

Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum

Analyse des Ist-Zustandes



Ministerium für Ernährung,
Landwirtschaft, Umwelt und
Forsten Baden-Württemberg



Der Hessische Minister für
Landesentwicklung, Umwelt,
Landwirtschaft und Forsten



Ministerium für Landwirtschaft,
Weinbau und Forsten
Rheinland-Pfalz

Bericht der Arbeitsgruppe

Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum

**Analyse des Ist-Zustandes
Mit 12 Abbildungen, 10 Tabellen und 14 Anlagen**

Hergestellt im Auftrag

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

des Hessischen Ministers für Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft und Forsten

des Ministeriums für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz

**Stuttgart - Wiesbaden - Mainz
1980**

© Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg
Der Hessische Minister für Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft und Forsten
Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz
Stuttgart – Wiesbaden – Mainz 1980
Kartographie und Druck: Willy Größchen KG, Dortmund

Mitglieder der Arbeitsgruppe:
(Stand: 1. 6. 1979)

DR. DIEDERICH, G.	Geologieoberrat	Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
FRINGS, H.	Geologiedirektor	Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz, Mainz
DR. HEITELE, H.	Obergeologierat	Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz
DR. HEYL, K. E.	Geologiedirektor	Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz
HOLDERMANN, D.	Regierungsbaudirektor	Regierungspräsidium Karlsruhe, Karlsruhe
HUPPMANN, O.	Oberregierungsbaurat	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft –, Karlsruhe
DR. JOACHIM, H.	Geologierat	Geologisches Landesamt Baden- Württemberg, Freiburg i. Br.
OLSCHOCK, W.-J.	Baurat	Der Regierungspräsident in Darmstadt, Darmstadt
DR. TOUSSAINT, B.	Regierungsoberrat	Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden
DR. VILLINGER, E.	Geologierat	Geologisches Landesamt Baden- Württemberg, Freiburg i. Br.
VOIGT, H.	Ltd. Baudirektor	Bezirksregierung Rheinhessen- Pfalz, Neustadt a. d. W.
WÖRNER, U.	Oberregierungsbaurat	Ministerium für Ernährung, Land- wirtschaft und Umwelt Baden- Württemberg, Stuttgart

Mitarbeiter und ehemalige Mitglieder der Arbeitsgruppe:

ARMBRUSTER, J.	Oberregierungsbaurat	Ministerium für Ernährung, Landwirt- schaft und Umwelt Baden-Württem- berg, Stuttgart
DR. BANGERT, V.	Hydrogeologe	Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz
DR. BÖKE, E.	Geologieoberrat	Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
DR. HUMMEL, P.	Regierungsdirektor	Geologisches Landesamt Baden- Württemberg, Freiburg i. Br.
KAUFMANN, E.	Diplom-Geologe	Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
KRAUSS, H. W.	Regierungsbaureferendar	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft –, Karlsruhe
DR. RÉE, Chr.	Geologiedirektor	Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz
SCHLEMMINGER, G.	Kartographen-Amtmann	Geologisches Landesamt Baden- Württemberg, Freiburg i. Br.

STRAUB, W.

Regierungsbaureferendar

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

LAMPRECHT, K. †

Oberregierungsbaurat

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

Herrn Lamprecht war es leider nicht gegönnt, den Abschluß dieses Berichtes zu erleben. Er ist am 27. Mai 1978 bei einem tragischen Unfall ums Leben gekommen.

Ihm, der die Untersuchungen der Arbeitsgruppe und diesen Bericht maßgeblich mitgestaltet hat, gilt besonderes Lob und Anerkennung.

Vorwort

Der Rhein-Neckar-Raum mit den Kernstädten Mannheim und Ludwigshafen hat sich in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten zu einem der bedeutendsten Wohn- und Wirtschaftszentren des südwestdeutschen Raumes entwickelt. Dazu haben sicherlich die großen Grundwasservorkommen in diesem Gebiet beigetragen, deren Nutzung die starke Zunahme der Bevölkerung, des Gewerbes und vor allem der Industrie begünstigte. Diese Grundwasservorkommen sind heute in Gefahr. Ihre zunehmende Nutzung durch die öffentliche Wasserversorgung und die Versorgung der Industrie mit Betriebswasser sowie die fortschreitende Besiedelung dieses Raumes, die mit der Versiegelung großer Geländeflächen verbunden ist, haben den natürlichen Grundwasserhaushalt erheblich beeinträchtigt.

Neuere Beobachtungen geben zu der Befürchtung Anlaß, daß die Grundwasservorräte in diesem Raum bereits überbeansprucht werden.

Der Grundwasserstrom kennt keine Ländergrenzen. Sein Verhalten richtet sich ausschließlich nach physikalischen Gesetzen und Gegebenheiten. Die gemeinsame Sorge um dieses bedeutende Grundwasservorkommen und um seinen Schutz haben die Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz veranlaßt, die Grundwasservorräte gemeinsam zu untersuchen. Nach dem Willen der drei Länder werden die Untersuchungen in zwei Schritten durchgeführt.

Der vorliegende Bericht enthält die Analyse des Ist-Zustandes und die Darstellung der Entwicklung des Verhaltens des Grundwassers bis heute.

Darauf aufbauend sollen in weiteren Untersuchungen die Grenzen einer möglichen Nutzung der Grundwasservorräte ermittelt und Bewirtschaftsmöglichkeiten für die Zukunft aufgezeigt werden.

Schon die vorliegenden Ergebnisse geben Planern und Entscheidungsträgern die Möglichkeit, neue Vorhaben zu beurteilen und ihre Einflüsse auf die Quantität und Qualität des Grundwassers im Rhein-Neckar-Raum abzuschätzen. Zugleich zeigen sie eindringlich, daß der Wasserschatz dieses Raumes in Zukunft pfleglich behandelt werden muß und Möglichkeiten gefunden werden müssen, Grundwasserentnahmen auf das unbedingt erforderliche Maß einzuschränken. Jedem Bürger, jedem Betrieb und jedem Planer obliegt beim Umgang mit dem Wasser eine besondere Verantwortung, wenn auch in Zukunft eine ausreichende Lebensqualität erhalten werden soll.

Der Dank gilt allen, die an diesem Bericht mitgearbeitet haben.



Ministerium für Ernährung,
Landwirtschaft, Umwelt und
Forsten Baden-Württemberg



Der Hessische Minister
für Landesentwicklung, Umwelt,
Landwirtschaft und Forsten



Ministerium für Landwirtschaft,
Weinbau und Forsten
Rheinland-Pfalz

Inhalt

	Seite
1. Einleitung	9
2. Allgemeine Beschreibung des Untersuchungsgebietes	10
3. Geologie	11
3.1 Regionale Übersicht	12
3.2 Schichtenfolge, Stratigraphie und Tektonik	12
3.2.1 Die Grabenschultern	12
3.2.2 Die Randschollen mit Zwischenscholle	14
3.2.3 Die Grabenscholle	15
4. Hydrogeologie	19
4.1 Allgemeines	19
4.2 Deckschichten	19
4.2.1 Bedeutung und Inhalt der Deckschichtenkarte	19
4.2.2 Verbreitung, Aufbau und wichtige hydropedologische Eigenschaften der Deckschichten	20
4.2.2.1 Riedel und Hügel der Vorderpfalz	20
4.2.2.2 Pleistozänterrassen	20
4.2.2.3 Auen	21
4.2.3 Zur Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität	21
4.3 Grundwasserleiter und Stockwerksgliederung	22
4.3.1 Quartäre Grundwasserleiter	22
4.3.1.1 Oberer Grundwasserleiter	22
4.3.1.2 Oberer Ton	24
4.3.1.3 Mittlerer Grundwasserleiter	24
4.3.1.4 Unterer Grundwasserleiter	26
4.3.2 Pliozäner Grundwasserleiter	26
4.4 Hydraulische Kennwerte	28
4.4.1 Gliederung und Auswertung des Unterlagenmaterials	28
4.4.2 Transmissivität	28
4.4.3 Durchlässigkeitsbeiwert	29
4.4.4 Speicherkoeffizient	33
5. Hydrologie	33
5.1 Gewässerkundliche Beschreibung	33
5.1.1 Hydrologisches Meßnetz und vorhandenes Datenmaterial	33
5.1.1.1 Grundwassermeßstellen	33
5.1.1.1.1 Flache Meßstellen	33
5.1.1.1.2 Tiefe Meßstellen	35
5.1.1.2 Lysimeteranlagen	35
5.1.1.3 Oberflächenpegel	35
5.1.1.4 Niederschlagsstationen	35
5.1.2 Allgemeine Hydrologie	36
5.1.2.1 Meteorologische und klimatische Verhältnisse	36
5.1.2.2 Oberirdischer Abfluß	36
5.1.2.3 Bodenfeuchte und Versickerung	37
5.1.2.4 Grundwasser	37
5.2 Verhalten des oberen Grundwassers	37
5.2.1 Statistische Auswertungen	37
5.2.1.1 Ganglinien	38
5.2.1.2 Mittelwerte	44
5.2.1.3 Trends	44
5.2.2 Flächenhaftes Verhalten	46
5.2.2.1 Grundwasserhöhengleichen MW 1962 und Stichtag 4. Oktober 1976	46
5.2.2.2 Differenzen der Grundwasserstände MW 1962 – MW 1974	46
5.2.2.3 Flurabstände vom 7. Oktober 1974	46
5.3 Verhalten des tieferen Grundwassers	47
5.3.1 Statistische Auswertungen	47
5.3.1.1 Ganglinien	47
5.3.1.2 Mittelwerte	49
5.3.1.3 Trends	49
5.3.2 Flächenhaftes Verhalten, Grundwasserhöhengleichen vom 4. Oktober 1976	49
5.4 Grundwasserentnahmen	52
5.5 Vergleich zwischen den Wasserständen des oberen und des tieferen Grundwassers vom 4. Oktober 1976	54
5.6 Hydraulische Beziehungen zwischen dem Oberen und den tieferen Grundwasserleitern	54

5.7	Hydraulische Beziehungen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern	54
6.	Hydrochemie des oberen Grundwassers	56
6.1	Probenentnahme	56
6.2	Gesamthärte	56
6.3	Karbonathärte	57
6.4	Chlorid	58
6.5	Sulfat	58
6.6	Nitrat	59
6.7	Eisen	60
6.8	Mangan	60
7.	Überschlägige Ermittlung der Grundwasserneubildung	61
7.1	Grundlagen und Methoden	61
7.2	Neubildung aus Niederschlägen	61
7.3	Versickerung aus Oberflächengewässern	62
7.4	Einspeisung aus den Randgebirgen	62
7.5	Gesamte Grundwasserneubildung	62
7.6	Grundwasserneubildung und nutzbares Grundwasserdargebot	64
8.	Kenntnislücken und Folgerungen für weitere Untersuchungen	65
8.1	Tiefere Grundwasserleiter und ihre hydraulischen Beziehungen zum Oberen Grundwasserleiter	65
8.2	Austauschvorgänge zwischen Grund- und Oberflächenwasser	65
8.3	Gewinnung von Uferfiltrat	65
8.4	Prognosevarianten der Grundwasserverhältnisse mittels einheitlicher und abgestimmter Modellrechnungen	66
8.5	Sonstige Untersuchungen	66
9.	Zusammenfassung	66
9.1	Arbeitsprogramm und Untersuchungsraum	66
9.2	Hydrogeologie	66
9.3	Hydrologie	67
9.3.1	Meßnetz und Fließverhalten	67
9.3.2	Verhalten des oberen Grundwassers	68
9.3.3	Verhalten des tieferen Grundwassers	69
9.3.4	Grundwasserentnahmen	69
9.3.5	Flurabstand	69
9.4	Hydrochemie	69
9.5	Überschlägige Ermittlung der Grundwasserneubildung	70
10.	Literatur	70

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: Geologisch-tektonische Übersicht des Rhein-Neckar-Raumes	13
Abb. 2: Schematischer geologisch-tektonischer Querschnitt durch den Rhein-Neckar-Raum	16
Abb. 3: Mächtigkeit des Oberen Grundwasserleiters	23
Abb. 4: Mächtigkeit des Mittleren Grundwasserleiters	25
Abb. 5: Übersicht über die hydraulischen Kennwerte der Grundwasserleiter	27
Abb. 6: Bereiche mit mittleren Durchlässigkeitsbeiwerten des Oberen und des Mittleren Grundwasserleiters	32
Abb. 7: Hydrologische Schnittlinien mit Darstellung von Trends der Grundwasserstände ausgewählter Meßstellen (Jahresreihe 1956/75)	39
Abb. 8 a–d: Ganglinien von Grund- und Rheinwasserständen sowie von Niederschlägen	40–43
Abb. 9 a: Lageskizze des hydrologischen Schnittes durch das Entnahmezentrum	48
b: Schematische Stockwerksgliederung und Ausbau der Meßstellen	
Abb. 10 a–b: Ganglinien von Grund- und Rheinwasserständen im Entnahmezentrum	50–51
Abb. 11: Grundwasserentnahmen 1975	53
Abb. 12: Hydrologische E-W-Schnitte (Schnittlinie in Abb. 9a)	55
a: ursprünglicher Zustand, nach NOLL (1972)	
b: gemessener Zustand vom 6. Oktober 1975	

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1: Gliederung der quartären Lockergesteine im Rhein-Neckar-Raum	18
Tab. 2: Mittlere k_f -Werte der Grundwasserleiter	30

Tab. 3:	Mittlere k_f -Werte für sandige Kiese, Kiessande und Sande	31
Tab. 4:	Anzahl der Grundwassermeßstellen (Stand Februar 1978)	34
Tab. 5:	Trendberechnungen für ausgewählte Meßstellen des oberen Grundwassers für die Zeiträume 1956/75 und 1956/70 (hydrologische Schnittlinien I bis V in Abb. 7)	45
Tab. 6:	Fünf-Jahresmittel und Differenzen der Grundwasserstände entlang des E-W-Schnittes	49
Tab. 7:	Öffentliche und private Grundwasserentnahmen 1975	52
Tab. 8:	Entwicklung der Grundwasserförderung	52
Tab. 9:	Rechts- und linksrheinische Grundwasserentnahmen 1975	52
Tab. 10:	Grundwasserneubildungsraten nach der Wasserwerksmethode	63

Verzeichnis der Anlagen

Anl. 1:	Geologie
Anl. 2:	Deckschichten
Anl. 3:	Basis des Oberen Grundwasserleiters
Anl. 4:	Hydrogeologische Querschnitte
Anl. 5:	Hydrogeologische Längsschnitte
Anl. 6:	Transmissivität des Oberen Grundwasserleiters
Anl. 7:	Hydrologisches Meßnetz, Höhengleichen des oberen Grundwassers MW 1962
Anl. 8:	Höhengleichen des oberen Grundwassers vom 4. Oktober 1976
Anl. 9:	Differenzen der Wasserstände des oberen Grundwassers MW 1962 – MW 1974
Anl. 10:	Flurabstände und Höhengleichen des oberen Grundwassers vom 7. Oktober 1974
Anl. 11:	Höhengleichen des tieferen Grundwassers vom 4. Oktober 1976
Anl. 12:	Differenzen der Wasserstände zwischen oberem und tieferem Grundwasser vom 4. Oktober 1976
Anl. 13 a–d:	Hydrochemie des oberen Grundwassers a) Gesamthärte b) Karbonathärte c) Chlorid d) Sulfat
Anl. 14 a–c:	Hydrochemie des oberen Grundwassers a) Nitrat b) Eisen c) Mangan
Anl. 14 d:	Grundwasserneubildung aus Niederschlägen (Jahresmittel 1931/60)

Abkürzungen

GW	Grundwasser
MW	Mittlerer Wasserstand in einem Zeitraum
MQ	Mittlerer Abfluß in einem Zeitraum
OGWL	Oberer Grundwasserleiter
OT	Oberer Ton
MGWL	Mittlerer Grundwasserleiter
UGWL	Unterer Grundwasserleiter
T	Transmissivität
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert
S	Speicherkoeffizient
nFK	nutzbare Feldkapazität
pF	Saugspannung
NN	Normalnull (Meereshöhe)
N	Norden
E	Osten
S	Süden
W	Westen
NE	Nordosten
NW	Nordwesten
SE	Südosten
SW	Südwesten

1. Einleitung

Die starke Beanspruchung der GW-Vorräte im Rhein-Neckar-Raum und die Tatsache, daß die GW-Bewegung keine Landesgrenzen kennt, waren Anlaß für die am 2. 10. 1973 zwischen Vertretern des damaligen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg, des damaligen Hessischen Ministers für Landwirtschaft und Umwelt und des damaligen Ministeriums für Landwirtschaft, Weinbau und Umweltschutz Rheinland-Pfalz stattgefundene Besprechung, bei der die Bildung einer Arbeitsgruppe „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Rhein-Neckar-Raum“ beschlossen wurde.

Bei der Besprechung einigten sich die Vertreter der Länder auf ein grundsätzliches Arbeitsprogramm, das sich in zwei Schritte gliedert. Der vorliegende Bericht umfaßt die Bestandsaufnahme der hydrogeologischen, hydrochemischen und hydrologischen Gegebenheiten anhand der bisherigen Untersuchungsergebnisse.

Er soll einen Überblick über die Gesamtzusammenhänge im Rhein-Neckar-Raum geben und die erforderlichen Maßnahmen zur Schließung der noch vorhandenen Kenntnislücken aufzeigen.

Nach der Entscheidung der Länder wurden in diese Arbeitsgruppe, die vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg geleitet wird, Vertreter folgender wasserwirtschaftlicher Mitelinstanzen sowie der gewässerkundlichen und geologischen Dienststellen der Länder entsandt:

Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Regierungspräsidium Karlsruhe

Hessisches Landesamt für Bodenforschung

Hessische Landesanstalt für Umwelt

Der Regierungspräsident in Darmstadt

Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz

Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz

Das Arbeitsprogramm für die „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Rhein-Neckar-Raum“ umfaßt im 1. Schritt folgende Punkte:

1. Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen
 - a) Datensammlung
 - b) Untersuchungen im Gelände
 - c) Darstellung der Ergebnisse auf Karten und in Schnitten
 - d) Herausarbeiten der Kenntnislücken
2. Hydrologische Untersuchungen
 - a) Überarbeitung und Ausbau des hydrologischen Meßnetzes
 - b) EDV-gerechte Aufarbeitung der Daten
 - c) Auswertung der vorhandenen hydrologischen Daten
 - d) Überschlägige Ermittlung der GW-Neubildung
 - e) Herausarbeiten der Kenntnislücken

Die Ausgangssituation beim vorhandenen Datenmaterial war in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich. Es war daher notwendig, bereits die Aufgabenstellung im Detail und die Arbeitsweise auf diese vorgegebenen Verhältnisse abzustimmen. Bei der Erfüllung des Arbeitszieles führte dies zwangsläufig zur Beschränkung auf das unbedingt Erforderliche.

Bei der Bearbeitung dieses Berichtes wurde versucht, durch Ermittlungen, die z. T. nur überschlägig möglich waren, und durch Herausarbeiten der Kenntnislücken die Voraussetzungen für weitergehende Einzeluntersuchungen zu schaffen.

Ziel soll sein, die Grenzen einer möglichen Nutzung bzw. Bewirtschaftung des Grundwassers für die Zukunft festzustellen. Das Arbeitsprogramm hierzu muß noch festgelegt werden.

Die bisherige Arbeit hat gezeigt, daß auch über Ländergrenzen hinweg eine Zusammenarbeit notwendig und möglich ist.

2. Allgemeine Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der Untersuchungsraum reicht vom östlichen Gebirgsrand des Pfälzer Waldes (Haardttrand) bis zu den westlichen Abhängen des Odenwaldes. Als Südgrenze wurde linksrheinisch die Linie Speyer – Neustadt a. d. W., rechtsrheinisch die Linie Altlußheim – St. Leon – Bad Mingolsheim festgesetzt. Die nördliche Begrenzung entspricht in Rheinland-Pfalz dem Verlauf der südlichen Wasserscheide der Pfimm, in Hessen wird sie durch den Unterlauf der Weschnitz markiert (Anl. 1). Das Untersuchungsgebiet hat in N-S-Richtung eine Ausdehnung von etwa 44 km, in W-E-Richtung von maximal 34 km.

Die Gebietsfläche beträgt rd. 1420 km². Hiervon entfallen auf Baden-Württemberg rd. 500 km², auf Hessen rd. 240 km² und auf Rheinland-Pfalz rd. 680 km². Der Rhein bildet zwischen den Bundesländern Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz einerseits und Hessen und Rheinland-Pfalz andererseits die politische Grenze.

Das Untersuchungsgebiet ist das Zentrum des rd. 3320 km² großen Rhein-Neckar-Raumes. Dieser steht unter den Verdichtungsräumen der Bundesrepublik (gemäß der Abgrenzung durch den Staatsvertrag vom 3. März 1969) hinter Rhein-Ruhr, Rhein-Main, Hamburg, Stuttgart und München mit rd. 1,8 Mill. Einwohnern (Stand 1. Januar 1975; s. Raumordnungsplan Rhein-Neckar 1977) an sechster Stelle. Im vorstehend abgegrenzten Kerngebiet selbst wird bei einer Wohnbevölkerung von etwa 1,3 Mill. eine Einwohnerdichte von knapp 900 E/km² erreicht. In den Großstädten steigt die Einwohnerdichte auf über 2200 E/km² an, in den ländlichen Bereichen liegt sie im Durchschnitt unter 400 E/km².

Politisch haben folgende Regionen Anteil am Untersuchungsgebiet: Unterer Neckar (Baden-Württemberg), Starkenburg (Hessen) und Rheinpfalz (Rheinland-Pfalz). Neben dem Verdichtungszenrum Mannheim-Ludwigshafen mit zusammen rd. 0,5 Mill. Einwohnern liegen im Untersuchungsgebiet rechtsrheinisch Hockenheim, Schwetzingen, die westlichen Stadtteile von Heidelberg, weiterhin Viernheim, Lampertheim, Bürstadt, Lorsch und Teile von Weinheim, Heppenheim und Bensheim. Linksrheinisch sind zu erwähnen der Nordteil von Speyer, Neustadt a. d. W., Haßloch, Schifferstadt, Frankenthal und zu einem geringen Teil jeweils Worms, Bad Dürkheim und Grünstadt.

Insgesamt gesehen hat der Rhein-Neckar-Raum eine großräumige Bedeutung als Wirtschafts- und Kulturlandschaft europäischen Ranges an der Rheinachse, die die wichtigste kontinentaleuropäische Verkehrsader darstellt.

Auf der Basis eines historisch weitgehend gemeinsamen Schicksals, der verkehrsgünstigen Lage am Zusammenfluß der schiffbaren Wasserstraßen Rhein und Neckar, der starken Bündelung zahlreicher sonstiger Verkehrswege (u. a. Autobahnen, Bundesstraßen, Schienenwege), mehrerer gut ausgebauter Häfen, der Konzentration z. T. weltbekannter Industrieunternehmen (insbesondere der Branchen Chemie und Pharmazie, daneben Maschinenbau, Elektro, Nahrungsmittel u. a.) muß dieser Raum trotz der Zugehörigkeit zu verschiedenen Bundesländern als regionale Einheit betrachtet werden. Diese Aussage gilt im Hinblick auf die Problemstellung für die Arbeitsgruppe auch in geologischer und hydrologischer Hinsicht. Trotzdem lassen sich deutliche Untergliederungen herausarbeiten.

Nach dem vom Raumordnungsverband Rhein-Neckar im Februar 1977 vorgelegten Entwurf zum Raumordnungsplan Rhein-Neckar werden drei nach bestimmten Kriterien abgegrenzte strukturräumliche Gebietsregionen unterschieden: ein engerer Verdichtungsraum, der rechtsrheinisch weitgehend den gesamten baden-württembergischen Anteil des Untersuchungsgebietes ausmacht und linksrheinisch parallel zum Rhein einen maximal 12 km breiten Streifen umfaßt; ein weiterer Verdichtungsraum im Gebiet Hockenheim – St. Leon (Baden-Württemberg), nördlich Viernheim – Weinheim (im wesentlichen Hessen) und ein etwa 10 km breiter Gebietsstreifen im westlichen Anschluß an die Verdichtungszone Frankenthal – Ludwigshafen und Schifferstadt – Speyer (Rheinland-Pfalz) sowie der ländliche Raum. Er ist nur in Rheinland-Pfalz vertreten und zwar im Bereich der westlichen Grenze des Untersuchungsgebietes.

Folgende naturräumliche Haupteinheiten sind zu unterscheiden: die nördliche Rhein-Niederung (Rhein-Aue) auf beiden Seiten des Stroms, die vom nacheiszeitlichen Rhein in einer Breite von max. 12 km flächig in seine mächtige Schotteraufschüttung eingetieft wurde. Typisch für diese Flußauenlandschaft sind doppelseitig bis 7 km ausschwingende Mäander. Diese wurden z. T. erst durch die mit dem Namen TULLA verbundene strombau-technische Korrektur (1816–1886), d. h. durch abkürzende Durchstiche, außer Funktion gesetzt und existieren als vielfach verlandete Altrheine weiter. Die Rhein-Niederung reicht bis zum häufig 5–10 m, stellenweise allerdings nur 0,5–1 m hohen und mancherorts morphologisch überhaupt nicht auffälligen Geländeanstieg des Hochgestades.

Rechtsrheinisch schließen sich östlich an die Rhein-Niederung von N nach S die Hessische Rhein-Ebene bis etwa Heddesheim, die Neckar-Rhein-Ebene bis etwa Oftersheim und die Hardt-Ebenen („Hardt-Wälder“) an. Diese genannten Einheiten sind durch Besonderheiten ausgezeichnet, wie z. B. die Aue des ehemaligen Bergstraßen-Neckars mit verlandeten Flußschlingen zwischen Heddesheim und Lorsch, den mächtigen Schwemmfächer des Neckars bei Heidelberg, die mehr oder weniger breiten Auen einiger Flüsse und Bäche, die zwischen Bad Mingolsheim und Heidelberg die nördlichsten Ausläufer der ehemaligen Kinzig-Murg-Rinne bilden, und den in N-S-Richtung ziehenden Dünenzügen. Als meist nur bis 2 km breiter Streifen folgt dann die Bergstraße, die parallel zum Westrand des Odenwaldes (Vorderer Odenwald im N, Kleiner Odenwald südlich Heidelberg) und des Kraichgaus verläuft.

Linksrheinisch grenzt die Rhein-Niederung im N an die Frankenthaler Terrasse und im S an den Speyerbach-Schwemmfächer. Daran schließt sich bis zum Haardttrand das Vorderpfälzer Hügelland an, das bei Worms in das Alzeier Hügelland übergeht.

In morphologisch-topographischer Hinsicht weisen die Rhein-Niederung und die anschließenden weiten Flächen der rechtsrheinischen Ebenen nur geringe Reliefunterschiede auf. Eine Ausnahme machen die Dünengebiete. Die durchschnittliche Höhenlage beträgt im S etwa 100 m ü. NN, im N ca. 90 m ü. NN. Die Hügelländer der Vorderpfalz und des Wormser Raumes sind dagegen durch eine starke Zertalung mit zwischen den Tälern sich hinziehenden Rücken (Riedeln) charakterisiert. Die Riedel steigen von ca. 100 m. ü. NN im E auf 150–200 m. ü. NN im W an. Die Abhänge der Randgebirge, die das Untersuchungsgebiet beiderseits begrenzen, reichen bis 300 m ü. NN hinauf.

Die bedeutendsten Oberflächengewässer des untersuchten Gebietes sind der Rhein, dessen Stromstrich seit der Korrektur festgelegt ist, und der Neckar, dessen Abflußverhalten mit der im Jahre 1928 abgeschlossenen Kanalisierung entscheidend geändert wurde. Die wichtigsten von rechts einmündenden Nebengewässer sind von S nach N: Kraichbach, Hardtgraben, Leimbach, Kanzelbach, Landgraben und Weschnitz. Linksrheinisch sind in gleicher Richtung zu nennen: Speyerbach, Rehbach, Isenach, Eckbach und Eisbach.

Diese Nebengewässer haben im allgemeinen in den Flachlandanteilen andere hydrologische Eigenschaften als ihre Talabschnitte in den Randgebirgen bzw. im Hügelland. In der Regel sind die hier tief eingeschnittenen Gewässer auch Vorfluter für das Grundwasser. Nach dem Übertritt in die Rheinebene erleiden sie durch Infiltration in den Untergrund stellenweise Abflußverluste.

Die vorstehend aufgezeigten morphologischen und hydrographischen Verhältnisse haben einen engen Bezug zum geologischen Bau des Untersuchungsgebietes. Dieses liegt innerhalb des Oberrheingrabens mit vernachlässigbar kleinen Flächenanteilen am variscischen Grundgebirge des Odenwaldes, am Perm des Heidelberger Gebietes und an der Trias der Kraichgaumulde (vornehmlich Buntsandstein). In diesem gegenüber seinen Rändern bis zu 5000 m eingebrochenen, auch heute noch schwach aktiven tektonischen Senkungsfeld sind bis über 3300 m mächtige tertiäre und quartäre Sedimente abgelagert worden.

Die bedeutendsten GW-Vorkommen des südwestdeutschen Raumes sind an die Kiese und Sande insbesondere des Quartärs, in geringerem Maße auch des Pliozäns gebunden. Das im Bruchschollengebirge des Vorderpfälzer Hügellandes großflächig anstehende ältere Tertiär hat wasserwirtschaftlich dagegen insgesamt keine große Bedeutung. Innerhalb der Pliozän-Quartär-Abfolge werden ein Oberer GW-Leiter und in sich durch Ton- und Schluffeinlagerungen wieder jeweils differenzierte tiefere GW-Leiter (Mittlerer und Unterer GW-Leiter sowie pliozäner GW-Leiter) ausgedeutet. Diese verschiedenen GW-Leiter bilden aber, großräumig betrachtet, keine völlig voneinander abgeschlossenen hydrogeologischen Einheiten.

Mit Ausnahme der Rhein-Niederung, der Aue des Bergstraßen-Neckars und der Täler der Zubringer des Rheins herrschen in den weiten Ebenen, die identisch sind mit der Oberfläche der letzteiszeitlichen Niederterrasse, in der Regel durchlässige Bodenarten mit geringer Feldkapazität vor. Die Böden der Auen, im Bereich des Odenwaldes und großflächig auch im linksrheinischen Vorderpfälzer Hügelland, in dem Löss weit verbreitet sind, behindern im allg. mehr oder weniger die Versickerung des Niederschlagswassers. Sie sind in der Lage, größere Wassermengen zu speichern.

Zusammen mit den Böden sind die klimatologischen Gegebenheiten für die beträchtliche Differenzierung der Vegetation verantwortlich. Bei vorherrschenden SW-Winden liegt der größte Teil des Untersuchungsgebietes im Regenschatten des Haardtrandes. Im langjährigen Durchschnitt betragen die Niederschlagshöhen daher linksrheinisch nur etwa 550 mm/Jahr, rechtsrheinisch sind sie mit ca. 650 mm/Jahr im N und 700 mm/Jahr im S höher. Nur am Rande des Odenwaldes bringen Steigungsregen Niederschläge von 800 mm/Jahr und mehr. Bei verhältnismäßig hohen Jahresdurchschnittstemperaturen von 9,3 °C und bei Verdunstungshöhen von 400–500 mm/Jahr ist der Klimacharakter des Gebietes als gemäßigt kontinental zu bezeichnen.

Weite Teile des Untersuchungsraumes gehören wegen ihrer landwirtschaftlichen Eignung zu den besonders begünstigten Gebieten in der Bundesrepublik. Die natürlichen Gegebenheiten gestatten den Anbau aller landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, insbesondere der Sonderkulturen Weinbau (Weinstraße, Bergstraße), Obstbau, Feldgemüse und Tabak. Die hohen Bodenwertigkeiten erklären sich einerseits durch die günstigen Bodenklimatazahlen der Löß- und Leimböden, andererseits durch die großräumigen Beregnungsmaßnahmen oder Untergraskulturen im Bereich der sandigen Böden.

Der Wald ist vor allem in Verdichtungsräumen zur Erhaltung der Ökosysteme ein bedeutender Faktor. Außerdem kommen ihm gerade in Ballungsräumen wichtige Sozialfunktionen zu. Bis auf den Schwemmfächer des Speyerbaches ist die intensiv landwirtschaftlich genutzte Vorderpfalz annähernd waldfrei. Im Bereich der rechtsrheinischen Niederterrasse fehlen die dort charakteristischen Waldflächen zwischen Heidelberg und Mannheim (Neckar-Schwemmfächer). Die früher weit verbreiteten Auewälder sind nur noch lokal erhalten. Waldreich sind auch der Haardtrand und die Abhänge des Odenwaldes.

Dieser Ballungsraum Rhein-Neckar mit seiner hohen Einwohnerdichte, seiner Konzentration an Industrie und der intensiv betriebenen Landwirtschaft, die ohne Beregnung nicht mehr auskommt, stellt große Anforderungen an die Wasserwirtschaft.

3. Geologie

Die nachfolgenden geologischen Angaben behandeln vorrangig die hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich bedeutsamen Gebietseigenheiten. Auf Details, geologische Besonderheiten etc. wird weitgehend verzichtet. Die Ausführungen beruhen zu einem wesentlichen Teil auf RÜGER (1928), BECKSMANN (1966), PRIER (1969), den Sammelbänden „The Rhinegraben Progress Report“ (1967), „Graben Problems“ (1970), „Approaches to Taphrogenesis“ (1974) und den darin zitierten Arbeiten sowie auf den Erläuterungen zu den geologischen Spezialkarten 1:25 000. Dies gilt z. T. auch für die Darstellung in Anl. 1.

3.1 Regionale Übersicht

Das Untersuchungsgebiet umfaßt den Oberrheingraben zwischen Speyer und Worms einschließlich der randlichen Grabenschultern. Dieser Großgraben geht auf Tiefenbrüche bzw. Bewegungen im Bereich Unterkruste/Erdmantel zurück (RICHTER-BERNBURG 1968) und durchschlägt nahezu geradlinig in rheinischer Richtung (SSW-NNE) sowohl Gebiete im zutage anstehendem Grundgebirge als auch solche mit mächtigem Deckgebirge. Weitere geologisch-tektonische Strukturen, die eine hydrogeologisch bedeutsame Untergliederung des hier betrachteten Gebirgs- und Grabenanteils bewirken, verlaufen überwiegend auf den randlichen Hochgebieten in erzgebirgischer (SW-NE) und im Graben in rheinischer Richtung. Die Entstehung des Grabens begann im Alttertiär. Die Mächtigkeit der Grabenfüllung und damit die Absenkungsbeträge schwanken im Untersuchungsgebiet zwischen ca. 2000 und 5000 m.

Der Einbruch des Oberrheingrabens führte auf den Grabenschultern im Bereich des Untersuchungsgebietes von N nach S zu folgendem Gesteinsaufbau:

im Westen:

Oberrotliegendes der
Südflanke der Vorhaardt-Mulde, großenteils mit
Tertiärüberdeckung (Oligozän-Pliozän des südlichen Mainzer Beckens)

Buntsandstein des Pfälzer Waldes,
beginnend ab Neustadt, überwiegend aber schon
südlich des Arbeitsgebietes

Grundgebirge und Oberrotliegendes
der Nordflanke des Kristallinaufbruches von
Albersweiler

im Osten:

Kristallin des Odenwaldes nach
S bis zum Neckar, vom Kanzelbach nach S mit
Rotliegendauflagerung, vereinzelt Zechstein-
resten und auf der Wasserscheide mit
Buntsandstein

Buntsandstein des Kleinen Odenwaldes
südlich des Neckars bis Nußloch, auf den Randschollen z. T. mit Muschelkalk und südlich
Leimen mit Keuper

Muschelkalk, Keuper, Lias und Dogger
der Nordflanke der Kraichgau-Senke

Der Grabenbereich selbst zeigt eine deutliche Quergliederung. An die westliche Grabenschulter schließt sich nach E eine mehrere Kilometer breite, rheinisch gerichtete Staffelbruchzone aus tertiären Randschollen an. Weiter östlich folgt dann das Quartär des Zentralgrabens.

Dieses zeigt naturgemäß im Innern des Grabens, in Rheinnähe, eine geschlossene Verbreitung, ist aber auch vor dem östlichen Grabenrand fast durchgehend vorhanden. Dies ist darauf zurückzuführen, daß vor der östlichen Grabenschulter keine durchgehende Staffelbruchzone aus tertiären Randschollen ausgebildet ist. Sie ist nur in Ansätzen im N bei Heppenheim und zwischen Weinheim und Dossenheim bis zu 1 km breit sowie südlich Nußloch mit max. 3,5 km Breite entwickelt. Dieser stark asymmetrische Bau des hier betrachteten Grabenausschnittes, bei dem der am tiefsten abgesunkene Grabenteil im E zwischen Rhein und Odenwald liegt, spiegelt sich auch in der Schichtenfolge und Mächtigkeit der Grabenfüllung wider.

3.2 Schichtenfolge, Stratigraphie und Tektonik

Geologisch-hydrogeologisch muß auch hier wegen der sehr unterschiedlichen Schichtenfolge und dem stark differierenden Ausmaß der tektonischen Beanspruchung zwischen den drei wesentlichen Einheiten, den Grabenschultern, den Randschollen (einschließlich Zwischenscholle) und der eigentlichen Grabenscholle unterschieden werden (Abb. 1 und 2).

3.2.1 Die Grabenschultern

Die Grabenschultern werden von kristallinen, untergeordnet auch metamorphen Gesteinen und solchen des Deckgebirges (Rotliegendes bis Dogger) gebildet.

Das kristalline Grundgebirge steht nur auf der Ostseite des Grabens von Heidelberg nach N zutage an. Es besteht vorwiegend aus Graniten und Granodioriten mit einzelnen eingeschalteten Zügen aus Gabbros, Dioriten oder Paragneisen mit metamorphen Schieferungen. Die Klüftung der kristallinen Gesteine ist meist nur im oberflächennahen Bereich gut und nimmt zur Tiefe hin sehr schnell ab. Die Wasserwegsamkeit ist daher im allgemeinen gering bis schlecht. Lediglich bei oberflächlicher Vergrusung, die z. T. auf Granodioriten, Dioriten und Paragneisen bis etwa 20 m Tiefe ausgebildet ist, ist das Korngefüge derart aufgelockert, daß eine beträchtliche Porosität und auch Permeabilität vorliegt.

Eine größere Klüftdichte ist nur im Bereich von Störungszonen zu erwarten, wobei jedoch häufig ein Teil der Klüfte durch Mineral- (Quarz, Baryt, Kalkspat) oder Lehmausfüllungen wieder geschlossen wurde. Die meisten Störungen verlaufen mehr oder weniger parallel zur östlichen Grabenhauptverwerfung (KUPFAHL, MEISL & PRINZ 1972), Querverwerfungen sind selten.

Feinkörnige Grauwacken und Schiefer des Unterkarbons (Kulm) treten bei Neustadt a. d. W. zutage. Sie bilden damit den Südrand der Saargemünd-Pfälzer Mulde mit ihrer großen Buntsandsteinverbreitung im Pfälzer Wald. Die metamorphen kulmischen Gesteine an der Südwestgrenze des Untersuchungsgebietes sind hydrogeologisch jedoch ohne Bedeutung.

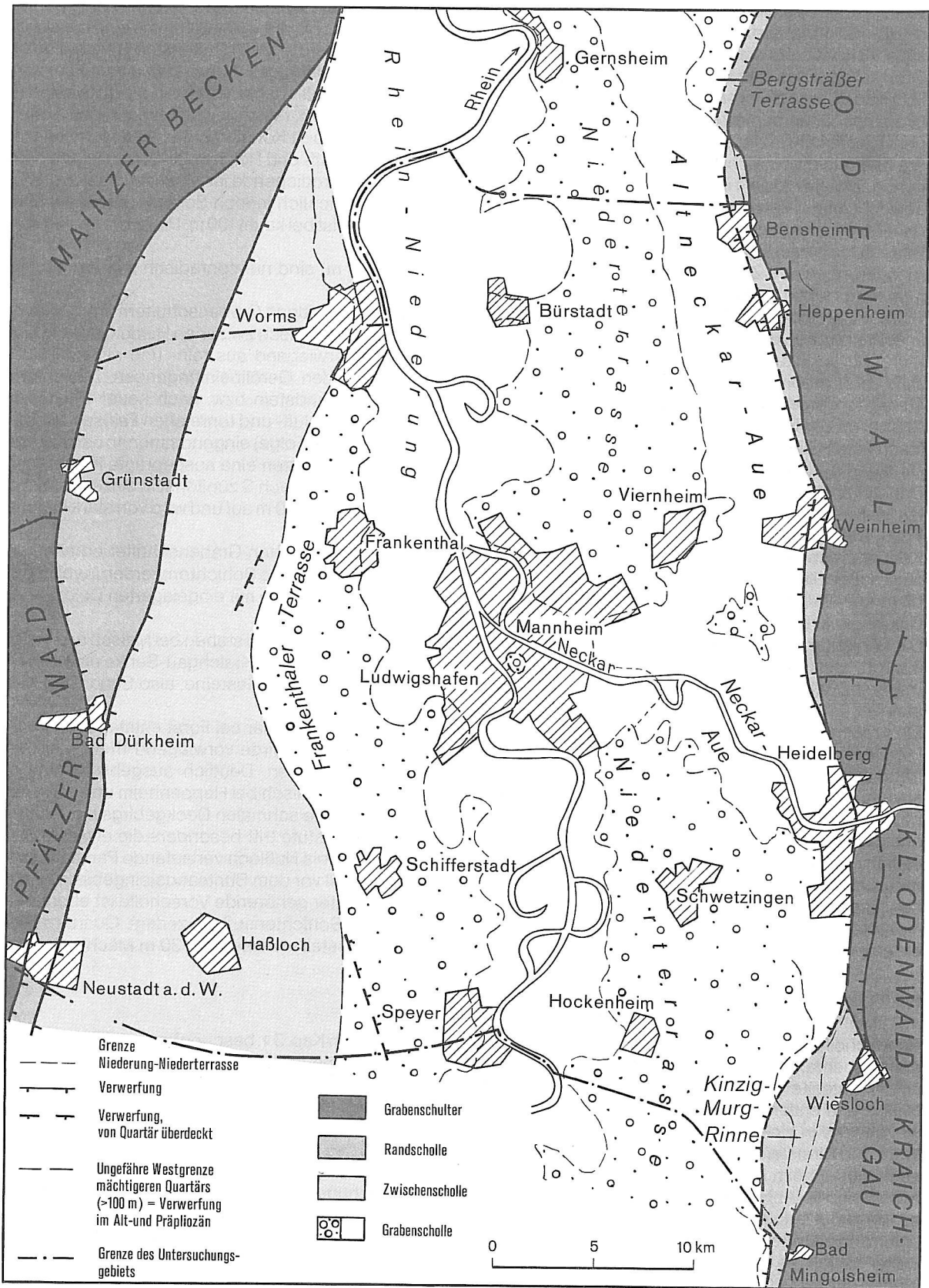


Abb. 1: Geologisch-tektonische Übersicht des Rhein-Neckar-Raumes.

Vulkanische Gesteine des Mittleren Rotliegenden, bestehend aus Tuffen, Tuffiten (0–130 m) und Quarzporphyren (0–150 m), lagern nördlich Heidelberg bis Schriesheim dem Grundgebirge auf. Die Gesteine sind meist massig entwickelt, und die Klüftung ist ebenfalls gering, außer in Störungsbereichen. Arkosen und Sandsteine des Oberrotliegenden sind bei ihrer geringen Mächtigkeit (0–30 m) und kleinflächigen Verbreitung unmittelbar nördlich Heidelberg kaum von Bedeutung. Demgegenüber erreicht das Oberrotliegende ganz im N auf der westlichen Grabenschulter mehrere hundert Meter Mächtigkeit. Es besteht aus roten, teilweise stärker sandigen Schluff- und Tonsteinen, in die einzelne Bänke reinerer Sandsteine, vereinzelt auch Konglomerate, eingeschaltet sind. Die Klüftung dieser Schichten ist zwar recht regelmäßig, doch ist die Klaff- und Reichweite der einzelnen Klüfte gering. Zudem sind sie häufig mit Ton und Lehm verschmiert. Das Oberrotliegende im S bei Neustadt a. d. W. ist abwechslungsreicher; es kommen untergeordnet Melaphyre, hauptsächlich jedoch Schluff- und Sandsteine, daneben auch Konglomerate vor, doch liegt die Gesamtmächtigkeit meist bei kaum 100 m. Die hydrogeologische Bedeutung dieser Schichten ist daher gering.

Ablagerungen des Zechsteins aus Dolomit- und Tonsteinen (je 0–6 m) sind nur sporadisch im Verbreitungsgebiet des Oberrotliegenden nördlich von Heidelberg erhalten.

Die Schichten des Buntsandsteins bauen einen großen Teil der beiderseitigen Grabenschultern auf, so auf der linksrheinischen Seite von der Höhe von Grünstadt nach S und rechtsrheinisch zwischen Heidelberg und Nußloch. Die im Mittel fast 500 m mächtige Gesteinsserie besteht überwiegend aus fein- und mittelkörnigen, z. T. auch grobkörnigen Sandsteinen mit abschnittsweise auftretenden Geröllbeimengungen. Die unteren 40–60 m werden von einem stark tonigen Sandstein (Unterer Buntsandstein bzw. nach neuer Gliederung Äquivalent der Bröckelschiefer-Folge), die oberen 70–80 m von Ton-, Schluff- und tonreichen Feinsandsteinen (nach neuer Gliederung Oberer Buntsandstein bzw. Untere und Obere Röt-Folge) eingenommen. In der mittleren sandigen Abfolge sind Tonsteineinlagerungen selten. Die Sandsteine besitzen eine ausgeprägte Klüftung.

Der Muschelkalk, fast nur auf der östlichen Grabenschulter ab Heidelberg nach S zunächst in einzelnen Schollen, im Kraichgau flächenhaft anstehend, weist eine Mächtigkeit von 200–230 m auf und wird von stark klüftigen Kalk-, Dolomit-, Mergelsteinen und Gips gebildet.

Keuper ist ebenso wie die folgenden jüngeren Schichten nur auf der östlichen Grabenschulter erhalten und zwar auf randlichen Schollen südlich Leimen und in der Kraichgau-Senke. Seine Schichten werden in voller Ausbildung 250–300 m mächtig und bestehen aus Ton-, Sand- und Mergelsteinen mit eingelagerten Dolomit- und Gipsbänken. Der meist hohe Tonanteil verhindert weitreichende offene Klüfte.

Die Schichten des Lias aus Ton-, Mergel- und Kalkstein erreichen etwa 100 m und stehen bei Malsch an. Dogger mit Ton- und Sandsteinen von ca. 70 m Mächtigkeit bildet das Muldentiefste der Kraichgau-Senke um Bad Mergolsheim. Tektonisch aufgelockert und somit kluftreich sind nur die härteren Gesteine, also Sand- und Kalksteine.

Ein größeres Basaltvorkommen ist auf der westlichen Grabenschulter im Tertiär bei Forst entstanden.

Die Deckgebirgstektonik zeigt ebenso wie die Bruchtektonik im Grundgebirge vorwiegend rheinische, den Randverwerfungen des Oberrheingrabens parallel verlaufende Bruchlinien. Deutlich ausgebildet sind sie sowohl linksrheinisch am Ostrand des Pfälzer Waldes als auch rechtsrheinisch bei Heppenheim und von Weinheim ab nach S. Durch Querstörungen wechselnder Richtung sind diese schmalen Deckgebirgsvorstaffeln in unterschiedlich große Teilschollen zerlegt. Als morphologische Bruchstufe tritt besonders die etwa 1–1,5 km östlich des Oberrheingrabens auf der Grabenschulter von Heidelberg bis Nußloch verlaufende Parallelverwerfung auf, die mit einer Sprunghöhe von 100–300 m eine schmale Staffel vor dem Buntsandsteingebiet des Kleinen Odenwaldes bildet. Diese langgestreckte, noch zur Grabenschulter gehörende Vorscholle ist ebenfalls in mehrere, sich nach S abtappende Teilschollen mit immer jüngerer Schichtenaufgabe zerlegt. Quartäre Fließerden aus Löß und Lößlehm mit Buntsandsteinschutt erreichen dort stellenweise über 30 m Mächtigkeit.

3.2.2 Die Randschollen mit Zwischenscholle

Randschollen aus älteren tertiären Ablagerungen schließen sich, wie im Kap. 3.1. beschrieben, an die beiderseitigen Grabenrandverwerfungen an. Sie bilden auf der Westseite des Grabens einen breiteren Randbereich als auf seiner Ostseite (Abb. 1 und 2). Am westlichen Grabenrand zieht die Gebirgsrandverwerfung von S her dem Haardtrand entlang über Grünstadt hinaus. Bei Bad Dürkheim zweigt eine weitere, vorher der Randverwerfung weitgehend in einem Abstand von weniger als 1 km parallel verlaufende Verwerfung ab, die über Freinsheim – Westrand Dirmstein – Westrand Worms-Pfeddersheim und nördlich des Pfimmsales über Osthofen und Alsheim nach Oppenheim ins Mainzer Becken zieht. Sie begrenzt die Randscholle aus älterem Tertiär gegen die Zwischenscholle (Abb. 2), auf der das ältere Tertiär von über 50 m mächtigem Pliozän überdeckt ist. Die Zwischenscholle stößt entlang einer Linie Worms – Lambsheim – Schauernheim – Westrand Hanhofen/Harthausen an die eigentliche Grabenscholle mit mächtigerem Quartär (Frankenthaler Terrasse als Niederterrasse des Rheins und weiter östlich die holozäne Rheinaue, Anl. 1). Der Schollenrand wird weitgehend von synsedimentären Verwerfungen gebildet, die noch im Pliozän und Quartär aktiv waren; sie sind im älteren Tertiär als Brüche entwickelt, in den darüberfolgenden Lockerablagerungen dagegen nicht scharf lokalisierbar (Abb. 1).

Der Ausstrichbereich des älteren Tertiärs ist durch Brüche stark in sich gegliedert und besteht aus Mergeln, Kalen, Sanden und Tonen vorwiegend des Oligozäns und Miozäns, die meist von pliozänen Sanden und Löß, Gehängelehm und sandig-kiesigen Ablagerungen (Quartär) der aus dem Pfälzer Wald kommenden Bäche verhüllt sind. Die älteren tertiären Schichten sind überwiegend tonig entwickelt und haben bis auf die Kalksteine und

mächtigkeitsmäßig zurücktretende Sand- und Kieseinschaltungen meist nur unbedeutende nutzbare Hohlraumgehalte (Kap. 3.2.3).

Auf der östlichen Grabenseite verläuft die Haupttrandverwerfung entlang dem morphologischen Gebirgsfuß des Odenwaldes und des Kraichgaus. Ihr vorgelagert sind schmale langgezogene Randschollen im N bei Heppenheim, im Mittelteil zwischen Weinheim und Dossenheim und im S von Nußloch bis über Bad Mingolsheim hinaus. Auch hier folgen unter einer bis einige Zehner Meter mächtigen Quartärbedeckung meist miozäne oder oligozäne, überwiegend mergelig-tonige Schichten (Kap. 3.2.3). Nach W werden diese Randschollen durch Verwerfungen, die meist von Quartär verdeckt sind, von der Grabenscholle getrennt.

Die Entstehung der Randschollen erfolgte im ausgehenden Oligozän und Miozän, als sie durch das Aufreißen neuer Verwerfungen zum Grabeninnern hin die Absenkung des Zentralgrabens nicht mehr mitmachten und tektonisch gesehen mehr der Grabenschulter angehörten. Erst ab dem ausgehenden Pliozän und vor allem im Jungpleistozän wurden sie meist wieder in den Sedimentationsraum des Oberrheingrabens einbezogen. Querstörungen sind sicher mehrfach vorhanden, lassen sich jedoch aufgrund der jungen Überdeckung und der wenigen Bohrungen nicht festlegen.

3.2.3 Die Grabenscholle

Der Einbruch des Oberrheingrabens begann zur Alttertiärzeit im S und setzte sich mit geringer zeitlicher Verzögerung nach N fort.

Den Untergrund der Grabensedimente bilden wahrscheinlich zumeist Oberrotliegendgesteine, östlich des Rheins zwischen Bensheim – Lampertheim – Ludwigshafen-Süd – Schriesheim auch Kristallin. Eine teilweise Buntsandsteinauflagerung ist vor allem linksrheinisch und südlich der Linie Altrip – Dossenheim zu erwarten. Ganz im S dürfte auch noch Muschelkalk und rechtsrheinisch Keuper sowie vor der Kraichgau-Senke Lias den Untergrund bilden (FALKE 1974).

Die tertiären und quartären Ablagerungen der zentralen Grabenzone erreichen von N nach S rd. 2300 m bei Nordheim – Wattenheim, ca. 2200 m bei Heppenheim, über 3000 m im Bereich Frankenthal – Mannheim – Schwetzingen und um 2000 m im Raum Wiesloch – Bad Mingolsheim (DOEBL 1967). Die älteren tertiären Ablagerungen (Eozän, Oligozän, Miozän) liegen in großer Tiefe, das in ihnen enthaltene Wasser ist überwiegend versalzen. In den Corbícula-Schichten (Miozän) wurden an der Nordgrenze des Arbeitsgebietes in den Tiefbohrungen Worms 1, Wattenheim 1 und 2 und Hofheim 4 rd. 7 m Steinsalz lagenweise verteilt auf eine Sedimentfolge von 175 m nachgewiesen (im Mittel zwischen 1600 und 1800 m unter Gelände). Weitere Einzelheiten zur Ausbildung der Gesamtfolge der älteren tertiären Schichten (überwiegend Mergel und Kalksteinlagen) sind bei DOEBL (1967) und FALKE (1974) zu finden. Die Mächtigkeit der alttertiären Schichten (Eozän und Oligozän) beträgt im N etwa 650–700 m, im S vor der Kraichgau-Senke fast 1000 m, aber auf den Randschollen vor dem Pfälzer Wald, wo meist eine sandig-konglomeratisch-kalkige Randfazies vorliegt, z. T. nur 200 m. Die Mächtigkeit des gesamten Miozäns liegt im N zwischen 1200 und 1300 m, geht linksrheinisch nach S zwar auf ca. 750 m zurück, erreicht aber rechtsrheinisch am Unterlauf des Neckars bei Mannheim-Seckenheim fast 2000 m und behält die im Nordteil vorliegende Normalmächtigkeit von gut 1200 m bis vor den Kraichgau. Hieraus ist ersichtlich, daß sich ab dem Miozän die Zone der stärksten Senkung vor die östliche Grabenschulter verlagert hat. Auch zeichnet sich das im Pliozän und Quartär zunehmend deutlicher ausprägende „Heidelberger Loch“ als Zentrum der Absenkung bereits ab.

Auf den westlichen Randschollen geht die Mächtigkeit der miozänen Schichten bei gleichbleibender Gesteinsausbildung kontinuierlich bis auf ca. 350 m vor der Randverwerfung zurück.

Im Pliozän senkt sich eine etwa von Frankenthal nach Heidelberg verlaufende Muldenzone innerhalb der im E stärker als im W absinkenden Grabenscholle besonders stark ab. Das Pliozän erreicht daher mit 726 m westlich Leutershausen, über 640 m in Heidelberg und um 600 m im Raum Frankenthal – Mannheim die größten Mächtigkeiten, während es im NE des Untersuchungsgebietes zwischen 450 und 550 m, südlich von Ludwigshafen rd. 250 m und südlich von Schwetzingen 220–250 m mächtig ist.

Als Folge der tektonischen Kippung der Grabenscholle nach E dünnt das Pliozän zum westlichen Grabenrand hin auf etwa 150 m aus. Westlich der Linie Worms – Lambsheim – Schauernheim – Hanhofen steht es auf der Zwischenscholle nahe der Oberfläche unter oft nur wenigen Metern Quartärsedimenten an. Vor der östlichen Grabenschulter werden auf Teilschollen, so vor Schriesheim, nur 300 m Mächtigkeit erreicht.

Die Sedimente des Pliozäns bestehen aus fluvialen und limnischen Feinklastika, überwiegend Schluffen, Tonen und Sanden mit pastellfarbenen, bunten, zum Teil auch weißgrauen bis grauen Färbungen. Im unteren und mittleren Teil des Pliozäns sind Grobsand- und Kieslagen eingeschaltet. Die Lockergesteinsablagerungen des Pliozäns haben einen nicht unbeträchtlichen Porenraum und sind deshalb vor allem linksrheinisch wichtige GW-Leiter.

Die Grenze Pliozän/Quartär ist in der Sedimentfolge lithologisch häufig recht undeutlich. Sie wird charakterisiert durch das Einsetzen alpinen Materials (Gerölle, Schwerminerale), da am Ende des Pliozäns die bis dahin existierende Kaiserstuhl-Wasserscheide zwischen Rhein, Rhône und Donau wegfiel und „die Gewässer des Oberrheingebietes, insbesondere der Aare, in den Oberrheingraben umgelenkt“ wurden (BARTZ 1974, S. 86). Weitere, wenngleich ebenfalls nicht immer eindeutige Kriterien für die Grenzziehung sind der mit dem Quartär einsetzende Kalkgehalt, ein Farbumschlag bei den Schluffen und Tonen von den bunten Pastelltönen im Pliozän zu vorherrschenden Grautönen sowie die im Quartär auftretenden Mollusken.

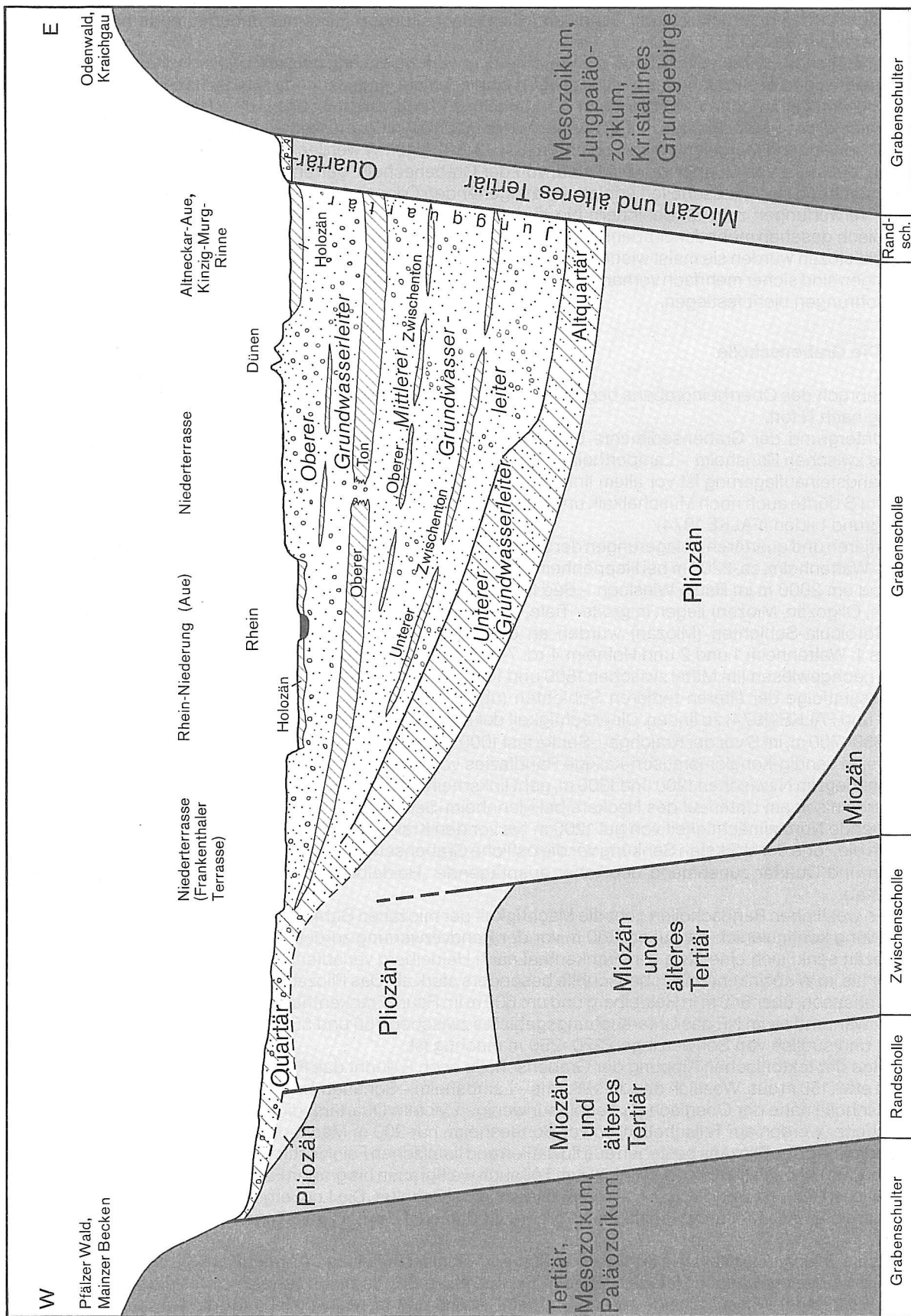


Abb. 2: Schematischer geologisch-tektonischer Querschnitt durch den Rhein-Neckar-Raum.

Im Quartär verlagert sich die Zone verstärkter Senkungstendenz weiter nach E und liegt unmittelbar vor der östlichen Grabenschulter, dem Odenwald, während sich linksrheinisch zum Pfälzer Wald hin wie im Pliozän die Absenkungsbeträge ständig verringern. Demgemäß nimmt die Gesamtmächtigkeit des Quartärs generell von W nach E zu. Da zudem das sog. Heidelberger Loch weiterhin das Zentrum der tektonischen Absenkung ist, sind die Mächtigkeiten auch im Mittelteil des Untersuchungsgebietes größer als am Nord- und Südrand (Höhenlinien der Quartärbasis in Anl. 1). Es werden z. B. erreicht: linksrheinisch vor dem Haardtrand nur einige Meter, bei Worms etwa 70 m, im Raum Ludwigshafen 200–225 m und bei Speyer nur ca. 100–140 m, rechtsrheinisch an der Weschnitzmündung 100 m, bei Lorsch ca. 250 m, im Mittelteil am Rhein zwischen Mannheim und Brühl etwa 200 m und im Stadtgebiet Heidelberg mit 382 m nach bisheriger Kenntnis das Maximum (BARTZ 1974), im S in Rheinnähe etwa 170 m, vor dem Odenwaldrand bei Sandhausen über 200 m und bei Walldorf-Rot nochmal über 250 m.

Stratigraphisch bzw. lithologisch wird das Quartär unterteilt in das Altquartär oder Ältestpleistozän als Untere, sandig-schluffige Folge (in Anl. 4 u. 5 stark schematisiert) und das darüber lagernde Jungquartär, bestehend aus Alt-, Mittel- und Jungpleistozän und Holozän (Tab. 1). Die Gesteinsfolge ist im Altquartär überwiegend feinsandig-schluffig-tonig mit einzelnen, örtlich auch stärkeren Mittel- und Grobsandlagen. Mit dem Jungquartär werden die Sedimente gröber und der Ton-/Schluffgehalt geringer; das nutzbare Porenvolumen ist daher im allgemeinen groß (Kap. 4.4). Die eiszeitlichen fluviatilen Ablagerungen des Rheins und seiner größeren Zubringer (Neckar, Kinzig-Murg-Rinne, Speyerbach, Weschnitz usw.) bestehen vor allem aus kiesigen Sanden und sandigen Kiesen mit einzelnen, häufig in annähernd konstanten Niveaus auftretenden Ton- oder Schluffhorizonten. Der über den größten Teil des Untersuchungsgebietes zu verfolgende auffälligste Tonhorizont ist der Obere Ton (Kap. 4.3.1.2). Er entstand wahrscheinlich im Eem-Interglazial (= Riß-Würm-Warmzeit?) und unterteilt das Jungquartär in eine Obere, sandig-kiesige Folge (= Jungpleistozän) und eine darunter liegende, etwas reichlicher Ton-/Schluffeinschaltungen aufweisende Mittlere, kiesig-sandige Folge. In der Mittleren, kiesig-sandigen Folge sind der Obere und der Untere Zwischenton über größere Gebietsteile zu verfolgen. Sie vertreten möglicherweise das Holstein- und das Cromer-Interglazial (Tab. 1). Andere, in der Sedimentfolge z. T. recht häufig zwischengeschaltete Ton-/Schlufflagen bilden nur kleinere, rasch auskeilende Linsen ohne stratigraphischen Leitwert (Anl. 4 und 5).

Auf der linksrheinischen Seite ist diese Gliederung mit abnehmender Quartärmächtigkeit ab der westlichen Verbreitungsgrenze des Oberen Tons (Anl. 3) nicht mehr durchführbar (Kap. 4.3.1). Die quartäre Schichtenfolge unterhalb des Oberen Tons besteht linksrheinisch bei zurücktretendem Kies- und Sandanteil zunehmend aus Tonen und Schluffen. Diese recht gleichförmige Wechsellagerung von mittel- und feinkörnigen Sanden mit zahlreichen Ton- und Schlufflagen wird nach der vorherrschenden Farbe „Graue Serie“ genannt und repräsentiert vermutlich das Mittel- und Altpleistozän. Die Freinsheimer Schichten (rote, gelbe und weiße Sande mit eingeschalteten Tonbänken) gehören möglicherweise in das Ältestpleistozän oder auch schon in das Pliozän (in Anl. 4, Schnitt Q4, dem Pliozän zugerechnet).

Im Jungpleistozän entstanden die sandig-kiesigen Terrassenablagerungen über dem Oberen Ton. Den Hauptteil der Sedimente lieferte der Rhein, nördlich Heidelberg aber auch der Neckar und untergeordnet die Weschnitz, südlich Heidelberg entlang dem Kleinen Odenwald und dem Kraichgau auch die früher als Sammelfluß für die Seitenbäche aus Schwarzwald und Kraichgau fungierende Kinzig-Murg-Rinne. Im Gebiet der oberflächennah anstehenden Pliozän-Sedimente westlich des Rheins lieferten die aus dem Pfälzer Wald kommenden Bäche den größten Teil der dort meist geringmächtigen jungpleistozänen Ablagerungen. Im Hochwürm schließlich endete die den gesamten Oberrheingraben überdeckende Aufschotterung (Niederterrasse in Anl. 1). Der Rhein pendelte nur mehr im heutigen Auenbereich und schnitt sich während des Holozäns in seine Niederterrasseablagerungen ein. Gleichzeitig im Hoch- und Spätwürm bis ins Altholozän hinein bildeten sich durch Windauswehungen aus den fluviatilen Terrassenablagerungen die ausgedehnten Flugsand- und Dünenfelder auf den Niederterrasseflächen sowie die Sandlöß- und Lößflächen vor den beiderseitigen Grabenschultern.

Im ausgehenden Pleistozän und ältesten Holozän wurde der Neckar vor den Odenwaldrand gedrängt und überdeckte wie der Rhein in seinem Auenbereich große Flächen mit lehmigem Sand sowie mit Hochflutlehm (Älterer Hochflutlehm). Im frühen Holozän (Präboreal) durchbrach der Neckar jedoch bei Mannheim-Seckenheim den ihn vom Rhein trennenden Dünengürtel, so daß sein altes Bett vor dem Odenwald verlandete. Vorher mündete der Neckar weit nördlich des Untersuchungsgebietes bei Trebur (südöstlich Mainz) in den Rhein. Schlick- und Torfbildungen füllten bis zur heutigen Zeit die Altläufe zu. Der Rhein dagegen räumte im Auenbereich infolge einer breitflächigen Erosion den Älteren Hochflutlehm weitgehend wieder aus und bildete durch eine Eintiefung von im Mittel etwa 5–10 m die heutige, tieferliegende und mit der Erosionskante des Hochgestades gegen die Niederterrasse abgesetzte Auenlandschaft der Rhein-Niederung. In diese sind zahlreiche, z. T. erst in jüngster Zeit verlandete und mit Sand, Lehm, Schlick und Torf gefüllte Rheinmäander eingeschnitten. Im ausgehenden Holozän setzte der Rhein bei Hochwasser den weite Teile des Auenbereiches überdeckenden Jüngeren Hochflutlehm ab. Dies wäre auch heute noch der Fall, wenn nicht flußbauliche Maßnahmen (Strombegradigung, Bettvertiefung, Eindeichung) dies verhinderten.

Die aus dem Bergland austretenden Wasserläufe schütteten in den Oberrheingraben hinein mindestens seit dem Mittelpleistozän Schwemmfächer aus z. T. recht grobem Material auf, das aber auch durchsetzt ist mit Schwemmlehm, -sanden, Lößlehm und Sandlöß. Der größte Schwemmfächer ist der des Neckars; Neckarmaterial wurde noch linksrheinisch bei Ludwigshafen nachgewiesen. Größere ausgedehnte Schwemmfächer entstanden auch linksrheinisch am Eintritt des Speyerbaches in den Oberrheingraben und rechtsrheinisch an

Tab. 1: Gliederung der quartären Lockergesteine im Rhein-Neckar-Raum.

Hydrogeologische Gliederung	Lithologische Gliederung	Stratigraphische Gliederung (vorläufig)			Mächtigkeit in m		
Deckschichten	Deckschichten	Postglazial	Holozän	Jungquartär	0,5 – 10		
Oberer Grundwasserleiter	Obere, sandig-kiesige Folge	Weichsel-glazial	(Würm?)		Jung- und Mittel-pleistozän	20 – 100	
		Eem-Interglazial	(Riß-Würm?)			0 – 35	
Oberer Ton	tonig-schluffiger Trennhorizont	Saale-Glazial	(Riß?)			10 – 190	
		Holstein-Interglazial?	(Mindel-Riß?)				
Mittlerer	Mittlere, tonig-schluffige Zwischenschicht	Elster-Glazial	(Mindel?)		Alt-pleistozän		
		Cromer-Interglazial?	(Günz-Mindel?)				
Grundwasserleiter	sandige Folge	Menap-Glazial	(Günz?)			Ältest-pleistozän	30 – 135
		Waal Tegelen	Prägünz				
Unterer Grundwasserleiter	Untere, sandig-schluffige Folge				Altquartär	150 – >700	
P l i o z ä n							

der Weschnitz und am Kanzelbach. Die groben, porenreichen Schwemmfächerablagerungen sind meist sehr gut durchlässig, so daß es dort vielfach zur Infiltration aus den Oberflächengewässern kommt.

Die tektonische Absenkung während des gesamten Quartärs war relativ gleichmäßig, so daß bruchhafte Verstellungen dieser Schichten im Grabeninnern nicht bekannt sind, ausgenommen einige kleinere Verwerfungen an der Quartärbasis im NE des Untersuchungsgebietes. Unterschiedliche Mächtigkeiten innerhalb der quartären Schichtenfolge entstanden durch rinnenartige Eintiefungen bzw. Ausräumungen in älteren Ablagerungen und Auffüllungen mit jüngeren Sedimenten. So verlagerte sich der Rhein z. B. zu Beginn des Jungquartärs durch das verstärkte Absinken der Ostseite des Hauptgrabens im Südteil vor den Kleinen Odenwald und tiefte sich rinnenartig in die altquartären Sedimente ein. Ab Sandhausen wurde dieser Rheinlauf durch den damals schon vorhandenen Neckar und seinen Schwemmfächer nach W abgelenkt und erreichte im Stadtgebiet von Mannheim fast den heutigen Rhein. Ab Lampertheim ist der Rinnenrand mangels tieferer Bohrungen jedoch nicht mehr weiter zu verfolgen. Der Eintiefungsbetrag der Rinne beträgt an ihrem Westrand 10 bis 40 m. Ähnliche, bei fluviatilen Ablagerungen flußgeschichtlich erklärbare Höhendifferenzen einzelner Horizonte können schon genetisch bedingt auf engstem Raum auftreten. Sie dürfen jedoch nicht als Beweis für eine intensive synsedimentäre pleistozäne Bruchtektonik geltend gemacht werden, wie das SCHNEIDER & SCHNEIDER (1975) mit mehreren Tonlagen als sog. Leithorizonten für den Grabenabschnitt zwischen Worms und Speyer versucht haben. Zum Ablauf des bruchtektonischen Geschehens ist vielmehr festzuhalten:

Vom Mittel- bis Obereozän bildeten sich die Randverwerfungen des Grabens aus. Im Unteroligozän lagen die Grabenkonturen fest, und eine erste starke Eintiefung setzte ein. Nach weiterer Absenkung im Mitteloligozän, die einen Meeresvorstoß ermöglichte (Rupelton), folgte im Oberoligozän eine Verlangsamung der Bewegungen, so daß eine Aussüßung und Verlandung begann (Bunte Niederrödnerner Schichten). Im Untermiozän erfuhr die Senkungstendenz wieder eine außerordentliche Belebung und zwar besonders im Nord- und Ostteil des Untersuchungsgebietes. Die Zerstückelung der alttertiären Ablagerungen in ein Schollenmosaik muß in der Hauptsache während dieser Zeit erfolgt sein. Nach dieser Eintiefungs- und Bruchphase folgte im höheren Miozän eine Beruhigung. Im tieferen Pliozän verstärkte sich die Absenkung erneut und ließ die Bruchschollen mit verworfenen miozänen Schichten entstehen. Trotz weiteren kräftigen Einsinkens von insgesamt bis über 1000 m im Pliozän und Quartär, verbunden sicher auch mit Hebungen der Grabenschultern, sind wesentliche bruchhafte Verstellungen dieser Schichten zumindest innerhalb der Grabenscholle nicht belegt. Lediglich im Nordostteil und linksrheinisch reichen vermutlich einige reflexionsseismisch ermittelte Verwerfungen aus dem Pliozän bis zur Quartärbasis herauf (Anl. 1, 4 u. 5). Auf den Randschollen im E und W des Grabens sind dagegen bis weit in das Quartär hinein tektonische Bewegungen nachgewiesen. Offensichtlich bestand im Bereich der Grabenscholle selbst eine gleichmäßige Senkungstendenz im Pliozän und im Quartär, so daß die bei ständiger kräftiger Sedimentzufuhr ablaufenden Bewegungen im Sedimentationsgeschehen (synsedimentär) verborgen sind. Feinnivellements machen eine bis heute unverändert anhaltende Absenkung des Hauptgrabens wahrscheinlich (KUPFAHL, MEISL & PRINZ 1972, S. 184; FAHLBUSCH 1975).

4. Hydrogeologie

4.1 Allgemeines

Für die hydrogeologischen Untersuchungen mußte zunächst das bei zahlreichen staatlichen und kommunalen Behörden und Institutionen sowie Firmen verstreute, sehr umfangreiche Unterlagenmaterial (unveröffentlichte Gutachten, Ergebnisse von Bohrungen und Pumpversuchen) gesammelt werden. Dieses Material ist entsprechend seiner Herkunft quantitativ und qualitativ sehr heterogen und oft lückenhaft. Außerdem sind die Bohrungen ungleichmäßig über den Untersuchungsraum verteilt. Insgesamt wurden die Schichtenverzeichnisse von rd. 3500 Bohrungen ausgewertet, davon ungefähr die Hälfte allein im Raum Mannheim-Ludwigshafen. Außerdem wurden die Untersuchungsergebnisse von NOLL (1972) und SCHNEIDER (1973, S. 508–571) mitverwertet. Ausbildung und Verbreitung der Böden bzw. Deckschichten über dem quartären GW-Leiter wurden im baden-württembergischen Teil des Untersuchungsgebietes durch eine umfangreiche bodenkundliche und geologische Spezialkartierung im Maßstab 1:25 000 ermittelt. Im übrigen Gebiet liegen der Deckschichtendarstellung frühere bodenkundliche und geologische Kartierungen zugrunde, die neu ausgewertet und ergänzt wurden. Die Grenzen der Deckschichteneinheiten sind im linksrheinischen Gebiet nicht speziell auskartiert, sondern wurden näherungsweise von älteren, kleiner maßstäblichen Karten übertragen.

4.2 Deckschichten

4.2.1 Bedeutung und Inhalt der Deckschichtenkarte

Die Aufgabe der Deckschichtenkartierung im Rahmen dieser Untersuchung ist es, die bodenspezifischen Faktoren für die Ermittlung der GW-Neubildung (GW-Einfluß und Wasserbindevermögen bzw. nutzbare Feldkapazität) in ausreichender Genauigkeit mit Hilfe einfacher Feldmethoden zu erfassen und in der Karte darzustellen.

Bei der Kennzeichnung der Deckschichten kommen bodenkundliche und geologische Methoden zur Anwendung. Die genetische Bodeneinheit (Bodentyp) gibt Auskunft über den Einfluß von Grund- und Stauwasser im Boden sowie über den Reife- und Gefügezustand des Bodens. Hauptbodenart, Schichtfolge und -mächtigkeit sowie Humus und Kalkgehalt bedingen die wichtigsten physikalischen Eigenschaften des Bodens und erlauben Einblicke in die geologische Entstehungsweise des Profils.

In der Deckschichtenkarte (Anl. 2) sind Art und Verbreitung von Deckschichteinheiten dargestellt. Eine Deckschichteinheit umfaßt dabei Bodenprofile mit ähnlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften und damit auch ähnlicher nutzbarer Feldkapazität (nFK). Als nFK wird hier die pflanzenverfügbare Wassermenge verstanden, die ein ungestörter Boden von 1 m Tiefe gegen die Schwerkraft zurückhalten kann. Die Maßeinheit ist l/m³ bzw. mm. Für jede Deckschichteinheit wird die Größenordnung der nFK durch Schätzung, Errechnung oder labormäßige Bestimmung ermittelt und in der Karte durch römische Ziffern wiedergegeben.

Geomorphologische Einheiten und Hauptbodenarten sind durch unterschiedliche Farbgruppen gekennzeichnet. Als Großeinheiten werden unterschieden die Böden der Riedel und Hügel der Vorderpfalz (orange), die Böden der Pleistozänterrassen (gelb-braun), die Auenböden (rot, rot-violett und blau) und die Deckschichten in schmalen Rinnen mit stark wechselndem Bodenaufbau (grün). Künstlich veränderte Flächen mit gestörten, überschütteten oder abgetragenen Deckschichten werden durch Schraffuren dargestellt. Zusatzzeichen weisen auf besondere Eigenschaften der Böden, wie Kies- und Sandbeimengungen oder mehrschichtigen Profilaufbau oberhalb 1 m u. Flur, hin. Für den baden-württembergischen Gebietsanteil werden Böden mit GW-Absätzen oberhalb 1 m u. Flur (Gleye), mit stark humosem und anmoorigem Oberboden (Anmoor- und Torfgleye) und mit Tonhorizonten unterhalb 1 m u. Flur durch Zusatzzeichen und Umgrenzungslinien gesondert dargestellt.

4.2.2 Verbreitung, Aufbau und wichtige hydropedologische Eigenschaften der Deckschichten

4.2.2.1 Riedel und Hügel der Vorderpfalz

Mächtiger Löß auf Kalksteinen und Mergeln des Miozäns im Hügelland nördlich der Linie Bad Dürkheim-Heuchelheim und auf pliozänen Sanden der südlich anschließenden Riedellandschaft bildet die vorherrschende Deckschicht mit Pararendsinen, untergeordnet Parabraunerden und Braunen Kolluvien (3.1 = Nummer der Deckschichteneinheit in Legende der Anl. 2). An steileren Talhängen des nördlichen Hügellandes in der Nähe des Gebirgsrandes treten kleinflächig und nur vereinzelt miozäne Kalk- und Mergelsteine mit geringer oder fehlender Lößbedeckung bodenbildend auf. Verbreitet sind hier flachgründige Kalkstein- und Mergelrendsinen (1.1) und mittelgründige Zweischicht-Braunerden aus Lehm über Kalk- und Mergelstein (3.2). Pliozäne Sande und Kiese mit flachgründig entwickelten Rankern und podsoligen Braunerden sind in der Riedellandschaft als schmale Zone entlang des Gebirgsrandes und großflächig in der Umgebung von Freinsheim freigelegt. Stellenweise oberflächennah auftretende Tonlagen führen zur Entwicklung von Zweischichtböden aus Sand über Ton, meist mit Merkmalen unterschiedlich starker Pseudovergleyung (2.1).

Tiefgründige Pararendsinen und Parabraunerden aus Löß besitzen hohes Wasserspeichervermögen (nFK > 150 mm) und bewirken eine relativ geringe aber über das Jahr gleichmäßig verteilte GW-Spende. Oberflächenabfluß und Erosion tritt schon ab 4% Hangneigung auf. Die flachgründigen Kalk- und Mergelverwitterungsböden weisen nur eine geringe nFK auf. Infolge stark wechselnder Durchlässigkeit und stellenweise hohem Oberflächenabfluß schwankt die GW-Spende dieser Einheit in weiten Grenzen. Geringe bis mittlere Wasserkapazität besitzen die Böden aus pliozänen Sanden und Kiesen. Die GW-Spende ist vergleichsweise hoch, verringert sich aber im Bereich der Pseudogleye zugunsten des Zwischenabflusses.

4.2.2.2 Pleistozänterrassen

Die Terrassenböden sind sand- und kiesreich. Überdeckungen aus bindigen Bodenarten treten großflächig nur im Schwemmfächerbereich des Neckars und auf der Frankenthaler Terrasse auf.

Die Bachauen der Vorderpfalz werden von rheinwärts fächerförmig sich öffnenden Terrassenfluren begleitet. Den größten pleistozänen Sand- und Schotterfächer schuf der Speyerbach. Auf den Terrassen sind Flugsanddecken weit verbreitet. Großflächige Dünenanhäufungen finden sich auf dem Schwemmfächer des Speyerbachs. Podsolige Braunerden bilden den vorherrschenden Bodentyp (5.1). Geringmächtige Lößüberdeckungen mit mittelgründigen Pararendsinen weisen ältere Terrassenflächen aus. Die Kies- und Sandabfolge der Terrassen enthalten häufig Zwischenlagen aus Lehm (Zweischicht-Braunerden und Pseudogleye).

Die nach E ansteigende Platte der Frankenthaler Terrasse trägt in einer grundwasserfernen Zone oberhalb des Hochgestades eine 0,5–2,0 m mächtige Decke aus schluff- und feinsandreichem Auelehm (eutrophe Braunerde, grauer Tschernosem, 6.1).

Auf der rechtsrheinischen Niederterrasse liegen die großen Sandgebiete des Lorscher und Lampertheimer Forsts im N und der Schwetzingen und Hockenheim Hardt im S der Neckar-Aue. Über steinig-kiesigen Terrassenabsätzen liegen in weiter Verbreitung 2–4 m mächtige Flugsanddecken, die häufig von Lehmhorizonten getrennt und von bis zu 6 m hohen Dünenketten überlagert sind (podsolige Braunerden, z. T. über Parabraunerden, 5.1–5.7).

Im südlichen Teil des Neckar-Schwemmfächers kommt es über Sanden und Kiesen der Niederterrassen zum Absatz einer 0,5–2,0 m mächtigen Decke aus älterem Auelehm, der östlich des Schwetzingen Sandgebietes von zahlreichen kleinen Flugsandinseln überlagert wird (vorherrschend Parabraunerden aus Auelehm, 7.1–7.3).

Die Pleistozänterrassen mit überwiegend sandigen und kiesigen Böden und tiefem GW-Stand bilden Flächen mit der ergiebigsten GW-Neubildung. Ihre nFK liegt unter 100 mm, ihre Wasserdurchlässigkeit ist hoch (kf-Wert > 30 cm/Tag).

Ausnahme bilden die Flächen mit über 1 m mächtiger Überdeckung aus älterem Auelehm (Eppelheimer Platte; Frankenthaler Terrasse). Die nFK dieser Decken ist hoch und liegt zwischen 125 und 200 mm.

4.2.2.3 Auen

In den Auen befinden sich Böden, die sich aus holozänen Fluß- und Bachsedimenten entwickelt haben und die im Einflußbereich des Grundwassers liegen, das mit der jeweiligen Vorflut in Verbindung steht. Die Mächtigkeit der fluviatilen Feinerde-Deckschicht über Kies liegt im Mittel zwischen 0,5 und 2 m. Durchschnittliche Mächtigkeiten von 2–3 m besitzen Deckschichten in der Altneckar-Aue zwischen Niederterrasse und Odenwald.

In der Rhein- und Neckar-Aue der weiteren Umgebung des Verdichtungsraumes Mannheim-Heidelberg ist das Grundwasser unterschiedlich tief abgesenkt, so daß eine GW-Beeinflussung der dortigen Aueböden nur lokal festzustellen ist. Aueböden mit wenig verändertem Wasserregime finden sich in den Auen der Pfälzer Wald- und Kraichgau-Bäche und im westlichen Randtief der Frankenthaler Terrasse.

Zwischen Oberflächenform, bodenartlicher Zusammensetzung der Feinerdedeckschicht und natürlichem GW-Stand bestehen Zusammenhänge.

Kiesreiche Aueböden bilden Inseln auf hochgelegenen Platten und schmale Streifen entlang von hohen Erosionskanten. Sie treten aber auch grundwassernah in Randtiefs und Rinnen als schmale Strömungskörper auf (8.1 – 8.2).

Aueböden aus tonarmen Schluffen mit Tongehalten < 17% sind in der Regel kennzeichnend für hochgelegene Auebereiche mit mittleren GW-Ständen zwischen 1 und 2 m u. Flur. Die tonarmen, meist kalkreichen Schluffe liegen in der Rhein-Aue und auf der Frankenthaler Terrasse durchschnittlich 1–2 m mächtig auf Sand und Kies (10.1 – 10.4; 10.10), in der Altneckar-Aue am Fuße des Odenwalds als Hochwasserabsätze der Odenwaldbäche mit unterschiedlicher Mächtigkeit auf Aueton (10.5 – 10.9).

Aueböden aus Auelehm mit Tongehalten zwischen 17–25% liegen etwas tiefer als die Böden aus tonarmem Schluff, aber immer noch oberhalb des MW-Niveaus. Sie sind vor allem in der Rhein-Aue nördlich Ludwigshafen, am Westrand der Frankenthaler Terrasse und im Neckarmündungsbereich östlich Mannheim verbreitet. In der Altneckar-Aue und in den Auen der Kraichgau-Bäche liegen Auelehme häufig auf Aueton.

Die Füllungen der Täler aus dem Pfälzer Wald sind in der Regel lehmig. Der Kies- und Sandgehalt nimmt talauf zum Gebirgsrand hin zu. Zwischen- und Unterlagerungen von Aueton sind häufig.

Der natürliche mittlere GW-Stand in den braunen, lehmigen Aueböden liegt im allgemeinen zwischen 1–2 m u. Flur. In den Auen der Vorderpfalz wechseln höhere und tiefere GW-Stände, so daß Braune Aueböden und Gleye kleinflächige Muster bilden (11.9).

Knapp oberhalb des MW-Niveaus kamen tonreiche Auelehme mit Tongehalten zwischen 25–35% zum Absatz (12.1–12.8). Im jüngeren Teil des Neckar-Schwemmfächers, in der Rheinschlinge westlich Hockenheim und in den Auen der Kraichgau-Bäche besitzen sie weite Verbreitung. Der natürliche mittlere GW-Stand in diesen Böden liegt überwiegend 0,8–1,5 m u. Flur.

Das Verbreitungsgebiet der Auetone mit Tongehalten über 35% (12.9–12.11), von Mudden und Niedermoortorf (13.1) beschränkt sich auf tiefgelegene Auebereiche im oder knapp unter dem MW-Niveau mit natürlichen mittleren GW-Ständen oberhalb 0,8 m u. Flur. Sie finden sich großflächig in den breiten Altläufen des Rheins, vor allem aber in der Altneckar-Aue zwischen Niederterrasse und Odenwald.

Ton- und Humusgehalte sowie Mächtigkeit der Feinerdedeckschicht bestimmen die Wasserkapazität der Aueböden. Die großflächig verbreiteten Aueböden aus Aueschluff, Auelehm und Aueton besitzen bei Deckschichtmächtigkeiten von 1–2 m eine hohe nFK (150–225 mm).

Bei der Ermittlung der Sickerung in den Böden mit Horizonten aus wenig durchlässigem Aueton muß bei der Berechnung der GW-Spende der hier auftretende Zwischenabfluß Berücksichtigung finden. Die höchsten Werte der nFK errechnen sich für Zwischschichtböden aus Auelehm über Aueton (10.8) und für Böden aus Mudden und Niedermoortorf (13.1).

Schmale Rinnen werden infolge des engräumigen Wechsels der Bodenart ihrer Füllungen gesondert ausgeschieden (14.). Sie entstanden im Überschwemmungsbereich der Flüsse und stellen Reste von Altläufen und Hochwasserrinnen dar.

In der Rhein-Niederung überwiegen Rinnen und Altläufe mit Füllungen aus Sand und Kies. Im Bereich des Neckar-Schwemmfächers enthalten sie sowohl sandig-lehmiges als auch tonig-torfiges Substrat. In den Altläufen und Rinnenrelikten der Altneckar-Aue sind nahezu ausschließlich tonige Anmoorgleye und Niedermoortorfe entwickelt.

4.2.3 Zur Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität

Im baden-württembergischen Gebietsanteil erfolgte die Ermittlung der nFK an 10 typischen Bodenprofilen durch Bestimmung der pF-Kurve im Labor. Der pF-Wert (gemessen in mbar) ist die Maßeinheit für die Saugspannung, mit der das Wasser im Boden festgehalten wird. Die pF-Kurve drückt die Beziehung zwischen Saugspannung und Wassergehalt eines Bodens aus. Bei ihrer Bestimmung wurde bei Böden mit geringer Wasserdurchlässigkeit der Porenanteil zwischen 0,2 und 50 μ zugrunde gelegt, bei Böden mit hoher Durchlässigkeit der Porenanteil zwischen 0,2 und 10 μ . Aus den so ermittelten Werten wurde für alle Deckschichteinheiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodenartenabfolge bis 1 m Tiefe sowie der Lagerungsdichte und des Humusgehaltes die nFK errechnet.

Im übrigen Gebiet wurden die nFK-Werte der Deckschichteinheiten in Anlehnung an die im baden-württembergischen Gebietsanteil ermittelten Werte geschätzt. Infolge des Auftretens unterschiedlicher Deckschichtprofile

innerhalb einer Deckschichteinheit sind die Spannen der nFK-Werte größer. Daher mußten häufig mehrere Stufen der nFK angegeben werden, deren jeweiliger flächenmäßiger Anteil nicht bekannt ist.

4.3 Grundwasserleiter und Stockwerksgliederung

Während im rechtsrheinischen Rhein-Neckar-Raum bisher ausschließlich die quartären Lockergesteine zur Wassererschließung genutzt werden, ist links des Rheins – bedingt durch den geologischen Bau – auch das darunter liegende Pliozän für die GW-Nutzung von Bedeutung. Dies gilt z. B. für den Raum Ludwigshafen (Grenze Quartär/Pliozän in etwa 200–225 m Tiefe unter Gelände) und vor allem für das Gebiet der Zwischenscholle (z. B. Wasserwerk Ordenswald bei Neustadt a. d. W.), wo das Pliozän nahe der Oberfläche ansteht (Abb. 1 u. 2, Anl. 4).

4.3.1 Quartäre Grundwasserleiter

Die quartären Sedimente lassen sich im Bereich der Grabenscholle, d. h. rechtsrheinisch und links des Rheins bis zur westlichen Verbreitungsgrenze des Oberen Tons in 4 hydrogeologische Einheiten untergliedern (Tab. 1, Anl. 4 u. 5). Von oben nach unten sind dies: Oberer Grundwasserleiter (OGWL), Oberer Ton (OT), Mittlerer Grundwasserleiter (MGWL), Unterer Grundwasserleiter (UGWL). Die drei ersten Einheiten gehören zum Jungquartär, der UGWL entspricht dem Altquartär (Kap. 3.2). Alle drei GW-Leiter innerhalb des Quartärs haben untereinander hydraulische Verbindungen (Kap. 5.6), besitzen jedoch jeweils eine gewisse Eigenständigkeit.

Jenseits der linksrheinischen Verbreitungsgrenze des Oberen Tons, vor allem im Bereich der Zwischenscholle, ist diese hydrogeologische Stockwerksgliederung nicht mehr möglich. Verursacht wird dies durch das starke Ansteigen der Schichten nach W, das damit verbundene Auskeilen des Oberen Tons und die starke Mächtigkeitsreduktion des Quartärs am Westrand der Frankenthaler Terrasse sowie den nach W stark zunehmenden Ton-/Schluffanteil in der Schichtenfolge. Die Quartärgliederung bereitet deshalb in diesem Raum Schwierigkeiten. Insbesondere aber ist eine Trennung von UGWL und MGWL nicht mehr durchzuführen. Aus diesem Grund wird daher im Kap. 5 der zusammenfassende Begriff „tiefere GW-Leiter“ verwendet.

Im W grenzt der quartäre GW-Leiter an das Pliozän der Zwischenscholle, im E an die tertiären Randschollen bzw., wo diese fehlen, an die Kluft-GW-Leiter der Grabenschultern. Im Bereich der Randschollen ist nicht mit einem größeren Zustrom von seitlichem Kluftgrundwasser in den quartären Poren-GW-Leiter zu rechnen. Dagegen dürften im übrigen Bereich, vor allem aus dem Buntsandstein und dem Muschelkalk, nicht zu vernachlässigende, wenn auch – auf den gesamten GW-Umsatz bezogen – immer noch relativ geringe GW-Mengen aus den angrenzenden Festgesteinen zuströmen.

4.3.1.1 Oberer Grundwasserleiter

Die jungquartären Sedimente zwischen der Basis der Deckschichten und dem Oberen Ton werden als OGWL zusammengefaßt. Wo der Obere Ton fehlt (Kap. 4.3.1.2), wie vor allem im S und N des Untersuchungsgebiets, ist eine Abgrenzung des OGWL nach unten nicht möglich. Dort bilden OGWL und MGWL eine Einheit. Im linksrheinischen Gebiet westlich der Verbreitungsgrenze des Oberen Tons (Anl. 3) fehlt der OGWL als hydrogeologische Einheit.

Die das Verhalten und die Hydrochemie des Grundwassers im OGWL behandelnden Kap. 5. und 6. sowie die Anl. 7–10 und 12–14 beziehen sich daher in diesem Gebiet auf den sog. „oberflächennahen Bereich“ des Grundwassers, der bis etwa 40 m Tiefe unter die Geländeoberfläche reicht. Geologisch-stratigraphisch gehört dieser „oberflächennahe Bereich“ nicht mehr zur Oberen, sandig-kiesigen Folge des Quartärs, sondern bereits zur Mittleren, kiesig-sandigen Folge (MGWL) und weiter im W gegen die Randscholle sogar zum Altquartär und Pliozän (Anl. 4).

Der OGWL besteht vorwiegend aus sandigen Kiesen und kiesigen Sanden, untergeordnet Sanden, wobei der Kiesanteil nach W geringer wird. Die Bereiche der Schwemmfächer an der Mündung der Seitentäler in den Rheingraben zeichnen sich durch gröberkörnige, aber meist schlechter sortierte Ablagerungen aus. Besonders im Neckar-Schwemmfächer westlich Heidelberg ist sehr viel grobes Material mit hoher Durchlässigkeit enthalten (Kap. 4.4.3). Dies ermöglicht starke Infiltration von Neckarwasser ins Grundwasser, besonders im Bereich Heidelberg-Ladenburg (Kap. 5.7). Auch die Transmissivitäten sind dort sehr hoch (Kap. 4.4.2).

Ton-/Schluffeinlagerungen sind im gesamten Gebiet nicht selten, besitzen aber meist nur geringe horizontale Ausdehnung. Lokal können sie eine Untergliederung des OGWL in Teilstockwerke bewirken. Dies trifft z. B. im Raum Heidelberg-Ladenburg zu, wo besonders zahlreiche Tonlagen im OGWL auftreten.

Die Mächtigkeit des OGWL (Abb. 3) steigt von W nach E, im mittleren Teil des Untersuchungsgebietes allseitig auf das „Heidelberger Loch“ zu. Dort erreicht sie mit fast 100 m den Höchstwert. Im größten Teil des rechtsrheinischen Gebiets ist der OGWL 25–50 m mächtig, während er links des Rheins auf 20–25 m, am äußersten Westrand sogar auf unter 10 m abnimmt. Die Achse der größten Mächtigkeiten verläuft in Längsrichtung vor dem östlichen Grabenrand.

Die Gesamtmächtigkeit des Aquifers im OGWL, d. h. seines von Grundwasser erfüllten Teils, bietet prinzipiell das gleiche Bild. Links des Rheins ist die Aquifermächtigkeit im OGWL mit weniger als 5 m im W bis höchstens 25 m im E durchweg gering. Im rechtsrheinischen Gebiet sind die Unterschiede zwischen W und E durch den vom Rhein nach E im allg. wachsenden Flurabstand der GW-Oberfläche gemildert (Kap. 5.2.2.3). Im Durchschnitt liegt

die Aquifermächtigkeit rechts des Rheins im Gebiet der Niederterrasse im S und N um etwa 5 m, in der Mitte (Mannheim-Heidelberg) um etwa 10 m unter der jeweiligen Gesamtmächtigkeit des OGWL. In der Rhein-Niederung, der nördlichen Altneckar-Aue, in den alten Auen der Kinzig-Murg-Rinne im SE sowie entlang des Westrandes der Frankenthaler Terrasse ist die Mächtigkeit des Aquifers nahezu gleich der des OGWL, weil dort die GW-Oberfläche meist etwa an der Untergrenze der Deckschichten liegt. Das Grundwasser ist dort teilweise gespannt, während es sonst im OGWL im allg. ungespannt ist.

Die nutzbare Mächtigkeit des Aquifers ist im Bereich der maximalen Mächtigkeiten des OGWL bei Heidelberg-Ladenburg (Abb. 3) durch zahlreiche mächtigere Ton-/Schlufflagen innerhalb des OGWL am stärksten reduziert (Anl. 4, Schnitt Q 4).

4.3.1.2 Oberer Ton

Der den OGWL vom MGWL weithin trennende Horizont des Oberen Tons ist maximal etwa 35 m mächtig, meist jedoch um 10–20 m. Seine Verbreitung zeigt Anl. 3. Im S des Untersuchungsgebietes fehlt der Obere Ton großflächig. Es ist aber anzunehmen, daß innerhalb dieses Bereichs einige weitere, bisher mangels Bohrungen nur nicht bekannte „Inseln“ vorhanden sind, in denen der Obere Ton wieder ausgebildet ist (ähnlich der Hockenheim-Insel). Entlang einer Linie Speyer – Schifferstadt – Schauernheim – westlich Lambsheim – Worms, die sich weitgehend mit dem Westrand der Frankenthaler Terrasse deckt, keilt der Obere Ton nach W zur Oberfläche hin aus. Unmittelbar südlich der Bearbeitungsgrenze löst sich der Obere Ton in eine Folge von Inseln auf und geht allmählich in eine sandige Fazies über, so daß er weiter nach S seine Funktion als hydraulische Trennschicht zwischen dem OGWL und MGWL zunehmend verliert. In ähnlicher Weise setzt auch im N des Gebiets die Auflösung des Oberen Tons etwa ab Lampertheim ein.

An verschiedenen Stellen seines Hauptverbreitungsgebietes sind im Oberen Ton relativ schmale, rinnenartige „Fenster“ nachgewiesen, in denen der Ton durch Kies oder Sand ersetzt ist. Über diese Fenster sind zwischen dem OGWL und dem MGWL enge hydraulische Verbindungen vorhanden. Die am besten belegten derartigen Rinnen durchziehen den Bereich des Wasserwerks Mannheim-Käfertal (Anl. 3 u. 4, Schnitt Q 5). Der Obere Ton wurde hier offensichtlich erosiv bei der Ablagerung der darüber folgenden Kiese durch den Rhein oder Neckar wieder ausgeräumt. Bei einigen anderen „Fenstern“ ist es möglich, daß der Obere Ton primär gar nicht abgelagert worden ist. In jedem Fall ist über diese bekannten Lücken im Oberen Ton hinaus mit weiteren „Fenstern“ zu rechnen, die mangels Bohrungen bisher nur nicht nachgewiesen sind.

Im Stadtgebiet Mannheim-Ludwigshafen sind durch Bohrungen bis in den MGWL zahlreiche künstliche „Löcher“ im Oberen Ton entstanden, da in früheren Jahren bei der Verfüllung von Bohrlöchern und Stilllegung von Tiefbrunnen der Bereich des Oberen Tons häufig nicht zuverlässig abgedichtet wurde. Sowohl durch die natürlichen wie die künstlichen Lücken im Oberen Ton können GW-Verunreinigungen aus dem OGWL relativ leicht in den MGWL eindringen, was an verschiedenen Stellen bereits festgestellt wurde (BANGERT & VOGT 1975, NOLL 1972).

Im mittleren Teil des Untersuchungsgebiets ist der Obere Ton lokal als eine einzige, 25–35 m mächtige Ton-/Schluffschicht ausgebildet. Gewöhnlich sind jedoch innerhalb des Oberen Tons neben kleineren Torflinsen Sand-, Kies- und Kiessandlagen eingeschaltet (am stärksten im Raum westlich Heidelberg). Gebietsweise sind sie bis über 10 m mächtig und durchgehend ausgebildet, so daß der Obere Ton in zwei bzw. drei selbständige Ton-/Schluffhorizonte geteilt wird, die einander teils überlappend teils gegenseitig vertretend in etwa konstanten Niveaus übereinander auftreten (Anl. 3–5). Der obere und der mittlere Teilhorizont besitzen die weiteste Verbreitung. Der obere Teilhorizont, der linksrheinisch durchgehend vorhanden zu sein scheint, spaltet sich bei Lampertheim nochmals in zwei getrennte Lagen auf (Anl. 4, Schnitt Q 4), deren oberste rasch nach E auskeilt, aber südöstlich Lorsch inselartig nochmals auftritt. Ganz im N und S löst sich der Obere Ton immer mehr auf.

Die Oberflächen aller Teilhorizonte des Oberen Tons sind häufig durch Rinnen und Rücken reliefiert, was insbesondere im Stadtgebiet Mannheim-Ludwigshafen durch zahlreiche Bohrungen nachgewiesen ist. Dagegen ist die Sohlfläche der Tonhorizonte meist annähernd eben ausgebildet. Die Oberfläche des gesamten Oberen Ton-Komplexes fällt, entsprechend der Mächtigkeitszunahme des OGWL, generell von W nach E, im mittleren Teil des Gebiets allseitig zum „Heidelberger Loch“ hin ein.

Die in den Oberen Ton eingeschalteten Kies- und Sandlagen dürften durch die über- und unterlagernden Ton-/Schluffhorizonte hydraulisch nur selten vollständig vom OGWL und MGWL getrennt sein. Da dies aber im einzelnen nicht bekannt ist, können die Kies-Sandlagen hydraulisch nur dort zu einem der beiden GW-Stockwerke hinzugerechnet werden, wo die trennenden Ton-/Schlufflagen lokal auskeilen (z.B. im Raum Mannheim-Rheinau und südöstlich Lorsch, Anl. 4, Schnitte Q 2 u. Q 4).

Insgesamt gesehen wirkt der Obere Ton in seinem Verbreitungsgebiet als – allerdings etwas durchlässige (Kap. 4.4.3) – Sohl- und Deckschicht für den Aquifer des OGWL und als GW-Deckschicht für den MGWL.

Ganz im N und S verliert er diese Funktion allmählich infolge seiner fortschreitenden Auflösung bzw. besitzt sie nur noch lokal. Verbreitung, Ausbildung und Durchlässigkeit des Oberen Tons sind von entscheidender Bedeutung sowohl für die GW-Neubildung als auch für die GW-Qualität im MGWL (Kap. 5.6).

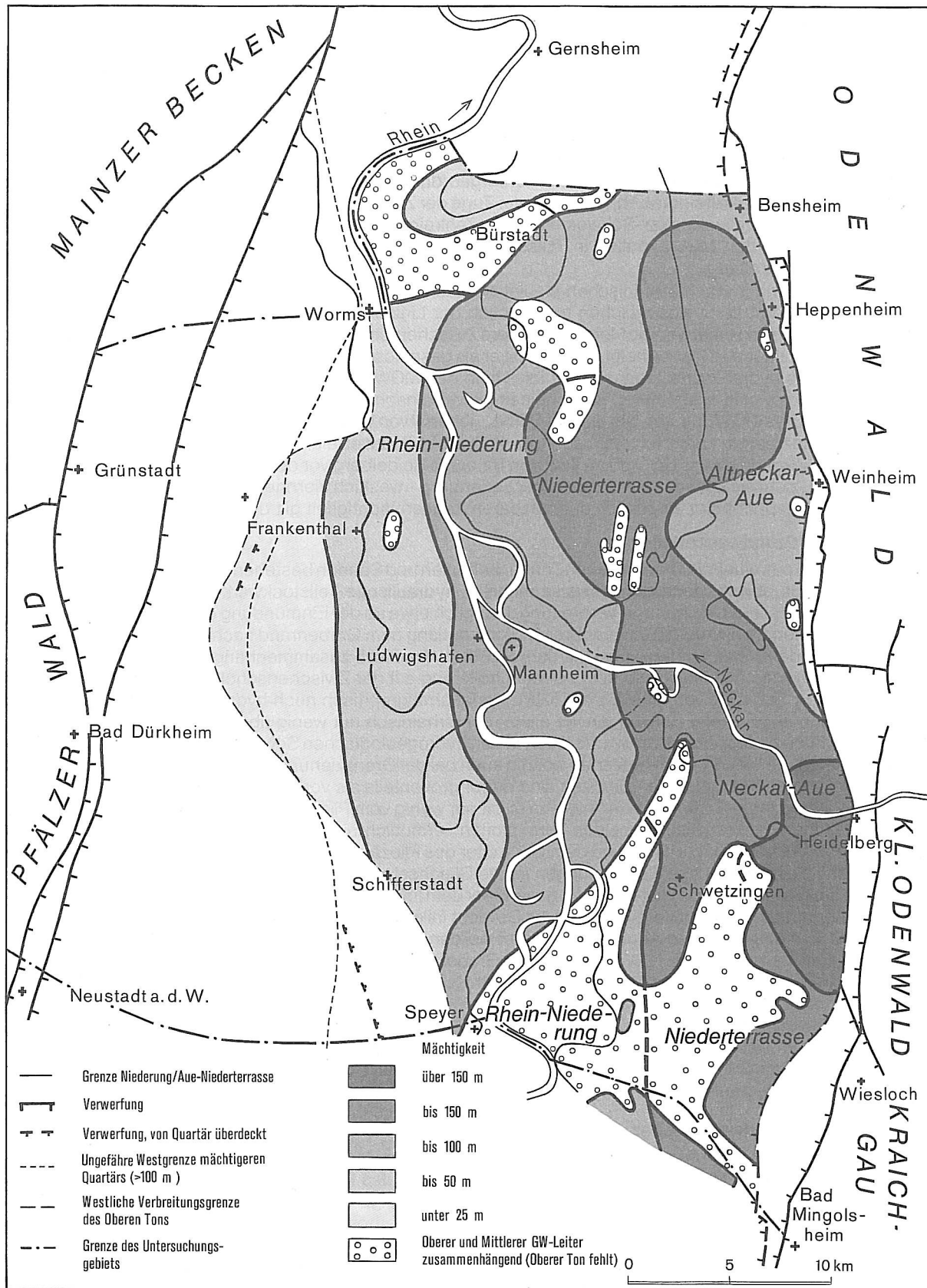


Abb.4: Mächtigkeit des Mittleren Grundwasserleiters.

4.3.1.3 Mittlerer Grundwasserleiter

Der MGWL, in dem das Grundwasser gespannt ist, so daß Aquifer und GW-Leiter damit identisch sind, umfaßt die untere Hälfte der jungquartären Schichten zwischen der Sohlfläche des Oberen Tons und der Oberfläche des Altquartärs (UGWL). Wo der Obere Ton fehlt, gibt es direkte hydraulische Verbindungen zum OGWL. Solche bestehen auch zum UGWL, wo dieser vorwiegend kiesig-sandig ausgebildet ist. Westlich der Ausstrichzone des Oberen Tons und des UGWL im linksrheinischen Gebiet ist der MGWL weder hydrogeologisch noch stratigraphisch vom UGWL zu trennen, d. h. beide sind großräumig als eine Einheit zu betrachten.

Der MGWL besteht vorwiegend aus Kiesarmen, untergeordnet kiesigen Sanden. Nur im E, ab der Einmündung des Neckars in den Oberrheingraben, herrschen im Zuge der Zone großer Mächtigkeiten nach N kiesige Sande bis sandige Kiese vor (alter Neckar-Schwemmfächer). Zahlreiche Ton-/Schlufflagen von meist geringer Ausdehnung untergliedern den MGWL örtlich in Teilstockwerke, insbesondere im linksrheinischen Gebiet und im Raum westlich Heidelberg.

Größere Verbreitung im rechtsrheinischen Gebiet besitzen nur der Obere und der Untere Zwischenton. Der Obere Zwischenton tritt im wesentlichen nur nördlich der Linie Mannheim-Rheinau – Heidelberg auf. Seine Mächtigkeit beträgt maximal wenige Meter. Der Untere Zwischenton ist dagegen weiter verbreitet und mächtiger. Im Raum Schwetzingen – Hockenheim – Speyer ist er als geschlossener, 10–15 m mächtiger Komplex ausgebildet und wirkt als hydraulische Trennschicht innerhalb des MGWL. Auch linksrheinisch sind die beiden Zwischentone gebietsweise ausgebildet. Sie scheinen teilweise nach W zu mit dem Oberen Ton zu verschmelzen. Die Mächtigkeit des MGWL nimmt, wie die des OGWL, generell von W nach E, im mittleren Teil des Gebiets allseitig auf das „Heidelberger Loch“ hin stark zu (Abb. 4). Das Maximum erreicht sie dort mit rd. 190 m. Die Zone der größten Mächtigkeiten (meist 130–150 m) liegt von S her bis Heidelberg vor dem östlichen Grabenrand. Anders als beim OGWL zieht sie aber dann im Bogen über Ladenburg – westlich Viernheim wieder zum Ostrand der Grabenscholle bei Heppenheim. Bezüglich der nutzbaren Aquifermächtigkeit gilt das im Kap. 4.3.1.1 Gesagte.

4.3.1.4 Unterer Grundwasserleiter

Das vorwiegend aus einer Wechselfolge von Tonen, Schluffen und Sanden bestehende Altquartär wird als UGWL zusammengefaßt, obwohl darin gebietsweise mehrere hydraulische Teilstockwerke auftreten dürften. Kiese haben im UGWL i. a. nur eine geringe Verbreitung. Lediglich etwa ab der Einmündung des Neckars in den Oberrheingraben treten wie im MGWL in einer breiten Zone entlang dem Grabenrand nach N gehäuft sandige Kiese auf. Hier dürfte der UGWL gebietsweise mit dem MGWL hydraulisch zusammenhängen. Links des Rheins, wo das Altquartär gegen den Westrand der Grabenscholle und auf der Zwischenscholle an der Oberfläche ausstreicht, ist eine Trennung von MGWL und UGWL weder stratigraphisch noch hydraulisch möglich.

Im übrigen ist mangels tiefer Bohrungen vor allem rechtsrheinisch nur wenig über die Ausbildung des UGWL bekannt. Der Aufbau des Altquartärs wurde daher in den hydrogeologischen Schnitten (Anl. 4 u. 5) stark schematisch gezeichnet. Unsicherheiten bestehen weithin auch bei der Grenzziehung zum MGWL und zum Pliozän. Die in den Anl. 1, 4 und 5 dargestellten Grenzen sind daher größtenteils als vorläufig zu betrachten.

Da sich die altquartären Sedimente im unteren Teil oft nur wenig vom Pliozän unterscheiden (Kap. 3.2.3), ist die stratigraphische Grenze zwischen beiden Formationen vermutlich nicht überall identisch mit einer hydraulischen Grenze zwischen dem UGWL und dem GW-Leiter des Pliozäns. Dies dürfte vor allem im linksrheinischen Gebiet gelten. Für großräumige Betrachtungen ist die Gleichsetzung dieser Grenzen jedoch zweckmäßig und vertretbar, denn der GW-Umsatz ist im UGWL gegenüber dem im MGWL und OGWL so gering, daß Ungenauigkeiten in der Abgrenzung der Aquiferbasis nicht ins Gewicht fallen. Das Pliozän kann deshalb näherungsweise als GW-Sohlschicht des quartären Aquifers betrachtet werden (Struktur der Basis in Kap. 3.2.3 und Anl. 1).

Die Mächtigkeitsverteilung des UGWL im Gebiet der Grabenscholle ist gegenüber der im OGWL und MGWL insofern abweichend, als generell gleichmäßigere Verhältnisse zu herrschen scheinen. Im größten Teil des Untersuchungsgebiets betragen die Mächtigkeiten um 100 m. Maxima mit ca. 130 m bzw. um 150 m treten westlich Heidelberg und bei Frankenthal auf. Deutlich geringere Werte sind nur aus drei Bereichen bekannt: im Raum Worms etwa 40–80 m, im Raum Schifferstadt – Speyer etwa 70 m (Westrand der Grabenscholle) sowie im nach E anschließenden Raum Hockenheim – Wiesloch – Sandhausen. Dort treten als Folge der jungquartären Erosionsrinne (Kap. 3.2.3) die geringsten Mächtigkeiten mit 30–80 m auf.

4.3.2 Pliozäner Grundwasserleiter

Ähnlich wie das Altquartär besteht der pliozäne GW-Leiter überwiegend aus einer Wechselfolge von Tonen, Schluffen und Sanden. Mächtigkeit und z. T. auch Ausbildung des Pliozäns ändern sich von einem Grabenbereich zum anderen z. T. sehr (Kap. 3.2.2 und 3.2.3). Wo mächtige Sande, Grobsande und feinkiesige Grobsande eingeschaltet sind, ist die Transmissivität des GW-Leiters erhöht. Dies ist meistens im mittleren und unteren Teil der Schichtenfolge der Fall, und zwar überwiegend dort, wo das Pliozän insgesamt mächtig ist (synsedimentäre Rinnenbildungen). Ganz allgemein trifft dies für den Bereich der Grabenscholle, aber z. B. auch für den Speyerbach-Schwemmfächer zu, in dessen Bereich das höhere Pliozän im Quartär erodiert wurde. Im westlichen Teil der Zwischenscholle im Bereich Deidesheim – Wachenheim – Freinsheim stehen dagegen die höheren Teile des Pliozäns an (Wechselfolge von Schluffen, Tonen und Fein- bis Mittelsanden). Der mittlere und tiefere Teil des Pliozäns fehlt hier weitgehend oder ist stark reduziert.

Hydraulisch gesehen sind vermutlich innerhalb der Gesamtfolge mehrere Teilstockwerke entwickelt. Im Gebiet der Zwischenscholle, wo das Pliozän nahe der Oberfläche ansteht (Abb. 1 u. 2, Anl. 4), dürfte weithin keine

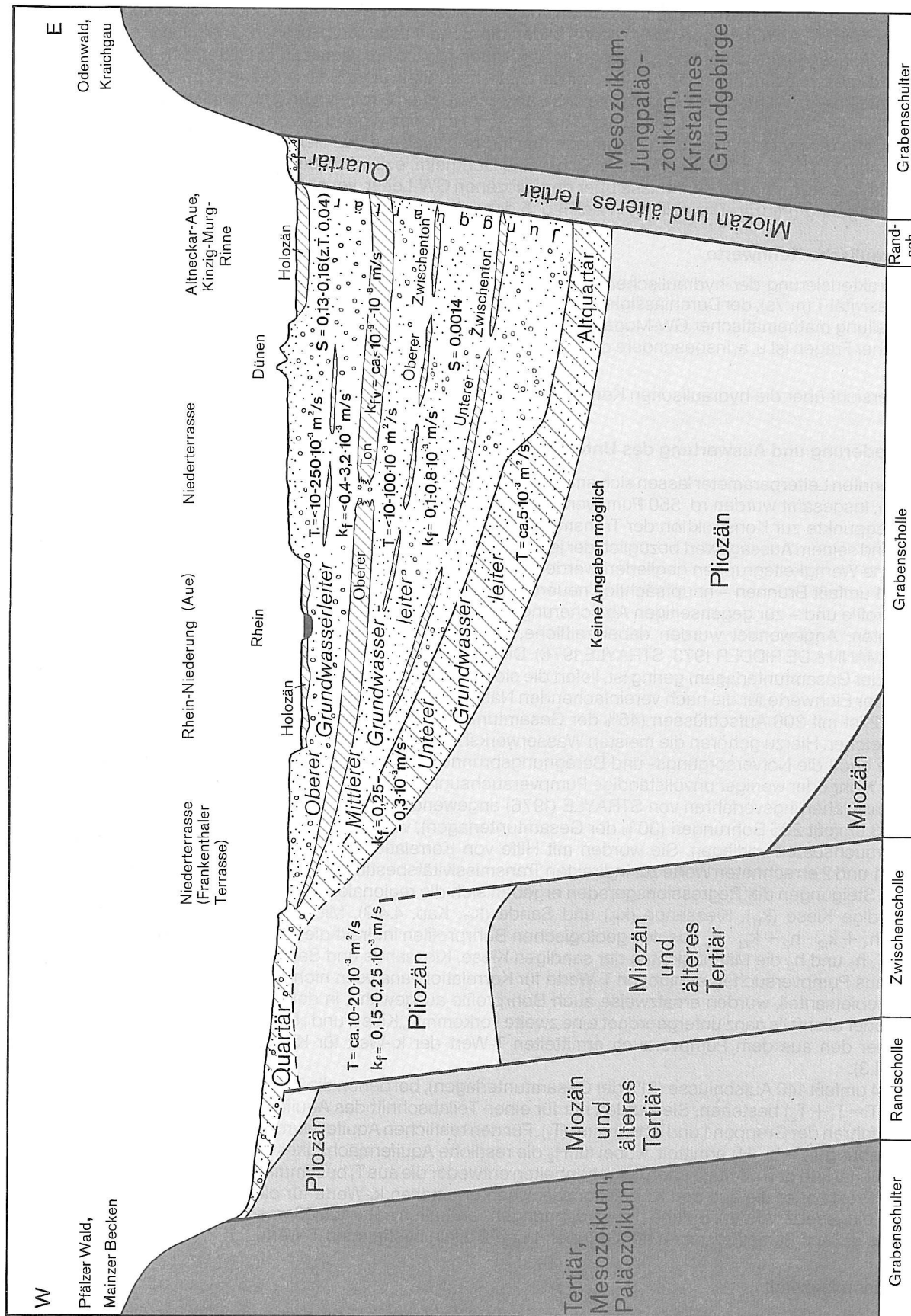


Abb. 5: Übersicht über die hydraulischen Kennwerte der Grundwasserleiter.

hydraulische Trennung zwischen dem quartären und dem pliozänen GW-Leiter vorhanden sein (Kap. 4.3.1.1). Die kalkig-mergeligen Ablagerungen des Miozäns bilden die Sohlsschicht des pliozänen GW-Leiters.

Die Grundwässer des Pliozäns sind z. T. vom unterlagernden Miozän her versalzen. Die Oberfläche des versalzten Grundwassers befindet sich im größten Teil der Grabenscholle in einer Tiefe von etwa 450 m u. Gel. (Ludwigshafen–Heidelberg). Während die Oberfläche des Salzwassers nach S relativ wenig ansteigt (bei Speyer auf 300 bis 350 m u. Gel.), liegt sie im N auf der rechten Rheinseite in Höhe von Worms 300 m u. Gel. und an der NE-Grenze des Untersuchungsgebiets westlich Einhausen nur 150 m u. Gel. Auf den Randschollen gelangt versalztes Grundwasser z. T. bis zur Erdoberfläche (z. B. bei Bad Dürkheim, evtl. auch bei Heppenheim).

Insgesamt gesehen sind die Kenntnisse über den pliozänen GW-Leiter, vor allem im rechtsrheinischen Gebiet, noch recht gering (Pliozän-Darstellung in Anl. 4 u. 5 daher teilweise schematisiert).

4.4 Hydraulische Kennwerte

Zur Charakterisierung der hydraulischen Eigenschaften eines Aquifers dienen als wichtigste Parameter die Transmissivität T (m^2/s), der Durchlässigkeitsbeiwert k_f (m/s) und der Speicherkoeffizient S (dimensionslos). Bei der Erstellung mathematischer GW-Modelle zur Untersuchung hydraulischer, hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Fragen ist u. a. insbesondere die Transmissivität und ihre räumliche Verteilung eine wichtige Grundgröße.

Eine Übersicht über die hydraulischen Kennwerte der verschiedenen GW-Leiter gibt Abb. 5.

4.4.1 Gliederung und Auswertung des Unterlagenmaterials

Die genannten Leiterparameter lassen sich am besten mit Hilfe von sachgemäß durchgeführten Pumpversuchen ermitteln. Insgesamt wurden rd. 550 Pumpversuche und über 200 Bohrprofile ausgewertet, die zusammen rd. 670 Belegpunkte zur Konstruktion der Transmissivitätsverteilung ergaben. Das Unterlagenmaterial kann entsprechend seinem Aussagewert bezüglich der jeweiligen geologischen und hydraulischen Verhältnisse in 4 verschiedene Wertigkeitsgruppen gegliedert werden.

Gruppe 1 umfaßt Brunnen – hauptsächlich neuere – mit vollständigen, genauen Beschreibungen der geologischen Profile und – zur gegenseitigen Absicherung – nach verschiedenen Methoden auswertbaren Pumpversuchsdaten. Angewendet wurden dabei zeitliche, räumliche, raumzeitliche und Wiederanstiegs-Verfahren (KRUSEMANN & DE RIDDER 1973, STRAYLE 1976). Diese Gruppe, deren Anteil mit insgesamt nur 26 Aufschlüssen (4% der Gesamtunterlagen) gering ist, liefert die sichersten und brauchbarsten Werte, die vor allem auch als Richt- oder Eichwerte für die nach vereinfachenden Näherungsverfahren (Gruppe 2) ermittelten Daten dienen. Gruppe 2 ist mit 300 Aufschlüssen (45% der Gesamtunterlagen) dementsprechend zahlenmäßig wesentlich umfangreicher. Hierzu gehören die meisten Wasserwerksbrunnen, fast alle Industrie- und Privatbrunnen sowie teilweise auch die Notversorgungs- und Beregnungsbrunnen. Von ihnen liegen zwar geologische Profile vor, aber nur mehr oder weniger unvollständige Pumpversuchsunterlagen oder Kurzpumpversuche. Am häufigsten wurde das Näherungsverfahren von STRAYLE (1976) angewendet.

Gruppe 3 umfaßt 205 Bohrungen (30% der Gesamtunterlagen), von denen nur geologische Profile aber keine Pumpversuchsdaten vorliegen. Sie wurden mit Hilfe von Korrelationsanalysen der nach den Verfahren der Gruppe 1 und 2 errechneten Werte zur indirekten Transmissivitätsbestimmung herangezogen (STRAYLE 1977). Aus den Steigungen der Regressionsgeraden ergeben sich die regionalen k_f -Werte für die drei Sedimentgruppen sandige Kiese (k_{f1}), Kiessande (k_{f2}) und Sande (k_{f3} ; Kap. 4.4.3). Mit ihnen kann nach der Beziehung $T = k_{f1} \cdot h_1 + k_{f2} \cdot h_2 + k_{f3} \cdot h_3$ aus den geologischen Bohrprofilen indirekt die Transmissivität ermittelt werden, wobei h_1 , h_2 und h_3 die Mächtigkeiten der sandigen Kiese, Kiessande und Sande bedeuten.

Wo die aus Pumpversuchen ermittelten T -Werte für Korrelationsanalysen nicht ausreichen, wie z. B. im hessischen Gebietsanteil, wurden ersatzweise auch Bohrprofile ausgewählt, in denen nur eine einzige Sedimentgruppe oder allenfalls ganz untergeordnet eine zweite vorkommt („Kies-“ und „Sandbrunnen“). Mit ihnen wurde dann über den aus dem Pumpversuch ermittelten T -Wert der k_f -Wert für Kiessande und Sande bestimmt (Kap. 4.4.3).

Gruppe 4 umfaßt 140 Aufschlüsse (21% der Gesamtunterlagen), bei denen die Transmissivität aus kombinierten Werten ($T = T_1 + T_2$) bestehen. Sie wurden nur für einen Teilabschnitt des Aquifers direkt aus Pumpversuchen nach Verfahren der Gruppen 1 und 2 bestimmt (T_1). Für den restlichen Aquifer wurde die Transmissivität (T_2) nach der Beziehung $T_2 = k_f \cdot H_2$ ermittelt, wobei für H_2 die restliche Aquifermächtigkeit und für k_f je nach dem Unterlagenmaterial und den geologischen Gegebenheiten entweder die aus T_1 bestimmte lokale mittlere Durchlässigkeit des Profils oder die aus den Korrelationsanalysen ermittelten k_f -Werte für die verschiedenen Sedimentgruppen eingesetzt wurden. Solche „Hochrechnungen“ enthalten naturgemäß wesentlich größere Ungenauigkeiten als die aus Pumpversuchen der Gruppen 1 und 2 allein bestimmten T -Werte.

4.4.2 Transmissivität

Die Transmissivität (T) entspricht der Wassermenge, die in der Zeiteinheit bei dem hydraulischen Gefälle 1 durch einen Aquiferquerschnitt mit der Mächtigkeit H und der Breite 1 m fließt.

Beispielsweise bedeutet eine Transmissivität von $T = 60 \cdot 10^{-3} m^2/s$, daß bei einem Gefälle von 0,001 (1‰), wie es in der Oberrheinebene häufig vorkommt, durch einen Aquifer pro 1 km Breite 60 l/s abströmen.

Basierend auf den nach den oben (Kap. 4.4.1) beschriebenen Methoden ermittelten Transmissivitätswerten wurde für den OGWL eine Karte mit Linien gleicher Transmissivität konstruiert.

Für den MGWL konnte nur im baden-württembergischen Gebietsanteil eine entsprechende Transmissivitätskarte erstellt werden, allerdings mit wesentlich weniger Belegpunkten als für den OGWL. Im hessischen Gebietsanteil war – mangels genügend tieferer Bohrungen – die Transmissivität im MGWL nur bis zu einer Tiefe von 100 m zu ermitteln, d. h. etwa für die obere Hälfte des MGWL (etwa ab 20–40 m unter Gelände). Für den UGWL können dagegen mangels Bohrungen und Pumpversuchen nur punktuell einige überschlägige Einzelwerte der Transmissivität angegeben werden. Noch weniger Werte liegen für den pliozänen GW-Leiter vor.

Diesem Bericht ist die am besten belegte Karte der Transmissivitätsverteilung im OGWL beigegeben (Anl. 6). Sie spiegelt generell – lokale Abweichungen ausgenommen – die im Untersuchungsraum vorliegenden geologischen Verhältnisse nach Aufbau, Mächtigkeit, Ausbildung und Durchlässigkeit der Kies-/Sandablagerungen integrierend wider, wie sie im Kap. 4.3 beschrieben sind. Dementsprechend nimmt die Transmissivität generell nach E und zum „Heidelberger Loch“ hin zu, wo die größten Mächtigkeiten des OGWL auftreten.

Rechtsrheinisch treten die höchsten Transmissivitäten mit bis über $100 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und Spitzenwerten bis $250 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ im Bereich des Neckar-Schwemmfächers im Raum Heidelberg – Mannheim – Weinheim auf. Sie sind neben dem Anwachsen der Aquifermächtigkeit vor allem auch auf die Zunahme des mittleren k_f -Wertes zurückzuführen, der im Bereich des zentralen Neckar-Schwemmfächers etwa um das 4fache höher liegt als im angrenzenden Bereich der Rheinablagerungen (Kap. 4.4.3). Deutlich hervor treten drei große, von der Mündung des Neckartals ausgehende Zungen – Teilzungen alter Neckarläufe mit Kiesen erhöhter Durchlässigkeit –, die sich nach NW bis Mannheim-Seckenheim, nach SW bis Schwetzingen und nach N in Richtung Weinheim bis über Laudenbach hinaus erstrecken. Am Rand des Neckar-Schwemmfächers, im Verzahnungsbereich mit den Rheinablagerungen, nehmen die T-Werte rasch, oft sprunghaft auf etwa $60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ab (s. auch SIDKI 1978). Südlich und nördlich des Neckar-Schwemmfächers überwiegen die Bereiche mit T-Werten von $20 - 60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, bei einer generellen Abnahme nach W in Richtung Rhein. Entlang diesem gehen sie infolge der verringerten Aquifermächtigkeit auf unter $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ zurück. Lokal, z. B. in Rinnen, treten durchaus auch höhere Werte auf. Linksrheinisch, wo der OGWL weiter an Mächtigkeit abnimmt und schließlich zur westlichen Verbreitungsgrenze des Oberen Tons hin auskeilt (Kap. 4.3.1.2), unterschreiten die Werte meist $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Entlang dem Ostrand der Grabenscholle gehen die T-Werte teilweise ebenfalls infolge der Zunahme tonig-schluffiger Einlagerungen durch Einschwemmungen vom Randgebirge auf unter $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ zurück. Ähnliche T-Werte gelten auch für die grundwassererfüllten, geringmächtigen quartären Kiese und Sande auf den Randschollen entlang dem Grabenoststrand.

In den Bereichen, in denen der Obere Ton fehlt – wie vor allem im südöstlichen Teil des Untersuchungsraumes – bilden der OGWL und der MGWL hydraulisch eine Einheit. Deshalb kann dort eigentlich nur die Gesamttransmissivität für beide zusammen angegeben werden. Da dies jedoch nur für den baden-württembergischen Gebietsanteil möglich ist, sind solche Bereiche mit einer Einheitssignatur dargestellt. Im hessischen Gebietsanteil ist die Transmissivität im MGWL nur bis 100 m Tiefe bestimmbar und im linksrheinischen Gebiet ist der MGWL über weite Bereiche nicht mehr eindeutig faßbar.

Die Transmissivitätsverteilung im MGWL zeigt eine den geologischen Verhältnissen entsprechende ähnliche Grundstruktur wie die Transmissivitätsverteilung im OGWL, mit einer generellen Zunahme der T-Werte von W nach E und zum „Heidelberger Loch“ hin. Dies gilt sowohl für den baden-württembergischen Gebietsanteil von der Unterkante des Oberen Tons bis zur Oberkante des Altquartärs als auch für den hessischen Gebietsanteil bis 100 m Tiefe. Die höchsten T-Werte (gesamter MGWL) treten wiederum im Bereich des zentralen Neckar-Schwemmfächers mit $80-100 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ auf. Im übrigen Bereich der östlichen Grabenhälfte liegen sie vorwiegend bei $40-60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, während sie zum Rhein hin auf $10-40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ abnehmen und linksrheinisch noch geringer sind. Für den UGWL mit etwa $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und den pliozänen GW-Leiter mit etwa $10-20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ sind einigermaßen gesicherte Angaben nur im linksrheinischen Gebiet möglich.

4.4.3 Durchlässigkeitsbeiwert

Der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f) entspricht der Wassermenge, die in der Zeiteinheit bei dem hydraulischen Gefälle 1 durch den rechtwinklig zur Fließrichtung angeordneten Einheitsquerschnitt (1 m^2) strömt. Beispielsweise bedeutet ein k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$, daß bei einem GW-Gefälle von 0,001 (1‰) durch eine Querschnittsfläche von 1 m^2 eine Wassermenge von 0,001 l/s fließt.

Die Bestimmung der k_f -Werte erfolgte bei allen Brunnen, für die auch T-Werte (Kap. 4.4.2) ermittelt wurden, indirekt nach der Beziehung $k_f = T/H$ (m/s), wobei eingelagerte Ton-/Schluffhorizonte in H nicht enthalten sind. Die k_f -Werte geben die mittlere Durchlässigkeit der durch den Pumpversuch getesteten Aquiferteile in der Umgebung der Brunnen an. Zusätzlich wurden die k_f -Werte teilweise auch direkt aus Pumpversuchen nach den für stationäre Verhältnisse gültigen Brunnenformeln berechnet.

Die statistische Auswertung der so ermittelten k_f -Werte ergibt eine geologisch-lithologisch bedingte Gliederung in verschiedene k_f -Wert-Bereiche. Sie sind für den OGWL und MGWL – im hessischen Gebietsanteil bis 100 m Tiefe – in Tab. 2 und Abb. 6 zusammengestellt. Für den UGWL und den pliozänen GW-Leiter sind mangels entsprechender Aufschlüsse nur wenig Angaben möglich. Insgesamt ist festzustellen, daß die mittlere Durchlässigkeit des OGWL etwa um das 2- bis 3fache über der des MGWL liegt. Die etwas höheren k_f -Werte im MGWL im hes-

Tab. 2: Mittlere k_T -Werte (10^{-3} m/s) der Grundwasserleiter (ohne Ton- und Schlufflagen). Bereiche s. Abb. 6.

	Linksrheinisches Gebiet				Rechtsrheinisches Gebiet					
Bereiche	Speyer- bach- Schwemm- fächer	Franken- thaler Terrasse	Rhein- Niederung	Rhein- Niederung	Nieder- terrasse	Verzahnungs- bereich Neckar-/ Rhein- ablagerungen	Gebiet westl. des Neckar- Schwemm- fächers	Gebiet südl. des Neckar- Schwemm- fächers	Zentraler Neckar- Schwemm- fächer	Altneckar- Aue
Oberer GW-Leiter	<0,6	<0,4	0,7	0,65	1,5	1,5	0,7	1,1	3,2	1,3
Mittlerer GW-Leiter	0,1	0,1	0,1	0,5 (bis 100 m Tiefe)	0,75 (bis 100 m Tiefe)	0,5	0,25	0,45	0,7	0,8 (bis 100 m Tiefe)
Unterer GW-Leiter	0,3	0,25	0,25	keine Angaben möglich						
Pliozäner GW-Leiter	0,15	0,25	0,25	keine Angaben möglich						

Tab. 3: Mittlere k_r -Werte (10^{-3} m/s) für sandige Kiese, Kiessande und Sande. Bereiche s. Abb. 6.
Die mit * gekennzeichneten Werte wurden mit multiplen linearen Regressionen ermittelt.

Bereiche	Linksrheinisches Gebiet			Rechtsrheinisches Gebiet				
	Frankenthaler Terrasse und Speyerbach-Schwemmfächer	Rhein-Niederung		Niederterrasse		Gebiet südlich und westlich des Neckar-Schwemmfächers		Verzahnungsbereich und zentraler Neckar-Schwemmfächer
Sediment-Gruppen	Kies-sande	Sande	Kies-sande	Kies-sande	Sande	sandige Kiese	Kies-sande	Sande
Oberer GW-Leiter	1	0,1–0,5	2–3	0,3–0,5	1,7	0,8	1,85*	<0,5
							6,8*	<0,5
								0,7
Mittlerer GW-Leiter	0,5–1	0,1–0,3	0,5–1	0,1–0,3	1,6	0,8	0,4*	0,15*
							0,45*	0,1
								(bis 100 m Tiefe)
Unterer GW-Leiter	keine Angaben möglich							
Pliozäner GW-Leiter	keine Angaben möglich							

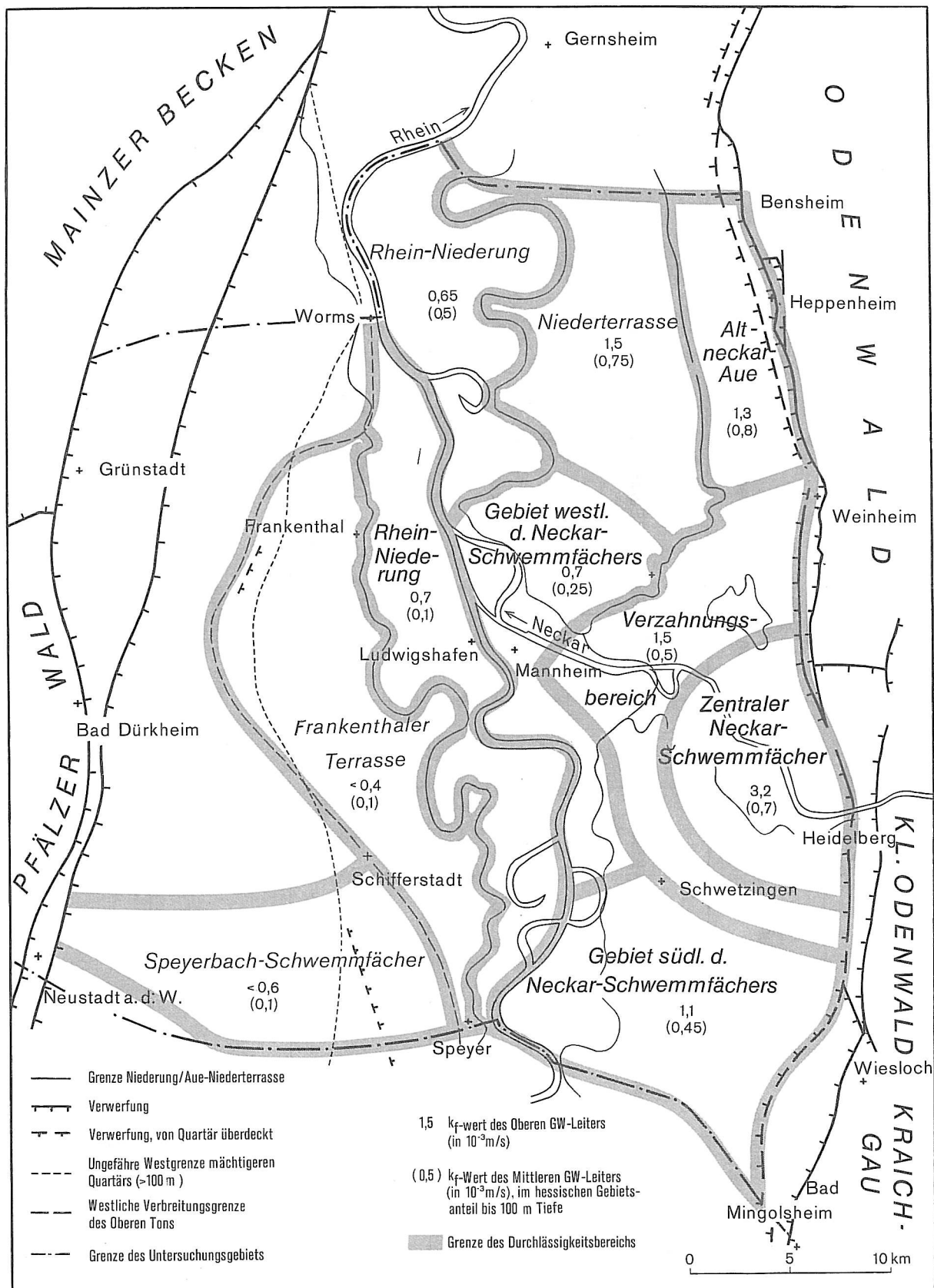


Abb. 6: Bereiche mit mittleren Durchlässigkeitsbeiwerten des Oberen und des Mittleren Grundwasserleiters.

sischen Gebietsanteil sind vielleicht darauf zurückzuführen, daß sie nur dessen oberen, kiesigeren und etwas lockerer gelagerten Teil repräsentieren.

In Tab. 3 sind die mittleren k_f -Werte der verschiedenen Sedimentgruppen (sandige Kiese, Kiessande und Sande) im Rhein-Neckar-Raum zusammengestellt. Sie wurden im baden-württembergischen Gebietsanteil vorwiegend mit Hilfe multipler linearer Regressionen ermittelt, z. T. auch, wie im hessischen Gebietsanteil ausschließlich, aus Pumpversuchen in „Kies“- und „Sandbrunnen“ (Kap. 4.4.1). Für die Rhein-Niederung im hessischen Gebietsanteil sind genauere Angaben bis jetzt kaum möglich, da dort reine „Kies“- und „Sandbrunnen“ fehlen. Die Auswertung ergibt jedoch, daß östlich der Linie Wattenheim – Hofheim – Kirchgartshausen etwa die k_f -Werte des Bereichs der Altneckar-Aue gelten und erst westlich davon eine Abnahme eintritt, und zwar auf Werte, die am Westufer des Rheins nur mehr halb so hoch sind wie im Bereich der Altneckar-Aue.

Die Durchlässigkeit des Oberen Tons ist für die Frage der hydraulischen Beziehungen zwischen dem OGWL und dem MGWL von großer Bedeutung (Kap. 5.6). Experimentelle Bestimmungen der vertikalen Durchlässigkeit (k_{fv}) an mehreren tonig-schluffigen Bohrkernen aus dem Oberen Ton ergaben Werte zwischen $< 10^{-9}$ und 10^{-8} m/s (Abb. 5). Wo der Obere Ton in Feinsand übergeht oder in Teilhorizonte aufspaltet, die durch Sand- oder Kiessandlagen voneinander getrennt sind, ist die mittlere vertikale Durchlässigkeit des ganzen Trennhorizonts größer. Die Anisotropie der Durchlässigkeit, d. h. das Verhältnis von mittlerer horizontaler zu mittlerer vertikaler Durchlässigkeit eines Profils ($k_{fh}:k_{fv}$), wurde an einigen ausgewählten Profilen für den OGWL und MGWL aus Siebanalysen der Einzelschichten nach KOZENY (1927) und TERZAGHI (1943) bestimmt. Sie ist ein quantitatives Maß dafür, wie weit die Leiter-Eigenschaften von der den meisten Auswertungsverfahren für Pumpversuche zugrunde liegenden idealisierten Annahme der Isotropie, d. h. richtungsunabhängiger Durchlässigkeit, abweicht. Die ermittelten Anisotropie-Werte, die sich nur auf die Kies-Sand-Schichten ohne Ton-Schluff-Horizonte beziehen, zeigen, daß die horizontale Fließkomponente gegenüber der vertikalen dominiert, wobei keine auffallenden Unterschiede zwischen dem OGWL (Mittelwert $k_{fh}:k_{fv} = 4,3:1$) und dem MGWL (Mittelwert $k_{fh}:k_{fv} = 3,2:1$) erkennbar sind.

4.4.4 Speicherkoeffizient

Der Speicherkoeffizient (S) entspricht der Wassermenge, die ein Aquifer pro 1 m^3 Volumen und unter der Druckänderung 1 m abgibt oder speichert. Er ist dimensionslos. In ungespannten Leitern stimmt der Speicherkoeffizient praktisch mit dem nutzbaren Porenvolumen überein. Er wurde aus Pumpversuchen ermittelt. Rechtsrheinisch ergeben sich für den ungespannten sandig-kiesigen OGWL Mittelwerte von $S=0,13$ im S und $S=0,16$ im N bei Schwankungen von 0,09 bis 0,21. Linksrheinisch gehen die S-Werte nach W im Bereich der Frankenthaler Terrasse z. T. erheblich zurück, während sie im Speyerbach-Schwemmfächer etwa in der gleichen Größenordnung wie rechts des Rheins liegen dürften. Teilweise, wie z. B. im Bereich der Rhein-Niederung und der Aue des frühholozänen Neckarlaufs entlang der Bergstraße (Altneckar-Aue), ist das Grundwasser im OGWL gespannt bzw. halbgespannt, wo bei mittleren und höheren Wasserständen der Leiter bis zur abschließenden Auelehmdecke wassererfüllt ist. Halbgespannte Verhältnisse herrschen häufig auch in den tieferen, durch Ton-Schlufflagen untergliederten Bereich des OGWL, wo sie z. T. auch durch starke Anisotropien verursacht werden ($S = 0,04$ bei Schwankungen von 0,01–0,06). In gespannten GW-Leitern, wie dem MGWL und UGWL sowie im pliozänen GW-Leiter, sind die S-Werte wesentlich kleiner ($S = 10^{-5}$ bis 10^{-6} pro Meter Aquifermächtigkeit).

5. Hydrologie

5.1 Gewässerkundliche Beschreibung

5.1.1 Hydrologisches Meßnetz und vorhandenes Datenmaterial

5.1.1.1 Grundwassermeßstellen

Zur Beobachtung des Grundwassers stehen im Untersuchungsgebiet 455 amtliche GW-Meßstellen zur Verfügung. Bei Stichtagsmessungen, die im Rahmen dieser Untersuchungen zweimal jährlich (April u. Oktober) zur Konstruktion von GW-Gleichenplänen durchgeführt werden, werden 555 Zusatzmeßstellen (nicht amtliche Meßstellen) herangezogen. Die Gesamtzahl der amtlichen und nichtamtlichen Meßstellen beträgt 1010. Aus der Tab. 4 ist die Anzahl der Meßstellen in den einzelnen Teilgebieten zu ersehen.

Das amtliche Meßnetz wurde in den letzten Jahren durch Übernahme von Meßstellen und stillgelegter Brunnen öffentlicher und privater Wasserwerke sowie durch Neubohrungen verdichtet. In Anl. 7 sind die Standorte der amtlichen und nicht amtlichen Meßstellen eingetragen. Wie in der hydrogeologischen Beschreibung im Kap. 4.3 ausgeführt wurde, ist im Untersuchungsgebiet zu unterscheiden zwischen dem Grundwasser im OGWL (linksrheinisch oberflächennahes Grundwasser, Kap. 4.3.1.1), im folgenden kurz als oberes Grundwasser bezeichnet, und dem Grundwasser in den tieferen GW-Leitern, kurz tieferes Grundwasser.

Da im oberen und im tieferen Grundwasser unterschiedliche hydraulische Verhältnisse herrschen, sind zu deren Erkundung getrennte Meßstellennetze erforderlich (flache und tiefe Meßstellen).

5.1.1.1.1 Flache Meßstellen

Das Meßstellennetz zur Beobachtung des oberen Grundwassers besteht aus Beobachtungsrohren mit Tiefen von 10 bis 20 m. Der Rohrdurchmesser beträgt zumindest bei den neugebohrten Meßstellen in der Regel 100 mm,

Tab. 4: Anzahl der Grundwassermeßstellen (Stand: Februar 1978)

Teilgebiet		Baden- Württemberg	Hessen	Rheinland-Pfalz
Fläche		500 km ²	240 km ²	680 km ²
amtliche	flach	205	72	93
	tief	68	—	17
	gesamt	273	72	110
nicht amtliche	flach	320	124	54
	tief	6	15	36
	gesamt	326	139	90
amtliche und nicht amtliche	flach	525	196	147
	tief	74	15	53
	gesamt	599	211	200
	km ² /Meßstelle (flach)	0,95	1,1	4,6
	km ² /Meßstelle (tief)	6,8	16	12,8

so daß eine einwandfreie Wasserprobenentnahme zur hydrochemischen Untersuchung und der Einsatz von Registriergeräten möglich sind.

Im gesamten Untersuchungsgebiet bestehen 370 amtliche GW-Meßstellen mit einem wöchentlichen Beobachtungssturnus. An einigen Stellen sind zur kontinuierlichen Aufzeichnung der GW-Stände Schreibgeräte eingebaut.

Die Zahl der nicht amtlichen Meßstellen beträgt 498. Dies sind Meßstellen, die in erster Linie in Wassergewinnungsgebieten liegen oder in Gebieten, in denen größere wasserbauliche Maßnahmen durchgeführt worden sind. Als Zusatzmeßstellen werden auch stillgelegte Brunnen, Feuerlöschbrunnen, nicht mehr genutzte Beregnungsbrunnen oder Notwasserversorgungsbrunnen benutzt. Sie werden teils wöchentlich, teils im Abstand von 2 bis 4 Wochen oder auch nur an Stichtagen abgelesen.

Bei einer Fläche des Untersuchungsgebietes von 1420 km² errechnet sich eine Dichte von 1 Meßstelle auf 1,6 km².

Aus der Anl. 7 ist zu erkennen, daß die flächenmäßige Verteilung der Meßstellen sehr unterschiedlich ist. In Gebieten mit starker GW-Nutzung wie z. B. im Raum Mannheim-Ludwigshafen besteht unter Berücksichtigung der Zusatzmeßstellen ein relativ dichtes Netz. Insgesamt gesehen ist das Meßstellennetz im rechtsrheinischen Gebiet bedeutend dichter als im linksrheinischen Gebiet (Tab. 4).

Von einigen rechtsrheinischen amtlichen Meßstellen liegen Meßwerte bereits seit 1913/14 vor. Anfang der fünfziger Jahre und ab 1972 wurde das Meßnetz wesentlich erweitert.

Im linksrheinischen Untersuchungsgebiet wurde der Großteil der Meßstellen erst Mitte der fünfziger Jahre eingerichtet. In den letzten Jahren erfolgte insbesondere durch Übernahme kommunaler und privater Beobachtungsstellen eine Verdichtung des Meßnetzes.

5.1.1.2 Tiefe Meßstellen

Zur Beobachtung des tieferen Grundwassers stehen derzeit nur 142 amtliche und nicht amtliche Meßstellen zur Verfügung, die überwiegend erst in jüngster Zeit eingerichtet worden sind. Die Meßstellendichte beträgt 1 Meßstelle auf 10 km². Sie erreicht somit nur 1/10 der Meßstellendichte im oberen Grundwasser. Dies liegt darin begründet, daß die Nutzung des tieferen Grundwassers zu Trink- und Brauchwasserzwecken aus qualitativen Gründen erst in den letzten Jahrzehnten einsetzte und eine tiefe Meßstelle im Mittel etwa das 30-fache einer flachen Meßstelle kostet.

Die Meßstellen sind in der Regel ca. 100 m tief, bereichsweise sind Erkundungsbohrungen bis über 250 m abgeteuft und zu Meßstellen ausgebaut worden. Die meisten wurden als Mehrfachmeßstellen eingerichtet, so daß am selben Ort eine getrennte Beobachtung des oberen und des tieferen Grundwassers möglich ist.

Im linksrheinischen Gebiet wurde das Meßnetz durch Notwasserversorgungsbrunnen, die gegenüber dem OGWL abgedichtet sind, und durch Übernahme von Meßstellen privater und kommunaler Wasserwerke erst in den letzten Jahren aufgebaut.

Rechtsrheinisch ist das Meßstellennetz des tieferen Grundwassers dichter (Tab. 4). Es wurde in den Jahren 1976 bis 1978 im Rahmen dieser Untersuchungen gezielt verdichtet.

5.1.1.2 Lysimeteranlagen

Zur Erkundung der GW-Neubildung aus den Niederschlägen bestehen im gesamten Gebiet 20 Lysimeter (System FRIEDRICH-FRANZEN). Davon liegen 7 im linksrheinischen und 13 im rechtsrheinischen Gebiet. Vor allem im hessischen Teilgebiet werden an den Lysimetern ergänzende Bodenfeuchtemessungen mit der Neutronen-sonde durchgeführt. Die Lysimeteranlagen sind in die im Untersuchungsraum vorkommenden wichtigsten Bodenarten mit Feldkapazitäten bis zu 185 mm pro 1 m Profil eingebaut. Sie liegen in Wiesen und Äckern.

5.1.1.3 Oberflächenpegel

Zur Erfassung des Rheinabflusses stehen die Abflußpegel in Speyer und Worms zur Verfügung. Für die Beobachtung der Rheinwasserstände befinden sich zwischen Speyer und Worms auf einer Flußlänge von 43 km 1 Schreibpegel (Mannheim) und 5 Lattenpegel. Sie werden von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes betrieben. Die Meßdaten reichen teils bis Ende des letzten Jahrhunderts zurück. Im linksrheinischen Gebiet bestehen seit über 20 Jahren 7 Abflußpegel an den wichtigsten Nebengewässern. Die Standorte liegen jedoch größtenteils am Gebirgsrand. Seit 1975 werden im südlichen Untersuchungsgebiet, und zwar am Rehbach und Speyerbach, zwei weitere Pegel in Mündungsnähe zur Erfassung der Niedrig- und Mittelwasserführung betrieben. Rechtsrheinisch liegen an der Weschnitz zwei Abflußpegel bei Weinheim und Lorsch, ein weiterer am Kraichbach bei Bruchsal. Zur Erfassung der Wasserstände sind am Neckar, an der Weschnitz und den weiteren Nebengewässern über 30 Lattenpegel vorhanden, die außer zu Stichtagsmessungen teilweise auch täglich abgelesen werden.

5.1.1.4 Niederschlagsstationen

Zur Ermittlung der Niederschlagsverteilung stehen 24 Niederschlagsstationen zur Verfügung, die recht gleichmäßig über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt sind. Das entspricht einer Dichte von 1 Station auf rd.

60 km². 11 Meßstellen liegen im linksrheinischen und 13 im rechtsrheinischen Gebiet. Sie werden vom Deutschen Wetterdienst betrieben. Der Beobachtungszeitraum beträgt mehr als 60 Jahre.

5.1.2 Allgemeine Hydrologie

5.1.2.1 Meteorologische und klimatische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet weist ein trockenwarmes Klima auf. Die Lufttemperatur liegt im Jahresmittel über 9° C und im Juli bei 19° C. Dadurch treten in dem regenarmen Gebiet verhältnismäßig hohe Werte für die Gebietsverdunstung zwischen 450 mm und 550 mm im Jahr auf. In langanhaltenden Trockenzeiten über mehrere Jahre (z. B. 1971/76) ist die Verdunstung gebietsweise größer als der Niederschlag.

Die Verteilung der langjährigen mittleren Niederschläge im Untersuchungsraum ist aus dem Beobachtungszeitraum 1931/60 ermittelt worden. Die mittleren Niederschlagshöhen sind verhältnismäßig gering. In Trockenjahren können sie fast auf die Hälfte des Mittelwertes absinken. Im linksrheinischen Gebiet fallen im Mittel geringere Niederschläge als im rechtsrheinischen Raum. Dies ist darauf zurückzuführen, daß wegen vorherrschender Westwinde der linksrheinische Raum im Lee des Pfälzer Waldes und die rechte Rheinseite im Luv des Odenwaldes liegen. Während am Haardtrand noch mittlere jährliche Niederschlagshöhen von 700 mm überwiegen, nehmen sie bis zur Rhein-Niederung bereichsweise bis unter 500 mm ab (Anl. 7). Im Mittel kann im linksrheinischen Untersuchungsgebiet mit 550 mm gerechnet werden. In der rechtsrheinischen Ebene steigt der Niederschlag nach E zum Odenwald hin auf 800 mm wieder an. Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe in der Ebene liegt im N bei 650 mm und im S bei 700 mm. Dabei verhalten sich die Niederschlagshöhen des Sommerhalbjahres zu denen des Winterhalbjahres wie 1,4:1.

5.1.2.2 Oberirdischer Abfluß

Rhein

Hauptvorfluter ist der Rhein, der zwischen Strom-km 400 und 443 das Untersuchungsgebiet durchfließt. Der Flußlauf und die Landschaft im Uferbereich sind in entscheidender Weise durch die Rheinkorrektur geprägt. Das Strombett ist für die Schifffahrt ausgebaut. Die mittlere Wasserführung liegt im Untersuchungsgebiet zwischen 1242 m³/s (MQ 1936/75; Pegel Maxau) und 1383 m³/s (MQ 1936/75; Pegel Worms). Die durch die Rheinkorrektur entstandenen Altrheinarme haben einen stark unterschiedlichen Charakter. Teilweise sind sie ausgebaut und werden für die Schifffahrt genutzt, wie z. B. der Altrhein bei Mannheim. Andere Altrheinarme erhalten durch einmündende Gewässer einen ständigen Zufluß oder sie sind trockengelegt und urbar gemacht oder durch Kiesbaggerei umgestaltet und dienen teilweise Erholungszwecken. Der Rheinwasserstand, der im Betrachtungsgebiet von den örtlichen Niederschlägen und den Nebenbächen nahezu unabhängig ist, beeinflußt in starkem Maße die GW-Stände in der Rhein-Niederung.

Rechtsrheinische Zuflüsse

Das wichtigste Nebengewässer des Rheins im Untersuchungsgebiet ist der Neckar mit einer mittleren langjährigen Wasserführung von MQ = 133 m³/s (1951/70) am Pegel Rockenau (oberhalb Heidelberg). Bis zur Mündung erhöht sich die mittlere Wasserführung auf ca. 150 m³/s. In der Rheinebene ist der Neckar seit 1928 für die Schifffahrt ausgebaut. Dadurch hat er seine Vorflutfunktion streckenweise verloren. Die neugebauten Kraftwerks- und Schifffahrtskanäle sind abgedichtet. Die ursprünglichen Neckarstrecken stehen zwar weiterhin mit dem Grundwasser in hydraulischer Verbindung, jedoch führen große Abschnitte während der längsten Zeit des Jahres nur Pflichtwassermengen von 10 bzw. 5 m³/s ab.

Als zweiter wichtiger Nebenfluß im rechtsrheinischen Gebiet ist die Weschnitz zu nennen, die zwischen Weinheim und Lorsch in die Neue und Alte Weschnitz geteilt ist. Nördlich von Lorsch quert sie in E-W-Richtung die Dünenfelder des Lorsch und Jägersburger Waldes und mündet bei Rhein-km 454,5 in den Rhein. Ihre Mittelwasserführung beträgt am Pegel Lorsch rd. 3,30 m³/s (1956/75). Der gesamte Flußlauf in der Oberrheinebene ist reguliert und eingedeicht. Während eine Einspeisung von Grundwasser in die Weschnitz heute nur noch im Bereich der Mündungsstrecke erfolgen kann, besteht umgekehrt nach dem derzeitigen Kenntnisstand nur eine geringe Flußinfiltration in das Grundwasser.

Neben diesen beiden Hauptgewässern ist eine Reihe von kleinen Bächen zu nennen, die in der Regel nur das Wasser aus dem Kraichgau und dem Odenwald durch die Rheinebene ihren Vorflutern zuleiten. Es sind dies von S nach N:

Kraichbach, Hardtgraben, Leimbach (Vorfluter Rhein)

Kanzelbach (Vorfluter Neckar)

Landgraben, Schwalbenzahl, Stadtbach und Meerbach (Vorfluter Weschnitz).

Der Oberflächenabfluß auf der Niederterrasse ist vernachlässigbar klein.

Linksrheinische Zuflüsse

Das linksrheinische Untersuchungsgebiet ist durch ein engmaschiges oberirdisches Gewässernetz geprägt. Die Bäche weisen je nach ihrem Einzugsgebiet eine unterschiedliche Abflußcharakteristik auf. Sie strömen weit-

gehend von W her in E- bzw. NE-Richtung durch die Ebene dem Rhein zu. Größere Bäche wie Speyerbach und Isenach entspringen im Pfälzer Wald und haben dort ein ausgedehntes Einzugsgebiet. Die kleinen Bäche entspringen meistens am Gebirgsrand. Im Gegensatz zum rechtsrheinischen Gebiet erfolgt hier im Hügelland ein ins Gewicht fallender Abfluß. Durch umfangreiche Ausbaumaßnahmen ist insbesondere im südlichen Teilgebiet ein Netz aus natürlichen und künstlichen Wasserläufen entstanden, so daß bereichsweise keine klar definierbaren Fließwege vorhanden sind. Systematische Abflußmessungen in den trockenen Jahren 1973/74 haben gezeigt, daß in der Ebene eine Einspeisung des Grundwassers in die Vorfluter erfolgt. Örtlich versickert aber auch Bachwasser. Im Mittel beträgt die Niedrigwasserabflußspende in der Ebene 0,3 bis 0,6 l/s · km². Die fünf wichtigsten Bäche von S nach N sind:

Trockenwetterabflüsse an
der Mündung (Mittelwerte der
Messungen im Okt. 1973 und
Sept. 1974)

	l/s
Speyerbach	1170
Rehbach	420
Isenach	334
Eckbach	120
Eisbach	244

Der Rehbach ist ein Teil des Speyerbaches.

5.1.2.3 Bodenfeuchte und Versickerung

Mit Ausnahme der Hänge der beiderseitigen Randgebirge und des vorderpfälzischen Hügellandes weist das übrige Gebiet im allgemeinen nur ein schwaches Relief auf. Da außerdem vor allem im Bereich der Niederterrassen relativ gut durchlässige Deckschichten vorhanden sind, versickert bei vernachlässigbar kleinem Oberflächenabfluß ein Großteil der Niederschläge. Die Absickerung zum Grundwasser, d. h. die GW-Neubildung ist aber wegen der relativ hohen Verdunstung geringer und findet nur dann statt, wenn die Feldkapazität erreicht oder überschritten wird. Diese hydrologisch wichtige Kenngröße, deren Größenordnung von Bodenart und Bodentyp abhängig ist, entspricht der maximalen Wassermenge, die der Boden entgegen der Schwerkraft speichern kann. Untersuchungen des Bodenfeuchteganges und Lysimeterbeobachtungen zeigen, daß die GW-Neubildung im wesentlichen im Winterhalbjahr stattfindet. Da in den letzten Jahren die Winterniederschläge vorwiegend unterdurchschnittlich waren und daher das für das Sommerhalbjahr typische Bodenfeuchtedefizit nicht ausgeglichen werden konnte, erfolgte in weiten Bereichen nur eine vergleichsweise geringe niederschlagsbürtige GW-Neubildung.

5.1.2.4 Grundwasser

Die im Oberrheingraben abgelagerten Lockergesteine des Pliozäns und Quartärs enthalten die bedeutendsten GW-Vorkommen Südwestdeutschlands. Durch die vor allem im zentralen Teil des Untersuchungsgebietes ausgeprägte Stockwerksgliederung der von Grundwasser erfüllten Schichtenfolge (OGWL, tiefere GW-Leiter) erfolgt eine Unterteilung in oberes und in tieferes Grundwasser (Kap. 4.3.1). Das obere Grundwasser weist meist eine freie Oberfläche auf, während das tiefere Grundwasser gespannt ist. In den Gebieten, wo der Obere Ton nicht vorhanden ist, sind oberes und tieferes Grundwasser nicht voneinander zu trennen und bilden eine Einheit mit meist freier GW-Oberfläche.

5.2 Verhalten des oberen Grundwassers

Dominierenden Einfluß auf das Verhalten der GW-Stände im oberen Grundwasser haben

- GW-Neubildung aus Niederschlag
- Rheinwasserstände
- Austauschvorgänge zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern
- GW-Entnahmen.

Die über die Zeit sich ändernden GW-Stände geben den Einfluß dieser Faktoren auf das GW-Regime in ihrer Summe wieder. Dabei ist die Auswirkung eines Einzelfaktors nur eindeutig erkennbar, wenn sich diese Größe während der Beobachtungszeit entscheidend verändert hat (z. B. bei GW-Entnahmen, Flußausbau).

5.2.1 Statistische Auswertungen

Das langjährige Verhalten der GW-Stände im Untersuchungsgebiet läßt sich durch statistische Auswertung der Meßdaten einzelner GW-Meßstellen verdeutlichen. Vergleichbar werden die Ergebnisse einer solchen Untersuchung aber erst dann, wenn für alle betrachteten Meßstellen ein einheitlicher Auswertungszeitraum gewählt wird.

Da die Beobachtungszeiträume der GW-Stände der einzelnen Meßstellen verschieden lang sind, bleibt als für alle Meßstellen gemeinsamer Zeitraum nur die 20jährige Reihe von 1956 bis 1975.

Die statistische Auswertung erfolgte durch:

- Vergleich von Ganglinien der GW-Stände
- Mittelwertbildung
- Trendrechnung.

5.2.1.1 Ganglinien

Die Ganglinie des GW-Standes einer Meßstelle ist nur für die engere Umgebung repräsentativ. Um für das Gesamtgebiet einen besseren Überblick geben zu können, wurden daher die Meßreihen von 35 Meßstellen, die auf 5 von W nach E verlaufenden Schnittlinien liegen (Abb. 7), statistisch ausgewertet. Von diesen 35 Meßstellen befinden sich 12 links und 23 rechts des Rheins. Im linksrheinischen Teilgebiet wurden relativ wenig Meßstellen ausgewertet, da dort die Zahl der Meßstellen mit genügend langer Beobachtungsdauer gering ist. Die Lage der Schnittlinien, der GW-Meßstellen und der Niederschlagsstationen ist aus Abb. 7 zu ersehen. Schnittlinie I verläuft durch den GW-Absenkungsbereich Bürstadt-Lorsch, Schnittlinie III durch das Absenkungsgebiet Ludwigshafen-Mannheim, während Schnittlinie II im Bereich Lampertheim-Heppenheim zwischen diesen beiden Absenkungsgebieten liegt. Die Schnittlinie IV (Bad Dürkheim, Schifferstadt, Schwetzingen, Heidelberg) und V (Haßloch – Otterstadt – Hockenheim – St. Leon) liegen im S des Untersuchungsraumes, wo die GW-Entnahmen deutlich geringer sind als im N.

Die Ganglinien von 14 dieser Meßstellen sowie die Ganglinie des Rheins am Pegel Mannheim sind in Abb. 8 a–c aufgetragen.

Um zu verdeutlichen, daß die Versickerung von Niederschlagswasser die GW-Stände maßgeblich beeinflusst, wurden die Aufzeichnungen von drei Niederschlagsstationen statistisch aufbereitet und den GW-Ganglinien gegenübergestellt.

Um die von W nach E zunehmenden Niederschläge aufzuzeigen, wurden die Niederschlagsstationen Frankenthal, Schwetzingen und Heppenheim ausgewählt.

In Abb. 8 d sind die Niederschlagssummen der Sommer- und Winterhalbjahre für die ausgewählten Niederschlagsmeßstationen aufgetragen. Als Bezugslinien wurden die langjährigen Mittelwerte der entsprechenden Halbjahresniederschläge gewählt, so daß die Defizite bzw. Überschüsse deutlich erkennbar werden. Da aufgrund der höheren Lufttemperaturen und über die Vegetation während des Sommerhalbjahres der weitaus größte Anteil der Niederschläge wieder direkt bzw. indirekt verdunstet, führen im wesentlichen die Winterniederschläge zum Ansteigen des Grundwassers.

Im Gegensatz dazu hat der Rhein als Hauptvorfluter im Untersuchungsraum in der Regel im Sommer hohe Wasserführung und Niedrigwasser im Winter, da ein großer Teil des Oberrhein-Einzugsgebietes im Alpenraum liegt. Daher weisen die GW-Meßstellen im Bereich der Rheinaue allgemein in den Sommermonaten höhere GW-Stände auf, während die GW-Meßstellen auf der Niederterrasse dann niedrige Wasserstände anzeigen.

Am typischen Verlauf der Jahresganglinien einiger Meßstellen ist zu erkennen, welche natürliche Beeinflussung auf die GW-Stände im Bereich der betreffenden Meßstelle vorherrscht. In Abb. 8 a–c wurden neben den Ganglinien zu jeder GW-Meßstelle die Ganglinien hydrologischer Jahre in gespreizter Darstellung der untersuchten 20 Jahre übereinander gezeichnet.

Bei der Meßstelle HE 003*) (Schnittlinie I) und besonders ausgeprägt bei RP 1073**) (Schnittlinie IV) zeigt sich durch hohe Wasserstände im Sommer und große Schwankungsbreiten im Jahresgang der dominante Einfluß des Rheins. Bei den Meßstellen HE 012 und RP 1075 überwiegt die GW-Neubildung während der Wintermonate und führt zu hohen GW-Ständen am Ende des Winters. Die relativ große Schwankungsbreite kennzeichnet die Lage dicht am Gebirgsrand des Odenwaldes (HE 012) bzw. bei der Meßstelle RP 1075 den Einfluß eines Oberflächenengewässers (Marlach).

Durch GW-Entnahmen künstlich beeinflusste Ganglinien weisen bis zum Erreichen eines quasi stationären Zustandes (Stabilisierung des Absenkungstrichters) über mehrere Jahre sinkende GW-Stände auf, überlagert durch die natürlichen Schwankungen. Solche, über mehrere Jahre anhaltende GW-Absenkungen können nur mit Hilfe von langen Meßreihen nachgewiesen werden.

Für den dargestellten Gesamtzeitraum von 1956 bis 1975 lassen sich 5 Intervalle gegeneinander abgrenzen, in denen sich die GW-Stände deutlich voneinander abheben.

- Von 1956 bis 1959 bewegen sich die Ganglinien der GW-Meßstellen auf relativ hohem Niveau. Die Niederschläge dieser Jahre liegen im Bereich des langjährigen Mittels.
- Von 1959 bis 1960 fallen die Wasserstände rasch ab infolge der erheblichen Niederschlagsdefizite der Winterhalbjahre.
- Nach einem deutlichen Wiederanstieg im Jahr 1961 folgen 3 Jahre mit Niederschlagsdefiziten im Winter, was ein erneutes Absinken der GW-Stände zur Folge hatte.

Die Jahre von 1965 bis 1970 sind durch höhere Niederschläge gekennzeichnet. Dies führt im gesamten Untersuchungsraum zu einem Anstieg des Grundwassers. Im S werden gegen das Ende dieser Periode sehr hohe Wasserstände erreicht, welche für viele Meßstellen die Extremwerte der 20-jährigen Reihe darstellen. Im N des Untersuchungsgebietes jedoch blieben die GW-Stände aufgrund der GW-Entnahmen deutlich unter den höch-

*)HE 003 = amtliche Meßstelle des Landes Hessen mit der Nr. 544003

**)RP 1073 = amtliche Meßstelle des Landes Rheinland-Pfalz mit der Nr. 1073

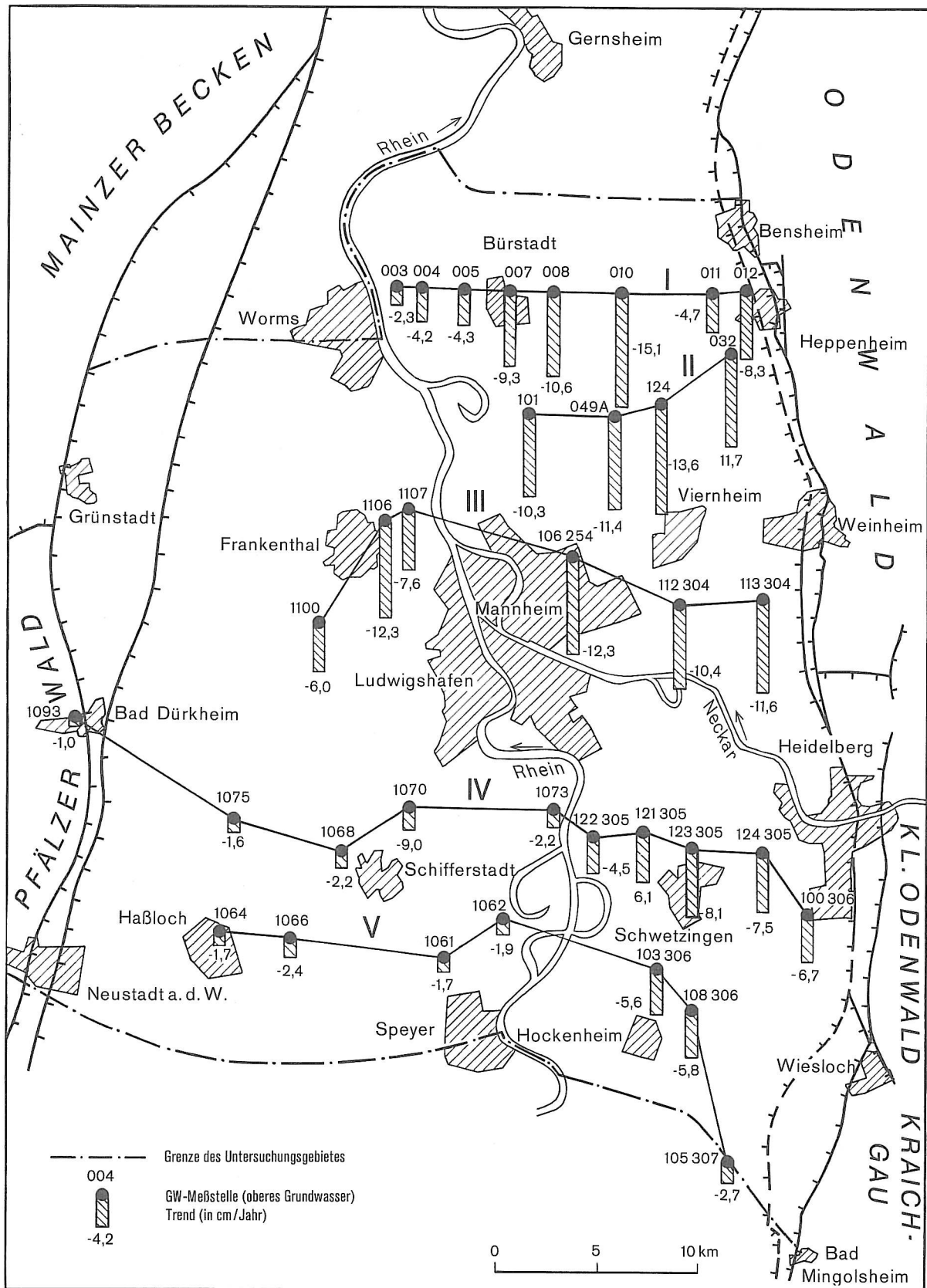


Abb. 7: Hydrologische Schnittlinien mit Darstellung von Trends der Grundwasserstände ausgewählter Meßstellen (Jahresreihe 1956/75).

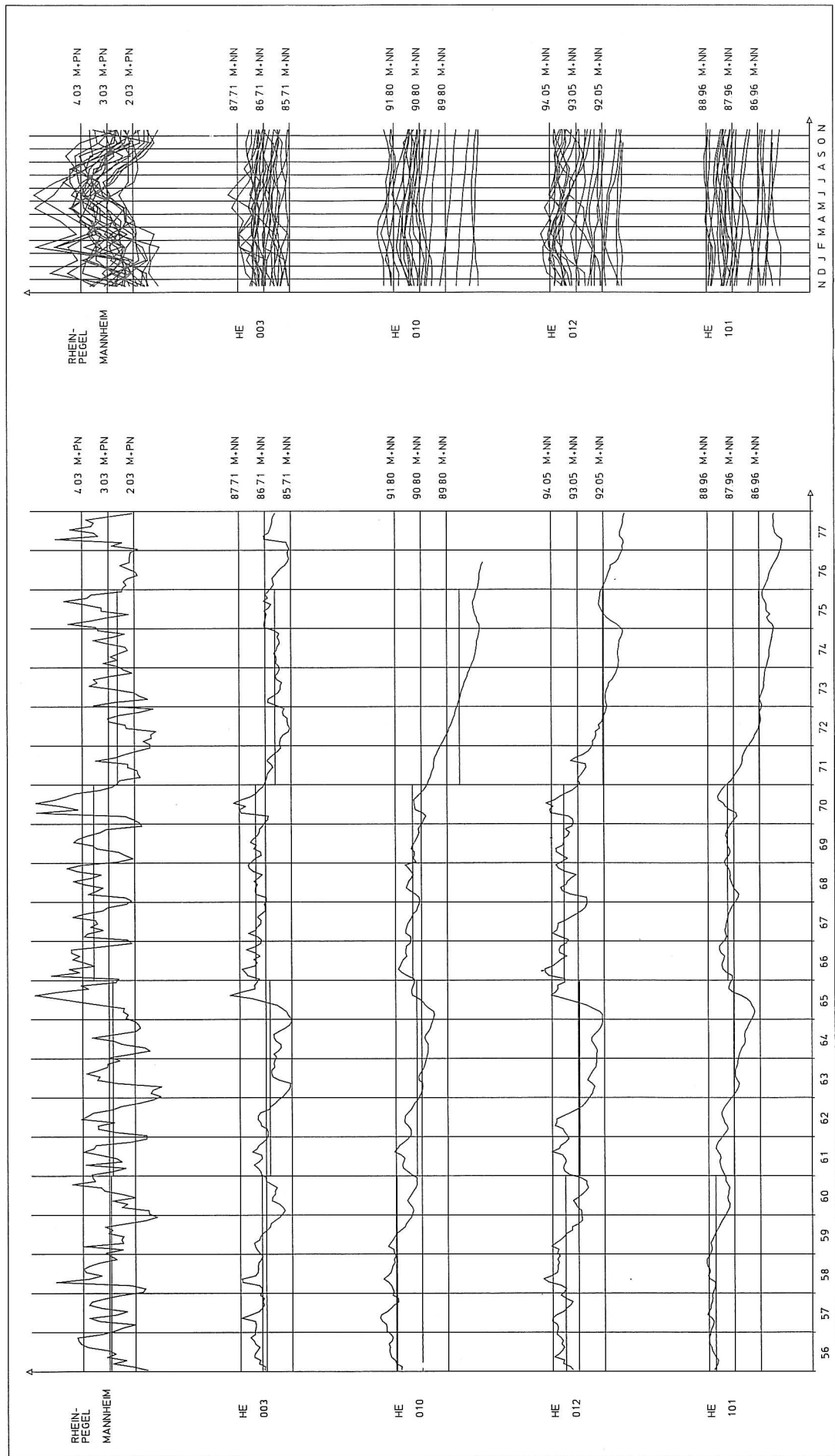


Abb. 8a: Ganglinien (Verhalten des oberen Grundwassers)

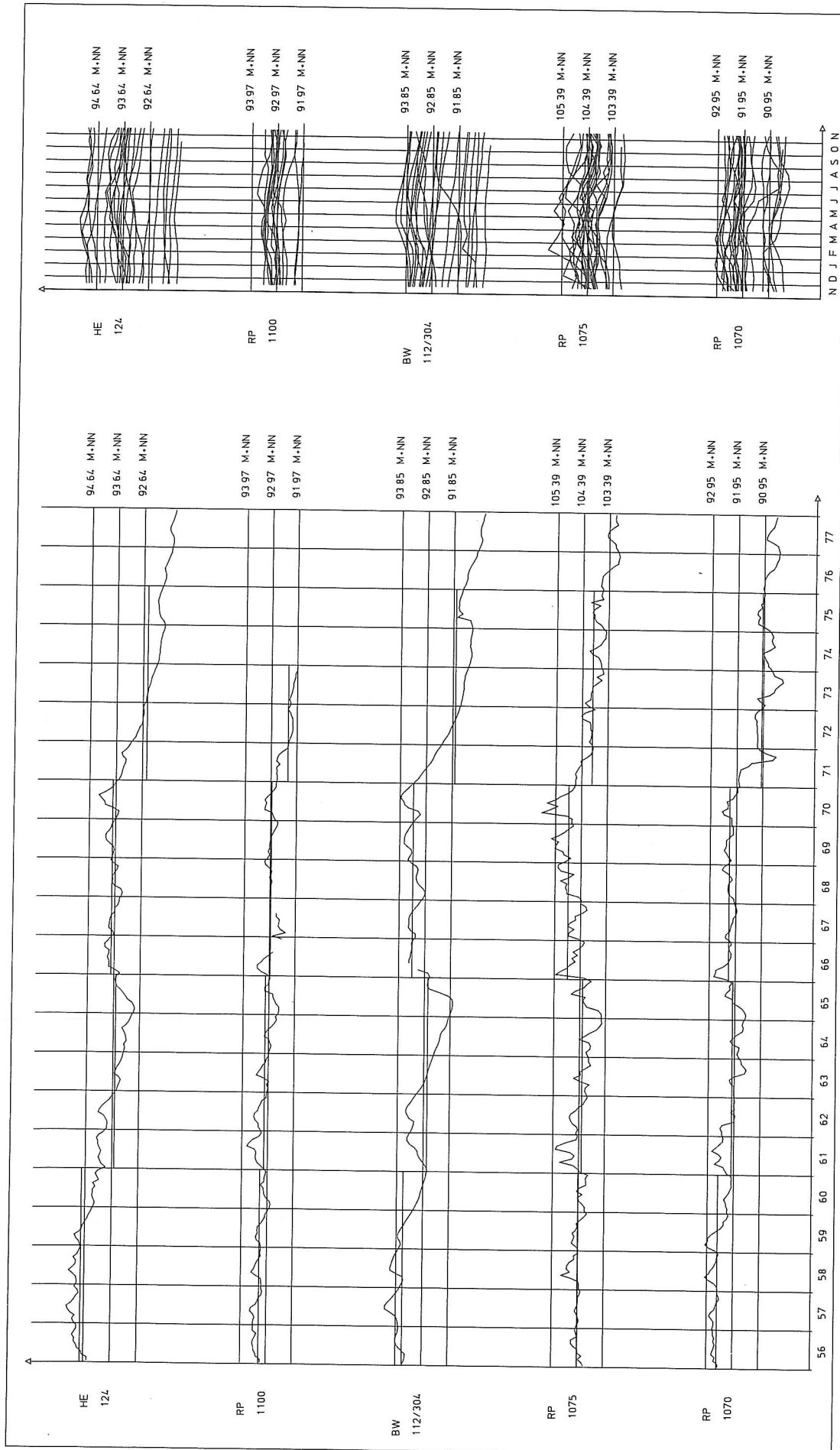


Abb. 8b: Ganglinien (Verhalten des oberen Grundwassers)

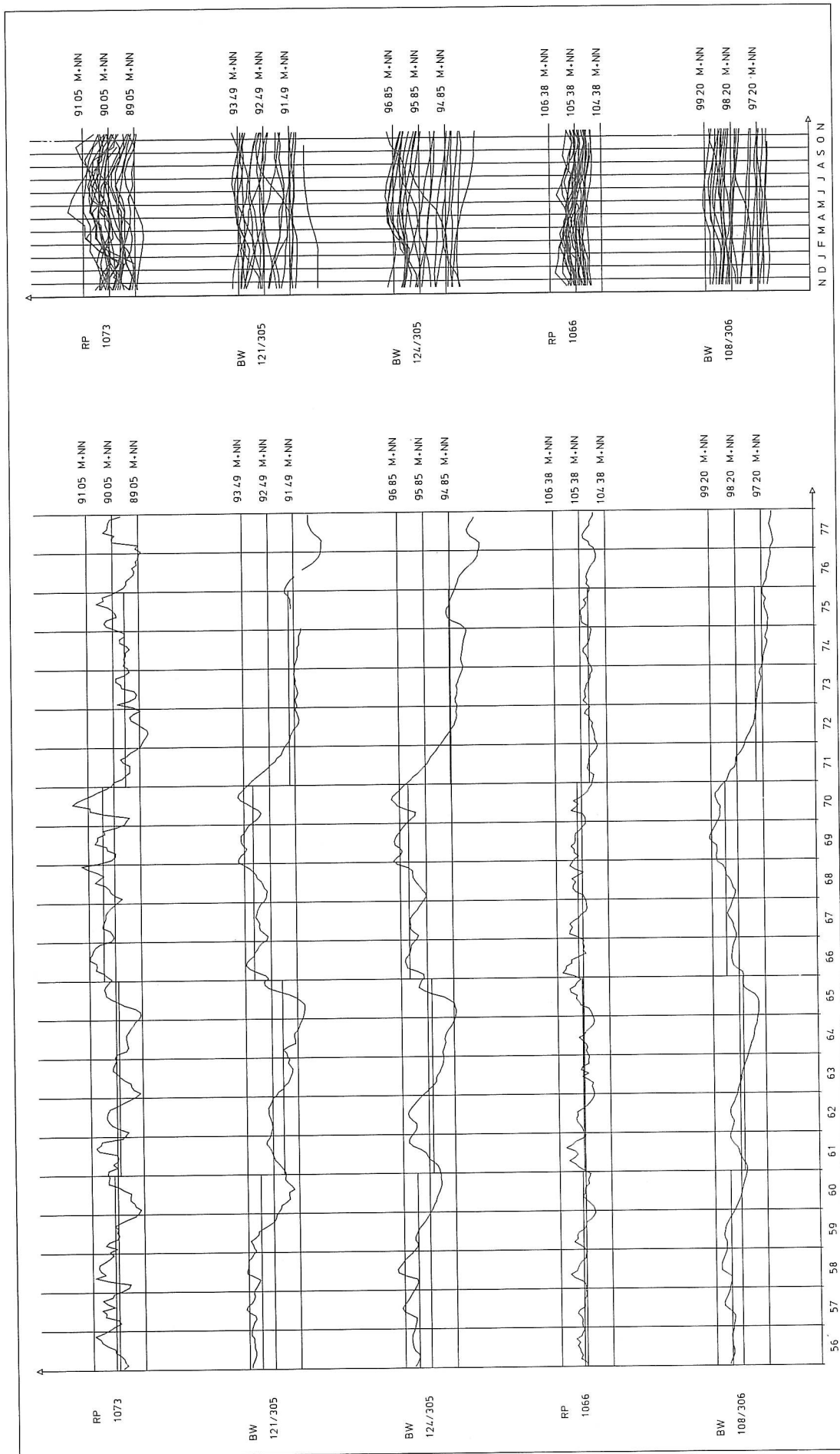


Abb. 8c: Ganglinien (Verhalten des oberen Grundwassers)

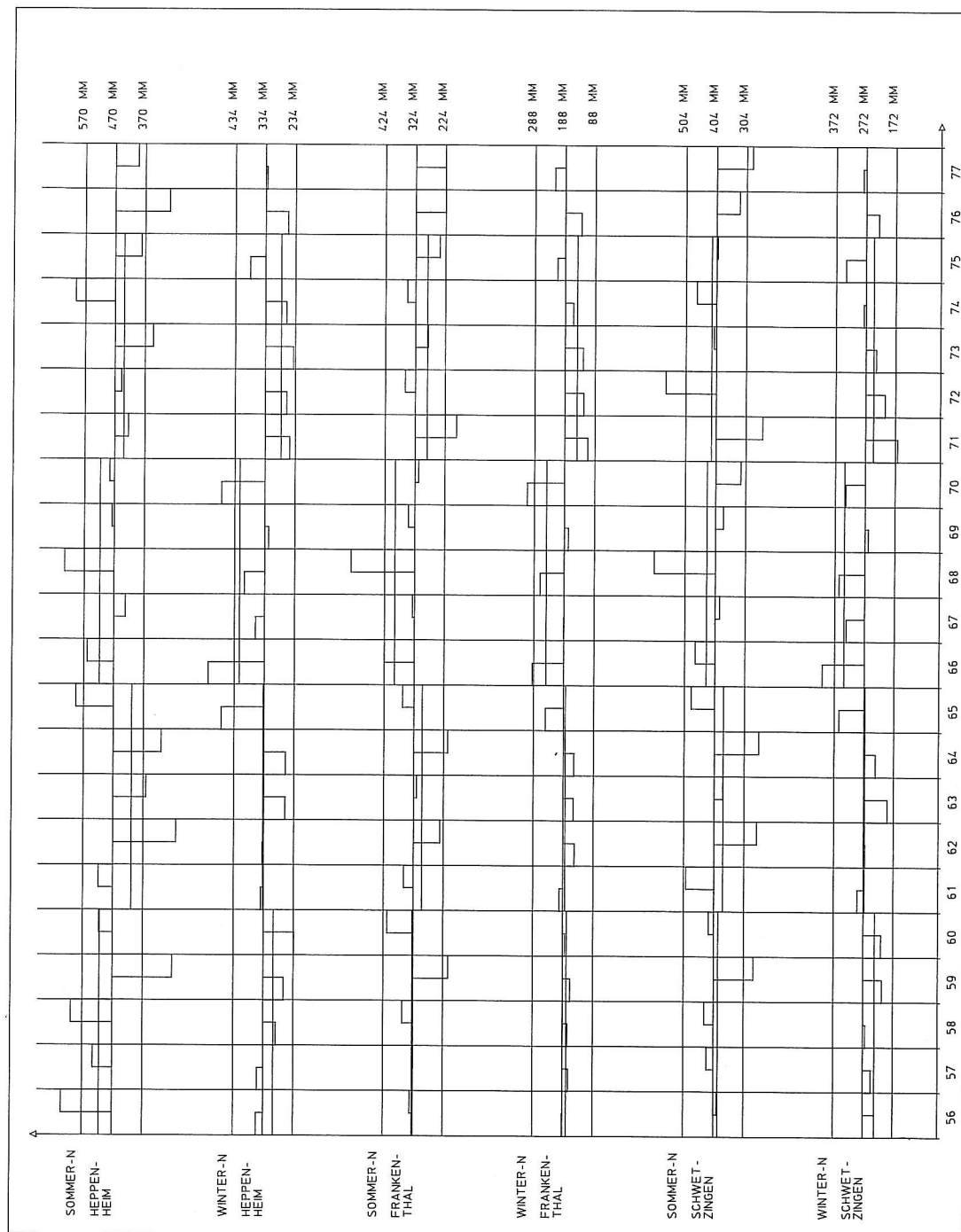


Abb. 8d: Niederschlagssummen (Sommer- und Winterhalbjahre)

sten Wasserständen der Jahre vor 1959. Bei den Meßstellen HE 101, HE 124, RP 1100, BW 112 304 beträgt der Unterschied zum Höchstwert der Jahre 1956 bis 1959 0,3–0,5 m.

- An diesen Zeitraum mit sehr hohen GW-Ständen schließt sich das extrem niederschlagsarme Jahr 1971 an, dem 3 weitere Jahre mit Niederschlagsdefiziten im Winterhalbjahr folgen. Dies führt im gesamten Untersuchungsraum zu einem schnellen, bis zum Jahr 1975 anhaltenden Absinken des Grundwassers. Im Jahr 1975 steigen die GW-Stände infolge der hohen Winterniederschläge vorübergehend wieder an.
- Im Trockenjahr 1976 fallen sie teilweise zu neuen Tiefstständen ab. 1977 steigen sie geringfügig an, ohne jedoch die Werte von 1975 zu erreichen.

5.2.1.2 Mittelwerte

Bei den 35 GW-Meßstellen der Schnittrlinien I bis V wurden jeweils vier 5-Jahresmittel und das Mittel der GW-Stände für den gesamten Zeitraum von 20 Jahren gebildet.

Für die ausgewählten und in Abb. 8 aufgetragenen Ganglinien sind diese Mittelwerte angegeben. Aus den Differenzen zwischen den 5-Jahresmitteln und dem 20-Jahresmittel läßt sich erkennen, ob sich der GW-Stand im Beobachtungszeitraum tendenziell nachhaltig änderte.

Bei den Meßstellen HE 010, HE 101, HE 124, RP 1100, BW 112 304 und RP 1070 ist eine Abwärtstendenz an Hand der 5-Jahresmittel gut festzustellen. Bei den Ganglinien HE 010, HE 124 und BW 112 304 liegt das 5-Jahresmittel von 1956/60 um rund 2 m über dem 5-Jahresmittel der Jahre 1971/75. Hier macht sich der Einfluß der GW-Entnahmen deutlich bemerkbar.

5.2.1.3 Trends

Aus den GW-Standsganglinien ist nicht immer eindeutig abzulesen, ob über mehrere Jahre betrachtet die GW-Stände einen Trend aufweisen. Es wechseln Perioden mit höheren und niedrigeren GW-Ständen, die meist durch extreme Niederschlagsereignisse zu Beginn einer Periode bedingt sind.

Diese langfristigen GW-Standsschwankungen sind von kurzzeitigen überlagert und lassen häufig nicht ohne weiteres einen Trend erkennen. Er kann jedoch mit Hilfe von mathematisch-statistischen Verfahren ermittelt werden. Sinnvoll ist eine solche Untersuchung jedoch nur dann, wenn eine genügend lange Beobachtungsreihe vorliegt, damit die Auswirkung kurzzeitiger, außergewöhnlicher Ereignisse ausgeschlossen werden kann. Desweiteren ist der Vergleich von Trends verschiedener Meßstellen untereinander nur zulässig, wenn den Berechnungen der gleiche Beobachtungszeitraum zugrunde liegt, denn ähnlich wie bei der Mittelwertbildung ändert sich der Trend mit dem Beobachtungszeitraum. Durch die Aufeinanderfolge einiger extremer Trocken- oder Naßjahre zu Beginn oder am Ende des Berechnungszeitraumes kann der Trend verstärkt oder abgeschwächt werden, und dies um so mehr, je kürzer der Berechnungszeitraum ist und je extremer die Ereignisse sind.

Deshalb wurden die Trenduntersuchungen für den größtmöglichen Zeitraum durchgeführt, bei dem für alle ausgewählten Meßstellen Meßdaten zur Verfügung standen. Er umfaßt die 20 Jahre von 1956 bis 1975. Das Ende dieses Zeitraums ist dadurch geprägt, daß ein 4-jähriger Zeitabschnitt mit sehr niedrigen GW-Ständen (1971/74) einem 6-jährigen mit hohen bis sehr hohen GW-Ständen folgt (1965/70). Den Ergebnissen dieses 20-jährigen Berechnungszeitraumes werden die Ergebnisse für den 15 Jahre umfassenden Zeitraum 1956/70 gegenübergestellt.

In Tab. 5 sind die errechneten Trends für die auf den Schnittrlinien I bis V (Abb. 7) liegenden Meßstellen für beide Berechnungszeiträume eingetragen. Die Trends sind in cm/Jahr angegeben. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, daß es sich um einen Abwärtstrend handelt.

Die Ergebnisse der Trenduntersuchungen dürfen jedoch weder für kurzfristige noch für langfristige Prognosen über das künftige Verhalten der GW-Stände herangezogen werden!

Für den Zeitraum 1956/75 weisen alle GW-Meßstellen des Untersuchungsgebietes einen negativen Trend auf. Die Absenkungsraten liegen zwischen 1 und 15 cm/Jahr (Abb. 7).

Die Meßstellen im linksrheinischen Teil des Untersuchungsgebietes weisen erwartungsgemäß nur geringe Trends auf, da das Grundwasser vorwiegend aus den tieferen GW-Leitern gefördert wird. Nur im Großraum Ludwigshafen wirken sich die GW-Entnahmen auch im oberen Grundwasser trendverstärkend aus.

Die größten Trends findet man im nördlichen rechtsrheinischen Teil des Untersuchungsgebietes, im Bereich der großen Wasserentnahmen bei Bürstadt und Mannheim. Geringe Absenkungsraten weisen hier diejenigen Meßstellen auf, die durch Oberflächengewässer beeinflußt sind.

Südlich des Neckars sind die Trends geringer, sie liegen zwischen 4,5 und 8,2 cm/Jahr.

Eine Erklärung für die starken Trends im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes sind die seit den 60er Jahren rasch gestiegenen GW-Entnahmen. Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes haben dagegen die Entnahmen im gleichen Zeitraum keine wesentliche Steigerung erfahren.

Für den 15-jährigen Zeitraum 1956/70 ergibt die Berechnung Trends im Bereich zwischen +4,2 cm/Jahr und –13,1 cm/Jahr. Obwohl sich am Ende dieses Berechnungszeitraumes mehrere Jahre mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen befinden – was sich in Gebieten ohne wesentliche Beeinflussung durch GW-Entnahmen in hohen bis sehr hohen GW-Ständen dokumentiert (Abb. 8) –, weisen die meisten GW-Meßstellen des Untersuchungsgebietes einen negativen Trend auf. Aufgrund der oben angeführten Umstände wäre ein positiver Trend

Tab. 5: Trendberechnungen für ausgewählte Meßstellen des oberen Grundwassers
für die Zeiträume 1956/75 und 1956/70 (hydrologische Schnittlinien I bis V in Abb. 7).

Meßstellen-Nr.		Trend 1956/75 [cm/Jahr]	Trend 1956/70 [cm/Jahr]
HE 003	I	– 2,3	+ 1,0
HE 004		– 4,2	– 0,6
HE 005		– 4,3	+ 0,0
HE 007		– 9,3	– 1,5
HE 008 A		– 10,6	– 2,0
HE 010		– 15,1	– 7,6
HE 011		– 4,7	– 0,9
HE 012		– 8,3	– 1,2
HE 101 A	II	– 10,3	– 5,8
HE 049 A		– 11,4	– 10,2
HE 124		– 13,6	– 10,3
HE 032		– 11,7	– 13,1
RP 1100	III	– 6,0	– 3,8
RP 1106		– 9,8	– 7,1
RP 1107		– 7,6	– 5,4
BW 106 254		– 12,5	– 12,6
BW 112 304		– 10,4	– 3,9
BW 113 304		– 11,6	– 4,6
RP 1093	IV	– 1,0	+ 2,8
RP 1075		– 1,6	+ 3,9
RP 1068		– 2,2	– 0,5
RP 1070		– 9,0	– 4,1
RP 1073		– 2,2	+ 2,1
BW 122 305		– 4,5	+ 1,5
BW 121 305		– 6,1	– 0,1
BW 123 305		– 8,2	– 1,5
BW 124 305		– 7,5	+ 0,6
BW 100 306		– 6,7	+ 2,7
RP 1064	V	– 1,7	– 0,11
RP 1066		– 2,4	– 0,2
RP 1061		– 1,7	+ 4,2
RP 1062		– 1,9	+ 3,4
BW 103 306		– 5,6	+ 2,6
BW 108 306		– 5,8	+ 0,3
BW 105 307		– 2,7	+ 2,8

zu erwarten gewesen. Dies bedeutet, daß in großen Bereichen des Untersuchungsgebietes, vor allem im Zentrum und nördlich davon, die GW-Stände während der letzten 20 Jahre in der Tat infolge der GW-Entnahmen mehr oder weniger stark abgesunken sind.

5.2.2 Flächenhaftes Verhalten

5.2.2.1 Grundwasserhöhengleichen MW 1962 und Stichtag 4. Oktober 1976

Flächenhaft kann das Verhalten der GW-Stände am besten mit Hilfe von GW-Höhengleichen- und Differenzkarten aufgezeigt werden.

Die Höhengleichen für das Jahresmittel der GW-Stände im Jahr 1962 (Anl. 7) entsprechen in etwa einem langjährigen mittleren Zustand. Die Höhengleichen sind mit Hilfe von Aufzeichnungen der damals beobachteten GW-Meßstellen konstruiert worden, also bei einem sehr grobmaschigen Meßnetz.

Deshalb und wegen der Mittelbildung der GW-Stände geben sie die örtlichen Fließverhältnisse im Bereich von natürlichen und künstlichen Beeinflussungen des GW-Stromes nur grob wieder. Um jedoch beurteilen zu können, ob und wie sich die GW-Stände flächenhaft und über eine größere Zeitspanne hinweg verändert haben, ist die Höhengleichenkarte MW 1962 im Vergleich mit einer weiteren Höhenkarte besonders gut geeignet (Kap. 5.2.2.2).

Bei den im Rahmen dieser Untersuchungen seit dem Jahr 1974 zweimal jährlich durchgeführten Stichtagsmessungen werden zusätzlich zu den Meßstellen des amtlichen Meßnetzes eine große Zahl von Zusatz- oder Sondermeßstellen zur Beobachtung des GW-Standes herangezogen. Der Verlauf der Höhenlinien der GW-Oberfläche kann deshalb für diese Stichtage wesentlich genauer konstruiert werden. Es muß jedoch bei der Interpretation der Höhenkarte beachtet werden, daß der Verlauf der Höhenlinien einen Augenblickszustand der GW-Oberfläche festhält.

Die GW-Höhengleichen vom 4. Oktober 1976 (Anl. 8) geben die Oberfläche des oberen Grundwassers bei extrem niedrigen GW-Ständen wieder. Der Rhein hatte am Stichtag und während der vorhergehenden Tage ebenfalls gegenüber dem langjährigen Mittel einen um rd. 80 cm niedrigeren Wasserstand. Da die Rheinwasserstände vor dem Stichtag nur relativ geringe Schwankungen aufwiesen, wurden die GW-Höhenlinien direkt an die Rheinwasserstände angebunden.

Die generelle Fließrichtung des Grundwassers verläuft von den Randgebirgen zum Rhein hin.

Besonders auffallend ist das große Fließgefälle des Grundwassers links des Rheins. Mit Werten von 1,5 bis 10,0‰ (im Durchschnitt 4‰) ist es hier westlich des Hochgestades um ein Mehrfaches größer als rechts des Rheins, wo das Fließgefälle außerhalb der Einflußbereiche der Wasserwerke mit 1,5 bis 2,0‰ nur halb so groß ist. Im Bereich der großen GW-Förderwerke haben sich ausgedehnte Absenkungsfelder ausgebildet. Der ursprüngliche Verlauf der GW-Höhenlinien und damit Fließgefälle und Fließrichtung haben sich erheblich verändert. Obwohl linksrheinisch die großen Wasserwerke nur aus den tieferen GW-Leitern fördern, zeichnen sich hier die Auswirkungen der Entnahmen deutlich auch im oberen Grundwasser ab (Bereich Ludwigshafen-Frankenthal). Während der Rhein südlich von Altrip (linksrheinisch) bzw. Rheinau (rechtsrheinisch) Vorfluter für das Grundwasser ist, speist er im Bereich der Städte Mannheim, Ludwigshafen, Frankenthal in den GW-Leiter ein. Das Grundwasser strömt in diesem Bereich mehreren Wasserwerken zu.

5.2.2.2 Differenzen der Grundwasserstände MW 1962 – MW 1974

Die zeitliche Veränderung der GW-Stände ist in Anl. 9 für die Zeitspanne von 12 Jahren dargestellt (MW 62–MW 74). In Schritten von jeweils 50 cm werden die GW-Absenkungen von 1974 gegenüber dem Jahr 1962 angegeben. 1962 lagen der mittlere Rheinwasserstand sowie die GW-Stände der meisten Meßstellen in etwa bei dem langjährigen Mittel der Zeit von 1952 bis 1970 oder geringfügig darunter. 1974 war ein Trockenjahr, daher sanken im gesamten Untersuchungsraum die GW-Stände ab (Anl. 8). Im Gegensatz zu den GW-Ständen bewegt sich das Jahresmittel der Rheinwasserstände im Jahr 1974 etwa auf der gleichen Höhe wie im Jahr 1962. Deshalb sind die GW-Absenkungen innerhalb eines schmalen Streifens zwischen den Hochgestaden entlang des Rheins mit Werten zwischen 0 und 50 cm am geringsten. Dies ist auf den Einfluß des Rheins zurückzuführen, der die GW-Stände im Nahbereich auf seinem Niveau hält. Im Bereich einiger Wassergewinnungsanlagen werden Absenkungsbeträge von weit über 2 m erreicht.

Deutlich zeichnet sich ein Infiltrationsbereich des Neckars oberhalb des Ladenburger Wehres ab. Dort sind die Differenzen links und rechts des Neckars um 50 cm kleiner als im angrenzenden Gebiet. Weitere Infiltrationen, wenn auch in geringerem Maße, zeigen sich im Bereich zwischen Hemsbach und Lorsch und linksrheinisch im Bereich Dannstadt – Schauernheim. Im Bereich der Absenkungstrichter Mannheim-Käfertal und Weinheim sind die Absenkungsbeträge ebenfalls deutlich geringer als in der Umgebung. Dies ist auf eine wesentliche Verringerung der Entnahmemengen aus dem OGWL durch Verlagerung der Entnahmen in die tieferen GW-Leiter zurückzuführen.

5.2.2.3 Flurabstände vom 7. Oktober 1974

Unter Flurabstand versteht man den vertikalen Abstand zwischen Gelände- und GW-Oberfläche.

Die Flurabstandskarte (Anl. 10) zeigt die GW-Höhengleichen des oberen Grundwassers am 7. 10. 1974 (Stichtag). An diesem Tage entsprachen die Wasserstände des Rheins und seiner Zubringer dem langjährigen Oktobermit-

telwert (im Bereich zwischen MNW und MW), während die GW-Stände sehr tief lagen. Im Bereich der Brunnengalerien waren die GW-Stände erheblich unter diejenigen des Jahres 1962 abgesunken. Ursache hierfür waren neben GW-Entnahmen auch die vorangegangenen Trockenjahre (Kap. 5.2.1).

Die aus den GW-Höhengleichen vom 7.10.1974 entwickelte Karte der Flurabstände ist wegen der nur geringen Meßstellendichte am westlichen Rand des Untersuchungsgebietes unsicher. Da in der topographischen Karte L 6516 Mannheim keine Höhenlinien eingezeichnet sind, muß im rechtsrheinischen Raum Weinheim – Heddesheim – Mannheim die Benutzung der mittels einzelner Höhenkoten ermittelten Flurabstände ebenfalls kritisch gehandhabt werden.

Die Flurabstände hängen wesentlich von den natürlichen morphologischen Gegebenheiten und den meteorologisch und anthropogen bedingten Schwankungen der GW-Oberfläche ab. Ihre Kenntnis ist für die Ermittlung der GW-Neubildung und auch für andere wasserwirtschaftliche, land- und forstwirtschaftliche Belange wichtig.

Da im rechtsrheinischen Teil des Untersuchungsgebietes die Geländeoberfläche nach E generell stärker ansteigt als die GW-Oberfläche, nehmen die Flurabstände in dieser Richtung im allgemeinen zu. Gebiete mit Flurabständen unter 1 m und zwischen 1 und 2 m sind die Rhein-Niederung, die Altn Neckar-Aue und die Auen von Leimbach und Kraichbach. Flurabstände zwischen 2 und 4 m und über 4 m setzen in der Regel erst östlich des Hochgestades ein und sind kennzeichnend für die Niederterrasse und den Neckar-Schwemmfächer. Langgestreckte Dünenzüge sowie die Absenktichter der großen Wasserwerke machen sich durch entsprechend große Flurabstände bemerkbar. Extreme Flurabstände über 10 m werden nördlich des Neckars vor dem Odenwaldrand angetroffen, südlich jedoch auch großflächig und zwar vor allem in der Schwetzingen Hardt.

Linksrheinisch ist die räumliche Verteilung der Flurabstände völlig anders. Vom Rhein nach W nehmen die Flurabstände zum Westrand der Frankenthaler Terrasse hin generell von 4–6 m auf z. T. unter 1 m ab. Im Bereich der Altrheinarme sind naturbedingt die Flurabstände gering, steigen aber im Raum Ludwigshafen – Frankenthal u. a. wegen der großen GW-Entnahmen auf über 6 m an. In den von W nach E ziehenden, mehr oder weniger breiten Tälern des Vorderpfälzer Hügellandes steht das Grundwasser z. T. nur wenige Dezimeter unter der Geländeoberfläche an. In den zwischen den Tälern liegenden Riedeln werden Flurabstände von mehr als 10 m erreicht.

5.3 Verhalten des tieferen Grundwassers

Eine klare Differenzierung zwischen dem OGWL und den gespannten tieferen GW-Leitern ist nur dort möglich, wo der Obere Ton flächenhaft und zusammenhängend verbreitet ist und so eine hydraulische Trennung bewirkt (Kap. 4.3). Dies trifft links- und rechtsrheinisch vor allem für den zentralen Teil des Untersuchungsraumes zu. Die flächenhafte Verbreitung des Oberen Tones ist Anl. 3 zu entnehmen.

Da sich der Obere Ton unter dem Rhein hindurch fortsetzt, stellt der Rhein für das tiefere Grundwasser im Gegensatz zum oberen Grundwasser keine hydraulische Grenze dar. Deshalb kann das tiefere Grundwasser entsprechend dem jeweiligen Potentialgefälle unter dem Rhein hindurchströmen. Damit ist eine GW-Bilanz nur für den gesamten Rhein-Neckar-Raum sinnvoll.

Das tiefere Grundwasser wird zum größten Teil dadurch regeneriert, daß ihm durch den Oberen Ton und die „Fenster“ darin hindurch Grundwasser aus dem OGWL zusickert.

In den letzten 15 Jahren werden die tieferen GW-Leiter zunehmend genutzt (Kap. 5.4). Linksrheinisch wird im Raum Ludwigshafen – Frankenthal derzeit fast ausschließlich aus den tieferen GW-Leitern gefördert.

5.3.1 Statistische Auswertungen

Das zur Verfügung stehende Datenmaterial von GW-Standsbeobachtungen des tieferen Grundwassers reicht maximal bis zum Jahr 1960 zurück. Für die statistischen Auswertungen wurde der 16 Jahre umfassende Zeitraum von 1960 bis 1975 gewählt.

5.3.1.1 Ganglinien

Mittels Ganglinien wird die zeitliche Entwicklung der Wasserstände des tieferen Grundwassers mit den Wasserständen des oberen Grundwassers und des Rheins verglichen. Dies wird anhand eines hydrologischen Schnittes quer durch das Zentrum der Entnahmen im Bereich Mannheim – Ludwigshafen verdeutlicht. In Abb. 9a sind die Schnittspur und die Lage der Meßstellen, die auf den Schnitt projiziert wurden, eingetragen. Abb. 9 zeigt eine schematische Darstellung der Stockwerksgliederung sowie die Lage der Meßstellen entlang des Schnittes und die Filterstrecken der Peilrohre.

In Abb. 10 a–b sind die Ganglinien der Monatsmittelwerte des Rheinpegels Mannheim und von je vier GW-Meßstellen im OGWL und im MGWL für den Zeitraum von 1960 bis 1975 untereinander aufgetragen und zwar entsprechend ihrer Lage von W nach E.

Die Ganglinien der Meßstellen im tieferen Grundwasser und hier insbesondere diejenigen der Meßstellen P3, P8 und P9 fallen in den Jahren 1960 bis 1964 sehr steil um mehrere Meter ab. Dies ist auf die in diesen Jahren sehr rasch angestiegenen Förderraten aus den tieferen GW-Leitern zurückzuführen. Nachdem die Entnahmen in den

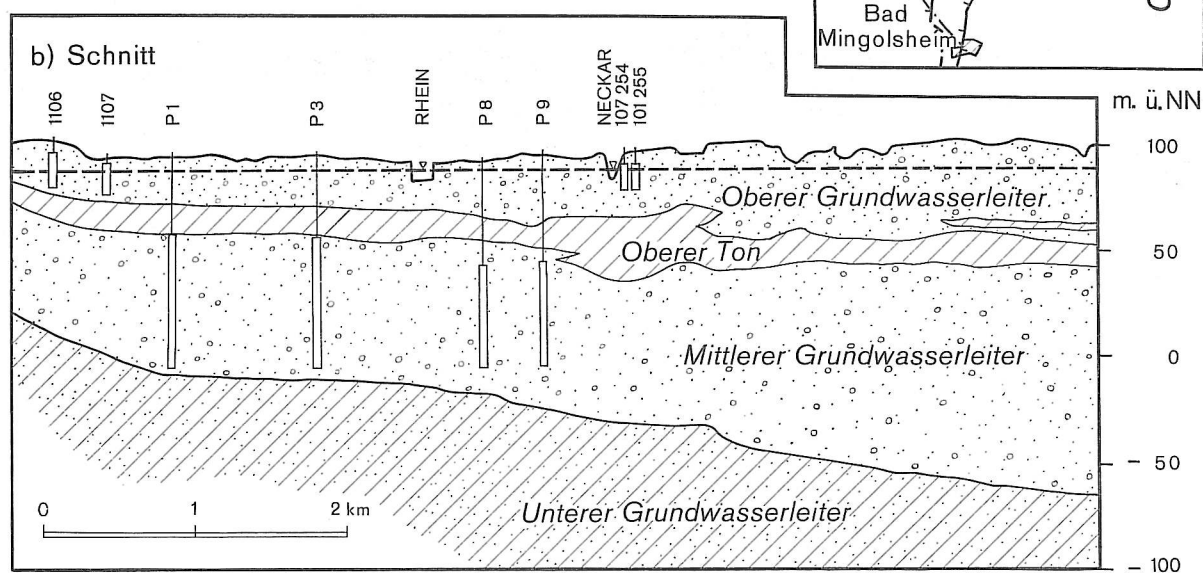
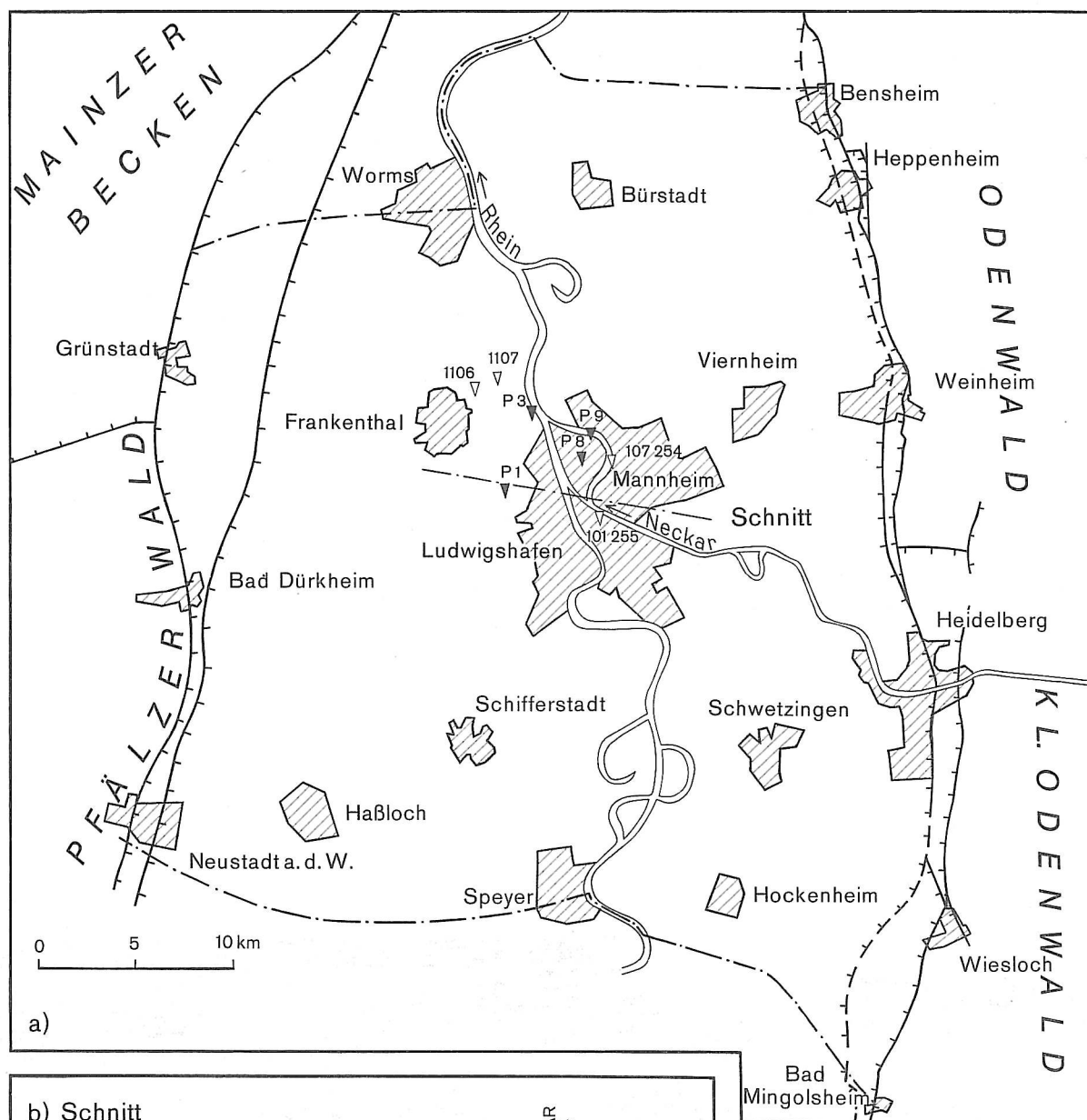


Abb. 9 a: Lageskizze des hydrologischen Schnittes durch das Entnahmezentrum
b: Schematische Stockwerksgliederung und Ausbau der Meßstellen.

darauffolgenden Jahren nicht mehr wesentlich gesteigert wurden, verlaufen die Ganglinien wieder ruhiger. Sie werden wieder mehr von den natürlichen Einflüssen (Naß- und Trockenjahre) geprägt. Die Ganglinien der flachen Meßstellen RP 1106 und RP 1107 (linksrheinisch) lassen einen deutlichen Abwärtstrend während der gesamten Beobachtungszeit von 1957 bis 1975 erkennen. Bei den rechtsrheinischen Meßstellen zeigt BW 107 254 keine Tendenz auf, bei BW 101 255 ist ein Trend kaum bemerkbar. Sehr stark läßt sich bei diesen beiden Meßstellen jedoch der Einfluß des Rheins auf die Wasserstände des oberen Grundwassers nachweisen an dem rund 2 m betragenden Aufschwung im Jahr 1965 und dem ebenso tiefen Abfall nach 1970. Die Ganglinien der linksrheinischen Meßstellen im oberen Grundwasser werden mehr durch die Entnahmen aus den tieferen GW-Leitern geprägt.

5.3.1.2 Mittelwerte

Entsprechend der Beobachtungszeit wurden für die Meßstellen im tieferen Grundwasser 5-Jahresmittel mit den Intervallen 1960/64, 1965/69 und 1970/74 berechnet.

Zum Vergleich wurden auch für die übrigen Ganglinien diese 5-Jahresmittelwerte berechnet und in die Ganglinien eingetragen. Die Mittelwerte (MW in m. ü. NN) sowie die Differenzen (ΔH) zwischen den einzelnen Zeiträumen sind in Tab. 6 zusammengestellt.

Tab. 6: Fünf-Jahresmittel und Differenzen der Grundwasserstände entlang des E-W-Schnittes.

Meßstelle	MW 1960/64	ΔH [cm]	MW 1965/69	ΔH [cm]	MW 1970/74
Rheinpegel Mannheim	87,87	+ 83	88,70	− 78	87,92
1106	87,49	− 34	87,15	− 89	86,26
1107	86,49	+ 9	86,58	− 51	86,07
P1	84,66	−164	83,02	− 46	82,56
P3	77,70	−378	73,92	+ 76	74,68
P8	77,90	−317	74,73	− 44	74,29
P9	78,26	−254	75,72	− 72	75,00
107 254	87,11	+ 95	88,06	−102	87,04
101 255	87,51	+ 30	87,81	−112	86,69

Sehr groß, mit Werten bis zu −3,78 m, sind die Differenzen der Mittelwerte bei den Ganglinien des tieferen Grundwassers zwischen dem ersten und dem zweiten Intervall infolge der großen Steigerung der GW-Förderung aus den tieferen GW-Leitern. Zwischen dem zweiten und dritten Intervall ist die Differenz mit Werten bis −1,12 m wesentlich geringer, bei der Meßstelle P3 ist die Differenz sogar positiv infolge der Verlagerung der Entnahmen.

Die Mittelwerte der Ganglinien 1106 und 1107 (oberes Grundwasser) weisen einen stetigen Abwärtstrend auf, während die Mittelwerte der Meßstellen 107 254 und 101 255 wieder mit denen des Rheins vergleichbar sind.

5.3.1.3 Trends

Die Berechnung von Trends für den Gesamtzeitraum von 15 Jahren ist für die Meßstellen des tieferen Grundwassers nicht sinnvoll durchzuführen, da einer erster Phase, in der die Wasserstände rasch abgesunken sind, eine zweite Phase mit gänzlich anderem Verhalten folgt, in der die Ganglinien wesentlich ruhiger verlaufen. Eine Berechnung von Trends getrennt für die einzelnen Phasen wäre zwar vertretbar, jedoch wegen der relativ kurzen Beobachtungszeiträume nicht mehr signifikant. Deshalb wurde auf die Trendberechnung verzichtet.

5.3.2 Flächenhaftes Verhalten, Grundwasserhöhengleichen vom 4. Oktober 1976

Das Grundwasser in den tieferen GW-Leitern ist gespannt, so daß aus den Standrohrspiegelhöhen nicht die GW-Oberfläche, sondern nur die GW-Druckfläche ermittelt werden kann.

Am 4. 10. 1976 (Stichtag) wurden an rd. 80 Meßstellen des tieferen Grundwassers die Wasserstände gemessen. Damit wurde die GW-Druckfläche konstruiert (Anl. 11). Ihre Höhengleichen verlaufen ganz anders als die des oberen Grundwassers. Im Zentrum des Untersuchungsraumes hat sich aufgrund der großen GW-Förderungen ein weiträumiger Trichter ausgebildet. Seine Höhenlinien verlaufen unter dem Rhein hindurch.

Im S des Gebiets, wo der Obere Ton nicht mehr als zusammenhängende Trennschicht ausgebildet ist, entsprechen die Höhenlinien denen des oberen Grundwassers. Das GW-Gefälle nimmt generell zum Zentrum des Trichters zu, wobei auch hier rechtsrheinisch das Gefälle mit $J = 0,5$ bis $2,0\text{‰}$ kleiner ist als links des Rheins, wo das Gefälle zwischen $J = 1,0$ und $4,0\text{‰}$ liegt. Die lokalen Trichter im engeren Bereich der großen Wasserwerke konn-

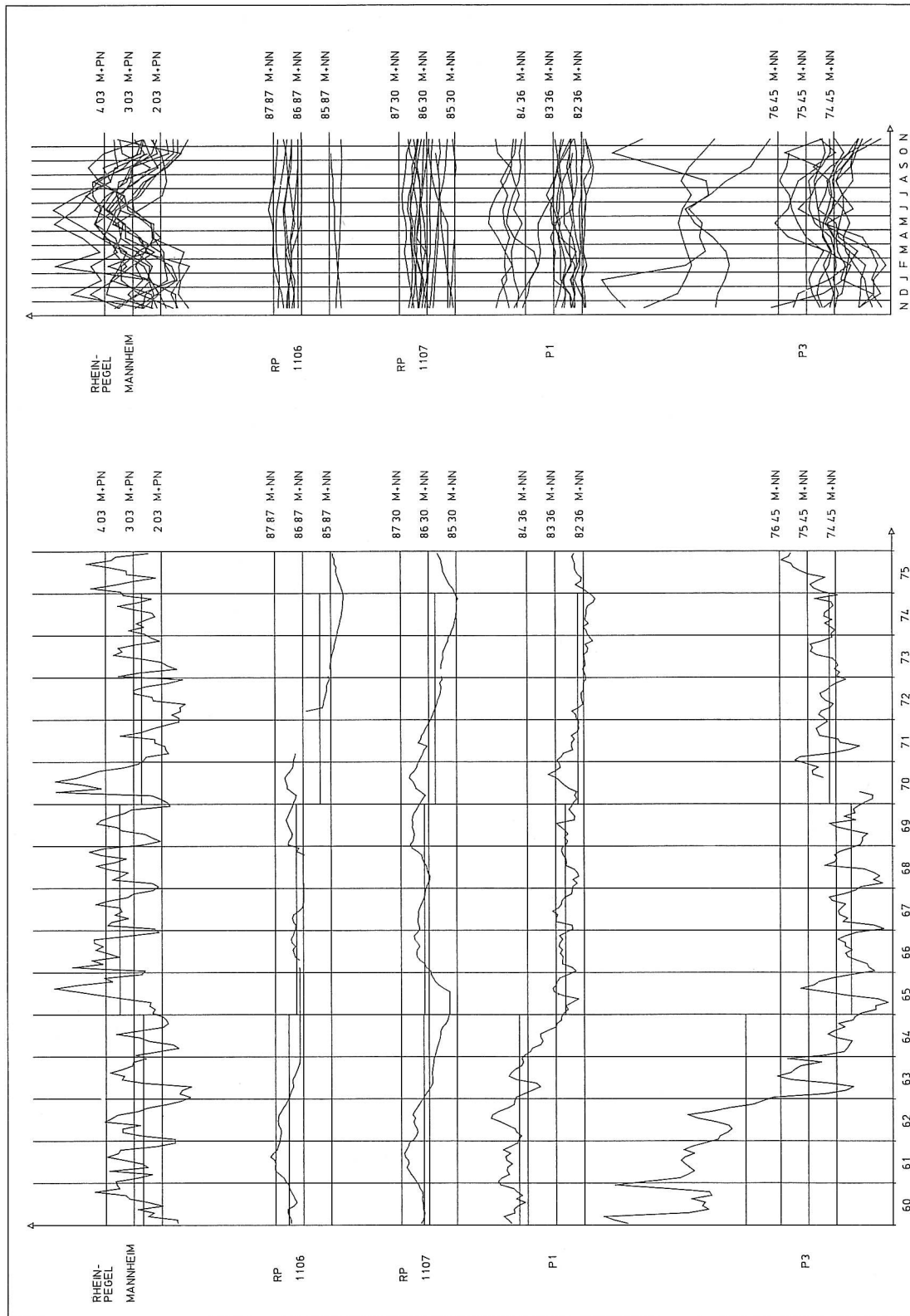


Abb. 10a: Ganglinien (Vergleich, Rhein, oberes und tieferes Grundwasser)

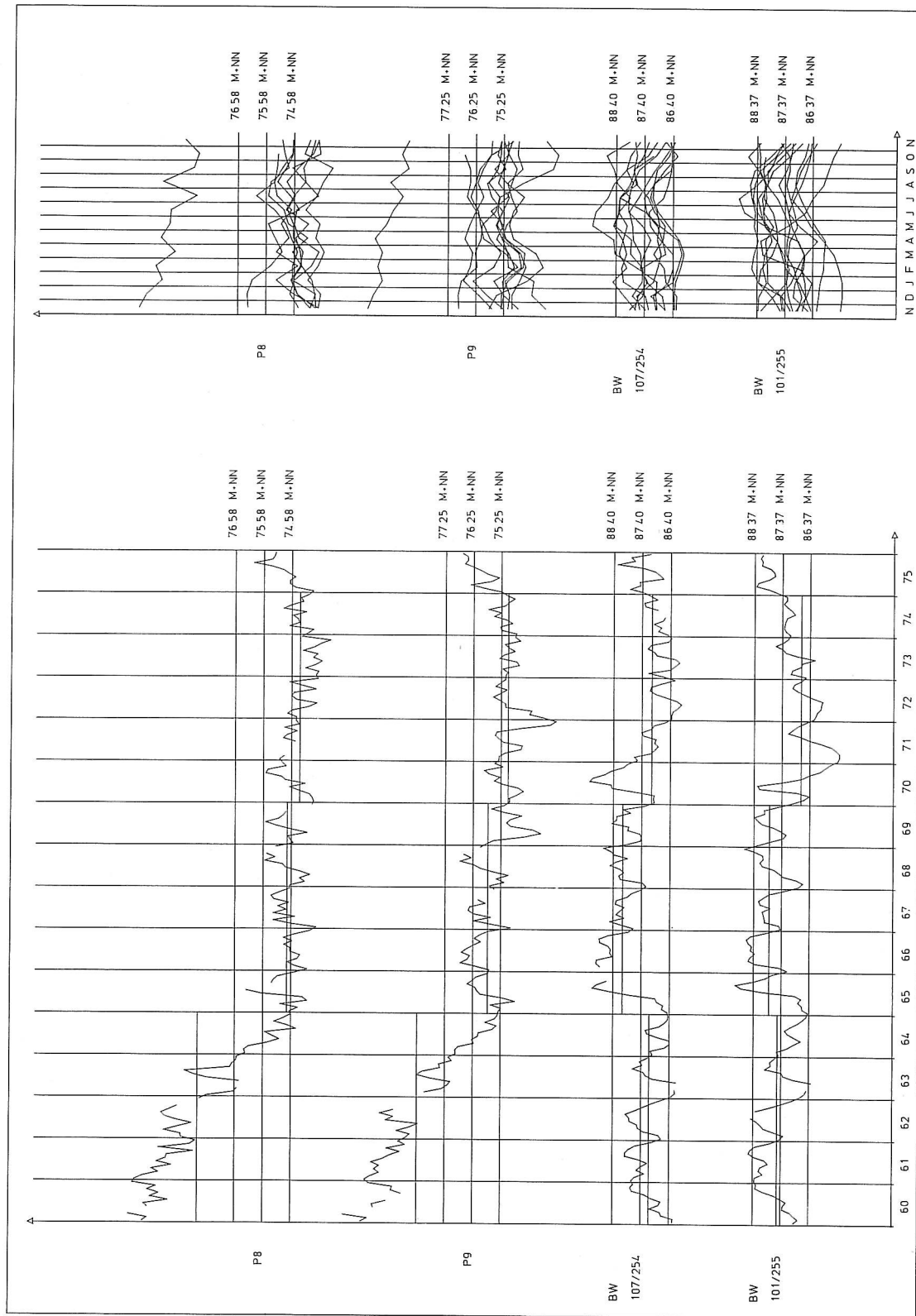


Abb. 10b: Ganglinien (Vergleich: Rhein, oberes und tieferes Grundwasser)

ten linksrheinisch näherungsweise dargestellt werden, während das Datenmaterial rechts des Rheins hierzu nicht ausreichte.

5.4 Grundwasserentnahmen

Der Bedarf der öffentlichen Wasserversorgung wird ausschließlich aus dem Grundwasser gedeckt, der der privaten Wasserversorgung (Betriebswasser der Industrie und Beregnungswasser) dagegen nur teilweise. Diese Entnahmen erfolgen sowohl aus dem OGWL bzw. dem „oberflächennahen Grundwasser“ (Kap. 4.3.1.1) als auch aus den tieferen GW-Leitern. Die Standorte der wichtigsten Fassungsanlagen (Entnahme über 1 Mio. m³/Jahr) sind aus Anl. 8 ersichtlich. In Tab. 7 sind die Entnahmen im Jahr 1975 getrennt nach öffentlicher und privater Wasserversorgung sowie nach Entnahmen aus dem OGWL und den tieferen GW-Leitern zusammengestellt. Die Gesamtförderung betrug linksrheinisch rd. 67 Mio. m³ und rechtsrheinisch rd. 130 Mio m³, insgesamt 197 m³. Davon entfallen 53% auf die öffentliche und 47% auf die private Wasserversorgung. Bei den Erhebungen der Entnahmen wurden nur die Wasserwerke berücksichtigt, die mehr als 100 000 m³/Jahr fördern. Die Entnahmen für Beregnungszwecke sind nicht erfaßt, da hierüber nur Schätzwerte vorliegen.

Tab. 7: Öffentliche und private Grundwasserentnahmen 1975 in Mio m³.

	OGWL	tiefere GW-Leiter	gesamt
öffentliche WV	62	43	105
private WV	29	63	92
gesamt	91	106	197

Der Entnahmeschwerpunkt liegt im Siedlungs- und Industrieballungsraum Ludwigshafen-Mannheim (Abb. 11). Dort werden rd. 128 Mio m³/Jahr gewonnen (65% der Entnahme im gesamten Untersuchungsgebiet). Hiervon werden 92 mio m³/Jahr aus den tieferen GW-Leitern entnommen, und zwar 36 Mio m³/Jahr rechtsrheinisch und 56 Mio m³/Jahr linksrheinisch.

Tab. 8 zeigt die Entwicklung der GW-Gewinnung im gesamten Untersuchungsgebiet von 1965 über 1970 bis 1975

Tab. 8: Entwicklung der Grundwasserförderung (Mio m³/Jahr).

	1965	1970	1975
öffentliche WV	75	92	105
private WV	89	104	92
gesamt	164	196	197

Man erkennt eine deutliche Entnahmesteigerung von 1965 bis 1970 sowohl bei der öffentlichen als auch bei der privaten Wasserversorgung. Dagegen ist im Zeitraum 1970 bis 1975 bei der öffentlichen Wasserversorgung nur ein geringer Anstieg und bei der privaten Wasserversorgung aus dem Grundwasser sogar ein merklicher Rückgang zu beobachten. Diese Entwicklung ist außer auf konjunkturelle Ursachen auch auf innerbetriebliche bessere Wassernutzung (Kreisläufe) bei der Industrie zurückzuführen. Insgesamt gesehen ist im Untersuchungsgebiet die GW-Förderung im Zeitraum 1970 bis 1975 mit rd. 197 Mio m³/Jahr fast konstant geblieben. Während die private GW-Entnahme noch 1970 die der öffentlichen Wasserversorgung übersteigt, ergibt sich für 1975 ein umgekehrtes Bild: sie bleibt um 13 Mio m³ unter der GW-Förderung für die öffentliche Wasserversorgung. Die GW-Entnahmen im rechtsrheinischen Untersuchungsgebiet verteilen sich etwa zu $\frac{2}{3}$ auf den OGWL und zu $\frac{1}{3}$ auf die tieferen GW-Leiter. Linksrheinisch werden vorwiegend die tieferen GW-Leiter genutzt. In Tab. 9 sind die GW-Entnahmen im Jahr 1975 im rechtsrheinischen und im linksrheinischen Gebiet aus dem OGWL und den tieferen GW-Leitern getrennt angegeben.

Tab. 9: Rechts- und linksrheinische Grundwasserentnahmen 1975 in Mio m³.

	OGWL	tiefere GW-Leiter	gesamt
rechtsrheinisch	87	43	130
linksrheinisch	4	63	67
gesamt	91	106	197

Die zusätzlichen Entnahmen für Beregnungszwecke – im Jahr 1975 ungefähr 4 Mio m³ im linksrheinischen und 12,5 Mio m³ im rechtsrheinischen Teil des Untersuchungsraumes – sind zwar im Hinblick auf die gesamte GW-Förderung aus dem OGWL bzw. „oberflächennahen Grundwasser“ gering, müssen aber bei Fragen der GW-Bewirtschaftung berücksichtigt werden.

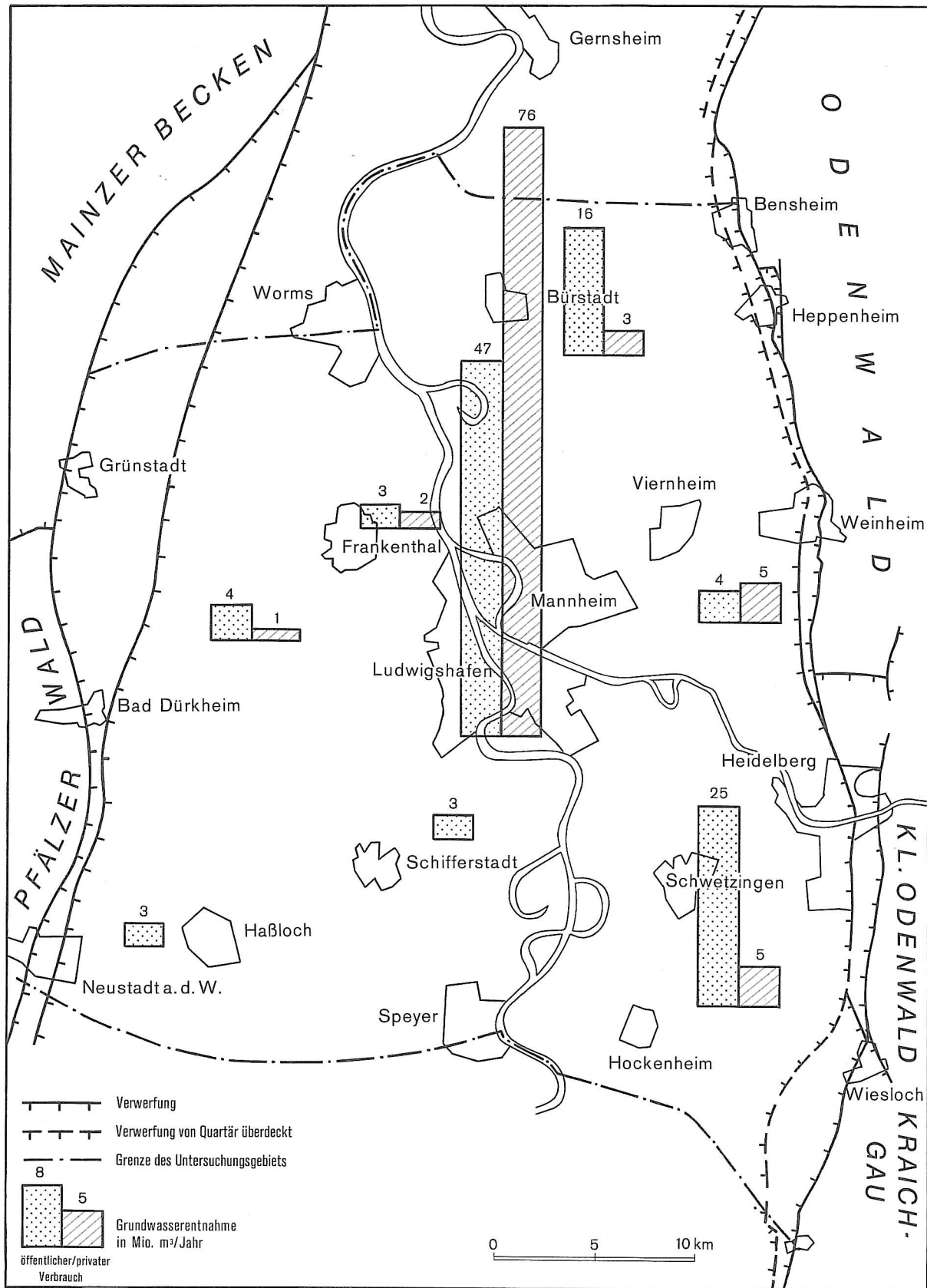


Abb. 11: Grundwasserentnahmen 1975.

5.5 Vergleich zwischen den Wasserständen des oberen und des tieferen Grundwassers vom 4. Oktober 1976

Die flächenhafte Verteilung der Wasserstandsdifferenzen zwischen oberem und tieferem Grundwasser ist in Anl. 12 dargestellt. Im Bereich Mannheim – Ludwigshafen ist die Druckfläche des tieferen Grundwassers infolge der Entnahme großflächig um mehr als 5 m unter die freie Oberfläche des oberen Grundwassers abgesenkt worden. Im ursprünglichen Zustand lag die Druckfläche in Rheinnähe über der freien GW-Fläche, wie dies derzeit noch südlich von Altrip/Rheinau bis zum Hockheimer Rheinbogen der Fall ist. Im Bereich der Niederterrasse südlich des Neckars, wo die tieferen GW-Leiter bisher kaum für die Wasserversorgung genutzt werden, liegt die Druckfläche des tieferen Grundwassers bis zu 1 m unter der freien GW-Oberfläche und entspricht in etwa den früheren natürlichen Verhältnissen.

Der Einfluß der Entnahmen aus den einzelnen GW-Leitern sowie die Infiltration des Neckars in den OGWL zeichnen sich deutlich ab.

5.6 Hydraulische Beziehungen zwischen dem Oberen und den tieferen Grundwasserleitern

Im natürlichen Zustand fließt das gesamte neugebildete Grundwasser dem Vorfluter Rhein zu (Abb. 12a). In Gebirgsnähe werden die tieferen GW-Leiter vom oberen Grundwasser durch den Oberen Ton hindurch gespeist. In Rheinnähe erfolgt ein erneuter Austausch von Grundwasser über den Oberen Ton in umgekehrter Richtung, so daß auch das tiefere Grundwasser letztlich in den Rhein gelangt. Die Druckfläche des tieferen Grundwassers liegt am Rhein über und am Gebirgsrand unter der Oberfläche des oberen Grundwassers. Dieser Zustand ändert sich bei starken Entnahmen entscheidend, wie die Abb. 12b für das Entnahmezentrum bei Mannheim-Ludwigshafen zeigt. Die Druckfläche des tieferen Grundwassers liegt hier gänzlich unter der Oberfläche des oberen Grundwassers, und zwar am Rhein bis zu 13 m.

Aus den Potentialdifferenzen resultiert die Durchsickerung des Oberen Tones und damit ein wesentlicher Teil der Regeneration des tieferen Grundwassers. Darüber hinaus bestehen aber auch direkte hydraulische Verbindungen zwischen dem OGWL und dem MGWL über die in Kap. 4.3.1.2 beschriebenen „Fenster“ im Oberen Ton. Obwohl die vertikale Durchlässigkeit des Oberen Tons mit $k_{fv} = 10^{-9}$ m/s bis 10^{-8} m/s gegenüber den Durchlässigkeiten der GW-Leiter um einige Zehnerpotenzen geringer ist, sickert aufgrund der großflächigen, beträchtlichen Potentialdifferenzen ein erheblicher Anteil des geförderten Wassers aus dem OGWL nach.

Bei der Annahme einer mittleren Mächtigkeit H des Oberen Tones von 10 m und einer mittleren Potentialdifferenz Δh von 4 m (Anl. 12) ergibt sich eine Sickerrate von $0,4 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ bzw. $4,0 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ je nach den angegebenen Durchlässigkeitsbeiwerten. Bei einer durchsickerten Fläche von rund 600 km^2 errechnet sich eine Sickerrate von 240 l/s bzw. 2400 l/s . Dies entspricht einer Gesamtsickerung von rund $7,5 \text{ Mio m}^3/\text{Jahr}$ bzw. $75 \text{ Mio m}^3/\text{Jahr}$, wobei die zweite Zahl realistischer sein dürfte.

Einen weiteren Zustrom zum Zentrum der Entnahmen hin erhalten die tieferen GW-Leiter aus dem S des Untersuchungsraumes, wo der Obere Ton fehlt und so der direkte Austausch von Grundwasser zwischen den einzelnen GW-Leitern möglich ist.

5.7 Hydraulische Beziehungen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern

Der Einfluß des Rheins auf die GW-Stände wurde bereits bei der Diskussion der Ganglinien und der GW-Höhengleichen angesprochen. Als Hauptvorfluter des Gebietes beeinflusst er nachhaltig die mittleren GW-Stände im gesamten Oberrheingraben. Südlich des Neckarauer Rheinbogens ist er sowohl links- als auch rechtsrheinisch Vorfluter für das Grundwasser, während er nördlich davon, im Bereich der Städte Mannheim-Ludwigshafen, das Grundwasser durch Infiltration stützt. Auf der gesamten Strecke besteht ein enger hydraulischer Kontakt zwischen Rhein- und Grundwasser. Abdichtungerscheinungen der Rheinsohle sind nicht bekannt. Die Entnahme größerer Mengen von Uferfiltrat ist daher in Teilbereichen möglich.

Der Neckar als größtes Nebengewässer des Rheins im Untersuchungsgebiet speist derzeit vor allem auf der Strecke zwischen dem Wieblinger Wehr und dem Ladenburger Wehr auf einer Strecke von rd. 11 km erhebliche, im Bereich zwischen Mannheim-Feudenheim und der Mündung geringere Wassermengen in den OGWL ein. Im Bereich der Ilvesheimer Schlinge und im weiteren Verlauf bis Mannheim-Feudenheim ist er Vorfluter für das Grundwasser. Die Infiltration läßt sich sowohl aus den GW-Höhengleichen als auch aus den Ergebnissen der hydrochemischen Analysen (Kap. 6) ablesen. In der Stauhaltung des Ladenburger Wehres ist die Infiltration zwar wegen der Schlammablagerungen im Laufe der Zeit zurückgegangen, jedoch stellt die Neckarinfiltration insgesamt eine wesentliche Bilanzgröße dar.

Als weitere größere Gewässer rechts des Rheins sind die Alte und die Neue Weschnitz zu nennen. Sie infiltrieren vor allem im Bereich Weinheim-Heppenheim in den OGWL, jedoch sind diese Wassermengen nach dem derzeitigen Kenntnisstand für den GW-Haushalt nicht von entscheidender Bedeutung. Das gleiche gilt für die übrigen rechtsrheinischen Seitengewässer, die auf der Niederterrasse meist über der GW-Oberfläche liegen und daher je nach Wasserführung und Abdichtungsgrad der Gewässersohle geringe Wassermengen einspeisen.

Die linksrheinischen Bäche Eisbach, Isenach und Speyerbach speisen nach ihrem Eintritt in die Oberrheinebene je nach Wasserführung mehr oder weniger in den GW-Leiter ein. Im weiteren Verlauf nehmen die Gewäs-

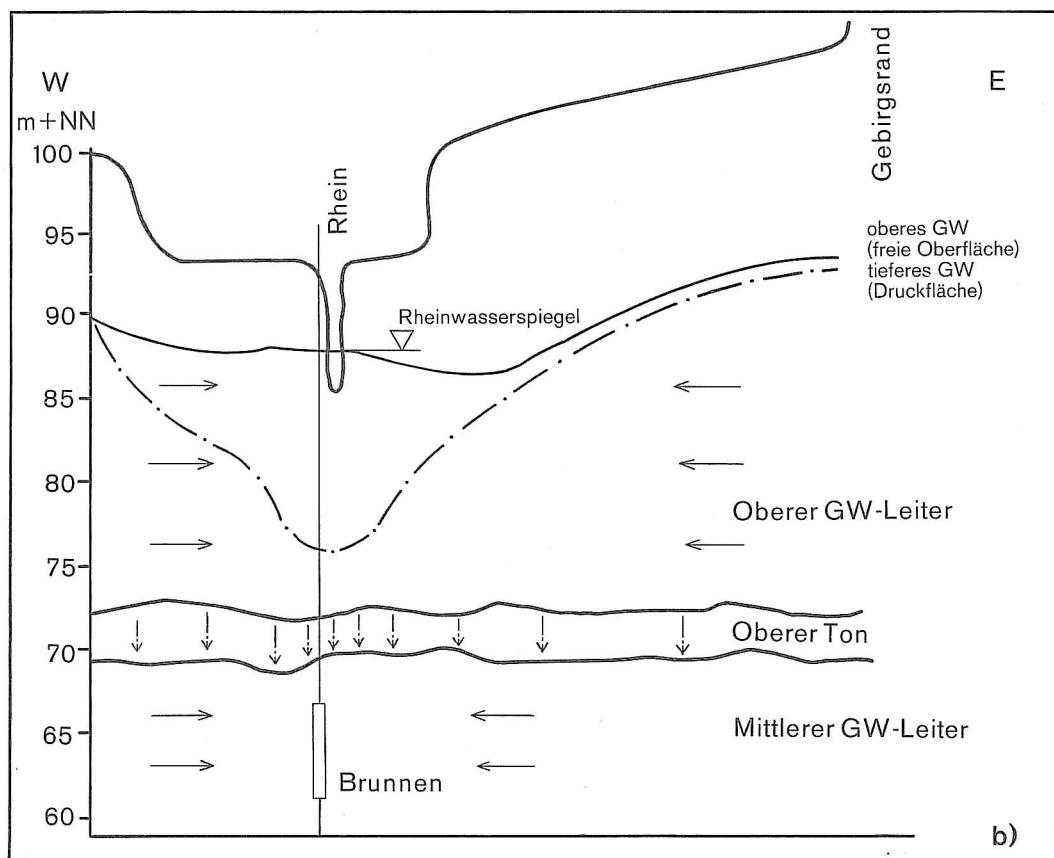
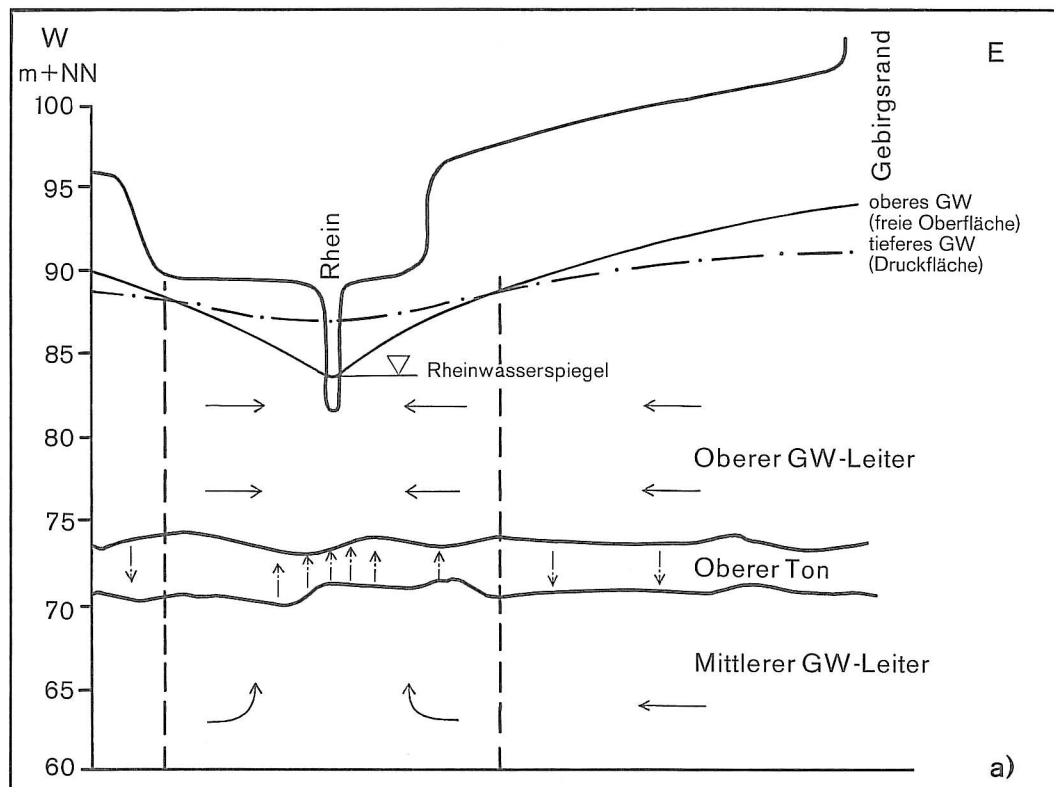


Abb.12: Hydrologische E-W-Schnitte (Schnittlinie in Abb. 9a)
a: ursprünglicher Zustand, nach NOLL (1972)
b: gemessener Zustand vom 6. Okt. 1975

ser, vor allem in Bereichen, in welchen der GW-Flurabstand kleiner als 1 m ist, wieder Wasser auf, so daß ein intensiver Austausch von Grund- und Oberflächenwasser erfolgt.

Insgesamt trägt das System der Oberflächengewässer einen beträchtlichen, jedoch noch nicht genau quantifizierbaren Anteil zur GW-Neubildung bei.

Um die Größe der Infiltration abschätzen zu können, wurden an den linksrheinischen Gewässern bereits Trockenwetterabflusssmengen durchgeführt, weitere gezielte Untersuchungen sind jedoch erforderlich. Rechtsrheinisch wurden an Rhein, Neckar und Weschnitz Pegelfelder und Registriergeräte eingerichtet sowie ein spezielles hydrochemisches Untersuchungsprogramm eingeleitet.

6. Hydrochemie des oberen Grundwassers

Im Schritt I des Untersuchungsprogramms wurde die Hydrochemie des oberen Grundwassers erkundet. Die Untersuchung der tieferen Grundwässer wird im Schritt II erfolgen.

6.1 Probenentnahme

Die GW-Beschaffenheit war aufgrund zahlreicher Einzeluntersuchungen verschiedenster Art in groben Zügen bekannt. Für eine flächenhafte Darstellung und Auswertung reichten diese Unterlagen jedoch nicht aus, zumal mehrere GW-Stockwerke vorhanden sind und sich andere Beeinflussungsfaktoren, wie der jeweilige Rheinwasserstand, die Jahreszeit, die Düngung usw. auf den Chemismus des Grundwassers auswirken. Es wurde daher ein Untersuchungsprogramm vereinbart, wobei sich die Probenentnahme auf den OGWL bzw. das oberflächennahe Grundwasser (Kap. 4.3.1.1) beschränken und eine möglichst einheitliche Entnahmezeit angestrebt werden sollte.

Vor allen Entnahmen wurde längere Zeit – mindestens jedoch 20 Minuten – abgepumpt; eine Beschränkung auf Schöpfproben war nur in wenigen Fällen notwendig.

Für die Auswertung standen im baden-württembergischen Bereich über 160 Proben aus Brunnen und GW-Meßstellen zur Verfügung, die von September bis November 1974 entnommen und analysiert wurden. Sie konnten durch etwa 50 Analysen aus Wasserwerken und Notversorgungsbrunnen ergänzt werden. Im hessischen Anteil bildeten 114 Analysen von Anfang September 1975 die Auswertungsgrundlage. Sie wurden vorwiegend aus Beregnungsbrunnen und GW-Meßstellen aus Tiefen zwischen 12 und 25 m entnommen, einige auch aus Wasserwerken bzw. aus Oberflächengewässern, letztere zum Erkennen einer möglichen Infiltration in den Untergrund. In Rheinland-Pfalz wurden Analysen von 137 Entnahmestellen – vor allem aus Wasserwerken und GW-Meßstellen – ausgewertet, die allerdings aus verschiedenen Zeiten stammen: über die Hälfte vom Frühjahr 1976; rund 40 Analysen waren maximal 6 Jahre alt, der Rest noch älteren Datums.

Die Probenentnahmen und analytischen Untersuchungen führten die geologischen und wasserwirtschaftlichen Dienststellen sowie private Laboratorien durch.

Die Darstellung der Konzentrationsverteilung beschränkt sich in diesem Bericht auf folgende hydrochemische Komponenten: Gesamt- und Karbonathärte, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Eisen und Mangan. Sie wurden in Karten im Maßstab 1:50 000 flächenhaft dargestellt und wegen des grobmaschigen Entnahmenetzes und der jahreszeitlichen Konzentrationsschwankungen des Grundwassers auf 1:100 000 verkleinert (Anl. 13, 14a–c). Die Karten geben einen großräumigen Überblick; sie können nicht in jedem Fall für lokale Aussagen herangezogen werden.

6.2 Gesamthärte*)

Im rechtsrheinischen Gebiet reichen die Gesamthärte-Werte von > 8 bis $> 50^\circ$ dGH; es fehlen also weiche und sehr weiche Wässer (Anl. 13a). Bereiche mit Härten zwischen 8 und 24° dGH bilden im S die Fläche zwischen Ketsch – Oftersheim – Sandhausen und Hockenheim, im N einen breiten Streifen von Mannheim-Gartenstadt nach Lorsch. In beiden Fällen handelt es sich um Waldgebiete auf der Niederterrasse, in denen noch natürliche, anthropogen nicht oder nur wenig beeinflusste Verhältnisse herrschen. Die restliche Fläche wird vorwiegend von Grundwässern mit Gesamthärten zwischen 24 und 30° dGH eingenommen. Es sind dies vor allem der Bereich des Neckar-Schwemmfächers vom Leimbach im S bis zur Linie Großsachsen – Heddesheim – Käfertal im N und das Gebiet westlich der Linie Lampertheim – Bürstadt – Biblis. Während die Härtebildung im Neckar-Schwemmfächer auf den hohen Anteil an Kalkgeröllen und die starke Löß- bzw. Lößlehmbedeckung zurückzuführen ist, sind nordwestlich von Lampertheim neben den vorrangigen geogenen Faktoren anthropogene Belastungen mitbeteiligt, die von Bebauungs- und Industriegebieten ausgehen. Starken Einfluß hat dort die verbreitete Lehmbedeckung, daneben die Bebauung, die eine Versiegelung des Untergrundes bewirken. Dadurch kann die bei mikrobiellen Umsetzungen entstehende Kohlensäure schlecht entweichen. Sie verleiht als Folge dem Grundwasser erhöhte Aggressivität, was bei dessen Bodenpassage zu einer Aufhärtung führt. Ein Beispiel hierfür stellt die von Lehm bedeckte Niederterrasse im Raum Einhausen dar.

Innerhalb der Fläche mit Wässern zwischen 24 und 30° dGH treten sehr harte Wässer am stärksten um Mannheim sowie südöstlich Viernheim und südwestlich Weinheim auf. Im letztgenannten Gebiet liegt die Ursache in den verlandeten Neckar-Altläufen, wo Torf und Mudde eine höhere Kohlendioxid-Produktion bewirken, aus der eine stärkere Aggressivität der Sickerwässer resultiert. Die gleiche Erscheinung gilt für den Raum Reilingen –

*) Härtestufen nach KLUT-OLSZEWSKI (1945) in MATTHESS (1973, S. 187).

Neulußheim, wo organische Sedimente in der Kraichbach- und Rheinaue die Gesamthärte erhöhen, allerdings dort nur auf Werte zwischen 25 und 29° dGH.

Die höchsten Gesamthärte-Konzentrationen im rechtsrheinischen Gebiet liegen bei Mannheim (z. B. fast 58° dGH im Bereich der Friesenheimer Insel und des Altrheinhafens). Sie sind vorwiegend auf die hohe Industrie- und Siedlungsdichte und die damit verbundenen Auswirkungen auf das Grundwasser zurückzuführen. Neben der unmittelbaren Beeinflussung macht sich auch eine mittelbare unter der Bebauung bemerkbar, die auf eine Erhöhung der Aggressivität des Grundwassers durch Erwärmung und Versiegelung des Untergrundes beruht.

Örtliche Aufhärtungen außerhalb von Bebauungs- und Industriegebieten sind in der Umgebung von Deponien und in Gebieten intensiver landwirtschaftlicher und gärtnerischer Nutzung zu erkennen, die sich vor allem auf die Schwemmlerbereiche erstrecken. Dort wirken sich direkt die hohen Gaben von Natur- und Kunstdünger und indirekt die intensive Bodenbearbeitung aus, da durch sie die Kohlendioxid-Produktion der Mikroorganismen verstärkt wird. Die starke Weinbergsdüngung bewirkt ebenfalls, z. B. nördlich Heppenheim, eine Gesamthärte-Erhöhung (bis 30° dGH). Eine Verringerung der Gesamthärte findet durch Infiltration von Oberflächenwasser statt, so z. B. nordwestlich Weinheim, wo das weiche Weschnitzwasser die Gesamthärte des Grundwassers von 20 bis 22° dGH auf 17° dGH senkt. Auch bei Heidelberg-Wieblingen wird das Grundwasser des Neckar-Schwemmfächers von 24 bis 30° dGH durch Neckarwasser (um 20° dGH) auf etwa 22 bis 24° dGH verdünnt. Im Bereich des Hockenheimer Rheinbogens und der Mannheim-Neckarauer Rheinschleife sowie im Stadtgebiet von Mannheim wirkt sich die Infiltration von Rhein- und Neckarwasser in einer Verringerung der Gesamthärte deutlich aus. Entlang dem Odenwaldrand fließt stellenweise weiches Kluftgrundwasser aus dem Randgebirge zu; es wird jedoch durch Zusickerung von Hangwässern überprägt, die aufgrund der z. T. sehr mächtigen Lößüberdeckung stark aufgehärtet sind.

Im linksrheinischen Bereich ist, allgemein betrachtet, eine Zunahme der Gesamthärte von S nach N zu beobachten. Dies ist sowohl geologisch als auch anthropogen bedingt (BANGERT 1975). Im südlichen Teil macht sich der Einfluß des Speyerbach-Schwemmfächers bemerkbar, der sich überwiegend aus kalkfreiem Buntsandsteinmaterial aus dem Pfälzer Wald aufbaut. Die niedrigsten Werte (bis 16° dGH) treten im südöstlichsten Teil, zwischen Speyer und Schifferstadt auf. Im Raum Haßloch – Böhl – Iggelheim wirkt sich die landwirtschaftliche Nutzung bzw. die damit verbundene Düngung in einer starken Aufhärtung des Grundwassers aus. So findet man die höchsten Werte (> 50° dGH) im Zentrum des vorderpfälzischen Intensiv-Gemüseanbaus um Ruchheim – Maxdorf – Eppstein und Flomersheim. Die im Dreieck zwischen Bad Dürkheim – Worms – Bockenheim erkennbare große Gesamthärte (bis 40° dGH) wird durch tertiäre Kalk- und Mergelablagerungen hervorgerufen, die von S nach N immer stärker auftauchen. Auch hier bewirkt die Düngung lokal höhere Härtekonzentrationen.

Die Zunahme der Gesamthärte nördlich der Linie Mutterstadt – Limburgerhof – Neuhausen kann man u. a. auf die zahlreichen alten Mülldeponien zurückführen. Zusammen mit den durch die Landwirtschaft verursachten hohen Konzentrationen aus dem südlich anschließenden Bereich zwischen Speyer und Waldsee (Gesamthärten bis 30° dGH) ergeben sich Fahnen höherer Konzentration, die bis in das Stadtgebiet von Ludwigshafen reichen. Schließlich läßt sich noch der Einfluß der Industrieabfälle zwischen Oppau und Frankenthal an den Höchstwerten erkennen, die örtlich über 50° dGH betragen können.

6.3 Karbonathärte *)

Die Konzentrationsverteilung der Karbonathärte (Anl. 13b) ähnelt im rechtsrheinischen Teil derjenigen der Gesamthärte. Sie ist jedoch insgesamt ausgeglichener und folgt mit ihren Grenzen weitgehend den größeren geologischen Einheiten (Anl. 1 u. 2). Die niedrigsten Werte (7 bis 12° dKH) finden sich, wie bei der Gesamthärte, in den Waldgebieten auf der Niederterrasse, so südlich Schwetzingen und südwestlich Lorsch. Ähnlich niedrige Werte deuten im Hockenheimer Rheinbogen nordwestlich Altlußheim auf Infiltration von Rheinwasser und bei Heidelberg auf Einspeisung von Kluftgrundwasser aus dem Buntsandstein hin.

Die höchsten Werte treten, in Übereinstimmung mit der Gesamthärte, geogen bedingt im Bereich der verlandeten Neckar-Altläufe zwischen Viernheim und Weinheim (bis rund 35° dKH) auf und als Auswirkung anthropogener Einflüsse im Raum Mannheim auf (insbesondere Friesenheimer Insel und Altrheinhafen).

Ansonsten liegen die Werte zumeist zwischen 12 und 20° dKH, wie in der hessischen Rhein-Niederung und im Bereich des Neckar-Schwemmfächers. In diesem besitzt der zentrale Teil durch Infiltration von Flußwasser Karbonathärten um 12 bis 15° dKH, während in den randlichen Bereichen die Werte zwischen 16 und 20° dKH schwanken. Lokale Abweichungen mit größeren Härten sind in den meisten Fällen an junge Mäanderablagerungen gebunden. Die Aufhärtung des Grundwassers durch Lössschichten wird auch bei der Karbonathärte mit Werten bis 24° dKH am Gebirgsrand deutlich.

Linksrheinisch läßt ein Vergleich der Konzentrationsverteilungen von Gesamt- und Karbonathärte kaum Parallelen erkennen. Lediglich in der allgemeinen Konzentrationszunahme von S nach N und in den Bereichen mit erhöhten Werten zwischen Haßloch und Lambsheim bzw. im Ballungsraum Ludwigshafen – Frankenthal besteht eine gewisse Übereinstimmung.

Sieht man von einem Streifen entlang des Haardtrandes ab, wo von S bis Bad Dürkheim Werte zwischen 8 und 12° dKH vorhanden sind, weist das obere Grundwasser südlich der Linie Haßloch – Limburgerhof – Waldsee vorwiegend 8 bis 12° dKH und nördlich davon 16 bis 20° dKH auf. Darin liegen „Inseln“ mit höheren Konzentrationen, so zwischen Hochdorf und Mutterstadt (20 bis 24° dKH), zwischen Großkarlbach und Heidesheim bei Grünstadt

(20 bis 30° dKH) und zwischen Ludwigshafen und Petersau (16 bis 30° dKH), oder mit geringeren Werten, wie zwischen Bad Dürkheim und Maxdorf (0 bis 12° dKH). Letztgenannte Werte beruhen auf dem geogen bedingten, hohen Chloridgehalt (s. unten) und der dementsprechend niedrigen Karbonathärte.

Auch das Vorherrschen oder Zurücktreten der Karbonathärte gegenüber der Nichtkarbonathärte ist sehr unterschiedlich. Im nördlichsten Bereich sind beide Komponenten etwa gleich groß; in den stark landwirtschaftlich genutzten Gebieten überwiegt die Nichtkarbonathärte (Chloride, Sulfate, Nitrate) im Gegensatz zu jenen mit Siedlungs- und Industrieballungen am Rhein, wo die Karbonathärte dominiert.

6.4 Chlorid

Die Erklärung für das Auftreten verschieden hoher Chloridkonzentrationen (Anl. 13c) wird dadurch erleichtert, daß Chlorid ein stabiles Ion ist, auf das sich weder Änderungen des Redoxpotentials noch Ionenaustausch-Vorgänge wesentlich auswirken. Ausgehend von Erfahrungswerten, die für Sandgebiete zwischen 7 und 12 mg/l Cl⁻ und bei stärker verwitterten bzw. verlehnten Gesteinen bei 20 bis 25 mg/l Cl⁻ liegen, kann man niedrigere Werte bei Infiltration aus unbelasteten Vorflutern und höhere Konzentrationen aufgrund anthropogener Einflüsse (künstliche und natürliche Düngung, Bebauung, Deponien) erkennen. Die beiden Hauptvorfluter Rhein und Neckar sind dagegen durch Einleitung von Restlaugen aus Salzgewinnungsgebieten stark chloridführend (Spitzenwerte bis über 300 mg/l Cl⁻), so daß sich ihre Infiltrationen deutlich beim Chloridwert bemerkbar machen.

Im rechtsrheinischen Grundwasser ähnelt die Verteilung der Chloridgehalte weitgehend derjenigen der Gesamthärte und erreicht Werte zwischen 5 und fast 200 mg/l. Die niedrigsten Konzentrationen von < 10 mg/l Cl⁻ treten wiederum im sandreichen zentralen Hardtwald südlich Schwetzingen und im Lorsch Wald südwestlich Lorsch auf, wo das Grundwasser anthropogen unbeeinflusst geblieben ist.

Beide Gebiete sind von breiten Flächen mit höheren Chloridgehalten (10 bis 25 bzw. 25 bis 50 mg/l Cl⁻) umgeben, deren allmähliche Konzentrationszunahme hauptsächlich von der Chloridzufuhr aus Natur- und Kunstdünger sowie aus Bebauungsbereichen herrührt. Zwischen diesen beiden Gebieten besteht eine Verbindung über einen schmalen, nordwestlich gerichteten Streifen von Schwetzingen nach Mannheim-Käfertal, an dessen beide Seiten sich Bereiche mit hohen Chloridgehalten (50 bis 200 mg/l Cl⁻) anschließen: Im E die Infiltrationsstrecke des Neckars mit einem Kernbereich zwischen Heidelberg-Wieblingen und Ladenburger Wehr, wo das flußnahe Grundwasser bis knapp 200 mg/l Chloride enthält, im NW der Raum Mannheim mit Chloridwerten bis 178 mg/l (Friesenheimer Insel und am Altrhein). Hier bilden außer der Infiltration des Rheins die Industrieballung, Bebauung und Deponien die Ursache.

Im Unterstrom von Viernheim, Lampertheim und Lorsch sind ebenfalls höhere als geogen bedingte Konzentrationen festzustellen.

Auch linksrheinisch gleicht die Verteilung der Chloridkonzentration in groben Zügen derjenigen der Gesamthärte. Die niedrigsten Werte (bis 50 mg/l Cl⁻) sind ebenfalls im S und SE vorhanden, wo sich der Einfluß des mineralarmen Wassers aus dem Schwemmfächer und dem Buntsandstein-Einzugsgebiet des Speyerbachs bemerkbar macht. Im übrigen wird der weitaus größte Teil des Untersuchungsraumes von Konzentrationen zwischen 50 und 150 mg/l Cl⁻ eingenommen. Die höheren Werte (100 bis 150 mg/l Cl⁻) zeichnen ungefähr den Bereich des vorpfälzischen Intensiv-Gemüseanbaus zwischen Hochdorf und Frankenthal nach.

Erhöhte Werte gleicher Größenordnung bilden einen Streifen entlang des Rheinuferes von Altrip bis Oppau, wobei sowohl die Auslaugung von Industriemüll als auch Rheinwasserinfiltration beteiligt sein dürften. Innerhalb dieser Uferzone sowie nördlich Oggersheim, zwischen Schauernheim und Fußgönheim, um Gönheim und südlich Worms treten örtlich begrenzte Höchstwerte zwischen 150 und 250 mg/l Cl⁻ auf, die sicherlich anthropogenen Ursprungs sind. Geologisch bedingt ist dagegen die starke Chloridkonzentration nordöstlich Bad Dürkheim, wo die am Haardtrand natürlich austretenden oder künstlich erschlossenen und stets artesischen Kochsalzwässer sich dem Grundwasser beimischen.

6.5 Sulfat

Der Sulfatgehalt (Anl. 13d) im Grundwasser ist von verschiedenen Faktoren abhängig, die sich überlagern können und damit die Deutung der Herkunft und der Konzentrationsverteilung erschweren. Abgesehen von direkten anthropogenen Einwirkungen machen sich vorwiegend folgende Einflüsse bemerkbar: der Schwefeldioxidgehalt des Niederschlags, Art und Menge der Schwefelverbindungen in den oberirdischen Gewässern, in der belebten Bodenzone, im Sickerwasserbereich und in den Schichten des GW-Leiters, die Auswirkungen des jahreszeitlich beeinflussten biogenen Kreislaufs sowohl der Vegetation als auch der Bodenbakterien, -mikroben und -pilze und damit auch der Zeitpunkt und die Tiefe der Probenentnahme.

Rechtsrheinisch tritt die niedrigste Konzentrationsstufe (< 50 mg/l SO₄⁻⁻) nur lokal auf, z.B. im Stadtgebiet Heidelberg durch Einspeisung von mineralarmem Buntsandsteinwasser, nordwestlich Weinheim als Verdünnungseffekt durch versickerndes Weschnitzwasser und westlich Lorsch, wo Sandböden mit Waldbewuchs unbelastete Gegebenheiten widerspiegeln. Wesentlich größere Flächen umfaßt die nächste Stufe zwischen 50 und 100 mg/l SO₄⁻⁻, so im anthropogen unberührten Schwetzingen Hardtwald, in zwei größeren Arealen innerhalb des Neckar-Schwemmfächers (vielleicht als Folge geringer Bebauung und Düngung) im waldbestandenen

Niederterrassengebiet zwischen Mannheim-Gartenstadt und Lorsch sowie nordwestlich Weinheim entlang der Alten und Neuen Weschnitz.

Mit Ausnahme einzelner „Inseln“ in den Räumen Wiesloch, Reilingen, Hockenheimer Rheinbogen und Brühl, in denen z. T. geogen bedingte Sulfatkonzentrationen ($> 250 \text{ mg/l SO}_4^{--}$) vorkommen, hat das Grundwasser südlich der Linie Mannheim – Leutershausen Sulfatgehalte zwischen 100 und 150 mg/l SO_4^{--} . Nach N und NW schließen sich Bereiche mit hohen Sulfatgehalten (> 150 bis $> 250 \text{ mg/l SO}_4^{--}$) an. Diese sind geogen bedingt durch die reichlich organische Substanz enthaltenden Altläufe des Bergsträßer Neckars südöstlich Viernheim und südwestlich Weinheim sowie als Folge von Bebauung, Industrie und Deponien im Raum Mannheim (lokal bis $600 \text{ mg/l SO}_4^{--}$).

Eine Fortsetzung der sulfatreichen rheinnahen Bereiche bildet nach N die Rhein-Niederung um Lampertheim und westlich der Linie Bürstadt – Bobstadt – Biblis. In diesem Gebiet mit Sulfatkonzentrationen zwischen 150 und $200 \text{ mg/l SO}_4^{--}$ sind einzelne „Inseln“ mit höheren Sulfatwerten vorhanden, deren Auftreten sich auf geogene und/oder anthropogene Einflüsse zurückführen läßt. Am Odenwaldrand machen sich in den Räumen um Heppenheim und Bensheim Konzentrationszunahmen bemerkbar, die auf die aus der Besiedlung herrührenden Verunreinigungen sowie auf die Düngung der Weinbauflächen zurückgehen dürften.

Ein Vergleich des rechtsrheinischen Gebietes mit dem linksrheinischen zeigt, daß im letztgenannten allgemein höhere Sulfatkonzentrationen vorhanden sind und daß die höchste Stufe ($> 250 \text{ mg/l SO}_4^{--}$) viel weiter verbreitet ist. Mit Ausnahme des südöstlichen Bereichs zwischen Speyer und Schifferstadt und einigen anderen kleinen Flächen liegen alle Sulfatgehalte über $100 \text{ mg/l SO}_4^{--}$. Die Überschreitung des Wertes von $250 \text{ mg/l SO}_4^{--}$ erfolgt im gleichen Bereich, in dem auch die Gesamthärte sehr hohe Werte aufweist, nämlich zwischen Haßloch und Roxheim. Die im Nerkennbaren hohen Sulfatwerte könnten durch mikrobielle Oxidation der in den Tertiärlagerungen vorhandenen Pyrit- und Gipsgehalte entstanden sein.

Im Raum Ludwigshafen – Mannheim fällt in Rheinnähe der starke Rückgang der Sulfatgehalte auf. Dies ist zum einen sicherlich ein Verdünnungseffekt durch Rheinwasserinfiltration. Andererseits stammt aus diesem Raum, und zwar von beiden Rheinseiten, die stärkste Anreicherung der Luft an Schwefeldioxid durch die Ballung an Industrie und Bebauung. Mit den Niederschlägen kann das SO_2 in das Sicker- und Grundwasser gelangen, nachdem es vom Wind in entferntere Gebiete verfrachtet worden ist.

6.6 Nitrat

Die Gesteine in den GW-Leitern enthalten praktisch keine wasserlöslichen Stickstoffverbindungen. Nitrat ist daher unter natürlichen Gegebenheiten nur in geringen Mengen im Grundwasser enthalten und auf biogene Umsetzungen zurückzuführen. Diese schwanken jahreszeitlich, wobei Nitrat in der Vegetationsperiode verbraucht wird, im Winter dagegen vermehrt ins Grundwasser gelangt. Allerdings wird dieser Vorgang durch die Eigenschaft des Nitrats als gutes Oxidationsmittel beeinflusst. Die Reduktion im Boden, aufgrund mikrobieller Umsetzungen, ist besonders stark in geringdurchlässigen Ton- oder Lehmböden durch die längere Einwirkungszeit auf die Sickerwässer. Das gleiche gilt für hohe Humusgehalte im Boden oder in torfigen Altlaufablagerungen, wo Nitrat über Nitrit und Ammonium zu gasförmig entweichendem Stickstoff umgewandelt werden kann. So gelangen u. U. die Nitrate aus der Düngung und aus Siedlungsbereichen gar nicht als solche bis ins Grundwasser. Das bedeutet aber, daß man dieses Ion nur bedingt als Verschmutzungsindikator verwenden kann, da geringe oder fehlende NO_3^- -Gehalte eines Wassers eine anthropogene Verschmutzung nicht ausschließen. Die Nitratverteilung (Anl. 14a) rechts des Rheins zeigt überwiegend Flächen mit Konzentrationen zwischen 0 und 25 mg/l NO_3^- . Im Bereich des Schwetzingen Hardtwaldes und des Sandhofen-Käfertaler Waldes stellen Nitratwerte mit vorwiegend 0 bis 5 mg/l NO_3^- etwa den natürlichen Zustand dar. Dabei zeigt das häufige Auftreten von Nullwerten, daß das Nitrat in der belebten Bodenzone bereits vollkommen reduziert wird.

Im intensiv landwirtschaftlich genutzten und kräftig gedüngten Teil des Neckar-Schwemmfächers tritt die kleinste Nitratstufe im Infiltrationsbereich des Neckars zwischen Heidelberg-Wieblingen und Ilvesheim auf, wobei die Werte sogar meist unter 10 mg/l NO_3^- liegen. Um diesen Reduktions- und Verdünnungsbereich ordnen sich eng begrenzt die beiden nächsten Stufen (25 bis 50 und 50 bis 100 mg/l NO_3^-) an, von denen die äußere ohne die Infiltration von Oberflächenwasser repräsentativ für den gesamten landwirtschaftlich genutzten Schwemmfächeranteil sein würde. Weitere Bereiche mit Nitratgehalten bis 100 mg/l NO_3^- bzw. lokal auch bis 188 mg/l NO_3^- treten vor allem in der Nähe von Siedlungen auf. Im N läßt sich der anthropogene Einfluß bei Hofheim/Wattenheim, Lorsch/Einhausen, Lampertheim und Viernheim erkennen, wo die Deckschichten nur schwach lehmig ausgebildet sind. Die niedrigen Nitratgehalte bei Mannheim sind auf Reduktion durch anthropogene Verunreinigungen, diejenigen am Odenwaldrand bei Heppenheim und Bensheim auf die infolge der Lößlehlabdeckung besonders hohe mikrobielle Abbauleistung zurückzuführen.

Im linksrheinischen Teil zeigt etwa die Hälfte des Untersuchungsraumes niedrige, zwischen 0 und 25 mg/l NO_3^- liegende Werte. Sie verteilen sich vorzugsweise auf einen gebirgsnahen und einen breiteren rheinnahen Bereich; zwischen beiden liegt ein etwa N-S gerichteter Streifen, in dem die Stufe 50 bis 100 mg/l NO_3^- öfter erreicht wird. Eine Zone mit Gehalten zwischen 150 und 200 mg/l NO_3^- verläuft von Ellerstadt über Weisenheim, Großkarlbach nach Grünstadt. Ausschlaggebend für diese Nitratgehalte dürfte die starke landwirtschaftliche Nutzung und die damit verbundene intensive Düngung sein.

Wie im Raum Mannheim sind die geringen Nitratgehalte im Bereich der Industrieansiedlungen zwischen Ludwigshafen, Oppau und Frankenthal auf ein reduzierendes Milieu im Grundwasser zurückzuführen, das eine

Umwandlung des Nitrats bis zum gasförmig entweichenden Stickstoff bewirkt. Ein Zusammenhang mit der Bodenbeschaffenheit ist nicht zu erkennen.

6.7 Eisen

Die Konzentrationen der Schwermetalle Eisen und Mangan hängen vom Redoxpotential und vom pH-Wert in der Sickerzone und im GW-Leiter ab. Niedrige pH-Werte, d. h. saurer Bereich, begünstigen die Lösung der beiden Elemente; im alkalischen Bereich, also bei höheren pH-Werten, erfolgt Ausfällung in der unlöslichen dreiwertigen Form. Eisen und Mangan treten daher nur dort im Grundwasser auf, wo sie in reduzierender Umgebung bzw. im sauren pH-Bereich die zweiwertige, lösliche Form besitzen. Diese Verhältnisse bestehen bei Vorhandensein sauerstoffzehrender Ablagerungen, wie Torf und Moor, oder säurehaltiger Stoffe (Huminsäure in organischen Substraten oder aggressive Kohlensäure) bzw. bei Verunreinigung durch anthropogene Schmutzstoffe, wie Abwässer, Jauche, Müll etc. Weiterhin verhalten sich Eisen und Mangan im Wasser häufig antagonistisch zu Nitrat, das als starkes Oxidationsmittel die beiden Schwermetalle in die unlösliche Form überführen und damit ausfällen kann. Dies dürfte z. B. mit ein Grund für die große Fläche im Bereich des Neckar-Schwemmfächers sein, in der rechtsrheinisch die geringsten Eisengehalte (0 bis 0,1 mg/l Fe^{++}) anzutreffen sind. Als weitere Ursachen könnten das vorwiegend grobkörnige Material, das Fehlen reduzierender organischer Stillwassersedimente und der verhältnismäßig große Flurabstand mit einem entsprechend erhöhten Sauerstoffangebot im Sickerbereich in Frage kommen.

Südlich und nördlich des Neckar-Schwemmfächers steigen die Eisengehalte (Anl. 14b) generell an: im Bereich der Niederterrasse auf relativ kleine Werte (bis 2 mg/l Fe^{++}), im Bereich der Rhein- und Kraichbach-Aue auf etwa 3 mg/l Fe^{++} und in den moorigen und torfigen Altlauffüllungen des Bergsträßer Neckars auf z. T. > 10 mg/l Fe^{++} . Einzelne Gebiete, wie bei Biblis, Hofheim, Lorsch, Lampertheim, Bensheim und Heppenheim, fallen durch sehr geringe Eisengehalte auf. Ein Vergleich mit der Karte der Nitratgehalte (Anl. 14a) läßt erkennen, daß hier vorhandenes Eisen durch große Nitratmengen oxidiert und ausgefällt wird. Die höheren Eisengehalte südöstlich Bürstadt können auf GW-Schwankungen und damit häufig wechselnde Redox-Vorgänge im Bereich des Absenkungstrichters des Wasserwerks Bürstadt zurückgeführt werden. Die hohen, bis über 5 mg/l Fe^{++} ansteigenden Eisengehalte im Grundwasser des Mannheimer Raumes sind dagegen neben den schon im Auebereich üblichen höheren Werten sicher auch durch anthropogene Verunreinigungen mitbedingt.

Im linksrheinischen Gebiet läßt sich das antagonistische Verhalten von Nitrat zu Eisen nicht so eindeutig nachweisen. Allgemein ist eine Zunahme der Eisengehalte vom Gebirgsrand zum Rhein hin zu beobachten, wobei der gesamte Bereich der Randschollen keine höheren Konzentrationen als 0,5 mg/l Fe^{++} aufweist. Die kleinsten Werte finden sich im SW und auch im NW, wo in kalkhaltigen Tertiärablagerungen alkalische Bedingungen im Grundwasser zur Eisenausfällung führen. Hohe Konzentrationen trifft man dagegen allgemein in Rheinnähe. Die im südlichen Bereich um Neuhausen, Rheingönheim und Mundenheim bis 5 mg/l Fe^{++} reichenden Werte werden vermutlich durch die huminsäuren Torfablagerungen in den Althreinschlingen verursacht. Im N, bei Oppau und Frankenthal, sind es wohl Industrieinflüsse und um Eppstein/Flomersheim Verunreinigungen durch die Landwirtschaft, die zu diesen extremen Gehalten (> 10 mg/l Fe^{++}) führen.

6.8 Mangan

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, zeigt Mangan ein dem Eisen vergleichbares hydrochemisches Verhalten. Dementsprechend ähneln sich auch die Konzentrationsverteilungen der beiden Stoffe, wobei die Mangankarte (Anl. 14c) allerdings ein ausgeglichenes Bild vermittelt und die Konzentrationen hier allgemein niedriger sind.

Rechts des Rheins treten die niedrigsten Mangangehalte mit Werten von $< 0,05$ mg/l Mn^{++} großflächig im Bereich des Neckar-Schwemmfächers aus denselben Gründen wie bei Eisen auf. Während sich im S meist nur Konzentrationserhöhungen bis 0,5 mg/l Mn^{++} anschließen, wird dieser Wert im nördlich angrenzenden Bereich mit Ausnahme einer kleinen Fläche südwestlich Lorsch stets überschritten. Im Gebiet der Altneckar-Aue steigen die Werte, geogen durch reduzierende organische Ablagerungen bedingt, nahezu auf 1,4 mg/l Mn^{++} . Die höchsten Mangangehalte (> 3 mg/l Mn^{++}), deren Ursprung wohl größtenteils auf Verunreinigungen des Grundwassers durch anthropogene organische Substanzen beruht, trifft man im Raum Mannheim. Niedrige Werte sind wieder an Zonen erhöhter Nitratgehalte gebunden, wie nördlich Hofheim, südwestlich Lorsch, bei Bensheim und Heppenheim sowie zwischen Bürstadt und Lampertheim, wenngleich der Verlauf der Verbreitungsgrenzen nicht mit denen des Eisens übereinstimmt.

Linksrheinisch wiederholt sich, wie bei der Verbreitung der Eisengehalte, eine Konzentrationszunahme von W nach E. Das Gebiet südlich der Linie Haßloch – Rheingönheim zeigt erhöhte Konzentrationen, die sich allerdings zum Rhein hin, trotz der vorhandenen Altrheinläufe, wieder verringern. Die niedrigsten Mangangehalte sind in einer großen Fläche im NW und in einem Keil vorhanden, der aus dem Raum Deidesheim bis Mutterstadt reicht. Im N stehen kalkige Ablagerungen an, im S zeigt die Karbonathärte erhöhte Werte, so daß in diesem alkalischen Milieu Mangan kaum gelöst ist. Nördlich von Oppau und Frankenthal findet man anthropogen bedingte Mangangehalte (bis zu 2 mg/l Mn^{++}); im Raum Roxheim dürften diese Gehalte geogener Natur sein.

7. Überschlägige Ermittlung der Grundwasserneubildung

7.1 Grundlagen und Methoden

Unter GW-Neubildung werden Zugänge von Wasser zum Grundwasser des betrachteten Bereichs verstanden. Die wesentlichen Komponenten der GW-Neubildung im Untersuchungsraum sind für den OGWL:

- Versickerung von Niederschlägen
- Infiltration aus Oberflächengewässern

Zusätzlich zur GW-Neubildung erfolgt eine Einspeisung aus den Randgebirgen.

Das obere Grundwasser speist in die tieferen quartären und pliozänen GW-Leiter ein. Der gesamte quartäre GW-Leiter ist großräumig als hydraulische Einheit zu betrachten. Diese Tatsache ist bei der Aufstellung von Bilanzen zu berücksichtigen.

Die Ermittlung der gesamten GW-Neubildung bzw. deren Einzelfaktoren kann nach verschiedenen Methoden erfolgen, die von den hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnissen und von den zur Verfügung stehenden Ausgangsdaten abhängen. Nach Möglichkeit sollten stets mehrere Methoden mit voneinander unabhängigen Ausgangsdaten verwendet werden. Im Untersuchungsraum wurde

- die GW-Neubildung aus Niederschlägen mittels Lysimetern und der klimatischen Wasserbilanz in Anlehnung an HAUDE (1954) und RENGGER et al. (1974) überschlägig erfaßt,
- die GW-Neubildung durch Versickerung aus Oberflächengewässern und die Einspeisung aus dem Randgebirge mittels hydrochemischer und hydraulischer Daten abgeschätzt und
- die gesamte GW-Neubildung für Teilgebiete über die Wasserwerksmethode ermittelt.

Die Ermittlung der GW-Neubildung aus Niederschlägen mittels Lysimetern und der klimatischen Wasserbilanz ergibt im Untersuchungsraum, der keinen wesentlichen Oberflächenabfluß aufweist, bei der durchgeführten Übertragung der Einzelwerte auf größere Gebiete gute Näherungswerte. Die Versickerung aus Oberflächengewässern und die Einspeisung aus dem Randgebirge konnte bisher nur abgeschätzt werden; erste Messungen werden derzeit durchgeführt. Besondere Schwierigkeiten bereitet die Ermittlung der Versickerung aus Oberflächengewässern. Die Verringerung der Wasserführung ist bei größeren Gewässern meßtechnisch meist nicht erfaßbar. Die Infiltration verringert z. B. im Rhein und Neckar die Wasserführung nur unwesentlich, kann jedoch für den GW-Haushalt eine ausschlaggebende Größe sein. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Versickerung aus Oberflächengewässern keine feststehende Größe ist, sondern sich bei GW-Absenkung (z. B. durch Uferfiltratgewinnung) erheblich steigert bzw. bei Sohlabdichtung verringert.

Die Ermittlung der GW-Neubildung nach der Wasserwerksmethode ist nur möglich, wenn das Einzugsgebiet der Brunnen bekannt ist. Um Vorratsänderungen im GW-Leiter berücksichtigen zu können, muß der nutzbare Porenraum bekannt sein. Eine Übertragung dieser Einzelwerte auf den Gesamtraum ist wegen hydrologischer und geologischer Unterschiede nur begrenzt möglich.

Die GW-Neubildung läßt sich somit auf der Grundlage der vorhandenen Daten nur überschlägig ermitteln.

7.2 Neubildung aus Niederschlägen

Den quantitativ größten Anteil an der GW-Neubildung im Untersuchungsgebiet hat die direkte Versickerung von Niederschlagswasser.

Die meisten in der Literatur genannten Verfahren zur Berechnung der GW-Neubildung versagen in der Oberrheinebene, weil das Einzugsgebiet des Hauptvorfluters Rhein so groß ist, daß seine Wasserführung unabhängig von den hydrologischen und meteorologischen Ereignissen im Untersuchungsgebiet ist, und weil die großen Wasserstandsschwankungen des Rheins die örtlichen GW-Stände beeinflussen. Daher wird die GW-Neubildung aus Niederschlägen durch Auswerten langjähriger Meßreihen meteorologischer Parameter und von Lysimeterdaten ermittelt.

Die Lysimeterauswertungen wurden durch Berechnungen nach dem Verfahren von HAUDE (1954) und RENGGER et al. (1974) über die klimatische Wasserbilanz abgesichert und ergänzt. Die Anwendung dieses Verfahrens setzt voraus, daß der Oberflächenabfluß vernachlässigbar gering ist, so daß der Niederschlag im langjährigen Mittel nur in Verdunstung und GW-Neubildung aufgeteilt wird. Im Untersuchungsgebiet ist dies weitgehend der Fall. Deshalb lassen sich die aus den Lysimeterdaten gewonnenen linearen Beziehungen zwischen Niederschlag und GW-Neubildung direkt auf die den einzelnen Lysimetern zugeordneten Deckschichten bis zu einer nFK von 150 mm (Kap. 4.2.3) übertragen. Für Deckschichten mit einer nFK über 150 mm wurden die linearen Beziehungen aus der klimatischen Wasserbilanz errechnet.

Die auf diese Weise für Acker- und Wiesenflächen mit GW-Flurabständen > 1 m ermittelten Neubildungswerte wurden bei abweichenden Gegebenheiten wie folgt verändert:

- für Waldgebiete eine Minderung von 100 mm/Jahr (s. ATAKAN 1972; MITSCHERLICH 1971),
 - für bebaute Flächen eine Minderung von 50%,
 - für dicht bebaute Flächen eine Minderung auf Null.
- Bei freien Wasserflächen und Flächen mit geringem Flurabstand ($< 1,0$ m) wurde die GW-Neubildung als Differenz aus Niederschlag und potentieller Verdunstung nach PENMAN (1948) errechnet. Die potentielle Verdunstung beträgt im langjährigen Mittel im Untersuchungsgebiet 745 mm/Jahr, daher tragen diese Flächen im allg. nicht zur GW-Neubildung bei.

Es standen insgesamt 14 Lysimeteranlagen zur Verfügung. Ihre Daten wurden drei verschiedenen Deckschichtengruppen zugeordnet:

1. Niederterrasse mit kiesiger, sandiger oder lehmiger Überdeckung,
2. Auen von Rhein, Neckar und anderen Nebenflüssen des Rheins mit unterschiedlichen Bodenarten,
3. Schmale Rinnen mit stark wechselnden Bodenarten.

Anlage 14d zeigt die flächenhafte Verteilung der berechneten Neubildungsraten in Gruppen von 0 bis 2, 2 bis 5 und 5 bis 10 l/s km².

Im linksrheinischen Gebiet (680 km²) konnte vor dem Pfälzer Wald auf 310 km² Fläche die GW-Neubildung aus den Niederschlägen nicht nach der Lysimetermethode ermittelt werden. In diesem Hügelland ist der Oberflächenabfluß nicht vernachlässigbar. Die Lysimetermethode kann daher hier nicht angewendet werden. In Anl. 14d sind diese Flächen schraffiert dargestellt. Für die überschlägige Ermittlung der Neubildung wurden hier 0,5 l/s km² angesetzt. Für den übrigen Bereich wurde der Wert 2,0 l/s km² verwendet, der aus den rechtsrheinischen bodenspezifischen Neubildungsraten unter Berücksichtigung der Bodenarten und der geringeren Niederschläge abgeleitet wurde. Somit beträgt die Neubildung im Mittel 1,3 l/s km², das sind 28 Mio m³/Jahr.

Im rechtsrheinischen Teil (740 km²) des Untersuchungsgebietes steigen die Neubildungsraten entsprechend der Zunahme der Niederschläge von W nach E an. Im Bereich der Rhein-Niederung liegen die Werte zwischen 0 und 3 l/s km², während sie auf der Niederterrasse zwischen 4 und 8 l/s km² und im Bereich der Altneckar-Aue zwischen 4 und 7 l/s km² schwanken. Die größten Werte bis 10 l/s km² treten am Odenwaldrand auf, wo der Jahresniederschlag mehr als 700 mm beträgt. Im Mittel ergeben sich somit als Neubildung aus Niederschlägen 3,7 l/s km², das sind 86 Mio m³/Jahr.

7.3 Versickerung aus Oberflächengewässern

Eine große Bedeutung kommt der GW-Neubildung durch Infiltration aus den Oberflächengewässern Rhein, Neckar sowie teilweise der Weschnitz u. a. zu. Besonders groß ist der Einfluß des Neckars, der einen erheblichen Teil des nördlich und südlich seiner Ufer geförderten Grundwassers wieder ersetzt. Sowohl die GW-Höhengleichen des oberen Grundwassers als auch die Ergebnisse der im Jahr 1974 durchgeführten hydrochemischen Untersuchungen zeigen, daß im Abschnitt Heidelberg-Wieblingen/Ladenburger Wehr bis zur Mündung größerer Mengen (mehrere hundert l/s), im Abschnitt Mannheim/Neuostheim geringere Mengen Uferfiltrat in den GW-Leiter gelangen (Kap. 6).

Aber auch die übrigen, kleineren Gewässer infiltrieren in das Grundwasser, sofern die Gewässersohlen nicht abgedichtet sind und ihr Wasserspiegel über der GW-Oberfläche liegt. So infiltriert z.B. die Weschnitz im Abschnitt zwischen Weinheim und Hüttenfeld. Lediglich auf den letzten Kilometern ihres Unterlaufs könnte die Weschnitz Vorfluter sein, da hier die Gewässersohle zwischen der Brücke Biblis-Steinerwald und der Mündung in den Rhein zum Teil erheblich unter der GW-Oberfläche liegt. Eine zahlenmäßige Festlegung der Infiltrationsmengen ist jedoch aufgrund des derzeitigen Untersuchungsstandes noch nicht möglich.

7.4 Einspeisung aus den Randgebirgen

Direkter unterirdischer Zustrom von Kluftgrundwasser aus dem kristallinen Odenwald ist in geringem Umfang vorhanden. Unter Zugrundelegung der Transmissivitätswerte der günstigsten, im Granit stehenden Bohrungen (mit Quartärüberdeckung) ergibt sich ein maximaler Wert je km Odenwaldrand von 18 l/s. Im allgemeinen muß jedoch mit einer geringeren Einspeisung gerechnet werden; sie dürfte bei 10 l/s km liegen. In Bereichen, in denen tertiären Randschollen dem Odenwald vorlagern, ist mit noch geringerem Zustrom von Grundwasser zu rechnen.

Am Westrand des Kleinen Odenwaldes, wo Buntsandstein und Muschelkalk den Oberrheingraben begrenzen, ist mit einem höheren Zustrom zu rechnen (etwa 15 l/s km). Im Bereich der Tertiärscholle zwischen Nußloch und Bad Mingolsheim dürfte der Zustrom bei etwa 5 l/s km liegen.

Linksrheinisch dürfte der unterirdische Zustrom vom Pfälzer Wald im Mittel ungefähr 15 l/s km betragen. Die dem Gebirgsrand vorgelagerten tertiären Randschollen bewirken, daß ein in seiner Größe nicht bekannter Teil dieses unterirdischen Abflusses in Niederungen vor dem Gebirgsrand in die Vorfluter gelangt. Der Rest speist in das Grundwasser des Oberrheingrabens ein.

Wenn auch noch das Niederschlagswasser berücksichtigt wird, das nach dem Auftreffen auf die Hangflächen teilweise in der ungesättigten Bodenzone dem GW-Leiter in der Ebene zufließt, ergibt sich zusammenfassend, daß der Anteil der Einspeisung aus dem Randgebirge einen nicht unerheblichen Anteil der GW-Neubildung ausmacht. Die Abschätzung der rechts- und linksrheinischen Einspeisung, die aufgrund des vorliegenden Datenmaterials nur grob überschlägig sein kann, ergibt einen Wert von ungefähr 30 Mio m³/Jahr. Zuverlässigere Aussagen sind jedoch erst nach gezielten Untersuchungen in der Stufe II möglich.

7.5 Gesamte Grundwasserneubildung

Die gesamte GW-Neubildung eines Gebietes läßt sich aus den Betriebsdaten von Wasserwerken ermitteln. Die damit errechnete Neubildungsrate ist flächenrepräsentativ und umfaßt alle Faktoren der GW-Neubildung. Es sollten dazu folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

Tab. 10: Grundwasser-Neubildungsraten nach der Wasserwerksmethode.

Wasserwerk	Bilanzzeitraum	Einzugsgebiet [km ²]	Niederschlag [mm/Jahr]	GW-Neubildung [l/s km ²]	Mittlere GW-Neubildung 1931/60 [l/s km ²]	Deckschichten über quartärem GW-Leiter
Bürrstadt	1973/75	43,6	641	5,0	5,1	vorherrschend Flußsande
Heppenheim	1973/75	10,2	731	4,3	4,4	überwiegend Lehme bis tonige Lehme
Jägersburg-Süd	1973/75	31,4	667	6,1	6,3	vorherrschend Fluß- und Dünsande
Weinheim	1964/75	38,0	789	6,4	5,9	überwiegend lehmige Sande und Lehme

- Das Wasserwerk sollte schon eine Reihe von Jahren in Betrieb sein, so daß sein Einzugsgebiet genau zu definieren ist.
- Eine ausreichende Anzahl von GW-Meßstellen muß eine genaue Konstruktion von GW-Gleichenplänen (u. a. zur Abgrenzung des Einzugsgebietes) zulassen.
- Änderungen des GW-Vorrates im Bilanzzeitraum (Aufbrauch oder Rücklage) müssen mit Hilfe des Speicherkoeffizienten aus den GW-Standsdifferenzen ermittelt und bei der Berechnung berücksichtigt werden.
- Bilanzbetrachtungen sollten wegen der Dauer des Absickerungsvorganges bis zur GW-Oberfläche außer in Sonderfällen keine Einzeljahre, sondern Mehrjahreszeiträume benutzen.
- Sonstige Zu- und Abflüsse in das oder aus dem Einzugsgebiet müssen bekannt sein.

Im Rhein-Neckar-Raum sind diese Bedingungen vornehmlich auf der rechten Rheinseite, und zwar besonders im Bereich der Wasserwerke Bürstadt, Heppenheim, Jägersburg-Süd und Weinheim weitgehend erfüllt. In Tab. 10 sind die aus den Betriebsdaten dieser Wasserwerke ermittelten GW-Neubildungsraten angegeben. Bei der Beurteilung dieser Einzelwerte der GW-Neubildung ist zu beachten, daß bei den betrachteten vier Wasserwerken in unterschiedlichem Maße die Komponenten Infiltration aus Oberflächengewässern und Einspeisung von Grundwasser aus dem Randgebirge enthalten sind, und daß Niederschläge, Deckschichten, Anteil der Bebauung u. a. weitere wesentliche Beeinflussungsfaktoren darstellen.

Die Einzugsgebiete der Wasserwerke Bürstadt und Jägersburg-Süd liegen ganz überwiegend im Niederterrassenbereich und reichen im N fast bis an, im E etwas über die Weschnitz. Sonstige Oberflächengewässer sind kaum vorhanden. Eine mengenmäßig geringe Infiltration von Weschnitzwasser kann allerdings nicht ausgeschlossen werden.

Bei der für das Wasserwerk Heppenheim ermittelten GW-Neubildungsrate ist zu beachten, daß in sie ein geringer, aber noch nicht quantifizierbarer GW-Zustrom aus dem Odenwald eingeht. Der nicht erfaßte Zu- und Abstrom dürfte sich in der Größe weitgehend aufheben, so daß der ermittelte Neubildungswert durchaus als repräsentativ gelten kann.

In der für das Wasserwerk Weinheim ermittelten Neubildungsrate ist, wie die Hydrochemie des oberen Grundwassers aufzeigt (Kap. 6.2), sowohl ein Anteil von uferfiltriertem Oberflächenwasser aus der Weschnitz wie auch aus dem Randgebirge zufließendes Grundwasser enthalten. Eine genaue Ermittlung dieser Komponenten ist zur Zeit noch nicht möglich. Ein Vergleich mit den für die anderen Wasserwerke bestimmten Neubildungswert verdeutlicht jedoch, daß der ganz überwiegende Teil der GW-Neubildung aus den Niederschlägen stammt.

Die in Tab. 10 angegebenen GW-Neubildungsraten können als Mindestgrößen gelten, da Einspeisungen aus dem OGWL in die tieferen GW-Leiter erfolgen (Kap. 5.3–5.6). Deren Bestimmung ist für die Stufe II dieses Untersuchungsprogramms vorgesehen.

7.6 Grundwasserneubildung und nutzbares Grundwasserdargebot

Die GW-Neubildung erfolgt durch Versickerung von Niederschlägen und durch Versickerung aus Oberflächengewässern. Hinzu kommt der Randzustrom aus dem benachbarten Festgestein. Diese drei Komponenten speisen das Grundwasser in der Oberrheinebene auf natürliche Weise. Die GW-Neubildung ist die wesentliche Größe für die Ermittlung des nutzbaren GW-Dargebots. Aus wassermengenwirtschaftlicher Sicht ist dies der Anteil des Grundwassers, der im langjährigen Mittel für Entnahmen zur Verfügung steht.

Generell sind bei der mengenwirtschaftlichen Betrachtung der GW-Nutzung verschiedene Nutzungszustände zu unterscheiden:

- Schwach genutzt

Die GW-Entnahmen sind erheblich kleiner als das vorhandene GW-Dargebot. Der größte Teil des neugebildeten Grundwassers fließt in diesem Fall ungenutzt in die Vorfluter.

- Stark genutzt

Bei wesentlicher Erhöhung der GW-Entnahmen sinken die GW-Stände großflächig bis zum Erreichen eines neuen Gleichgewichtszustandes auf einem tieferen Niveau ab. Dadurch vermehrt sich die GW-Neubildung. Zum einen führt die Vergrößerung der Flurabstände bei vormals flurnahem Grundwasser dazu, daß die Pflanzen sich nicht mehr direkt aus dem Grundwasser versorgen können; zum anderen nehmen vielfach die Oberflächengewässer wegen ihrer dann im Verhältnis zum Grundwasser höheren Wasserspiegellagen kein Grundwasser mehr auf, sondern speisen vielmehr Flußwasser in den GW-Leiter ein.

Diese Vergrößerung des GW-Dargebots ist nur bis zu einem gewissen Maximalwert möglich. Durch Selbstdichtung der Gewässersohlen infolge unvermeidbaren Schwebstoffeintrags bei einseitiger Fließrichtung verringert sich jedoch im Laufe der Zeit dieser Maximalwert.

- Übernutzt

Überschreiten die GW-Entnahmen den zuvor genannten Maximalwert, so sinkt die GW-Oberfläche ständig weiter ab. Das GW-Vorkommen ist dann überbeansprucht und Bewirtschaftungsmaßnahmen werden unerläßlich.

Bei der Ermittlung des nutzbaren GW-Dargebots sind außer den oben geschilderten mengenwirtschaftlichen Aspekten auch

- die Belange des Naturschutzes, der Forst- und Landwirtschaft,
- die Gewässergrüte,
- der GW-Schutz,

die Gefahr von Bodensetzungen,
die Wirtschaftlichkeit der Wassergewinnung, Aufbereitung und Zuleitung
in die Betrachtungen mit einzubeziehen.

8. Kenntnislücken und Folgerungen für weitere Untersuchungen

Durch die Auswertung des vorhandenen Datenmaterials wurden Erkenntnisse über die hydrologischen, hydrogeologischen und hydrochemischen Gegebenheiten gewonnen. Die daraus abgeleiteten Aussagen und quantitativen Angaben besitzen zum Teil nur vorläufigen oder überschlägigen Charakter.

In diesem Bericht werden die Kenntnislücken dargelegt, die im Zusammenhang mit weitergehenden Einzeluntersuchungen geschlossen werden sollen. Folgende Fragenkomplexe sind vorrangig zu untersuchen:

- tiefere GW-Leiter und ihre hydraulischen Beziehungen um OGWL,
- Austauschvorgänge zwischen Grund- und Oberflächenwasser,
- Gewinnung von Uferfiltrat,
- Prognosevarianten der GW-Verhältnisse.

Darüber hinaus sind weitere Untersuchungen, z. B. zur genauen Bestimmung der GW-Neubildung und der GW-Beschaffenheit, erforderlich.

8.1 Tiefere Grundwasserleiter und ihre hydraulischen Beziehungen zum Oberen Grundwasserleiter

Über Aufbau und Eigenschaften der tieferen GW-Leiter (MGWL, UGWL, pliozäner GW-Leiter) bestehen aufgrund der relativ geringen Aufschlußdichte noch zahlreiche – mit der Tiefe zunehmende – Kenntnislücken. Die nähere Erkundung ist erforderlich, da diese GW-Leiter aus verschiedenen Gründen (Quantität, Qualität, GW-Schutz) künftig immer mehr für die GW-Erschließung herangezogen werden müssen.

Zur genaueren Erfassung der Druck- und Strömungsverhältnisse in den tieferen GW-Leitern ist die konsequente Verdichtung des GW-Meßstellennetzes unumgänglich. Die GW-Meßstellen müssen jeweils dem Aufbau des GW-Leiters angepaßt (Stockwerksgliederung) und möglichst als Mehrfach-Meßstellen ausgebaut werden. Dabei sollte der Filterdurchmesser mindestens 100 mm betragen, so daß auch Wasserproben problemlos entnommen werden können.

Die Meßstellenbohrungen ergeben zugleich weitere wertvolle Aufschlüsse über Aufbau und Ausbildung besonders der tieferen GW-Leiter. Gerade hier sind Pumpversuche zur Bestimmung der hydraulischen Leiterparameter erforderlich, wobei man sich aus Kostengründen auf einfachere Verfahren beschränken müssen. Außerdem sind geophysikalische Bohrlochmessungen notwendig.

Verbreitung und Durchlässigkeit der die verschiedenen GW-Leiter trennenden Ton-/Schluffhorizonte sind genauer zu erkunden. Über die Beschaffenheit des tieferen Grundwassers liegen nur wenige Analysenergebnisse vor. Die weiterhin erforderlichen hydrochemischen Untersuchungen sollten durch GW-Altersbestimmungen und -Temperaturmessungen ergänzt werden.

Wichtig für die Nutzung der tieferen GW-Leiter ist die Ermittlung der geogenen Süß-/Salzwassergrenze. Sie liegt im Untersuchungsraum in unterschiedlichen Tiefen und ist erst an wenigen Punkten bekannt.

8.2 Austauschvorgänge zwischen Grund- und Oberflächenwasser

Große Bedeutung kommt der quantitativen und qualitativen Erfassung der Austauschvorgänge zwischen Grund- und Oberflächenwasser zu. Die Infiltration aus Oberflächengewässern stellt im zentralen Teil des Untersuchungsraums einen erheblichen Anteil an GW-Neubildung dar.

Die Ermittlung der Austauschwassermengen sollte mit direkten Messungen (Abflußmessungen, Versickerungsglocke u. a.) sowie indirekt über GW-Meßstellenreihen und hydrochemische Untersuchungen erfolgen.

8.3 Gewinnung von Uferfiltrat

Die Möglichkeiten der Uferfiltratgewinnung und die sich hieraus ergebenden Probleme müssen für die in Frage kommenden Teilräume näher untersucht werden. Die Anwendung theoretischer Lösungsansätze, die Auswertung praktischer Betriebserfahrungen, die Ermittlung der hydrogeologischen, hydrologischen, hydrochemischen und bakteriologischen Parameter sollen die Zusammenhänge zwischen gewinnbarer Wassermenge und erzielbarer Wasserqualität klären helfen. Durch Naturmessungen und Laborversuche müssen Aufbau, Wirkung und zeitlicher Verlauf der Selbstdichtung der Gewässersohlen untersucht werden, um die langfristig gewinnbaren Wassermengen abschätzen zu können.

Die Möglichkeiten für eine Uferfiltratgewinnung wurde für den hessischen Landesteil bereits in Verbindung mit der detaillierten Entwicklung des „Grundwasserbewirtschaftungskonzeptes Hessisches Ried“ eingehend untersucht. Unter sorgfältiger Abwägung aller relevanten Faktoren (Sicherstellung der Trinkwasserversorgung und der landwirtschaftlichen Beregnung, Sicherung des Wasser- und Naturhaushaltes, Verbesserung der gesamtökologischen Verhältnisse durch ökotechnische Sanierung der Altrheine und Rheinauen, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Wasserversorgungsanlagen u. a.) zeigte sich, daß für die Lösung der vorgegebenen

nen äußerst komplexen wasserwirtschaftlich/ökologischen Aufgabenstellung nicht eine Uferfiltratentnahme, sondern nur die Direktentnahme von Oberflächenwasser aus der fließenden Welle des Rheins in Frage kommt.

8.4 Prognosevarianten der Grundwasserverhältnisse

Mögliche künftige GW-Verhältnisse sollen in Abhängigkeit von verschiedenen Verteilungen von Entnahmemengen und -orten bei unterschiedlichen wasserwirtschaftlichen Vorgaben vorhergesagt werden, um die Grenzen der Nutzbarkeit eines GW-Vorkommens aufzuzeigen. Die hierfür erforderlichen Modellrechnungen müssen die im vorgelegten Bericht dargestellten hydrogeologischen und hydrologischen Gegebenheiten, insbesondere die Stockwerksgliederung, berücksichtigen. Diese Forderung wird von den vorliegenden mathematischen GW-Modellen nur teilweise erfüllt. Sie lassen eine Gesamtbetrachtung – vor allem im Hinblick auf Stockwerksgliederung – nicht zu.

8.5 Sonstige Untersuchungen

Die Einspeisung von Kluftgrundwasser aus den Randgebieten in den anschließenden Porenaquifer ist als weitere hydrologische Bilanzgröße eingehender zu untersuchen. Hierbei bieten sich u. a. Tracerversuche, hydrochemische Untersuchungen und Erkundungsbohrungen im Bereich der Gebirgsränder an.

Im Zusammenhang mit der Ermittlung der GW-Neubildung aus Niederschlägen sollte die bislang nur grob abzuschätzende, höhere Gesamtverdunstung des Waldes differenzierter untersucht werden, z. B. durch Einrichtung von Unterflur-Lysimetern.

9. Zusammenfassung

9.1 Arbeitsprogramm und Untersuchungsraum

Die GW-Vorräte im Rhein-Neckar-Raum werden stark beansprucht. Das Grundwasser bildet, großräumig betrachtet, in hydrogeologischer und hydrologischer Hinsicht eine Einheit. Deshalb haben die Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz 1973/74 beschlossen, die GW-Vorkommen dieses Raumes grenzüberschreitend untersuchen zu lassen. Hierzu wurde die Arbeitsgruppe „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Rhein-Neckar-Raum“ gebildet.

Die Untersuchungen werden in zwei Schritten durchgeführt. Der vorliegende Bericht umfaßt die Bestandsaufnahme der hydrogeologischen und hydrologischen Gegebenheiten im wesentlichen anhand der vorhandenen Unterlagen. Er gibt einen Überblick über die Gesamtzusammenhänge im Rhein-Neckar-Raum und zeigt auch vorhandene Kenntnislücken auf. Durch weitergehende wasserwirtschaftliche, hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen sollen diese Kenntnislücken geschlossen, die Grundlagen für eine GW-Bilanzierung geschaffen und darauf aufbauend Möglichkeiten der GW-Bewirtschaftung aufgezeigt werden.

Das Untersuchungsgebiet ist das Zentrum des Verdichtungsraumes Rhein-Neckar und umfaßt etwa 1 420 km². Es reicht vom östlichen Gebirgsrand des Pfälzer Waldes bis zu den westlichen Abhängen des Odenwaldes. Als Südgrenze wurde linksrheinisch die Linie Speyer-Neustadt a. d. W., rechtsrheinisch die Linie Altlußheim-St. Leon-Bad Mingolsheim festgelegt. Die nördliche Abgrenzung entspricht linksrheinisch etwa dem Verlauf der südlichen Wasserscheide der Pfimm, rechtsrheinisch etwa dem Unterlauf der Weschnitz.

Dieses Gebiet ist Teil des im Tertiär entstandenen Oberrheingrabens, der mit mehreren tausend Meter mächtigen jungen Sedimenten gefüllt ist. Wasserwirtschaftlich von größter Bedeutung sind die von Grundwasser erfüllten quartären Sande und Kiese, die – abgesehen vom Vorderpfälzer Hügelland – meist 100 m bis fast 400 m mächtig sind und durch weit verbreitete Ton-/Schlufflagen hydraulisch in Teilstockwerke untergliedert werden. Die unter dem Quartär anstehenden pliozänen Lockerablagerungen (meist Sande und Schluffe, 150 bis über 700 m mächtig) bilden ebenfalls, vor allem linksrheinisch, einen wichtigen GW-Leiter. Die darunter liegenden Schichten des älteren Tertiärs sind bislang wasserwirtschaftlich ohne Bedeutung. Die Gesteine der Oberrheingrabenfüllung werden zu beiden Seiten von den Festgesteinen (im wesentlichen Mesozoikum und Grundgebirge) des Pfälzer Waldes, Odenwaldes und Kraichgaus eingerahmt.

9.2. Hydrogeologie

Zur Erfassung der hydrogeologischen Verhältnisse mußte umfangreiches Datenmaterial gesammelt, geordnet und ausgewertet werden. Insgesamt wurden die Schichtenverzeichnisse von rd. 3 500 Bohrungen und rd. 550 Pumpversuche herangezogen. Die Art und Verbreitung der Deckschichten (Anl. 2) wurde durch umfangreiche Bohrstocksondierungen und Laboruntersuchungen ermittelt. Die wichtigsten Großeinheiten sind die Riedel und Hügel der Vorderpfalz, die Pleistozänterrassen und die Auen. Pleistozänterrassen mit überwiegend sandigen und kiesigen Böden und tiefem GW-Stand haben die größte GW-Neubildung. In den Riedeln und Hügeln der Vorderpfalz ist die GW-Neubildung infolge unterschiedlicher Durchlässigkeit und stellenweise hohem Oberflächenabfluß stark schwankend. Sie liegt ebenso wie in den Auen, in denen die Böden meist stark bindig sind und geringe GW-Flurabstände auftreten, erheblich unter den Werten des Pleistozänterrassen.

Die grundwasserführenden quartären und pliozänen Lockergesteine im Oberrheingraben des Rhein-Neckar-

Raumes gliedern sich rechts- und linksrheinisch bis zur westlichen Verbreitungsgrenze des hydraulisch wichtigen Oberen Tones in folgende Einheiten:

– Oberer Grundwasserleiter (OGWL)	} Jungquartär	} tiefere GW-Leiter
– Oberer Ton (OT)		
– Mittlerer Grundwasserleiter (MGWL)		
– Unterer Grundwasserleiter (UGWL)	Altquartär	
– Pliozäner Grundwasserleiter	Pliozän	

Die drei quartären GW-Leiter haben zwar untereinander, linksrheinisch auch zum pliozänen GW-Leiter, hydraulische Verbindungen, besitzen jedoch jeweils gewisse Eigenständigkeit. Die Kenntnisse über den pliozänen GW-Leiter sind noch recht gering. Für die GW-Nutzung kommen die drei Stockwerke des quartären GW-Leiters und, insbesondere linksrheinisch, auch der darunter liegende pliozäne GW-Leiter in Betracht. Das Grundwasser des pliozänen GW-Leiters ist jedoch in tieferen Bereichen zum Teil versalzen.

Der OGWL besteht vorwiegend aus sandigen Kiesen und kiesigen Sanden, wobei der Kiesanteil nach W geringer wird. Die Bereiche der Schwemmfächer an den Mündungen der Seitentäler in den Rheingraben weisen gröberkörnige, aber meist schlechter sortierte Ablagerungen auf. Besonders im Neckar-Schwemmfächer westlich Heidelberg ist sehr viel grobes Material mit hoher Durchlässigkeit enthalten. Dies ermöglicht starke Infiltration von Neckarwasser ins Grundwasser, besonders im Bereich Heidelberg/Ladenburg. Die Mächtigkeit des OGWL steigt von W nach E an und nimmt im mittleren Teil des Untersuchungsgebietes allseitig auf das „Heidelberger Loch“ hin zu. Dort erreicht sie mit fast 100 m den Höchstwert. Im größten Teil des rechtsrheinischen Untersuchungsgebietes ist der OGWL 25 – 50 m mächtig, während er linksrheinisch auf 20 – 25 m, am äußersten Westrand seines Verbreitungsgebiets sogar auf unter 10 m abnimmt. Die Achse der großen Mächtigkeiten verläuft in Längsrichtung vor dem östlichen Grabenrand.

Der Obere Ton trennt weithin den OGWL vom MGWL. Er ist max. etwa 35 m, meist jedoch 10 bis 20 m mächtig. Im S und NE des Untersuchungsraumes fehlt der Obere Ton auf größeren Flächen, im W streicht er zur Oberfläche hin aus. An verschiedenen Stellen seines Hauptverbreitungsgebietes sind im Oberen Ton weitere, z. T. rinnenartige „Fenster“ nachgewiesen, in denen der Ton durch Kies oder Sand ersetzt ist. Über diese Fenster sind zwischen dem OGWL und dem MGWL enge hydraulische Verbindungen vorhanden. In den Gebieten, in denen der Obere Ton großräumig fehlt, bilden OGWL und MGWL ein zusammenhängendes GW-Stockwerk.

Der MGWL umfaßt die untere, kiesig-sandige Hälfte der jungquartären Schichten zwischen der Sohlfläche des Oberen Tons und der Oberfläche des UGWL. Außer den hydraulischen Verbindungen zum OGWL bestehen auch Beziehungen zum UGWL, wo dieser vorwiegend kiesig-sandig ausgebildet ist. Westlich der Ausstrichzone des Oberen Tons und des OGWL im linksrheinischen Gebiet ist auch der MGWL nicht mehr vom UGWL zu trennen, d. h. beide sind großräumig als eine Einheit zu betrachten. Die Mächtigkeit des MGWL nimmt, wie die des OGWL, generell von W nach E, im mittleren Teil des Gebietes allseitig auf das „Heidelberger Loch“ hin stark zu. Das Maximum erreicht sie dort mit rd. 190 m. Die Zone der größten Mächtigkeit (meist 130 bis 150 m) liegt, ähnlich wie beim OGWL, im wesentlichen vor dem östlichen Grabenrand.

Der UGWL besteht überwiegend aus einer Wechselfolge von Tonen, Schluffen und Sanden des Altquartärs. Gebietsweise dürften hier mehrere Teilstockwerke auftreten. Mangels tiefer Bohrungen ist vor allem rechtsrheinisch nur wenig über die Ausbildung des UGWL bekannt. Seine Mächtigkeit beträgt im allgemeinen etwa 80 bis 120 m.

Der etwa 150 m bis über 700 m mächtige GW-Leiter des Pliozäns ist, durch den geologischen Aufbau bedingt, vor allem linksrheinisch von Bedeutung. Er besteht, ähnlich wie der UGWL, aus einer Wechselfolge von Tonen, Schluffen und Sanden; sandige Kiese treten nur untergeordnet auf. Innerhalb des pliozänen GW-Leiters sind wahrscheinlich mehrere Teilstockwerke entwickelt. Linksrheinisch bestehen hydraulische Verbindungen zwischen den GW-Leitern des Quartärs und Pliozäns.

Die Transmissivität, d. h. das GW-Transportvermögen der GW-Leiter, wurde im wesentlichen aus Pumpversuchen für den OGWL und, soweit es die Unterlagen erlauben, auch für den MGWL und den pliozänen GW-Leiter ermittelt. Flächenhaft dargestellt wird in diesem Bericht die Verteilung der Transmissivität im OGWL (Anl. 6). Die höchsten Werte treten rechtsrheinisch im Bereich des Neckar-Schwemmfächers auf.

Die Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte zeigt ein ähnliches Bild. Die k_f -Werte betragen im OGWL in den verschiedenen rechts- und linksrheinischen Bereichen im Mittel zwischen 0,5 und $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die größten Werte treten auch hier im Bereich des Neckar-Schwemmfächers mit $3,2 \cdot 10^{-3}$ m/s auf. In den tieferen GW-Leitern liegen sie generell niedriger. Der Obere Ton besitzt nach Laborversuchen an Bohrkernen eine Durchlässigkeit von mindestens 10^{-9} – 10^{-8} m/s.

Der Speicherkoeffizient S beträgt im ungespannten Aquifer des OGWL, wo S praktisch dem nutzbaren Porenvolumen entspricht, rechtsrheinisch nach Pumpversuchsergebnissen im Mittel 0,13–0,16. Linksrheinisch gehen die S-Werte meist erheblich zurück. Im gespannten MGWL und UGWL sind die S-Werte wesentlich kleiner ($S = 10^{-5}$ bis 10^{-6} pro Meter Aquifermächtigkeit).

9.3 Hydrologie

9.3.1 Meßnetz und Fließverhalten

Die hydrologischen Einzelgrößen (GW-Stände, Wasserstände und Abflüsse in den Oberflächengewässern, Niederschlag, Versickerung u. a.) werden mit Hilfe eines umfangreichen Meßnetzes erfaßt. Bereits Ende 1976 wurde

das Grundwasser an rd. 1000 Meßstellen beobachtet, wovon 450 Meßstellen den amtlichen GW-Meßnetzen der drei Bundesländer angehören. Sie werden teilweise bereits länger als 50 Jahre beobachtet. 142 Meßstellen erfassen die GW-Stände der tieferen GW-Leiter.

Eine der wichtigsten Aufgaben dieses Berichtes ist es, das Verhalten der GW-Oberfläche darzustellen. Hierbei konnte infolge des vorhandenen Datenmaterials lediglich zwischen dem oberen Grundwasser und dem tieferen Grundwasser unterschieden werden. Lage und Form der Oberfläche des oberen Grundwassers erkennt man am Verlauf der GW-Höhengleichen (Anl. 7 u. 8). Die generelle Fließrichtung verläuft von den Randgebirgen zum Rhein hin. Besonders auffallend ist das große Gefälle der GW-Oberfläche im linksrheinischen Untersuchungsraum. Mit Werten von 1,5 bis 10,0‰ (im Durchschnitt 4‰) ist das Gefälle hier westlich des Hochgestades um ein Mehrfaches größer als rechts des Rheins, wo das Gefälle außerhalb der Einflußbereiche der Wasserwerke bei 1,5 bis 2,0‰ liegt. Im Bereich der großen GW-Förderwerke haben sich ausgedehnte Absenkungsfelder ausgebildet, d. h. die ursprüngliche Lage und Form der GW-Oberfläche haben sich ebenso wie das Gefälle und die Fließrichtung erheblich verändert. Obwohl linksrheinisch die großen Wasserwerke überwiegend aus den tieferen GW-Leitern fördern, zeichnen sich die Auswirkungen der Entnahmen im Bereich Ludwigshafen-Frankenthal deutlich auch im OGWL ab. Während der Rhein südlich von Altrip bzw. Mannheim-Rheinau Vorfluter für das obere und das tiefere Grundwasser ist, speist er im Abschnitt Mannheim-Ludwigshafen-Frankenthal in das Grundwasser ein, das in diesem Bereich den Wasserwerken zuströmt.

9.3.2 Verhalten des oberen Grundwassers

Dominierenden Einfluß auf das Verhalten der Wasserstände des oberen Grundwassers haben:

- GW-Neubildung aus Niederschlägen,
- Rheinwasserstände,
- Austauschvorgänge zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern,
- GW-Entnahmen.

Das langjährige Verhalten der GW-Stände wurde für die zwanzigjährige Zeitspanne 1956/75, in der möglichst viele Meßstellen beobachtet wurden, durch statistische Auswertungen verdeutlicht. In dieser Zeitspanne lassen sich 5 Intervalle gegeneinander abgrenzen, in denen sich die GW-Stände deutlich voneinander abheben.

- Von 1956 bis 1959 bewegen sich die Ganglinien der GW-Meßstellen auf relativ hohem Niveau. Die Niederschläge dieser Jahre liegen im Bereich des langjährigen Mittels.
- Von 1959 bis 1960 fallen die Wasserstände infolge der erheblichen Niederschlagsdefizite der Winterhalbjahre rasch ab.
- Nach einem deutlichen Wiederanstieg im Jahre 1961 folgen 3 Jahre mit Niederschlagsdefizit im Winter, was ein erneutes Absinken der GW-Stände zur Folge hat.
- Die Jahre 1965 bis 1970 sind durch höhere Niederschläge gekennzeichnet. Dies führte im gesamten Untersuchungsraum zu einem Anstieg des Grundwassers. Im S werden gegen Ende dieser Periode sehr hohe Wasserstände erreicht. Im N des Untersuchungsgebietes jedoch bleiben die GW-Stände aufgrund der Entnahmen deutlich unter den höchsten Wasserständen der Jahre vor 1959.
- An diesen Zeitraum mit sehr hohen GW-Ständen schließt sich das extrem niederschlagsarme Jahre 1971 an, dem weitere drei Jahre mit Niederschlagsdefiziten in den Winterhalbjahren folgen. Dies führt im gesamten Untersuchungsraum zu einem schnellen und bis zum Jahr 1975 anhaltenden GW-Absinken. Im Jahr 1975 steigen die GW-Stände infolge der großen Winterniederschläge wieder an.

In dem nachfolgenden Trockenjahr 1976 fallen sie teilweise auf neue Tiefstände ab. 1977 steigen sie geringfügig an, ohne jedoch die Werte von 1975 zu erreichen.

Um zu prüfen, ob die stark wechselnden GW-Stände während der Auswertzeit eine Tendenz aufweisen, wurden mathematisch-statistische Trenduntersuchungen für die Jahresreihe 1956/75 und die Jahresreihe 1956/70 durchgeführt. Während die Reihe 1956/75 die Trockenperiode 1971 bis 1974 einschließt, endet die Reihe 1956/70 mit einer ausgesprochenen Naßperiode. Die errechneten Trends dürfen jedoch weder für kurzfristige noch für langfristige Prognosen über das künftige Verhalten der GW-Stände herangezogen werden. Die Aussagen beziehen sich lediglich auf das frühere Verhalten.

Für den Zeitraum 1956/75 weisen alle GW-Meßstellen des Untersuchungsgebietes einen negativen Trend auf. Die Absenkungsraten liegen zwischen 1 und 15,1 cm/Jahr.

Die linksrheinischen Meßstellen weisen erwartungsgemäß nur geringe Trends auf, da hier Grundwasser vorwiegend aus den tieferen GW-Leitern gefördert wird. Nur im Großraum Ludwigshafen wirken sich die GW-Entnahmen auch im OGWL trendverstärkend aus.

Die stärksten Trends weisen die rechtsrheinischen GW-Meßstellen im nördlichen Untersuchungsraum auf. Geringe Absenkungsraten zeigen dagegen diejenigen Meßstellen, die durch Oberflächengewässer beeinflusst sind. Südlich des Neckars sind die Trends geringer, da sich hier – im Gegensatz zum nördlichen Teil des Untersuchungsgebiets – die GW-Entnahmen seit den 60er Jahren nur unwesentlich erhöht haben.

Für den Zeitraum 1956/70 ergibt die Trendberechnung Werte zwischen +4,2 und –13,1 cm/Jahr. Der Trend ist positiv in Gebieten, welche nicht zu sehr durch GW-Entnahmen beeinflusst sind. Er resultiert aus den sehr hohen GW-Ständen in der Naßperiode 1965/70. Die meisten GW-Meßstellen weisen aber einen negativen Trend auf. Dies zeigt, daß in großen Bereichen des Untersuchungsgebietes – vor allem im Zentrum und nördlich davon – die GW-Stände in den vergangenen 20 Jahren infolge der GW-Entnahmen unabhängig von den meteorologischen Bedingungen mehr oder weniger stark abgesunken sind.

9.3.3 Verhalten des tieferen Grundwassers

Eine klare Unterscheidung zwischen den Wasserständen des oberen und des gespannten tieferen Grundwassers ist nur dort möglich, wo der Obere Ton flächenhaft und zusammenhängend verbreitet ist und somit eine hydraulische Trennung zwischen OGWL und MGWL bewirkt. Dies trifft links- und rechtsrheinisch für den zentralen Teil des Untersuchungsraumes zu. Da sich der Obere Ton unter dem Rhein hindurch ausbreitet, bildet der Rhein für das tiefere Grundwasser – im Gegensatz zum oberen Grundwasser – keine hydraulische Grenze. Deshalb kann das tiefere Grundwasser entsprechend dem jeweiligen Fließgefälle unter dem Rhein hindurchströmen. Die Regeneration des tieferen Grundwassers erfolgt zum größten Teil durch Absickerung von Grundwasser aus dem OGWL durch den Oberen Ton und die „Fenster“ darin.

Im Zentrum des Untersuchungsgebietes hat sich aufgrund der großen GW-Förderungen aus den tieferen GW-Leitern ein großer Trichter ausgebildet (Anl. 11). Da der Rhein für das tiefere Grundwasser keine hydraulische Grenze darstellt, sind GW-Bilanzen über den gesamten Rhein-Neckar-Raum notwendig. Im S des Gebietes, wo der Obere Ton als hydraulische Trennschicht weitgehend fehlt, sind die Wasserstände des oberen und des tieferen Grundwassers gleich.

Das GW-Gefälle nimmt generell zum Zentrum des Trichters hin zu, wobei auch hier rechtsrheinisch das Gefälle mit 0,5 bis 2‰ kleiner ist als links des Rheins, wo das Gefälle zwischen 1 und 4‰ liegt.

Das zur Verfügung stehende Datenmaterial an Wasserstandsbeobachtungen des tieferen Grundwassers reicht maximal bis zum Jahr 1960 zurück. Dieser Zeitraum wurde für die statistischen Auswertungen herangezogen. Im Zeitintervall 1965/69 sind die Wasserstände des tieferen Grundwassers gegenüber denjenigen im Zeitraum 1960/64 bis über 3 m abgesunken. Dies ist die Folge der großen Steigerung der Förderung aus den tieferen GW-Leitern. Dagegen betrug in den folgenden fünf Jahren bis 1974 die weitere Absenkung maximal 1 m.

Vergleicht man die GW-Stände im OGWL und in den tieferen GW-Leitern, so erkennt man, daß im Bereich Mannheim – Ludwigshafen die Druckfläche des tieferen Grundwassers großflächig um mehr als 5 m unter die Oberfläche des oberen Grundwassers abgesenkt worden ist (Anl. 12). Im ursprünglichen Zustand war dies umgekehrt, wie das derzeit nur noch südlich von Altrip/Rheinau bis zum Hockenheimer Rheinbogen der Fall ist. Im Bereich südlich des Neckars, wo die tieferen GW-Leiter bisher kaum beansprucht werden, entspricht die Differenz von 0 bis 1 m in etwa den früheren natürlichen Verhältnissen.

9.3.4 Grundwasserentnahmen

Der Bedarf der öffentlichen Wasserversorgung wird ausschließlich aus dem Grundwasser gedeckt. Brauch- und Beregnungswasser werden nur teilweise aus dem Grundwasser entnommen. Im Jahre 1975 wurden aus dem oberen Grundwasser 91 Mio m³ gefördert, davon entfallen 62 Mio m³ auf die öffentliche und 29 Mio m³ auf die private Wasserversorgung. Aus dem tieferen Grundwasser wurden für die öffentliche Wasserversorgung 43 Mio m³, für die private 63 Mio m³ entnommen. Die Gesamtentnahme lag bei 197 Mio m³. Im Entnahmeschwerpunkt, dem Ballungsraum Ludwigshafen – Mannheim, werden hiervon rd. 65 % gefördert. Im Zeitraum 1970/75 ist die Gesamtförderung nahezu gleichgeblieben. Allerdings hat die öffentliche Wasserversorgung ihre Entnahme von 1970 bis 1975 um 13 Mio m³/Jahr gesteigert, während zur Eigenwasserversorgung der gewerblichen Wirtschaft 12 Mio m³/Jahr weniger gefördert wurden.

9.3.5 Flurabstand

Der Flurabstand (Abstand der GW-Oberfläche von der Geländeoberfläche) nimmt generell vom Rhein zum Gebirge hin zu (Anl. 10). Rechtsrheinisch sind Gebiete mit den geringsten Flurabständen die Rhein-Niederung mit ihren Altarmen, die Altnecker-Aue und teilweise auch die Auen der aus dem Randgebirge kommenden Bäche. In den Absenkungstrichtern der Wasserwerke werden hohe Flurabstände von 6 bis 7 m erreicht. Natürliche große Flurabstände setzen in der Regel erst östlich des Hochgestades ein. Sie sind kennzeichnend für die Niederterrasse und den Neckar-Schwemmfächer. Flurabstände über 10 m werden nördlich des Neckars nur im Bereich der Bergstraße angetroffen, südlich des Neckars sind sie großflächig vorhanden, insbesondere im Gebiet der Schwetzingen Hardt. Linksrheinisch nehmen die Flurabstände generell vom Rhein weg nach W bis zum Westrand der Frankenthaler Terrasse von 4 bis 6 m auf z. T. unter 1 m ab. Im Bereich der Altrheine sind die Flurabstände gleichfalls gering, steigen aber im Raum Frankenthal – Ludwigshafen, u. a. wegen der großen GW-Entnahmen, auf über 6 m an.

9.4. Hydrochemie

Für die Nutzbarkeit, insbesondere die wirtschaftliche Nutzung der GW-Vorkommen, ist die hydrochemische Beschaffenheit des Grundwassers von großer Bedeutung. Im Rahmen des Schrittes I wurden zahlreiche Analysen zur Untersuchung des oberen Grundwassers angefertigt. Die Konzentrationsverteilung folgender hydrochemischer Komponenten wird im Bericht beschrieben und auf Karten dargestellt (Anl. 13 – 14):

- Gesamthärte
- Karbonathärte

- Chlorid
- Sulfat
- Nitrat
- Eisen
- Mangan

Die Belastung des oberflächennahen Grundwassers ist gebietsweise sehr hoch. Beispielsweise erreichen die Gesamthärten in Mannheim bis zu 60°dH. Das Grundwasser hat stellenweise keine Trinkwasserqualität mehr. Im Gegensatz dazu zeichnen sich die großen Waldgebiete auf der Niederterrasse (Schwetzinger Hardt, Lampertheimer und Viernheimer Wald) durch eine sehr günstige, kaum anthropogen belastete GW-Beschaffenheit aus. Die hydrochemische Beschaffenheit des Grundwassers entlang der Oberflächengewässer zeigt die Strecken auf, in welchen Flußwasser (insbesondere aus Neckar und Rhein) in das Grundwasser einspeist. In den Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung treten Zonen mit stark erhöhten Nitratgehalten auf, die auf die intensive Düngung zurückzuführen sein dürften.

9.5 Überschlägige Ermittlung der Grundwasserneubildung

Die wesentlichen Komponenten der GW-Neubildung im Untersuchungsraum sind für den OGWL:

- Versickerung von Niederschlägen
- Infiltration aus Oberflächengewässern

Zusätzlich zur GW-Neubildung erfolgt eine Einspeisung aus den Randgebirgen.

Das obere Grundwasser speist in die tieferen quartären und pliozänen GW-Leiter ein.

Die überschlägige Ermittlung der gesamten GW-Neubildung bzw. deren Einzelfaktoren erfolgte nach verschiedenen Methoden. Im Untersuchungsraum wurde

- die GW-Neubildung aus Niederschlägen mittels Lysimetern und der klimatischen Wasserbilanz in Anlehnung an HAUDE (1954) und RENGGER et al. (1974) erfaßt,
- die GW-Neubildung durch Versickerung aus Oberflächengewässern und die Einspeisung aus dem Randgebirge mittels hydrochemischer und hydraulischer Daten abgeschätzt und
- die gesamte GW-Neubildung für Teilgebiete über die Wasserwerksmethode ermittelt.

Die Ermittlung der GW-Neubildung aus Niederschlägen mittels Lysimetern und der klimatischen Wasserbilanz ergibt im Untersuchungsraum, der keinen wesentlichen Oberflächenabfluß aufweist, durch differenzierte Übertragung der Einzelwerte auf größere Gebiete gute Näherungswerte.

Die langjährigen Neubildungsraten aus Niederschlägen liegen im rechtsrheinischen Untersuchungsgebiet zwischen 0 und 10 l/s·km², das langjährige Mittel beträgt 3,7 l/s km². Linksrheinische liegen die langjährigen Neubildungsraten im langjährigen Mittel zwischen 0,5 und 2,0 l/s km². Somit ergibt sich die mittlere jährliche Neubildung aus Niederschlägen linksrheinisch zu 28 Mio m³, rechtsrheinisch zu 86 Mio m³.

Eine große Bedeutung kommt der GW-Neubildung durch Infiltration aus den Oberflächengewässern Rhein, Neckar, Weschnitz u. a. zu. Besonders groß ist der Einfluß des Neckars, der einen erheblichen Teil des nördlich und südlich seiner Ufer geförderten Grundwassers wieder ersetzt. Sowohl die GW-Höhengleichen des oberen Grundwassers als auch die Ergebnisse der im Jahr 1974 durchgeführten hydrochemischen Untersuchungen zeigen, daß im Abschnitt Heidelberg–Wieblingen/Ladenburger Wehr bis zur Mündung größere Mengen (mehrere 100 l/s) sowie im Abschnitt Mannheim/Neuostheim geringere Mengen Uferfiltrat in den GW-Leiter gelangen. Aber auch die kleineren Gewässer infiltrieren in das Grundwasser, wenn deren Wasserspiegel über der GW-Oberfläche liegen und die Gewässersohlen nicht abgedichtet sind.

Eine zahlenmäßige Festlegung der Infiltrationsmengen ist jedoch aufgrund des derzeitigen Untersuchungsstandes noch nicht möglich.

Die Einspeisung aus den Randgebirgen macht einen nicht unerheblichen Anteil am GW-Dargebot aus. Die Abschätzung der rechts- und linksrheinischen Einspeisung, die aufgrund des vorliegenden Datenmaterials nur überschlägig sein kann, ergibt einen Wert von ungefähr 30 Mio m³/Jahr.

Mit Hilfe der Wasserwerksmethode wurde für Einzugsgebiete von Wasserwerken im nördlichen rechtsrheinischen Untersuchungsraum für die gesamte mittlere GW-Neubildung 4,4 bis 6,3 l/s km² ermittelt. Diese Werte sind wegen der Einspeisung aus dem OGWL in die tieferen GW-Leiter für die jeweiligen Gebiete als Mindestgrößen anzusehen.

Eine Übertragung dieser Einzelwerte auf den Gesamttraum ist wegen hydrologischer und hydrogeologischer Unterschiede nur begrenzt möglich.

Die GW-Neubildung konnte daher auf der Grundlage der vorhandenen Daten nur überschlägig ermittelt werden.

10. Literatur

- Approaches to Taphrogenesis (1974) — Inter-Union Commission on Geodynamics, Scientific Report **8**, 460 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- ATAKAN, Y. (1972): Bomben-Tritium-Hydrologie in einem Grundwasserkörper mit freier Grundwasseroberfläche. — Diss. Univ. Heidelberg, 107 S., Heidelberg (unveröff.).
- BANGERT, V. (1975): Über die Veränderung der Grundwasser-Beschaffenheit im Oberrheingraben zwischen Speyer und Worms. — Wasser und Boden, **27** (8), S. 199 – 204, Hamburg/Berlin.
- BANGERT, V. & VOGT, M. (1975): Phenoleinbrüche im tieferen Grundwasser des Wasserwerks Parkinsel, Ludwigshafen am Rhein. — gwf-wasser/abwasser, **116** (12), S. 537 – 540, München.
- BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingraben. — In: Approaches to Taphrogenesis, S. 78 – 87, Stuttgart.
- DOEBL, F. (1967): The Tertiary and Pleistocene sediments of the northern and central part of the Upper Rhinegraben. — In: The Rhinegraben Progress Report 1967, S. 48 – 54, Freiburg i. Br./Strasbourg.
- FAHLBUSCH, K. (1975): Störungszonen an den Rheingraben-Schultern (Hardt, Darmstadt) mit Hinweisen auf junge Bewegungen. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **103**, S. 315 – 326, Wiesbaden.
- FALKE, H. (1974): Zur Geologie des Modellgebietes. — Forsch. u. Sitzungsber. Akad. Raumforsch. u. Landesplanung, **81**, S. 1 – 20, Hannover.
- Graben Problems (1970). — Int. Upper Mantle Project, Scientific Report **27**, 316 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evaporanspiration. — Mitt. dt. Wetterdienst, **8**, S. 1 – 22, Bad Kissingen.
- KRUSEMAN, G. P. & DE RIDDER, N. A. (1973): Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten. — 191 S., Köln-Braunsfeld.
- KUPFAHL, H.-G., MEISL, S. & PRINZ, H. (1972): Tektonik. — In: Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1 : 25 000, Bl. 6217 Zwingenberg a. d. Bergstr., — 2. Aufl., S. 181 – 188, Wiesbaden.
- MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. — Lehrbuch der Hydrogeologie, **2**, 324 S., Stuttgart.
- MITSCHERLICH, G. (1971): Wald, Wachstum und Umwelt. — 2. Bd.: Waldklima und Wasserhaushalt. — 365 S., Frankfurt (Sauerländer).
- NOLL, K. (1972): Untersuchungen zur Grundwasserentnahme aus den pleistozänen Sedimenten des Rheintalgrabens im Rhein-Neckar-Raum. — Diss. Univ. Karlsruhe, 143 S., Karlsruhe.
- PENMAN, H. L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. — Proc. Royal. Soc., **A193**, S. 120 – 145, London.
- Raumordnungsplan Rhein-Neckar, Entwurf Stand Februar 1977. — Hrsg. Raumordnungsverband Rhein-Neckar, 150 + 23 S., 20 Karten, Mannheim.
- RENGER, M., STREBEL, O. & GIESEL, W. (1974): Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. — Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, **15**, S. 353 – 366, Berlin/Hamburg.
- RICHTER-BERNBURG, G. (1968): Saxonische Tektonik als Indikator erdtiefer Bewegungen. — Geol. Jb., **85**, S. 997 – 1029, Hannover.
- RÜGER, L. (1928): Geologischer Führer durch Heidelbergs Umgebung. — 351 S., Heidelberg.
- SCHARPFF, H.-J. (1977): Geologische Karte von Hessen 1 : 25 000, Blatt Nr. 6316 Worms, mit Erläuterungen, 282 S., Wiesbaden.
- SCHNEIDER, E. Fr. & SCHNEIDER, H. (1975): Synsedimentäre Bruchtektonik im Pleistozän des Oberrheintal-Grabens zwischen Speyer, Worms, Hardt und Odenwald. — Münster. Forsch. Geol. Paläont., **36**, S. 81 – 126, Münster.
- SCHNEIDER, H. (1973): Die Wassererschließung. — 885 S., Essen (Vulkan).
- STRAYLE, G. (1976): Anlagen 5 – 12. — In: Pumpversuche in Porengrundwasserleitern. — Arbeitsblatt; Hrsg.: Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Umwelt Baden-Württ.; S. 49 – 125, Stuttgart.
- STRAYLE, G. (1977): Hydrogeologische Untersuchungen. — In: ARMBRUSTER, J., HUPPMANN, O. & STRAYLE, G.: Die Auswirkungen einer Staustufe auf den Grundwasserhaushalt. Hydrologische und hydrogeologische Untersuchungen. — gwf-wasser/abwasser, **118** (11), S. 512 – 516, München.
- SIDKI, K. (1978): Graphische Regressionsanalysen und die Verteilung der Transmissivität des oberen Aquifers im Rhein-Neckar-Gebiet. — gwf-wasser/abwasser, **119** (1), S. 4 – 8, München.
- The Rhinegraben Progress Report 1967 (1967): — Abh. Geol. L.-Amt Baden-Württ., **6**, 146 S., Freiburg i. Br./Strasbourg.
- Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Weschnitz (1964). — Hrsg.: Hess. Ministerium f. Landwirtschaft u. Forsten, Abt. Wasserwirtschaft; 141 S., 47 Ktn., Wiesbaden.