedern das Untersuchungsgebiet tektonisch in 3 Abschnitte: Eine **Grabenscholle**, die sich westlich der Rastatter Verwerfung bis ins Elsaß erstreckt, eine **Zwischenscholle** zwischen Rastatter Verwerfung und dem Rauentaler Bruch und eine **Randscholle** die östlich davon bis zur Hauptgrabenverwerfung am Fuße der Vorbergzone reicht (vergl. Hydrogeologische Grundkarte und Abb. 2.1).

2.2.2 Quartäre Sedimente

Die tektonischen Bewegungen, die zur Herausbildung der Schollen führten, dauerten bis in das jüngste Quartär an. Sie haben ein staffelförmiges Absinken gegen den Rhein zu bewirkt, das von bestimmendem Einfluß für die Mächtigkeit und Ausbildung der quartären Ablagerungen war. So beträgt die Quartärmächtigkeit auf der Randscholle 20–30 m, auf der Zwischenscholle 25 bis 45 m, wobei eine generelle Zunahme von Süden nach Norden zu beobachten ist. Auf der Grabenscholle nimmt dagegen die Mächtigkeit von Süden nach Norden ab, von 70 m bei Iffezheim (J 26 auf Schnitt 4) auf 58 m bei Durmersheim (D 47 auf Schnitt 1). Entsprechend der unterschiedlichen Mächtigkeit ist auch die Ausbildung der quartären Sedimente verschieden. Auf der Grabenscholle reichen die Ablagerungen vom Holozän bis in das älteste Quartär. Sie lassen sich in drei Kieslagen gliedern, die durch vorwiegend sandige und schluffige Horizonte getrennt und unterlagert werden. Während das obere und mittlere Kieslager im ganzen Untersuchungsraum nachzuweisen sind, keilt das untere Kieslager gegen den Rhein hin aus. Die quartären Ablagerungen auf der Zwischenscholle bestehen vorwiegend aus den Kiesen und Kiessanden des oberen und mittleren Kieslagers. Die Kiese auf der Randscholle sind dem oberen Kieslager zuzurechnen.

2.2.3 Ablagerungen des Tertiärs

Unter den quartären Sedimenten folgen die Schichten des **Pliozäns**. Dabei handelt es sich vorwiegend um fluviatile Sandablagerungen mit gelegentlichen Kieseinschaltungen. Sie sind meistens schluffig ausgebildet, wobei Schluff und Tonbänke angetroffen werden. Nahe dem Rand der Vorbergzone und vor allem am Ausgang des Murgtales, führen sie grobe Gerölle von entfärbtem und gebleichtem Buntsandstein. Ihre Mächtigkeit schwankt stark, weil einmal vor Ablagerung der quartären Deckschichten Abtragungsvorgänge einsetzten und zum andern im Laufe der pliozänen Sedimentation ein ausgeprägtes Relief zugefüllt wurde. Auf der Randscholle folgen darunter Tonmergel der **älteren Tertiärzeit** (Oligozän) auf der Zwischen- und Grabenscholle wurden durchweg Tonmergel der **jüngeren Tertiärzeit** (Aquitän) erbohrt.

2.3 Hydrogeologische Grundlagen

2.3.1 Definition der Parameter

Die wichtigsten Begriffe und Parameter der Grundwasserhydraulik im Porengrundwasserleiter wurden in Anlehnung an den U.S. Geological Survey [19] im Arbeitsblatt Pumpversuche [22] erklärt und definiert.

Danach entspricht die **Transmissivität** einer Wassermenge, die in der Zeiteinheit unter dem hydraulischen Gefälle 1 durch eine Aquifersäule der Breite 1 m abfließt. Die kinematische Zähigkeit des Wassers wird dabei mit $0,013101 \text{ (cm}^2/\text{s}^{-1})$ für 10°C angenommen.

Der **Speicherkoeffizient** bezeichnet das Wasservolumen das ein Aquifer unter der Druckänderung 1 pro Flächeneinheit abgeben oder aufnehmen kann. Im Aquifer mit freier Oberfläche entspricht dies im wesentlichen dem Volumen das infolge der Schwerkraft abgegeben oder aufgenommen werden kann.

2.3.2 Abgrenzung des Aquifers

Im Arbeitsblatt [22] wird darunter der wassergesättigte Teil des Grundwasserleiters verstanden. Nach der ursprünglichen Definition läßt sich der Begriff Aquifer jedoch nur relativ fassen. Denn er bezeichnet eine Formation, eine Gruppe von Formationen oder einen Teil einer Formation die genügend wassergesättigtes und durchlässiges Material enthalten, um signifikante Wassermengen an Brunnen oder Quellen abgeben zu können.

Im Untersuchungsraum bewegt sich der größte Teil des Grundwassers innerhalb der drei quartären Kieslager, also in einem Teil einer Formation. Aber auch die zwischengelagerten Sandabfolgen führen noch signifikante Grundwassermengen, wenn auch in deutlich geringerem Umfang. In den stärker tonig ausgebildeten Basischichten des Altpleistozän geht die Durchlässigkeit oft sprunghaft zurück. Dies trifft immer zu beim Übergang in das darunterfolgende Pliozän, wie eine Anzahl von Bohrungen auf der Rand- und Zwischenscholle bestätigt haben. Selbst hier sind jedoch noch – gegenüber den quartären Ablagerungen allerdings vernachlässigbar kleine – Grundwassermengen vorhanden.

Für eine großräumige Betrachtung ist es daher am zweckmäßigsten, die **Untergrenze des Aquifers** an die stratigraphische Grenze Pleistozän-Pliozän zu legen. Diese Aussage gilt nur für den Untersuchungsraum. Weiter nördlich sind die Durchlässigkeits- und Mächtigkeitsverhältnisse anders. Die **Obergrenze des Aquifers** ist innerhalb der Rheinniederung und stellenweise im Bereich der Kinzig-Murg-Rinne mit der Obergrenze der kiesig-sandigen Ablagerungen identisch. Je nach Grundwasserständen können hier zeitweilig gespannte Verhältnisse auftreten, wenn der Druckspiegel in die undurchlässigen Deckschichten ansteigt. Auf der Niederterrasse und in weiten Gebieten der Kinzig-Murg-Rinne wird die Obergrenze des Aquifers durch den mittleren Stand der freien Grundwasser Oberfläche (MW 1964–1972) gebildet.

2.3.3 Hydrogeologische Untergliederung des Aquifers

Im Anschluß an die Datensammlung wurde das Unterlagenmaterial gesichtet, um einen Überblick über die Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der Daten zu bekommen. Danach stand fest, daß im nördlichen Arbeitsgebiet optimale Voraussetzungen für den Entwurf eines ersten hydrogeologischen Schnittes bestehen (Schnitt 1).

Dort stehen eine Anzahl neuerer Brunnen mit brauchbaren Pumpversuchsunterlagen und Siebanalysen vom gesamten Profil. Die Lage der verwendeten Aufschlüsse und die Schnittpur sind aus der hydrogeologischen Grundkarte zu entnehmen.

Am Beispiel dieses ersten Schnittes wurde getestet, bis zu welchem Grad der Aquifer aufgrund der vorhandenen Unterlagen gliederungsfähig ist und inwieweit eine solche Gliederung durch Siebanalysen und Pumpversuchsergebnisse bestätigt werden kann. Eine erste grobe Gliederung gab BARTZ bereits 1960 [4].

2.3.3.1 Ergebnis der Untergliederung

Auf die Schnittebene wurden zuerst die Profile der nahegelegenen Aufschlüsse in allen Einzelheiten der Schichtenansprache projiziert. Dann wurde eine Korrelation zwischen den einzelnen Aufschlüssen versucht. Es stellte sich rasch heraus, daß bei den zahlreichen unterschiedlichen Einheiten nur eine sehr begrenzte Parallelisierung möglich war. Im nächsten Schritt wurden Schichtansprachen, die augenscheinlich stark subjektiv beeinflußt waren, zusammengefaßt. Beispielsweise wurde bei der Beteiligung der Nebengemengteile nur noch zwischen "stark" und "schwach" unterschieden. In einer Vielzahl von Versuchen wurde das Schema der schrittweisen Generalisierung fortgeführt, wobei sich am Ende als Ergebnis abzeichnete, daß es bei einer großräumigeren Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebiets nur möglich ist, zwischen den Grundeinheiten: Kies, Sand und Schluff zu unterscheiden. Weitergehende Untergliederungen sind nur für lokale Bereiche möglich. Neben dieser vertikalen Gliederung können horizontal drei Gebiete abgegrenzt werden, innerhalb denen Schwarzwaldmaterial unterschiedlich stark am Kornaufbau beteiligt ist. Dieses zunächst nach rein hydrogeologischen Gesichtspunkten entwickelte Gliederungsschema konnte durch anschließende stratigraphische Untersuchungen bestätigt werden [5].

2.3.3.2 Hydrogeologische Schnitte

In den hydrogeologischen Schnitten (vergl. Karte Ia) wurde entsprechend dem Ergebnis der Gliederung 5 Einheiten unterschieden. Unter dem Begriff **Deckschichten** wurde sowohl Hochflutabsätze der Rheinaue als auch Flug-sanddecken oder Verwitterungslehme der Niederterrassenfläche zusammengefaßt. Der Begriff **Kiese** erstreckt sich hinsichtlich der Kornverteilung über ein breites Band, weil nicht zwischen den unterschiedlichen Graden der Sandführung unterschieden werden konnte. Dies kommt sehr deutlich zum Ausdruck, wenn man die anhand von Siebanalysen ermittelten k_f -Werte betrachtet, die in die Schnitte eingetragen sind. Als geeignetste Auswertungsmethode hat sich in diesem Fall das Verfahren von CASATI [7] erwiesen, da es eine regionale Konstante berücksichtigt, die durch Pumpversuche ermittelt wird. Auch bei den **Sanden** sind alle Übergänge zwischen Fein- und Grobsand enthalten, das Spektrum der k_f -Werte ist jedoch weniger breit. **Schluffe** können hier sowohl einen mehr oder weniger großen Sandgehalt als auch unterschiedliche Tongehalte aufweisen. **Torfe** wurden ausgeschieden, weil sie aufgrund ihres Pollengehaltes wichtige stratigraphische Marken darstellen. Schließlich wurde noch die Grenze Pliozän-Pleistozän und der eigentliche Hauptgrundwasserleiter hervorgehoben.

Alle 7 Schnitte haben die gleiche vertikale Gliederung. Man kann von oben nach unten 3 Kieslager unterscheiden, von denen jedes eine Kaltzeit repräsentiert. Sie werden getrennt durch Sandabfolgen, in die häufig Schluffe zwischengeschaltet sind. Das obere und das mittlere Kieslager sind zwar über das gesamte Gebiet verbreitet, sie lassen sich aber im Bereich der Niederterrasse nicht mehr sicher auseinanderhalten. Das untere Kieslager ist nur innerhalb der Grabenscholle entwickelt. Die Durchlässigkeit der drei Kieslager nimmt generell von oben nach unten und – abgesehen vom unteren Lager – von Westen nach Osten ab. Speziell das obere Kieslager, das im Bereich der Rheinniederung während des Holozäns teilweise umgelagert wurde, ist stark durchlässig. Die Lage der Schnitte ist auf der hydrogeologischen Grundkarte eingezeichnet.

Schnitt 1 liegt nahe der nördlichen Modellgrenze. Er zeigt sehr deutlich die drei Kieslager und die Zwischenabfolgen. Durch eine große Anzahl von Siebanalysen konnte hier der Schwankungsbereich der Durchlässigkeiten ermittelt werden.

Schnitt 2

Die Schnittpur folgt in ganz groben Zügen der Murg und reicht tief in den Murgtrichter hinein. Wegen des Murgdurchbruchs ist hier die Steilkante des Hochgestades nicht zu erkennen. Die Dreigliederung der Kiese ist gut entwickelt. Der Zusammenschluß der beiden oberen Kieslager im Osten, sowie das Auskeilen des unteren Kieslagers in Richtung Rhein ist bemerkenswert.

Schnitt 3

das Gliederungsschema ist hier weniger deutlich ausgeprägt als bei den beiden ersten Schnitten. Dies ist aber nicht zuletzt eine Folge der ungünstigeren Aufschlußverteilung. Die starke Mächtigkeitszunahme westlich der Rastatter Verwerfung weist auf die junge Aktivität der Grabentektonik hin.

Schnitt 4

Der Schnitt ähnelt dem Schnitt 3. Die Auflösung des unteren Kieslagers in einzelne Kiesrinnen ist hier zu erkennen. Die Existenz des Kieszuges nahe der Rastatter Verwerfung, der schon im Schnitt 3 eingezeichnet ist, wurde lediglich aus geologischen Überlegungen rekonstruiert. Er ist bisher durch keine Aufschlüsse nachgewiesen.

Schnitt 5

Er verläuft SWW-NEE und verbindet damit die Schnitte 4 und 6. Parallel zur Schnittpur etwa 1 km südlich verdoppelt sich das Grundwasserfließgefälle. Die Basis des Aquifers ist in diesem Bereich nur mittels Geoelektrik erkundet worden. Die Rastatter Verwerfung wird in spitzem Winkel geschnitten.

Schnitt 6

Wie beim vorigen Schnitt steigt die Aquiferbasis in Richtung Rhein an. Die Trogmitte der quartären Ablagerungen befindet sich also rechtsrheinisch. Aufgrund der ungünstigen Aufschlußverhältnisse können hier keine Verwerfungen nachgewiesen werden.

Schnitt 7

Bei diesem Längsschnitt fällt besonders der Anstieg der pliozänen Aquifersole in Schnittmitte auf. Dies bedingt eine beträchtliche Verringerung des Durchflußquerschnittes und wird durch ein erhöhtes Grundwasserfließgefälle (sog. "Wasserfall") ausgeglichen.

2.3.3.3 Grundwasserstockwerke

Überall innerhalb der Rheinniederung findet man im Untersuchungsgebiet eine Gliederung in drei Grundwasserhorizonte vor. Es gibt jedoch nirgendwo Anzeichen einer echten Stockwerksgliederung mit unterschiedlichen Spannungszuständen des Grundwassers in den einzelnen Stockwerken.

Dafür ist der Permeabilitätsunterschied zwischen Kieslagern und sandigen Zwischenschichten doch zu gering. Er wirkt sich allenfalls im Sinne einer ausgeprägten Anisotropie zwischen vertikaler und horizontaler Durchlässigkeit aus. Mit Hilfe von Siebanalysen der Einzelschichten konnte am Beispiel des Tiefbrunnens D 63 (vgl. Schnitt 1) die Anisotropie berechnet werden.

Für den Profilabschnitt 9,7–46,6 m u.G. beträgt die horizontale Durchlässigkeit $k_{rh} = 0,0019 \text{ m/s}$, die vertikale Durchlässigkeit $k_{rv} = 0,00036 \text{ m/s}$, was einem Verhältnis 5,3:1 entspricht. Örtlich muß zwar mit 5–10-fachem Anisotropieeffekten gerechnet werden, aufgrund der Sedimentationsverhältnisse können aber solche "dichten" Bereiche immer umflossen werden.

Auf der Niederterrassenfläche ist von vornherein ein noch geringerer Anisotropieeffekt zu erwarten. Tatsächlich ergab sich für den Profilabschnitt 10–25,3 m u.G. des Brunnens D 1 (vgl. Schnitt 1) $k_{rh} = 0,0017 \text{ m/s}$ und $k_{rv} = 0,0014$, also ein Verhältnis von 1,2:1. Auch dieser Wert gilt für den am besten leitenden verfilterten Abschnitt des Brunnens und liegt an der unteren Grenze.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß innerhalb des gesamten Aquifers nur ganz lokal mit vertikalen Fließkomponenten zu rechnen ist. Insgesamt ist dieser Einfluß vernachlässigbar klein. Die Konstruktion der Grundwasserhöhenkarten, die weitgehend auf den Messungen an flachen Grundwassermeßstellen im oberen Kieslager beruht, wird davon jedenfalls nicht spürbar beeinträchtigt.

2.3.3.4 Mächtigkeit des Aquifers

Für die Konstruktion der Isopachen des Aquifers (vgl. Hydrogeologische Grundkarte I) wurde neben den Bohrprofilen und den hydrogeologischen Schnitten vorhandene geophysikalische Untersuchungen herangezogen. Außerdem wurden im nordwestlichsten Gebietsteil bei Au und Neuburgweiler zusätzliche geoelektrische Messungen durch PRAKLA-SEISMOS und im südlichen Teil durch das NIEDERSÄCHSISCHE LANDESAMT für BODENFORSCHUNG in Hannover vorgenommen. Im Laufe der Bearbeitung ergaben sich bei der Festlegung der Basis des Aquifers mehrfach Änderungen im Bereich der Grabenscholle, weil erst nachträglich Ergebnisse von Pollenanalysen vorlagen, die Aussagen über die Grenze Pliozän-Pleistozän ermöglichen. Auf die Verteilung der Transmissivität wirkt sich dies jedoch nicht spürbar aus, denn die Sande des Altquartärs besitzen eine um eine Größenordnung geringere Durchlässigkeit als die von der Korrektur nicht betroffenen Kieslager. Als Obergrenze des Aquifers wurde durchweg die konstruierte Grundwasseroberfläche MW (Mai 1964–April 1972) festgelegt.

Die Isopachen scharen sich entlang dem Grenzbereich zwischen Rheinaue und Niederterrasse, was zweifellos eine Folge der Rastatter Verwerfung ist. Im Gebiet westlich davon zeichnen die Isopachen eine flache Rinne nach. Der Stromstrich des Aquifers verläuft im nördlichen und mittleren Arbeitsgebiet 1–2 km östlich des Rheins, er nähert sich westlich Hügelsheim dem Rhein um südlich Stollhofen wieder nach Osten umzubiegen. Im Bereich westlich Dürmersheim liegt eine Scheitelung der Mächtigkeiten vor. In der Südwestecke des Arbeitsgebietes ist der Isopachenverlauf noch unsicher.

2.4 Auswertung der Pumpversuche

2.4.1 Unterlagen

Es hat sich herausgestellt, daß die zusammengetragenen Unterlagen in jeder Beziehung außerordentlich heterogen sind. Viele Unterlagen sind nur lückenhaft und daher beschränkt brauchbar. Leider trifft dies z.T. auch auf Unterlagen neueren Datums zu, wodurch die Auswertung zusätzlich erschwert wird.

Allein wegen der unterschiedlichen Qualität des Ausgangsmaterials kann es keine universell anwendbaren Auswertungsverfahren geben. Jeder Versuch muß im voraus hinsichtlich seiner Auswertungsmöglichkeiten beurteilt werden. Vom Bearbeiter erfordert dies eine einschlägige Erfahrung auf dem Gebiet der Pumpversuchsauswertung.

Außerdem fordern die Lückenhaftigkeit und die Heterogenität der Unterlagen einfache und rasch anzuwendende Näherungsverfahren. Alle bekannten Näherungsverfahren setzen notwendigerweise in dem einen oder anderen Punkt stark idealisierte Versuchsbedingungen voraus, was andererseits ihre Anwendbarkeit von vornherein einschränkt.

2.4.2 Gliederung der Unterlagen

Gliedert man das Ausgangsmaterial entsprechend seinem Informationsgehalt über die lokalen geologischen und hydraulischen Verhältnisse, so kann man es grob in folgende 4 Gruppen einordnen:

Gruppe 1

Darin werden alle Aufschlüsse zusammengefaßt, von denen vollständige Daten über die Geologie und die Grundwasserhydraulik vorhanden sind. Darunter fallen nur wenige neuerstellte Brunnen, aus denen sinnvoll angeordnete und hinreichend genau beobachtete Pumpversuche gefahren wurden. Eine Auswertung der Meßdaten nach mehreren Verfahren muß möglich sein.

Diese Gruppe liefert zweifellos die wichtigsten Informationen. Sie ist jedoch mit nur 7 Aufschlüssen (ca. 2,6% der gesamten Unterlagen) zahlenmäßig am geringsten vertreten. In neuerer Zeit sind davon 2 Pumpversuche mit der digitalen Registrieranlage der BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN und ROHSTOFFE in Hannover überwacht worden.

Gruppe 2

Es handelt sich um Aufschlüsse, von denen nur mehr oder weniger lückenhafte Unterlagen existieren. Entweder sind die geologischen Angaben unvollständig, oder es liegen nur bruchstückhafte Angaben über Pumpversuche vor. Zu dieser Gruppe zählen alle unvollkommenen Brunnen, Aufschlüsse ohne stratigraphische Angaben oder Siebanalysen, Bohrmeisterprofile usw. Die hydraulische Auswertung ist immer stark beeinträchtigt, weil oft nur Wasserstandsmessungen vom Entnahmehauptbrunnen vorliegen.

Die meisten Brunnen bestehender Wasserwerke sowie fast alle Industrie- und Privatbrunnen zählen zu dieser Kategorie. Sie ist mit 59 Aufschlüssen (ca. 21,6 %) am Gesamtmaterial vertreten.

Gruppe 3

Aufschlüsse, die ein vollständiges geologisches Profil liefern, von denen aber hydraulische Meßwerte fehlen, gehören in diese Gruppe. Es sind dies kleinkalibrige Test- und Aufschlußbohrungen, aus denen keine Pumpversuche gefahren werden können.

Diese geologischen Aufschlüsse sind jedoch für die Erkundung der Geometrie des Aquifers von großer Bedeutung. Insgesamt liegen davon 87 Aufschlüsse (ca. 31,9 %) vor. Mit gewissen Einschränkungen lassen sich zu dieser Gruppe auch die geoelektrisch vermessenen Profile zählen.

Gruppe 4

Aufschlüsse mit unvollständigen geologischen Informationen und fehlenden hydraulischen Angaben sind dieser Gruppe zuzuordnen. Hierher gehören die flachen Baugrund- und Pegelbohrungen.

Die Brauchbarkeit dieser Aufschlüsse ist meist gering. Bezogen auf das Gesamtmaterial überwiegt diese Gruppe mit 122 Aufschlüssen (ca. 44,7 %).

2.4.3 Regionale Verteilung der Aufschlüsse

Regional ist die Aufschlußdichte und die Verteilung auf die einzelnen Gruppen sehr unterschiedlich. Generell wird die Aufschlußdichte östlich des Hochgestades größer. Im gleichen Sinne ändert sich die Zuordnung der Aufschlüsse zu den Gruppen mit besserem Informationsgehalt.

Dieser Trend ist deutlich an der Aufschlußverteilung der Hydrogeologischen Grundkarte zu erkennen, er zeigt sich aber auch bei der Zuordnung der Aufschlüsse an den Topographischen Karten 1 : 25 000 der nachstehenden Tabelle.

TK 1 : 25 000	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Summe
Durmersheim 7015	3 ca. 3,3 %	12 ca. 13,3 %	35 ca. 38,9 %	40 ca. 44,4 %	90 100 %
Rastatt 7115	3 ca. 1,7 %	34 ca. 29,6 %	40 ca. 34,8 %	39 ca. 35,6 %	116 100 %
Sinzheim 7214	1	6 ca. 17,5 %	5 ca. 14,7 %	23 ca. 67,7 %	35 100 %
Iffezheim 7114 und 7014 Scheibenhart	–	7 ca. 20,5 %	7 ca. 20,5 %	20 49 %	34 100 %

Tab. 2.1: Verteilung der Aufschlüsse auf den Meßtischblättern

Die unterschiedliche Aufschlußverteilung muß sich zwangsläufig auf die Zuverlässigkeit der Kartendarstellungen auswirken. Östlich des Hochgestades ist daher der Verlauf der Isolinien grundsätzlich besser abgesichert als im Bereich der Rheinaue.

Die größere Siedlungsdichte bedingt einerseits eine größere Anzahl von Bohrbrunnen. Zum anderen sind auf der Zwischenscholle und der Grabenrandscholle geringere Quartärmächtigkeiten entwickelt, so daß die meisten Brunnen bis zur pliozänen Aquiferbasis reichen.

2.4.4 Reihenfolge der Auswertung

Selbst in Gebieten mit relativ großer Aufschlußdichte müssen wenigstens die Aufschlüsse der Gruppen 1 und 2 berücksichtigt werden, um überhaupt Transmissivitäten kartenmäßig darstellen zu können.

Zweckmäßigerweise wertet man zuerst die Gruppe 1 aus, weil sie die in jeder Hinsicht brauchbarsten Werte liefert. So gewinnt man bereits einen ersten Überblick über die Variationsbreite der Aquiferparameter, was für die Auswertung der Gruppe 2 von Vorteil ist. Denn dabei ist man weitgehend auf Näherungsverfahren angewiesen, die eine grobe Abschätzung der Leiterparameter voraussetzen.

Liegt die Auswertung dieser beiden Gruppen vor, so kann man durch die Anwendung statistischer Methoden, wie es z.B. JENKINS [12] vorgeschlagen hat, die Aufschlußgruppe 3 zur Transmissivitätsbestimmung heranziehen. Voraussetzung ist allerdings, daß die Gliederung und Geometrie des Aquifers detailliert bekannt ist.

2.4.5 Auswertung der Gruppe 1

Es wurde sowohl nach den Geradlinienverfahren als auch nach den Typkurvendeckungsverfahren [29, 11, 30] hydraulisch ausgewertet. In beiden Fällen wird Homogenität – d.h. die Aquifereigenschaften sind überall im Versuchsfeld identisch – und Isotropie – d.h. die Aquifereigenschaften sind richtungsunabhängig – angenommen.

Die Anwendung der Geradlinienmethode ist im Falle des freien Leiters meist etwas problematisch, weil entweder sehr lange Pumpzeiten oder sehr kleine Pegelabstände notwendig sind. Beides ist bei der Auswertung oft hinderlich, wenn sich z.B. Aquifergrenzen, regionaler Grundwassertrend, Witterungsumschläge oder die allmählich einsetzende Porendrängung bemerkbar machen.

In dieser Hinsicht sind die Typkurvendeckungsverfahren sicher universeller anwendbar. Durch den gleichzeitigen Einfluß verschiedener Vorgänge können aber auch schwer interpretierbare Mischkurven entstehen, was die Ergebnisse beeinträchtigen kann. Bei der vorliegenden Auswertung hat sich gezeigt, daß oft schon die Anwendung der Brunnenformel von THEIS [29] ausreichend genaue Ergebnisse liefert.

2.4.6 Auswertung der Gruppe 2

Von zahlreichen Pumpversuchen dieser Gruppe sind lediglich Wasserstandsmessungen vom Entnahmehrunnen

vorhanden. Nicht selten liegen nur Einzelmeßwerte vor, mit denen man allenfalls eine Leistungscharakteristik aufzeichnen kann.

Die Praxis ist daher vor allem an Auswertungsverfahren zur Transmissivitätsbestimmung interessiert, die sich allein auf Messungen der Entnahme und der Absenkung im Förderbrunnen stützen. Es gibt eine ganze Reihe von Verfahren, die auf dieser sog. spezifischen Ergiebigkeit des Brunnens basieren. Es ist wichtig, daß dabei der Faktor Zeit berücksichtigt wird, wie dies eine Reihe von Autoren vorgeschlagen haben [6, 10, 23]. Mit Hilfe des nachstehend beschriebenen Näherungsverfahrens werden seit einigen Jahren Transmissivitäten für die Hydrogeologische Kartierung ermittelt.

2.4.6.1 Näherungsverfahren zur Transmissivitätsbestimmung

Unter der spezifischen Ergiebigkeit eines Brunnens versteht man den Quotienten Q/s , d.h. das Verhältnis aus der Entnahme Q (m^3/s) und der Brunnenabsenkung s (m). Sie hat wie die Transmissivität die Dimension m^2/s . Zwischen beiden besteht jedoch keine einfache Proportionalität, wie in mehreren Näherungsverfahren angenommen wird.

Die spezifische Ergiebigkeit wird mit wachsender Pumpzeit kleiner. Nach Bild 2.2 erfolgt die Abnahme anfangs sehr rasch und dann immer langsamer.

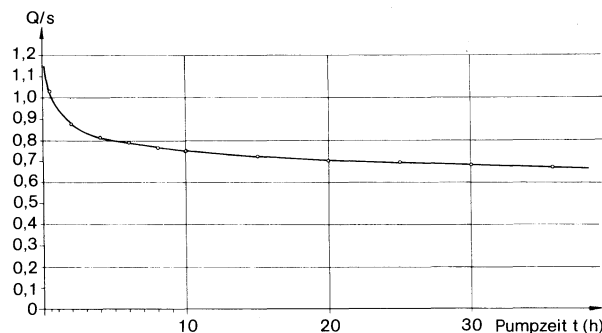


Abb. 2.2: Abnahme von Q/s mit der Pumpzeit

Außerdem wird Q/s beeinflusst von brunnenpezifischen Widerständen, dem sog. Brunnenverlust, sowie vom Grad der Vollkommenheit des Brunnens ausgedrückt als Verhältnis zwischen Filterlänge und Aquifermächtigkeit. Bei freien Grundwasserleitern ist zudem die Sickerstrecke (s_i) zu berücksichtigen.

Selbstverständlich ist darüberhinaus auf eine Absenkungszunahme infolge benachbarter Förderbrunnen oder hydrologischer Barrieren, oder auf eine Verringerung der Absenkung infolge einer nahegelegenen Infiltration zu achten. Der Einfluß der einzelnen Faktoren läßt sich näherungsweise mit geringem Rechenaufwand bestimmen.

a) Einfluß der Pumpzeit t

Die einfachste Brunnengleichung für den gespannten und stationären Fall lautet

$$T = \frac{0,366 Q}{s_1 - s_2} \lg r_2/r_1 \quad (1)$$

Entspricht r_1 dem wirksamen Brunnenradius r_w , dann entspricht s_1 der Brunnenabsenkung s . Der Rand des Absenktrichters r_o wird durch r_2 abgegrenzt, für den $s_2 = 0$ wird. Aus (1) wird damit

$$T = 0,366 \cdot \lg r_o/r_w \cdot Q/s \quad (2)$$

Der wirksame Brunnenradius r_w ist dabei als konstant zu betrachten, während r_o mit der Pumpzeit wächst. Für hinreichend lange Pumpzeiten gilt dann nach COOPER & JACOB [8] für den Rand des Absenktrichters:

$$r_o = \sqrt{2,25 T t/S} \quad (3)$$

Es bedeuten: T = Transmissivität (m^2/s); S = Speicherkoeffizient (dimensionslos) und t = Pumpzeit (Stunden). Setzt man (3) in (2) ein, so erhält man:

$$T = (0,366 \lg \sqrt{2,25 T t/S/r_w}) Q/s \quad (4)$$

Der Klammerausdruck von (4) enthält eine Beziehung zwischen der Pumpzeit t und dem Rand des Absenktrichters r_o . Diese Beziehung setzt für die praktische Anwendung von (4) voraus, daß T und S bekannt sind. Es bedarf dazu allerdings nur sehr grober Schätzwerte, weil nur deren Logarithmen in die Rechnung eingehen. Schätzwerte von T und S liegen aber nach Auswertung der Gruppe 1 vor.

Zur Vereinfachung setzt man den Klammerausdruck in (4) gleich C , so folgt

$$T = C \cdot Q/s \quad (5)$$

Nach der Formel $C = 0,366 \lg \sqrt{2,25 T t/S/r_w}$ wurden für verschiedene Kombinationen von T , S und r_w , Werte von C in Abhängigkeit von t berechnet und in Diagrammen dargestellt. Abb. 2.3 ist ein Beispiel dafür. Bei einer Auswertung sind zumindest r_w und t bekannt, außerdem kann man bei ungespannten Leitern ohne

großen Fehler S mit 0,15 annehmen. Es ist dann nur noch T größenordnungsmäßig abzuschätzen, um C bestimmen zu können.

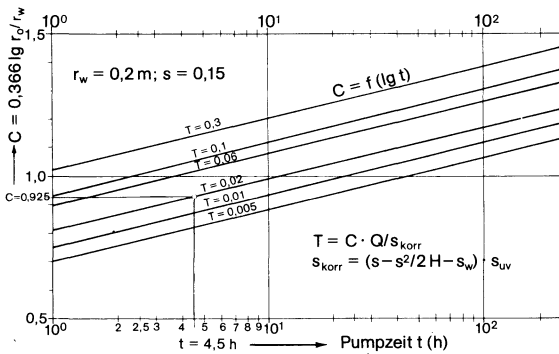


Abb. 2.3: Diagramm zur Bestimmung von C

Beispiel auf Abb. 2.3: Aus Schätzwerten von $T = 0,02$ und $S = 0,15$ ergibt sich für $t = 4,5$ h und $r_w = 0,2$ ein C-Wert von 0,925.

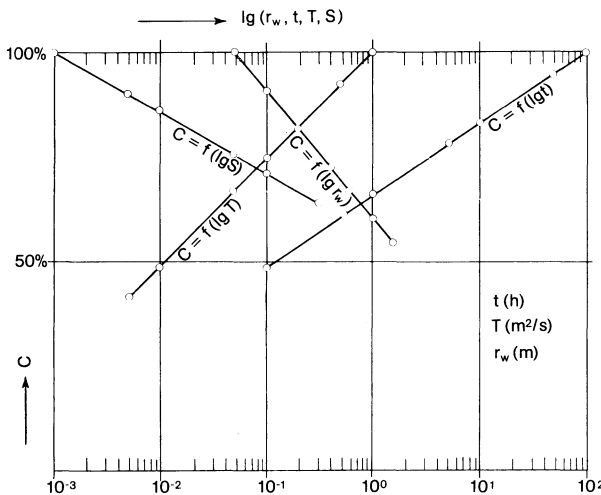


Abb. 2.4: Variation der Parameter S, T, r_w und t und deren Auswirkung auf die Bestimmung von C

Den Einfluß der einzelnen Parameter auf C zeigt Abb. 2.4. Innerhalb der hydrologisch möglichen Schwankungsbereiche der einzelnen Parameter kann sich C etwa zwischen 100 und 50 % verändern.

b) Einfluß der Sickerstrecke $s_i = s^2/2H$

In freien Leitern tritt durch die Verringerung der Aquifermächtigkeit eine zusätzliche Absenkung des Betrages $s_i = s^2/2H$ auf. Damit wird berücksichtigt, daß die Strömungslinien auf der ganzen Eintrittsfläche senkrecht einmünden müssen, der Absenktichter also tangential in den Brunnenrand übergeht. Wäre dem nicht so, entstünden aufwärts gerichtete Strömungslinien, die an freien Oberflächen undenkbar sind. Für die Berechnung der spezifischen Ergiebigkeit muß also die Brunnenabsenkung s um die Sickerstrecke reduziert werden. Nach der ersten Korrektur lautet somit die Absenkung:

$$s_k = s - s_i = s - s^2/2H \quad (6)$$

c) Einfluß des Brunnenverlustes $s_w = CQ^2$

Unter diesem Begriff faßt man eine Reihe von Faktoren zusammen, die die Brunnenabsenkung vergrößern können [28]. Dazu gehören: Brunnenausbau, Intensität des Entsandens, Filterwahl, Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung am Brunnenrand, Fließgeschwindigkeit im Steigrohr usw. Unter gespannten Bedingungen, wie sie nach der ersten Korrektur zutreffen, wird der Brunnenverlust wie folgt berechnet [11]:

$$s_w = CQ^2 \quad (7)$$

dabei ist

$$C = \frac{(s_n/\Delta Q_n) - (\Delta s_{n-1}/\Delta Q_{n-1})}{\Delta Q_{n-1} + \Delta Q_n} \quad (8)$$

Δs und ΔQ sind die Differenzen zwischen 2 Pumpstufen mit dem Index n-1 und n. Die in Gleichung (7) postulierte quadratische Beziehung zwischen Brunnenverlust s_w und Entnahmemenge Q ist nach den Untersuchungen von RORABAUGH [24] nicht immer gegeben. Er kommt zu Exponenten der Größenordnung 2,5. Nach Abzug des Brunnenverlustes lautet die korrigierte Absenkung:

$$s_k = s - s_i - s_w = s - s^2/2H - CQ^2 \quad (6a)$$

Ohne Korrektur des Brunnenverlustes würde die spezifische Ergiebigkeit mit steigender Fördermenge rasch abnehmen.

Bei stufenförmigen Entnahmen können s_i und s_w für jede Pumpstufe berechnet werden. Die Kurve der Leistungscharakteristik wird dann zu einer durch den Ursprung verlaufenden Geraden (vgl. Abb. 2.5). Nicht selten ist es möglich, den Gesamtbetrag von s_i und s_w rein graphisch ausreichend genau zu bestimmen, sofern die Kurve der Leistungscharakteristik durch Punkte nahe am Ursprung belegt ist. Für sehr kleine Entnahmen streben sowohl s_w als auch s_i gegen Null. Deshalb legt man nahe am Ursprung der Kurve die Tangente an (vgl. Abb. 2.6 und 2.7a).

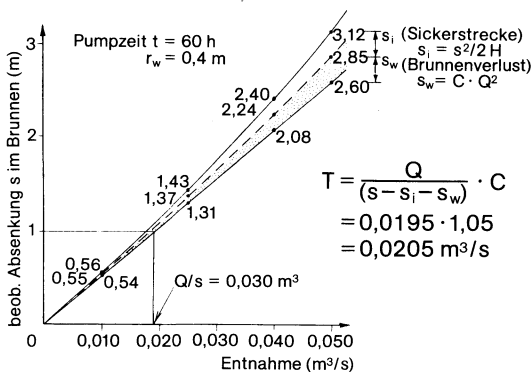


Abb. 2.5: Leistungscharakteristik des vollkommenen Brunnens D 1 (Korrektur gerechnet)

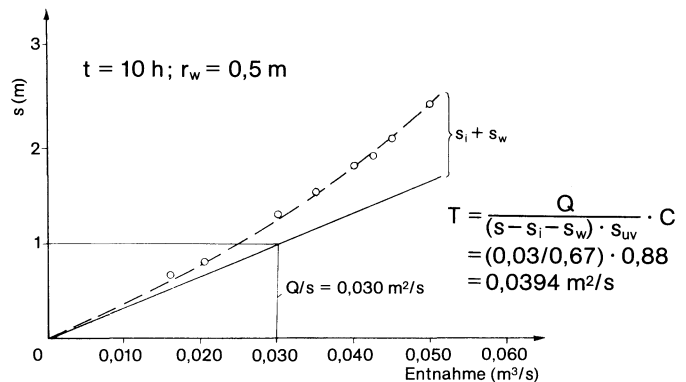


Abb. 2.6: Leistungscharakteristik des unvollkommenen Brunnens Sz 8 (Korrektur graphisch ermittelt)

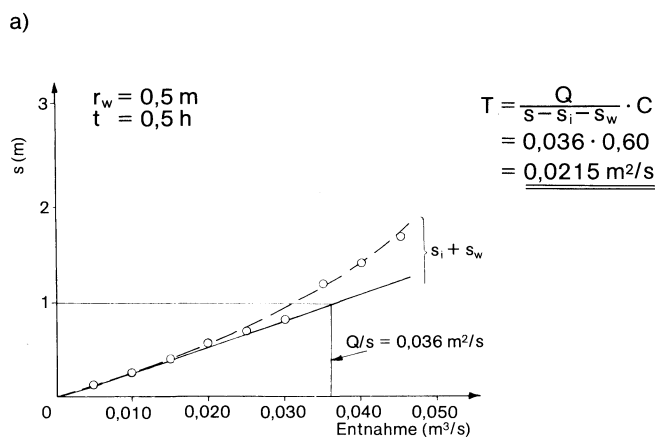
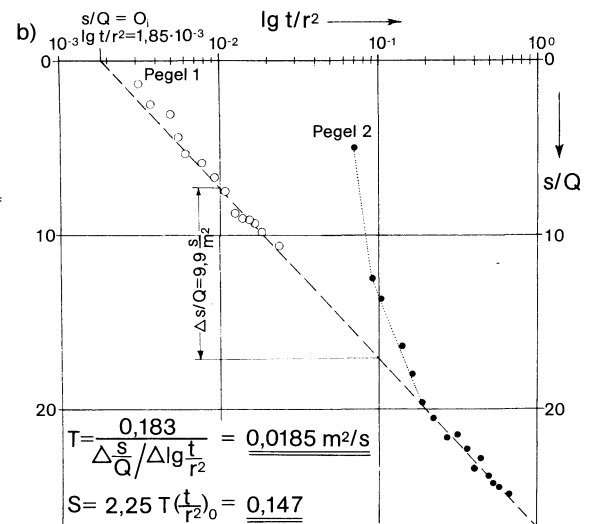


Abb. 2.7: Auswertung des vollkommenen Brunnens D 040
a) Transmissivitätsberechnung aus der Leistungscharakteristik
b) Geradenliniennmethode $s/Q = f(\lg t/r^2)$



Im Schnittpunkt mit dem Ordinatenwert 1 m wird die um s_i und s_w korrigierte spez. Ergiebigkeit (Q/s) kor. direkt auf der Abszisse abgelesen. Wegen der zeitlichen Änderung der Absenkungsbeträge, darf die Leistungscharakteristik nur mit Absenkungen nach jeweils gleichlangen Pumpzeiten der Einzelstufen konstruiert werden. Anschließend wird mit Diagrammen der Abb. 2.3 C bestimmt und zusammen mit Q/s wird T berechnet.

d) Einfluß des unvollkommenen Brunnens

Ein Brunnen wird als unvollkommen bezeichnet bei dem das Verhältnis zwischen Filterlänge L und der Aquifermächtigkeit H kleiner 1 ist. In der Praxis wirkt sich dies je nach Filteranordnung erst ab $L/H < 0,5$ – bis 0,7 aus. Bei gleicher Leistung wird in einem unvollkommenen Brunnen eine größere Absenkung eintreten als im vollkommenen Brunnen. Um diesen Effekt auszuschalten muß die beobachtete Absenkung s_{uv} korrigiert werden. Dafür gibt es eine Reihe von Verfahren [16, 18, 25, 30]. Da der pleistozäne Aquifer im Oberrheintalgraben eine große vertikale Anisotropie aufweist, wurde die Kozeny-Formel [16] für anisotrope Leiter erweitert und in Form des Diagramms der Abb. 2.8 dargestellt [27]. Damit läßt sich die Korrektur einfach ermitteln. Zusammen mit dem Korrekturfaktor (s_v/s_{uv}) ergibt sich die vollständig korrigierte Absenkung in einem unvollkommenen Brunnen zu:

$$s_k = (s_{uv} - s_i - s_w) \cdot (s_v/s_{uv}) \quad (6b)$$

Mit den Gleichungen 5, 6, 6a und 6b sind bezüglich der Brunnen- und Aquifertypen alle Kombinationen erfaßt, die zur Transmissivitätsermittlung mit Hilfe der spezifischen Ergiebigkeit benötigt werden (vgl. Tabelle 2.2). Darüberhinaus ist natürlich jeder Brunnen auf Fremdeinflüsse durch hydrologische Barrieren oder Stützen individuell zu überprüfen.

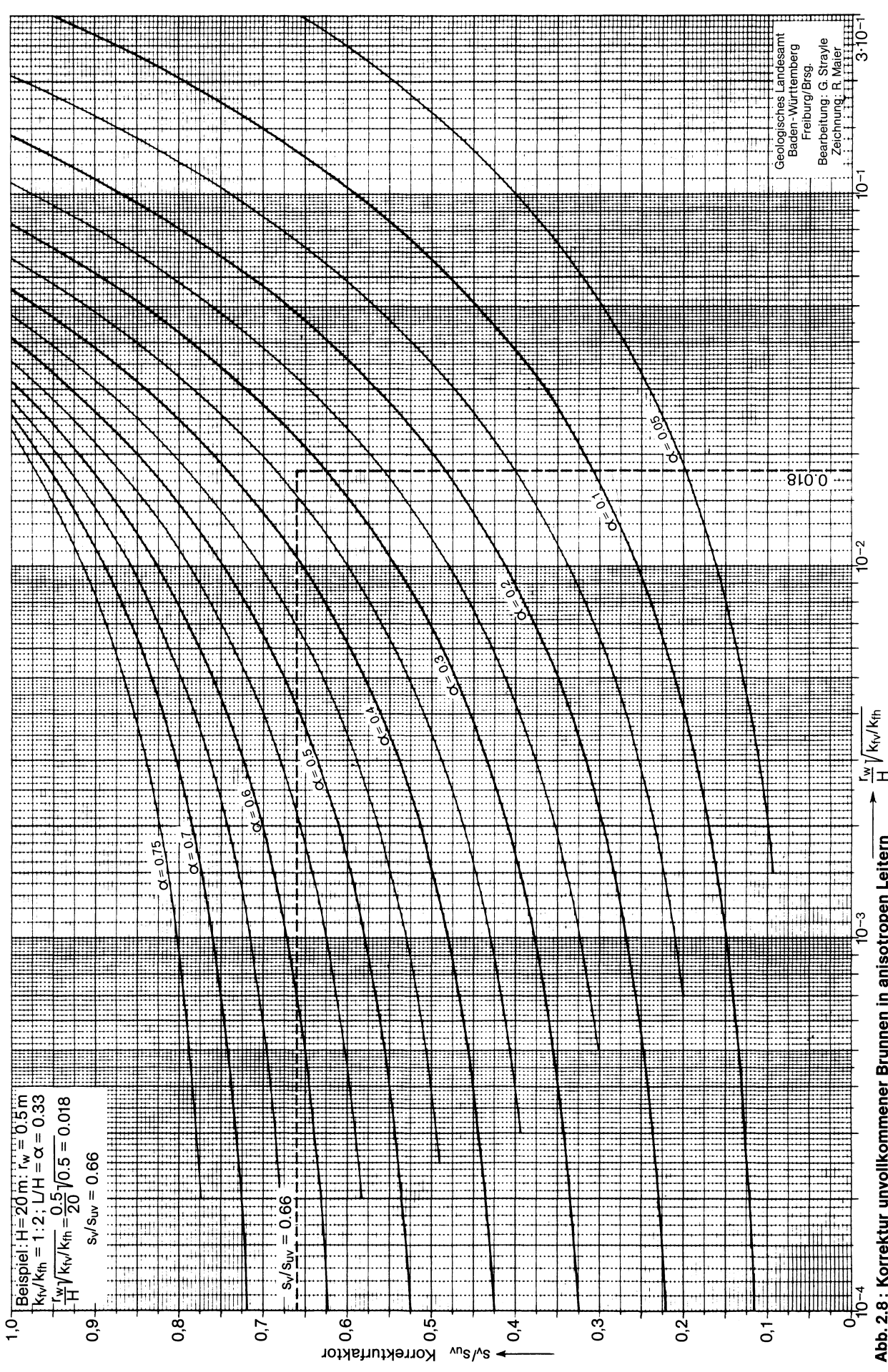


Abb. 2.8 : Korrektur unvollkommener Brunnen in anisotropen Leitern

		gespannter Aquifer oder $H \gg s$	ungespannter Aquifer
vollkommener Brunnen $L/H > 0,7$	ohne Brunnen- verlust	$T = C Q/s$	$T = C Q/(s - s_i)$
	mit Brunnen- verlust	$T = C Q/(s - s_w)$	$T = C Q/(s - s_i - s_w)$
unvollkommener Brunnen $L/H < 0,5$	ohne Brunnen- verlust	$T = C Q/s \cdot s_v/s_{uv}$	$T = C Q/(s-s_i) s_v/s_{uv}$
	mit Brunnen- verlust	$T = C Q/(s-s_w) s_v/s_{uv}$	$T = C Q/(s-s_i-s_w) s_v/s_{uv}$

Tab. 2.2: Näherungsformeln zur Transmissivitätsbestimmung aus der spezifischen Ergiebigkeit

2.4.6.2 Ergebnis der Auswertung von Gruppe 1 und 2

Es leuchtet ein, daß nicht jeder Bestimmung, die auf dem oben beschriebenen Näherungsverfahren basiert, eine ähnlich große Genauigkeit zukommen kann, wie das Beispiel der Abb. 2.7. Der Vorteil liegt jedoch eindeutig in der raschen und einfachen Anwendung des Verfahrens. Auch Korrekturen, die die Ergebnisse am meisten beeinflussen, erfordern keinen großen Rechenaufwand.

Damit läßt sich die Auswertung eines umfangreichen Unterlagenmaterials rasch bewältigen, was für die statistische Aufarbeitung der Gruppe 3 notwendig ist. Selbstverständlich beruht die vorliegende Auswertung der Gruppe 2 nicht ausschließlich auf dem vorgestellten Auswertungsverfahren. Wo immer es möglich war, wurden zusätzliche räumliche oder zeitliche Auswertungen angeschlossen. Der Vergleich zeigt fast immer eine befriedigende Übereinstimmung zwischen den einzelnen Verfahren. Abweichungen bis $\pm 30\%$ wurden allerdings häufig beobachtet.

Von insgesamt 63 ausgewerteten Pumpversuchen der Gruppe 1 und 2 wurden die Ergebnisse in der Tabelle 2.3 zusammengefaßt. Die Untersuchungsergebnisse wurden lediglich innerhalb des auf der hydrogeologischen Grundkarte dargestellten Modellgebietes gewonnen. Nachträglich durchgeführte Pumpversuche und die Erweiterung des Arbeitsgebiets im Südwesten haben die Brauchbarkeit dieses Verfahrens bestätigt. In dieser gedrängten aber übersichtlichen Form wird auf die durchgeführten Korrekturen oder die Anzahl der Einzelbestimmungen nicht eingegangen.

Es ist bemerkenswert, daß die Transmissivitäten innerhalb des Arbeitsgebietes Extremwerte von 0,002 bis 0,180 m²/s annehmen. Die Schwankungsbreite umfaßt somit 1,5 Größenordnungen. Bei der Verwendung von Schätzwerten ist also besondere Vorsicht geboten. Die Angabe eines Mittelwertes wäre wenig sinnvoll.

Demgegenüber sind die Speicherkoeffizienten gleichförmiger. Nach Spalte 9 auf Tabelle 2.3 ergibt sich eine Schwankungsbreite zwischen 7 und 21 %. Das arithmetische Mittel errechnet sich zu 15 %. Diese Werte gelten im Schnitt für den gesamten Untersuchungsraum und stimmen gut mit den Werten überein, die an kiesigen Aquiferen Oberschwabens ermittelt wurden [32]. Man kann also einen Schätzwert von S angeben, um die Näherungsmethoden anwenden zu können.

Wegen der vertikalen Anisotropie des Aquifers muß bei der Behandlung einer Reihe von Grundwasserbewegungsvorgängen der regionale Speicherkoeffizient reduziert werden. Beispielsweise ist bei der Fortpflanzung von Hochwasserwellen meist mit einem S-Wert von 10 % zu rechnen.

Wie im Abschnitt 2.3.1 ausgeführt wurde, können innerhalb der Rheinniederung zeitweilig schwach gespannte Grundwasserverhältnisse auftreten. In diesen Fällen ist der S-Wert für die Berechnung auf 1–4 % und darunter abzumindern.

2.4.7 Auswertung der Gruppe 3

Die Schichtenverzeichnisse der Aufschlußgruppen 1 und 2 wurden zu stark generalisierten Profilen zusammengefaßt. Entsprechend den hydrogeologischen Schnitten wurden lediglich zwischen den Grundeinheiten Kiese, Sande und Schluffe unterschieden. Diese stark vereinfachte Untergliederung ist das Ergebnis zahlreicher Versuche, alle Aufschlüsse in geologischen Schnitten zu vereinigen.

Die vom geologischen Standpunkt ausreichende Untergliederung muß noch bezüglich der grundwasserleitenden Eigenschaften der Grundeinheiten definiert werden. Obwohl die drei Einheiten weder petrographisch noch hydraulisch scharf abzugrenzen sind, sind sie an der gesamten Transmissivität eines Profils dennoch unterscheidbar beteiligt.

Die Transmissivität eines Aquifers ist definiert zu:

$$T = \int_0^H k_f dh \quad (9)$$

Für den isotropen Fall gilt vereinfachend:

$$T = k_f H \quad (9a)$$

Ist ein Profil in n-Einzelschichten aufzulösen, so gilt:

$$T = \sum_{i=1}^{i=n} k_{fi} \cdot H_i \quad (9b)$$

Nr.	Bezeichnung auf der Hydrogeolog. Grundkarte	Bohrtiefe unter Gelände (H) (m)	Vollkommenheitsgrad L/H	Kiesmächtigkeit im Profil (m)	Sandmächtigkeit im Profil (m)	Mächtigkeit der Schluffe im Profil (m)	Transmissivität (m ² /s)	Speicherkoeffizient
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	R11	17,5	0,39	8,5	3,5	—	0,017	—
2	R14	17,6	1,00	2,8	2,6	—	0,006	—
3	R17	17,6	0,59	13,2	3,8	—	0,028	—
4	R18	21,0	0,44	12,0	4,0	—	0,022	—
5	R20	10,7	0,60	0,5	4,5	—	0,003	—
6	R31	24,6	1,00	12,7	0,8	—	0,025	—
7	R39	15,8	0,90	8,8	—	—	0,022	—
8	R43	29,0	0,42	15,0	4,0	—	0,034	0,15
9	R49	33,0	0,42	10,0	5,5	—	0,020	0,09
10	R59	14,5	—	6,0	3,3	—	0,012	—
11	R60	15,0	1,00	7,1	3,2	—	0,021	—
12	R61	21,8	1,00	9,8	2,5	—	0,028	—
13	R62	29,0	1,00	12,8	7,2	—	0,030	—
14	R71	14,0	0,90	—	2,8	2,2	0,002	—
15	R75	25,0	0,30	10,0	5,0	—	0,028	—
16	R78	30,0	0,51	7,0	5,0	1,0	0,013	0,09–
17	R83	23,5	0,54	10,3	1,9	0,4	0,027	0,19–
18	R97	24,9	0,42	11,0	5,1	0,4	0,032	0,12–
19	R98	15,6	0,38	5,0	1,3	0,2	0,015	0,15
20	R99	18,0	0,59	5,7	2,2	0,1	0,019	0,16
21	R107	24,0	0,61	13,8	5,1	—	0,033	—
22	R23	20,5	0,77	10,0	3,0	0,2	0,030	—
23	Sz8	25,5	0,45	15,0	2,7	—	0,040	—
24	Sz9	35,0	0,025	19,2	12,0	—	0,040	—
25	Sz10	25,0	0,51	17,0	4,7	—	0,046	0,18
26	R1	36,5	0,54	19,1	1,4	—	0,055	—
27	R9	20,0	0,68	17,2	0,6	—	0,046	0,16
28	R21	20,2	0,37	15,0	5,0	—	0,045	0,14
29	R22	18,5	0,52	10,8	3,4	1,1	0,032	—
30	R96	22,5	0,60	11,5	4,9	0,4	0,030	—
31	D38	24,0	0,70	12,4	1,1	1,6	0,047	—
32	D39	37,0	0,47	19,2	6,7	0,7	0,059	0,21
33	D40	23,0	0,67	6,3	5,3	—	0,0185	0,15
34	D41	23,0	0,68	11,2	3,1	—	0,037	0,16
35	D42	35,0	0,47	17,0	6,7	0,9	0,065	—
36	D1	28,0	0,59	11,6	6,3	0,3	0,026	0,07–
37	D1	28,0	1,00	15,5	8,5	3,0	0,034	0,11
39	D8	21,0	0,48	10,4	2,0	—	0,028	—
40	D9	22,0	0,43	12,2	1,8	—	0,036	—
41	D15	34,0	0,64	16,0	9,3	—	0,045	—
42	D15	20,8	0,57	8,3	2,8	—	0,018	—
43	D84	37,5	0,39	11,0	11,4	0,6	0,0325	0,14
44	D95	32,5	0,71	18,4	7,9	—	0,047	—
45	D96	34,0	0,41	21,7	2,4	—	0,055	—
46	R2	30,0	0,17	20,0	7,5	2,5	0,064	—
47	R2	30,0	—	24,5	13,0	2,5	0,080	—
48	R2	30,0	0,54	4,3	4,7	—	0,017	0,17
49	R27	38,8	—	20,2	4,6	4,0	0,057	0,18
50	R26	37,7	0,16	22,0	5,0	—	0,067	—
51	R94	58,2	0,34	11,0	3,0	2,0	0,032	—
52	R114	80,0	0,30	36,0	19,5	6,0	0,110	0,18
53	D29	13,0	—	8,9	1,8	0,2	0,033	—
54	D6	12,5	0,32	12,0	0,7	—	0,037	—
55	D63	59,3	0,80	20,5	18,5	10,5	0,065	0,11
56	Sz1	30,2	0,51	24,5	0,5	0,5	0,074	—
57	Sz2	18,0	—	13,5	—	—	0,036	0,11
58	J1	67,0	0,69	35,0	20,0	6,0	0,114	0,20
59	J24	60,0	0,63	29,0	20,0	12,0	0,091	—
60	J27	50,0	—	23,5	20,0	2,0	0,073	—
61	J23	60,0	0,21	22,5	12,0	0,5	0,070	—
62	J21	35,0	0,40	16,5	14,0	1,5	0,055	—
63	J30	23,3	0,45	14,6	6,4	0,3	0,065	—

KIESTYP C

KIESTYP B

KIESTYP A

Tabelle 2.3: Ergebnisse der Pumpversuchsauswertung der Gruppen 1 und 2

Nach der getroffenen Untergliederung liegt im Kartiergebiet ein 3-Schichtfall vor. In der Reihenfolge ihres Anteils an der Gesamttransmissivität des Profils sind in diesem Fall:

- k_{r1} und H_1 = Kiesdurchlässigkeit und -mächtigkeit
- k_{r2} und H_2 = Sanddurchlässigkeit und -mächtigkeit
- k_{r3} und H_3 = Schluffdurchlässigkeit und -mächtigkeit

Die Transmissivität eines Profils hängt also überwiegend von den Größen k_{r1} und H_1 , weniger stark von k_{r2} und H_2 und äußerst gering von k_{r3} und H_3 ab. Alle Werte variieren regional und stratigraphisch.

2.4.7.1 Gebiete unterschiedlicher Kiestypen

Zumindest bei den Kiesen lassen sich regional drei Gebiete mit unterschiedlichen Kiestypen abgrenzen. Die Unterschiede ergeben sich aufgrund des Vergleichs zahlreicher Siebanalysen, dem Anteil von Schwarzwaldmaterial am Kornaufbau und geologischen Überlegungen (Sedimentation, Lagerungsdichte usw.). Nach Abb. 2.10 erstrecken sich die Verbreitungsgebiete der Kiestypen nahezu parallel zum Grabenrand. Von NW nach SE wurde unterschieden zwischen:

Kiese der Rheinaue (Typ A): Ihr Verbreitungsgebiet schließt sich nordwestlich der morphologisch deutlich erkennbaren Geländekante des Hochgestades an und reicht bis über den Rhein hinweg. Es handelt sich um Kiese ausschließlich alpiner Herkunft. Die Sieblinie ist immer durch Überkorn im Mittelsandbereich gekennzeichnet oder sogar mehrgipfelig. In der Regel weicht deshalb die Sieblinie stark von der Fullerkurve ab (vergl. Abb. 2.9). Weite Gebiete dieser Kiesfläche wurden im Holozän mehrfach bis zu einer Tiefe von 10–20 m umgelagert und aufgearbeitet. Daraus resultiert eine relativ lockere Lagerung.

Kiese der Niederterrasse (Typ B): Es handelt sich um Mischkiese der Niederterrassenfläche nördlich und südlich der Murg. Am Kornaufbau ist Schwarzwaldmaterial im Durchschnitt gering beteiligt. Da die Kiese dem jüngeren Quartär angehören, sind sie meist festgelagert. Obwohl sie sich nicht immer scharf von den beiden anderen Typen abgrenzen lassen, nehmen sie deutlich eine Zwischenstellung ein.

Kiese am Gebirgsrand und im Bereich der Kinzig-Murg-Rinne (Typ C): Abgesehen von dem Bereich des Murgtrichters nehmen sie nur einen schmalen Gebietsstreifen entlang der Vorbergzone ein. Es sind Kiese, an deren Kornaufbau Schwarzwaldmaterial deutlich beteiligt ist oder die überwiegend aus Schwarzwaldmaterial bestehen. Meist ist erhöhter Schluffanteil und scharfkantiger Grobsand vorhanden. Die Sieblinie kommt der Fullerkurve mit theoretisch dichtester Lagerung am nächsten (vergl. Abb. 2.9).

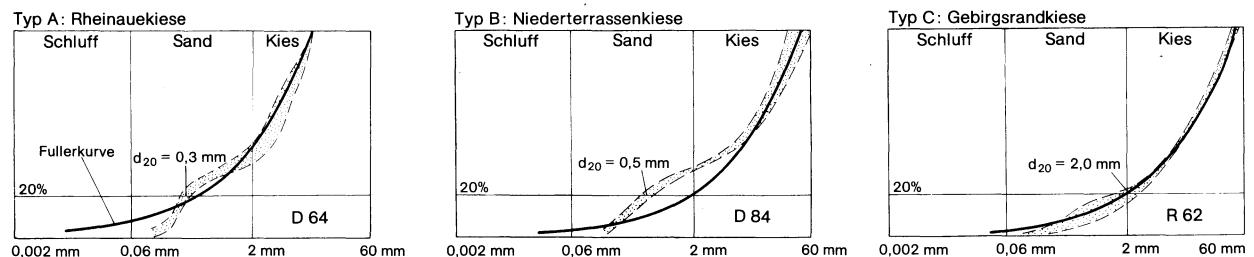


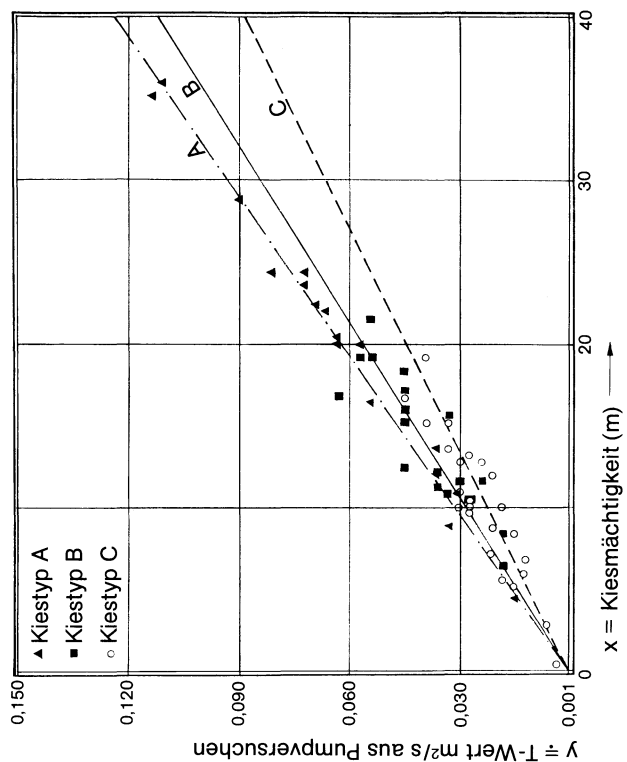
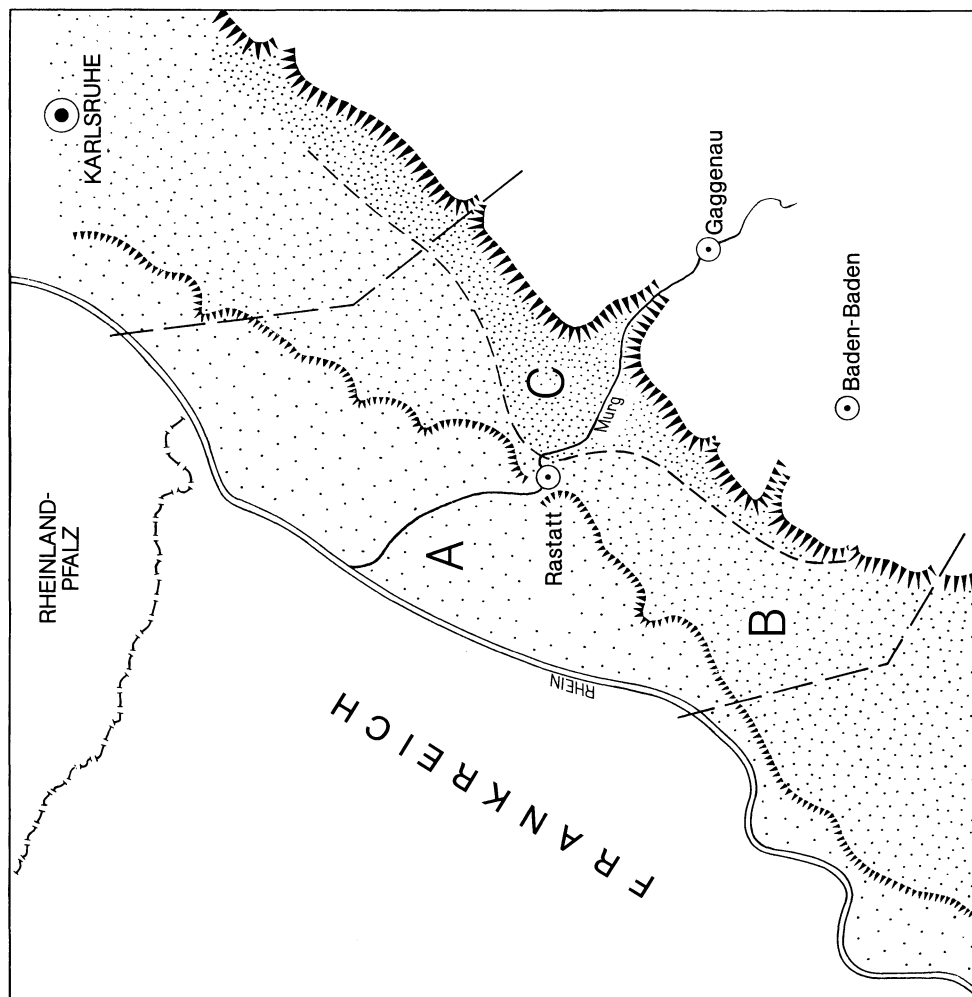
Abb. 2.9: Vergleich des Sieblinienbandes der einzelnen Kiestypen mit der Fullerkurve, $p = 100\sqrt{\frac{d}{\phi}}$

2.4.7.2 Ergebnisse der Korrelationsanalysen

Von den Aufschlüssen der drei Verbreitungsgebiete (vergl. Tabelle 2.3) wurde der Zusammenhang zwischen Transmissivität und Kiesmächtigkeit mittels Korrelationsanalysen untersucht. Es besteht eine lineare Abhängigkeit der Funktion $y = a \cdot x + b$, wobei der Steigungsfaktor a der Regressionsgeraden den k_r -Wert angibt. Auf Abb. 2.10 sind das Diagramm und die errechneten Regressionsgeraden dargestellt. Auf folgende Ergebnisse der Korrelationsanalysen ist hinzuweisen:

- Die drei Kiestypen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit. Sie beträgt für die Rheinauekiese $k_{r1} = 0,0031$ m/s, für die Niederterrassenkiese $k_{r1} = 0,0028$ m/s und die Schwarzwaldkiese $k_{r1} = 0,0022$ m/s. Erwartungsgemäß sind die letzteren am geringsten durchlässig.
- Die Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen $r = 0,87$ und $r = 0,99$. Es besteht erwartungsgemäß eine enge Abhängigkeit zwischen den beiden Variablen H_1 und T .
- Die Korrelationsgeraden verlaufen nahezu durch den Ursprung. Dieser Befund beweist, daß die Transmissivität der Sande und Schluffe praktisch vernachlässigt werden kann, andernfalls müßte die Ordinate deutlich im positiven Bereich geschnitten werden. Ein kleiner Restbetrag der Transmissivität (0,0002–0,0005 m/s) ist noch vorhanden. Um diesen in k_{r2} -Werte umzurechnen, wurde die vertikale Differenz der Transmissivität gegenüber der durch den Ursprung verschobenen ersten Regressionsgeraden gegen die Sandmächtigkeit H_2 aufgetragen. Die Steigung dieser zweiten Regressionsgeraden müßte den k_{r2} -Wert der Sande angeben. Das Ergebnis dieser Auswertung war negativ; lediglich bei den Rheinkiesen deutet sich eine schwache Korrelation an, woraus sich der k_{r2} -Wert größenordnungsmäßig zu $2-3 \cdot 10^{-4}$ m/s abschätzen läßt.

Nicht jeder berechnete Transmissivitätswert auf Tabelle 2.3 besitzt wegen der verschiedenen Auswertungsverfahren eine gleich hohe Zuverlässigkeit. Um diese Unterschiede auszugleichen, wurden die Transmissivitätsbestimmungen hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit in drei Wertigkeitsstufen eingeordnet. Man erhält auf diese Weise ein etwas umfangreicheres gewichtetes Kollektiv. Das Ergebnis zeigt jedoch, daß zwischen "gewichteten" und "ungewichteten" Korrelationen überhaupt keine nennenswerten Differenzen bestehen.



Regressionsfunktion	Korrelationskoeffizient
$y_A = 0,00310 x + 0,00053$	$r_A = 0,992$
$y_B = 0,00281 x + 0,00053$	$r_B = 0,875$
$y_C = 0,00221 x + 0,00216$	$r_C = 0,926$

Abb. 2.10 : Verbreitung der Kiestypen im Untersuchungsgebiet mit den Regressionsgeraden

A. Kiese der Rheinaue

Anzahl der Bestimmungen: 18
Korrelationskoeffizient: $r = 0,992$
Regressionsfunktion: $y = 0,003100 x + 0,000525$
Konfidenz-
intervalle: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Untere Grenze} \quad y = 0,002923 x + 0,0004103 \\ \text{Obere Grenze} \quad y = 0,003277 x + 0,0003053 \end{array} \right.$
 k_f -Werte: **Kies:** $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$; **Sand:** $2-3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

B. Kiese der Niederterrasse

Anzahl der Bestimmungen: 19
Korrelationskoeffizient: $r = 0,875$
Regressionsfunktion: $y = 0,002817 x + 0,000535$
Konfidenz-
intervalle: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Obere Grenze:} \quad y = 0,002801 x + 0,000754 \\ \text{Untere Grenze:} \quad y = 0,002832 x + 0,000316 \end{array} \right.$
 k_f -Werte: **Kies:** $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$; **Sand:** nicht bestimmt

C. Kiese am Gebirgsrand

Anzahl der Bestimmungen: 25
Korrelationskoeffizient: $r = 0,926$
Regressionsfunktion: $y = 0,002215 x + 0,0002166$
Konfidenz-
intervalle: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Obere Grenze:} \quad y = 0,002207 x + 0,0002166 \\ \text{Untere Grenze:} \quad y = 0,002224 x + 0,0002079 \end{array} \right.$
 k_f -Werte: **Kies:** $2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$; **Sand:** nicht bestimmt

Tab. 2.4 Ergebnis der ungewichteten Korrelationen

2.5 Karte der Transmissivitätsverteilung (Karte V)

2.5.1 Entwicklung der Karte

Allein mit den durch Pumpversuche direkt bestimmten Transmissivitäten kann man nur eine sehr grobe kartenmäßige Darstellung der Transmissivitätsverteilung herstellen. In den Bereichen großer Aquifermächtigkeiten, z.B. innerhalb der Grabenscholle, ist dieser Versuch überhaupt in Frage gestellt, denn dort wurde der tiefere Abschnitt des Aquifers nur durch vereinzelte Pumpversuche direkt getestet. Der größte Teil der Aufschlußpunkte liefert ausschließlich geologische Informationen.

Mit Hilfe der Ergebnisse der Korrelationsanalysen war es möglich, auch diese Aufschlüsse zur Konstruktion der Isolinien heranzuziehen. Dazu wurden von den vereinfachten geologischen Profilen Kiesmächtigkeiten entnommen und mit den korrelierten k_f -Werten der Teilgebiete A,B und C auf Abb. 2.10 multipliziert. Man erhält somit mächtigkeits- und gebietsabhängige Transmissivitäten, was ein wesentlich differenzierteres Bild der Transmissivitätsverteilung ergibt. Der Isolinienplan wurde also auf der Grundlage von zwei methodisch verschiedenen Verfahren konstruiert, wobei eine Abstufung von $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$ möglich war. Ob an einem Punkt die Transmissivität direkt (durch Pumpversuche) oder indirekt (durch Korrelation) ermittelt wurde, ist auf der Karte durch entsprechende Signatur des Punktes gekennzeichnet.

Außerdem enthält die Karte den Grundwassergleichenplan (MW Mai 1964 bis April 1972), aus dem das Fließgefälle zu entnehmen ist. Mit der Transmissivität und auch dem Fließgefälle zusammen läßt sich auf einfache Weise der Grundwasserabstrom entlang einer Stromlinie für eine Einheitsbreite nach der bekannten Gleichung

$$Q = T \cdot J \cdot B \text{ ermitteln.}$$

Trotz der wesentlich verbesserten Aufschlußdichte bleiben im südwestlichen Teil des Kartiergebietes noch Unsicherheiten bestehen.

2.5.2 Struktur der Isolinien

Die Isolinien verlaufen in groben Zügen parallel zur tektonischen Grabenstruktur, was nicht zuletzt eine Folge der zum Grabeninneren hin zunehmenden Aquifermächtigkeit ist. Auch die in Rheinnähe sich andeutende Transmissivitätsabnahme wird durch das allmähliche Auskeilen des unteren Kieslagers erklärt.

Innerhalb des gesamten Untersuchungsraumes sind dort, wo die Isolinien gut belegt sind, lokale Verbiegungen zu beobachten, die auf engbegrenzte Schwellen- und Rinnensysteme wechselnder Durchlässigkeit hinweisen. Geeignete Beispiele dazu sind zwischen den Ortslagen von Sandweiler und Kuppenheim, oder unmittelbar östlich von Durmersheim und Bietigheim sowie zwischen Muggensturm und Malsch belegt. Das erste und dritte Beispiel liegen im Bereich der ehemaligen Kinzig-Murg-Rinne.

Abgesehen von diesen Strukturen ist noch der in Höhe des Oos- und Murgtrichters nach Westen ausbiegende Isolinienverlauf bemerkenswert, weil sich darin der höhere Anteil von schlechter-durchlässigem Schwarzwaldmaterial dokumentiert. Bedauerlicherweise fehlen südwestlich des Autobahnkreuzes Baden-Baden T-Werte. So läßt sich allenfalls erahnen, daß sich dort eine Zone geringerer Transmissivität im Bereich des "Bannwaldes" befindet. Dieser Verdacht wurde durch die Modellrechnungen bestätigt. Diese Zone fällt übrigens mit dem Streifen erhöhten Grundwassergefälles zusammen.

Nahe der Niederterrassenkante scheinen sich die Isolinien gebietsweise geringfügig zu scharen. Dieser Effekt ist sicherlich zum Teil auf die junge Aktivität der Rastatter Verwerfung zurückzuführen.

3. Grundwasser

3.1 Allgemeines

Für die hydrologischen Untersuchungen muß eine möglichst lange und aussagekräftige Zeitspanne mit möglichst vielen Beobachtungsdaten gefunden werden. Die Untersuchungen begannen im Jahre 1972. Dabei wurde der Zeitraum Mai 1964 bis April 1972 verwendet, in dem gegenüber heute etwa 2/3 der Grundwassermeßstellen beobachtet waren (s. Karte II). Dieser Zeitraum enthält sowohl sehr nasse als auch sehr trockene Jahre, er wurde zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse möglichst beibehalten.

Die im weiteren verwendeten grundwasserhydrologischen Begriffe werden gemäß [1] bzw. entsprechend DIN 4049 benutzt.

3.2 Fließverhalten

Das Grundwasserfließverhalten kann in Grundwasserhöhenplänen dargestellt werden. Das langfristig mittlere Verhalten im Zeitraum Mai 1964 bis April 1972 ist den Grundwasserhöhengleichen der Karte III zu entnehmen. Es handelt sich um statistisch ermittelte Grundwasserstände. Der Höhenplan zeigt folglich keinen beobachteten Fließzustand des Grundwassers.

Die Hauptfließrichtung des Grundwassers verläuft in der Kinzig-Murg-Niederung und der Niederterrasse vom Gebirgsrand in Richtung NW zum Rhein. Das mittlere Grundwassergefälle beträgt rd. 1 ‰. Dabei ist die Zone mit besonders hohem Gefälle südlich Hügelsheim ausgenommen. Ab dem Hochgestade schwenkt der rechtsrheinische Grundwasserstrom auf eine mehr oder weniger rheinparallele Richtung um. Das mittlere Fließgefälle in der Rheinniederung liegt bei 0,5 ‰. Grund dafür ist einmal die hier vergleichsweise höhere Transmissivität gegenüber jener in der Niederterrasse oder gar in der Kinzig-Murg-Niederung, zum anderen die in der Rheinniederung gelegenen Fließgewässer. In Rheinnähe ist bei mittleren Verhältnissen ein Grundwasserzustrom vom Rhein in die Rheinniederung zu beobachten. Der Rhein kann im betrachteten Zeitraum, also vor irgendwelchen Ausbaumaßnahmen im Rhein und bei vergleichsweise geringen Grundwasserentnahmen im Untersuchungsraum, als hydraulische Grenze betrachtet werden. Dies bedeutet, daß unter dem Rhein hindurch kein Grundwasserstrom zwischen links- und rechtsrheinischem Grundwasser vorhanden ist. Folglich infiltriert der Rhein bei mittleren Verhältnissen ins Grundwasser. Die Murg infiltriert auf der Strecke von ihrem Eintritt in die Rheinebene bis etwa Rastatt.

Das Grundwasser tritt in der Rheinniederung in die Oberflächengewässer (Vorfluter) über. Verbindet man in Schnitten senkrecht zum Rhein die tiefsten Grundwasserstände miteinander, erhält man die resultierende Vorfluterlinie des Grundwassers, nachfolgend Talweg genannt. Dieser Talweg ist die Linie, bis zu der Rheinfiltrat in den Grundwasserleiter gelangen kann. Bei mittleren Grundwasserständen liegt der Talweg meist östlich des Hochwasserdammes. Daraus ist zu entnehmen, daß die Grundwasservorfluter die Oberflächengewässer der Rheinniederung sind, teilweise durch die Altrheinarme unterstützt. Die drainierende Wirkung des Riedkanals kommt im Verlauf der Grundwasserhöhenlinien besonders deutlich zum Ausdruck.

Während das Fließverhalten östlich des Hochgestades über die Zeit weitgehend gleich bleibt, ändert es sich in der Rheinniederung deutlich. Dies ist den Abb. 3.1 bis 3.3 und Karte IV zu entnehmen. Bei niedrigen Grundwasserständen liegt der Talweg im Rhein und den nahegelegenen Altrheinen, d.h. der Rhein nimmt Grundwasser auf. Dies wird dadurch möglich, daß zu Zeiten niedriger Grundwasserstände der Rheinabfluß und damit der Rheinwasserspiegel ebenfalls relativ niedrig ist. Bei hohen Grundwasserständen hingegen liegt der Talweg gegenüber dem bei mittleren Ständen weiter östlich des Rheins, der Abstand zwischen Rhein und Talweg beträgt westlich Rastatt 2,5 bis 4 km. Dies bedeutet eine erhöhte Einspeisung aus dem Rhein. Die Vorflut liegt in den Fließgewässern östlich des Hochwasserdammes. Dies wird in Karte IV besonders deutlich. Die Stichtagsmessung am 25.6.1973 wurde während eines Rheinhochwassers (Überflutung der Rheinauen) durchgeführt. Der zeitliche Zusammenhang zwischen Rhein- und Grundwasserstand wird in Kap. 3.4 behandelt. Daß die Vorflut des Grundwassers bei mittleren Verhältnissen in den Fließgewässern der Rheinniederung liegen kann, wird dadurch hydraulisch möglich, daß diese Gewässer fast ausnahmslos in Altrheine münden. Da die Altrheine bei Mittel- und Niedrigwasser im Regelfall nur am unterstromigen, nördlichen Ende einer Verbindung zum Rhein haben und in den Altrheinen dabei nahezu kein Fließgefälle vorhanden ist, liegt der Wasserspiegel an den südlichen Enden der Altrheinarme unter dem benachbarten Rheinwasserspiegel. Damit liegen die Wasserspiegel der Fließgewässer, die am Süden der Altrheinarme in diese münden, unter dem benachbarten Rheinwasserspiegel. Bei Hochwasser im Rhein wird das aus der Rheinniederung ankommende Wasser mittels Schöpfwerken in den Rhein gefördert.

3.3 Flurabstände und Schwankungen der Grundwasserstände

Unter Flurabstand ist der lotrechte Abstand zwischen Geländeoberfläche und Grundwasserspiegel zu verstehen. Daher ist zu beachten, daß bei gespanntem Grundwasser die Aquiferoberfläche unter der Grundwasserdruckfläche liegt. Zur Eingrenzung der gespannten Aquiferoberfläche kann die Kartierung der schwer- oder undurchlässigen Deckschichten herangezogen werden.

Die Flurabstände für mittlere Grundwasserstände sind der Karte III zu entnehmen. Danach liegt die Grundwasseroberfläche bzw. -druckfläche in den Rheinauen teilweise weniger als 1 m unter Gelände. Dies sind im wesentlichen die Gebiete der bis zur Rheinkorrektur durch Tulla natürlich verlandeten Altrheinarme. Östlich des Hochwasserdammes, nördlich des Sandbaches steigt der Flurabstand im Bereich des Kiesrückens, auf dem die Siedlungen der Rheinniederung entstanden, auf bis 4 m an. Zum Hochgestade hin nehmen die Flurabstände bis auf Werte unter 1 m ab. Die größten Flurabstände von über 10 m sind im Bereich der Niederterrasse zu finden, wobei großflächig höhere Abstände im nördlichen Teil der Niederterrasse vorhanden sind, da sie sich hier morphologisch stärker heraushebt. In der Kinzig-Murg-Niederung und im Bereich des Murgeinschnittes in die Niederterrasse ist der Flurabstand erneut großflächig geringer als 1 m.

Neben der Kenntnis dieser mittleren Flurabstände sind die Schwankungen der Grundwasserstände und damit die zeitlichen Veränderungen der Flurabstände von Bedeutung. In Abb. 3.4 sind die Ganglinien je einer repräsentativen Grundwassermeßstelle in der Rheinniederung und in der Niederterrasse dargestellt. Grundsätzlich ist in kurzfristige (innerhalb von Tagen oder Wochen) und in langfristige Schwankungen (innerhalb von Jahren) zu unterscheiden. Hier sollen die Verhältnisse ab 1965 analysiert werden. In der Rheinniederung zeigen die Ganglinien einen sehr unruhigen Verlauf mit schnellen Wasserstandsänderungen. In Rheinnähe sind die kurz-

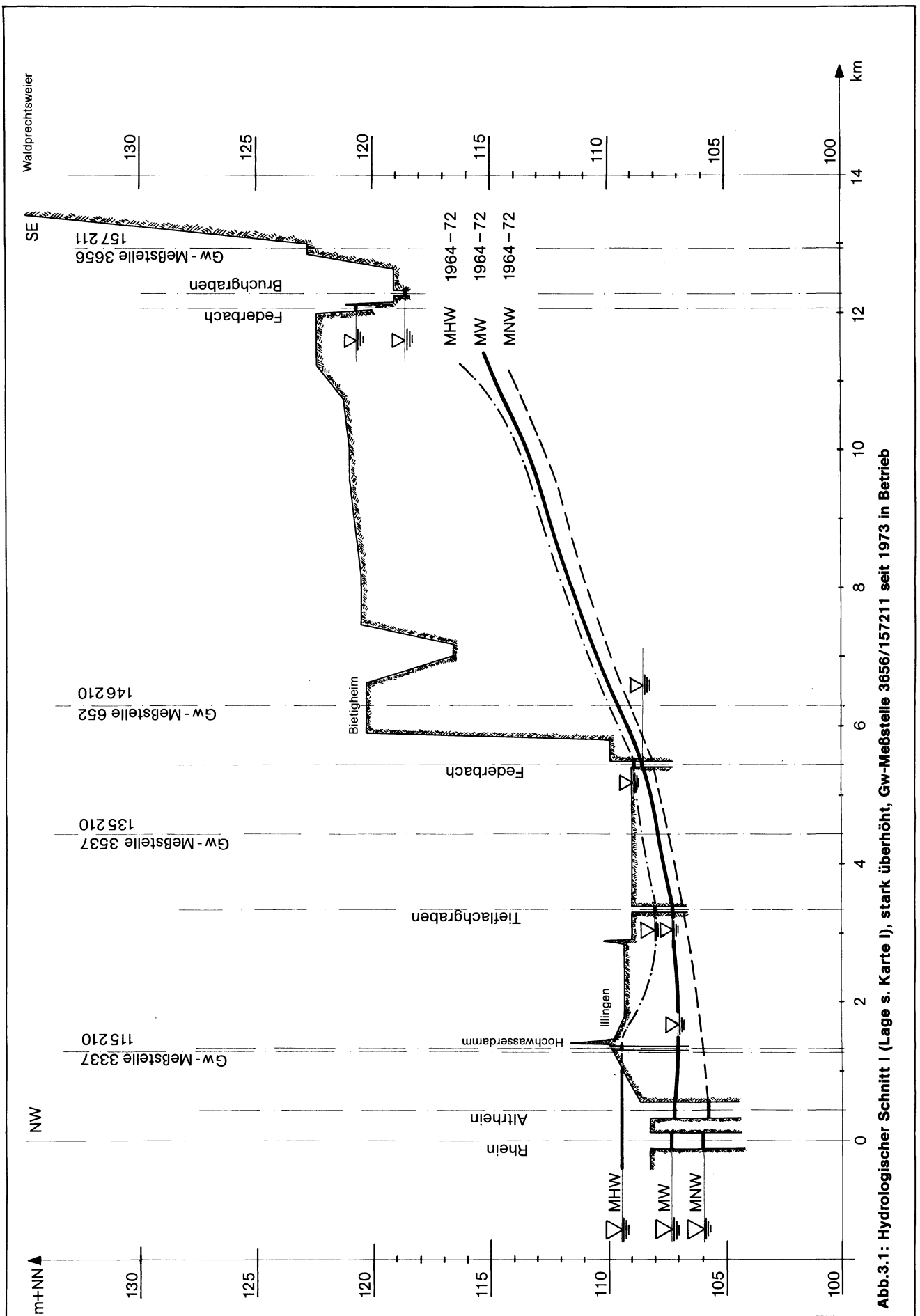


Abb.3.1: Hydrologischer Schnitt I (Lage s. Karte I), stark überhöht, Gw-Meßstelle 3656/157211 seit 1973 in Betrieb

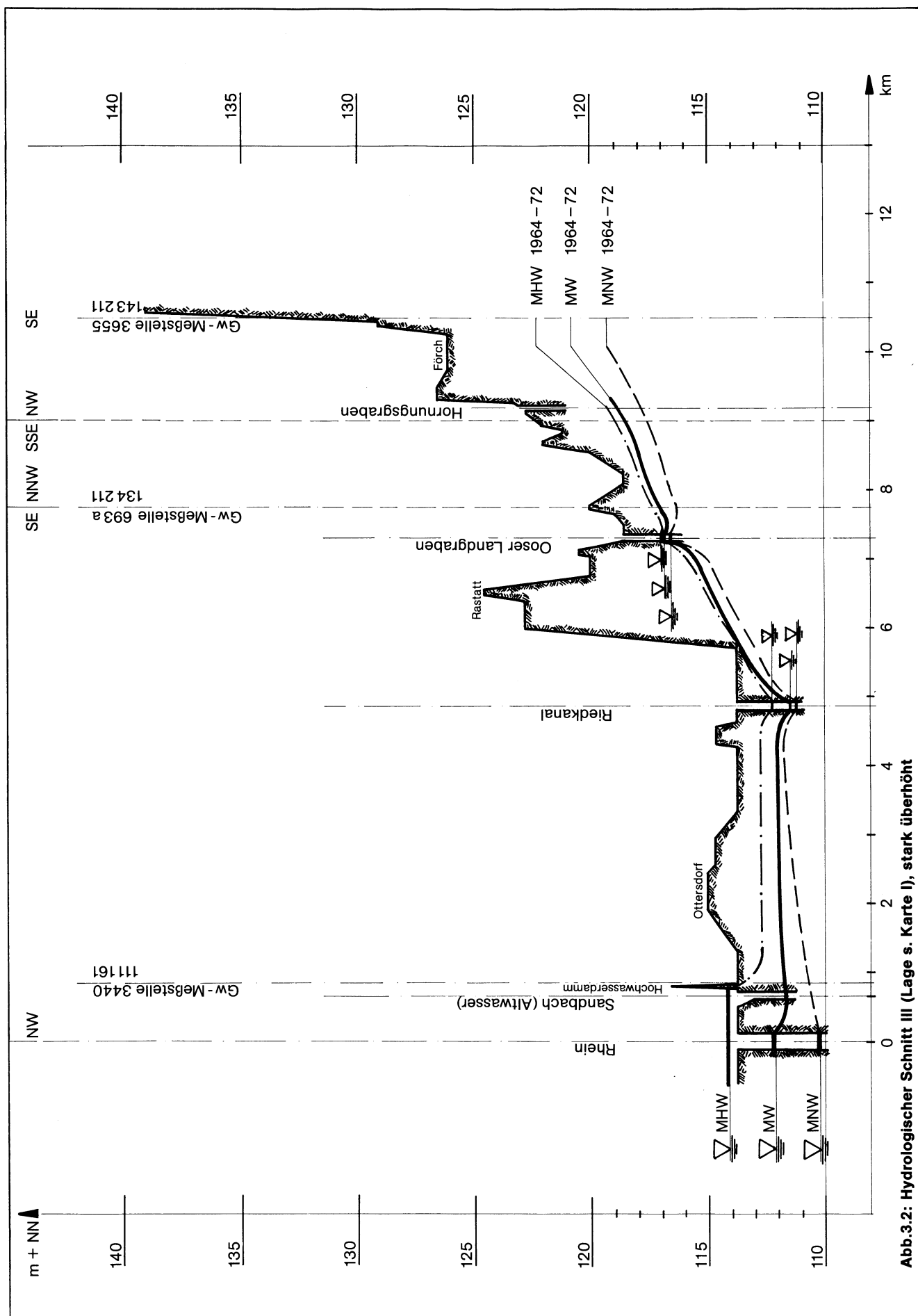
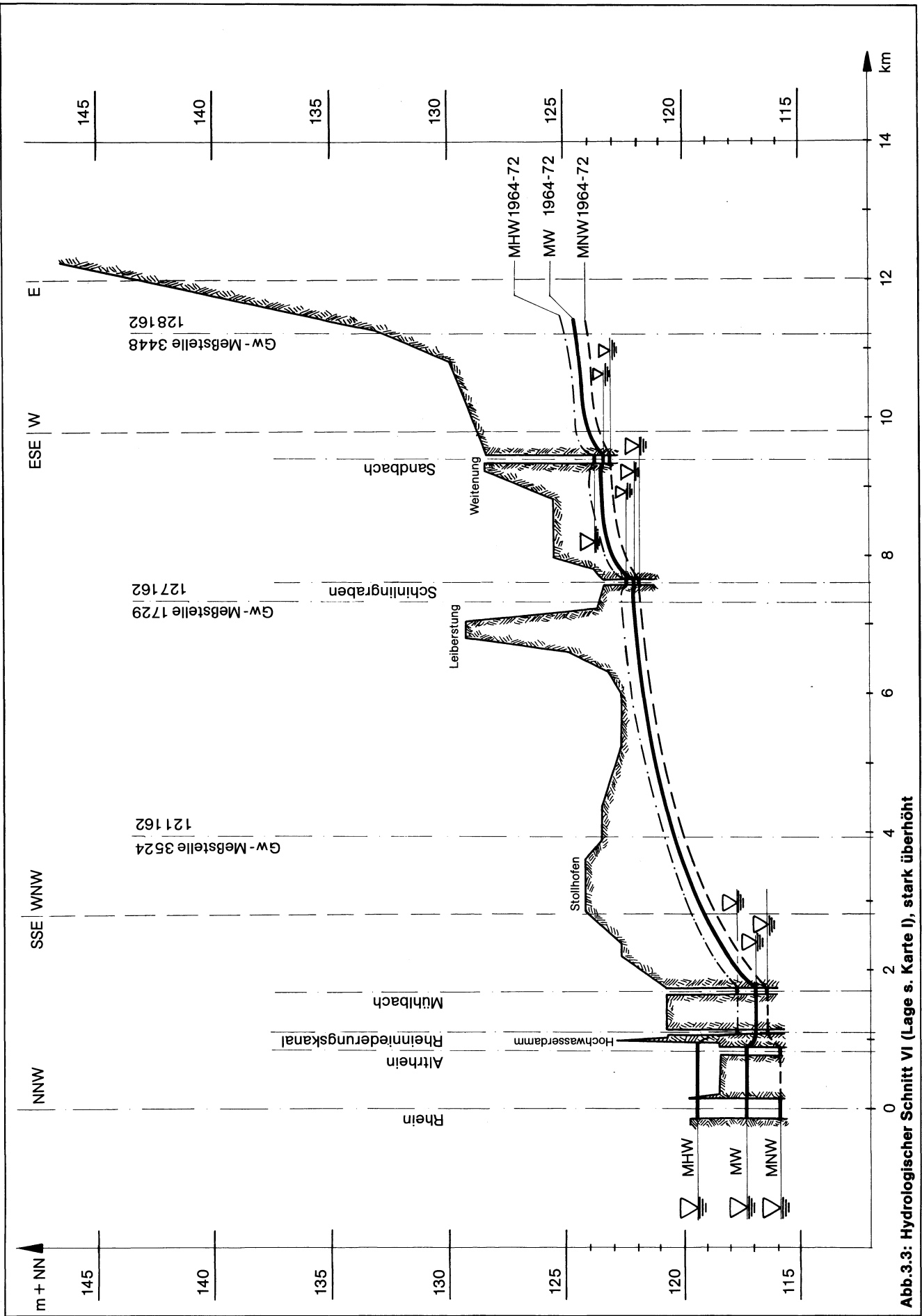


Abb.3.2: Hydrologischer Schnitt III (Lage s. Karte I), stark überhöht



zeitigen Änderungen am größten, sie erreichen Werte von über 2m. Die Schwankungen nehmen bis zum Hochgestade auf unter 0,5m ab. Ab dem Hochgestade ändert sich insbesondere in der nördlichen Niederterrasse der Charakter der Grundwasserstandsganglinien. Die Ganglinien sind durch einen wesentlich ruhigeren Verlauf gekennzeichnet, wobei innerhalb eines Jahres Wasserspiegelunterschiede von etwa 1,5m zu beobachten sind. Die Meßstellen in der Kinzig-Murg-Niederung zeigen einen Verlauf ähnlich dem in der Rheinniederung mit kurzzeitigen Schwankungen von maximal 1,5m. Während die Unterschiede der Jahresmittelwerte in der Niederterrasse und der Kinzig-Murg-Niederung in der Größe der kurzzeitigen Schwankungen liegen, ändern sich die Jahresmittelwerte der Grundwasserstände in der Rheinniederung um 0,5m. Am Hochgestade sind die Schwankungen am geringsten.

Die flächenhafte Verteilung kurzfristiger Wasserstandsschwankungen kann Karte IV entnommen werden. Die Wasserstände am 27.3.1972 waren insgesamt sehr niedrig, der Rheinabfluß bei Maxau betrug $448 \text{ m}^3/\text{s}$. Am 25.6.1973 betrug der Rheinabfluß $2810 \text{ m}^3/\text{s}$ bei sonst ähnlichen hydrologischen Verhältnissen zu beiden Zeitpunkten. Während sich die Grundwasserstände in Niederterrasse und Kinzig-Murg-Niederung außer in einigen eng begrenzten Bereichen wenig geändert haben, sind die Stände in Rheinnähe bis über 2m angestiegen. Die gezeichneten Wasserspiegelunterschiede östlich des Hochgestades sind im wesentlichen wohl dadurch zu erklären, daß die Grundwasserhöhengleichen zum 25.6.1973 aufgrund einer Stichtagsmessung und damit genauer konstruiert wurden.

3.4 Beeinflussung der Grundwasserstände

3.4.1 Vergleichende Betrachtung von Ganglinien

Die Grundwasserstände des Untersuchungsgebietes können großräumig beeinflusst werden von:

- Grundwasserneubildung aus Niederschlag
- Oberflächengewässern
- Grundwasserentnahmen.

Eine Methode zur Erfassung des Verhaltens von Grundwasserständen ist die vergleichende Betrachtung von Ganglinien. Dazu werden zweckmäßigerweise die Ganglinien der Grundwasserstände und die Ganglinie der Wasserstände oder -mengen der das Grundwasser beeinflussenden Ereignisse übereinander aufgetragen. Dies ist auszugsweise in Abb.3.4 geschehen. Das Grundwasser in der Rheinniederung reagiert sehr schnell und ausgeprägt auf Wasserstandsänderungen im Rhein. Beide Ganglinien verlaufen parallel. Beim Versuch, die Beeinflussung der Grundwasserstände in der Niederterrasse aus dem Ganglinienvergleich zu ermitteln, ist festzustellen, daß vielfach hohe Grundwasserstände mit hohen Rheinabflüssen, hoher Niederschlagsneubildung und oft mit hohen Murgabflüssen zusammenfallen. Grund dafür ist jeweils eine einheitliche großräumige Wetterlage. Insbesondere in den trockenen Jahren nach 1970 lassen sich jedoch bei hohen Rheinabflüssen und nahezu fehlender Versickerung von Niederschlägen die Einflüsse trennen. Demnach werden die Grundwasserstände der Niederterrasse nicht vom Rhein, sondern von der Neubildung aus Niederschlag beeinflusst. Das Grundwasser steigt mit einer Verzögerung von ein bis zwei Monaten nach hohen Neubildungsraten an, um danach allmählich – nach 1970 über mehrere Jahre hinweg – mit einem Verlauf ähnlich den Trockenwetterauslaufkurven von Fließgewässern zu fallen.

Eindeutige Schlüsse auf einen möglichen großräumigen Einfluß der Murg sind mit diesem Verfahren nicht möglich. Hohe Murgabflüsse fallen stets mit hohen Rheinabflüssen oder mit großen Versickerungsmengen aus dem Niederschlag zusammen. Desweiteren sind die Murgwasserstände unterhalb Rastatt durch Rückstau von den Rheinwasserständen beeinflusst. Da die übrigen Fließgewässer des Untersuchungsraumes vielfach im Gebiet entspringen, werden deren Wasserführungen von den Grundwasserständen beeinflusst. Innerhalb des Untersuchungsgebietes gibt es kein Wasserwerk, dessen Entnahmen bisher die Grundwasserstände in einem größeren Bereich merklich beeinflussen. Für das nördlich des Untersuchungsgebietes gelegene Wasserwerk Mörscher Wald der Stadt Karlsruhe konnte festgestellt werden, daß in einer Entfernung von etwa 2km südlich des Wasserwerkes ein Einfluß der Entnahmen gegenüber dem der Grundwasserneubildung auch langfristig nicht mehr eindeutig nachzuweisen ist. Diese Feststellung war insbesondere für die Wahl der Modellgrenzen (Kap.5) wichtig.

3.4.2 Mathematisch-statistische Untersuchungen

Mit Hilfe der mathematischen Statistik wurden die räumlichen und zeitlichen Zusammenhänge zwischen den Grundwasserständen und den diese beeinflussenden Ereignissen analysiert. Dazu boten sich Kreuzkorrelationsanalysen an. Für zwei Zeitfolgen wird für verschiedene Zeitverschiebungen zwischen den beiden Ereignissen der jeweilige Korrelationskoeffizient berechnet [30]. Eine Zeitfolge bilden dabei stets die Grundwasserstände an einer der 73 verwendeten Meßstellen über die Jahresreihe 1965/72. Die Kreuzkorrelogramme wurden zur Beurteilung der Aussagekraft des maximalen Korrelationskoeffizienten und der zugehörigen Zeitverschiebung gezeichnet.

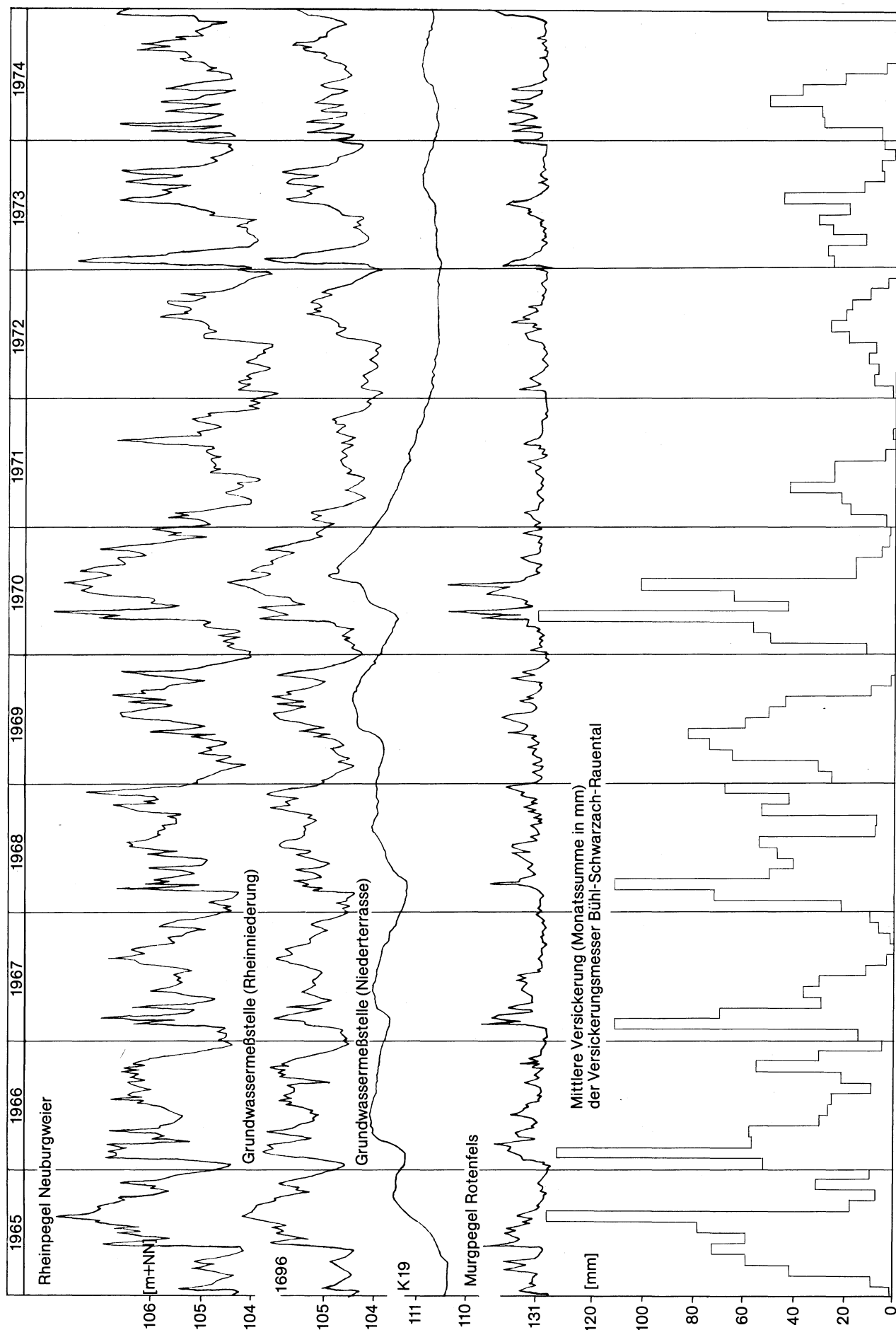


Abb.3.4: Ganglinien der Wasserstände von Rhein, Murg, zwei Grundwassermeßstellen und der Sickerwassermengen der Reihe 1965/1974

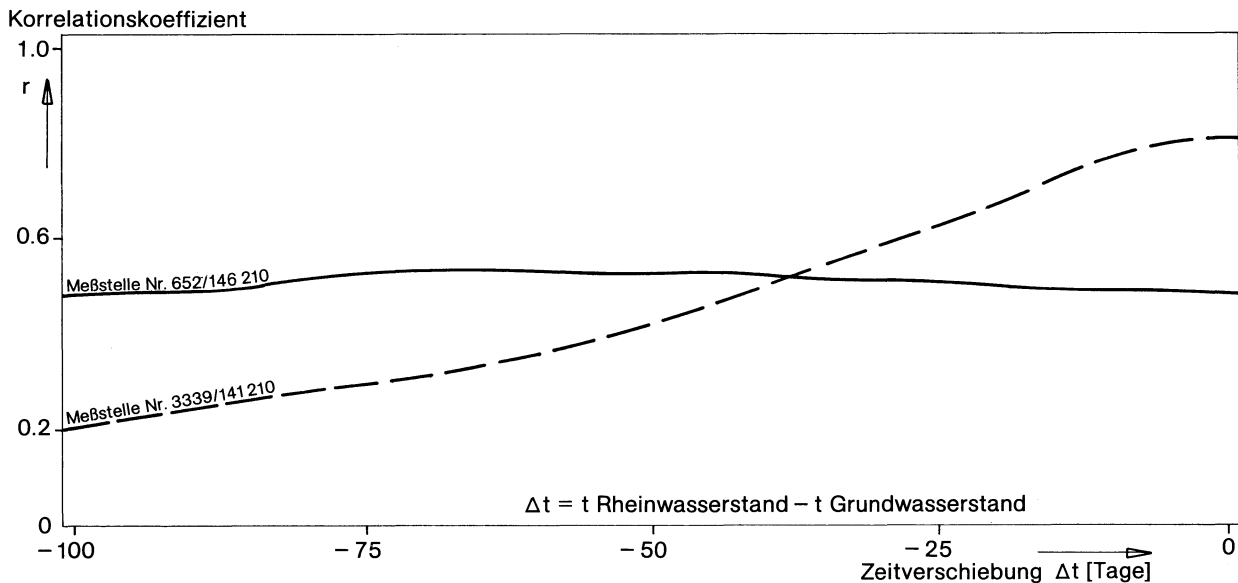


Abb. 3.5: Beispiele von Kreuzkorrelogrammen des Zusammenhangs zwischen Rhein- und Grundwasserständen

Die Berechnung des Rheineinflusses unter Verwendung des Pegels Neuburgweier zeigte nur unwesentliche Unterschiede bei Verwendung von Tageswerten, Wochen-, Monats- und Halbjahresmitteln. Das Maximum des Korrelations-Koeffizienten war umso ausgeprägter, je größer dessen Absolutwert wurde. Daraus ist zu schließen, daß bei hohem Maximum eine Zeitverschiebung vorhanden ist, bei niedrigem Maximum eine Zeitverschiebung zwischen Rhein- und Grundwasserstand nicht nachweisbar wird. Als Beispiel sind in Abb.3.5 die Diagramme je eines Falles mit hohem und niedrigem Maximum wiedergegeben.

Um gebietsmäßig Aussagen über den Zusammenhang zwischen Rhein- und Grundwasser machen zu können, wurden in Abb.3.6 die Linien gleicher maximaler Korrelationskoeffizienten mit zugehöriger Zeitverschiebung aufgetragen. Die Meßstellen in der Rheinniederung haben alle maximale Korrelationskoeffizienten über 0,7 bei einer Zeitverschiebung von im Mittel 4,2 Tagen. Hier ist ein erheblicher Rheineinfluß vorhanden. Alle Meßstellen mit geringem maximalem Korrelationskoeffizienten und hoher, aber nicht charakteristischer Zeitverschiebung liegen in der nördlichen Niederterrasse. Der Rhein übt hier nahezu keinen Einfluß auf die Grundwasserstände aus. Eine Zwischenstellung hinsichtlich Zeitverschiebung und maximalem Korrelationskoeffizienten zeigt sich in der südlichen Niederterrasse und in der Kinzig-Murg-Niederung. Ein Zusammenhang zwischen der Entfernung der Meßstellen vom Rhein und der Zeitverschiebung, aus dem sich die Laufzeit einer Welle durch den Grundwasserleiter ergäbe, ist nicht erkennbar.

Das unterschiedliche Verhalten in den drei Teilräumen ist durch die Flurabstände und Deckschichten begründet. Die meist schluffigen oder schluffig-tonigen Deckschichten (Auelehne) der Rheinniederung in Verbindung mit den hier herrschenden geringen Flurabständen führen zu teilgespannten Grundwasserverhältnissen. Damit ist die beobachtete kurzfristige Abhängigkeit der Grundwasserstände von den Rheinwasserständen vorwiegend ein Druckproblem. Eine Übersichtsrechnung soll dies verdeutlichen. Die durchschnittliche Breite der Rheinniederung im Raum Rastatt beträgt 5 km, der betrachtete Abschnitt ist 20 km lang. Im hier einen ungespannten Grundwasserspiegel bei 15% nutzbarem Porenraum um durchschnittlich 1 m zu erhöhen, wie dies oft zu beobachten ist, sind 15 Mio m³ Wasser erforderlich. Da diese Erhöhung in der gesamten Rheinniederung gleichzeitig erfolgt, könnte das Wasser nur vom Rhein oder von der Niederterrasse her einströmen. Im Untersuchungsgebiet strömt von der Niederterrasse im Mittel rd. 1 m³/s Grundwasser der Rheinniederung zu. Bei Rheinhochwasser strömen etwa 3 m³/s Grundwasser vom Altrheingebiet landseits (nach Grundwassermodell, Kap.5.1). Die Erhöhung der Grundwasserstände wäre mit diesen Zuflüssen erst nach über 40 Tagen erreicht. Die beobachtete Zeitverschiebung zwischen Rhein- und Grundwasserstand beträgt jedoch nur wenige Tage. Damit ist gleichzeitig zu erklären, warum im Bereich der Niederterrasse mit freiem Grundwasserspiegel keine kurzfristigen Wasserstandsänderungen vorhanden sind. Wasserstandserhöhungen bedeuten eine Erhöhung der im Grundwasserleiter gespeicherten Wassermengen, die vorwiegend aus Versickerung von Niederschlag stammen.

In der Kinzig-Murg-Niederung ist das Grundwasser wieder zumindest teilweise gespannt. Dadurch bewirkt die Versickerung von Niederschlägen ein schnelles Ansteigen der Grundwasserstände, die bei fehlender Neubildung ebenso schnell wieder fallen. Der Rhein kann die Wasserstände hier aufgrund der zwischen Rheinniederung und Kinzig-Murg-Niederung gelegenen Zone mit freiem Grundwasser in der Niederterrasse nicht beeinflussen. Der direkte Nachweis des Einflusses der Grundwasserneubildung aus Niederschlag auf die Grundwasserstände mittels der Korrelationsanalysen führte zu keinen interpretierbaren Ergebnissen. Grund dazu dürften die komplexen Vorgänge in der ungesättigten Bodenzone sein. Ein spezieller Einfluß der Murg konnte mit den Korrelationsanalysen ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

Nahe am Nordrand des Untersuchungsgebietes liegt das Wasserwerk Mörscher Wald, dessen Förderung hohe jährliche und monatliche Schwankungen hat. Der Einflußbereich (Absenktrichter) mußte für die Festlegung des Modellrandes (Kap.5.1) festgestellt werden. Der südliche Rand des Absenktrichters kann aus dem Höhenplan NW Mai 1964 bis April 1972 grob abgeschätzt werden, er liegt nördlich der Modellgrenze. Die statistischen Berechnungen zeigten ebenfalls keine Beeinflussung der Grundwasserstände durch die Entnahme innerhalb des Modellgebietes.

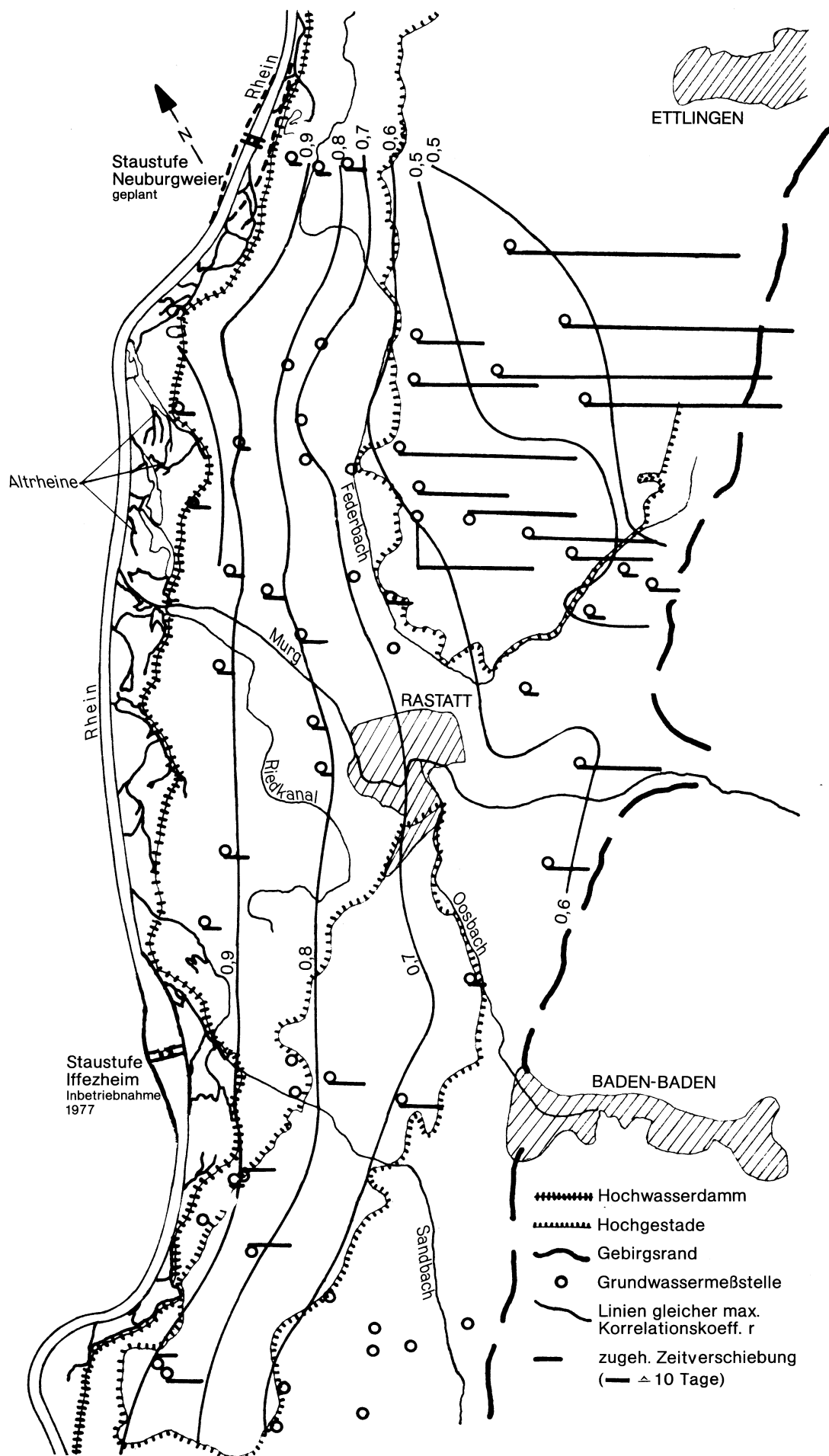


Abb.3.6: Korrelationskoeffizienten und Zeitverschiebung zwischen Rhein- und Grundwasserständen

3.5 Langfristiges Verhalten

Mit den seit 1913 vorhandenen Grundwassermeßstellen kann punktuell das längerfristige Verhalten der Grundwasserstände beurteilt werden. Dabei besteht die Schwierigkeit, daß 1923 die Beobachtungen im Untersuchungsraum weitgehend eingestellt und erst in den fünfziger Jahren wieder aufgenommen wurden. Aufgrund der in Abschnitt 3.4 dargelegten Abhängigkeiten der Grundwasserstände werden zunächst die beeinflussenden Größen auf ihr langfristiges Verhalten untersucht. Der Rheinwasserspiegel hat sich bei einem Abfluß von $540 \text{ m}^3/\text{s}$ in Basel in der Zeit zwischen 1910 und 1964 abgesenkt zwischen rund 20 cm bei Sölingen und etwa 0 bei Neuburgweier [29]. Für mittlere und höhere Abflüsse dürften die Veränderungen gleich bzw. geringer sein. Für den Rheinpegel Neuburgweier kann aus den Fünfjahresmitteln (Abb.3.7) langfristig kein erkennbarer Trend abgelesen werden. Hier wie bei allen folgenden Trendbetrachtungen ist zu berücksichtigen, daß zufällig die am Anfang der Beobachtungsreihe gelegene Periode 1914–18 relativ naß und die am Ende gelegene Periode 1971–75 relativ trocken war. Ab 1914 ist bei den Niederschlägen (Station Karlsruhe) ebenfalls kein Trend erkennbar. Dies gilt sowohl für die Winterniederschlagshöhe, die für die Höhe der Grundwasserneubildung von besonderer Bedeutung ist, als auch für die Jahresniederschlagshöhe. Der Vergleich des mittleren Rheinwasserstandes mit der mittleren Niederschlagshöhe verdeutlicht den Parallellauf beider Ereignisse. Die Murg wird aufgrund ihres geringen eigenständigen Einflusses in die langfristigen Untersuchungen nicht einbezogen. Für die Grundwasserentnahmen sind bisher keine langfristigen Beobachtungsdaten verfügbar.

Die 5-Jahres-Mittel der Wasserstände an 11 Beobachtungsbrunnen sind in Abb.3.7 aufgetragen. An der Meßstelle Nr. 763/152 162 ist – wie bei Rhein und Niederschlag – langfristig kein Trend vorhanden, obwohl sie in der Nähe des korrigierten Sulzbachs liegt. Die mittleren Wasserstände trockener Perioden entsprechen einander ebenso wie diejenigen nasser Perioden. An Meßstellen in Rheinnähe (Nr.663/103 161 und 729a/133 162 der Abb.3.7) ist ein relativ geringes Absinken der Wasserstände in der Größe des Absinkens der Rheinwasserstände zu beobachten. Alle anderen Meßstellen zeigen größere Absenkwerte der Grundwasserstände. Wie den Meßstellen mit relativ lückenloser Beobachtung zu entnehmen ist, erfolgte die Absenkung der Grundwasserstände hauptsächlich in den dreißiger Jahren.

Hierfür sind in erster Linie Veränderungen an den Gewässern verantwortlich. Südlich der Murg wurde 1934/35 der Riedkanal ausgebaut, nördlich der Murg wurden 1937 der Schmidtbach und teilweise der Federbach um etwa 0,5m tiefer gelegt. Diese Maßnahmen zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Nutzung in der Rheinniederung hatten flächenhafte Entwässerungsmaßnahmen zur Folge. Sie wurden auch in Teilgebieten der Kinzig-Murg-Niederung durchgeführt. Infolge dieser Tieferlegung der Grundwasservorfluter haben sich die Grundwasserstände auf weite Flächen, auch in der nördlichen Niederterrasse (Meßstelle Nr. 633a/156 210), auf einem niedrigeren Niveau eingestellt.

Die Grundwasserverhältnisse in der Rheinniederung könnten vor diesen Gewässerausbauten gegenüber heute durch größere Schwankungen der Stände infolge der Schwankungen der Rheinwasserstände geprägt gewesen sein. Die stabilisierenden Vorfluter fehlten damals zum Teil. Der Talweg des Grundwassers lag näher am Rhein. Die Flurabstände waren besonders in der Nähe des Hochgestades geringer als heute.

An den Meßstellen Nr.677/124 211 und 720a/133 161 ist ab 1946 eine fallende Tendenz der Grundwasserstände zu erkennen. Dies ist jedoch keine großflächige Erscheinung, sondern durch mittelbar benachbarte Grundwasserentnahmestellen zu erklären.

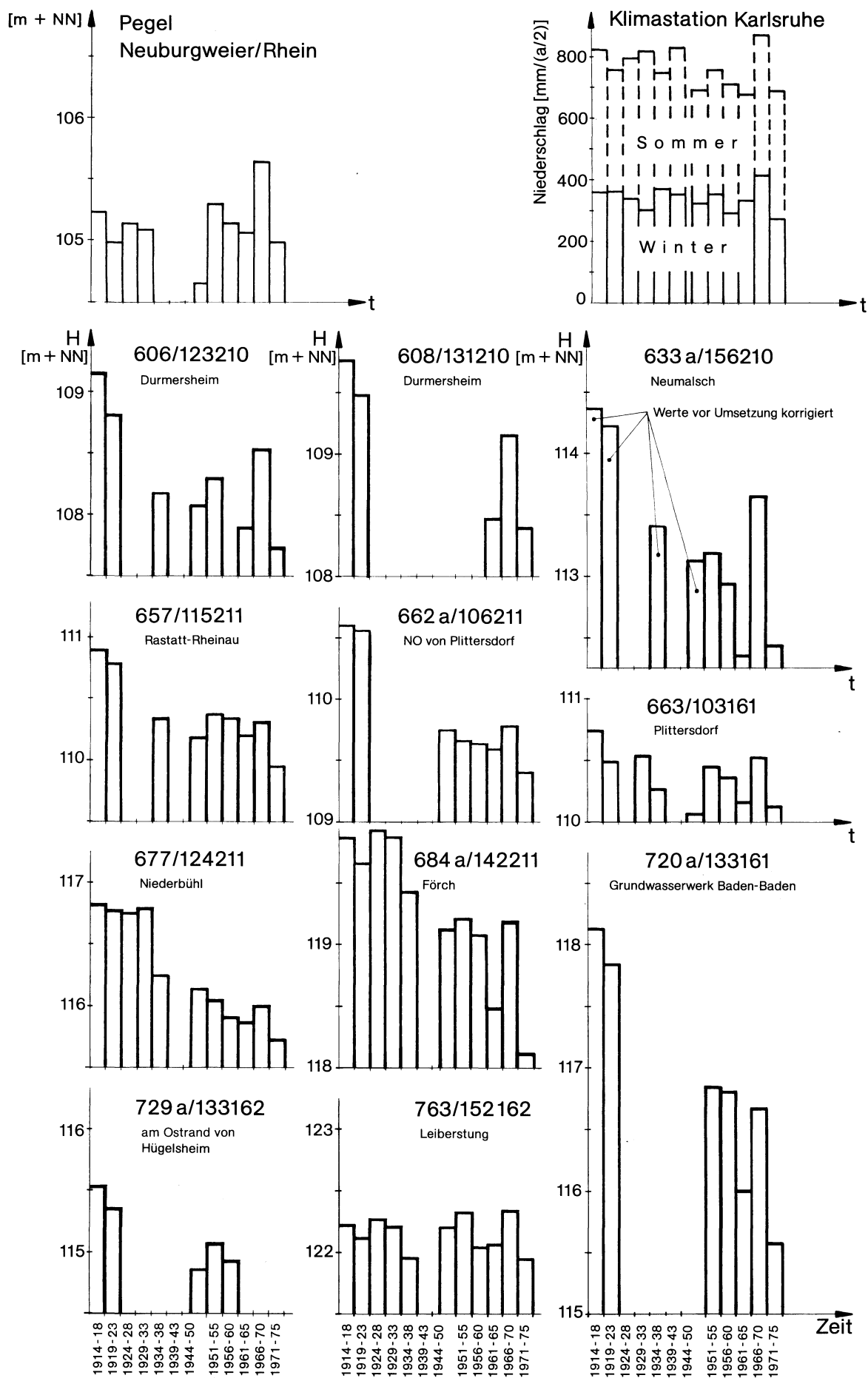


Abb.3.7: 5-Jahres-Mittel der Reihe 1914/1975 von Rheinwasserstand, Niederschlagshöhe und Grundwasserständen

4. Hydrochemie des Grundwassers

(W. ENGESSER und B. JUNKER)

4.1 Verwendetes Datenmaterial

Die Hydrochemischen Karten (Abb. 4.2–4.9) basieren auf rund 60 Vollanalysen, deren Entnahmepunkte in die Übersichtskarte (Abb. 4.1) eingetragen sind. Dabei wurde unterschieden nach Art der Entnahmestelle und nach dem Zeitraum der Entnahme. Erfaßt wurden alle öffentlichen Trinkwasser-Entnahmestellen sowie die Grundwassermeßstellen im Bereich bestehender Mülldeponien und älterer aufgelassener Müllkippen. Die Lage dieser Mülldeponien und -kippen ist aus Karte II zu entnehmen. Ergänzend wurden die Analysen weniger Industriebrunnen mitverwendet.

Das untersuchte Gebiet umfaßt rund 330 km², so daß durchschnittlich 6 km² durch eine Analyse belegt sind. Tatsächlich ist das hydrochemische Meßnetz noch weitmaschiger, da im Bereich der Mülldeponien mehrere Grundwassermeßstellen beprobt wurden. Wertet man diese jeweils als eine Meßstelle, so verbleiben nur noch rund 40 verschiedene Probeentnahmebereiche. Die Belegdichte liegt damit bei einer Analyse auf 9 km². Dieses weitmaschige Meßnetz läßt in weiten Teilen der Karten nur unsichere Abgrenzungen in Bereiche gleicher Konzentrationen der einzelnen dargestellten Parameter zu. Einige Grenzziehungen erfolgten in Anlehnung an die im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung des übrigen Oberrheingebiets bisher gemachten Erfahrungen [13, 14, 15].

Das Analysenmaterial ist hinsichtlich Entnahmezeitpunkt, Entnahmekarte, Entnahmetiefe und Analytiker heterogen, so daß die flächenhafte Darstellung der hydrochemischen Zusammenhänge zusätzlich erschwert wird.

Die genannten Schwierigkeiten zwangen daher zur großflächigen Darstellung im Maßstab 1 : 200 000. Die Karten sind unter diesen Umständen nur als grob vereinfachende Darstellungen der hydrochemischen Grundzüge – wie z.B. der Einflüsse des Rheins oder der Schwarzwaldflüsse – aufzufassen. Sie gelten im wesentlichen für den Oberen Grundwasserleiter.

Zu Verhalten und Eigenschaften der im folgenden behandelten Parameter wird auf MATTHESS [20] verwiesen.

4.2 Gesamthärte

Mit Rücksicht auf manche Erfordernisse der Praxis wurde für die vorliegende Arbeit die alte Maßeinheit °dH gewählt (2,8° dH = 1 mval/l).

Die Gesamthärte setzt sich aus temporärer oder Karbonathärte und bleibender oder Nichtkarbonathärte zusammen. Die Karbonathärte wird von den Hydrogenkarbonaten und den Karbonaten der Erdalkalien gebildet. Die Nichtkarbonathärte ist allen übrigen Ionen, im wesentlichen den Sulfationen zuzuordnen.

Den überwiegenden Anteil an der Gesamthärte bildet die Karbonathärte. Sie zeigt in der Regel keine sprunghaften Veränderungen und wird vom karbonatischen Anteil des durchströmten Gesteins beeinflusst.

Die Nichtkarbonathärte hängt dagegen sowohl von den Gesteinen des Grundwasserleiters als auch von anthropogenen Verunreinigungen ab, welche sich gleichzeitig in erhöhten Sulfat-, Chlorid-, Nitrat- oder Phosphatgehalten bemerkbar machen.

Die Gesamthärte beinhaltet damit sowohl die anthropogene Belastung des Grundwassers als auch den Einfluß der durchflossenen Gesteine. In Verbindung mit der Karbonathärte macht sie hydrogeologische Zusammenhänge deutlich. Sie ist deshalb ein guter Indikator zur Beurteilung von Wässern.

Der Karte der Gesamthärte (Abb. 4.2) liegt eine Abstufung von jeweils 4° dH zugrunde, die sich für das gesamte Oberrheingebiet als geeignet erweist, da auch geringe Härteunterschiede im allgemeinen noch wiedergegeben werden.

Sehr weiche Wässer (unter 4° dH) gibt es im untersuchten Gebiet nicht, da die Wässer aus dem karbonatfreien Grundgebirge beim Eintritt in die karbonathaltigen quartären Lockergesteine des Rheingrabens sofort aufgehärtet werden. Deutlich zeichnen sich die Zuflüsse des weichen und sauerstoffreichen Schwarzwaldwassers bei Bühl, Baden-Baden und Rastatt ab. Neben der Geröllzusammensetzung der Schwemmfächer aus karbonatfreiem Schwarzwaldmaterial, wirken sich auch Flußwasserinfiltrationen aus. Die von den Schwemmfächern von Sandbach (Bühlott), Oosbach und Murg ausgehenden Zungen mittelharten Wassers bis 12° dH reichen bis an die Rheinaue heran. Die stärkste Auswirkung zeigt die Murg, die weiches Wasser (4°–8°) bis in das Stadtgebiet von Rastatt transportiert.

Gesamthärten zwischen 12° und 16° (ziemlich hart) sind im rheinnahen Bereich die Regel. Höhere Gesamthärten (16°–20°) treten in drei größeren Bereichen auf, die gewissermaßen als Härterücken die Infiltrationsbereiche von Sandbach, Oosbach und Murg voneinander trennen.

Der aufhärtende Einfluß der lößbedeckten Vorbergzone ist unverkennbar. Gesamthärten zwischen 20° und 24° (hart) sind auf zwei schmale Zonen beschränkt, die sich längs der Vorbergzone erstrecken. Im Bereich zwischen Steinbach und Sinzheim kann diese höhere Härte z.T. auch auf den intensiven Weinbau zurückgeführt werden. Ein weiteres kleines Gebiet erhöhter Gesamthärte (21,0° dH) findet sich im Hardtwald N Malsch. Da auch die Karbonathärte mit 17,9° gegenüber der Umgebung deutlich erhöht ist, sind neben anthropogenen auch geogene Ursachen zu vermuten.

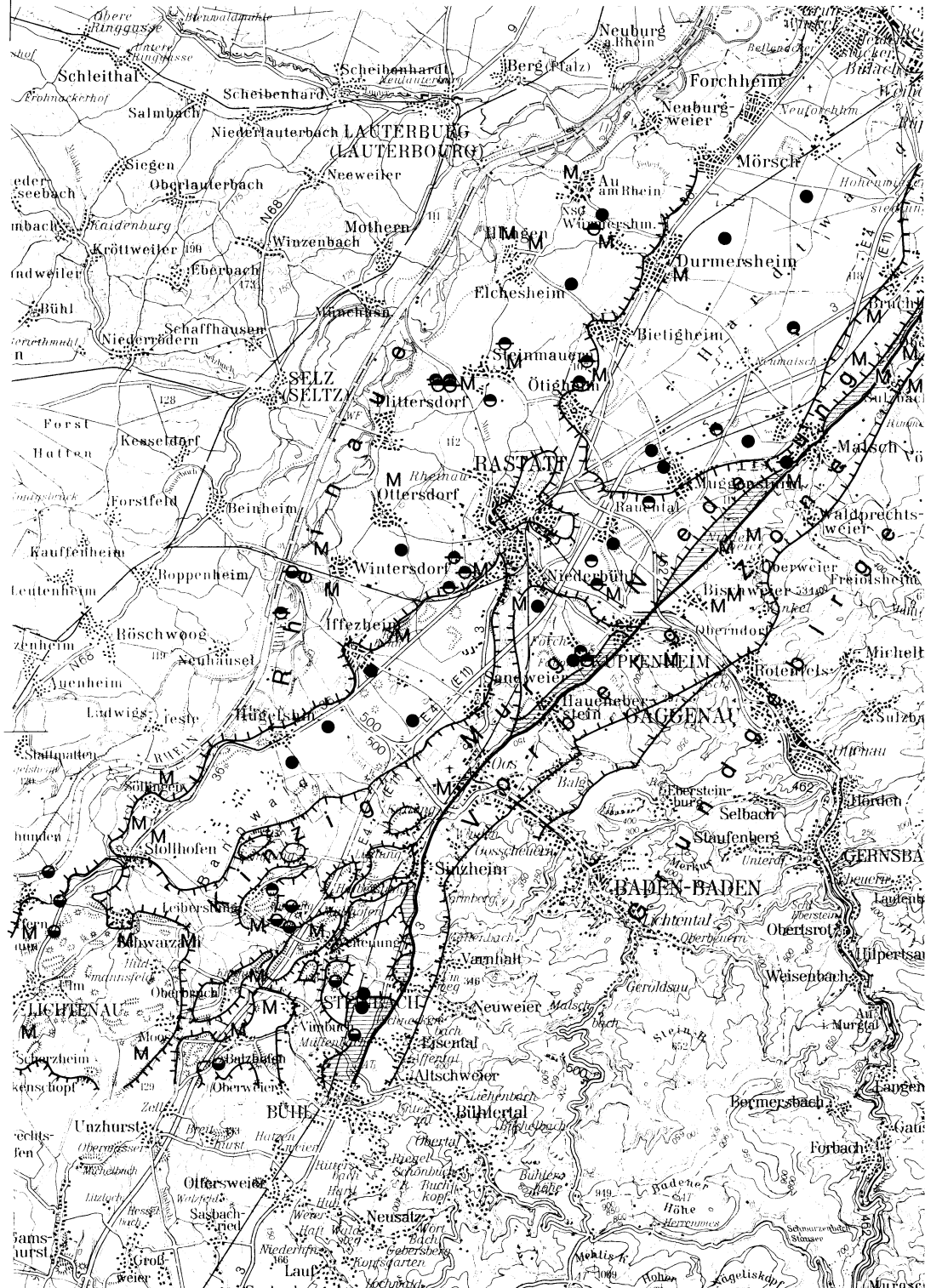
Gesamthärten über 24° dH treten nur SW Rastatt, SW Steinmauern und S Au a.Rh. auf. Sie sind ausschließlich auf engbegrenzte Verunreinigungen im Unterstrom von Mülldeponien zurückzuführen.

4.3 Karbonathärte



Die Grundzüge der Gesamthärteverteilung mit weicherem Wasser im Bereich der Schwemmfächer der größeren Schwarzwaldflüsse und den von der Vorbergzone beeinflussten dazwischenliegenden "Härterücken" gelten im wesentlichen auch für die Karbonathärte (Abb. 4.3). Die Einflüsse von Sandbach und Oosbach treten nur zurück, da sie durch die gewählte Härteabstufung von 8°–12° dH nicht sichtbar werden. Die ermittelten Karbonathärten in den Schwemmfächern dieser Flüsse sind jedoch immer um 1–2° niedriger als die in dieselbe Härtestufe fallenden Werte außerhalb der Schwemmfächer.

4.4 Sauerstoff

Redoxpotential und pH-Wert sind die geochemisch entscheidenden Größen, welche die Zusammensetzung der Wasserinhaltsstoffe bestimmen. Ob oxidierende oder reduzierende Bedingungen im Grundwasser herrschen,





Probeentnahmestellen

- Brunnen
- Pegel
- M Müllplätze
-  Niederterrasse
-  Löß auf Niederterrasse

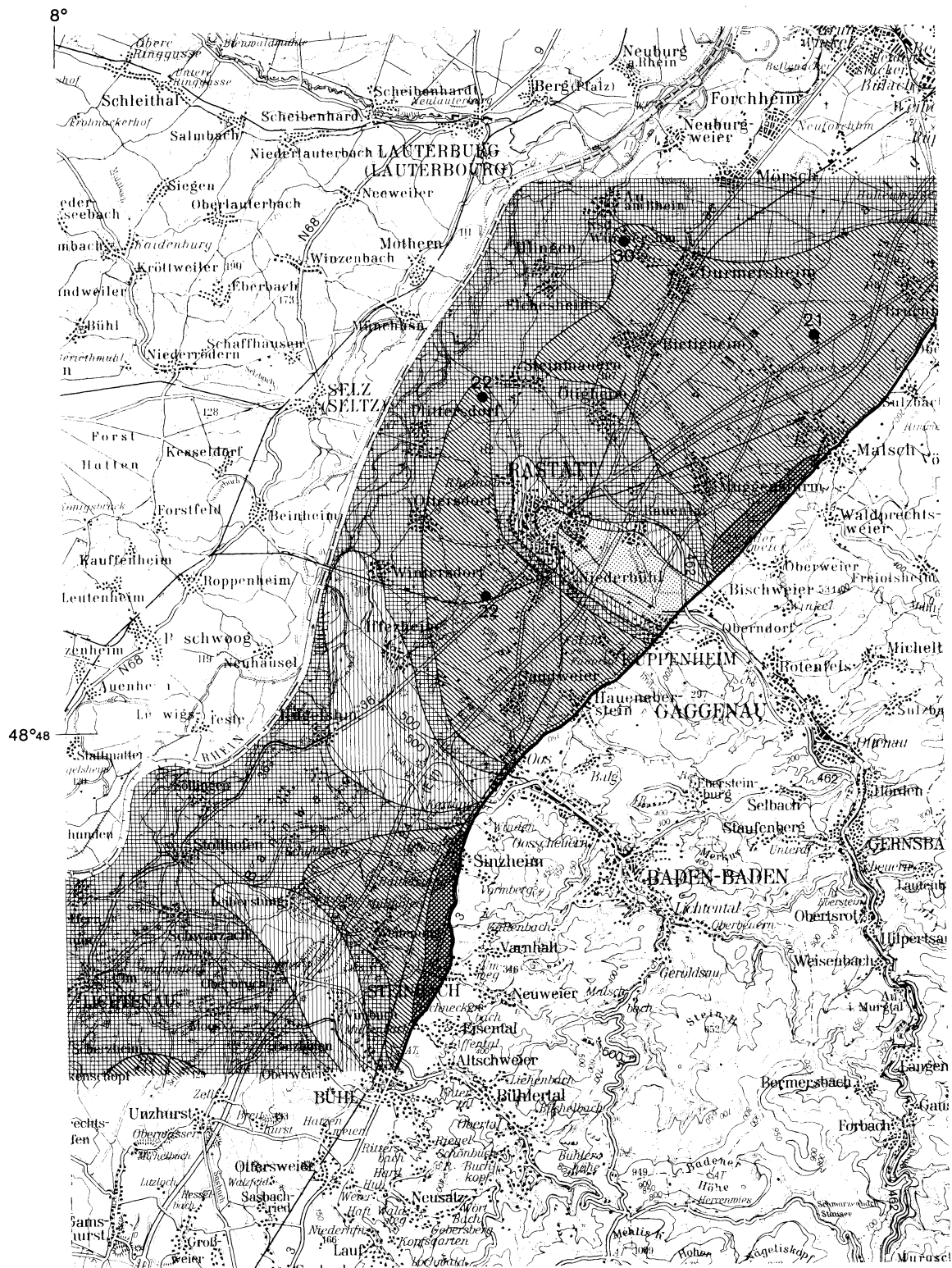
Probeentnahmezeiten

- Okt. 1976 – Apr. 1977
- Jan. 1976 – Sept. 1976
- Jan. 1970 – Dez. 1975

 Schwarzwaldrandverwerfung

 Grenze Locker-/Festgestein

0 2 4 6 8 10 km



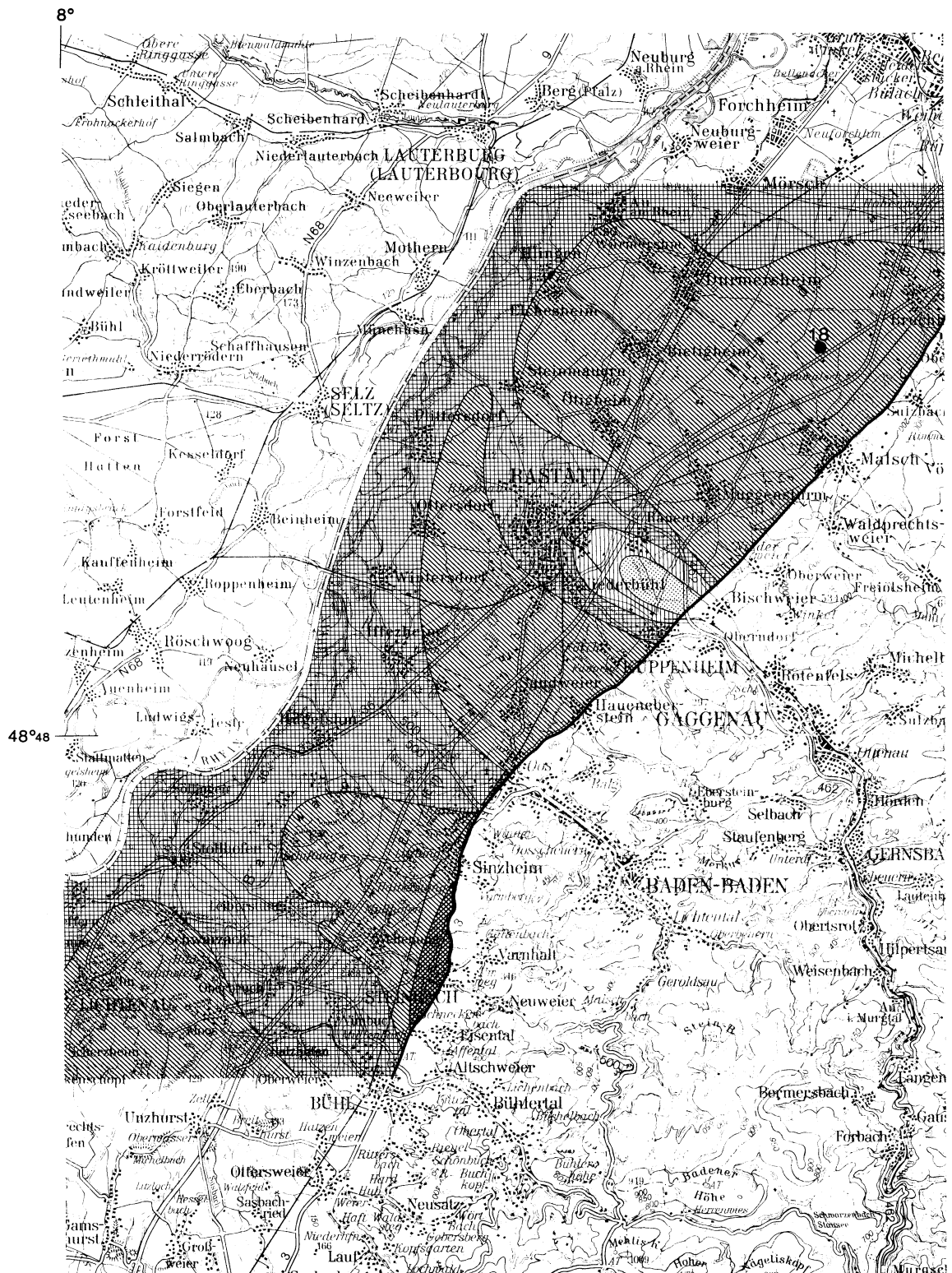










Abb. 4.3: Hydrochemie – Karbonathärte

°dH	mval/l	°dH	mval/l
	< 4		12–16
	4–8		16–20
	8–12	● 18	Einzelwert höher als Flächenabstufung
	< 1,4		
	1,4–2,9		
	2,9–4,3		
			4,3–5,7
			5,7–7,1

1:200 000

0 2 4 6 8 10 km

wird durch das Vorhandensein oder Fehlen von freiem Sauerstoff bestimmt.

Ein Grundwasser gilt als reduziert, wenn es unter 6 mg O₂/l enthält. Reduzierte Grundwässer weisen häufig höhere Eisen- und Mangangehalte sowie verminderte Sulfat- und Nitratgehalte auf.

Der Sauerstoff gelangt über das Sickerwasser in das Grundwasser. Teilweise wird er auch an der Grundwasser Oberfläche aus der Grundluft, d.h. aus der luftgefüllten Zone des Grundwasserleiters aufgenommen. Daher sind die Deckschichten mitentscheidend für den Sauerstoffgehalt eines Grundwassers. Sind sauerstoffzehrende Stoffe (organische Substanzen) vorhanden oder fehlt eine luftgefüllte Grundwasserleiter-Zone, so wird der Sauerstoffgehalt vermindert. Innerhalb des Aquifers nimmt der Sauerstoffgehalt nach der Tiefe zu allgemein ab.

Die Schwierigkeiten der kartenmäßigen Darstellung gelten in besonderem Maße für den Sauerstoff. Neben der unterschiedlichen Entnahmetiefe der Wasserproben wirken sich vor allem die unterschiedlichen Entnahmezeitpunkte stark aus, weil der Sauerstoffgehalt des Grundwassers jahreszeitlich schwankt. Der Schwankungsbereich in der Rheinaue innerhalb eines Jahres liegt teilweise zwischen 3 und 9 mg/l.

Auf der Karte (Abb. 4.4) wurde unterschieden nach Sauerstoffgehalten über 6 mg/l, 3–6 mg/l und unter 3 mg/l. Im Randbereich gegen den Schwarzwald sind die Wässer wegen der Einspeisung von Grundwasser nahezu sauerstoffgesättigt. Auch im übrigen randnahen Bereich liegen die Wässer über der 6 mg/l-Grenze, wobei sich die Schwemmfächer von Sandbach, Oosbach und Murg wiederum abzeichnen.

Der größte Teil der Rheinebene weist dagegen reduzierte Wässer mit einem Sauerstoffgehalt von 3–6 mg/l auf. Sauerstoffgehalte unter 3 mg/l kommen in einem kleinen Gebiet in der Rheinaue zwischen Greffern und Söllingen sowie in einer großen langgestreckten Zone nördlich Rastatt im Grenzbereich Niederterrasse/Rheinaue vor. Hier wirken sich torfige und anmoorige Ablagerungen am Fuße der Niederterrasse stark reduzierend aus.

4.5 Freie und kalkaggressive Kohlensäure

Der Kohlensäuregehalt des Grundwassers stammt teils aus der Atmosphäre, teils aus biologischen Abbauprozessen im Boden oder aus Mineralien.

Das Grundwasser enthält gelöstes CO₂-Gas und Hydrogenkarbonationen, wobei zwischen beiden ein gepuffertes System besteht, das für pH-Wert und Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht entscheidend ist. In Wässern, die nicht im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht stehen, wird überschüssige freie Kohlensäure als aggressive Kohlensäure wirksam.

Die Grundwässer der kalkfreien Schwarzwaldschotter enthalten höhere Gehalte an freier Kohlensäure und überschüssige aggressive Kohlensäure, während die Grundwässer der kalkreichen alpinen Schotter infolge Kalklösung im Gleichgewicht stehen oder ein Kohlensäure-Defizit aufweisen.

Die Karte (Abb. 4.5) zeigt eine stete Abnahme des Gehaltes an freier Kohlensäure vom Schwarzwaldrand zum Rhein hin, wobei die Schwemmfächer, insbesondere derjenige der Murg, wiederum als Ausbuchtungen hervortreten. Sie belegt damit ebenso wie die Karten der Härten und des Sauerstoffs eine starke Einspeisung von Schwarzwaldwässern in die Grabenfüllung. Diese Zufuhr von Schwarzwaldwässern erfolgt hauptsächlich über die infiltrierenden Flüsse und untergeordnet durch unterirdische Zuflüsse längs dem Schwarzwaldrand. Noch deutlicher wird dieser Schwarzwalteinfluß durch die Verbreitung der kalkaggressiven Kohlensäure hervorgehoben. Zwischen Bühl und Sinzheim ist der Gehalt an freier Kohlensäure etwas geringer als im übrigen Randbereich. Dies ist auf den in diesem Gebiet verbreiteten Löß zurückzuführen, der bei seiner Entkalkung freie Kohlensäure verbraucht und den vorhandenen Überschuß verringert.

4.6 Eisen

Das Vorkommen oder Fehlen von Eisen im Grundwasser hängt von seiner Oxidationsstufe und den pH-Bedingungen ab. Das im Boden weitgehend in unlöslichen FeIII-Verbindungen vorliegende Eisen wird in reduzierendem Milieu in die zweiwertige Form umgewandelt und geht in Lösung. In Wässern mit ausreichend Sauerstoff hingegen bleiben die FeIII-Verbindungen stabil. Aufgrund dieser direkten Abhängigkeit vom lokal und zeitlich stark schwankenden Sauerstoffgehalt des Grundwassers treten entsprechende Schwankungen des Eisengehaltes auf. Aus demselben Grund ist der Eisengehalt nach der Tiefe hin größeren Schwankungen unterworfen.

Sauerstoffdefizit allein bedingt nicht höhere Eisengehalte. In reduzierten Wässern, deren pH-Wert im basischen Bereich liegt, treten nur geringe Eisengehalte auf.

Im untersuchten Gebiet (Abb. 4.6) ist das Grundwasser weitgehend eisenfrei. Lediglich im südlichen Teil wurden Eisengehalte in einer langgestreckten Zunge über 0,1 mg/l ermittelt. In diesem Bereich, der den Rand der Niederterrasse und Teile der Kinzig-Murg-Niederung umfaßt, sind torfige Sedimente abgelagert, welche für die reduzierenden Verhältnisse verantwortlich sind. Innerhalb dieser eisenhaltigen Zone wurde ein Höchstwert mit 1,8 mg Fe⁺⁺/l beim Wasserwerk der Stadt Baden-Baden festgestellt (siehe Hydrogeologische Grundkarte R 26). Die in der Karte dargestellten Punkte mit erhöhten Eisengehalten SW Rastatt und S Malsch liegen im Unterstrom von Mülldeponien.

Der SE Elchesheim-Iltingen beobachtete hohe Eisengehalt mit zwischen 0,85 mg/l und 1,4 mg/l schwankenden Werten (Zeitraum September 1976 bis März 1977) liegt im Bereich des Wasserwerks Rheinwald (D 63) der Stadt Karlsruhe.

4.7 Mangan

Mangan tritt im Grundwasser meist zusammen mit Eisen auf, da sein Vorkommen in löslicher Form von denselben chemischen Bedingungen (Oxidationsstufe und pH-Wert) wie beim Eisen abhängt. In reduzierendem Milieu werden MnIII und MnIV-Verbindungen ebenfalls in die lösliche zweiwertige Form umgewandelt.

Im Untersuchungsgebiet (Abb. 4.7) ist das Grundwasser mit Ausnahme einzelner kleiner Gebiete manganfrei. Die höchste Konzentration mit 0,4 mg Mn⁺⁺/l wurde im Wasserwerk Rheinwald (D 63) ermittelt.

4.8 Chlorid

Der Chloridgehalt des Grundwassers wird allein durch die Lösung chloridhaltiger Salze im Untergrund (geogene Ursachen) und die Infiltration chloridhaltiger bzw. chloridarmer Wässer bestimmt. Ein erhöhter Chloridgehalt ist, sofern man geogene Ursachen ausschließen kann, ein brauchbarer Indikator für anthropogene Belastungen eines Grundwassers.

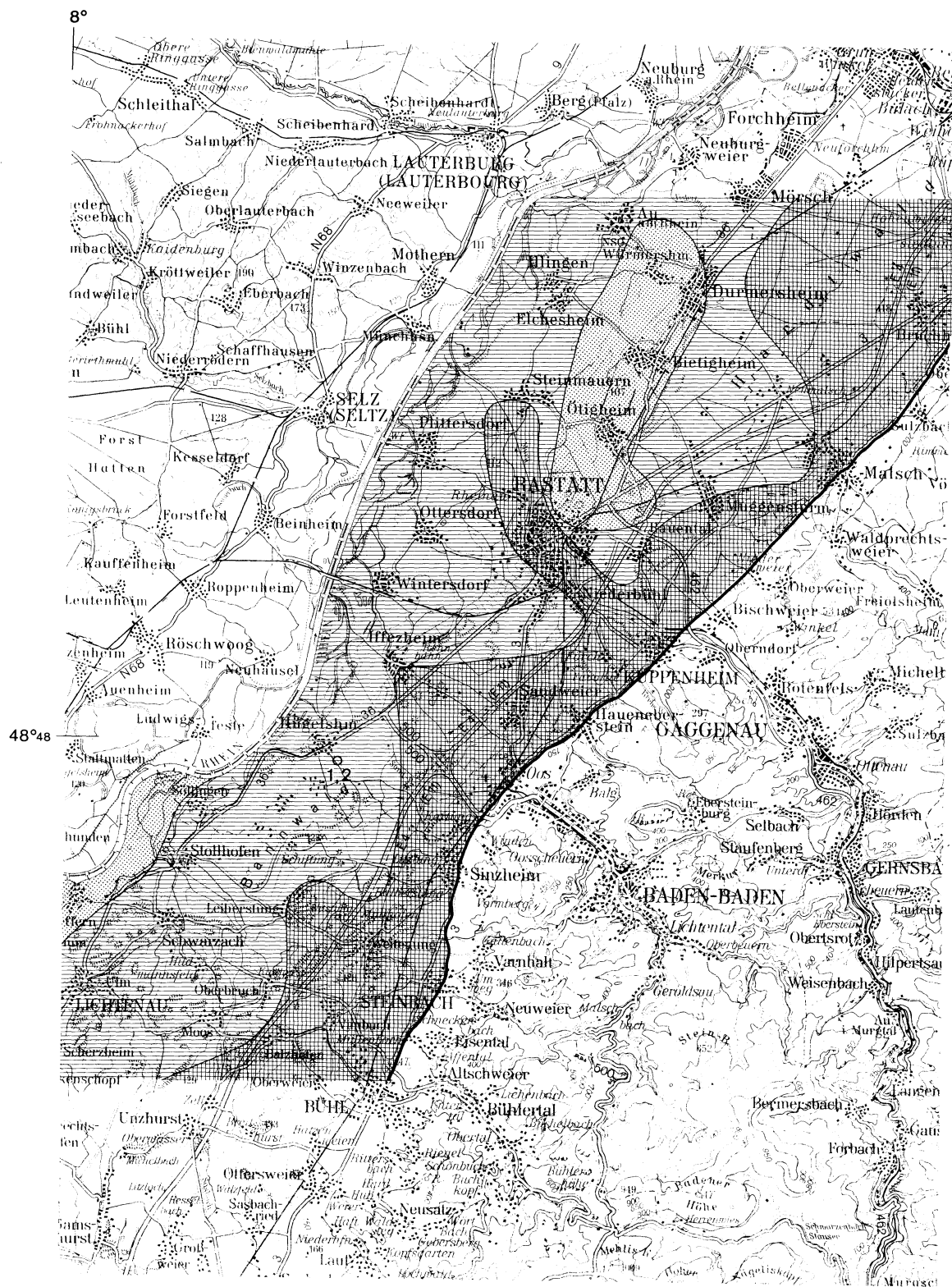
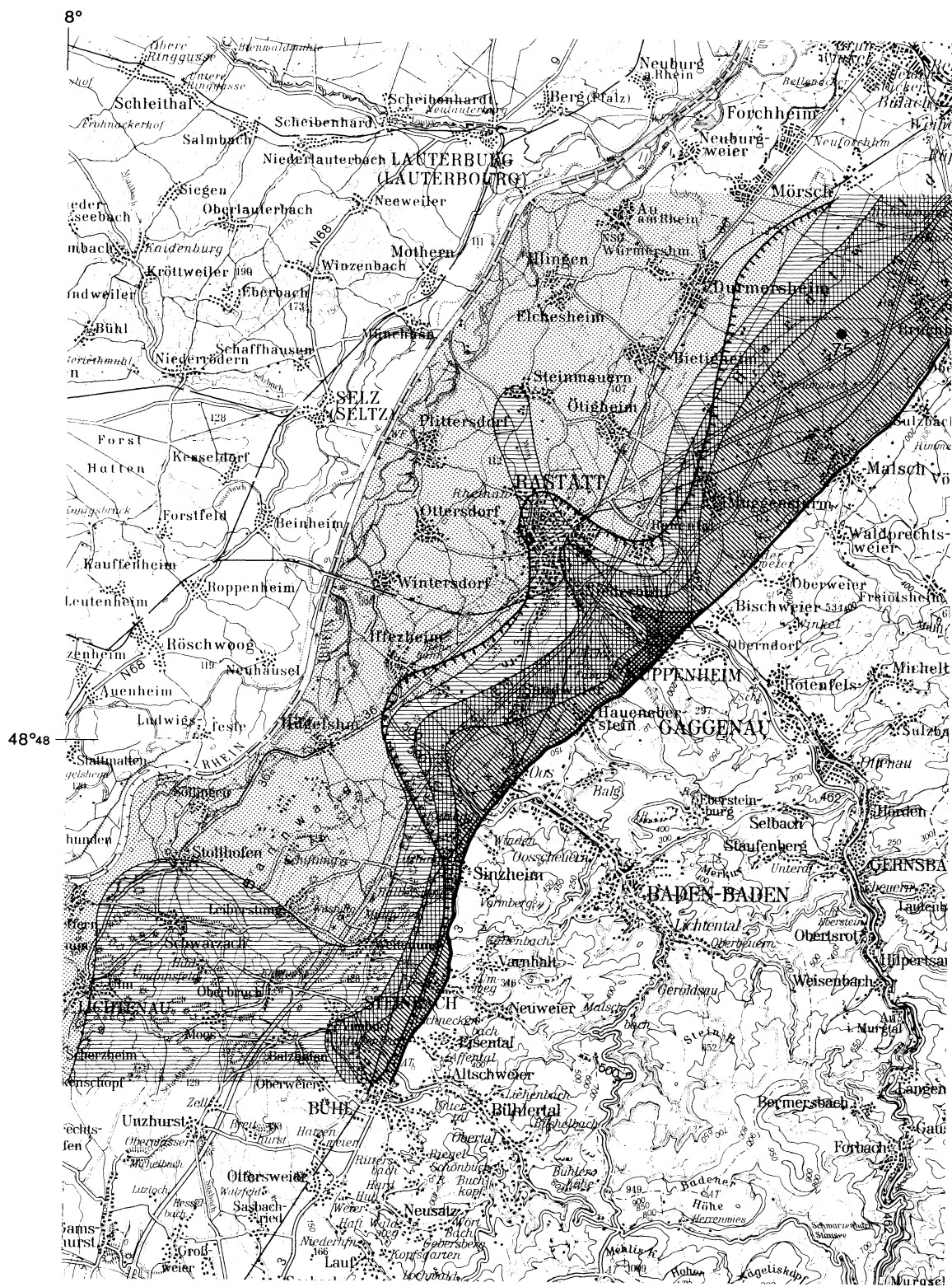


Abb. 4.4: Hydrochemie – Sauerstoff



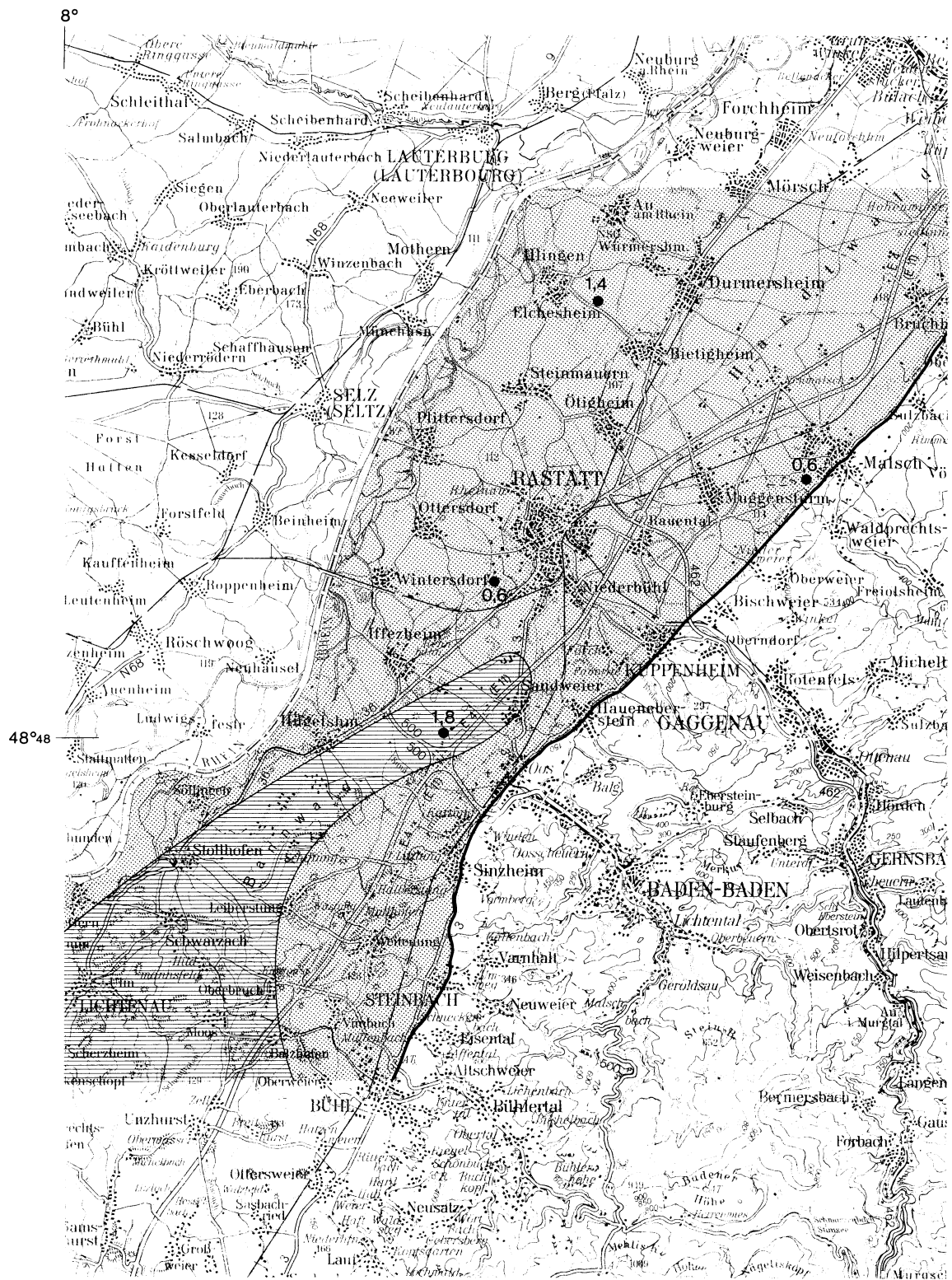
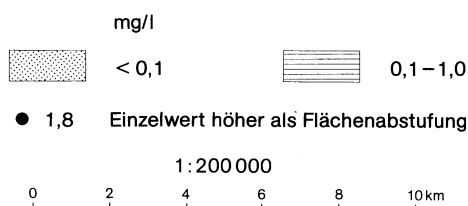
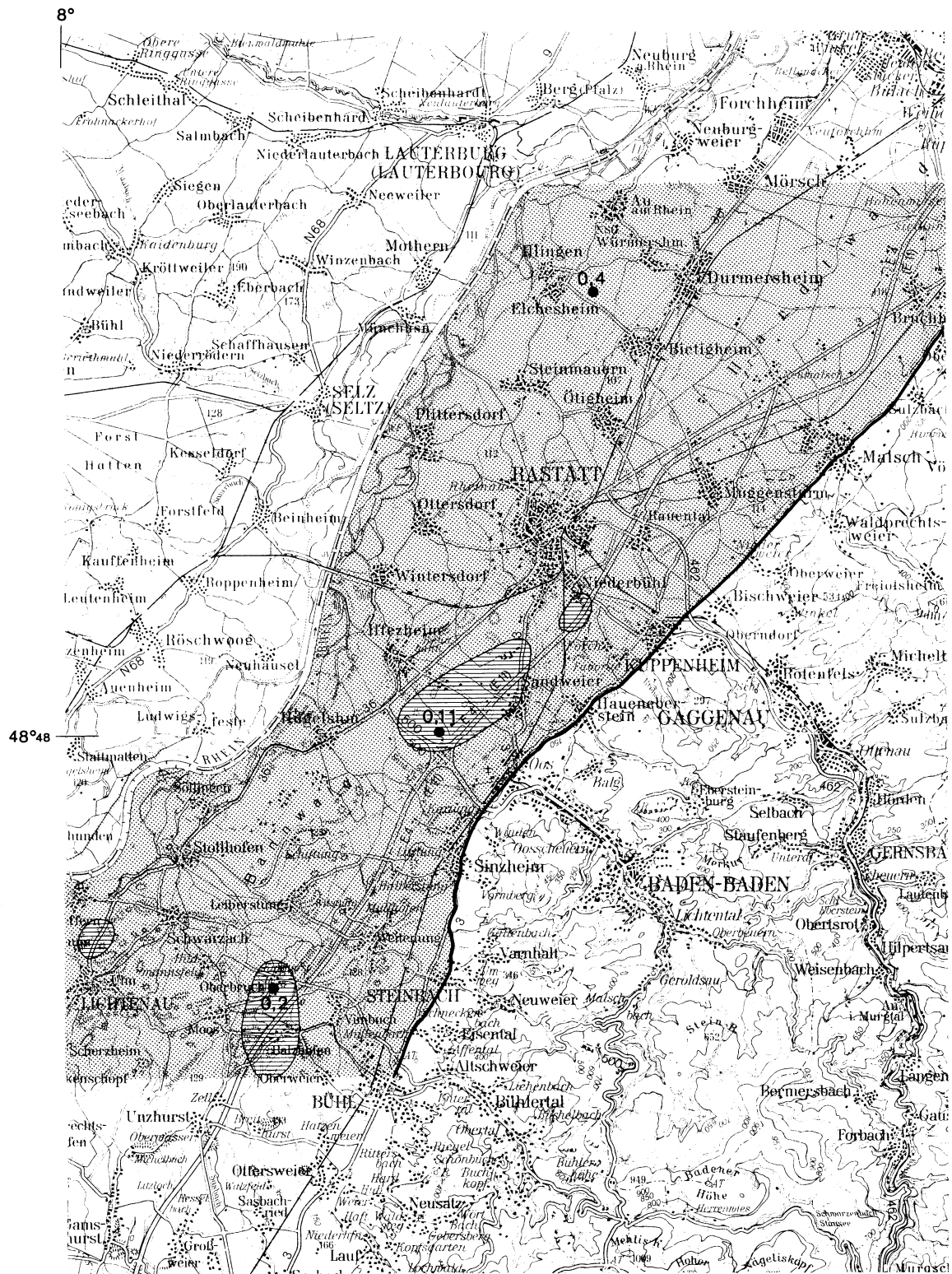


Abb. 4.6: Hydrochemie – Eisen





Chloridreiche Wässer sinken aufgrund ihres höheren spezifischen Gewichts ab, so daß im Grundwasser eine vertikale Konzentrationsverteilung entstehen kann. Die Darstellung der Chloridgehalte beruht auf Proben aus unterschiedlichen Tiefen, vorwiegend jedoch aus dem oberen Bereich des Aquifers. Wegen diesen Unsicherheiten kann die Karte (Abb. 4.8) die tatsächlichen Gegebenheiten nur in ihren Grundzügen wiedergeben.

Die höchsten Chloridgehalte mit Werten knapp über 100 mg/l wurden unmittelbar am Rheinufer festgestellt. Der Rhein selbst weist je nach Wasserführung Gehalte um 100 mg/l und darüber auf. Eine Abgrenzung dieser Rheinwasserinfiltrations-Uferzone mit Werten über 100 mg/l war nicht möglich.

Im Bereich der Rheinaue liegt der Cl-Gehalt zwischen 50 und 100 mg/l und belegt damit den weitreichenden Einfluß des Rheins. Der Bereich zwischen 25 und 50 mg/l wurde schematisch als Übergangszone abgegrenzt. Der weitaus größte Teil des Untersuchungsgebietes wird von der Stufe mit geringen Chloridgehalten (10–25 mg/l) eingenommen. In ihr treten nur stellenweise höhere Chloridgehalte auf, die eindeutig auf lokale anthropogene Belastungen des Grundwassers zurückzuführen sind.

Die am Schwarzwaldrand ausgeschiedene Zone zwischen Steinbach und Sinzheim mit Chloridgehalten über 25 mg/l ist geogen bedingt (Tertiär im Untergrund). Vermutlich ebenfalls geogener Ursache dürfte das Auftreten eines erhöhten Chloridwertes in Malsch sein. Der niedrigste Chloridgehalt mit 8,9 mg/l wurde trotz seiner Rheinnähe im Tiefbrunnen Hügelsheim (Sz1) ermittelt.

4.9 Nitrat

Der Nitratgehalt eines Grundwassers beruht zum einen auf biogenen Prozessen, die im Boden stattfinden und von der Vegetationsperiode abhängen; zum anderen wirken sich anthropogene Verunreinigungen (stickstoffhaltige Düngemittel, Fäkalien), die über Sickerwässer in das Grundwasser gelangen, konzentrationserhöhend aus.

In reduzierendem Milieu wird das Nitrat über seine Reduktionsstufen Nitrit und Ammonium abgebaut. Teilweise geht diese Denitrifikation bis zu elementarem Stickstoff, der dann in die Grundluft entweicht.

Der Nitratgehalt ist deshalb in reduzierten Wässern kein Anzeiger für anthropogene Belastungen. Diese werden dann durch die Reduktionsstufen Nitrit und Ammonium sichtbar. Läuft der Denitrifikations-Prozeß sehr schnell ab, so kann das Grundwasser auch frei von Nitrit und Ammonium sein.

Im weitaus größten Teil des untersuchten Bereichs (Abb. 4.9) liegen die ermittelten Nitratgehalte entsprechend dem verbreitetem Sauerstoffmangel weit unter 10 mg/l. Stellenweise ist das Grundwasser sogar völlig nitratfrei. Nitratgehalte über 10 mg/l bis über 30 mg/l (höchster Einzelwert 60,8 mg NO_3^-/l) sind auf eine 1–3 km breite Zone längs dem Gebirgsrand beschränkt. Hier wirkt sich intensive landwirtschaftliche Nutzung bei gleichzeitig hohem Sauerstoffgehalt des Grundwassers erhöhend auf den Nitratgehalt aus.

Eine Erniedrigung des Nitratgehalts erfolgt bei Bühl und Rastatt durch die Infiltration der aus dem Gebirge austretenden größeren Schwarzwaldflüsse.

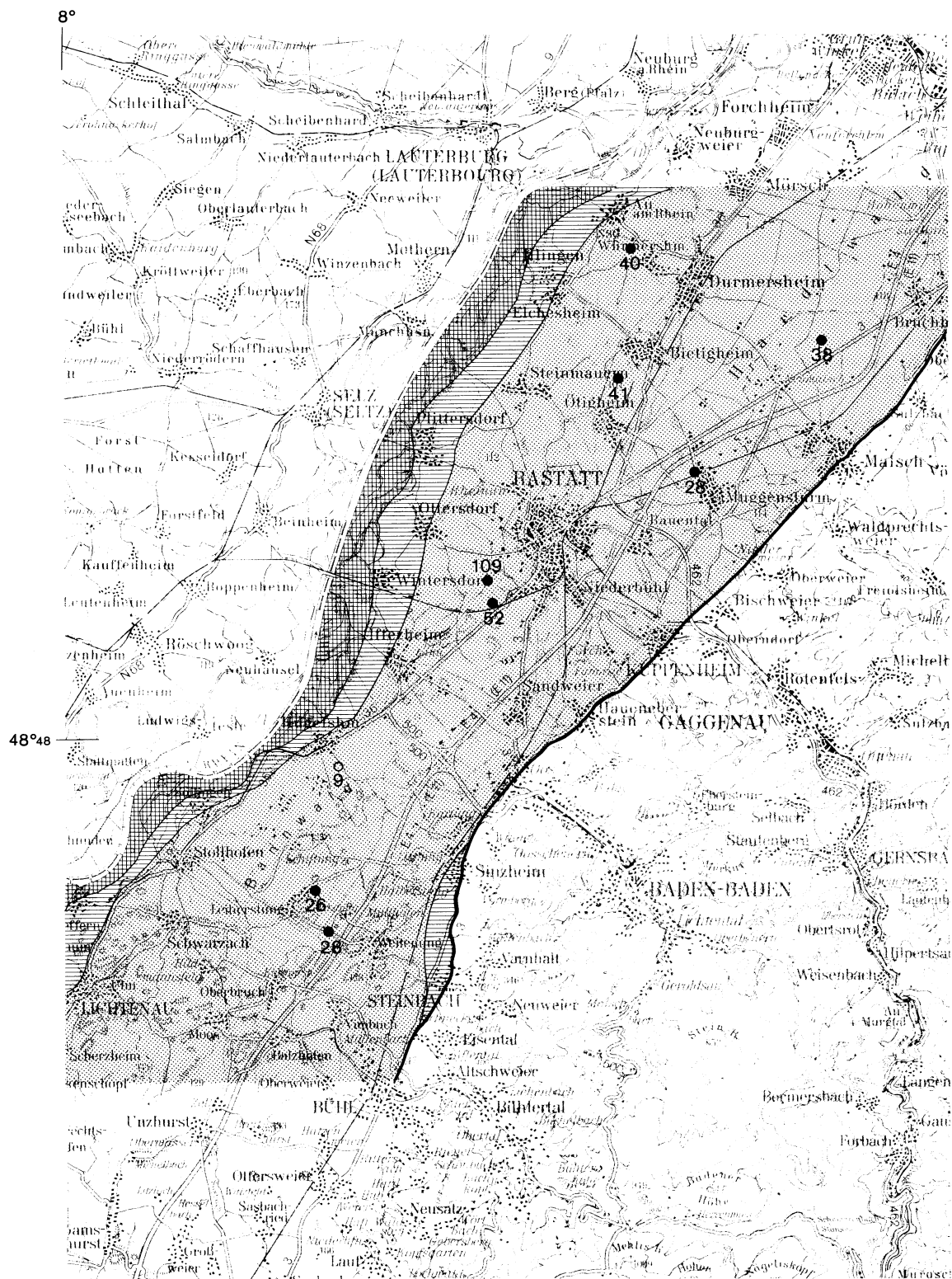
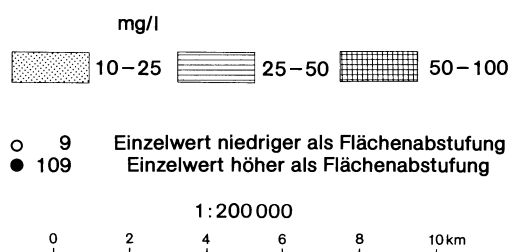


Abb. 4.8: Hydrochemie – Chlorid



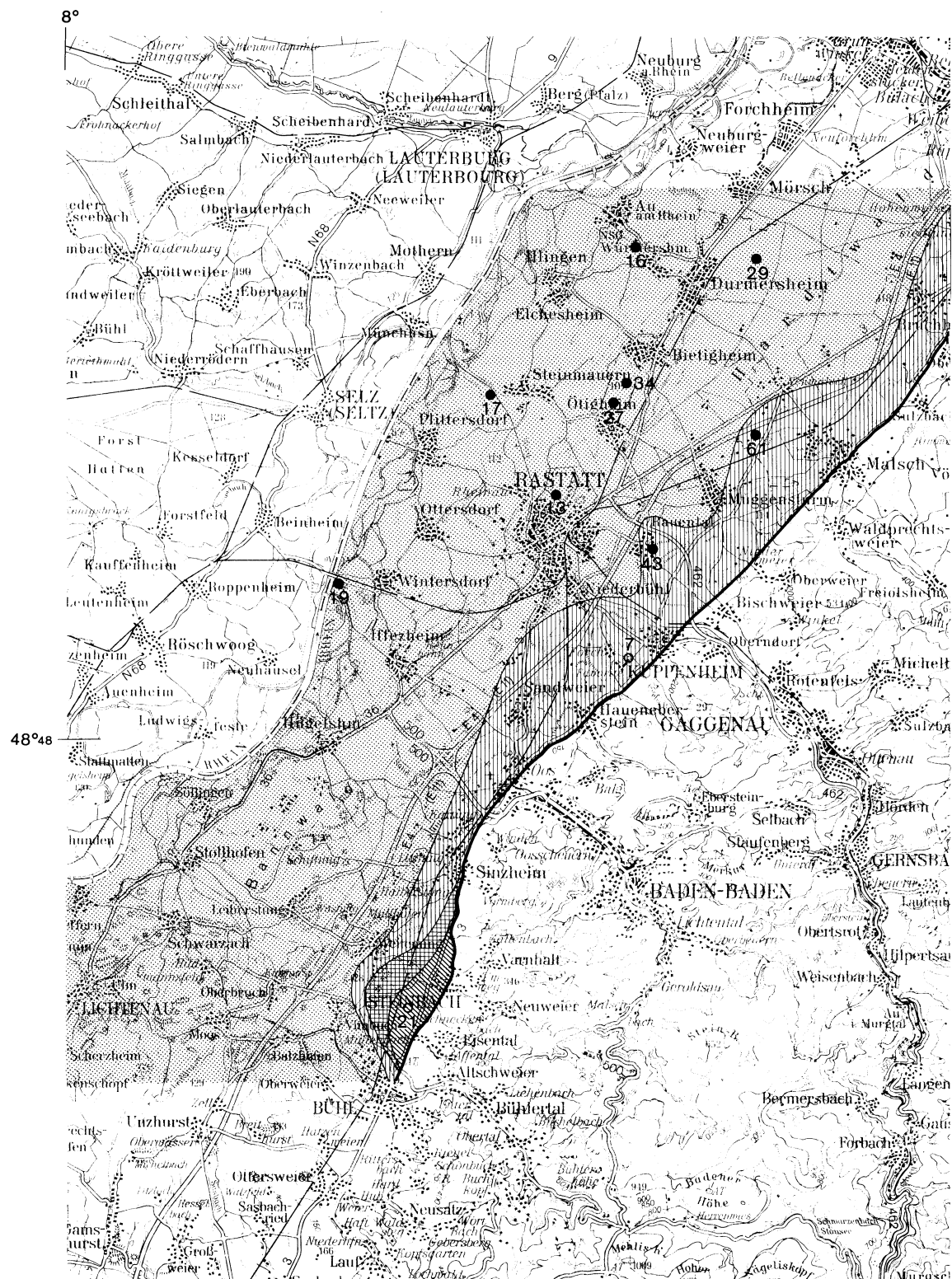
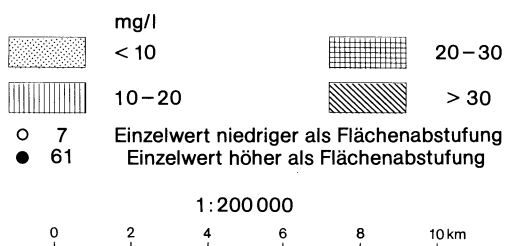


Abb. 4.9: Hydrochemie – Nitrat



5. Grundwasserhaushalt

5.1 Allgemeines zum Grundwassermodell

Im Zuge der Untersuchungen zum Rheinausbau wurde für den Untersuchungsraum außer dem südlichen Abschnitt vom Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe ein mathematisches Grundwassermodell erstellt. Grundwassermodelle dienen der direkten Simulation von Strömungszuständen. Unter Einbeziehung aller maßgeblichen hydrologischen und geologischen Einflußgrößen auf die Grundwasserverhältnisse werden örtliche und zeitliche Verteilung von Grundwasserständen und die sich daraus ergebenden Fließrichtungen und -geschwindigkeiten sowie Durchflußmengen ermittelt. Es ist möglich, sowohl abgelaufene Strömungszustände nachzubilden als auch künftige Verhältnisse zu prognostizieren.

Im vorliegenden Fall wurde ein zweidimensional horizontalebene Modell erstellt, das für stationäre und instationäre Betrachtungsweisen einsetzbar ist. Nord- und Südrand des Modellgebietes (Karte I) liegen annähernd in Grundwasserfließrichtung. Das Gebiet wurde diskretisiert, indem es mit einem quadratischen Rasternetz von 500 m Rasterweite überdeckt wurde (Abb. 5.1). An jedem Rasterknoten sind Bestimmungsgleichungen für den Grundwasserstand aufgestellt worden in Abhängigkeit der Wasserstände an den Nachbarknoten und der geologischen und hydrologischen Einflußgrößen. Bei der iterativen Lösung des entstandenen Gleichungssystems werden die hydrologischen Bedingungen an den Modellrändern berücksichtigt. Die ausführliche Beschreibung des Modells ist im 5. Bericht [17] enthalten.

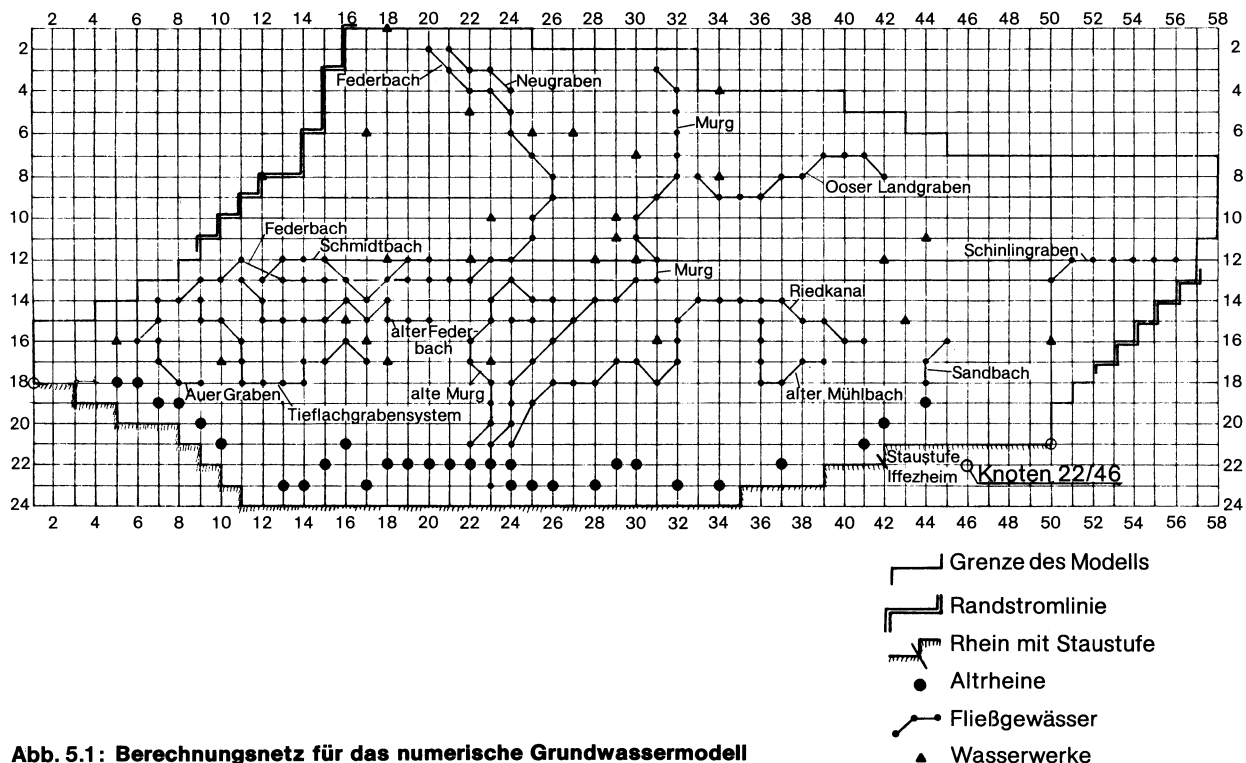


Abb. 5.1: Berechnungsnetz für das numerische Grundwassermodell

Die für das Modell notwendigen geologischen Parameter sind die Transmissivität und – für instationäre Betrachtungen – der Speicherkoeffizient. Die hydrologischen Faktoren sind die Oberflächengewässer, die Grundwasserentnahmen, die Grundwasserneubildung aus Niederschlägen und die Grundwasserstände bzw. -abflüsse an den Modellrändern.

Das Modell wurde instationär für den Zeitraum 27.3.1972 bis 25.6.1973 geeicht. Die Wahl fiel auf diesen Zeitraum, da hierfür umfangreiche Unterlagen vorhanden waren. Innerhalb des Zeitraumes traten unterschiedliche hydrologische Situationen auf, nämlich Rheinhochwasser, Murghochwasser und ausgeprägte Trockenperiode. Dies diente einer besseren Unterscheidung der Auswirkungen der Einflußgrößen. Der Zeitraum lag bezüglich der Modellerstellung nicht allzulange zurück. Zwischenzeitliche stärkere Veränderungen der Einflüsse konnten ausgeschlossen werden. Notwendige Untersuchungen und Erhebungen waren nachträglich möglich. Transmissivität und Speicherkoeffizient konnten als konstante Werte eingegeben werden, die hydrologischen Größen wurden in Form der gemessenen zeitlichen Verteilung eingegeben. Zu ausgewählten Zeitpunkten errechnete Grundwasserhöhenpläne und Grundwasserstandsganglinien wurden mit den beobachteten verglichen. Bei größeren Abweichungen mußten die eingegebenen Parameter überprüft und gegebenenfalls geändert oder ergänzt werden. Nach Abschluß der Eichung betrugen die Abweichungen zwischen den gemessenen und den errechneten Grundwasserständen im allgemeinen weniger als 30 cm.

Da dieses geeichte Rechenmodell sowohl den Grundwasserleiter als auch die grundwasserbeeinflussenden Faktoren physikalisch zufriedenstellend abbildet, kann es für Grundwasserhaushaltsbetrachtungen herangezogen werden. Insbesondere können anderweitig schwer zu ermittelnde Bilanzgrößen besser errechnet werden. Das Grundwassermodell steht bei der Landesanstalt für Umweltschutz als Entscheidungshilfe bei wasserbaulichen und wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zur Verfügung.

Die nachfolgenden Grundwasserhaushaltsbetrachtungen gelten daher im wesentlichen für das Modellgebiet. Das vom Modell nicht erfaßte Gebiet ist hinsichtlich seiner hydrologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten dem Modellgebiet ähnlich. Somit dürften die Bilanzierungsergebnisse grundsätzlich übertragbar sein.

5.2 Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Die allgemeine Wasserhaushaltsgleichung lautet:

$$\begin{aligned} N &= A_o + A_u + V + (R - B) \\ N &= \text{Niederschlag} \\ A_o &= \text{Abfluß oberirdisch} \\ A_u &= \text{Abfluß unterirdisch} \\ V &= \text{Verdunstung} \\ R &= \text{Rücklage} \\ B &= \text{Aufbrauch} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} R \\ B \end{aligned}} \right\} = \text{Vorratsänderung}$$

Aufgrund der Topographie der Oberrheinebene fließt von den gefallen Niederschlägen ein hier vernachlässigbarer Teil direkt oberirdisch ab. Da längerfristig die Vorratsänderung gegen Null geht, vereinfacht sich die Gleichung zu:

$$N = A_u + V.$$

Der unterirdische Abfluß entspricht der Grundwasserneubildung aus Niederschlag.

Zur Ermittlung der flächenhaften Neubildungsverteilung wurde ein Verfahren entwickelt [2]. Es berücksichtigt die Faktoren:

- Klima
- Bodenart
- Flurabstand
- Flächennutzung
- Lysimetermessungen.

Aus den Klimadaten wurde die Verdunstung berechnet. Dabei unterscheidet man die freien Wasserflächen, die grundwassernahen und damit optimal mit Wasser versorgten Böden, die hier den Gebieten mit Flurabständen kleiner 1 m entsprechen, und die Gebiete mit Flurabständen größer 1 m. Bei letzterem geht die Bodenart über die nutzbare Feldkapazität in die Verdunstungsberechnungen ein. Die Flächennutzung unterteilt man in Acker und Wiese, Wald, lockere Bebauung und dichte Bebauung. Die Lysimeterwerte beziehen sich ursprünglich auf die Nutzungsart Acker und Wiese.

Insgesamt ergibt sich für das Modellgebiet aufgrund der mittleren Niederschläge 1931/60 langfristig eine mittlere Grundwasser-Neubildungsspende aus Niederschlag von knapp 8 l/s . km². Zur regionalen Spendenverteilung kann das Gebiet in acht Zonen untergliedert werden (siehe Tab.5.1). Die Werte nehmen innerhalb der Zonen entsprechend der Niederschlagsverteilung (Kartell) von Norden nach Süden und von Westen nach Osten zu.

Zone	mittlere Spende in l/s.km ²
bebaute Fläche (vorwiegend lockere Bebauung)	2–4
Flächen mit mittlerem Flurabstand kleiner 1 m	0–3
übrige Rheinniederung mit Acker und Wiese	7
übrige Rheinniederung mit Wald	4
übrige Niederterrasse mit Acker und Wiese	13
übrige Niederterrasse mit Wald	10
übrige Kinzig-Murg-Niederung mit Acker und Wiese	11
übrige Kinzig-Murg-Niederung mit Wald	8

Tab. 5.1: Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag

5.3 Austauschwassermenge zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser

Im Untersuchungsraum gibt es eine Anzahl von Gewässern, die in das Grundwasser einspeisen. Diese Infiltrationsmengen sind zeitlichen Änderungen unterworfen, oft sogar wechseln sich In- und Exfiltration an derselben Gewässerstrecke ab. Die Durchlässigkeit des Gewässerbettes wird oft erheblich durch die Abwasserbelastung der Gewässer und die damit verbundene Selbstdichtung des Gewässerbettes verändert. Dies bewirkt eine Reduzierung der Versickerungsmengen. Die Infiltrationsmenge aus den Oberflächengewässern darf bei Grundwasserbilanzierung nicht vernachlässigt werden. Eine erste Untersuchung von 1965 der damaligen Landesstelle für Gewässerkunde ergab eine durchschnittliche Einspeisung von 22 Mio m³/Jahr, wobei der größte Teil aus der Murg stammt.

Das Grundwassermodell ermöglichte für ein relativ großes Gebiet die Ermittlung der Austauschwassermengen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser und deren örtlichen und zeitlichen Verteilung. In Abb.5.2 sind aus dem Eichzeitraum die In- und Exfiltrationsmengen für die Altrheine (zusammengefaßt), die Murg und den Riedkanal als Ganglinien aufgetragen.

Die Murg speist zwischen Gebirgsrand und Mündung in der Summe ständig ein, der Riedkanal drainiert ständig, bei den Altrheinen sind beide Zustände vorhanden (Kap. 3.2). Hochwasser im Rhein bewirkt hohe Einspeisungen der Altrheine, worauf die Exfiltrationsmenge in den Riedkanal mit geringer Zeitverschiebung stark ansteigt.

Schwierigkeiten bereitet weiterhin die Prognose der Infiltrationswassermengen, denn die zugehörigen Mechanismen und gegenseitigen Abhängigkeiten unter den natürlichen Gegebenheiten und deren künstlichen Beeinflussungen sind noch weitgehend unbekannt. Zur Klärung dieser Fragen sind Untersuchungen bereits angelaufen.

5.4 Grundwasserentnahmen

Die Grundwasserentnahme setzt sich aus öffentlichen, gewerblichen und landwirtschaftlichen Entnahmen zusammen. Die öffentlichen Wasserversorgungen sind im Untersuchungsraum die größten Entnehmer. Im bilanzierbaren Modellgebiet betragen nach den Erhebungen für den Eichzeitraum des Modells sowie den Erhebungen

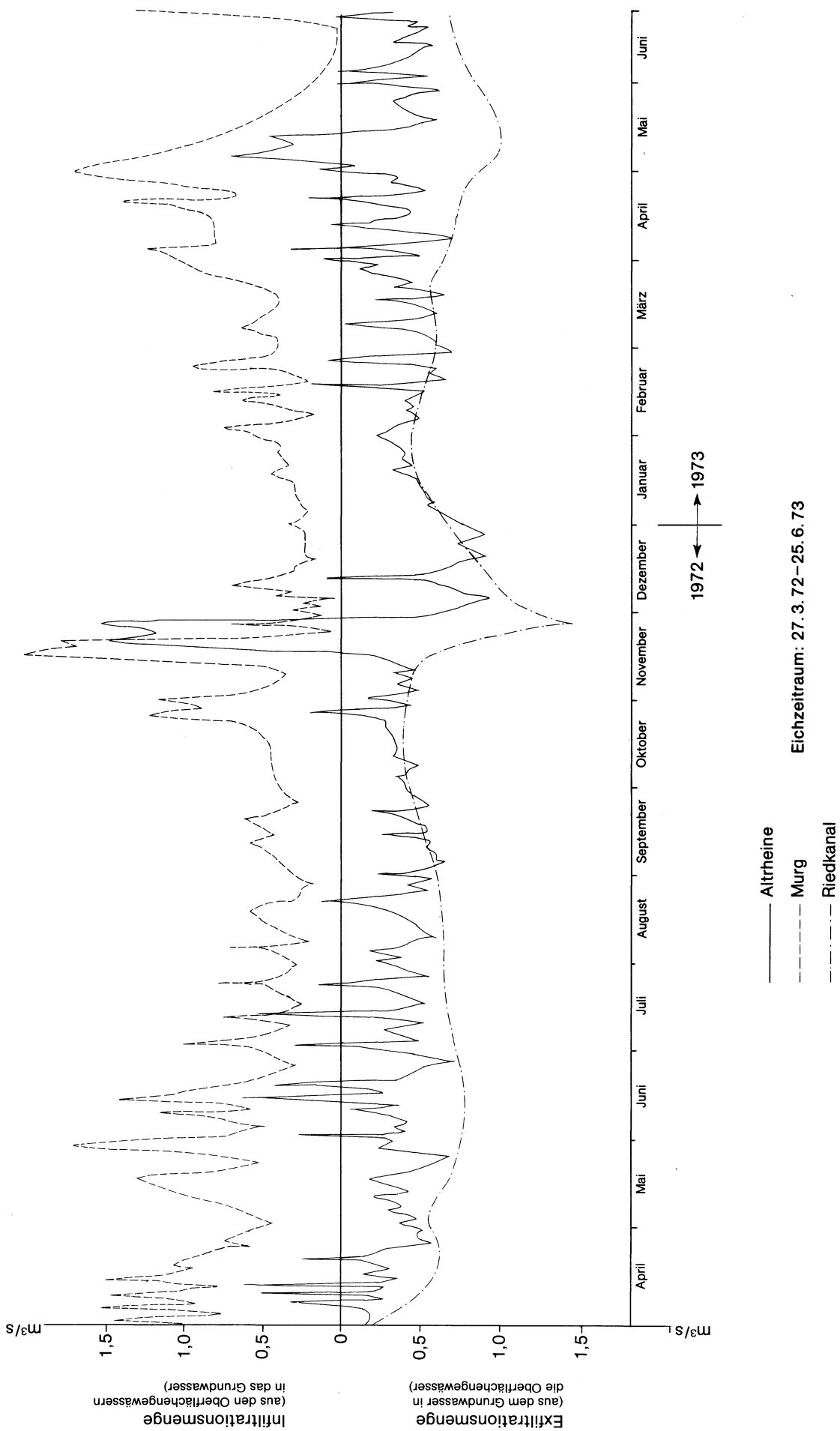


Abb.5.2: Ganglinien der In- und Exfiltrationsmengen aus dem Eichzeitraum des Grundwassermodells

zur Trinkwasserstatistik der Jahre 1973 und 1974 die öffentlichen Entnahmen knapp 12 Mio m³/Jahr. Einer Schätzung des Regierungspräsidiums Karlsruhe zufolge ist gegenwärtig mit 7 Mio m³/Jahr an Industrieentnahmen und 3 Mio m³/Jahr an Beregnungsentnahmen zu rechnen. Aus den Zusatzerhebungen zum Industriebericht 1971 des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg ergibt sich eine Industrieentnahme von 6 Mio m³/Jahr. Bei der vollen Nutzung der für die öffentliche Wasserversorgung erteilten oder beantragten Entnahmebefugnisse kann im Modellgebiet von einer Entnahmemenge von 68 Mio m³/Jahr ausgegangen werden.

5.5 Bilanzierung

Die Kenntnis der hydrologischen Zusammenhänge in dem vom Grundwassermodell erfaßten Gebiet macht für die gegenwärtigen Verhältnisse eine überschlägige Grundwasserbilanz möglich (Tab. 5.2). Da der Grundwasserleiter durch sein Speichervolumen mehrjährige Entnahmeschwankungen ausgleichen kann, sind nicht kurzfristige, sondern mittlere Verhältnisse maßgebend. Den heutigen Entnahmen von 22 Mio m³/Jahr steht eine Neubildung aus Niederschlag und Oberflächengewässern von 67 Mio m³/Jahr gegenüber. Der größte Teil des über die Modellränder einströmenden Grundwassers ist der Zufluß über den Ostrand. 80% des ins Modellgebiet einströmenden und in ihm gebildeten Grundwassers ziehen die Oberflächengewässer ab.

	Bilanzwert Mio m ³ /Jahr	
	Zufluß	Abfluß
Durchfluß über die Modellränder	+ 42	
Grundwasserneubildung aus Niederschlag	+ 45	
Oberflächengewässer Infiltration Exfiltration	+ 22	- 87
Grundwasserentnahmen öffentliche gewerbliche + landwirtschaftliche		- 12 - 10
Summe	+ 109	- 109

Tab.5.2: Überschlägige Gesamtbilanz für gegenwärtig mittlere Verhältnisse im Modellgebiet

Inwieweit die der Bilanz zugrunde liegenden Zahlen der Tab.5.2 sich ändern werden, ist von den Ergebnissen der laufenden Untersuchungen abhängig (Kap. 5.3). Sicher jedenfalls ist das heute in die Oberflächengewässer exfiltrierende Grundwasser die Reserve, die steigenden Entnahmen z.T. zur Verfügung steht.

6. Ausblick

Um nach Fertigstellung der Staustufe Straßburg die Erosion der Rheinsohle und das damit verbundene Absinken der Rhein- und Grundwasserstände rheinabwärts zu verhindern, wurde im deutsch-französischen Vertrag vom 4. Juli 1969 der Bau der Staustufen Gamsheim und Iffezheim vereinbart. Die Stufe Iffezheim ist seit 1977 in Betrieb. Nach der deutsch-französischen Zusatzvereinbarung vom 16. Juli 1975 soll bei Neuburgweier eine weitere Staustufe gebaut werden. Die Staustufen haben umfangreiche Veränderungen der wasserwirtschaftlichen Situation zur Folge. Als wesentliche sind zu nennen:

- der Aufstau des Rheins selbst;
- die Abtrennung der Altrheinarme vom Rhein und
- neue Ent- und Bewässerungssysteme in der Rheinniederung.

Damit wird sich die heutige Grundwasserbilanz in dem vom Grundwassermodell erfaßten Gebiet ändern.

Die Untersuchungen anhand des Grundwassermodells zeigen, daß Ausgleichsmaßnahmen negative Auswirkungen des Rheinausbaus auf die Grundwasserverhältnisse verhindern können. Die bisher gewonnenen Ergebnisse gehen in die laufenden Planungen ein. Diese Planungen werden vor ihrer Verwirklichung mit dem Grundwassermodell auf ihre binnenwasserwirtschaftlichen Auswirkungen überprüft werden. Sofern eine Staustufe bei Neuburgweier gebaut wird und sobald die endgültige Konzeption der Ausgleichsmaßnahmen vorliegt, wird eine neue Grundwasserbilanz aufgestellt.

Hierbei kommt der Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots eine besondere Bedeutung zu, da nicht das gesamte neugebildete Grundwasser entnommen werden kann. Dieses nutzbare Dargebot kann wie folgt definiert werden*):

„Das nutzbare Grundwasser ist der für einen Verwendungszweck qualitativ geeignete Anteil am Grundwasser, der wirtschaftlich genutzt werden kann, der wasserhaushaltsmäßig im langjährigen Mittel zur Verfügung steht und dessen Entnahme wasserwirtschaftlich und umweltmäßig vertretbar ist“.

Alle bisher vorliegenden Untersuchungen sind Grundlage und Ausgangspunkt zur Erfassung der zu erwartenden hydrologischen Situation.

*1) Vorläufige Definition des Arbeitsausschusses Grundwassernutzung des Kuratoriums für Wasser- und Kulturbauwesen, der Fachsektion Hydrologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft und des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft, 1977.

7. Zusammenfassung

Die badische Oberrheinebene, Bereich Karlsruhe – Bühl, wurde größtenteils im Zusammenhang mit dem Oberreinausbau – vor allem hydrologisch – intensiv ab 1972 untersucht. Die vorliegende Kartierung dokumentiert den Zustand vor dem Oberreinausbau in diesem Bereich.

Die ältesten beobachteten Grundwasserstände datieren aus dem Jahr 1913. Heute werden in dem Untersuchungsgebiet von 330 km² etwa 200 Grundwassermeßstellen regelmäßig beobachtet. Weitere Meßanlagen dienen der Erfassung von Wasserständen und Abflüssen der Oberflächengewässer, von Niederschlag und von Versickerung aus Niederschlag.

Der Untersuchungsraum gliedert sich in die drei Landschaftsbereiche Rhein-Niederung, Niederterrasse und Kinzig-Murg-Niederung. Die Niederterrassenfläche besteht aus würmeiszeitlich abgelagerten Kiesen und Sanden. Sie wurde vom holozänen Rhein bis zu 20 m tief ausgeräumt und mit umgelagerten Kiesen teilweise wieder angefüllt. Die holozänen Kiessande der Rhein-Niederung sind mit Überflutungslehmen bedeckt. Unter dem Holozän und Jungpleistozän folgen Kiese und Sande des älteren Quartärs, in denen häufiger Schluff- und Feinsandbänke eingeschaltet sind. Durch gebirgsrandparallele Staffelbrüche bedingt, schwanken die Quartärmächtigkeiten stark. Maximale Mächtigkeiten von ca. 70 m liegen im Bereich der Grabenscholle. Hier reichen die Ablagerungen stratigraphisch vom ältesten Quartär bis ins Holozän.

Auf der Grabenscholle läßt sich der Aquifer in drei Kieslager gliedern, die jeweils von sandigen Abfolgen unterlagert werden. In diesen Kieslagern fließt der überwiegende Teil des Grundwassers. Auf der östlich anschließenden Zwischenscholle fehlt meistens das untere Kieslager, die Aquifermächtigkeiten betragen daher nur 25–30 m. Bis zum Fuß der Vorbergzone folgt die Randscholle mit 10–20 m mächtigem Quartär. Tonig schluffige Sande des Pliozäns bilden die Sohle des quartären Aquifers.

Entsprechend den Mächtigkeitsunterschieden schwanken die Transmissivitätswerte um eine Größenordnung zwischen 0,01–0,1 m²/s. Im Kartiergebiet lassen sich drei Bereiche unterschiedlicher Kiestypen unterscheiden, deren Durchlässigkeitsbeiwerte im Mittel 0,0031; 0,0028 und 0,0022 m/s betragen. Die Durchlässigkeiten der sandigen Zwischenhorizonte liegen um mindestens den Faktor 10 niedriger. Wegen der ausgeprägten vertikalen Anisotropie der Durchlässigkeiten ergeben sich Unterschiede in den Speicherkoeffizienten zwischen 0,07 und 0,21. Innerhalb der Niederungen mit zeitweilig gespanntem Grundwasser sind noch kleinere Werte bis 0,04 kennzeichnend.

Das Grundwasser strömt vom Grabenrand im Bereich der Kinzig-Murg-Niederung und der Niederterrasse in Richtung NW mit rund 1 ‰ Gefälle und schwenkt in der Rhein-Niederung auf eine rheinparallele Richtung um, das mittlere Gefälle beträgt hier 0,5 ‰. Die Grundwasservorfluter sind die Oberflächengewässer in der Rhein-Niederung. Der Rhein zieht nur bei niedrigen Abflüssen Grundwasser, ansonsten speist er in das Grundwasser ein.

Die Grundwasserstände der Rhein-Niederung werden stark durch die Rheinwasserstände beeinflusst, sie können sich in kurzer Zeit bis zu 2 m ändern. In der Niederterrasse und der Kinzig-Murg-Niederung sind die Stände hauptsächlich von der Versickerung von Niederschlägen abhängig, Schwankungen über mehrere Jahre betragen bis 2 m. Die mittleren Flurabstände in den Niederungen betragen teilweise unter 1 m, in der Niederterrasse betragen sie teilweise – insbesondere längs des Hochgestades – über 10 m. In den Niederungen sind die Grundwasserstände besonders bei höheren Wasserständen zeitweilig gespannt.

Nach den hydrochemischen Untersuchungen ist das Grundwasser grundsätzlich für Zwecke der Trinkwassernutzung geeignet, wobei allerdings verbreitet geringe Sauerstoffgehalte festzustellen sind.

Lediglich im rheinnahen Infiltrationsbereich fallen erhöhte Chloridgehalte und in der Nähe des Gebirgsrandes erhöhte Nitratgehalte auf.

Anhand eines mathematischen Grundwassermodells ist für einen Teilraum des Kartiergebietes eine überschlägige Grundwasserbilanzierung möglich. Der Grundwasserumsatz für eine Fläche von knapp 200 km² beträgt gegenwärtig im Mittel 109 Mio m³/Jahr. Der Grundwasserzufluß setzt sich zusammen aus 42 Mio m³/Jahr Durchfluß über den Modellrand, 45 Mio m³/Jahr Grundwasserneubildung aus Niederschlag und 22 Mio m³/Jahr Neubildung aus Oberflächengewässern. Die Einspeisung aus dem Rhein von 3 Mio m³/Jahr ist im Durchfluß über den Modellrand enthalten. 87 Mio m³/Jahr Grundwasser fließt über die Oberflächengewässer ab, 22 Mio m³/Jahr werden gegenwärtig zur Wasserversorgung genutzt. Künftig ist mit einer weit höheren Grundwassernutzung zu rechnen. Im Jahr 1977 ging die Rheinstaufstufe Iffezheim in Betrieb. Der Rheinausbau hat eine Veränderung des hydrologischen Systems zur Folge. Die bisher vorliegenden Untersuchungen sind Grundlage und Ausgangspunkt zur Erfassung der zu erwartenden hydrologischen Situation. Dabei kommt der Erfassung des für die Wassergewinnung nutzbaren Grundwasserdargebots künftig besondere Bedeutung zu.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Anonym: Grundwasser-Richtlinien für Beobachtung und Auswertung; herausgegeben vom Deutschen Grundwasserausschuß, 1961
(wird gegenwärtig von einem LAWA-Ausschuß überarbeitet)
- [2] Armbruster, J.; Kohm, J. (1976):
Auswertung von Lysimetermessungen zur Ermittlung der Grundwasserneubildung in der badischen Oberrheinebene, Wasser und Boden, 1976, H. 11
- [3] Armbruster, J.; Huppmann, O.; Strayle, G. (1977):
Die Auswirkung einer Staustufe auf den Grundwasserhaushalt – hydrologische und hydrogeologische Untersuchungen, GWF – Wasser/Abwasser, 1977 H. 11
- [4] Bartz, J. (1960):
Zur Gliederung des Pleistozäns im Oberrheingebiet. – Z. deutsch. Geol. Ges. 111, S. 653 – 661, Hannover
- [5] Bartz, J. (1976):
Quartär und Jungtertiär im Raum Rastatt. – Jb. Geol. Landesamt Baden-Württemberg 18, S. 121–178.

- [6] Bedinger, M. S. and Emmett, L. F. (1963):
Mapping transmissibility of alluvium in the lower Arkansas River valley, Arkansas. – U.S. Geol. Survey Prof. Paper 475 - C; S. C 188–C 190, Washington
- [7] Casati, A. (1960):
Die Durchlässigkeit kiesiger Böden. – SVGM, No 6, XXXIX, Jg. 1959, S. 120–126, Zürich
- [8] Cooper, H. H. and Jacob, C. E. (1946):
A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well – field history. – Trans. Am. Geophysical Union, Vol. 27, No 4, S. 526–534
- [9] Friedrich, W.; Franzen, H. (1960):
Ein neuer Versickerungsmesser (Lysimeter), DGM, 1960, H. 5
- [10] Hurr, T. R. (1966):
A new approach for estimating transmissivity from specific-capacity. – Water Resources Research, Vol. 2, No 4, S. 657–664
- [11] Jacob, C. E. (1946): Drawdown test to determine effective radius of artesian well. – Proc. Am. Soc. of Civil Engineers. – Vol. 72, No 5, S. 629–646
- [12] Jenkins, C. T. (1963):
Graphical multiple regressions analysis of aquifer tests. – U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 475–C, S. C 198–C 201 Washington
- [13] Joachim, H. & Villinger, E. (1975):
Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Baden-Württemberg 1 : 50 000 Markgräflerland-Weiternauer Vorberge-Wiesental-Dinkelberg-Hochrheintal-Wehratal (Bad Bellingen-Lörrach-Schopfheim-Säckingen). – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br.
- [14] Joachim, H. & Villinger, E. (1976):
Hydrogeologische Kartierung Rhein-Neckar-Raum 1 : 50 000 Anteil Baden-Württemberg, Bericht 1. Untersuchungsstufe. – In: Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Rhein-Neckar-Raum. – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft), Freiburg i.Br./Karlsruhe.
- [15] Junker, B. & Wendt, O. (1977):
Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Bereich Kaiserstuhl-Markgräflerland (im Druck). – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i.Br.
- [16] Kozeny, J. (1933): Theorie und Berechnung der Brunnen. – Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 28, München und Berlin
- [17] Landesanstalt für Umweltschutz:
Rheinausbau im Bereich Iffezheim – Neuburgweier, sechs fortlaufende Berichte, herausgegeben von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, Karlsruhe, Okt. 1972 bis Feb. 1976.
- [18] Li, W. H., Bock, P. and Benton, G. (1954):
A new formula for flow into partial penetrating wells in aquifers. – Trans. Am. Geophysical Union, Vol. 35, No 5, S. 805–812
- [19] Lohman, S. W. and others (1972):
Definitions of selected ground-water terms-revisions and conceptual refinements. – U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 1988, S. 1–21
- [20] Matthess, G. (1973):
Die Beschaffenheit des Grundwassers. – Lehrbuch der Hydrogeologie Band 2, Stuttgart.
- [21] Mehlhorn, H.; Kobus, H.; Lühr H. P. (1977):
Die Auswirkung einer Staustufe auf den Grundwasserhaushalt – Untersuchungen an einem numerischen Modell, GWF – Wasser/Abwasser, 1977, H. 12
- [22] Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg (Herausgeber) (1976):
Pumpversuche in Porengrundwasserleitern, Arbeitsblatt 1976, S. 1–125.
- [23] Ogden, L. (1965): Estimating transmissibility with one drawdown. – Ground Water, Urbana, Vol. 3, S. 51–54
- [24] Rorabaugh, M. J. (1953):
Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well. – Proc. Am. soc. of Civil Engineers, Vol. 79, No 362, S. 1–23
- [25] Rosenhein, J. S., Gonthier, J. B. and Allen, B. W. (1968):
Hydrologic characteristics and sustained yield of principal ground-water units, Potowomut-Wickford aera Rhode Island. – U.S. Geol. Survey, Water-Supply Paper 1775
- [26] Stallman, R. W. (1965):
Effects of water-table conditions on water-level changes near pumping wells. – Water Res. Research Vol. 1, No 2, S. 295–312
- [27] Strayle, G. (1976):
Korrektur bei unvollkommenen Brunnen – in: Pumpversuche in Porengrundwasserleitern. – Arbeitsblatt 1976, herausgegeben vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg
- [28] Strayle, G. (1976):
Bestimmung des Brunnenverlustes sw – in: Pumpversuche in Porengrundwasserleitern. – Arbeitsblatt 1976, herausgegeben vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg
- [29] Wasser- und Schifffahrtsdirektion Freiburg
(heute Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, Außenstelle Freiburg) (1966):
Darstellung der Veränderung der Höhenlage der Rheinsohle zwischen Basel und Karlsruhe/Maxau.
- [30] Kreyszig, E. (1968):
Statistische Methoden und ihre Anwendung, Göttingen.

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1.1: Mittlere monatliche Niederschlagshöhen der Reihe 1964/1973 der Stationen Leiberstung, Rastatt, Steinmauern und Mörsch des Deutschen Wetterdienstes	7
Abb. 1.2: Mittlere Abflüsse und Dauerlinie der Reihe 1931/1970 Pegel Maxau/Rhein	8
Abb. 1.3: Mittlere Abflüsse und Dauerlinie der Reihe 1922/1972 Pegel Rotenfels/Murg	9
Abb. 2.1: Schematischer geologischer Schnitt durch den Untersuchungsraum	10
Abb. 2.2: Abnahme von Q/s mit der Pumpzeit	15
Abb. 2.3: Diagramm zur Bestimmung von C	16
Abb. 2.4: Variation der Parameter S, T, r_w und t und deren Auswirkung auf die Bestimmung von C	16
Abb. 2.5: Leistungscharakteristik des vollkommenen Brunnens D 1 (Korrektur gerechnet)	17
Abb. 2.6: Leistungscharakteristik des unvollkommenen Brunnens Sz8 (Korrektur graphisch ermittelt)	17
Abb. 2.7: Auswertung des vollkommenen Brunnens D 040	17
Abb. 2.8: Korrektur unvollkommener Brunnen in anisotropen Leitern	18
Abb. 2.9: Vergleich des Sieblinienbandes der einzelnen Kiestypen mit der Fuller-Kurve, $p = 100\sqrt{\frac{q}{D}}$	21
Abb. 2.10: Verbreitung der Kiestypen im Untersuchungsgebiet mit den Regressionsgeraden	22
Abb. 3.1: Hydrologischer Schnitt I	25
Abb. 3.2: Hydrologischer Schnitt III	26
Abb. 3.3: Hydrologischer Schnitt VI	27
Abb. 3.4: Ganglinien der Wasserstände von Rhein, Murg, zwei Grundwassermeßstellen und der Sickerwassermengen der Reihe 1965/1974	29
Abb. 3.5: Beispiele von Kreuzkorrelogrammen des Zusammenhangs zwischen Rhein- und Grundwasserständen	30
Abb. 3.6: Korrelationskoeffizienten und Zeitverschiebung zwischen Rhein- und Grundwasserständen	31
Abb. 3.7: 5-Jahres-Mittel der Reihe 1914/1975 von Rheinwasserstand, Niederschlagshöhe und Grundwasserständen	33
Abb. 4.1: Probeentnahmestellen und -zeiten für die hydrochemischen Untersuchungen	35
Abb. 4.2: Hydrochemie – Gesamthärte	36
Abb. 4.3: Hydrochemie – Karbonathärte	37
Abb. 4.4: Hydrochemie – Sauerstoff	39
Abb. 4.5: Hydrochemie – Freie Kohlensäure	40
Abb. 4.6: Hydrochemie – Eisen	41
Abb. 4.7: Hydrochemie – Mangan	42
Abb. 4.8: Hydrochemie – Chlorid	44
Abb. 4.9: Hydrochemie – Nitrat	45
Abb. 5.1: Berechnungsnetz für das numerische Grundwassermodell	46
Abb. 5.2: Ganglinien der In- und Exfiltrationsmengen aus dem Eichzeitraum des Grundwassermodells	48

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1.1: Mittlere monatliche Niederschlagshöhen der Reihe 1964/73 des Deutschen Wetterdienstes in mm	7
Tab. 1.2: Mittlere Abflüsse der Reihe 1931/1970 Pegel Maxau/Rhein in m³/s	8
Tab. 1.3: Mittlere Abflüsse der Reihe 1922/1972 Pegel Rotenfels/Murg in m³/s	8
Tab. 2.1: Verteilung der Aufschlüsse auf den Meßtischblättern	14
Tab. 2.2: Näherungsformeln zur Transmissivitätsbestimmung aus der spezifischen Ergiebigkeit	19
Tab. 2.3: Ergebnisse der Pumpversuchsauswertung der Gruppen 1 und 2	20
Tab. 2.4: Ergebnis der ungewichteten Korrelationen	23
Tab. 5.1: Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag	47
Tab. 5.2: Überschlägige Gesamtbilanz für gegenwärtig mittlere Verhältnisse im Modellgebiet	49

Verzeichnis der Karten

I.	Hydrogeologische Grundkarte
Ia.	Hydrogeologische Schnitte 1–7 zu Karte I
II.	Hydrologische Grundkarte
III.	Karte der Grundwasser-Flurabstände
IV.	Karte der Grundwasserstands-Differenzen
V.	Karte der Transmissivitätsverteilung

