

# Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

Ober rheingebiet  
Raum Lahr

Erläuterungen



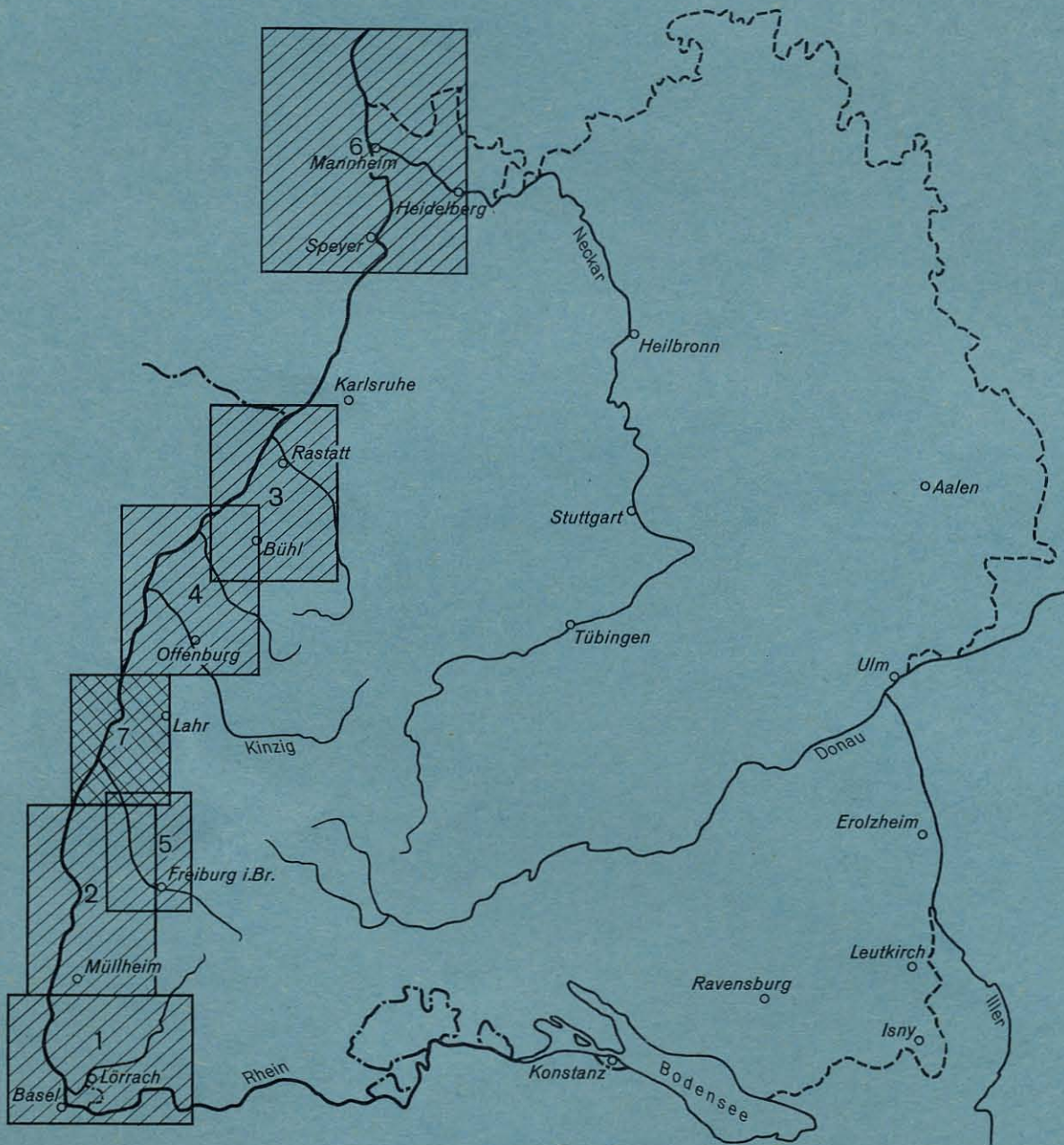
Hergestellt vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg/Br. und der Landesanstalt  
für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft – Karlsruhe  
unter Mitarbeit des Regierungspräsidiums Freiburg, Abt. Wasserwirtschaft

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



# Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

mit Erläuterungen (Erscheinungsjahr)



neu



bisher erschienen

- 1 Dinkelberg – Hochrhein (1975)
- 2 Kaiserstuhl – Markgräferland (1978)
- 3 Raum Rastatt (1978)

- 4 Bühl – Offenburg (1979)
- 5 Freiburger Bucht (1979)
- 6 Rhein-Neckar-Raum (1980)\*

- 7 Raum Lahr (1980)

\*gemeinsamer Bericht der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz

# **Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte**

**von**

**Baden-Württemberg**

**Ober rheingebiet**

**Raum Lahr**

**Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i.Br.**

**Bearbeiter: Dr. B. JUNKER**

**Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg  
– Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft – Karlsruhe**

**Bearbeiter: Dipl.-Ing. H. ESSLER**

**unter Mitarbeit des Regierungspräsidiums Freiburg  
– Abteilung Wasserwirtschaft –**

**1980**





<b>0.</b>	<b>Vorbemerkung</b>	<b>5</b>
<b>1.</b>	<b>Untersuchungsgebiet</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Geologischer Überblick</b>	<b>8</b>
2.1	Festgesteinsrahmen und tektonischer Bau des Oberrheingrabens	8
2.2	Entstehung und Verfüllung des Oberrheingrabens	8
<b>3.</b>	<b>Hydrogeologie</b>	<b>9</b>
3.1	Abgrenzung des Aquifers	9
3.2	Gliederung des Aquifers	9
3.3	Stratigraphie des Aquifers	11
3.4	Mächtigkeit des Aquifers	11
3.5	Grundwassereinspeisung am Grabenrand	11
3.6	Durchlässigkeitsverteilung	13
3.7	Transmissivitätsverteilung	13
3.8	Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten	21
<b>4.</b>	<b>Hydrochemie</b>	<b>23</b>
4.1	Verwendetes Datenmaterial	23
4.2	Gesamthärte und Karbonathärte	23
4.3	Sauerstoff	27
4.4	Freie und aggressive Kohlensäure	27
4.5	Eisen und Mangan	30
4.6	Chlorid	30
4.7	Nitrat	35
<b>5.</b>	<b>Hydrologie</b>	<b>36</b>
5.1	Untersuchungsgegenstand	36
5.2	Meßeinrichtungen	36
5.3	Klima	37
5.4	Oberflächengewässer	37
5.5	Wasserbauliche Maßnahmen	38
5.6	Grundwasser	39
5.6.1	Fließrichtung und Gefälle	39
5.6.2	Flurabstand	39
5.6.3	Schwankungen des Grundwasserstandes	45

		Seite
5.7	Grundwasserhaushalt	52
5.7.1	Grundwasserneubildung aus Niederschlag	52
5.7.2	Grundwasserneubildung bzw. -entzug durch Oberflächengewässer	52
5.7.3	Grundwasserneubildung durch Randzustrom	52
5.7.4	Grundwasserentnahmen	52
6.	<b>Grundwasserbilanz</b>	<b>54</b>
7.	<b>Ergebnisse und Folgerungen</b>	<b>58</b>
8.	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>61</b>
	Verzeichnis der Abbildungen	63
	Verzeichnis der Tabellen	63
	Verzeichnis der Karten	63



## 0. Vorbemerkung

Die Hydrogeologische Kartierung des Landes Baden-Württemberg hat das Ziel, im Interesse der Wasserwirtschaft den Kenntnisstand über die Grundwasservorkommen im Lande zu dokumentieren. Sie ist eine Gemeinschaftsarbeit von Geologen, Hydrologen und Wasserwirtschaftlern unter Einbeziehung von Wissen weiterer Fachrichtungen wie z.B. der Meteorologie.

Die Ergebnisse der Hydrogeologischen Kartierung sind Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Planung und dienen unter anderem der Sicherstellung der Wasserversorgung.

Aufgrund der unterschiedlichen Kenntnisse über die einzelnen Grundwasserlandschaften erfolgt die Untersuchung i.a. in zwei Stufen:

1. Sammeln und Auswerten des vorhandenen Wissens, Darstellen der Ergebnisse, Aufzeigen noch zu klärender Fragen.
2. Durchführen gezielter Untersuchungen zur Beantwortung der Fragen aus der ersten Stufe mit dem Ziel einer Grundwasserbilanzierung und der Möglichkeit, die menschlichen Eingriffe in den Wasserhaushalt aufeinander abzustimmen.

Das bedeutendste Grundwasservorkommen des Landes Baden-Württemberg ist der zu ihm gehörende Teil des Rheingrabens. Dieser wird von der Hydrogeologischen Kartierung in acht Bereiche aufgeteilt, die – dargestellt i.a. im Maßstab 1 : 50 000 – von Norden nach Süden folgende Bezeichnung haben:

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

Die vorgelegte Hydrogeologische Karte des Raums Lahr beinhaltet den Kenntnisstand der ersten Untersuchungsstufe. Darüberhinaus mußte – bedingt durch Mangel an tiefen Bohrungen vor allem im zentralen Teil – ein ausgedehntes geoelektrisches Untersuchungsprogramm mit 215 Sondierungspunkten durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung durchgeführt werden, um überhaupt Aussagen über Mächtigkeit und geologischen Aufbau des Lockergesteinskörpers machen zu können. Trotzdem bleibt der Raum Lahr im Vergleich zu den übrigen Abschnitten des Oberrheingebietes das geologisch am wenigsten bekannte Untersuchungsgebiet. Entsprechend sind die auf diesen ungenügenden geologischen Grundlagen aufbauenden Aussagen zur Hydrogeologie mit großen Unsicherheiten behaftet.

Zur Abklärung der hydrochemischen Verhältnisse wurde eigens für die Hydrogeologische Kartierung ein ausgedehntes hydrochemisches Untersuchungsprogramm mit 102 Vollanalysen durchgeführt.

Die Arbeiten wurden im Juli 1977 in Angriff genommen. Die Sammlung der Bohrdaten (bis Mai 1979) und deren Übertragung auf EDV-Träger erfolgte durch das Geologische Institut der Universität Freiburg, wobei zugleich die Einsatzmöglichkeit der EDV bei der Aufarbeitung der geologischen und hydrogeologischen Daten für die Hydrogeologische Kartierung erprobt werden sollte.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in einem Bericht des Geologischen Instituts (ABELE, FLUM & KOPP 1980) niedergelegt, dem verschiedene thematische Karten sowie hydrogeologische Schnitte und die Aufreihung aller Bohrungen in Profilsäulendarstellung beigegeben sind. Diese Unterlagen, insbesondere die Bohrpunktkarte und die Profilsäulendarstellung, haben die Erstellung der hydrogeologischen Karten wesentlich erleichtert und beschleunigt.

Auf hydrogeologische Literatur konnte mit Ausnahme einer Dissertation (ZELLENTIN 1972) nicht zurückgegriffen werden, jedoch standen Gutachten und Gebietserfahrungen von Angehörigen des Geologischen Landesamtes (HÜTTNER, LEIBER, SAUER, STRAYLE, WENDT) zur Verfügung.

Angaben zur Hydrogeologie auf französischem Staatsgebiet beruhen auf Unterlagen der Société Géologique Régional d'Alsace, Straßburg, die J. J. OBERLIN zusammenstellte. Angaben zur Geologie auf französischem Staatsgebiet sind dem in Druckvorbereitung befindlichen Blatt Benfeld 1 : 50 000 (GEISSERT & MENILLET) entnommen.

Die Beurteilung der langfristigen meteorologischen und hydrologischen Zusammenhänge basiert auf Messungen des Deutschen Wetterdienstes, veröffentlicht in den Monatlichen Witterungsberichten des Wetteramtes Freiburg, sowie Beobachtungen der Wasserstände und Abflüsse der Oberflächengewässer und des Grundwasserstandes seit Jahrzehnten, veröffentlicht im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, Sonderheft Land Baden-Württemberg.

Sonderuntersuchungen der Landesanstalt für Umweltschutz – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft – trugen ausgehend von der Analyse der Lysimetermessungen in der Rheinebene zur Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag bei (siehe Literaturverzeichnis I. und II. Bericht 1975).

Die hydrologische und limnologische Funktion der zahlreichen Baggerseen in der Rheinebene wurde in zwei Berichten der Landesanstalt für Umweltschutz – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft – in den Jahren 1975 und 1977 beurteilt.

Zahlreiche zum Teil noch laufende Arbeiten der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg untersuchen die Auswirkungen des Rheinausbaues.



## 1. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet „Raum Lahr“ liegt in der Region südlicher Oberrhein, wobei die nördliche Hälfte dem Landkreis Ortenau, die südliche Hälfte dem Landkreis Emmendingen angehört.

Es grenzt im Norden an das Kartierungsgebiet „Bereich Bühl – Offenburg“ (1979). Im Süden wird das Untersuchungsgebiet von der Hydrogeologischen Karte „Bereich Kaiserstuhl – Markgräflerland“ (1978) und der Hydrogeologischen Karte „Freiburger Bucht“ (1979) begrenzt (siehe Indexkarte Umschlagseite 2). Im Westen wurden die hydrogeologischen Untersuchungen abweichend von der ursprünglich vorgesehenen Bearbeitungsgrenze am Rhein nachträglich in Absprache mit der Société Géologique Régional d'Alsace auf französisches Staatsgebiet ausgeweitet, nachdem sich mit fortschreitender Arbeit ein überwiegend linksrheinischer Verlauf der Zone der größten Grundwassermächtigkeit herausstellte. So erfassen die Hydrogeologische Grundkarte (I), die Hydrogeologischen Schnitte (Ia), die Karte der Grundwasser-Mächtigkeit (V) und die Karte der Transmissivitätsverteilung (VI) auch linksrheinisches Gebiet. Entsprechend der überragenden wasserwirtschaftlichen Bedeutung der quartären Lockergesteinsfüllung des Oberrheingraben gegenüber dessen Festgesteinsrahmen, der Vorbergzone, beschränken sich die Untersuchungen auf das Verbreitungsgebiet der grundwasserführenden Lockergesteine. Östliche Bearbeitungsgrenze ist deshalb der Abbruch der lößbedeckten Vorbergzone gegen den Oberrheingraben.

Das untersuchte Gebiet umfaßt eine Fläche von rund 260 km<sup>2</sup> bzw. knapp 300 km<sup>2</sup> mit französischem Anteil auf insgesamt sechs Meßtischblättern (7612 Lahr West, 7613 Lahr Ost, 7711 Weisweil, 7712 Ettenheim, 7811 Wyhl, 7812 Kenzingen).

## 2. Geologischer Überblick

Über die Geologie des Untersuchungsgebiets „Raum Lahr“ liegen nur wenige Informationen vor. Im Vergleich zum übrigen Oberrheingraben darf man das Untersuchungsgebiet fast als eine geologische „terra incognita“ bezeichnen. Im folgenden müssen deshalb Erkenntnisse über Bau und Baugeschichte des Oberrheingrabens angeführt werden, die überwiegend in den angrenzenden Gebieten gewonnen wurden.

### 2.1 Festgesteinsrahmen und tektonischer Bau des Oberrheingrabens

Der Ostrand des zwischen Vogesen und Schwarzwald im Tertiär eingebrochenen Oberrheingrabens liegt als staffelförmiger Abbruch über mehrere z.T. antithetische Schollen vor.

Der Festgesteinsrahmen, die Vorbergzone, wird aus Buntsandstein, Muschelkalk, Dogger sowie aus Tertiär aufgebaut. Auf diesen mesozoischen und tertiären Sedimenten liegt örtlich mächtiger Löß und verschleiert den tektonischen Bau.

Südlich Lahr ist die hier aus Tertiär aufgebaute Vorbergzone unter rund 40 m Löß und Schwemmlehm sowie wenigen m sandig-schluffigem Kies einer alten NE–SW verlaufenden Rinne der Schutter begraben. Hier sind die beim Einbrechen am Gebirgsrand ansonsten in unterschiedlicher Höhenlage an der Grabenschulter hängengebliebenen mesozoischen Sedimente unter das quartäre Niveau abgesunken.

Im Graben grenzen zahlreiche an Verwerfungen gegeneinander abgesetzte Einzelschollen mesozoischer Gesteine aneinander. Während des Einsinkens legten sich mächtige tertiäre Sedimente verschiedener Altersstufen auf dieses mangels tieferreichender Bohraufschlüsse im Detail unbekannte mesozoische Schollen-Relief.

### 2.2 Entstehung und Verfüllung des Oberrheingrabens

Die Entstehung und Verfüllung des Oberrheingrabens begann im Alttertiär (Eozän) zunächst als flexurartige Einsenkung. Sie führte infolge fortschreitender Zerrung zum Einbruch eines Grabens. In diesen Graben wurden limnische und marine bis brackische Sedimente des Obereozän bis Oberoligozän in überwiegend tonig-mergeliger Ausbildung abgelagert (DOEBL 1970). Gleichzeitig mit der Einsenkung und Sedimentation fanden stellenweise auch Abtragungsvorgänge statt, so daß ein Relief entstand. Im Bereich des Grabentiefsten legte sich fluviatiles Pliozän in unterschiedlicher Mächtigkeit auf die älteren tertiären und mesozoischen Schichten. Im Grabenrandbereich und am nördlichen Kaiserstuhlrand – ungefähr SE der Linie Oberschopfheim – Langenwinkel – Grafenhausen – Rust – Schönau – kamen keine pliozänen Sedimente zur Ablagerung. Bei Mahlberg wurde Keuper unter dem Quartär erbohrt, bei Kenzingen bildet Haupttrogenstein das Liegende. In den Erdölbohrungen „Wyhl“ und „Weisweil“ wurden Niederrödderner bzw. Pechelbronner Schichten unter den quartären Lockergesteinen nachgewiesen.

Nach BARTZ (1974) wurde der zuvor der Rhône tributäre Alpenrhein an der Wende Pliozän/Quartär in den Oberrheingraben und damit zur Nordsee umgelenkt. Dies geschah im Gefolge der Faltung des Schweizer Juras und der ab Altquartär einsetzenden Absenkung des Südteils des Oberrheingrabens, der während des gesamten Pliozäns Abtragungsgebiet gewesen war.

Die Verfüllung des Oberrheingrabens setzte sich im Quartär mit eiszeitlichen Kiesen und Sanden fort, die überwiegend vom Rhein aus dem alpinen Raum transportiert wurden. Lediglich am Ausgang der Riegeler Pforte, im Grabenrandbereich sowie in den Trichtern der größeren in die Rheinebene mündenden Flüsse liegen Schwarzwaldkiese und Material aus der Vorbergzone vor. Diese mächtigen eiszeitlichen Lockergesteine bauen den Grundwasserleiter des Untersuchungsgebietes auf.

Zwischen den Eiszeiten, in den Interglazialen, wurden geringmächtige sandig-tonige Schluffhorizonte mit (stellenweise) organischen Beimengungen abgelagert, welche eine stratigraphische und hydrogeologische Gliederung der eiszeitlichen Lockergesteine ermöglichen. In der Nacheiszeit, im Holozän, schnitt sich der Rhein in seine letzteiszeitliche Aufschotterungsebene, die Niederterrasse, ein und lagerte die Kiese bis in eine Tiefe von rund 15 m um. Über diesen sehr gut wasserdurchlässigen Kiesen der Rheinaue folgen als jüngste Ablagerungen die Auelehne als Hochflutabsätze des Rheins. Ebenfalls umgelagert – allerdings nur wenige m tief – und von holozänen Deckschichten überlagert wurden die Niederterrassekiese in einem der Vorbergzone vorgelagerten Rinnensystem von Abflüssen aus der Freiburger Bucht und der Vorbergzone. Diese holozäne Niederung ist vergleichbar mit der ab Offenburg bis über Karlsruhe hinaus am Grabenrand parallel zum Rhein verlaufenden Kinzig–Murg–Niederung.



### 3. Hydrogeologie

#### 3.1 Abgrenzung des Aquifers (siehe Karte I und Karte IV)

Im Gegensatz zu den bisher bearbeiteten Kartiergebieten kann im Raum Lahr die Quartärbasis nicht dargestellt werden, da nur sehr wenige Bohrungen Aufschluß über die Basis der quartären Ablagerungen geben. Ebenso wenig lieferten die geoelektrischen Sondierungen Aussagen zur Quartärbasis, da das jüngste Pliozän vom ältesten Quartär lithologisch kaum zu unterscheiden ist und das tonig-mergelige Tertiär dieselben Widerstandswerte aufweist. In Karte I wurde deshalb die mit den geoelektrischen Sondierungen ermittelte Basis der grundwasserführenden Kiese und Sande dargestellt.

Am Kaiserstuhl-Nordrand und vor dem Ausgang der Riegeler Pforte entspricht der Aufbau der quartären Kiesfüllung des Rheingrabens demjenigen in der Breisgauer Bucht oberhalb der Pforte (Hydrogeologische Kartierung Freiburger Bucht). Die Kiese des tieferen Bereichs sind, wie aus einigen Bohrungen bekannt ist, stark zersetzt und verschlufft, unterscheiden sich aber trotzdem in ihren elektrischen Widerstandswerten nur wenig von den hangenden sauberen Kiesen. Hier ist auf der Karte die Basis des Grundwasserleiters mit der Untergrenze des Oberen Kieslagers gleichgesetzt, d.h. es wurde hier im Gegensatz zum übrigen Arbeitsgebiet von der Gleichsetzung mit der geoelektrisch ermittelten Obergrenze der niedermächtigen Sohlschicht abgewichen.

Als Obergrenze des Aquifers, dessen Mächtigkeit in Karte V dargestellt ist, wurde das MW 1975 (Karte IV) festgelegt.

#### 3.2 Gliederung des Aquifers (siehe Karte Ia und Karte Ib)

Der Aquifer kann wie in den nördlich anschließenden Kartiergebieten Raum Rastatt und Bereich Bühl – Offenburg vertikal in drei eiszeitliche Kieslager gegliedert werden, die jeweils durch sandig-schluffige Interglazialbildungen voneinander getrennt sind (siehe Tab. 3.1 und Hydrogeologische Schnitte 1–5).

Von unten nach oben liegen folgende quartäre Einheiten vor:

##### **Unteres Kieslager (UKL)**

Das Untere Kieslager ist sandig-kiesig entwickelt, wobei der untere Teil als dichtgelagertes schluffiges Sandpaket nur gering durchlässig ist. Die obere sandig-kiesige Folge enthält verschiedene nicht horizontbeständige Schlufflagen. In der Riegeler Pforte, am Nordrand des Kaiserstuhls und im Schuttertal wird das Untere Kieslager ausschließlich von Schluff und zersetzten Kiesen aufgebaut.

Das Untere Kieslager gleicht das präquartäre Relief aus. Am Grabenrand kann es auch ausfallen.

##### **Unterer Zwischenhorizont (UZH)**

Über dem Unteren Kieslager liegt eine bis zu mehrere m mächtige Schicht aus Sanden und/oder Schluffen mit gelegentlichen Tonanteilen. Stellenweise fehlt dieser Horizont oder wird von Feinkieslagen eingenommen.

##### **Mittleres Kieslager (MKL)**

Das Mittlere Kieslager liegt als kiesig-sandige Abfolge vor, in die vereinzelt Schluffschichten eingeschaltet sind. In der Riegeler Pforte, am Nordrand des Kaiserstuhls und im Schuttertal sind die Kiese des Mittleren Kieslagers stark verlehmt und zersetzt und damit praktisch wasserundurchlässig.

##### **Oberer Zwischenhorizont (OZH)**

Der Obere Zwischenhorizont ist als Schluffhorizont, als Feinsandlage oder als Feinkieslage entwickelt, kann aber gelegentlich auch fehlen. Selten sind organische Ablagerungen beigemischt. Er trennt das Mittlere Kieslager vom Oberen Kieslager.

##### **Oberes Kieslager (OKL)**

Das Obere Kieslager besteht aus Schottern und Kiesen, in die wenig Sand eingeschaltet ist. Am Ausgang der Riegeler Pforte sowie im Schuttertal und dessen Mündungstrichter ist Schwarzwald- und Vorbergzonenmaterial stärker beteiligt; auch ist der Sandanteil etwas höher.

Das Obere Kieslager läßt sich auch horizontal gliedern (Abb. 3.1). Aufgrund der verschieden dichten Lagerung kann unterschieden werden zwischen sehr locker gelagerten Kiesen der Rheinaue (Kiestyp AR), locker gelagerten Kiesen der Niederterrasse (Kiestyp A) und locker- bis festgelagerten Kiesen im Grabenrandbereich, Riegeler Pforte und Schuttertal (Kiestyp G). Die vertikale Gliederung in Kieslager und die horizontale in Kiestypen-Bereiche ist zugleich eine Gliederung in verschiedenen durchlässige Aquiferabschnitte und -bereiche (siehe Kap. 3.6).

Maximale Mächtigkeiten (m)	Hydrogeologische Gliederung	Lithologische Gliederung	Stratigraphische Gliederung	Quartär	
				Holozän	Pleistozän
5	Deckschichten	Lehme, Sande, Löß	Post-Glazial		
30	Oberes Kieslager	Kiese, Sande	Würm-Glazial		
5	Oberer Zwischenhorizont	Schluff, Feinsand, Feinkies, (Torf)	Eem-Warmzeit		
40	Mittleres Kieslager	<div> <div>Kiese, Sande</div> <div>Schluff, Sande, zersetzte Kiese (Kaiserstuhl-Nordrand, Riegeler Pforte, Schutttertall)</div> </div>	Riß-Glazial		
5	Unterer Zwischenhorizont	Sand, Schluff, Ton, Feinkies	Holstein-Warmzeit		
(?40)	obere Folge	Sande, Kiese, Schluff	Mindel-Glazial		
(?60)	untere Folge	<div> <div>Sande, Schluff</div> <div>Schluff, zersetzte Kiese (Kaiserstuhl-Nordrand, Riegeler Pforte, Schutttertall)</div> </div>	Prä-Mindel		
Grundwasserleiter					
	Sohlschicht	Schluffe, Tone, Mergel, Sande	Pliozän	Tertiär	Mesozoikum
		Graben-achse NW-Teil	Graben-rand		

Tab. 3.1.: Gliederung der quartären Lockergesteine des Oberrheingrabens im Raum Lahr



### 3.3 Stratigraphie des Aquifers

Die vertikale Gliederung der quartären Füllung des Rheingrabens in drei Kieslager und zwei Zwischenhorizonte ist auch eine stratigraphische Gliederung (siehe Tab. 3.1).

Nach BARTZ (1976) sind die verschiedenen Kieslager jeweils einer Eiszeit zuzuordnen. Die beiden Zwischenhorizonte werden als interglaziale Bildungen eingestuft. Das Untere Kieslager wurde im Prä-Mindel und im Mindel-Glazial abgelagert; das Mittlere Kieslager ist ins Riß-Glazial zu stellen. Das Obere Kieslager ist eine Bildung des Würm-Glazials und teilweise des Post-Glazials (in der Rheinaue). Der Untere Zwischenhorizont ist in die Holstein-Warmzeit, der Obere Zwischenhorizont in das Eem bis in das Altwurm zu stellen.

Diese stratigraphische Einstufung der Zwischenhorizonte in die Interglaziale erfolgte im Raum „Rastatt“ durch Pollenuntersuchungen (v.d. BRELIE in BARTZ 1976). Im Bereich „Bühl – Offenburg“ konnte das Eem-Alter des Oberen Zwischenhorizontes durch  $^{14}\text{C}$ -Bestimmungen (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Kommentar GEYH) an Holzresten bestätigt werden. Eine im Bereich der Riegeler Pforte durchgeführte  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung an einer Torfprobe aus dem Oberen Zwischenhorizont erbrachte ein entsprechendes Ergebnis. Nach SCHREINER (1977) entstand der Torfhorizont in einer kühlen Spätphase der Warmzeit zwischen Riß und Hauptwürm. Die darüber liegenden Kiese und Sande entsprechen nach WENDT (1979) stratigraphisch dem Oberen Kieslager.

### 3.4 Mächtigkeit des Aquifers (siehe Karte V)

Die in Karte V dargestellte Grundwasser-Mächtigkeit beruht überwiegend auf den Ergebnissen von geoelektrischen Sondierungen und ist damit zwangsläufig mit einem Fehler von mindestens  $\pm 10\%$  behaftet. Nach den geoelektrischen Messungen verläuft das Rinnentiefste des Aquifers linksrheinisch etwa längs der Linie Saasenheim – Diebolsheim – Obenheim – Gerstheim. Der Aquifer erreicht dort Mächtigkeiten bis 180 m, wovon über 100 m auf das Untere Kieslager entfallen. In diesem zentralen Grabenbereich dürfte die Basis des Grundwasserleiters identisch sein mit der Quartärbasis. Im südlich anschließenden Bereich „Kaiserstuhl – Markgräflerland“ beträgt die maximale Aquifermächtigkeit bei Geiswasser rund 240 m, im nördlich anschließenden Bereich „Bühl – Offenburg“ bei Altenheim rund 140 m und weiter nördlich im Raum Rastatt nur noch 65 m. Insgesamt steigt die Grabenachse also von SSW nach NNE an.

Die Mächtigkeit des Aquifers nimmt zum Grabenrand, bedingt durch das präquartäre Relief mit einigen tertiären Hochschollen bei Schönau, Kappel, Rheinau und Nonnenweier, ungleichmäßig ab.

Im Bereich der Riegeler Pforte ist der Aquifer weniger als 20 m, im Schuttertal weniger als 10 (– 15) m mächtig. Die Mächtigkeit der grundwasserführenden Lockergesteine in den Tälern der übrigen aus der Vorbergzone austretenden Gewässer ist völlig unbedeutend.

Das Obere und Mittlere Kieslager zeigen mit Ausnahme dieser Bereiche im allgemeinen im gesamten Untersuchungsgebiet eine ziemlich gleichbleibende Mächtigkeit von 25–30 m bzw. 30–40 m. Demgegenüber liegt das Untere Kieslager reliefausgleichend auf dem Prä-Quartär. Dadurch kann seine Mächtigkeit zwischen 100 m im Grabentiefsten und Null am Grabenrand betragen.

### 3.5 Grundwasser-Einspeisung am Grabenrand

Wie oben angeführt, ist die Mächtigkeit der grundwasserführenden Lockergesteine in den in den Oberrheingraben mündenden Tälern unbedeutend. Entsprechend ist auch die unterirdische Einspeisung über diese Talfüllungen gering. Eine Einspeisung aus dem Randgebirge in das Grundwasser der Grabenfüllung erfolgt überwiegend oberirdisch über die Gewässer.

Eine nicht unbedeutende Grundwassereinspeisung in den Graben muß aber über die Grenzfläche zwischen Locker- und Festgestein aus der Vorbergzone angenommen werden. Die wesentlich am Aufbau der Vorbergzone beteiligten Festgesteine Buntsandstein und Muschelkalk sind, wie auch der Hauptrogenstein, gut geklüftet und grundwasserführend. Die Zuflüsse aus diesen Klufgrundwasserleitern in die Grabenfüllung können allerdings nicht quantifiziert werden (vgl. Kap. 5.7.3). Sie dürften in der Größenordnung von mehreren l/s-km liegen.

Spezielle Untersuchungen (EINSELE et al. 1976) für die Hydrogeologische Karte „Speyer–Karlsruhe“ am Grabenrand zwischen Ettlingen und Malsch erbrachten für die dort ebenfalls aus Buntsandstein und Muschelkalk aufgebaute Vorbergzone Werte von 10–15 l/s-km. In derselben Größenordnung liegen auch die von JOACHIM & VILLINGER (1976) angeführten Randzuflüsse im Untersuchungsgebiet der Hydrogeologischen Karte „Rhein–Neckar–Raum“.

Eine randliche Einspeisung findet dort nicht statt, wo undurchlässige Festgesteine an die Lockergesteinsfüllung grenzen. Dies ist der Fall südlich und nördlich von Lahr, wo das Randgebirge aus tertiären Mergeln, z.T. unter mächtiger Lößlehmbedeckung, besteht.

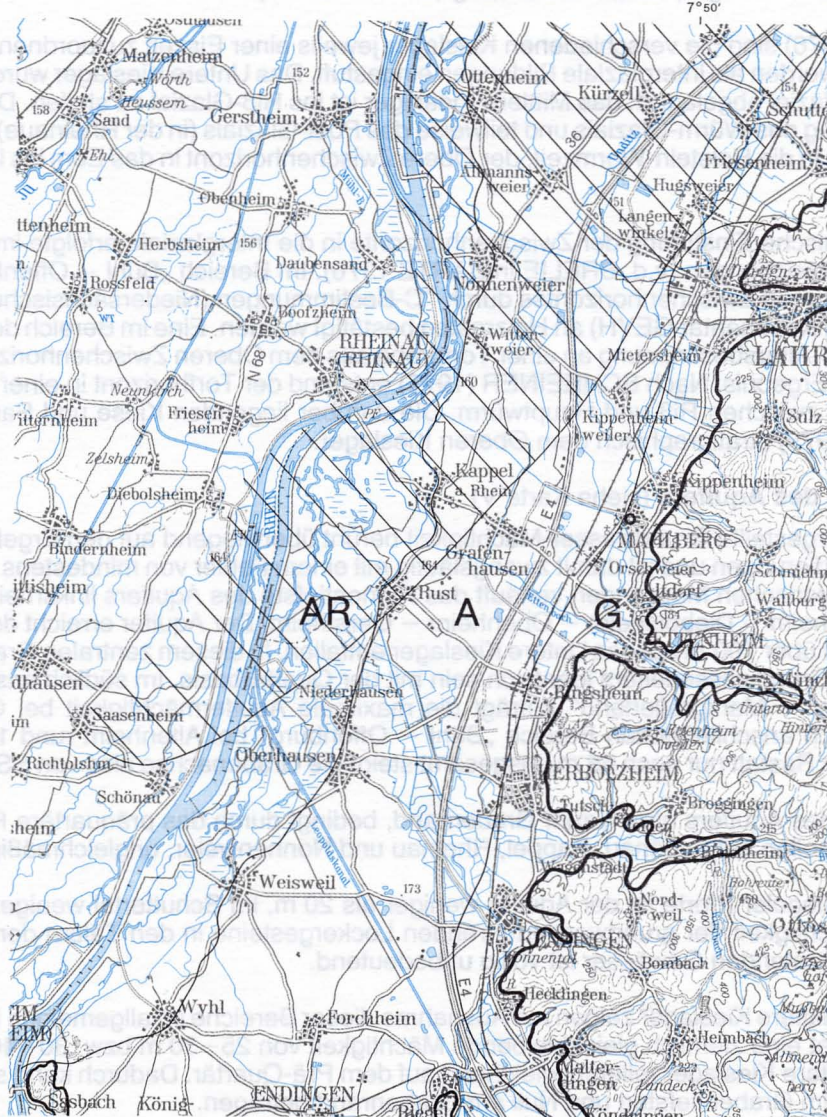


Abb.3.1: Verbreitungsgebiet der Kiestypen und ungefähre Verbreitung von Pliozän

AR = Kiestyp Rheinaue

A = Kiestyp Niederterrasse

G = Kiestyp Grabenrand

\\ \\ \\ Pliozän unter Quartär

~~~~~ Grenze Locker- / Festgestein

1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 km

### 3.6 Durchlässigkeitsverteilung

Die Durchlässigkeit der Lockergesteine hängt von der Lagerungsdichte und der Materialzusammensetzung ab. Aufgrund dieser beiden Kriterien können im Kartiergebiet folgende Bereiche unterschiedlicher Kiestypen (siehe auch Kap. 3.2) unterschieden werden (vgl. Abb. 3.1):

|            |                   |                   |                                    |
|------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|
| Kiestyp AR | Rheinaue          | Lagerungsdichte:  | sehr locker                        |
|            |                   | Materialherkunft: | alpin                              |
| Kiestyp A  | Niederterrasse    | Lagerungsdichte:  | locker                             |
|            |                   | Materialherkunft: | alpin                              |
| Kiestyp G  | Grabenrandbereich | Lagerungsdichte:  | locker bis fest                    |
|            |                   | Materialherkunft: | alpin, Vorbergzone und Schwarzwald |

Die Grenze zwischen den Kiestypen AR und A ist durch den etwa 1 m bis maximal 2 m hohen Geländesprung zwischen Rheinaue und Niederterrasse bestimmt. Hingegen läßt sich die Grenze zwischen den Kiestypen A und G nicht eindeutig festlegen, da die Ausbreitung des Schwarzwaldmaterials aufgrund der wenigen Bohraufschlüsse am Grabenrand nicht ausreichend bekannt ist.

Die größten Durchlässigkeiten weisen die sehr locker gelagerten Kiese der Rheinaue auf, die im Holozän durch den Rhein bis zu einer Tiefe von rund 15 m umgelagert wurden. Untersuchungen über diesen Kiestyp AR liegen lediglich aus dem Raum Wyhl vor. Auswertungen von Siebanalysen und Pumpversuchen nach mehreren Verfahren (unveröffentlichtes Amtsgutachten: Bearbeiter STRAYLE & WENDT) erbrachten dort außerordentlich hohe mittlere Durchlässigkeitsbeiwerte von rund  $30 \times 10^{-3}$  m/s bis zur Holozänbasis (Tiefe bis 14 m u.G.) sowie von rund  $12 \times 10^{-3}$  m/s für den pleistozänen Aquifer bis zu einer Tiefe von 45 m.

Das Verhältnis zwischen vertikaler und horizontaler Durchlässigkeit (z-Anisotropie) beträgt rund 1 : 5 bis zu einer Tiefe von 28 m (ungefähre Basis des Oberen Kieslagers), darunter rund 1 : 10. Der nutzbare Porenraum liegt bei 16 %.

Da das Untersuchungsfeld in einem Altrheinarm-System liegt, können diese außerordentlich hohen Durchlässigkeitswerte im holozänen Anteil des Oberen Kieslagers nicht für den gesamten Bereich der Rheinaue angesetzt werden. Ein durchschnittlicher  $k_f$ -Wert von  $15 \times 10^{-3}$  m/s für das Obere Kieslager im Bereich der Rheinaue dürfte der Wirklichkeit näherkommen.

Demgegenüber betragen die  $k_f$ -Werte für das Obere Kieslager im Verbreitungsgebiet der Niederterrassensenkiese rund  $3 \times 10^{-3}$  m/s, für das Obere und Mittlere Kieslager zusammen etwa  $2,3 \times 10^{-3}$  m/s.

Die Durchlässigkeiten von Rheinaue und Niederterrasse verhalten sich somit wie etwa 5 : 1.

Im Grabenrandbereich wurde aus fünf Pumpversuchen ein durchschnittlicher  $k_f$ -Wert von  $0,9 \times 10^{-3}$  m/s für das Obere Kieslager ermittelt. Die Durchlässigkeit ist also um mehr als eine Zehnerpotenz geringer als in der Rheinaue.

Im Schuttertal schließlich wurden im Oberen Kieslager noch geringere Durchlässigkeitsbeiwerte von rund  $0,3 \times 10^{-3}$  m/s ermittelt. Mittleres und Unteres Kieslager sind hier praktisch grundwasserfrei.

Diese Größenordnung von  $0,3 \times 10^{-3}$  m/s dürfte auch dem Aquiferabschnitt des Unteren Kieslagers im Niederterrassen- und Rheinauenbereich zuzuordnen sein.

Pumpversuche aus dem Unteren Kieslager liegen im Untersuchungsgebiet nicht vor.

Diese oben angeführten mittleren Durchlässigkeitsbeiwerte für die verschiedenen Aquiferbereiche und -abschnitte wurden aus den Regressionsfunktionen zwischen Transmissivitäten und den Mächtigkeiten der Kieslager ermittelt.

### 3.7 Transmissivitätsverteilung (siehe Karte VI)

Der Karte der Transmissivitätsverteilung liegen die aus 61 Pumpversuchen gewonnenen hydraulischen Parameter zugrunde (siehe Tab. 3.2). Die Auswertung erfolgte überwiegend nach Nährungsverfahren unter Mitarbeit von M. FLUM und D. KOPP (Geologisches Institut der Universität Freiburg). Sechs komplizierte Pumpversuche mit Pegelfeldern wurden mit dem EDV-Programm THPUMP des Geologischen Landesamtes von R. SCHWEIZER ausgewertet. Zur Konstruktion von Isolinen reichen die Ergebnisse dieser qualitativ unterschiedlichen und regional ungleichmäßig verteilten Pumpversuche allerdings nicht aus.



| Aquifer-Abschnitt | Kiestypen-Bereich | Bohr-Nr. | T (m <sup>2</sup> /s)<br>x 10 <sup>-3</sup> | H <sub>Kies</sub> (m) | H <sub>Aquifer</sub> (m) | H <sub>Kies</sub> /H <sub>Aquifer</sub> | $\overline{H_{Kies}/H_{Aquifer}}$ |
|-------------------|-------------------|----------|---------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| OKL               | AR                | 1005     | 433                                         | 26,4                  | 26,4                     | 1,00                                    | 1,00                              |
| OKL               | A                 | 1040     | 52                                          | 10,35                 | 10,4                     | 1,00                                    | 0,82                              |
|                   |                   | 1065     | 64                                          | 7,8                   | 7,8                      | 1,00                                    |                                   |
|                   |                   | 2436     | 32                                          | 11,5                  | 13,7                     | 0,84                                    |                                   |
|                   |                   | 1300     | 31                                          | 7,8                   | 11,4                     | 0,68                                    |                                   |
|                   |                   | 2060     | 55                                          | 7,0                   | 8,5                      | 0,82                                    |                                   |
|                   |                   | 2061     | 66                                          | 7,8                   | 8,0                      | 0,98                                    |                                   |
|                   |                   | 2433     | 29                                          | 9,2                   | 13,4                     | 0,69                                    |                                   |
|                   |                   | 1392     | 14                                          | 4,3                   | 5,6                      | 0,77                                    |                                   |
|                   |                   | 1039     | 23                                          | 9,9                   | 12,6                     | 0,79                                    |                                   |
|                   |                   | 1053     | 90                                          | 18,5                  | 23,95                    | 0,77                                    |                                   |
|                   |                   | 1055     | 100                                         | 22,3                  | 23,65                    | 0,94                                    |                                   |
|                   |                   | 1084     | 32                                          | 9,9                   | 17,7                     | 0,56                                    |                                   |
|                   |                   | 1093     | 73                                          | 9,9                   | 14,5                     | 0,63                                    |                                   |
|                   |                   | 1096     | 65                                          | 9,5                   | 10,1                     | 0,94                                    |                                   |
|                   |                   | 1097     | 34                                          | 7,7                   | 9,2                      | 0,84                                    |                                   |
|                   |                   | 1358     | 49                                          | 10,9                  | 13,25                    | 0,82                                    |                                   |
|                   |                   | 2438     | 43                                          | 10,5                  | 10,5                     | 1,00                                    |                                   |
|                   |                   | 1088     | 58                                          | 9                     | 12,4                     | 0,73                                    |                                   |
|                   |                   | 1090     | 25                                          | 8,2                   | 10,2                     | 0,80                                    |                                   |
|                   |                   | 1091     | 37                                          | 4,2                   | 8,2                      | 0,51                                    |                                   |
|                   |                   | 1092     | 7                                           | 5,6                   | 7,1                      | 0,79                                    |                                   |
|                   |                   | 2094     | 31                                          | 8,5                   | 11,05                    | 0,77                                    |                                   |
|                   |                   | 2122     | 75                                          | 10,5                  | 14,6                     | 0,72                                    |                                   |
|                   |                   | 1086     | 80                                          | 11,15                 | 11,5                     | 0,97                                    |                                   |
|                   |                   | 1253     | 45                                          | 8,5                   | 8,5                      | 1,00                                    |                                   |
|                   |                   | 1258     | 54                                          | 9,5                   | 9,5                      | 1,00                                    |                                   |
|                   |                   | 1259     | 55                                          | 9,3                   | 9,3                      | 1,00                                    |                                   |
|                   |                   | 1260     | 55                                          | 8,75                  | 8,85                     | 0,99                                    |                                   |
|                   |                   | 2062     | 54                                          | 8,8                   | 12,8                     | 0,69                                    |                                   |
|                   |                   | 2229     | 110                                         | 19,7                  | 22,85                    | 0,86                                    |                                   |
|                   |                   | 2230     | 22                                          | 8,9                   | 10,55                    | 0,84                                    |                                   |
|                   |                   | 2431     | 90                                          | 13,3                  | 17,85                    | 0,75                                    |                                   |
|                   |                   | 2437     | 43                                          | 9,2                   | 9,3                      | 0,99                                    |                                   |
|                   |                   | 2228     | 53                                          | 6,6                   | 7,9                      | 0,84                                    |                                   |
|                   |                   | 2435     | 17                                          | 8,0                   | 16,15                    | 0,50                                    |                                   |
|                   |                   | 1080     | 41                                          | 11,9                  | 14,35                    | 0,83                                    |                                   |
|                   |                   | 1081     | 55                                          | 11,2                  | 12,1                     | 0,93                                    |                                   |
|                   |                   | 1082     | 21                                          | 9,15                  | 12,25                    | 0,75                                    |                                   |
|                   |                   | 2041     | 85                                          | 18,25                 | 19,1                     | 0,96                                    |                                   |
|                   |                   | 2434     | 52                                          | 9,2                   | 10,75                    | 0,86                                    |                                   |
|                   |                   | 1396     | 70                                          | 22,8                  | 29,7                     | 0,77                                    |                                   |
|                   |                   | 2450     | 25                                          | 6,35                  | 14,6                     | 0,44                                    |                                   |
|                   |                   | 1415     | 85                                          | 22,9                  | 26,5                     | 0,86                                    |                                   |
|                   |                   | 1421     | 120                                         | 28,65                 | 28,65                    | 1,00                                    |                                   |
| OKL               | G                 | 1095     | 16                                          | 11,8                  | 17,2                     | 0,69                                    | 0,64                              |
|                   |                   | 1368     | 11                                          | 7,7                   | 11,05                    | 0,70                                    |                                   |
|                   |                   | 2443     | 22                                          | 14,7                  | 22,7                     | 0,65                                    |                                   |
|                   |                   | 1087     | 13                                          | 6,7                   | 12,6                     | 0,53                                    |                                   |
|                   |                   | 2048     | 13                                          | 7,9                   | 12,9                     | 0,61                                    |                                   |
| OKL-MKL           | AR                | 1005     | 555                                         | 43,1                  | 43,1                     | 1,00                                    | 1,00                              |
| OKL-MKL           | A                 | 1062     | 97                                          | 31,4                  | 49,7                     | 0,63                                    | 0,80                              |
|                   |                   | 1063     | 120                                         | 48,0                  | 48,85                    | 0,98                                    |                                   |
|                   |                   | 1408     | 109                                         | 30,0                  | 38,0                     | 0,79                                    |                                   |
|                   |                   | 1420     | 170                                         | 57,5                  | 67,65                    | 0,85                                    |                                   |
|                   |                   | 2440     | 113                                         | 38,7                  | 48,85                    | 0,79                                    |                                   |
|                   |                   | 1059     | 87                                          | 27,3                  | 47,5                     | 0,58                                    |                                   |
|                   |                   | 1375     | 140                                         | 48,8                  | 48,8                     | 1,00                                    |                                   |

**Tab.: 3.2.: Verzeichnis der Pumpversuche**

AR = Kiestypen – Bereich Rheinaue  
A = Kiestypen – Bereich Niederterrasse  
G = Kiestypen – Bereich Grabenrand  
OKL = Oberes Kieslager  
OKL-MKL = Oberes und Mittleres Kieslager

Daher wurde das im Kartiergebiet „Raum Rastatt“ erprobte Verfahren angewandt, bei dem aus den Ergebnissen der Pumpversuchsauswertungen durch Regressionsanalysen gebietsspezifische hydraulische Parameter gewonnen werden können (Abb. 3.2).

Dabei braucht zur Bestimmung des maßgebenden Durchlässigkeitsbeiwertes aus der Transmissivität nur die Mächtigkeit des im Aquifer enthaltenen Kiesel berücksichtigt zu werden. Die Sand- und Schluffschichten können hingegen außer acht bleiben, weil die im Aquifer eingeschalteten Sande bzw. Schluffe nachweislich gegenüber dem Kies um 1 bis 3 Zehnerpotenzen geringere Durchlässigkeiten aufweisen. Der für die Kiese bestimmte gebiets- und abschnittsspezifische Durchlässigkeitsbeiwert gestattet es für jeden beliebigen Bereich des Untersuchungsgebietes, die Transmissivität überschlägig anzugeben, sofern aus Bohrprofilen ermittelte, aus geoelektrischen Sondierungen abgeleitete oder aus hydrogeologischen Schnitten konstruierte Kiesmächtigkeiten vorliegen. Dazu besitzt man die einfache Formel

$$T = K_{fKies} \times H_{Kies}$$

Die für das Obere Kieselager im Bereich der anstehenden und der von geringmächtigen holozänen Ablagerungen überdeckten Niederterrasse aus 44 Pumpversuchen ermittelte Regressionsfunktion  $y = 0,00936 + 0,00398x$  hat einen mäßigen Korrelationskoeffizienten von  $r^2 = 0,61$ . Der  $k_f$ -Wert des Kiesel beträgt rund  $4 \times 10^{-3}$  m/s ( $k_f$ -Wert des Aquifers =  $3 \times 10^{-3}$  m/s).

Der Ordinatenwert 0,00936 bedeutet, daß eine „Rest-Transmissivität“ von aufgerundet  $10 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s in den bei der Berechnung außer acht gelassenen kiesigen und schluffigen Sanden steckt.

Im Grabenrandbereich ergab sich aus fünf Pumpversuchen im Oberen Kieselager eine Regressionsfunktion  $y = 0,00330 + 0,000120x$  mit einem guten Korrelationskoeffizienten  $r^2 = 0,89$ . Der ermittelte  $k_f$ -Wert des Kiesel  $1,2 \times 10^{-3}$  m/s ( $k_f$ -Wert des Aquifers =  $0,9 \times 10^{-3}$  m/s) liegt über dem im nördlich anschließenden Kartiergebiet „Bereich Bühl – Offenburg“ ermittelten  $k_f$ -Wert des Kiesel von  $0,91 \times 10^{-3}$  m/s, jedoch deutlich unter dem Kies- $k_f$  des Kartiergebietes „Raum Rastatt“ mit  $2,21 \times 10^{-3}$  m/s.

Die sieben Pumpversuche, welche im Niederterrassenbereich den Aquiferabschnitt des Oberen und Mittleren Kieselagers erfaßten, ergaben für den Kies eine Regressionsfunktion  $y = 0,02827 + 0,00226x$  mit einem guten Korrelationskoeffizienten  $r^2 = 0,86$ . Der hohe Ordinatenwert von 0,02827 zeigt an, daß die im Oberen und Mittleren Kieselager sowie im Oberen Zwischenhorizont enthaltenen kiesigen Sande eine nicht zu vernachlässigende „Rest-Transmissivität“ von rund  $30 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s zur Gesamttransmissivität für den Profilabschnitt des Oberen und Mittleren Kieselagers beisteuern.

Im Nachbargebiet „Bereich Bühl – Offenburg“, in dem Schwarzwaldmaterial mit einem vergleichsweise höheren Anteil am Aufbau des Kieselkörpers beteiligt ist, ergab sich für den Kies ein  $k_f$ -Wert von  $1,44 \times 10^{-3}$  m/s, im nahezu schwarzwaldmaterialfreien Untersuchungsgebiet „Raum Rastatt“ wurde ein durchschnittlicher Kies- $k_f$ -Wert von  $2,81 \times 10^{-3}$  m/s errechnet.

Drei weitere Pumpversuche im Oberen Kieselager im Schuttetal erbrachten einen durchschnittlichen  $k_f$ -Wert für den Kies von  $0,8 \times 10^{-3}$  m/s. Dieser Wert ist (aus Vergleichsgründen mit anderen Kartiergebieten) in etwa auch für den Kies im Unteren Kieselager der übrigen Kiestypenbereiche anzusetzen.

Wie bereits erwähnt, wurde der Kiestypenbereich Rheinaue lediglich in einem Versuchsfeld bei Wyhl getestet. Die digital gemessenen und nach mehreren Verfahren ausgewerteten Pumpversuche liefern allerdings die am besten abgesicherten Ergebnisse. In diesem Bereich können Aquifermächtigkeit und Kiesmächtigkeit im Oberen und (mit Einschränkung auch im) Mittleren Kieselager annähernd gleichgesetzt werden.

Faßt man zum Vergleich alle 56 Pumpversuche (ohne Rheinaue und Schuttetal) zusammen, so erhält man eine – freilich nur statistisch relevante – Regressionsfunktion von  $y = 0,01965 + 2,71x$  mit einem Korrelationskoeffizienten  $r^2 = 0,68$ . Dieser mittlere Kies-Durchlässigkeitsbeiwert darf selbstverständlich nicht an jeder Stelle des Untersuchungsgebietes zur Berechnung der Transmissivität in die Formel  $T = k_{fKies} \times H_{Kies}$  eingesetzt werden. Hierfür sind jeweils die spezifischen Kies- $k_f$ -Werte der horizontalen Bereiche Rheinaue, Niederterrasse und Grabenrand sowie der vertikalen Abschnitte des Oberen, Mittleren und Unteren Kieselagers anzuwenden.

Die Gesamttransmissivität des Aquifers an jeder beliebigen Stelle des Untersuchungsgebietes errechnet sich somit aus der Summe der ermittelten Einzel-Transmissivitäten der drei Kieselager, also

$$T_{\text{Gesamt}} = T_{\text{OKL}} + T_{\text{MKL}} + T_{\text{UKL}}$$

Da sich jeder Einzelwert eines Horizontes jeweils aus einer „Rest-Transmissivität“ und dem Produkt aus Durchlässigkeit und Mächtigkeit des Kiesel zusammensetzt, gilt:

$$T_{\text{Aquifer}} = [T_{\text{Rest}} + (k_f \times H)_{\text{Kies}}]_{\text{OKL}} + [T_{\text{Rest}} + (k_f \times H)_{\text{Kies}}]_{\text{MKL}} + [T_{\text{Rest}} + (k_f \times H)_{\text{Kies}}]_{\text{UKL}}$$



| Kiestypen-<br>Bereich<br>Aquifer-<br>Abschnitt | Niederterrasse | Grabenrand |
|------------------------------------------------|----------------|------------|
| Oberes Kieslager                               | ①              | ②          |
| Oberes Kieslager<br>und Mittleres Kieslager    | ③              |            |

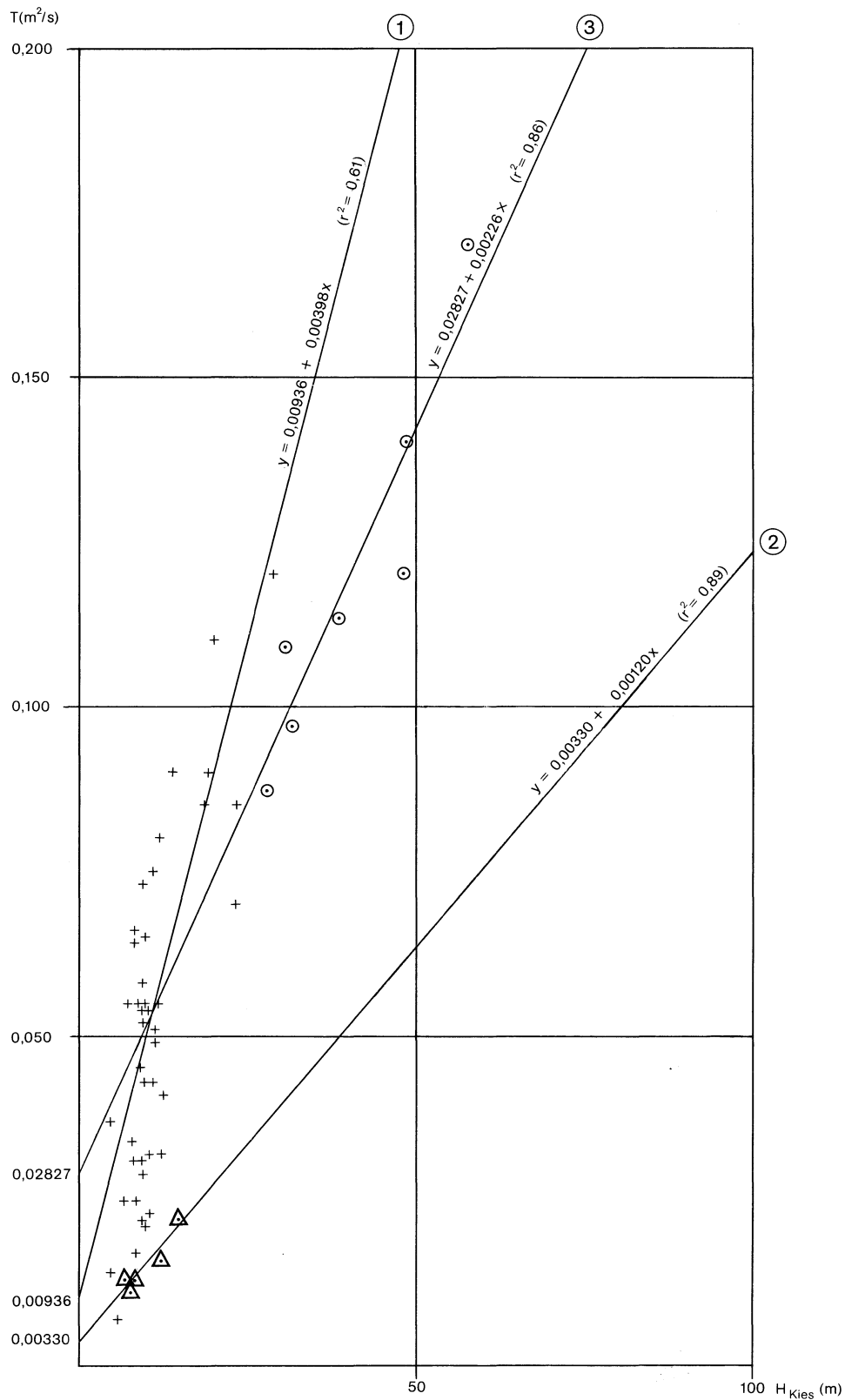


Abb. 3.2: Regressionsgeraden Transmissivität/Kiesmächtigkeit

Da aber die Transmissivität des Unteren Kieslagers ( $T_{UKL}$ ) im Grabenrand- und im Niederterrassenbereich im Vergleich zum Oberen und Mittleren Kieslager vernachlässigbar klein ist und die „Rest-Transmissivität“ der verschlufften Sande sowieso gleich Null zu setzen ist, genügt es in der Praxis, nur die Einzel-Transmissivitäten von Oberem und Mittlerem Kieslager über die Kiesmächtigkeit zu berechnen. Damit werden im allgemeinen – sieht man vom Rinnentiefsten unter der Rheinaue ab – über 90 % der Gesamt-Transmissivität erfaßt. Pumpversuche bei Hausen a.d.M. im südlich anschließenden Kartiergebiet „Bereich Kaiserstuhl – Markgräflerland“, welche das Untere Kieslager testeten, lieferten entsprechende Ergebnisse.

In einigen Bereichen (Nordrand des Kaiserstuhls, Riegeler Pforte), in denen das Mittlere Kieslager stark verschlufft ist, wird sogar der weitaus größte Teil der Gesamt-Transmissivität vom Oberen Kieslager erbracht. Das Untere Kieslager und Teile des Mittleren Kieslagers gehören dort praktisch nicht zum Aquifer.

Vereinfacht lautet die Formel zur Berechnung der Gesamt-Transmissivität somit:

$$T_{\text{Aquifer}} = [T_{\text{Rest}} + (k_f \times H)_{\text{Kies}}]_{\text{OKL}} + [T_{\text{Rest}} + (k_f \times H)_{\text{Kies}}]_{\text{MKL}}$$

In Abwandlung des Verfahrens, die Transmissivitäts-Verteilung aus den Kiesmächtigkeiten zu konstruieren, kann auch von der gesamten Aquifermächtigkeit ausgegangen werden. Hierbei werden entsprechende Regressionsfunktionen über Transmissivität und Aquifermächtigkeit berechnet (Abb. 3.3). Der jeweils aus  $T/H_{\text{Aquifer}}$  ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  gilt in diesem Fall wegen der starken Vertikalanisotropie für den vom Pumpversuch erfaßten Aquiferabschnitt. Diese durchschnittlichen  $k_f$ -Werte der Kiesstypenbereiche und Aquiferabschnitte (Kieslager) wurden bereits in Kap. 3.6 angeführt.

Für das Obere Kieslager im Bereich der Niederterrasse ergab sich eine Regressionsfunktion  $y = 0,01279 + 0,00300x$  mit einem Korrelationskoeffizienten  $r^2 = 0,43$ . Diese schlechte Anpassung zeigt, daß einige „Ausreißer“ in den 44 Pumpversuchs-Auswertungen enthalten sein müssen, worauf auch die vorhandene „Rest-Transmissivität“ von rund  $13 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  hindeutet. Da der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert für den getesteten Aquiferabschnitt sämtliche Komponenten umfaßt, müßte die Regressionsgerade definitionsgemäß durch den Nullpunkt gehen. Dies ist nicht der Fall, weil die „Ausreißer“ die Gerade abflachen. D.h., die Geradensteigung von 0,003 – und damit der  $k_f$ -Wert – ist zu klein.

Für das Obere Kieslager des Grabenrandbereichs ergab sich eine Regressionsfunktion  $y = 0,00118 + 0,00090x$  mit einer optimalen Anpassung  $r^2 = 0,99$ . Der geforderte Durchgang der Geraden durch den Ursprung wird fast erreicht.

Aus den Pumpversuchen, welche das Obere und Mittlere Kieslager erfaßten, wurde eine Regressionsfunktion  $y = 0,00289 + 0,00232x$  mit einem Korrelationskoeffizienten  $r^2 = 0,54$  berechnet. Die „Rest-Transmissivität“ liegt nahe bei Null; die Anpassung ist allerdings schlecht.

Aus Vergleichsgründen wurde schließlich die Regressionsfunktion aller Pumpversuche (wiederum ohne Rheinaue und Schuttortal) berechnet. Sie lautet  $y = 0,02048 + 0,00206x$ , der Korrelationskoeffizient erreicht nur  $r^2 = 0,59$ . Die unzulässige „Rest-Transmissivität“ von rund  $20 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  zeigt erneut, daß der errechnete durchschnittliche Durchlässigkeitsbeiwert zu klein sein muß.

Ein einfacher Weg, die mit den Regressionsanalysen berechneten  $k_f$ -Werte der Kiese mit den  $k_f$ -Werten der Aquiferabschnitte zu vergleichen und sie auf ihre Plausibilität zu überprüfen, ist durch den Proportionalitätsfaktor  $C = H_{\text{Kies}}/H_{\text{Aquifer}} \leq 1$  gegeben. Es gilt:

$$k_f \text{ Kies} \times C = k_f \text{ Aquifer}$$

Dieser Faktor wurde getrennt nach Kieslagern aus allen Bohrungen bestimmt, in denen Pumpversuche gefahren wurden (Abb. 3.4). Hierbei ergab sich für das Obere Kieslager ein Faktor von 0,822, d.h., dieses enthält rund 82 % Kies. Für das Obere und Mittlere Kieslager zusammen wurde ein Faktor 0,803 = 80 % berechnet. Im Grabenrandbereich weist das Obere Kieslager nur einen Faktor von 0,635 = rund 60 % auf.

Diese Ergebnisse wurden zusätzlich an sonstigen Bohrungen des Untersuchungsgebietes, in denen keine Pumpversuche gefahren wurden, sowie im Kartiergebiet „Bereich Bühl – Offenburg“ überprüft. Anhand von Bohrungen aus diesem nördlich anschließenden Bereich, welche das Untere Kieslager durchsunkken haben, kann für den unteren Abschnitt des Aquifers ein Kies-/Aquifer-Mächtigkeits-Verhältnis von rund 0,4 angegeben werden.

Zum Ansatz für das Obere und Mittlere Kieslager kommt somit jeweils ein gerundeter Faktor von 0,8 (mit Ausnahme eines schmalen Randstreifens mit 0,6) und für das Untere Kieslager von 0,4 (siehe Tab. 3.3).

| Kiestypen-<br>Aquifer-<br>Abschnitt \ Bereich | Niederterrasse | Grabenrand |
|-----------------------------------------------|----------------|------------|
| Oberes Kieslager                              | ①              | ②          |
| Oberes Kieslager<br>und Mittleres Kieslager   | ③              |            |

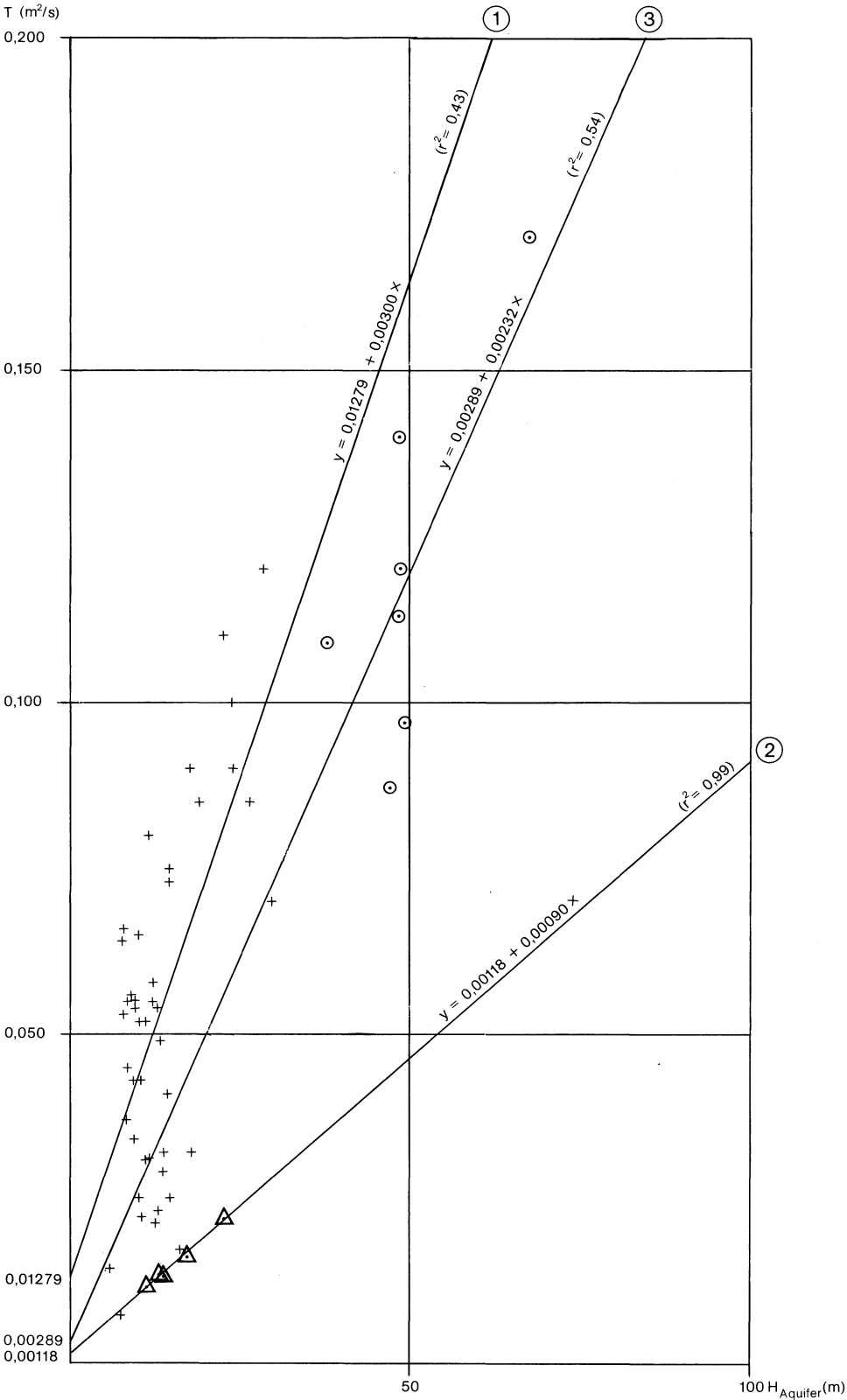
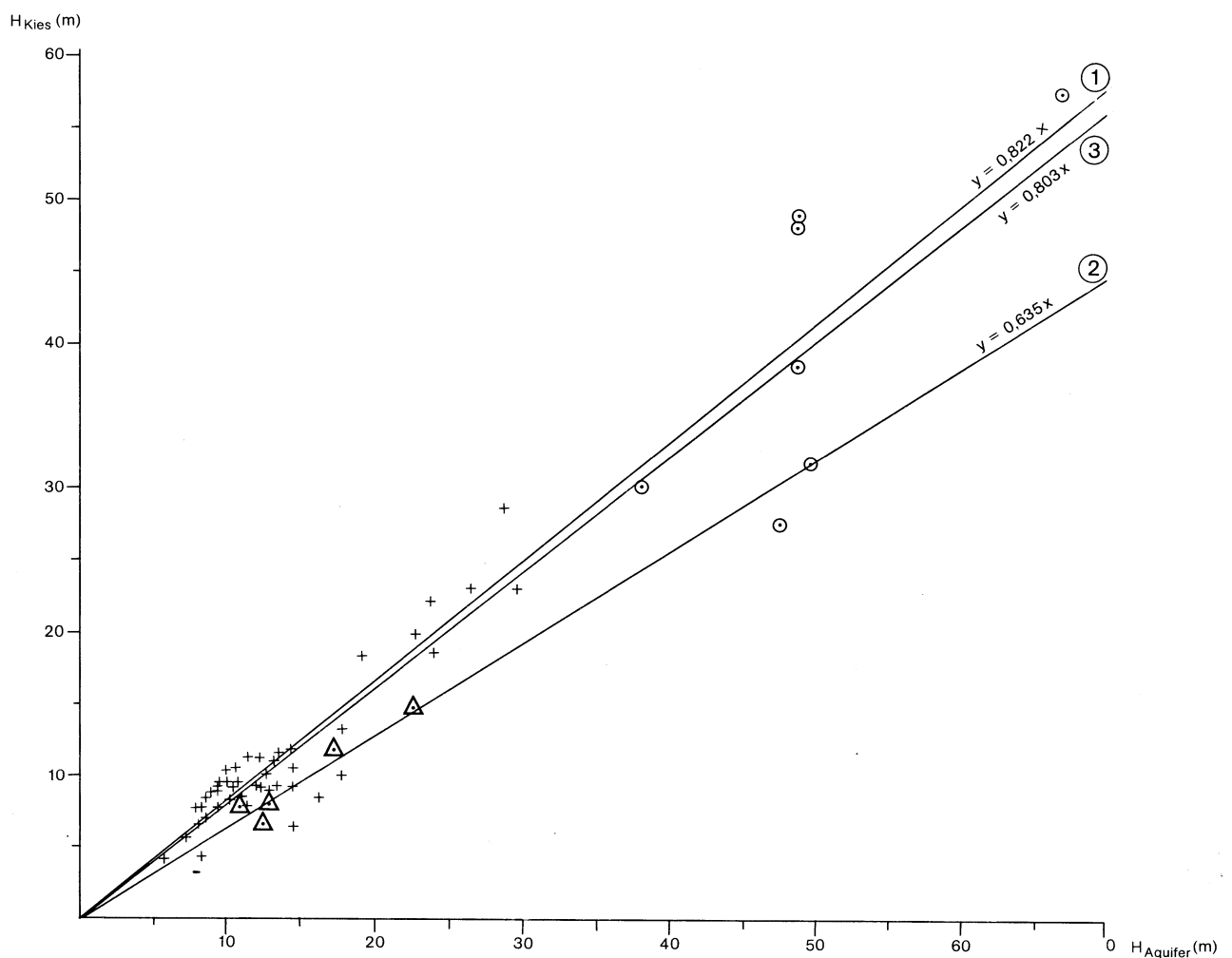


Abb. 3.3: Regressionsgeraden Transmissivität/Aqufermächtigkeit

| Kiestypen-<br>Bereich<br>Aquifer-<br>Abschnitt | Niederterrasse | Grabenrand |
|------------------------------------------------|----------------|------------|
| Oberes Kieslager                               | ①              | ②          |
| Oberes Kieslager<br>und Mittleres Kieslager    | ③              |            |



**Abb. 3.4: Regressionsgeraden Kiesmächtigkeit/Aqufermächtigkeit**

| Aquifer-Abschnitt | Kiestypen-Bereich                      | Anzahl der Pumpversuche | berücksichtigtes Lockergestein | $k_r$ (m/s) $\times 10^{-3}$ | Rest – T (m <sup>2</sup> /s) $\times 10^{-3}$ | $H_{\text{Aquifer}}$ (m) | Faktor C $H_{\text{Kies}}/H_{\text{Aquifer}}$ |
|-------------------|----------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| OKL               | AR Rheinaue                            | 1                       | Kies Aquifer                   | 15<br>15                     | –<br>–                                        | 25–30                    | 1,0                                           |
| OKL               | A Niederterrasse                       | 44                      | Kies Aquifer                   | 4<br>3                       | 10<br>13                                      | 20–30                    | 0,8                                           |
| OKL               | G Grabenrand                           | 5                       | Kies Aquifer                   | 1,2<br>0,9                   | 3<br>1                                        | 15–20                    | 0,6                                           |
| OKL               | G Schuttertal                          | 3                       | Kies Aquifer                   | 0,8<br>0,3                   | –<br>–                                        | 10–15                    | 0,4                                           |
| OKL–MKL           | AR Rheinaue                            | 1                       | Kies Aquifer                   | 15<br>12                     | –<br>–                                        | 60–70                    | 0,8                                           |
| OKL–MKL           | A Niederterrasse                       | 7                       | Kies Aquifer                   | 2,3<br>2,3                   | 28<br>3                                       | 50–60                    | 0,8                                           |
| UKL               | Gesamt                                 | –                       | Kies Aquifer                   | 0,8<br>0,3                   | –<br>–                                        | 0–100                    | 0,4                                           |
| OKL und OKL–MKL   | Gesamt (ohne Rheinaue und Schuttertal) | 56                      | Kies Aquifer                   | 2,7<br>2,0                   | 20<br>20                                      | 50–70                    | 0,8                                           |

Tab. 3.3: Zusammenstellung der abschnitts- und bereichsspezifischen Durchlässigkeitsbeiwerte  $k_r$  und der Faktoren C = Kiesmächtigkeiten/Aquifermächtigkeiten



Sind nun die ungefähren Mächtigkeiten der Kieslager bekannt – wobei das Untere Kieslager praktisch nicht berücksichtigt werden muß –, kann mit diesen einigermaßen abgesicherten Faktoren und den gebietspezifischen  $k_f$ -Werten des Kiesel auch ohne Kenntnis des genauen geologischen Profils für jeden beliebigen Punkt des Untersuchungsgebietes ein Transmissivitätswert konstruiert werden. Es gilt:

$$T = k_{fKies} \times H_{Aquifer} \times C$$

Die Gesamt-Transmissivität des Aquifers errechnet sich damit unter Vernachlässigung des Unteren Kieslagers zu:

$$T_{Aquifer} = (k_{fKies} \times H_{Aquifer} \times 0,8)_{OKL} + (k_{fKies} \times H_{Aquifer} \times 0,8)_{MKL}$$

Vergleichende Berechnungen an verschiedenen Stellen des Untersuchungsgebietes, einmal über die Kiesmächtigkeit ( $T = k_{fKies} \times H_{Kies}$ ), zum anderen über die Aquifermächtigkeit ( $T = k_{fAquifer} \times H_{Aquifer}$ ) bzw. die mit dem Faktor  $C = 0,8$  reduzierte Aquifermächtigkeit ( $T = k_{fKies} \times H_{Aquifer} \times C$ ) ergaben Abweichungen bis 30 %. Dieser Fehler ist in der weitgehend unbekannten Grenze zwischen Mittlerem und Unterem Kieslager sowie in der nur ungenau faßbaren Mächtigkeit des Aquifers und dessen Aufbau begründet. Die in diese Berechnungen der Transmissivität eingehenden Angaben beruhen ohnehin überwiegend auf geoelektrischen Sondierungen, bei denen von vornherein ein Fehler von mindestens  $\pm 10$  % in Kauf genommen werden muß.

Insgesamt zeigen diese Überlegungen aber, daß in der Karte der Transmissivitätsverteilung nicht auszuschließende Ungenauigkeiten überall auf dem gleichen systematischen Fehler beruhen, so daß die Aussagen der Karte in sich also vergleichbar sind.

Die regionale Transmissivitätsverteilung steht entsprechend der vorherigen Ausführungen in enger Beziehung zur regionalen Verteilung der Aquifermächtigkeit. So werden die größten Transmissivitätswerte im Rinnentiefsten im Bereich der Rheinaue erreicht; bei Wyhl wurden  $>0,5 \text{ m}^2/\text{s}$  ermittelt. Am Grabenrand entspricht die  $0,05 \text{ m}^2/\text{s}$ -Isolinie, die unmittelbar vor der Vorbergzone dieser parallel läuft, dem steilen Abbruch der quartären Lockergesteinsfüllung des Oberrheingrabens gegen den Festgesteinsrahmen.

Da Aufbau und wahre Mächtigkeit des Aquifers im gesamten Kartiergebiet wie auch im Grabenrandbereich nur unzureichend bekannt sind, wurde die Darstellung der Isolinien auf eine Abstufung um jeweils  $0,05 \text{ m}^2/\text{s}$  beschränkt. Eine engere Unterteilung im unmittelbaren Randbereich in Stufen von  $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$  wie im südöstlich anschließenden Kartiergebiet „Freiburger Bucht“ war nicht möglich.

Auf linksrheinischem Gebiet wurde der Verlauf der Isolinien – z.T. geringfügig abgeändert – von Karten der SCGAL, Straßburg, übernommen. Der darin dargestellte Isolinien-Verlauf stützt sich auf Grundwasser-Modelle.

### 3.8 Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten

Die mittlere Fließgeschwindigkeit des Grundwassers  $v$  kann aus Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$ , Grundwassergefälle  $I$  und wirksamen Porenraum  $p$  eines Lockergesteinsaquifers mit freiem Grundwasserspiegel berechnet werden. Es gilt:

$$v = \frac{k_f \cdot I}{p}$$

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  für die verschiedenen Aquiferbereiche und -abschnitte im Untersuchungsgebiet wurde aus den Regressionsfunktionen zwischen Transmissivität und den Mächtigkeiten der Kieslager ermittelt (Kap. 3.6 und 3.7; Tab. 3.3).

Das Grundwassergefälle  $I$  (Kap. 5.6.1) kann den Grundwasserhöhenplänen (Karten III und IV) entnommen werden.

Für das wirksame Porenvolumen  $p$  liegt im Untersuchungsgebiet lediglich eine Bestimmung vor. Es müssen deshalb Erfahrungswerte herangezogen werden, die in den Kartiergebieten Raum Rastatt, Bühl–Offenburg und Freiburger Bucht in Grundwasserleitern mit vergleichbarer Kornzusammensetzung und Lagerungsdichte jeweils im Oberen Kieslager gewonnen wurden.

Danach kann für die lockergelagerten alpinen Kiese der Rheinaue ein wirksames Porenvolumen  $p$  zwischen 15 % und 20 % angesetzt werden. Für die Niederterrassenkiese liegt das wirksame Porenvolumen  $p$  zwischen 10 % und 15 %. Die geringer durchlässigen Kiese am Grabenrand dürften ein wirksames Porenvolumen  $p$  zwischen 5 % und 10 % aufweisen.

Aus diesen mehr oder weniger abgeschätzten Parametern leiten sich überschlägig folgende mittlere Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten für das Obere Kieslager ab:

|                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| Rheinaue:       | $v = 6 - 12 \text{ m/d}$ |
| Niederterrasse: | $v = 4 - 6 \text{ m/d}$  |
| Grabenrand:     | $v = 2 - 4 \text{ m/d}$  |

Für den tieferen Aquiferabschnitt kann die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers nicht angegeben werden, da entsprechende Parameter vom Mittleren und Unteren Kieslager zu wenig bekannt sind. Auf jeden Fall muß mit deutlich verringerten Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten gerechnet werden, die z.T. weit unter  $1 \text{ m/d}$  liegen dürften.

## 4. Hydrochemie

### 4.1. Verwendetes Datenmaterial

Den Hydrochemischen Karten (Abb. 4.2–4.9) im Maßstab 1 : 200 000 liegen Vollanalysen von 102 Grundwasserproben zugrunde. Von diesen wurden 17 im Herbst 1977 aus öffentlichen Trinkwasser-Versorgungsbrunnen entnommen und von privaten Labors analysiert. Weitere 85 wurden im September 1978 aus amtlichen Grundwasser-Meßstellen entnommen und im Geochemischen Labor des Geologischen Landesamtes analysiert. Während in den Grundwasser-Meßstellen ausschließlich die obersten Meter des Aquifers analysiert wurden, erfassen die Untersuchungen der öffentlichen Versorgungsanlagen auch den tieferen Abschnitt des Aquifers. Die Vergleichbarkeit des Datenmaterials ist durch diese verschiedenen Entnahmetiefen eingeschränkt; Übereinstimmung besteht aber hinsichtlich der Entnahmezeit (gleiche Vegetationsperiode) und eingeschränkt auch der Entnahmeart, da die Proben nicht geschöpft, sondern mit Pumpe entnommen wurden. Wesentliche Bedingungen für eine gleichwertige flächenhafte Darstellung sind damit erfüllt.

Weitere Vollanalysen älteren Datums lagen von ZELLENTIN (1972) vor. Diese konnten jedoch aufgrund ihrer unterschiedlichen Entnahmezeit, -art und -tiefe lediglich vergleichsweise herangezogen werden.

Trotz einer Meßdichte von 102 Analysen auf rund 260 km<sup>2</sup>, das entspricht im Mittel etwa einer Analyse pro 2,5 km<sup>2</sup>, lassen ihre ungleichmäßige Verteilung gebietsweise nur unsichere Abgrenzungen in Bereiche gleicher Konzentrationen der dargestellten Parameter zu. In solchen Fällen wurden die Grenzziehungen bevorzugt entlang der hydrogeologischen Einheiten (Rheinaue, Niederterrasse) vorgenommen. Für lokale Aussagen dürfen die kleinmaßstäblichen hydrochemischen Karten daher nicht herangezogen werden. Die dargestellte großräumliche Verteilung der hydrochemischen Parameter gilt im wesentlichen für das Obere Kieslager.

Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge zwischen hydrogeologischer und hydrochemischer Situation wurden in Abb. 4.1 neben den Probeentnahmestellen für die hydrochemischen Untersuchungen auch die Grenzen der Lockergesteins-Einheiten Rheinaue, anstehende Niederterrasse und Holozän außerhalb der Rheinaue eingetragen.

Die allgemeinen Ausführungen zu Verhalten und Eigenschaften der im folgenden behandelten Parameter stützen sich auf MATTHESS (1973).

### 4.2 Gesamthärte und Karbonathärte

Die Gesamthärte setzt sich aus temporärer oder Karbonathärte und bleibender oder Nichtkarbonathärte zusammen. Die Karbonathärte wird von den an Karbonate und Hydrogenkarbonate gebundenen Erdalkalien (hauptsächlich Calcium und Magnesium) 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, da ein recht stabiles Gleichgewichtssystem zwischen Karbonat, Hydrogenkarbonat und Kohlensäure besteht. Bestimmt wird die Karbonathärte fast nur vom Karbonatgehalt der durchströmten und durchsickerten Gesteine (z.B. Löß).

Der Anteil der Nichtkarbonathärte hängt dagegen sowohl von den Gesteinen des Grundwasserleiters als auch von anthropogenen Einflüssen ab, welche sich zugleich in erhöhten Sulfat-, Chlorid-, Nitrat- oder Phosphatgehalten bemerkbar machen.

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

Den Karten von Gesamthärte (Abb. 4.2) und Karbonathärte (Abb. 4.3) liegt eine Abstufung von jeweils 4 °dH zugrunde. Diese Abstufung erweist sich für das gesamte Oberrheingebiet als geeignet, da damit auch geringe Härteunterschiede im allgemeinen noch wiedergegeben werden können. Die alte Maßeinheit °dH wurde abweichend von der DIN 19640, nach der die Härte in mval/l, bzw. den neuen SI-Einheiten, wonach eine Stoffmenge in mol anzugeben ist, mit Rücksicht auf Erfordernisse der Praxis beibehalten.

Niedrige Gesamthärten von 4–8 °dH sind auf die Riegeler Pforte beschränkt, an der Dreisam, Elz und Glotter zusammenfließen und oberirdisch die Freiburger Bucht entwässern und durch die der unterirdische Grundwasserstrom mit weichem Wasser die weitgehend karbonatfreien Lockersedimente der Freiburger Bucht verläßt und in einer schmalen Zone zungenartig vorgreift.

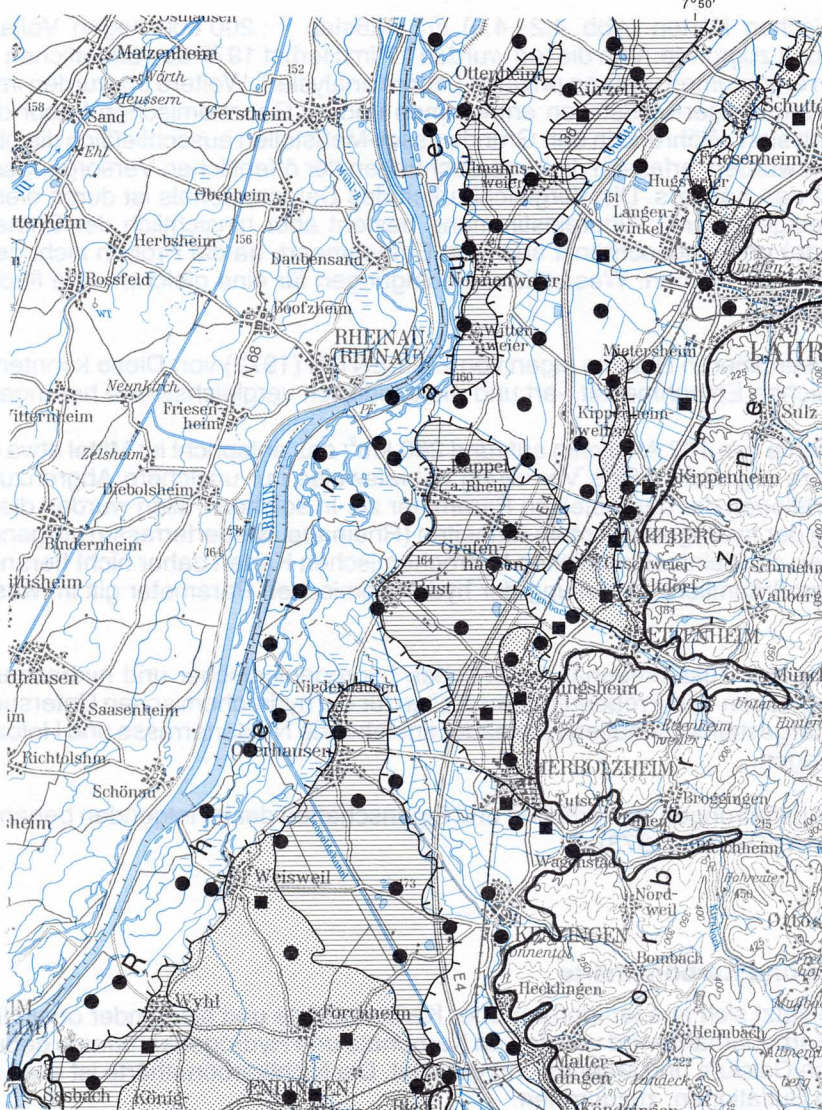





Abb. 4.1: Probeentnahmestellen für die hydrochemischen Untersuchungen

- Trinkwasser - Entnahmebrunnen
- Grundwasser - Meßstelle
-  Holozän
-  Löß auf Niederterrasse
-  Niederterrasse
-  Grenze Locker- / Festgestein

1 : 200 000





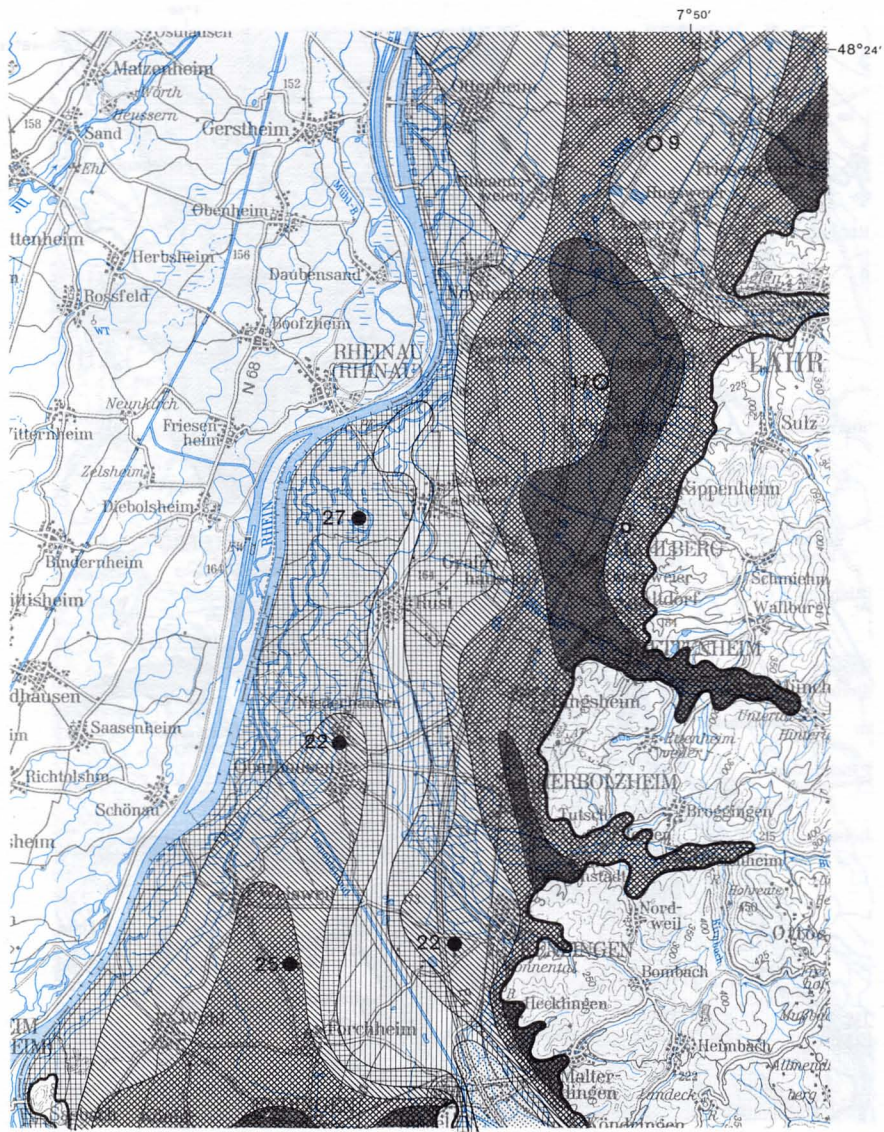
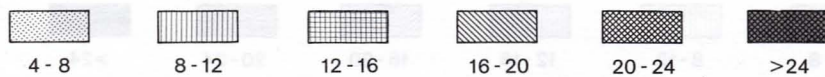


Abb. 4.2: Gesamthärte (°dH)



- 27 Einzelwert höher als Flächenabstufung
- 9 Einzelwert niedriger als Flächenabstufung

1 : 200 000





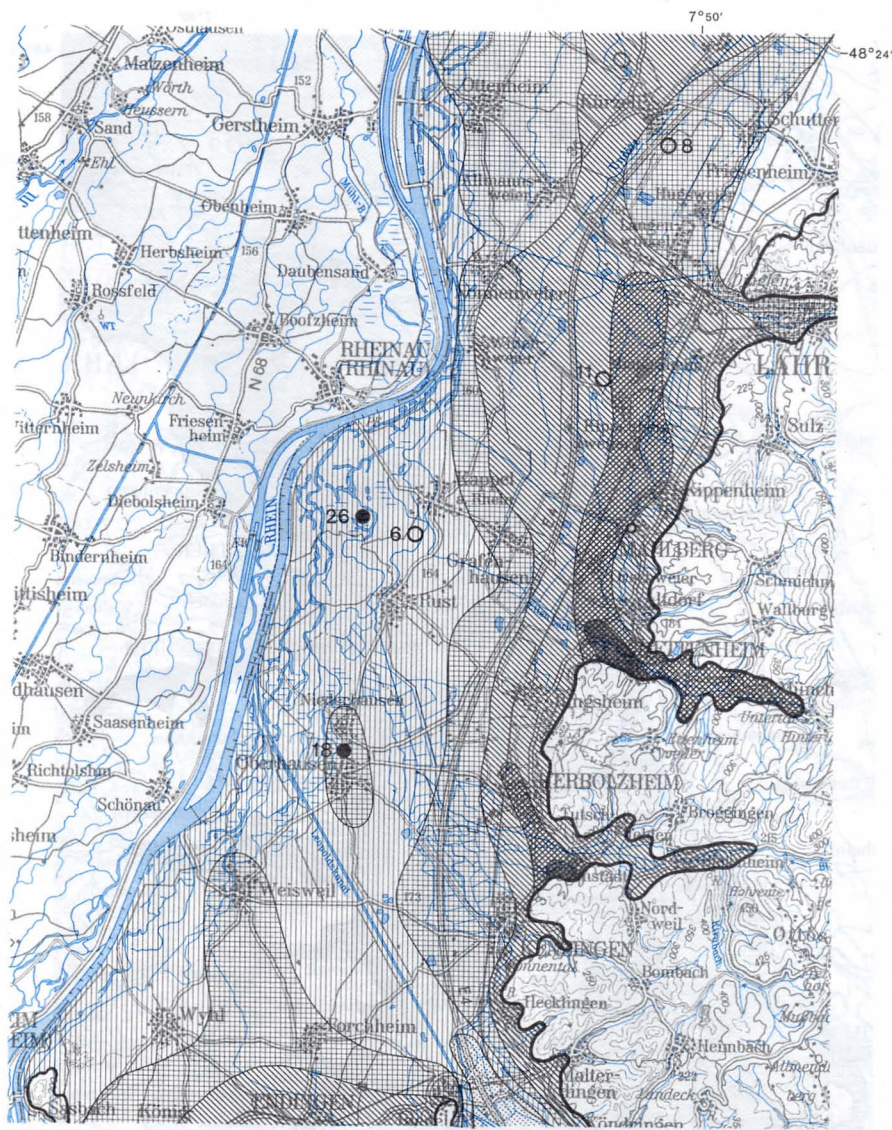
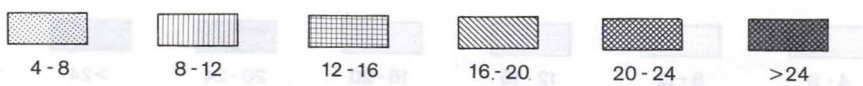


Abb. 4.3: Karbonathärte (°dH)



● 26 Einzelwert höher als Flächenabstufung

○ 8 Einzelwert niedriger als Flächenabstufung

1:200 000



Der Einfluß weichen Wassers ist bis in die Nähe des Rheins bei Rheinau zu verfolgen. Diese Zone mit 8–12 °dH teilt die vom nördlichen Kaiserstuhl und von der lößbedeckten Vorbergzone ausgehenden unterirdischen Grundwassereinspeisungen mit Härten bis über 24 °dH voneinander. Im rheinnahen Bereich sind Gesamthärten von 12–16 °dH die Regel.

Ähnliche Grundzüge zeigt die Karte der Karbonathärte. Auch hier treten die Einspeisung von weichem Wasser an der Riegeler Pforte aus der Freiburger Bucht sowie die Zuflüsse von sehr hartem Wasser aus dem Kaiserstuhl und aus der Vorbergzone und deren Gewässern deutlich hervor.

Der erhöhte Einzelwert W Kappel a. Rhein mit 26 °dH dürfte geogen sein. In diesem Bereich steigt die Quartärbasis um einige Zehner Meter an. Ein Grundwasseraufstieg aus größerer Tiefe wäre denkbar. Anthropogene Erhöhung der Gesamthärte ist beim Harderer Hof N Forchheim sowie W Kenzingen nachgewiesen.

#### **4.3 Sauerstoff**

Das Vorhandensein oder Fehlen von freiem Sauerstoff zeigt an, ob oxidierende oder reduzierende Verhältnisse herrschen (Redox-Potential). Ein Grundwasser gilt als reduziert, wenn es weniger als zu 50 % mit Sauerstoff gesättigt ist (entsprechend 5–6 mg/l je nach Temperatur).

Reduzierte Wässer weisen vielfach höhere Gehalte an Eisen und Mangan auf (siehe Kap. 4.5).

Der Sauerstoff gelangt über das Sickerwasser in das Grundwasser. Teilweise wird er auch an der Grundwasser-Oberfläche aus der luftgefüllten Zone über dem Aquifer aufgenommen. Fehlt diese infolge geringen Flurabstandes oder enthält der Grundwasserleiter sauerstoffzehrende Stoffe (organische Substanzen), so wird der Sauerstoffgehalt vermindert. Daher sind die Deckschichten mitentscheidend für den Sauerstoffgehalt eines Grundwassers, vor allem wenn sie undurchlässig sind und die Grundwasser-Oberfläche in diese aufsteigt, also bei gespannten Verhältnissen. Innerhalb des Aquifers nimmt der Sauerstoffgehalt in der Regel von oben nach unten ab. Zusätzlich unterliegt der Sauerstoffgehalt auch jahreszeitlichen Schwankungen.

Da die Grundwasser-Entnahmen für die hydrochemischen Untersuchungen aus den öffentlichen Trinkwasser-Entnahmebrunnen (s. hierzu Abb. 4.1) im Gegensatz zu denen aus den Grundwasser-Meßstellen nicht nur das Obere Kieslager sondern auch tiefere Aquiferbereiche erfassen, ist die Isoliniendarstellung der Sauerstoffgehalte (Abb. 4.4) mit größeren Unsicherheiten behaftet.

In der Karte wurde unterschieden nach Sauerstoffgehalten über 6 mg/l, 3–6 mg/l und unter 3 mg/l. Abb. 4.4 zeigt, daß der größte Teil des Untersuchungsgebietes reduzierte Wässer mit Sauerstoffgehalten von 3–6 mg/l aufweist. Gehalte unter 3 mg/l treten auf in der Rheinaue zwischen Wyhl und Rheinau, am Ausgang der Riegeler Pforte sowie im nördlichen Teil im Raum Mahlberg – Wittenweiler, Kippenheim – Ottenheim und Langenwinkel – Schuttern. In diesem Bereich liegen holozäne Deckschichten bei zugleich niedrigen Flurabständen auf Niederterrassenkiesen. Sauerstoff-gesättigtes Grundwasser wird im wesentlichen in Bereichen randlicher Grundwassereinspeisungen in die Niederterrasse sowie im Verbreitungsgebiet der anstehenden oder von Löß bedeckten Niederterrasse angetroffen.

#### **4.4 Freie und aggressive Kohlensäure**

Die Kohlensäure des Grundwassers stammt teils aus der Atmosphäre, teils aus biologischen Abbauprodukten oder aus dem Gestein. Sie liegt als gelöstes CO<sub>2</sub>-Gas vor und bildet zusammen mit den Hydrogenkarbonat-Ionen ein gepuffertes System, welches sich auf den pH-Wert und das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht auswirkt. Die Grundwässer der karbonatfreien Gesteine des Schwarzwaldes, welche nicht im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht stehen, enthalten überschüssige Freie Kohlensäure, die als aggressive Kohlensäure wirksam wird.

Die Grundwässer des Untersuchungsgebietes stehen infolge des hohen Anteils kalkiger alpiner Kieskomponenten im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Eventuell vorhandene Überschüsse an Freier Kohlensäure, wie sie von Wässern, die aus dem Schwarzwaldrandbereich über die Vorbergzone der Grabenfüllung zuströmen, vielleicht zu erwarten wären, wurden vermutlich durch Sickerwässer aus dem in der Vorbergzone weit verbreiteten Löß verbraucht. Aggressive Kohlensäure ist nicht mehr vorhanden. Die Karte (Abb. 4.5) zeigt eine stete Abnahme freier Kohlensäure vom Grabenrand hin zum Rhein. Die höheren Gehalte am Grabenrand belegen eine randliche Einspeisung von Festgesteins-Wässern in die Grabenfüllung. Hierbei treten die Schwemmfächer der infiltrierenden Gewässer Schutter, Ettenbach und Bleichbach als Ausbuchtungen hervor. Ebenso macht sich eine Grundwassereinspeisung am nördlichen Kaiserstuhlrand durch Gehalte an Freier Kohlensäure zwischen 20 und 30 mg/l bis Weisweil bemerkbar.



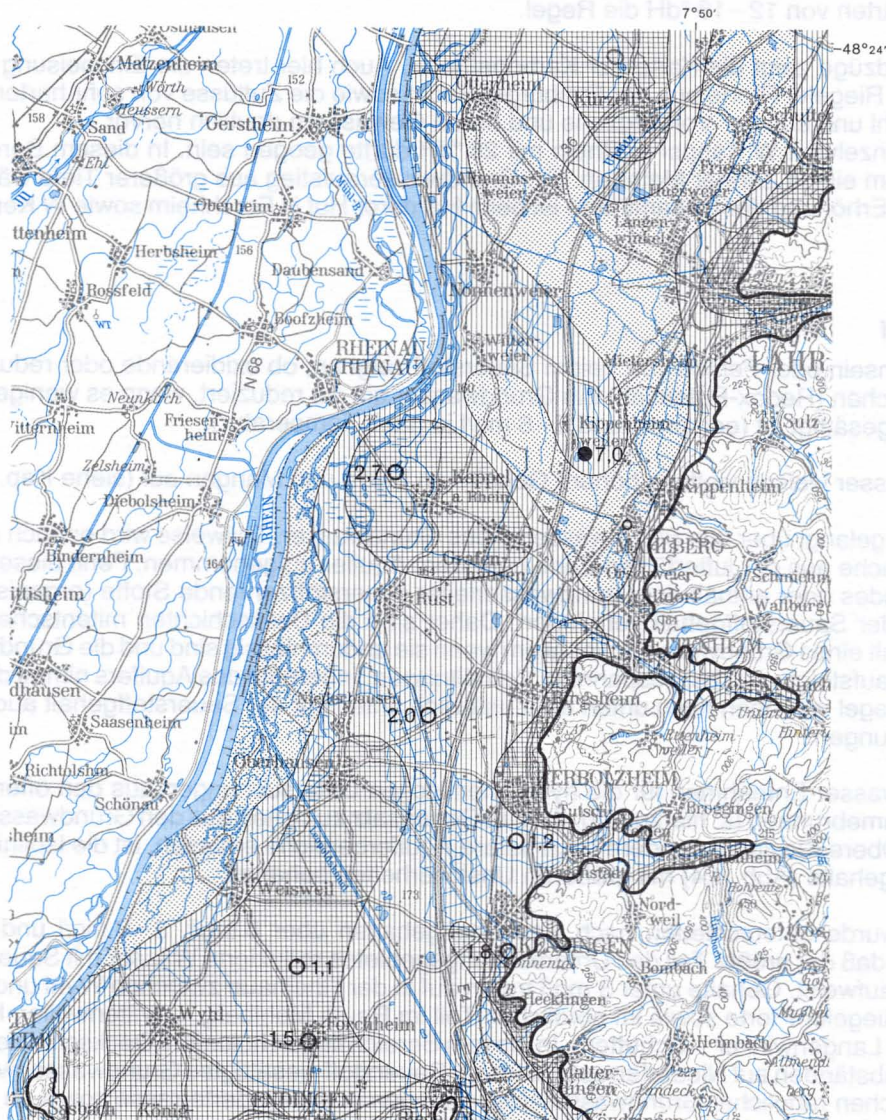
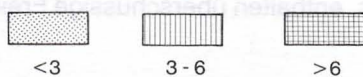


Abb. 4.4: Sauerstoff (mg/l)



● 7,0 Einzelwert höher als Flächenabstufung

○ 1,5 Einzelwert niedriger als Flächenabstufung

1 : 200 000





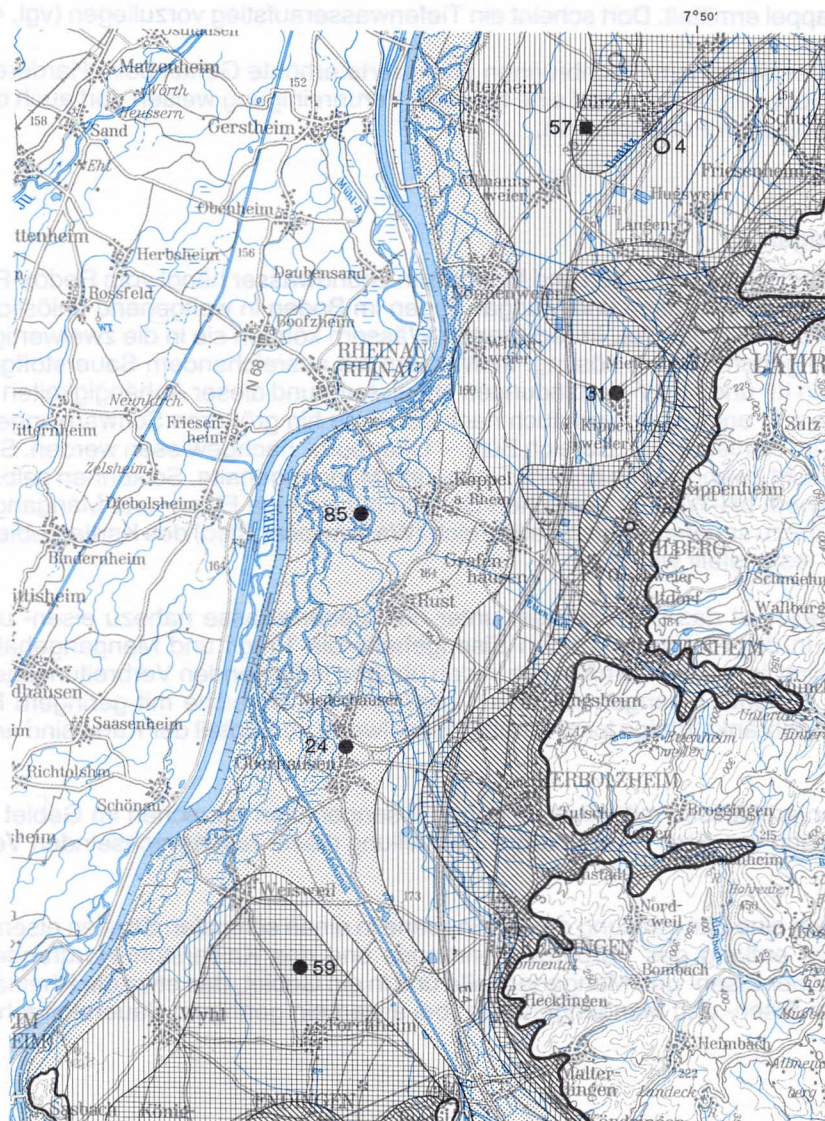
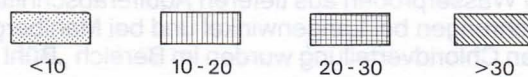


Abb. 4.5: Freie Kohlensäure (mg/l)



● 85 Einzelwert höher als Flächenabstufung

○ 4 Einzelwert niedriger als Flächenabstufung

1 : 200 000



Es besteht allgemein eine Zunahme an Freier Kohlensäure nach der Tiefe. So wurden in flachen Grundwasser-Meßstellen wesentlich geringere Gehalte an Freier Kohlensäure bestimmt als in unmittelbar danebenliegenden tiefer hinabreichenden Grundwasser-Entnahmebrunnen. Der höchste Einzelwert mit 85 mg/l wurde W Kappel ermittelt. Dort scheint ein Tiefenwasseraufstieg vorzuliegen (vgl. 4.3 Sauerstoff).

Demgegenüber ist der aus einem Flachbrunnen analysierte erhöhte Gehalt beim Harderer Hof N Forchheim eindeutig anthropogen bedingt. Auf eine massive Verunreinigung weisen dort auch die übrigen dargestellten hydrochemischen Parameter hin.

#### 4.5 Eisen und Mangan

Das Vorkommen oder Fehlen von Eisen und Mangan im Grundwasser hängt vom Redox-Potential in Verbindung mit dem pH-Wert ab. Eisen und Mangan liegen im Boden in weitgehend unlöslichen Fe III- und Mn III- oder Mn IV-Verbindungen vor. In reduzierten Wässern können sie in die zweiwertige Form umgewandelt werden und gehen dann in Lösung. In Wässern mit ausreichendem Sauerstoffgehalt hingegen bleiben die Fe III-, Mn III- und Mn IV-Verbindungen stabil. Aufgrund dieser Abhängigkeiten sind die Eisen- und Mangangehalte z.T. engräumig und auch nach der Tiefe hin größeren Schwankungen unterworfen. Dies konnte bereits im Kartiergebiet „Bereich Bühl – Offenburg“ nachgewiesen werden. Sauerstoffdefizit allein bedingt aber nicht zwangsläufig höhere Eisen- und Mangangehalte. So können selbst stärker reduzierte Wässer mit einem pH-Wert im basischen Bereich nur geringe Eisen- und Mangangehalte aufweisen, wie in einem nahezu sauerstofffreien Teilbereich (Wasenweiler Ried) des Kartiergebiets „Kaiserstuhl – Markgräflerland“ festgestellt wurde.

Im untersuchten Gebiet ist das Grundwasser unter der Niederterrasse nahezu eisen- und manganfrei (Abb. 4.6 und 4.7). In der Rheinaue wurden Eisengehalte bis 1 mg/l und Mangangehalte bis 0,5 mg/l nachgewiesen. Ähnlich liegen die Verhältnisse in den übrigen tiefliegenden Verbreitungsgebieten holozäner Deckschichten. Erhöhte Eisengehalte über 1 mg/l sind auf Bereiche mit geringem Flurabstand im Nordteil der Karte beschränkt. Einige lokal erhöhte Einzelwerte im Südteil der Karte sind anthropogen bedingt.

Labile Grundwasserverhältnisse mit teilweise hohen Eisengehalten herrschen im Gebiet zwischen Herbolzheim und Autobahn vor. Eine kartenmäßige Darstellung dieser rasch wechselnden Verhältnisse war nicht möglich.

Generell zeichnet sich eine Längsteilung der Rheinebene in einen schmalen Streifen eisen- und manganfreien Grundwassers entlang des Vorbergzonenrandes und des Kaiserstuhl-Nordrandes, in eine anschließende Zone hoher Eisen- und Mangangehalte und in ein Gebiet, das etwa die Rheinaue umfaßt, mit stark schwankenden Eisen- und Mangangehalten (bei allgemein geringem Sauerstoffgehalt) ab.

#### 4.6 Chlorid

Der Chloridgehalt des Grundwassers wird durch die Lösung chloridhaltiger Salze im Untergrund (geogene Ursachen) und die Zusickerung chloridhaltiger bzw. chloridarmer Wasser (anthropogene Ursachen) bestimmt. Ein erhöhter Chloridgehalt ist daher, sofern geogene Ursachen ausgeschlossen werden können, ein Indikator für anthropogene Belastungen eines Grundwassers.

Chloridreiche Wässer führen aufgrund ihres höheren spezifischen Gewichts zu einer vertikalen Konzentrationsverteilung. Analysen von Wasserproben aus tieferen Aquiferabschnitten ergeben generell höhere Chloridgehalte. Dies wurde in Bohrungen bei Langenwinkel und bei Mahlberg nachgewiesen. Eingehende Untersuchungen zur vertikalen Chloridverteilung wurden im Bereich „Bühl – Offenburg“ durchgeführt.

Der nach unten stark zunehmende Chloridgehalt kann in einer flächenmäßigen Darstellung (Abb. 4.8) nicht wiedergegeben werden. Zudem beruht die Karte überwiegend auf Proben aus dem obersten Bereich des Aquifers.

Die höchsten Chloridgehalte im Oberen Kieslager mit Werten über 100 mg/l wurden längs des Rheins bis auf die Höhe von Rheinau festgestellt. Im übrigen Bereich der Rheinaue werden durchweg erhöhte Chloridgehalte gemessen, die zwischen 50 und 100 mg/l liegen. Dies ist auf die Infiltration des stark mit Abwässern aus der elsässischen Kaliindustrie belasteten Rheins zurückzuführen. Der weitaus größte Teil des Kartiergebiets wird von der Stufe 25–50 mg/l eingenommen.

Normale Chloridbelastung mit Werten zwischen 10 und 25 mg/l wurde lediglich in einer von der Riegeler Pforte ausgehenden Zone, die bis Kappel reicht, sowie in der Nordostecke bei Schuttern nachgewiesen. Chloridgehalte unter 10 mg/l bleiben auf den unmittelbaren Bereich der Riegeler Pforte beschränkt.



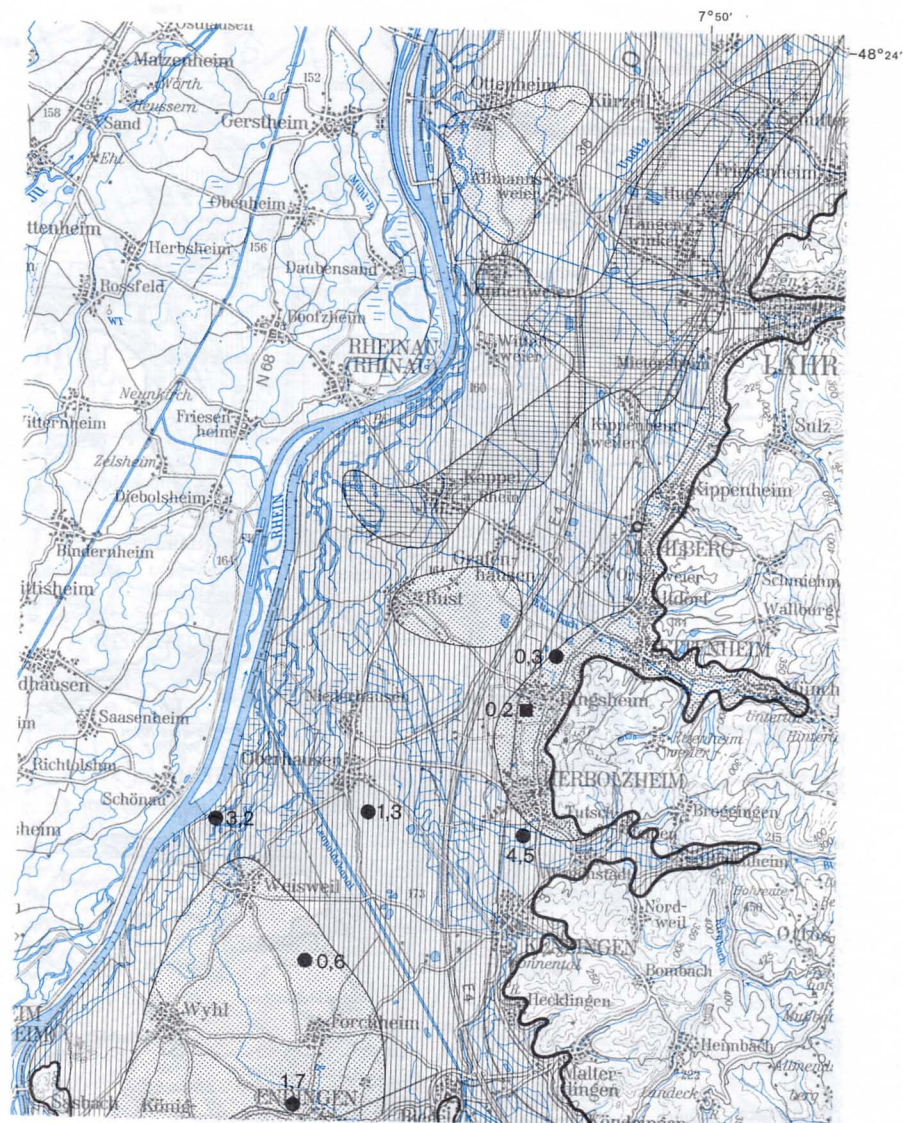
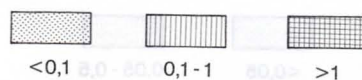
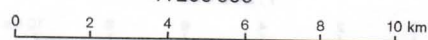


Abb. 4.6: Eisen (mg/l)



● 0,6 Einzelwert höher als Flächenabstufung

1 : 200 000





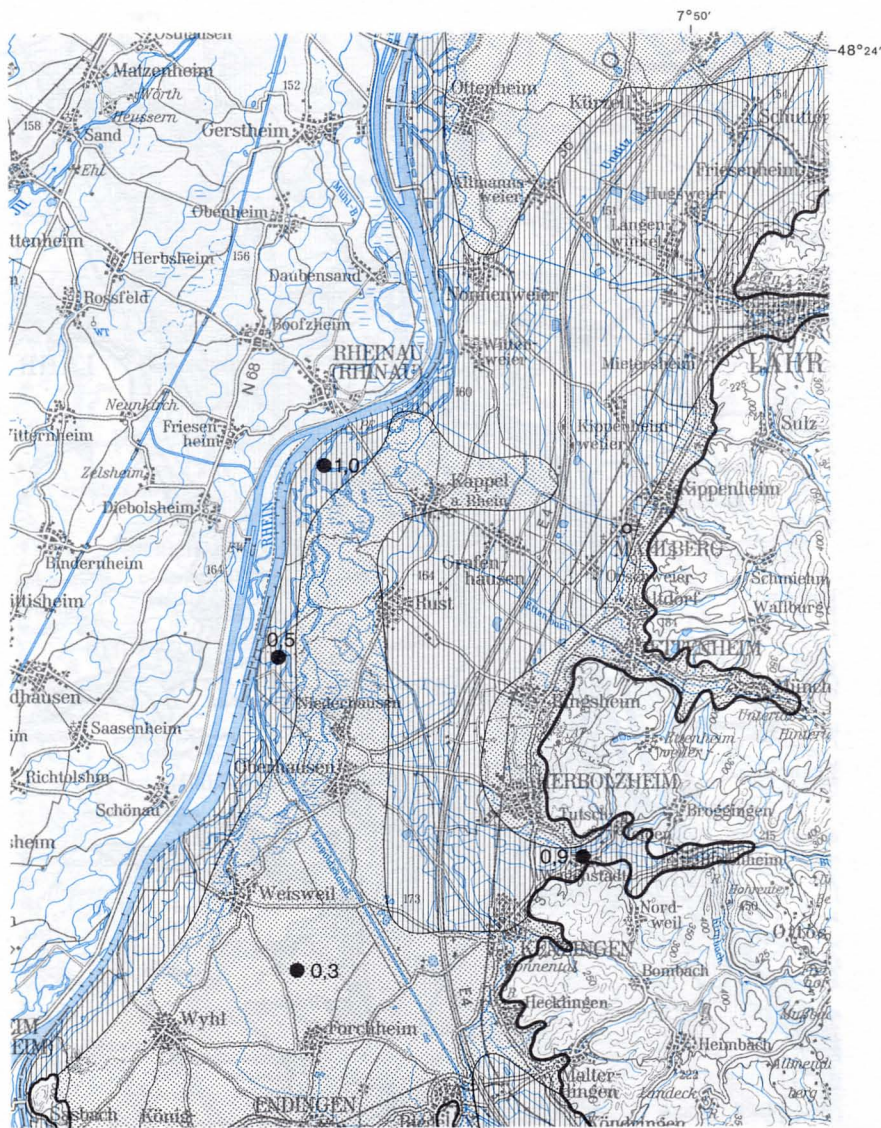
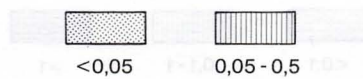
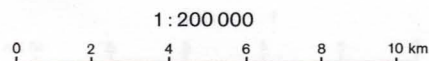


Abb. 4.7: Mangan (mg/l)



● 1,0 Einzelwert höher als Flächenabstufung









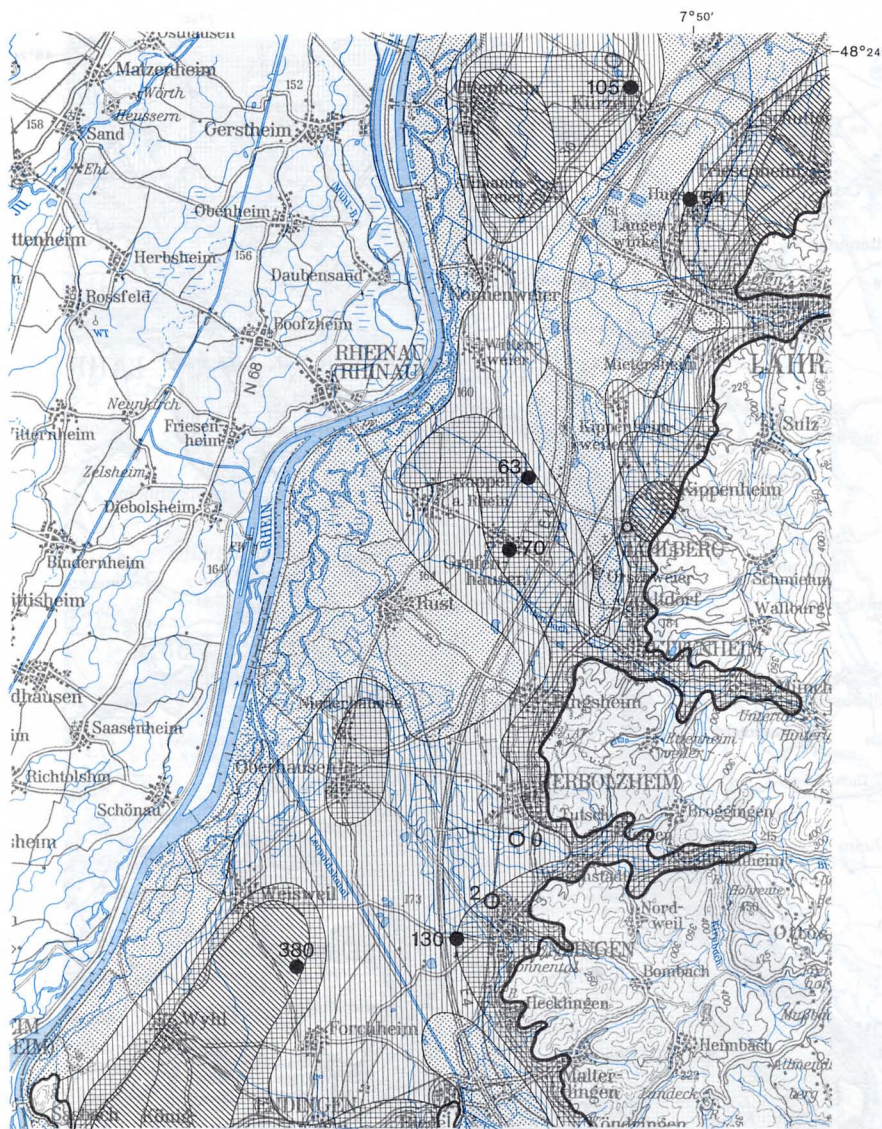
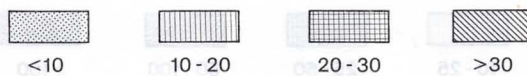


Abb. 4.9: Nitrat (mg/l)



● 380 Einzelwert höher als Flächenabstufung

○ 0 Einzelwert niedriger als Flächenabstufung

1 : 200 000



Im Raum Langenwinkel – Wittenweiler und N Mahlberg ist eine Tiefenversalzung des Grundwassers durch Chloridwässer aus dem Tertiär nachgewiesen oder wird vermutet. Dieses Gebiet mit erhöhten Chloridwerten im tiefsten Aquiferbereich ist auf der Karte mit einer Schraffur wiedergegeben.

#### **4.7 Nitrat**

Der natürliche Nitratgehalt eines Grundwassers beruht auf biogenen Prozessen, die im Boden stattfinden und von der Vegetationsperiode abhängen. Anthropogene Verunreinigungen (Fäkalien, stickstoffhaltige Düngemittel), die über Sickerwässer in das Grundwasser gelangen, wirken sich konzentrationserhöhend aus. In reduzierendem Milieu wird das Nitrat über die Reduktionsstufen Nitrit und Ammonium abgebaut. Geht diese Denitrifikation weiter, kann elementarer Stickstoff entstehen, der über die Grundluft in die Atmosphäre entweicht. Daher ist ein geringer oder fehlender Nitratgehalt in reduzierten Wässern, wie sie im größten Teil des Untersuchungsgebietes auftreten, kein Anzeiger für anthropogen unbelastetes Grundwasser. Eine etwaige Belastung kann aber durch die Reduktionsstufen Nitrit oder Ammonium angezeigt werden.

Entsprechend dem verbreiteten Sauerstoffmangel weisen weite Teile des untersuchten Gebietes weit unter 10 mg/l liegende Nitratgehalte auf (Abb. 4.9). Stellenweise ist das Grundwasser sogar nitratfrei. Etwas erhöhte Nitratgehalte mit Werten zwischen 20 und 30 mg/l und darüber sind auf das Verbreitungsgebiet der Niederterrasse sowie einen der Vorbergzone vorgelagerten schmalen Grabenrandstreifen beschränkt. In diesen Bereichen mit zugleich höheren Sauerstoffgehalten wirkt sich die intensive landwirtschaftliche Nutzung des Bodens erhöhend auf den Nitratgehalt aus.

Der höchste Einzelwert mit 380 mg/l wurde in dem verunreinigten Flachbrunnen beim Harderer Hof N Forchheim bestimmt.

## 5. Hydrologie

### 5.1 Untersuchungsgegenstand

Die hydrologischen Untersuchungen beziehen sich im wesentlichen auf die Vorgänge in den grundwasserführenden Lockergesteinen des Rheingrabens im Kartierraum Lahr.

### 5.2 Meßeinrichtungen (siehe Karte II)

Zur Beobachtung der Komponenten des Wasserhaushalts sind im Kartiergebiet entsprechende Meßstellen eingerichtet. Die folgende Zusammenstellung (Tab. 5.1) ordnet der jeweiligen Meßeinrichtung die dort gewonnene Meßgröße zu.

|                           |                                      |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Niederschlagsstation      | Niederschlagshöhe                    |
| Lysimeterstation          | Sickerwassermenge, Niederschlagshöhe |
| Oberflächengewässerpegel  | Wasserstand, Abfluß                  |
| Grundwassermeßstelle      | Wasserstand                          |
| Grundwasserentnahmestelle | Entnahmemenge, Wasserqualität        |

**Tab. 5.1: Meßeinrichtungen**

#### Niederschlagsstationen

Das Niederschlagsgeschehen im Kartiergebiet wird aus Messungen an zwei Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes bei Ottenheim und Rust beurteilt.

Als Ausgangswerte der Berechnungen dienen die Monatssummen der Niederschläge, entnommen den monatlichen Witterungsberichten des Deutschen Wetterdienstes.

#### Lysimeterstationen

Zur Erfassung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag betreibt das Land Baden-Württemberg im betrachteten Raum fünf Lysimeterstationen des Typs FRIEDRICH/FRANZEN bei Lahr, Kippenheim, Kappel, Weisweil und Wyhl. Die Sickerwassermenge und der dazugehörige Niederschlag werden hier in einem Turnus von i.a. zwei bis drei Tagen gemessen.

In einem Bericht der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft – Karlsruhe, kurz LfU/IWA, (1975) zur Grundwasserneubildung wurden die bisherigen Ergebnisse zusammengestellt.

#### Oberflächengewässerpegel

An den in Karte II eingetragenen Meßstellen am Rhein bei Sasbach, Rhein-km 242,710, Kappel und Ottenheim, am Pfitzengraben bei Schuttern, am Leopoldskanal und an der Alten Elz bei Riegel sowie an der Schutter bei Lahr werden die Wasserstände der Oberflächengewässer gemessen.

Die Meßergebnisse des Pegels an der Schutter bei Lahr werden einschließlich der davon abgeleiteten statistischen Größen im Gewässerkundlichen Jahrbuch, Sonderheft Land Baden-Württemberg, von der LfU/IWA herausgegeben.

#### Grundwassermeßstellen

An rund 300 Stellen des Kartiergebietes unterhält das Land Baden-Württemberg Grundwassermeßeinrichtungen, an denen in der Regel jeden Montag der Grundwasserstand gemessen wird. Dies geschieht an einigen schon seit 1913.

An rund 40 weiteren Stellen der Oberflächengewässer und im Grundwasser kann bei Bedarf eine Wasserstandsmessung durchgeführt werden. Diese Zusatzmessungen werden insbesondere an Stichtagen vorgenommen, um eine gut belegbare Momentaufnahme der Grundwasseroberfläche zu erhalten. So wurde auf Karte III die Grundwasser-Oberfläche mit einer mittleren Meßwerte-Dichte von einer Messung auf etwa 0,8 km<sup>2</sup> konstruiert. Die an den regelmäßig beobachteten Meßstellen gewonnenen Daten einschließlich statistischer Größen werden z.T. im o.g. Gewässerkundlichen Jahrbuch veröffentlicht; vollständig stehen sie als Ganglinienbücher der Wasserwirtschaftsverwaltung zur Verfügung.



## Grundwasserentnahmestellen

Der überwiegende Teil der Grundwasser-Entnahmen dient der öffentlichen Wasserversorgung. Über diese Wassermengen und deren Eigenschaften liegen genaue Aufzeichnungen vor. Diese bieten die Möglichkeit, im Zusammenhang mit den hydrologischen und geologischen Untersuchungsergebnissen zum einen die Komponenten des Wasserhaushalts quantitativ zu fassen (siehe Kap. 5.7.4) und zum anderen das Grundwasser qualitativ zu beurteilen (siehe Kap. 4.). In Karte II ist die Lage dieser Grundwasser-Entnahmestellen verzeichnet.

## 5.3 Klima

Der Oberrheingraben liegt im Bereich des gemäßigten Regen- und Westwindgürtels. Das Klima dieses ausgeprägten Tieflandes erfährt durch die Gebirgszüge der Vogesen und des Schwarzwaldes eine besondere Abwandlung, da diese Gebirgsflanken als Hindernisse quer zur Hauptwindrichtung liegen und dabei durch den Effekt von Luv und Lee Einfluß auf Kondensation, Wolkenbildung und Niederschlag nehmen.

Dementsprechend zeigt die in Karte II eingetragene mittlere jährliche Niederschlagsverteilung – gewonnen aus den monatlichen Niederschlagssummen der Jahre 1931 bis 1960 vom Deutschen Wetterdienst – eine Zunahme von unter 700 mm/a im Westen am Rhein auf 800 mm/a im Osten bzw. Nordosten am Vorbergzonenrand.

Die mittlere Jahrestemperatur der Luft bewegt sich in den Grenzen von 9,7° C in Rheinnähe bis 10,2° C im Bereich der Vorberge.

## 5.4 Oberflächengewässer

Im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung interessiert das System der Oberflächengewässer unter dem Aspekt des Austausches mit dem Grundwasser. So ist für den Grundwasserhaushalt neben der Dichte des Gewässernetzes die relative Höhenlage der Gewässersohle gegenüber der Grundwasseroberfläche von Bedeutung. Daraus ergibt sich in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Gewässerbettes Richtung und Menge der Ex- und Infiltrationsrate, d.h. der Wassermenge entlang eines Gewässerabschnittes, die entweder aus dem Grundwasser in das Oberflächengewässer austritt oder aus diesem versickert.

Die Oberflächengewässer des Kartiergebietes bestehen aus einem relativ engen Netz aus natürlichen und künstlichen Wasserläufen, die ihr Wasser aus der Vorbergzone und dem Schwarzwald beziehen und die in nördlicher bis nordwestlicher Richtung dem Rhein zufließen. Der weitaus größte Teil des Rheinabflusses stammt aus den Alpen.

Baggerseen liegen hauptsächlich im Gebiet des Altrheinsystems und entlang der Autobahn. Die durch den Kiesabbau entstandenen Seen stellen Grundwasserblänken dar, die i.d.R. keine oberirdischen Zu- und Abflüsse haben. In bisher zwei Berichten (1975 und 1977) hat die LfU/IWA den Einfluß der Baggerseen auf den Wasserhaushalt untersucht.

Die Abflußganglinie der Monatsmittelwerte der Schutter bei Lahr auf Abb. 5.1 und insbesondere die übereinandergezeichneten Jahresganglinien zeigen die typische Charakteristik eines Mittelgebirgsflusses in unserem Raum. Im Winter und Frühjahr schwellen diese Flüsse an und führen i.a. im Sommer und im Herbst Niedrigwasser.

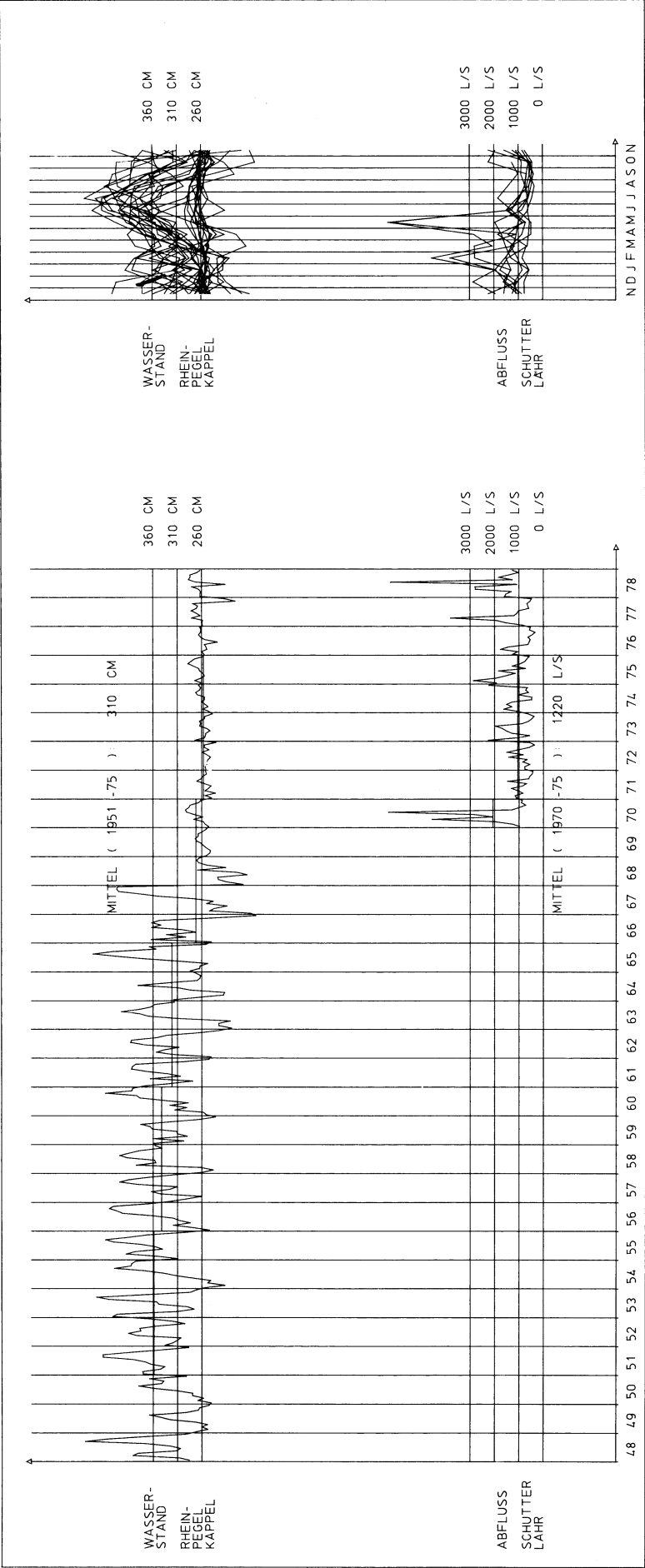
Im Gegensatz dazu zeigt die Charakteristik der Wasserstandsganglinie des Rheins am Pegel Kappel auf Abb. 5.1 den Typ des Hochgebirgsflusses, der im Winter und Frühjahr in der Regel Niedrigwasser führt, während in den wärmeren Jahreszeiten Sommer und Herbst die Wasserführung höher liegt und im Juni und Juli i.a. die Höchststände erreicht.

Die Altrheine haben gegenüber dem Grundwasser die Funktion der Vorflut, so daß das Grundwasser erst auf diesem Wege letztlich in den Rhein gelangt.

## 5.5 Wasserbauliche Maßnahmen

Die naturräumlichen Bedingungen für die Wechselbeziehungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser sind im betrachteten Gebiet vor allem durch zwei bedeutsame wasserbauliche Maßnahmen verändert worden:

- Die Rheinkorrektion (TULLA)
- Der Staustufenbau im Rhein



**Abb. 5.1: Wasserstands-Ganglinie des Rheins am Pegel Kappel;  
Abfluß-Ganglinie der Schutter am Pegel Lahr**

Der erste Eingriff etwa zwischen 1840 und 1880 verkürzte den Rheinlauf, bewirkte eine verstärkte Sohlen-erosion und verminderte die Größe der hochwasserüberfluteten Flächen.

Der Staustufenbau am Oberrhein beeinflusste die Grundwasserstände des Kartiergebietes nach Inbetriebnahme der Stufen Rheinau im September 1963 und Gerstheim im Januar 1967.

Ohne die wasserbaulichen Ergänzungsmaßnahmen, die vom Land Baden-Württemberg durchgeführt wurden, und den Bau der festen Schwellen, die von der französischen Seite aufgrund des Vertrags von 1956 zu errichten waren, wäre das Grundwasser in diesem Bereich vor allen Dingen unterhalb der Hauptwehre beträchtlich abgesunken.

Dies ergibt sich aus einem Vergleich mit der Staustufe Straßburg, bei der nach der Inbetriebnahme weder feste Schwellen noch die erforderlichen Ergänzungsmaßnahmen vorhanden waren.

Durch die wasserbaulichen Ergänzungsmaßnahmen längs der beiden Staustufen wurde erreicht, daß das Grundwasser auf die früher bekannten niederen Werte nicht mehr absinkt; d.h. der heutige Grundwasserspiegel liegt auch in Trockenzeiten über dem früheren MNW-Stand.

Selbst die bisherigen Mittelwerte konnten mit Ausnahme von ganz geringen Partien im Bereich unterhalb der festen Schwellen gehalten bzw. erhöht werden.

Allerdings darf nicht übersehen werden, daß die bisherigen Schwankungsamplituden, die im wesentlichen durch den wechselnden Wasserstand im Rhein (Schwankungsamplitude ca. 2 m) verursacht wurden, durch die wasserbaulichen Ergänzungsmaßnahmen einschließlich der Durchführung von Stauversuchen nicht mehr erreicht werden.

Die Auswirkungen des Staustufenbaus werden in noch laufenden Arbeiten untersucht und entsprechende Ergänzungsmaßnahmen an den Gewässern vorgenommen.

In ihrer Auswirkung auf die Grundwasserstände sind an wasserbaulichen Maßnahmen noch die Anlage des Leopoldskanals und das System der Wiesenwässerung von Kenzingen zu nennen.

## **5.6 Grundwasser**

Auf der Grundlage von Messungen an den oben genannten hydrologischen Meßeinrichtungen wird das Verhalten des Wassers insbesondere in den grundwasserführenden Lockergesteinen des Rheingrabens im beschriebenen Kartiergebiet untersucht.

### **5.6.1 Fließrichtung und Gefälle (siehe Karte III)**

Die Karte der Grundwasser-Oberfläche ist das Ergebnis einer Stichtagsmessung am 3. Okt. 1977 an rund 340 Meßstellen im Grundwasser und an Oberflächengewässern. Das Resultat der Auswertung, die Linien gleichen Grundwasserstandes, zeigt eine Momentaufnahme der tatsächlichen hydraulischen Situation. Eine zweite Möglichkeit der Darstellung der Grundwasser-Oberfläche mit Höhenlinien besteht mit Hilfe statistischer Ausgangswerte wie z.B. MW 1975 als Grundlage der Flurabstandskarte.

Wie aus dem Verlauf der Grundwasser-Höhenlinien hervorgeht, bewegt sich das Grundwasser nach dem Austritt aus der Riegeler Pforte in Nord-West-Richtung mit dem Leopoldskanal und trifft mit dem Grundwasserstrom im Bereich des Altrheinsystems zusammen. Danach bewegt sich das Grundwasser mehr oder weniger parallel zum Rhein durch den Rheingraben. Das Gefälle der Grundwasser-Oberfläche beträgt im Mittel im gesamten Bereich rund 1 ‰. Abweichungen von diesem generellen Verhalten werden aus den hydrologischen Längenschnitten L1 bis L4 (Abb. 5.2–5.5) ersichtlich, deren Ausgangswerte in Tab. 5.2 und deren Lage in Karte III eingetragen sind.

Die Geländeoberfläche wie die Grundwasser-Oberfläche in den Längenschnitten ist generalisiert und lediglich an der jeweiligen Grundwassermeßstelle genau. Der eingetragene Schwankungsbereich des Grundwasserstandes bezieht sich auf die Extremwerte der Zeit zwischen 1951 und 1977. Die Grundwasserstände am Stichtag des 3. Okt. 1977 liegen statistisch deutlich unter dem langfristigen Mittelwert. Der Betrag der Abweichungen ist aus den Längenschnitten im Vergleich mit der Lage des MW 1975 erkennbar, das nahezu dem langfristigen Mittelwert entspricht.

### **5.6.2 Flurabstand (siehe Karte IV)**

Die Differenz zwischen der Gelände- und Grundwasser-Oberfläche – der Flurabstand –, gemäß der Schwankung des Grundwasserstandes nicht nur eine orts-, sondern auch eine zeitabhängige Größe, beeinflusst die Verdunstung, die Grundwasser-Neubildung aus Niederschlag, die Korrespondenz zwischen Grund- und Oberflächenwasser, die Vegetation und den Grundwasserchemismus. Er ist auch ein wichtiger Wert zur Beurteilung der Gründungsmaßnahmen von Bauwerken, der Kiesgewinnung, der Maßnahmen bei Ölnfällen u.a.

| Meßstellen-Nr. | Kilometrie-<br>rung                                 | Gelände-<br>oberfläche                                   | HW 51-77                                                 | NW 51-77                                                 | MW 1975                                                  | Stichtag<br>3. 10. 77                                    | Bemerkung                                                                        |
|----------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| L1             | 0,000<br>4,000<br>6,250<br>7,150                    | 151,30<br>157,09<br>161,23<br>164,80                     | 150,56<br>156,29<br>158,92<br>163,39                     | 148,29<br>151,64<br>154,86<br>158,08                     | 149,03<br>153,54<br>155,74<br>158,86                     | 148,79<br>152,16<br>155,40<br>158,67                     |                                                                                  |
| L2             | 0,000<br>2,250<br>4,550<br>6,170<br>9,300<br>10,550 | 155,04<br>158,37<br>159,39<br>162,09<br>166,76<br>169,42 | 155,56<br>157,31<br>159,03<br>160,96<br>163,39<br>163,18 | 152,83<br>155,16<br>157,45<br>158,82<br>160,64<br>161,41 | 153,47<br>156,01<br>158,13<br>159,58<br>161,12<br>162,47 | 153,27<br>155,81<br>157,65<br>159,04<br>160,80<br>161,74 | Beobachtungszeit 1967-77<br><br>Beobachtungszeit 1970-77                         |
| L3             | 0,000<br>1,420<br>2,420<br>4,800<br>7,050<br>8,950  | 164,84<br>169,33<br>170,54<br>173,26<br>174,90<br>178,46 | 164,72<br>165,68<br>167,86<br>171,27<br>174,00<br>176,35 | 163,28<br>164,91<br>165,71<br>169,00<br>170,80<br>173,79 | 164,22<br>165,28<br>166,85<br>169,91<br>171,79<br>175,55 | 164,04<br>164,96<br>166,24<br>169,25<br>171,38<br>175,19 | Beobachtungszeit 1966-77<br>Beobachtungszeit 1955-77<br>Beobachtungszeit 1969-77 |
| L4             | 0,000<br>2,300<br>4,920<br>6,670<br>10,100          | 167,00<br>171,02<br>172,80<br>173,85<br>177,85           | 167,14<br>169,06<br>170,76<br>172,58<br>175,80           | 164,54<br>166,57<br>168,32<br>170,03<br>171,97           | 165,93<br>167,96<br>169,56<br>170,99<br>174,08           | 165,80<br>167,67<br>168,86<br>170,60<br>173,69           | Beobachtungszeit 1955-77                                                         |

Tabelle 5.2: Werte der hydrologischen Längenschnitte L1 bis L4

# Hydrologischer Längenschnitt L1

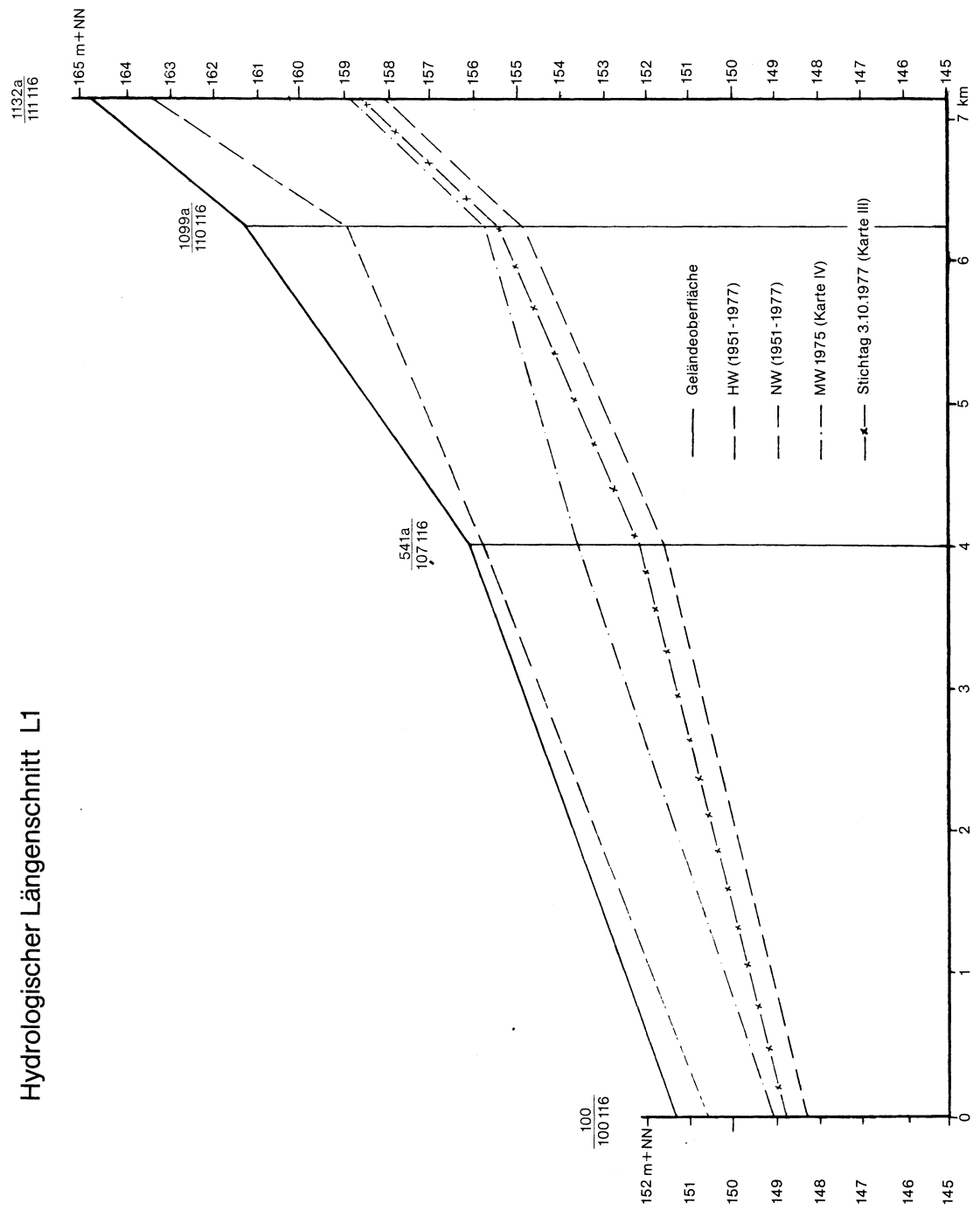


Abb.5.2: Hydrologischer Längenschnitt L1 (siehe Karte III)



# Hydrologischer Längenschnitt L2

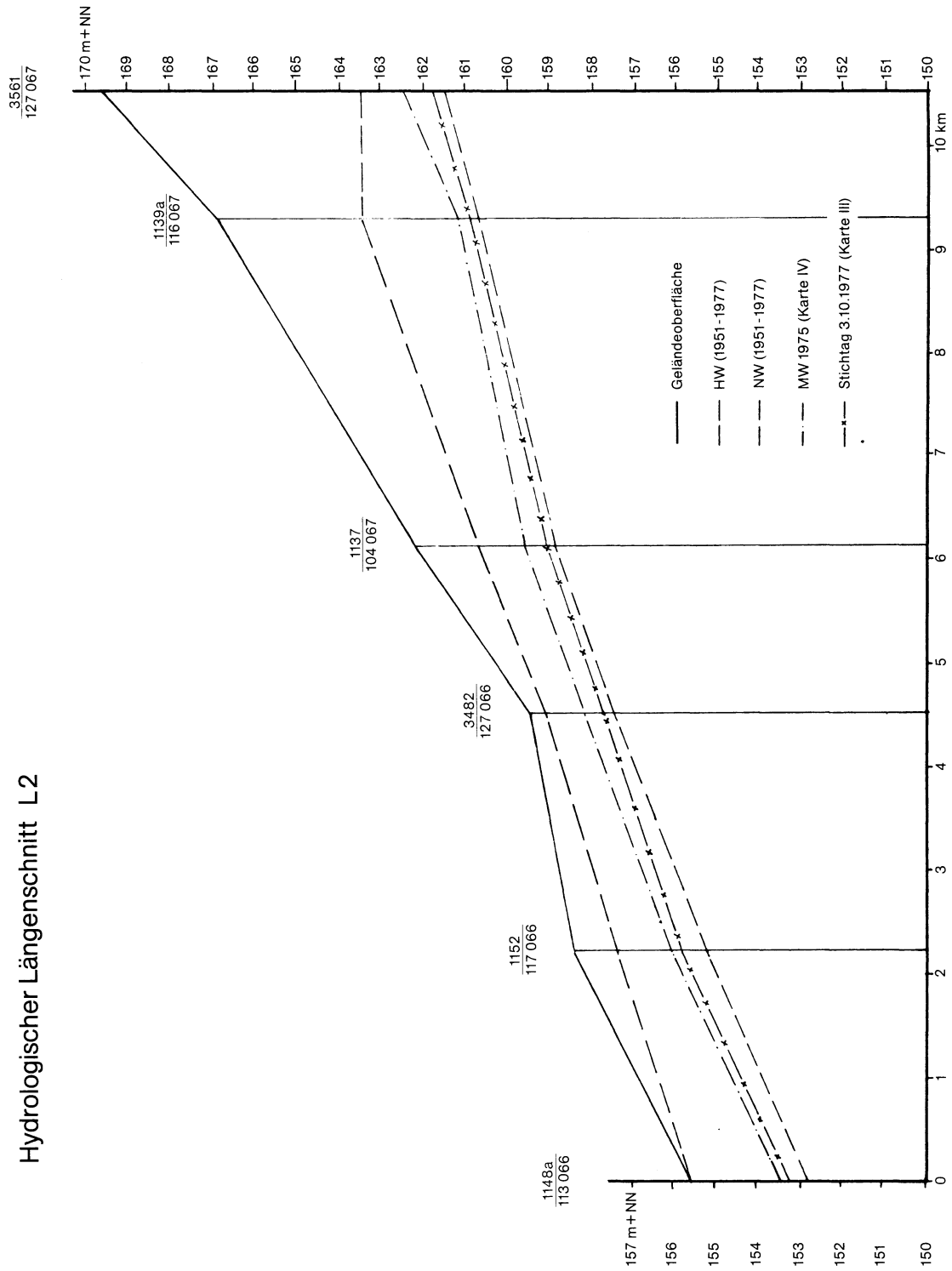


Abb. 5.3: Hydrologischer Längenschnitt L2 (siehe Karte III)

# Hydrologischer Längenschnitt L3

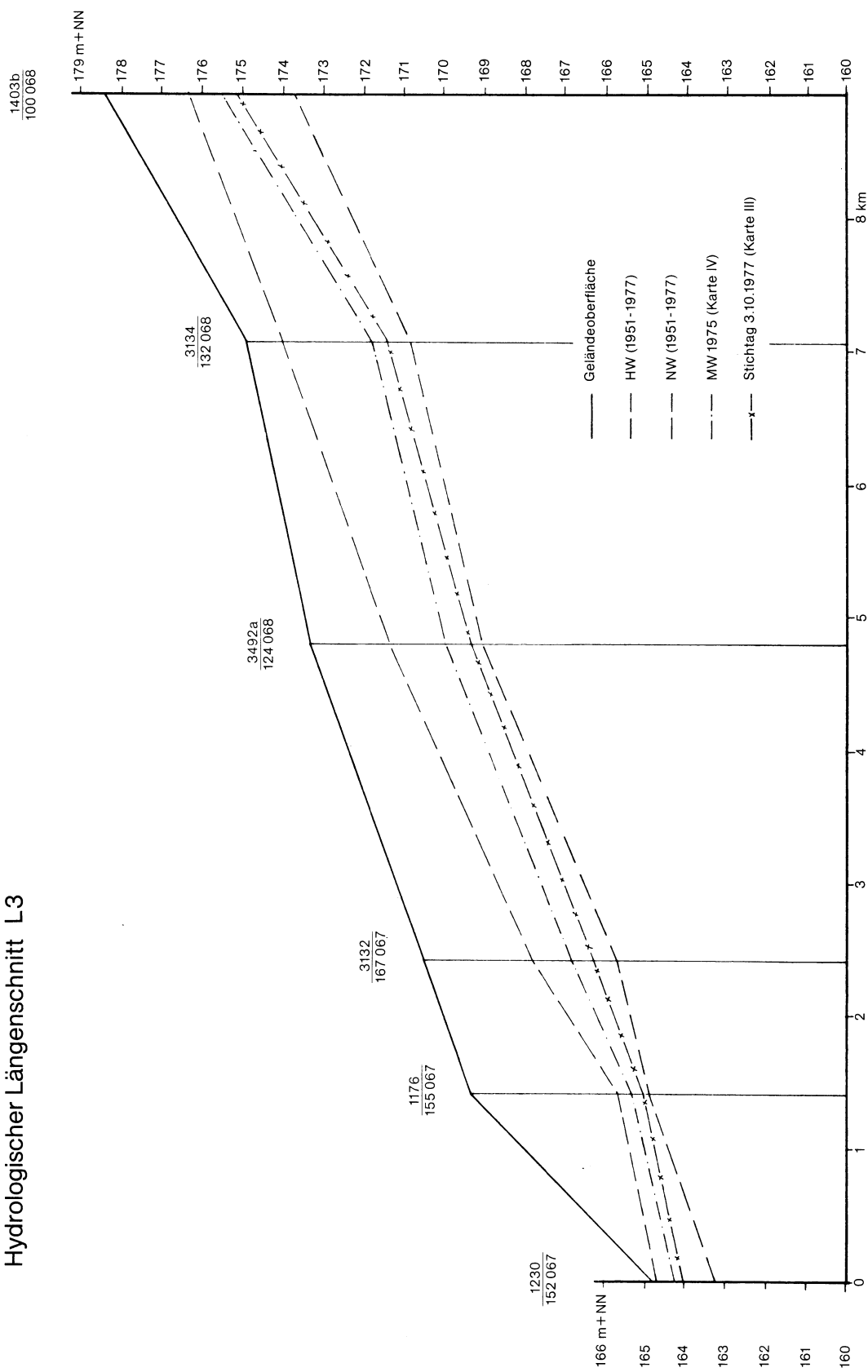


Abb. 5.4: Hydrologischer Längenschnitt L3 (siehe Karte III)

## Hydrologischer Längenschnitt L4

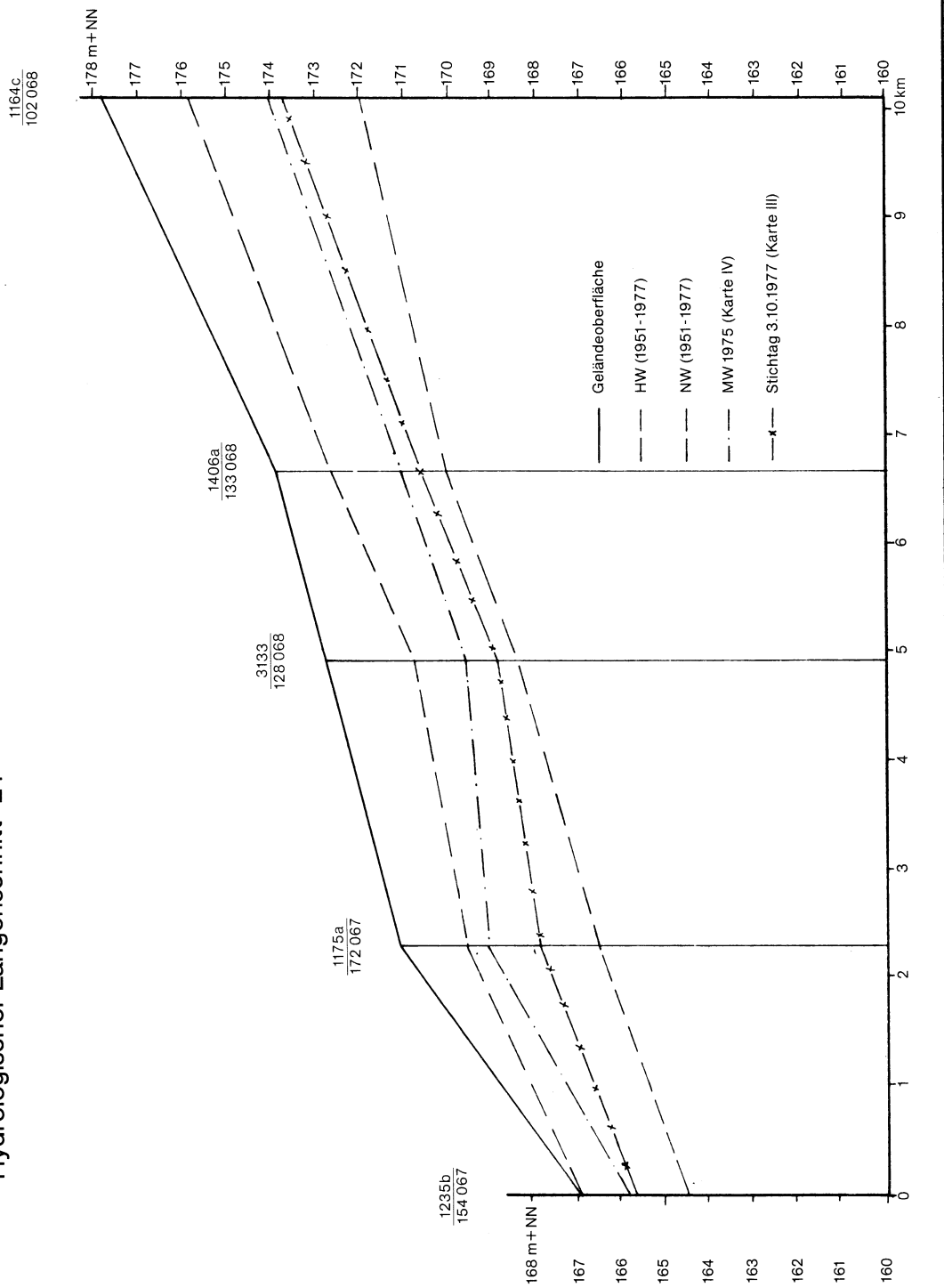


Abb. 5.5: Hydrologischer Längenschnitt L4 (siehe Karte III)

Die Flurabstände auf Karte IV bezogen auf MW 1975 stellen eine gering unter dem langfristigen Mittelwert befindliche Situation dar. Sie liegen i.a. zwischen den Werten „weniger als 1 m“ und „mehr als 4 m“. Die Bereiche geringer Flurabstände mit Werten unter 1 m und bis etwa 2 m liegen in der bewaldeten Rheinaue zwischen Limberg und Kappel mit einer mittleren Breite von etwa 2 km sowie zwischen Kappel und Ottenheim mit einer mittleren Breite von etwa 0,5 km. Zudem ist der Bereich des Kaiserwaldes südlich von Langenwinkel durch Flurabstände unter 1 m gekennzeichnet. Die weitere Fläche zwischen Rheinaue und Vorbergzone besitzt etwa nördlich der Linie Mahlberg – Kappel Flurabstände um 2 m und südlich davon bis zum Kaiserstuhl Flurabstände im Bereich um 3 und 4 m.

### 5.6.3 Schwankungen des Grundwasserstandes

Die natürliche Veränderung des Grundwasserstandes wird letztlich durch die Abfolge der Niederschläge verursacht, gleichgültig ob diese im jeweiligen Einzugsgebiet die Wasserführung eines Oberflächenwassers bedingen, das linienhaft mit dem Grundwasserkörper in Beziehung steht, oder ob sie flächenhaft durch den Erdboden versickern, wobei zunächst ein Teil verdunstet, vom Boden zurückgehalten, von den Pflanzen gebunden bzw. wieder in die Atmosphäre abgegeben wird.

Diese räumlich und zeitlich unterschiedliche Grundwasserneubildung läßt aus dem unmittelbaren Vergleich der Niederschlags- und Grundwasserstandsganglinien den natürlichen Zusammenhang oft nur mit Hilfe geeigneter statistischer Aufbereitung der Meßwerte erkennen, zumal anthropogene Einflüsse wie z.B. Grundwasserentnahmen oder Be- und Entwässerungsmaßnahmen den natürlichen Schwankungsgang des Grundwasserstandes überlagern.

Die auf Abb. 5.6 dargestellte Ganglinie der monatlichen Niederschlagssummen der Niederschlagsstation Rust ist in ihrem Verlauf repräsentativ für das gesamte Kartiergebiet. Abweichungen vom Gang der Niederschlagssummen an den übrigen Stationen sind durch einzelne lokale jedoch selten auftretende Niederschlagsereignisse bedingt. Lediglich der absolute Betrag der Niederschlagssummen ist langfristig von Ort zu Ort verschieden, was durch die entsprechende Verteilung der Niederschlagsgleichen auf Karte II zum Ausdruck kommt.

Bildet man – wie auf Abb. 5.6 dargestellt – die Niederschlagssummen für das jeweilige Halbjahr, berechnet deren Mittelwert und trägt den davon abweichenden Überschuß bzw. das Defizit nach oben bzw. unten ab, erhält man ein Kriterium zur Klassifizierung nach nassen, mittleren und trockenen Halbjahren und Jahren.

Die in den Abb. 5.7 bis 5.11 dargestellten Grundwasserstands-Ganglinien stellen die Abfolge der Monatsmittelwerte dar, die aus den wöchentlich gemessenen Grundwasserständen berechnet wurden. Die Darstellung der extremen Einzelwerte geht dabei zwar verloren; zum Erkennen langfristiger Entwicklungen und großräumiger Zusammenhänge ist jedoch die Verwendung von Monatsmittelwerten der Grundwasserstände hier besser geeignet.

Beim Vergleich der Niederschlags- mit den Grundwasserstands-Ganglinien ist zu beachten, daß die Grundwasserneubildung aus Niederschlag bevorzugt im Winterhalbjahr stattfindet, obwohl die Niederschlagssumme im Sommer im Mittel bis zu 160 mm höher liegt als im Winter, da dann aufgrund der niedrigen Lufttemperatur die Verdunstung geringer und die Pflanzenaktivität eingeschränkt ist.

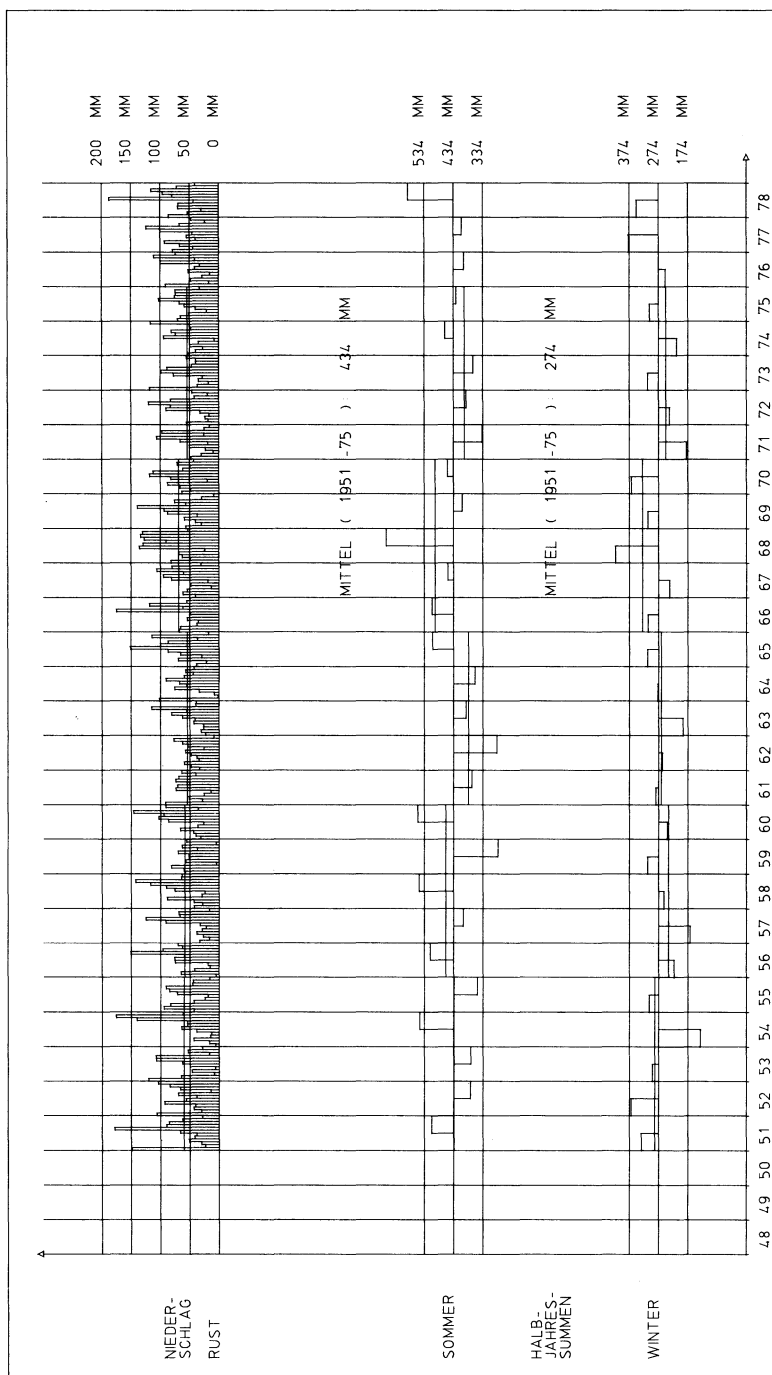
So reduziert sich der Vergleich Niederschlag – Grundwasser im wesentlichen auf die Gegenüberstellung der Winterniederschlagssummen und der Grundwasserstands-Ganglinien.

Da jedoch die Entwicklung der Grundwasserstände sowohl räumlich als auch zeitlich nicht isoliert betrachtet werden kann, ist es sinnvoll, eine Gruppe von Jahren statistisch zusammenzufassen und diese dann miteinander zu vergleichen. Dies wurde unter Verwendung von Fünfjahresmittelwerten durchgeführt. Ist auch die Wahl des jeweiligen Intervalls willkürlich, so ist ein Vergleich dennoch möglich, wenn alle betrachteten Ganglinien in derselben Weise behandelt werden.

Ordnet man den Fünfjahresmitteln gemäß ihrer Abweichungen vom langfristigen Mittelwert der Reihe von 1951 bis 1975 die Bezeichnung naß, mittel, trocken zu, erhält man folgende Einstufung:

|           |                |
|-----------|----------------|
| 1951–1955 | mittel         |
| 1956–1960 | mittel-trocken |
| 1961–1965 | mittel         |
| 1966–1970 | naß            |
| 1971–1975 | mittel-trocken |

Die bei dieser Betrachtungsweise vernachlässigten Besonderheiten in Einzeljahren und Teilgebieten des Untersuchungsraumes müssen im Zusammenhang mit den jeweiligen spezifischen natürlichen und anthropogenen Bedingungen und Einflüssen gesehen werden.



**Abb. 5.6: Niederschlags-Ganglinie der Station Rust des Deutschen Wetterdienstes;  
Halbjahressummen der Niederschläge**



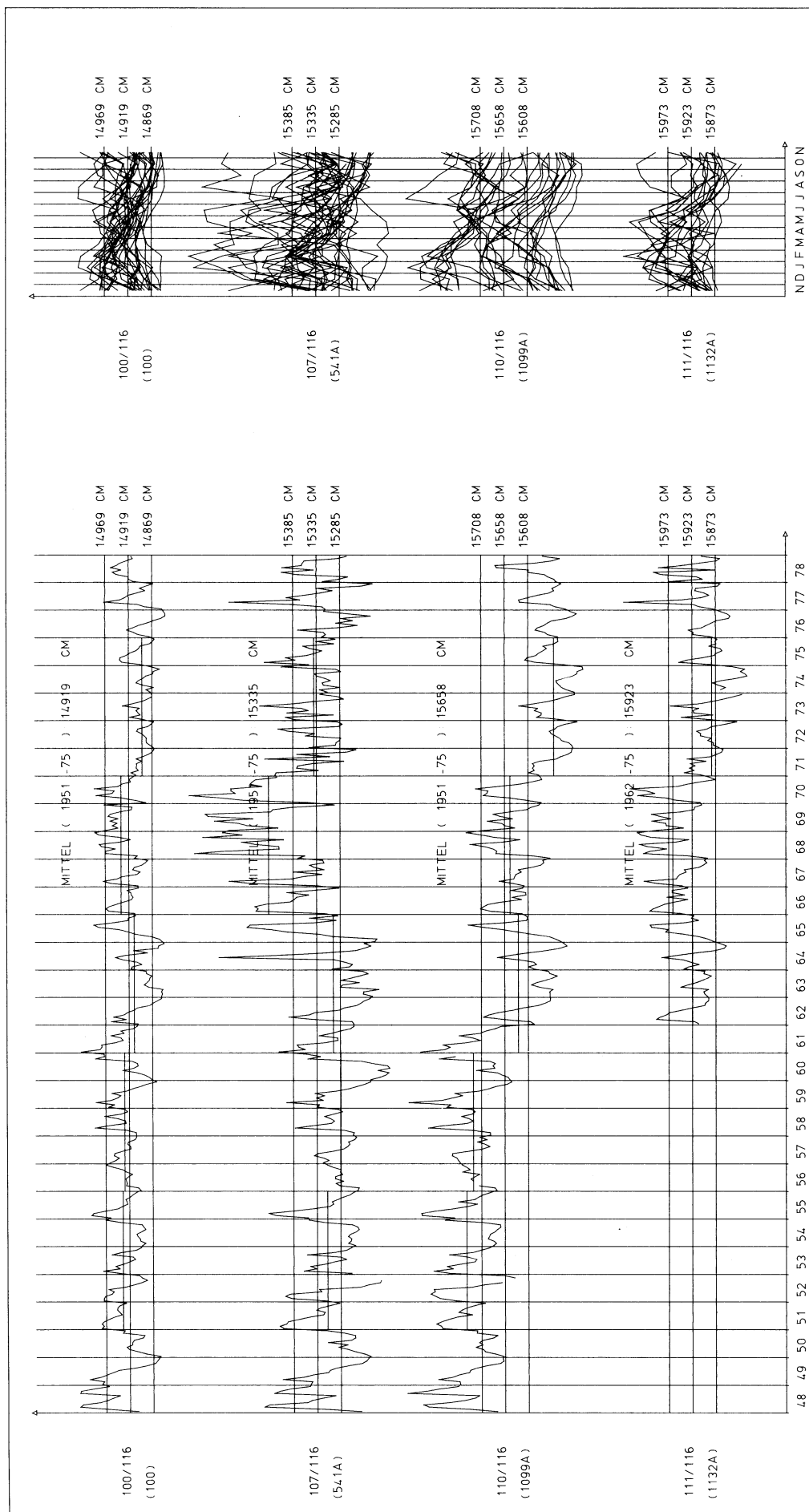
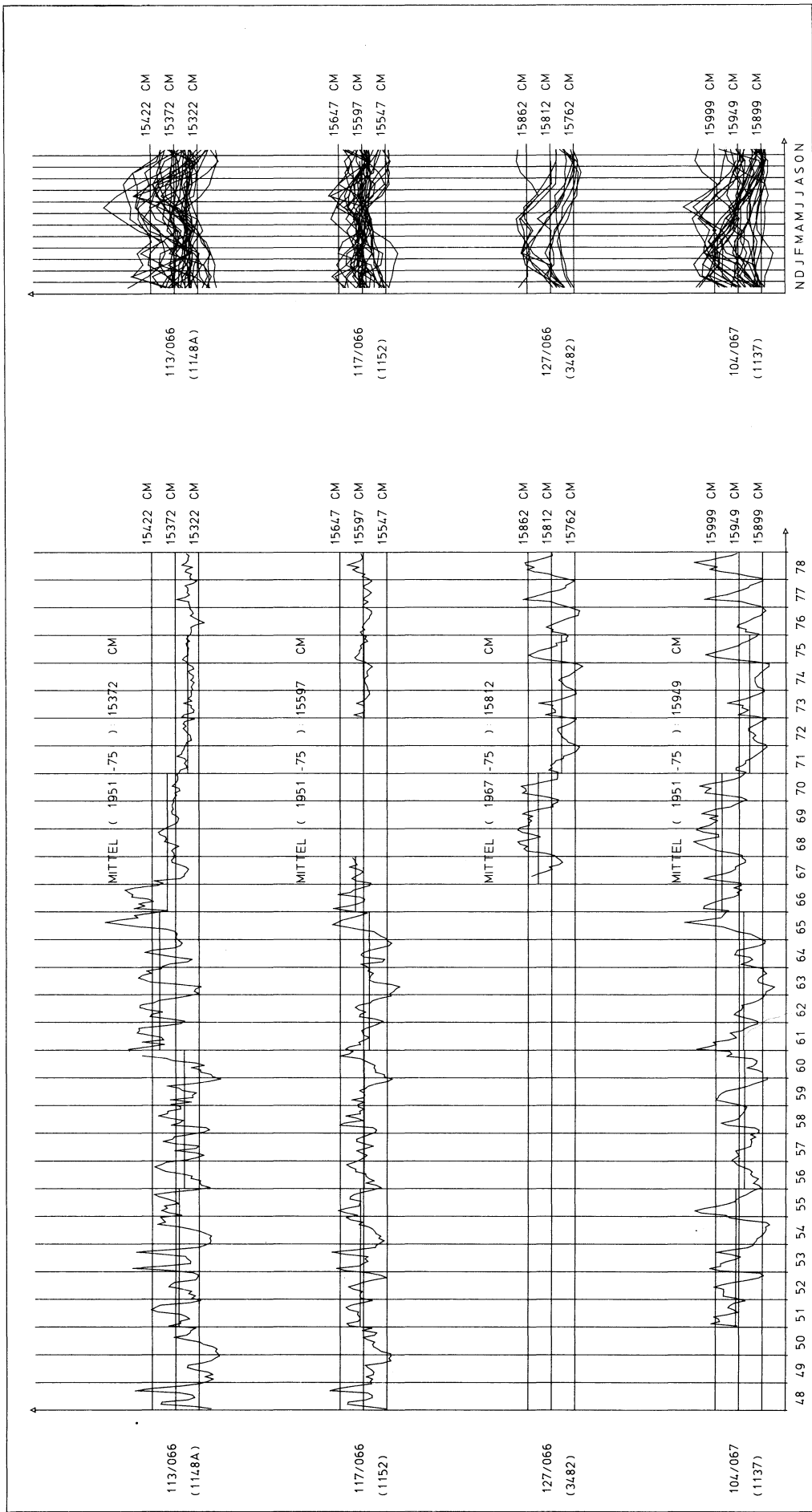


Abb. 5.7: Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.2)



**Abb. 5.8: Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.3)**

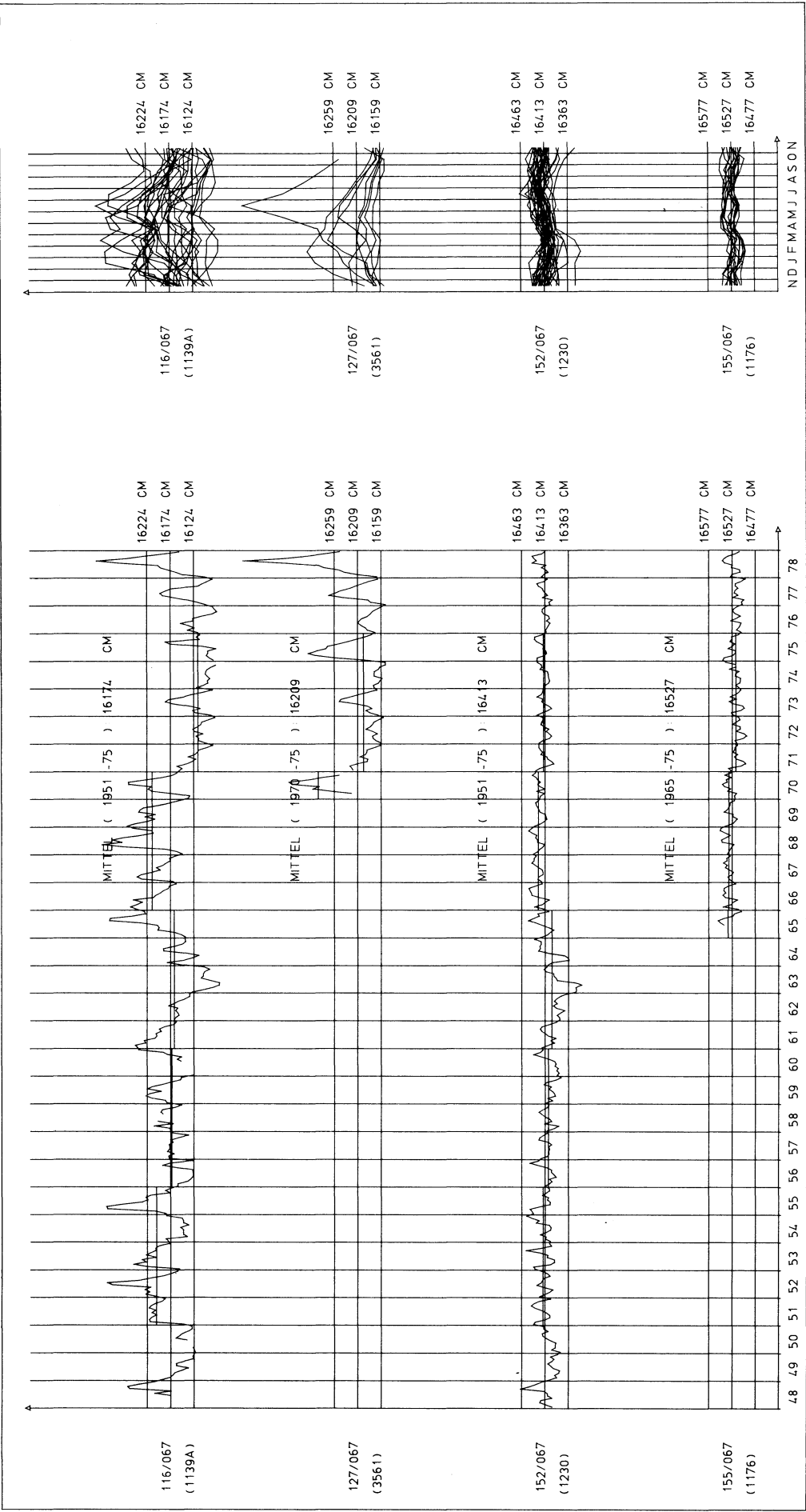


Abb. 5.9: Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.3 und 5.4)

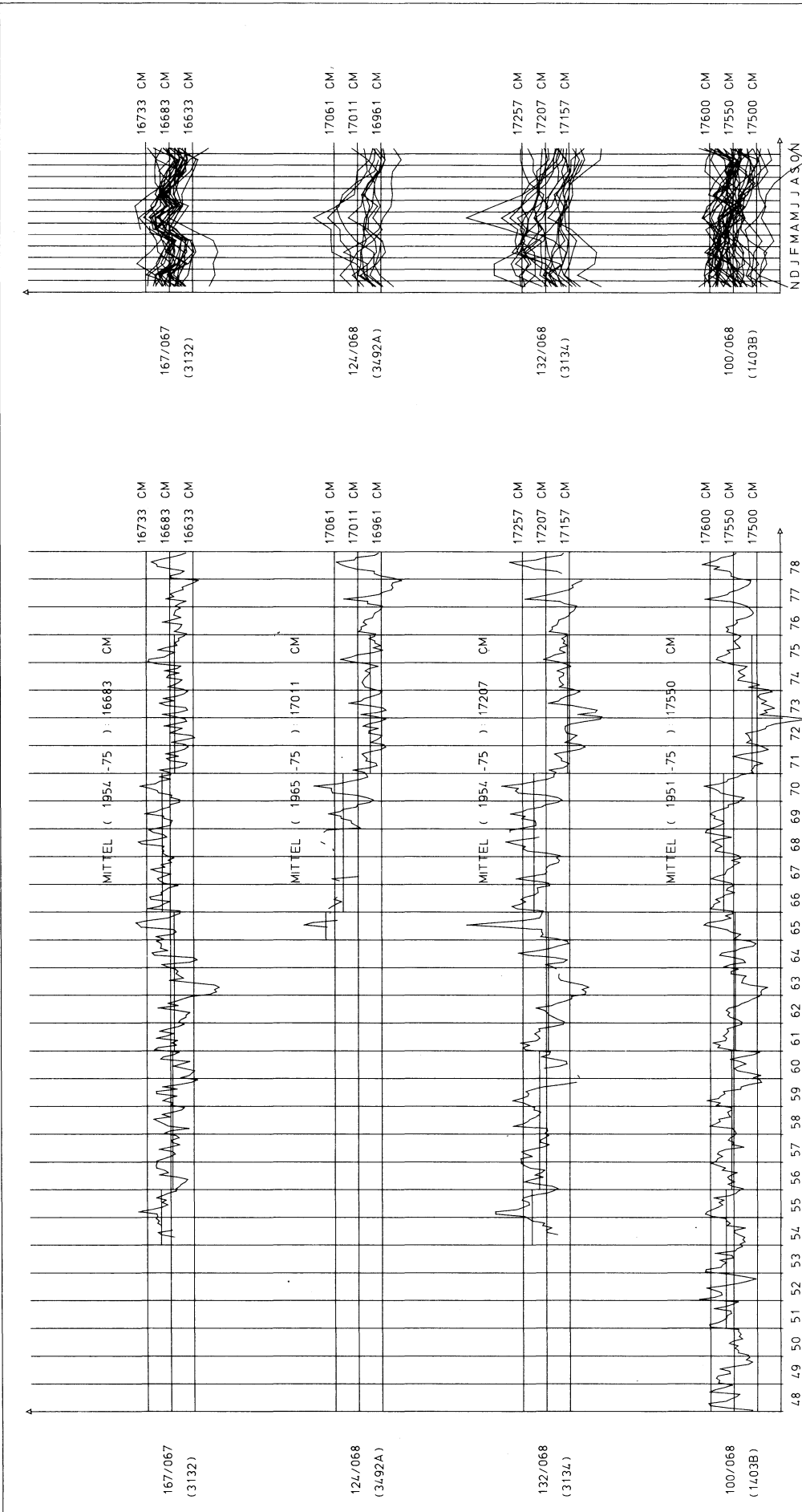


Abb. 5.10: Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.4)



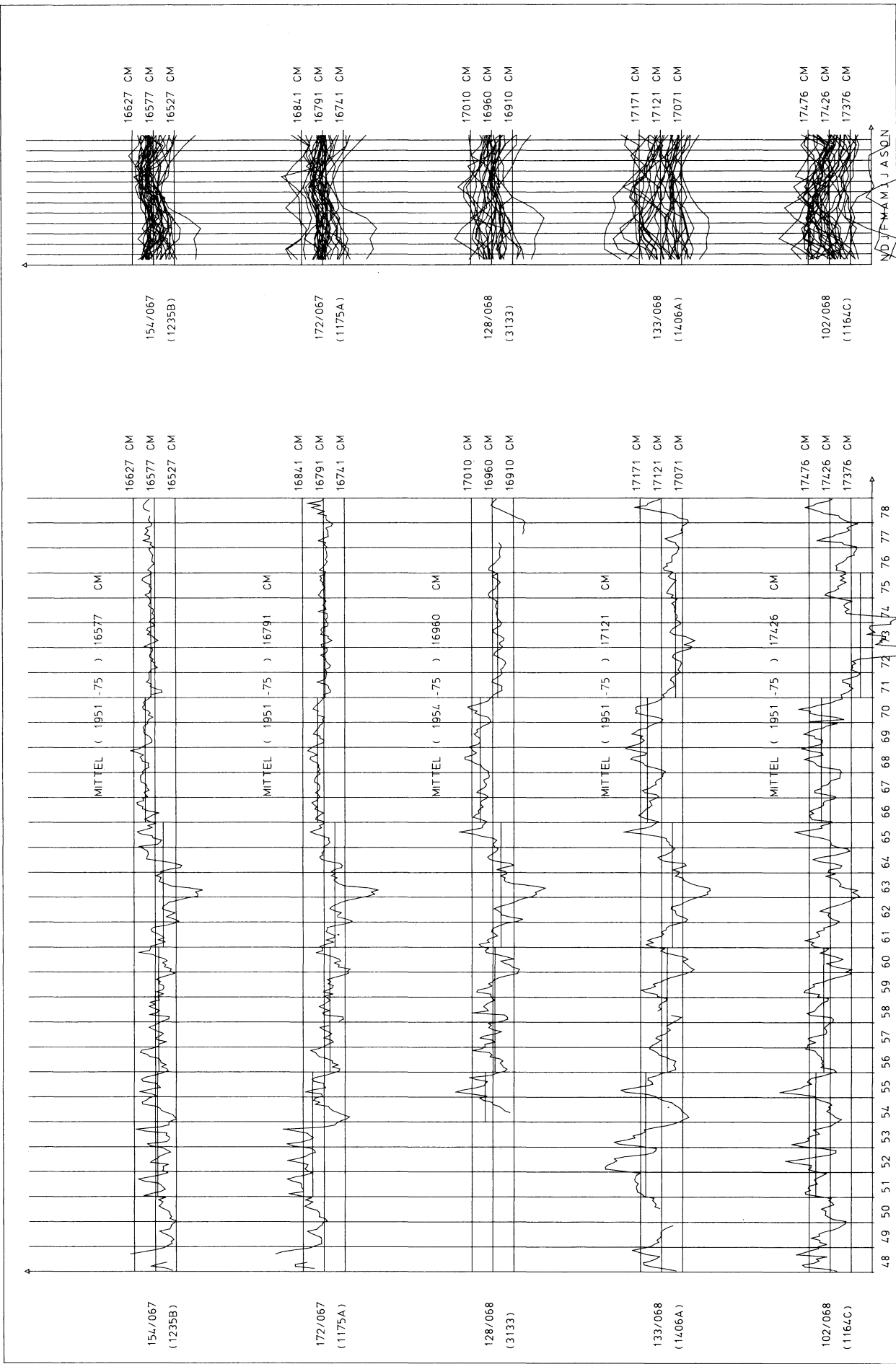


Abb. 5.11: Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.5)

Aufgrund der Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Grundwasserstand erkennt man an bestimmten Grundwasserstands- Ganglinien den synchronen gleichsinnigen Verlauf mit dem für das Grundwasser ausschlaggebenden Niederschlag; d.h. die durch den Niederschlag dominierte Grundwasserstands- Ganglinie steigt i.a. von November bis Februar an und fällt dann kontinuierlich bis September/Okttober ab.

Aus den in den Abb. 5.7–5.11 übereinander gezeichneten Jahresganglinien der Monatsmittelwerte der wöchentlich beobachteten Grundwasserstände erkennt man das zeitliche Zusammenfallen gleicher Ereignisse und damit die sich stets wiederholende Jahrescharakteristik.

## **5.7 Grundwasserhaushalt**

Zur Beurteilung der Einflüsse und deren Wirkungen auf die Veränderungen der Grundwasserverhältnisse nach Größe und Richtung ist die Kenntnis des quantitativen Zusammenhangs der einzelnen Grundwasserhaushaltsgrößen erforderlich. Diese sind für das grundwasserführende Lockergestein des Kartiergebietes:

- Grundwasserneubildung aus Niederschlag
- Grundwasserneubildung bzw. -entzug durch Oberflächengewässer
- Grundwasserneubildung durch Randzustrom aus dem Gebirge
- Grundwasserentnahmen

### **5.7.1 Grundwasserneubildung aus Niederschlag**

Durch die Auswertung von Lysimeterdaten sowie durch Verdunstungsberechnungen nach PENMAN und HAUDE unter Berücksichtigung der Korrektur der potentiellen Verdunstung in Abhängigkeit von der Wasserspeicherung im Boden nach RENGGER (I. und II. Bericht der LfU/IWA, 1975) wurden im Bereich des Untersuchungsgebietes für die Grundwasserneubildung aus Niederschlag folgende Ergebnisse ermittelt:

Gemäß dem zunehmenden Niederschlag vom Rhein zur Vorbergzone steigen in dieser Richtung die Werte für die Grundwasser-Neubildung generell an.

Im Bereich der Rheinaue liegen die Spendenwerte i.d.R. zwischen 0 und 4 l/s·km<sup>2</sup>. Der Bereich zwischen der Rheinaue und der Vorbergzone erhält im wesentlichen 5 bis 6 l/s·km<sup>2</sup> mit Ausnahme der Waldgebiete, die den Spendenwert auf 3 bis 4 l/s·km<sup>2</sup> abmindern.

### **5.7.2 Grundwasserneubildung bzw. -entzug durch Oberflächengewässer**

Die Austauschvorgänge zwischen Oberflächen- und Grundwasser sind von einer Vielzahl physikalischer, chemischer und biologischer Faktoren abhängig. Diese Faktoren bedingen den Grad der Selbstdichtung von Gewässerbetten, in denen insbesondere stark schweb- und schmutzstoffbelastetes Wasser abfließt.

Auf dem Hintergrund der Bedeutung der Oberflächengewässer der Rheinebene für den Grundwasserhaushalt – im Untersuchungsgebiet besonders wegen des geringen Flurbestandes – ist es wichtig, den Anteil des Oberflächenwassers zu kennen, der mit dem Grundwasser korrespondiert. Der gegenwärtige Kenntnisstand läßt darüber nur Schätzungen zu (siehe Kap. 6).

### **5.7.3 Grundwasserneubildung durch Randzustrom**

Der Grundwasserkörper des Rheingrabens erfährt neben der flächenhaften Neubildung aus Niederschlag sowie der linienhaften aus Oberflächengewässern einen weiteren Zufluß vom Gebirgsrand der Vorbergzone sowohl oberflächlich als auch unterirdisch (vgl. Kap. 3.5). Es gelingt nur schwer, diese Komponenten direkt zu messen bzw. mit der erforderlichen Genauigkeit zu berechnen. In die folgende Bilanzberechnung gehen diese Komponenten deshalb auch als Summe ein, wobei der Teil der Niederschlags-Neubildung zwischen dem oberen Querschnitt des jeweiligen Teilbereichs und dem Gebirgsrand im Wert „Grundwasserzustrom“ ebenfalls enthalten ist (siehe Kap. 6).

### **5.7.4 Grundwasserentnahmen**

Tab. 5.3 enthält neben der Angabe über die Lage der Grundwasserentnahmestellen im Kartiergebiet (siehe Kap. 5.2) die wasserrechtlich zugelassenen und die tatsächlichen Entnahmen der öffentlichen Wasserversorgungsbetriebe des Jahres 1973. Letztere sind Bestandteil der Bilanzrechnung in Kap. 6.

| Lfd. Nr. | Gemeinde, Teilgemeinde, Verband                   |                        | Lage der Brunnen<br>Rechtswert      Hochwert |                        | Entnahmeerlaubnis<br>(bzw. -bewilligung)           | Förderung<br>1973<br>in m³ | Bemerkungen                                                         |
|----------|---------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1        | WVV „Ried“,<br>Meißenheim                         | Br. 1<br>Br. 2         | 34 10 740<br>34 10 810                       | 53 61 350<br>53 61 270 | 300 000 m³/a<br>60 l/s                             | 122 971                    |                                                                     |
| 2        | Friesenheim-<br>Schuttern                         |                        | 34 14 700                                    | 53 61 150              | nicht festgelegt                                   | 51 800                     |                                                                     |
| 3        | Friesenheim                                       |                        | 34 16 090                                    | 53 61 020              | 10 l/s                                             | 187 848                    |                                                                     |
| 4        | Lahr-Hugsweiler                                   | Br. 1<br>Br. 2         | 34 14 130<br>34 14 100                       | 53 58 280<br>53 58 300 | nicht festgelegt<br>Pumpenleistung =<br>2 x 30 l/s | 43 177                     | 1976 = 63 694 m³<br>1977 = 54 684 m³                                |
| 5        | Lahr<br>Rheintalwasserwerk<br>(Horizontalbrunnen) |                        | 34 11 800                                    | 53 57 350              | 1 500 000 m³/a<br>120 l/s                          | 2 125 708                  | 1976 = 1 400 993 m³<br>1977 = 1 453 048 m³                          |
| 6        | Lahr-Mietersheim                                  |                        | 34 14 140                                    | 53 55 160              | 10 l/s                                             | 56 677                     |                                                                     |
| 7        | Lahr-Neulangenwinkel                              |                        | 34 13 560                                    | 53 53 720              | 70 000 m³/a<br>400 m³/d<br>20 l/s                  | 60 681                     | 1976 = 108 555 m³<br>1977 = 111 244 m³                              |
| 8        | Kippenheim                                        |                        | 34 12 390                                    | 53 51 260              | 20 l/s                                             | 137 980                    |                                                                     |
| 9        | WVV Kappel-Rust-<br>Grafenhausen                  |                        | 34 07 140                                    | 53 50 340              | 100 000 m³/a<br>25 l/s                             | 296 000                    |                                                                     |
| 10       | Mahlberg                                          |                        | 34 11 660                                    | 53 50 240              | 150 000 m³/a<br>800 m³/d<br>15 l/s                 | 140 000                    |                                                                     |
| 11       | Ettenheim-Altldorf                                | Br. 1<br>Br. 2         | 34 11 590<br>34 11 670                       | 53 48 420<br>53 48 380 | nicht festgelegt<br>Pumpenleistung =<br>2 x 6 l/s  | 109 444                    |                                                                     |
| 12       | Ettenheim, Stadt                                  |                        | 34 09 880                                    | 53 47 350              | 300 000 m³/a<br>40 l/s                             | 349 846                    |                                                                     |
| 13       | Ringsheim                                         |                        | 34 09 110                                    | 53 47 350              | 700 m³/d<br>8 l/s                                  | 70 014                     |                                                                     |
| 14       | Rheinhausen                                       |                        | 34 05 100                                    | 53 44 310              | 100 000 m³/a<br>15 l/s                             | 131 630                    | 1976 = 152 238 m³<br>1977 = 158 545 m³                              |
| 15       | Herbolzheim                                       |                        | 34 08 485                                    | 53 42 600              | 25 l/s                                             | 174 315                    |                                                                     |
| 16       | Weisweil                                          |                        | 34 02 010                                    | 53 40 360              | 15 l/s                                             | 153 624                    | 1976 = 99 173 m³<br>1977 = 80 106 m³                                |
| 17       | Kenzingen                                         | neuer Br.<br>alter Br. | 34 09 280<br>34 09 135                       | 53 41 120<br>53 39 750 | 2 500 m³/d<br>44 l/s<br>10 l/s                     | -<br>256 340               | wurde Anfang April 1979<br>in Betrieb genommen<br>wurde stillgelegt |
| 18       | Kenzingen-Hecklingen                              |                        | 34 08 390                                    | 53 37 410              | 400 m³/d<br>16 l/s                                 | 39 120                     |                                                                     |
| 19       | Forchheim                                         |                        | 34 04 250                                    | 53 36 850              | 400 m³/d<br>15 l/s                                 | 46 260                     |                                                                     |
| 20       | Whyl                                              |                        | 33 99 470                                    | 53 36 495              | 15 l/s                                             | 97 490                     | 1976 = 111 073 m³                                                   |
| 21       | Endingen                                          |                        | 34 04 100                                    | 53 35 000              | 200 000 m³/a                                       | 351 474                    | 1976 = 286 118 m³                                                   |

Tab. 5.3: Öffentliche Trinkwasserentnahmen

## 6. Grundwasserbilanz

Die bisher gewonnenen Kenntnisse über die hydrogeologischen und hydrologischen Zusammenhänge im untersuchten grundwasserführenden Lockergestein ermöglichen eine erste überschlägige Grundwasserbilanzierung.

Dies geschieht hier für Teilgebiete des Grundwasserleiters, die durch Grundwasserhöhen- und Stromlinien begrenzt sind (siehe Abb. 6 und Karte III).

Die Ausgangsdaten der Berechnung sind:

- |                                                                                |                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| – Die Grundwasser-Höhenlinien und damit das Gefälle der Grundwasser-Oberfläche | J (dimensionslos)                     |
| – Die Transmissivitätsverteilung                                               | T (m <sup>2</sup> /s)                 |
| – Die Grundwasser-Neubildung aus Niederschlag                                  | G <sub>N</sub> (l/s·km <sup>2</sup> ) |
| – Die Grundwasserentnahmen                                                     | Q <sub>E</sub> (l/s)                  |

Mit der Breite B des durchströmten Querschnittes eines Teilgebietes erhält man nach der Beziehung

$$G_{Z,A} = B \cdot T \cdot J$$

- |                                                          |                      |
|----------------------------------------------------------|----------------------|
| – den Grundwasserzustrom in das betrachtete Teilgebiet   | G <sub>Z</sub> (l/s) |
| – den Grundwasserabstrom aus dem betrachteten Teilgebiet | G <sub>A</sub> (l/s) |

Die Grundwasserbilanzgleichung lautet:

$$G_Z + G_N + G_V - Q_E - G_A = 0$$

- |                                                                              |                      |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| – mit der Grundwasser-Neubildung durch Versickerung von Oberflächengewässern | G <sub>V</sub> (l/s) |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|

Mit den unabhängig voneinander bestimmten Komponenten G<sub>Z</sub>, G<sub>N</sub>, G<sub>A</sub> und Q<sub>E</sub> wurde die Unbekannte G<sub>V</sub> berechnet (siehe Tab. 6, Zeile 15).

In einer derartigen Wasserhaushaltsbetrachtung sind Ungenauigkeiten aus Mangel an der nötigen Zahl gesicherter Meßdaten und aus Gründen der Verallgemeinerung im methodischen Vorgehen nicht zu vermeiden. Zumindest die Größenordnungen der Werte für die einzelnen Bilanzglieder in ihrer Relation zueinander können jedoch als realistisch angesehen werden. Aus den Zahlen der Tab. 6 ergeben sich für die Teilgebiete folgende Beurteilung:

**Gebiet 1:** Aus dem Bereich der Freiburger Bucht strömen dem Untersuchungsgebiet durch die Riegeler Pforte unterirdisch 290 l/s bzw. 126 l/s·km zu. Mit einer mittleren Grundwasserneubildungsspende von 5,5 l/s·km<sup>2</sup> auf die Fläche von 20,5 km<sup>2</sup> des Bilanzgebietes 1 ergibt sich eine Neubildung aus Niederschlag von 110 l/s. Gegenüber einer Grundwasserentnahme von rund 2 l/s und einem unterirdischen Abstrom von 658 l/s bzw. 286 l/s·km erweisen sich der Leopoldskanal und die Elz im Gebiet 1 mit rechnerischen 260 l/s langfristig im Mittel als grundwassereinspeisende Gewässer. Dies sind 39 % der Summe von unterirdischem Abstrom und Grundwasserentnahme.

**Gebiet 2:** Verglichen mit Gebiet 1 ist der Zustrom von 168 l/s bzw. 99 l/s·km sowie der Abstrom von 405 l/s bzw. 253 l/s·km geringer, jedoch die Grundwasser-Neubildung aus Niederschlag mit 6 l/s·km<sup>2</sup> um rund 0,5 l/s·km<sup>2</sup> (100 l/s) und die Grundwasserentnahme mit 5 l/s um 3 l/s höher. Dieser rechnerisch ermittelte Betrag für die Grundwasserneubildung aus den Oberflächengewässern Elz und Bleichbach sowie der Einfluß der Elzwiesenwässerung beträgt 142 l/s; das sind 34 % von Abstrom und Entnahme.

**Gebiet 3:** Einem Abstrom von 568 l/s bzw. 247 l/s·km und einer Entnahme von 10 l/s stehen ein Zustrom von 188 l/s bzw. 145 l/s·km sowie eine Neubildung aus Niederschlag von 140 l/s auf 21 km<sup>2</sup>, das sind 6,5 l/s·km<sup>2</sup>, gegenüber. Daraus errechnen sich 250 l/s Grundwasserneubildung aus Oberflächengewässern, wozu hier in erster Linie der Ettenbach zählt. Diese 43 % Versickerung bezogen auf die Summe von Abstrom und Entnahme stellen den vergleichsweise höchsten Versickerungsbetrag aller 6 Bilanzgebiete im langfristigen Mittel dar.

**Gebiet 4:** Mit dem Grundwasserzustrom von 144 l/s bzw. 57 l/s·km und der Grundwasserneubildung aus Niederschlag von 170 l/s auf 30,5 km<sup>2</sup>, d.h. rund 5,5 l/s·km<sup>2</sup> ergeben sich ohne nennenswerte Entnahmen mit einem Abstrom von 408 l/s bzw. 170 l/s·km eine Versickerung aus Oberflächengewässern, zu denen in erster Linie der Schutter-Entlastungs-Kanal zu zählen ist, von 124 l/s bzw. 30 % des Abstroms.



Gebiet 5: Aus der Gegenüberstellung der Werte für  $G_Z = 288 \text{ l/s km}^2$  bzw.  $80 \text{ l/s km}^2$  und  $G_N = 115 \text{ l/s km}^2$  =  $25,5 \text{ km}^2$  d.h.  $4,5 \text{ km}^2$  mit  $G_E = 72 \text{ l/s km}^2$  einem relativ hohen Wert und  $G_A = 340 \text{ l/s km}^2$  bzw.  $126 \text{ l/s km}^2$  erhält man den Flächenwert von  $8 \text{ km}^2$  für die Versickerung der Oberflächenwasser. Wenn auch dieser Wert als Gebietsbilanzgröße im Mittel gering erscheint, so stellt dies nicht im Widerspruch zu der Kenntnis, dass die oberirdischen Gewässer im Bereich der Rheinau ein sehr wichtiges Element des Wasserhaushalts darstellen.

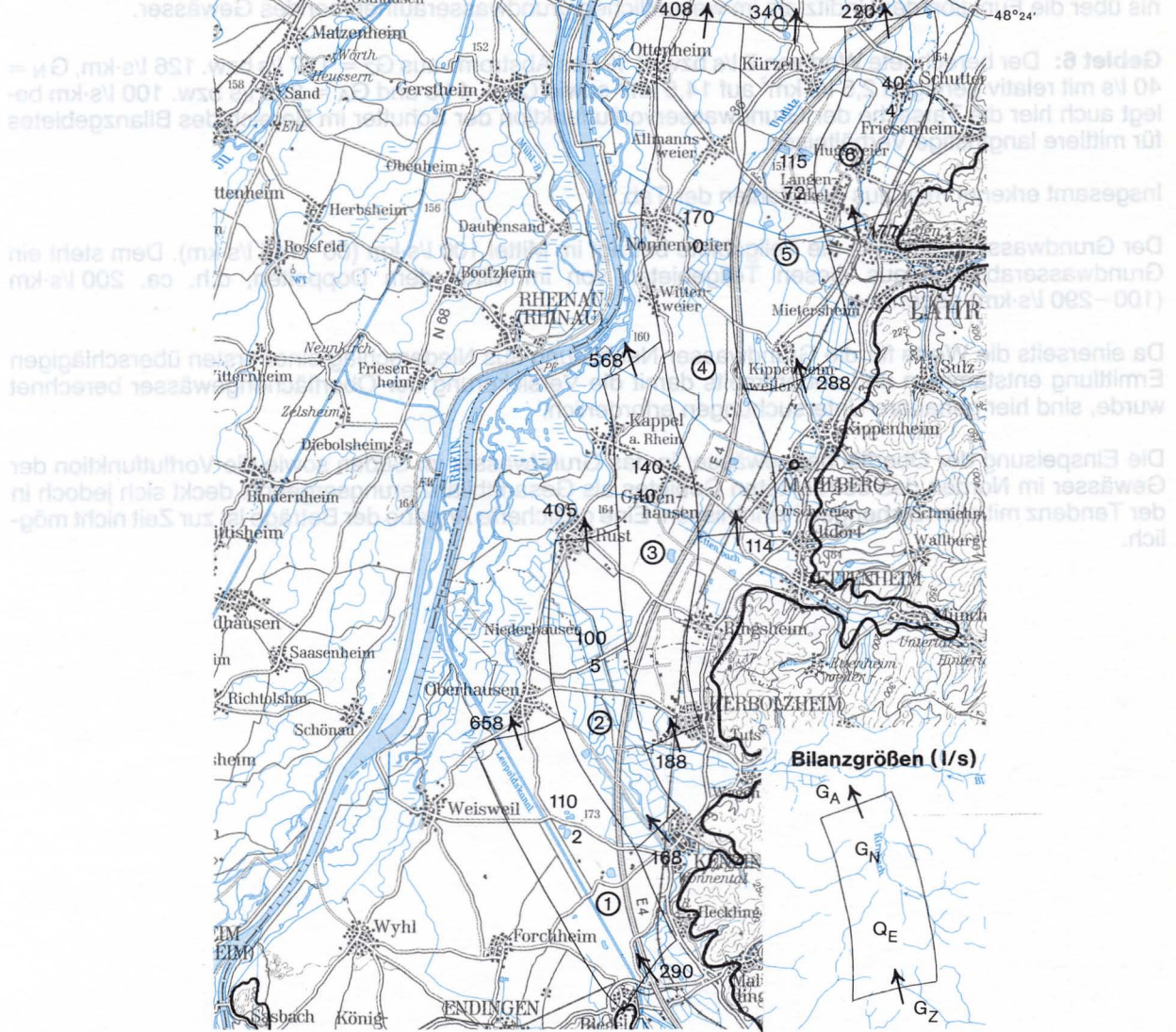


Abb.6: Bilanzgrößen des Grundwasserhaushalts in den Teilgebieten ①–⑥

— Grenze Locker- / Festgestein

1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 km

**Gebiet 5:** Aus der Gegenüberstellung der Werte für  $G_Z = 288$  l/s bzw.  $80$  l/s·km und  $G_N = 115$  l/s auf  $F = 25,5$  km<sup>2</sup> d.h.  $4,5$  l/s·km<sup>2</sup> mit  $Q_E = 72$  l/s, einem relativ hohen Wert, und  $G_A = 340$  l/s bzw.  $126$  l/s·km erhält man den Rechenwert von  $9$  l/s für die Versickerung der Oberflächengewässer. Wenn auch dieser Wert als Gebietsbilanzgröße langfristig im Mittel gering positiv ist, so steht dies nicht im Widerspruch zu der Kenntnis über die Funktion der Unditz als im wesentlichen grundwasseraufnehmendes Gewässer.

**Gebiet 6:** Der berechnete Wert von  $7$  l/s bzw.  $3$  % des Abstroms aus  $G_Z = 177$  l/s bzw.  $126$  l/s·km,  $G_N = 40$  l/s mit relativ geringen  $2,5$  l/s·km<sup>2</sup> auf  $14,5$  km<sup>2</sup> sowie  $Q_E = 4$  l/s und  $G_A = 220$  l/s bzw.  $100$  l/s·km belegt auch hier die Tatsache der Grundwasservorflutfunktion der Schutter im Bereich des Bilanzgebietes für mittlere langfristige Verhältnisse.

Insgesamt erkennt man aus den Zahlen der Tab. 6:

Der Grundwasserzustrom in die Teilgebiete beträgt im Mittel  $100$  l/s·km ( $60$ – $145$  l/s·km). Dem steht ein Grundwasserabstrom aus diesen Teilgebieten von im Mittel dem Doppelten, d.h. ca.  $200$  l/s·km ( $100$ – $290$  l/s·km) gegenüber.

Da einerseits die Werte für die Grundwasser-Neubildung aus Niederschlag einer ersten überschlägigen Ermittlung entstammen und andererseits damit die Versickerung der Oberflächengewässer berechnet wurde, sind hier genauere Untersuchungen erforderlich.

Die Einspeisung der Oberflächengewässer in das Grundwasser im Süden sowie die Vorflutfunktion der Gewässer im Norden des betrachteten Gebietes als Gesamtbilanzierungsergebnis deckt sich jedoch in der Tendenz mit allen bisherigen Kenntnissen. Eine gesicherte Angabe der Beträge ist zur Zeit nicht möglich.

| 1  | Gebiet                                                                       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | Summe<br>1 bis 6 | Mio m³/a |
|----|------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------------------|----------|
| 2  | Breite des Zustrom-<br>querschnitts<br>Bz (km)                               | 2,3  | 1,7  | 1,3  | 2,0  | 3,6  | 1,4  | 12,3             |          |
| 3  | Grundwassergefälle<br>im Bz-Bereich<br>Jz (‰)                                | 1,8  | 1,1  | 1,7  | 0,6  | 1,0  | 2,3  |                  |          |
| 4  | Transmissivität<br>im Bz-Bereich<br>Tz (m²/s) x 10⁻³                         | 70   | 90   | 85   | 95   | 80   | 55   |                  |          |
| 5  | Breite des Abstrom-<br>querschnitts<br>BA (km)                               | 2,3  | 1,6  | 2,3  | 2,4  | 2,7  | 2,2  | 13,5             |          |
| 6  | Grundwassergefälle<br>im BA-Bereich<br>JA (‰)                                | 1,3  | 1,1  | 1,3  | 1,0  | 0,9  | 0,8  |                  |          |
| 7  | Transmissivität im<br>BA-Bereich<br>TA (m²/s) x 10⁻³                         | 220  | 230  | 190  | 170  | 140  | 125  |                  |          |
| 8  | Fläche des<br>Gebietes<br>F (km²)                                            | 20,5 | 16,0 | 21,0 | 30,5 | 25,5 | 14,5 | 128              |          |
| 9  | Grundwasser-<br>Zustrom<br>Gz (l/s)                                          | 290  | 168  | 188  | 114  | 288  | 177  | 1225             | 38,6     |
| 10 | Grundwasser-Neubil-<br>dung aus Niederschlag<br>GN (l/s)                     | 110  | 100  | 140  | 170  | 115  | 40   | 675              | 21,3     |
| 11 | Summe<br>Gz + GN (l/s)                                                       | 400  | 268  | 328  | 284  | 403  | 217  | 1900             | 59,9     |
| 12 | Grundwasser-<br>Entnahme<br>QE (l/s)                                         | 2    | 5    | 10   | 0    | 72   | 4    | 93               | 2,9      |
| 13 | Grundwasser-<br>abstrom<br>GA (l/s)                                          | 658  | 405  | 568  | 408  | 340  | 220  | 2599             | 82,0     |
| 14 | Summe<br>QE + GA (l/s)                                                       | 660  | 410  | 578  | 408  | 412  | 224  | 2692             | 84,9     |
| 15 | Grundwasser-Neubil-<br>dung aus Oberflächen-<br>gewässern (14)–(1 l) Gv(l/s) | 260  | 142  | 250  | 124  | 9    | 7    | 792              | 25,0     |
| 16 | (15) in % von (14)                                                           | 39   | 34   | 43   | 30   | 2    | 3    | 29               |          |

Tab. 6: Grundwasserbilanzen für Teilgebiete

## 7. Ergebnisse und Folgerungen

Die Hydrogeologische Kartierung des Oberrheingebiets im Raum Lahr gibt den gegenwärtigen Kenntnisstand über das Grundwasser der quartären Kiesfüllung des Rheingrabens zwischen Ottenheim – Schuttern im Norden, dem Kaiserstuhl und der Riegeler Pforte im Süden, der Vorbergzone im Osten und dem Rhein im Westen wieder. Soweit erforderlich wurde auch französisches Staatsgebiet einbezogen. Die Kartierung erfaßt eine Fläche von rund 260 km<sup>2</sup>, bzw. rund 300 km<sup>2</sup> mit französischem Anteil.

Das Untersuchungsgebiet gliedert sich in die Einheiten Rheinaue, Niederterrasse und Grabenrandbereich (Karte I). Der Festgesteinsrahmen der Vorbergzone wurde nicht in die Untersuchungen miteinbezogen. Er hat aber, wie auch der Kaiserstuhl, aufgrund seines ober- und unterirdischen Zustroms Bedeutung für den Grundwasserhaushalt der quartären Kies- und Sandfüllung des Oberrheingrabens.

Die untersuchte grundwasserführende Rheingrabenfüllung besteht aus altpleistozänen bis letzteiszeitlichen Kiesen und Sanden, die überwiegend vom Rhein aus dem Alpenraum antransportiert wurden. Nennenswerte Anteile von Schwarzwaldkiesen und Material aus der Vorbergzone sind auf den Ausgang der Riegeler Pforte und einen schmalen Randstreifen beschränkt.

Im Holozän wurden die Kiese in der Rheinaue bis zu einer Tiefe von rund 15 m durch den Rhein aufgearbeitet und umgelagert. Darüber liegen 0,1 m bis 1 m mächtige Hochflutlehme.

Im Grabenrandbereich wird die Niederterrassenfläche von einem holozänen Rinnensystem, gebildet durch Abflüsse aus der Freiburger Bucht und der Vorbergzone, durchzogen. Diese Rinnen sind mit Sanden und Lehmen und stellenweise Torf verfüllt.

Der Aquifer läßt sich vertikal in ein Unteres, Mittleres und Oberes Kieslager gliedern, die jeweils durch sandig-schluffige Zwischenhorizonte voneinander getrennt sind (Karten Ia und Ib). Das Liegende des Aquifers wird im Grabentiefsten von schluffig-tonig-sandigem Pliozän, im übrigen von tonig-mergeligem älterem Tertiär gebildet. Am Grabenrand unterlagert Mesozoikum die quartären Lockergesteine.

Es muß damit gerechnet werden, daß durch die Grenzfläche zwischen Festgestein der Vorbergzone und der Lockergesteinsfüllung des Oberrheingrabens ein nennenswerter unterirdischer Randzufluß erfolgt, der in der Größenordnung von mehreren l/s-km liegen dürfte.

Der untere Abschnitt des Aquifers wird von Sanden mit einem unterschiedlich starken Anteil an Schluffen eingenommen. Am nördlichen Kaiserstuhlrand und im Bereich der Riegeler Pforte bestehen das Untere und das Mittlere Kieslager aus Schluffen und zersetzten Kiesen. Die Grundwasserführung ist dort, wie auch im Schuttetal, auf das Obere Kieslager beschränkt.

Die Kieslager sind glazialklimatische Bildungen und werden von unten nach oben der Prä-Mindel-/Mindel-, der Riß- und der Würm-Eiszeit zugeordnet. Die Zwischenhorizonte sind interglaziale Bildungen der Holstein- und Eem-Warmzeit.

Nach der Durchlässigkeit können horizontal drei Bereiche verschiedener Kiestypen der Rheinaue, der Niederterrasse und des Grabenrands unterschieden werden.

Die ermittelten Kies-Durchlässigkeitsbeiwerte betragen – jeweils für das Obere Kieslager – in der Rheinaue  $15 \times 10^{-3}$  m/s, in der Niederterrasse  $4 \times 10^{-3}$  m/s und im Grabenrandbereich  $1,2 \times 10^{-3}$  m/s.

Das Mittlere Kieslager in der Rheinaue weist einen  $k_f$ -Wert von  $12 \times 10^{-3}$  m/s auf. Für den Aquiferabschnitt des Oberen und Mittleren Kieslagers zusammen wurden im Bereich der Niederterrasse ein  $k_f$ -Wert von  $2,3 \times 10^{-3}$  m/s ermittelt. Für das Untere Kieslager kann im gesamten Untersuchungsgebiet ein  $k_f$ -Wert von  $0,8 \times 10^{-3}$  m/s angesetzt werden.

Im Oberen Kieslager können als wirksames Porenvolumen im Bereich der Rheinaue 15 % – 20 %, im Bereich der Niederterrasse 10 % – 15 % und am Grabenrand 5 % – 10 % angegeben werden.

Die mittleren Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten wurden überschlägig – jeweils für das Obere Kieslager – in der Rheinaue mit 6–12 m/d, im Niederterrassenbereich mit 4–6 m/d, am Grabenrand mit 2–4 m/d berechnet.

Die Grabenachse verläuft linksrheinisch; sie steigt großräumlich von SSW nach NNE an. Die Grundwasser-Mächtigkeit (Karte V) nimmt vom Grabenrand zur Grabenachse rasch zu und erreicht linksrheinisch im Rinnentiefsten bei Diebolsheim nach geoelektrischen Sondierungen um 180 m. Hiervon nimmt das gering durchlässige Untere Kieslager über 100 m ein.

Entsprechend der Zunahme der Grundwasser-Mächtigkeit vom Grabenrand zur Grabenachse nimmt auch die Transmissivität zu (Karte VI). Sie erreicht in der Rheinaue bei Wyhl einen Höchstwert von über



0,5 m<sup>2</sup>/s. Demgegenüber beträgt die Transmissivität im Schuttertal unter 0,005 m<sup>2</sup>/s, ist also um mehr als zwei Zehnerpotenzen kleiner.

Nach den hydrochemischen Untersuchungen entspricht das Grundwasser überwiegend den Anforderungen, die an ein Trinkwasser gestellt werden. Neben einer weitverbreiteten Sauerstoffarmut der Wässer machen sich in einzelnen Bereichen erhöhte Eisen- und Mangangehalte störend bemerkbar.

Im Gebiet W Lahr ist eine starke Versalzung des Grundwassers im unteren Aquiferabschnitt durch Chloridwässer aus dem Tertiär nachgewiesen. In Rheinnähe wurden Chloridgehalte über 100 mg/l ermittelt, die aus dem chloridbelasteten Rhein stammen.

Die untersuchten Wässer enthalten keine aggressive Kohlensäure. Die Nitratgehalte sind im allgemeinen gering oder betragen teilweise infolge vollständiger Reduktion sogar Null; vereinzelt auftretende erhöhte Nitratgehalte sind ausschließlich anthropogen bedingt.

Klimatisch liegt das Kartiergebiet im Bereich des gemäßigten Regen- und Westwindgürtels. Die Niederschläge nehmen vom Rhein zur Vorbergzone von unter 700 mm/a auf über 800 mm/a (Karte II) zu. Die mittlere Jahrestemperatur der Luft nimmt in derselben Richtung von 9,7° C auf 10,2° C zu.

Das Grundwasser bewegt sich nach dem Austritt aus der Riegeler Pforte in nordwestlicher Richtung und trifft mit dem Grundwasserstrom im Bereich des Altrheinsystems zusammen. Danach bewegt sich das Grundwasser mehr oder weniger parallel zum Rhein (Karte III). Das Gefälle der Grundwasser-Oberfläche beträgt im Mittel im gesamten Bereich rund 1 ‰. Das relativ dichte Netz der Oberflächengewässer mit ihrem Hauptvorfluter Rhein steht in deutlicher Beziehung zum Grundwasser.

Die wasserbaulichen Maßnahmen im Zusammenhang mit der Rheinkorrektion und dem Staustufenbau im Rhein haben sich auf die Grundwasserstände bezüglich der Unterschreitung des MW insbesondere jedoch des MNW positiv ausgewirkt. Heute liegt der Grundwasserspiegel bei Trockenheit über den früheren Grundwasserständen. Jedoch wird die Schwankungsamplitude infolge Wegfalls der Rheinüberflutungen merklich verringert.

Auch in der Nähe der Oberflächengewässer außerhalb des Rheineinflusses sind die Schwankungen des Grundwasserstandes von deren Wasserstand abhängig. Der Schwankungsbereich des Grundwassers liegt i.a. bei etwa 2 m.

Die Flurabstände (Karte IV) bezogen auf MW 1975 stellen eine gering unter dem langfristigen Mittelwert befindliche Situation dar. Die Bereiche geringer Flurabstände mit Werten unter 1 m bis etwa 2 m liegen im wesentlichen in der bewaldeten Rheinaue. Die Fläche zwischen Rheinaue und Vorbergzone besitzt etwa nördlich der Linie Mahlberg – Kappel Flurabstände um 2 m und südlich davon bis zum Kaiserstuhl Flurabstände im Bereich von 3 und 4 m.

Die Grundwasser-Neubildung aus Niederschlag steigt gemäß der zunehmenden Niederschläge von Westen nach Osten, besitzt im Bereich der Rheinaue Werte von 0 bis 4 l/s·km<sup>2</sup> und beträgt zwischen Rheinaue und Vorbergzone im wesentlichen 5 bis 6 l/s·km<sup>2</sup> mit Ausnahme der Waldgebiete, die den Spendenwert auf 3 bis 4 l/s·km<sup>2</sup> abmindern.

Für ausgewählte Teilräume des Kartiergebietes (Karte III) wurde im wesentlichen im Bereich der Niederterrasse auf der Grundlage der bekannten hydrogeologischen, hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Ausgangswerte eine überschlägige Grundwasserhaushalts-Bilanzierung versucht. So stellen die folgenden gerundeten Zahlen für eine Fläche von rund 128 km<sup>2</sup>, die etwa 50 % des gesamten Untersuchungsgebietes ausmacht, zumindest in der Größenordnung und der Relation der einzelnen (gerundeten) Haushaltskomponenten zueinander eine erste Übersicht über den Grundwasserhaushalt dar.

|                                                    |                                                                            |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Grundwasserzustrom                                 | $G_Z = 39 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$             |
| Grundwasser-Neubildung<br>aus Niederschlag         | $G_N = 21 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$             |
| Grundwasser-Neubildung<br>aus Oberflächengewässern | $G_V = 25 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$             |
| Summe der „Einnahmen“                              | <b><math>85 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 2,7 \text{ m}^3/\text{s}</math></b> |
| Grundwasserentnahmen                               | $Q_E = 3 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$              |
| Grundwasserabstrom                                 | $G_A = 82 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$             |
| Summe der „Ausgaben“                               | <b><math>85 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 2,7 \text{ m}^3/\text{s}</math></b> |

Die genaue Ausgeglichenheit der Bilanz resultiert daher, daß mit den Werten für  $G_Z$ ,  $G_N$ ,  $G_A$  und  $Q_E$  der Wert für  $G_V$  berechnet wurde.

Daraus ergibt sich für **notwendige weitere Untersuchungen** folgende Reihenfolge:

1. Bestimmung der Austauschwassermengen zwischen dem Rhein und seinen Nebengewässern mit dem Grundwasser.
2. Verbesserte Bestimmung der Grundwasser-Neubildung aus Niederschlag
3. Erkundung des tieferen Aquiferabschnitts mit Bohrungen und darauf aufbauend genauere Bestimmung der Transmissivitätsverteilung
4. Bestimmung der Grundwassereinspeisung am Grabenrand
5. Durchführung von Markierungsversuchen zur Bestimmung der Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten.

## 8. Literaturverzeichnis

- ABELE, R., FLUM, M. & KOPP, D. (1980): Einsatz der EDV bei der Auswertung geologischer Daten für die Hydrogeologische Kartierung von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet, Raum Lahr. – Unveröff. Bericht Geol. Inst. Univ. Freiburg, Freiburg.
- BARTZ, J. (1960): Zur Gliederung des Pleistozäns im Oberrheingebiet. – Z. deutsch. geol. Ges., **111**:653–661, Hannover.
- BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingraben. – in: ILLIES, H. & FUCHS, K.: Approaches to Taphrogenesis, 78–87, Stuttgart.
- BARTZ, J. (1976): Quartär und Jungtertiär im Raum Rastatt. – Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, **18**:121–178, Freiburg i.Br.
- BREYER, F. (1974): Die Entstehungsgeschichte des Südteils des Rheingrabens nach reflexionsseismischen Messungen, geologischen Kartierungen und Tiefbohrungen. – Geol. Jb. **A20**:3–64, Hannover.
- DEUTSCHER WETTERDIENST: Monatliche Witterungsberichte.
- DOEBL, F. (1970): Die tertiären und quartären Sedimente des südlichen Rheingrabens. – Graben Problems. International Upper Mantle Project, Scient. Rep. **27**:56–66, Stuttgart.
- EINSELE, G., BALKE, K.D., AGSTER, G., MUNZ, K.H., NEEB, I., & SCHWABENTHAN, D. (1976): Hydrologische Untersuchungen zur Frage der Einspeisung von Grundwasser aus dem Festgesteinsbereich in die Oberrheinebene zwischen Rastatt und Heidelberg. – Unveröff. Bericht Geol. Inst. Univ. Tübingen, Tübingen.
- ENGESSER, W. & JUNKER, B. (1978): Hydrochemie. – In: HUPPMANN, O. & STRAYLE, G. (1978): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Baden-Württemberg, Oberrheinebene Raum Rastatt (Karlsruhe – Bühl), 34–43, Freiburg i.Br./Karlsruhe.
- ESSLER, H., JUNKER, B., LAMPRECHT, K. & WENDT, O. (1978): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Bereich Kaiserstuhl – Markgräflerland. – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abwasserwirtschaft –, Freiburg i.Br./Karlsruhe.
- ESSLER, H., JUNKER, B. & WERNER, J. (1979): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Bereich Bühl – Offenburg. – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft –, Freiburg i.Br./Karlsruhe.
- ESSLER, H., HUMMEL, P., WENDT, O. & ZWÖLFER, F. (1979): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Freiburger Bucht. – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft –, Freiburg i.Br./Karlsruhe.
- GROSCHOPF, R., KESSLER, G., LEIBER, J., MAUS, H., OHMERT, W., SCHREINER, A. & WIMMENHAUER, W. mit Beiträgen von ALBIEZ, G., HÜTTNER, R. & WENDT, O. (1977): Geologische Karte von Freiburg und Umgebung 1:50 000 mit Erläuterungen, 351 S., Stuttgart.
- HUPPMANN, O. & STRAYLE, G. (1978): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Baden-Württemberg, Oberrheinebene Raum Rastatt (Karlsruhe – Bühl). – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft –, Freiburg i.Br./Karlsruhe.
- JOACHIM, H. & VILLINGER, E. (1973): Die Darstellung der Ergebnisse der Hydrogeologischen Kartierung in Baden-Württemberg. – gwf, **114**:454–460, München.
- JOACHIM, H. & VILLINGER, E. (1975): Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Baden-Württemberg 1:50 000, Markgräflerland – Weitenauer Vorberge – Wiesental – Dinkelberg – Hochrheintal – Wehratal. – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i.Br.
- JOACHIM, H. & VILLINGER, E. (1976): Hydrogeologische Kartierung Rhein-Neckar-Raum 1 : 50 000, Anteil Baden-Württemberg. – In: Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Rhein-Neckar-Raum. – Bericht 1. Untersuchungsstufe, Teil I: 2–114. – Geologisches Landesamt Baden-Württ. und Landesanstalt für Umweltschutz, Freiburg i.Br./Karlsruhe.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft – (1975): Grundwasserneubildung. – I. Bericht. – Karlsruhe.
- (1975): Grundwasserneubildung. – II. Bericht. – Karlsruhe.
- (jährlich): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Sonderheft Land Baden-Württemberg. – Karlsruhe.
- (1975): Wasserwirtschaftliche Untersuchungen Baggerseen. – I. Bericht. – Karlsruhe.
- (1977): Wasserwirtschaftliche Untersuchungen Baggerseen. – II. Bericht. – Karlsruhe.
- MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. – Lehrbuch der Hydrogeologie Band 2, Stuttgart.
- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (1976): Arbeitsblatt 1976: Pumpversuche in Porengrundwasserleitern. – Stuttgart.

- REST, H. (1951): Beiträge zur Geologie der Vorbergzone zwischen Lahr und Offenburg. – Diss. Univ. Freiburg, Freiburg i.Br.
- STRAYLE, G. (1976): Korrektur bei unvollkommenen Brunnen. – In: Arbeitsblatt 1976: Pumpversuche in Porengrundwasserleitern. – Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg, Stuttgart.
- THEOBALD, N. (1948): Carte de la base des formations alluviales dans le sud du fossé rhénan. – Mém. S.C.G.A.L. 9:1–72, Strasbourg.
- WIRTH, E. (1962): Die geologischen Ergebnisse der Erdölexploration in der Rheinebene zwischen Offenburg und Lahr. – Erdöl und Kohle, 15:684–692, Hamburg.
- ZELLENTIN, R. (1972): Beiträge zur Hydrogeologie der Rheinniederterrasse zwischen Kaiserstuhl und Offenburg in Südbaden. – Diss. Univ. Heidelberg, Heidelberg.

### **Geologische Unterlagen für Karte I:**

- GEISSERT, F. & MENILLET, F.: Unveröffentlichte Manuskriptkarte 1 : 50 000 Benfeld.
- HÜTTNER, R.: Unveröffentlichte Manuskriptkarte 1 : 200 000 von Baden-Württemberg, Blatt SW.
- LEIBER, J.: Unveröffentlichte Manuskriptkarte GK 25: 7613 Lahr Ost.

### **Geophysikalische Untersuchungen:**

- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (BROST, E. 1979):  
Geoelektrik Lahr – Kaiserstuhl.

- Unveröffentlichte Gutachten** des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg:  
HÜTTNER, R., LEIBER, J., SAUER, K., STRAYLE, G., WENDT, O.



## Verzeichnis der Abbildungen

Seite

|            |                                                                                                              |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 3.1:  | Verbreitungsgebiete der Kiestypen und ungefähre Verbreitung von Pliozän                                      | 12 |
| Abb. 3.2:  | Regressionsgeraden Transmissivität/Kiesmächtigkeit                                                           | 16 |
| Abb. 3.3:  | Regressionsgeraden Transmissivität/Aquifermächtigkeit                                                        | 18 |
| Abb. 3.4:  | Regressionsgeraden Kiesmächtigkeit/Aquifermächtigkeit                                                        | 19 |
| Abb. 4.1:  | Probeentnahmestellen für die hydrochemischen Untersuchungen                                                  | 24 |
| Abb. 4.2:  | Karte 1 : 200 000 Gesamthärte                                                                                | 25 |
| Abb. 4.3:  | Karte 1 : 200 000 Karbonathärte                                                                              | 26 |
| Abb. 4.4:  | Karte 1 : 200 000 Sauerstoff                                                                                 | 28 |
| Abb. 4.5:  | Karte 1 : 200 000 Freie Kohlensäure                                                                          | 29 |
| Abb. 4.6:  | Karte 1 : 200 000 Eisen                                                                                      | 31 |
| Abb. 4.7:  | Karte 1 : 200 000 Mangan                                                                                     | 32 |
| Abb. 4.8:  | Karte 1 : 200 000 Chlorid                                                                                    | 33 |
| Abb. 4.9:  | Karte 1 : 200 000 Nitrat                                                                                     | 34 |
| Abb. 5.1:  | Wasserstands-Ganglinie des Rheins am Pegel Kappel;<br>Abfluß-Ganglinie der Schutter am Pegel Lahr            | 38 |
| Abb. 5.2:  | Hydrologischer Längenschnitt L 1 (siehe Karte III)                                                           | 41 |
| Abb. 5.3:  | Hydrologischer Längenschnitt L 2 (siehe Karte III)                                                           | 42 |
| Abb. 5.4:  | Hydrologischer Längenschnitt L 3 (siehe Karte III)                                                           | 43 |
| Abb. 5.5:  | Hydrologischer Längenschnitt L 4 (siehe Karte III)                                                           | 44 |
| Abb. 5.6:  | Niederschlags-Ganglinie der Station Rust des Deutschen Wetterdienstes;<br>Halbjahressummen der Niederschläge | 46 |
| Abb. 5.7:  | Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.2)                                                                | 47 |
| Abb. 5.8:  | Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.3)                                                                | 48 |
| Abb. 5.9:  | Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.3 und 5.4)                                                        | 49 |
| Abb. 5.10: | Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.4)                                                                | 50 |
| Abb. 5.11: | Grundwasserstands-Ganglinien (siehe Abb. 5.5)                                                                | 51 |
| Abb. 6:    | Bilanzgrößen des Grundwasserhaushalts in den Teilgebieten ① – ⑥                                              | 55 |

## Verzeichnis der Tabellen

|           |                                                                                                                                                                  |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 3.1: | Gliederung der quartären Lockergesteine des Oberrheingrabens im Raum Lahr                                                                                        | 10 |
| Tab. 3.2: | Verzeichnis der Pumpversuche                                                                                                                                     | 14 |
| Tab. 3.3: | Zusammenstellung der abschnitts- und bereichsspezifischen Durchlässigkeitsbeiwerte $k_f$<br>und der Faktoren $C = \text{Kiesmächtigkeiten/Aquifermächtigkeiten}$ | 20 |
| Tab. 5.1: | Hydrologische Meßeinrichtungen                                                                                                                                   | 36 |
| Tab. 5.2: | Werte der hydrologischen Längenschnitte L 1 – L 4                                                                                                                | 40 |
| Tab. 5.3: | Öffentliche Trinkwasserentnahmen                                                                                                                                 | 53 |
| Tab. 6:   | Grundwasserbilanzen für Teilgebiete                                                                                                                              | 57 |

## Verzeichnis der Karten

|       |                                      |                      |
|-------|--------------------------------------|----------------------|
| I.:   | Hydrogeologische Grundkarte          | 1 : 50 000           |
| Ia.:  | Hydrogeologische Querschnitte 1 – 4  | 1 : 50 000/1 : 2 000 |
| Ib.:  | Hydrogeologischer Längsschnitt 5     | 1 : 50 000/1 : 2 000 |
| II.:  | Hydrologische Grundkarte             | 1 : 50 000           |
| III.: | Karte der Grundwasser-Oberfläche     | 1 : 50 000           |
| IV.:  | Karte der Flurabstände               | 1 : 50 000           |
| V.:   | Karte der Grundwasser-Mächtigkeiten  | 1 : 50 000           |
| VI.:  | Karte der Transmissivitätsverteilung | 1 : 50 000           |

