GEORG MATTHESS, Wiesbaden

Das Grundwasser in der östlichen Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer

Ein Beitrag zur geohydrologischen Untersuchung der Vorderpfalz.
Mit 5 Abbildungen.

1. Einleitung

Im wesentlichen beschränkt sich die vorliegende Untersuchung auf das Gebiet der pleistozänen und holozänen Rheinablagerungen, die die wichtigsten Grundwasservorkommen der Vorderpfalz enthalten.

Die Vorderpfalz, d. h. das Gebiet zwischen dem Ostabfall der Haardt und dem Rhein, zwischen dem rheinhessischen Hügelland und dem Elsaß, läßt sich bereits morphologisch in großen Zügen in drei Teile gliedern:

Der Buntsandstein des Haardtgebirges erreicht unweit vom Rheintalgrabenrand bei Neustadt mit dem Kalmit bis zu 673 m NN.

Der beachtliche Höhenunterschied von etwa 350 m trennt das Gebirge von dem Hügelland, das, zwischen Haardt und innerem Rheintalgraben gelegen, Höhen zwischen 150 und 100 m NN aufweist. Geologisch stellt es ein Bruchschollengebiet dar, das teils von kalkigem oder mergeligem Miozän, teils von tonig-sandigem Pliozän aufgebaut ist und von Schottern und Lössen des Pleistozäns bedeckt ist.

Durch eine Geländestufe ist das Bruchschollengebiet von der eigentlichen Rheinebene getrennt. Die Geländestufe tritt am deutlichsten im Norden in Erscheinung, wo sie bei Klein-Niedesheim (siehe Abb. 1) etwa 20 m, bei Groß-Niedesheim noch etwa 10 m beträgt. Das Tal des Leininger Baches zwischen Groß-Niedesheim und Heßheim verwischt die Grenze, die zwischen Heßheim und Lambsheim mit einer Höhe von 5—7 m erneut deutlich zu erkennen ist. Zwischen Lambsheim und Fußgönheim wird das Bild durch die Ablagerungen des Fuchsbaches und der Isenach wieder undeutlicher. Von Fußgönheim bis Schifferstadt bildet eine Geländestufe von 5—6 m eine weithin sichtbare Begrenzung. Südlich Schifferstadt geht diese durch die hier auftretenden Bachschotter und Flugsande verloren.

Die östlich an diese morphologische Grenze anschließende Verebnung wird im folgenden als Terrasse der Grauen Serie bezeichnet. Sie fällt mit

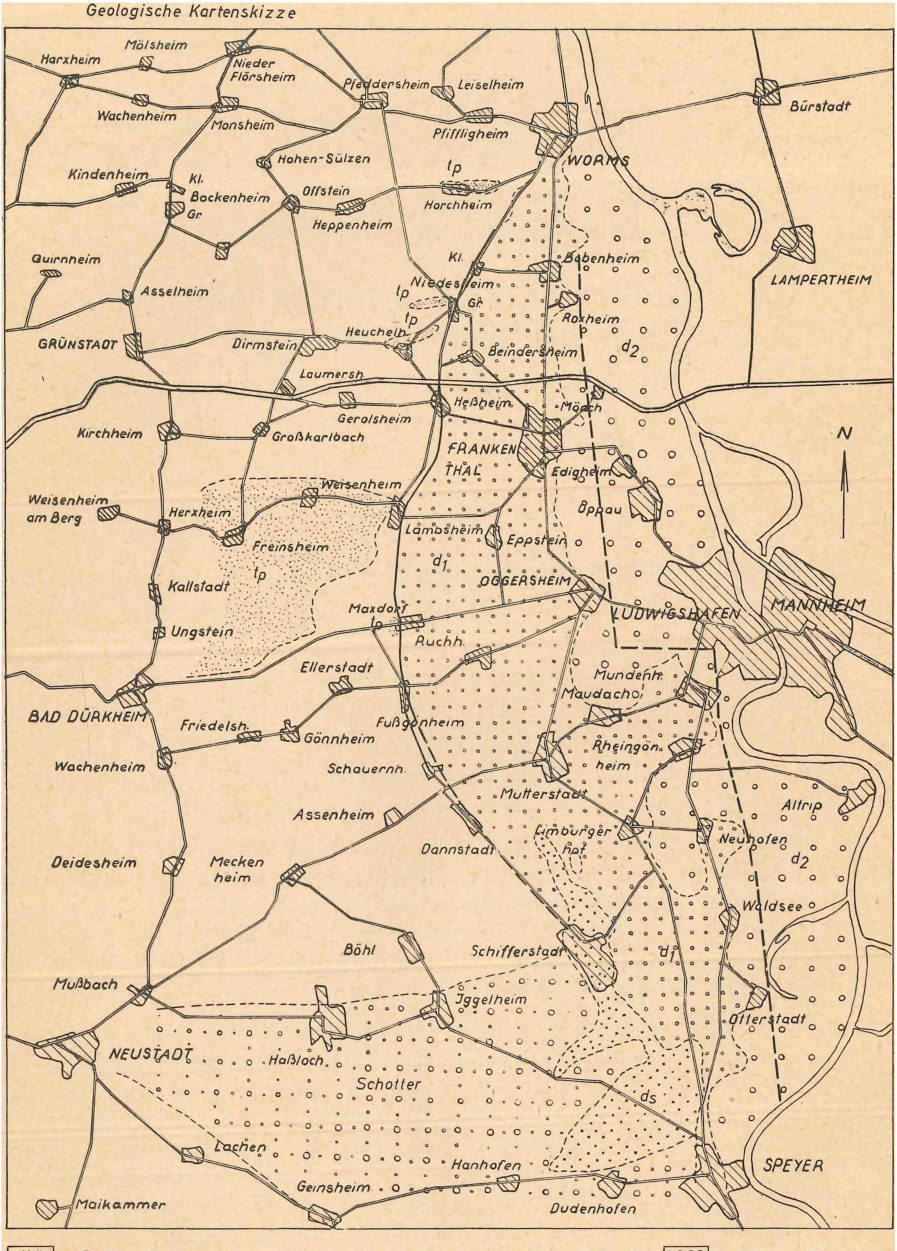

Geologische Kartenskizze
Mölsheim
Harxheim
Nieder Flörsheim
Pleddersheim
Leiselheim
Bürstadt
Wachenheim
Monsheim
Pfiffligheim
WORMS
Hohen-Sülzen
tp
Kindenheim
Kl. Bockenheim Gr.
Offstein
Horchheim
Heppenheim
Quirnheim
Kl.
Bobenheim
LAMPERTHEIM
Asselheim
Niedesheim
tp
Gr.
Roxheim
tp
GRÜNSTADT
Dirmstein
Heuchelh.
Beindersheim
d2
Laumersh.
Heßheim
Mörsch
Gerolsheim
Kirchheim
Großkarlbach
FRANKEN THAL
Edigheim
N
Weisenheim
Weisenheim am Berg
Herxheim
Öppau
Lambsheim
Eppstein
Freinsheim
d1
tp
DÖGERSHEIM
Kallstadt
LUDWIGSHAFEN
MANNHEIM
Maxdorf
Ungstein
Ruchh.
Ellerstadt
Mundenh.
Maudach
BAD DÜRKHEIM
Friedelsh.
Fußgönnheim
Gönnheim
Rheingönheim
Wachenheim
Schauernh.
Mutterstadt
Altrip
Assenheim
Limburger Hof
Neuhofen
Dannstadt
d2
Deidesheim
Mecken heim
Waldsee
Böhl
Schifferstadt
d1
Mußbach
Iggelheim
Otterstadt
NEUSTADT
Haßloch
Schotter
ds
Lachen
Hanhofen
SPEYER
Geinsheim
Maikammer
Dudenhofen
tp Pliozäne Schichten
d1 Graue Serie
d2 Niederterrasse
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km
ds Flugsand

Abb. 1

einer Terrassenstufe von etwa 5 m zur Niederterrasse ab, in die der rezente Rhein seine Schlingen eingegraben hat.

Das untersuchte Gebiet der Vorderpfalz hat eine mittlere Jahrestemperatur von 9 bis 10 ° C. Die Niederschläge betragen im langjährigen Mittel etwa 500 bis 550 mm. Die im Westen anschließende Haardt erhält im Durchschnitt 700 bis 900 mm Niederschläge.

Die Haardt ist vorwiegend bewaldet, das tertiäre Bruchschollengebiet ist durch seine klimatisch günstige Lage ein bekanntes Obst- und Weinbaugebiet, während die sandigen Böden der Grauen Serie und die schwereren Böden der Niederterrasse hauptsächlich durch Getreide- und Gemüsebau genutzt werden. Die Gemüsekultur ist bei der Regenarmut und dem meist für sie zu tief liegenden Grundwasserspiegel (meist mehr als 1 m unter Geländekante) ohne zusätzliche Beregnung nicht möglich. Das hierzu benötigte Wasser stammt teils aus Feldbrunnen, die je nach Bedarf als einfache Rohrfilterbrunnen oder als Filterkiesbrunnen ausgebaut sind, teils wird auch Bachwasser zur Beregnung herangezogen.

Der Schwerpunkt des Wirtschaftslebens der Vorderpfalz liegt zweifellos neben den Werken der metallverarbeitenden Industrie bei den chemischen Werken in Ludwigshafen (Badische Anilin- & Soda-Fabrik, Gebr. Guilini, Knoll A. G., Raschig). Diese großen Betriebe nehmen wohl ihren Hauptbedarf an Kühl- und Brauchwasser aus dem Rhein und geben es dorthin zurück, doch haben sie starkes Interesse an gewinnbarem Grundwasser.

Die Sande der Grauen Serie wurden zuerst von KINKELIN (1888, S. 158 ff.) erwähnt. Später beschäftigten sich VON AMMON, THÜRACH und VON GÜMBEL mit der Untersuchung dieser Rheinablagerungen. 1897 nannte sie VON GÜMBEL „Speyerer Sande" oder nach den in ihnen auftretenden Schnecken „Schneckensande". VON GÜMBEL vertrat die Einheitlichkeit dieses Sedimentes, während THÜRACH (1905, S. 5—6) in einen altpleistozänen Teil und einen jüngeren („Jüngeres Pleistozän") gliederte. SCHOTTLER (1906) berichtete von dem Auftreten der Schichten im rechtsrheinischen Gebiet. 1911 stellte FREUDENBERG die grauen Rheinsande in die jüngere Lößzeit. In den Erläuterungen zu Blatt Donnersberg verweist REIS (1921, S. 220—223) die Schneckensande in die Hochterrassenzeit. 1923 hingegen vertritt er die Auffassung, daß die Schichten der Grauen Serie bis zum Grundwasserspiegel als Niederterrasse anzusprechen seien, während darunter die Speyerer Sande als altdiluviale graue Sande folgen. Er betonte aber die Gleichartigkeit der oberen und unteren grauen Sande.

Eine bodenkundliche Untersuchung der östlichen Vorderpfalz erfolgte durch NIKLAS & HOCK (1923) und REIS (1923). HÄBERLE (1930) untersuchte die Flugsandvorkommen, die besonders bei Speyer den Untergrund der dortigen ausgedehnten Waldungen bilden.

GARST (1936) vertrat die Ansicht, daß die Ablagerung der Grauen Sande bis einschließlich Riß erfolgte. PLEWE (1938) befaßte sich ebenfalls mit der Problematik dieser mächtigen Ablagerungen.

Untersuchungen der altpleistozänen Rheinschlinge bei Worms, in der in den grauen Sanden auch Säugetierreste gefunden wurden, liegen von WITTICH (1900), STEUER (1909) und WEILER (1917, 1931, 1933) vor. Sie bezeichneten diese Ablagerungen als Mosbacher Sande, da faunistische Beziehungen zu den eiszeitlichen Ablagerungen von Mosbach bei Wiesbaden bestehen.

Die Sandgruben und Bohrungen in der Grauen Serie haben bisher noch sehr wenig Fossilien geliefert, die zu der Einstufung der Schichten benutzt werden konnten. Daher ist eine biostratigraphische Aufgliederung der ziemlich gleichartigen Ablagerungen noch nicht möglich. Der Ausdruck „Graue Serie" ist hier als vorläufige stratigraphische Bezeichnung eingeführt.

2. Die hydrogeologisch wichtigsten Schichtglieder

a) **Buntsandstein.** Die mächtigen Sandsteinkomplexe des mittleren Buntsandsteins stellen einen wichtigen Grundwasserleiter dar. Z. B. stützt sich die Wassergewinnung von Bad Dürkheim und vom Wasserversorgungsverband der Friedelsheimer Gruppe bei Wachenheim auf dieses Grundwasservorkommen.

Die bekannten Heilquellen von Bad Dürkheim wurden in der stark gestörten, zerklüfteten, vom Buntsandstein eingenommenen Grabenrandzone erbohrt (RÖHRER 1930, S. 5).

b) Das **miozäne Kalktertiär** als eine Folge von Kalken, Mergeln, mergeligen Sanden und Sanden enthält in den klüftigen und teilweise verkarsteten Kalken reichlich Wasser, das in der Umgebung von Ungstein und Freinsheim gewonnen wird (siehe dazu auch PFEIFFER, SCHÄDEL & SCHERER 1953, S. 47—48).

c) **Die Graue Serie.** Unter der Grauen Serie versteht der Verfasser einen Schichtenkomplex von groben, feinen und hauptsächlich mittelkörnigen Sanden und grauen, graubraunen und sogar schwarzen Tonen. In steter Wechsellagerung erreicht die Folge eine Gesamtmächtigkeit von mindestens 170 m. Als Beispiel für die Zusammensetzung dieser Schichten sei ein Bohrprofil hier eingefügt:

Tiefbrunnen auf der Parkinsel in Ludwigshafen (Blatt Mannheim-Süd, Nr. 6516, r: etwa 61 000, h: etwa 81 700):

0—2,40 m Sand, gelblich, oben lehmig
—5,10 m Sand, scharf, grob, unten mit feinem Kies
—10,90 m Sand, grau, mit grobem Kies
—13,60 m Sand, scharf, grau, mit feinem Kies
—19,00 m Sand, mittelscharf, grau, mit feinem Kies
—21,40 m Sand, mittelscharf, grau, mit grobem Kies
—22,00 m Sand, fein, grau
—30,60 m Ton, hellgrau, sandig
—32,60 m Ton, dunkelbraun
—43,40 m Sand, grau, fein
—50,10 m Ton, grau, unten sandig
—61,60 m Sand, grau, fein

—66,10 m Sand, gelblichgrau, fein, tonig
—72,10 m Ton, grünlichbraun
—80,60 m Sand, grau, fein
—91,60 m Ton, graugrünlich
—104,60 m Sand, mittelscharf, mit Kies und Holz
—107,60 m Torfboden, graubraun
—111,10 m Ton, grünlichgrau, mit Kalkspuren.

Bis 21,40 m Teufe ist das Material der Niederterrasse zuzuschreiben, bis zur Endteufe folgt die Graue Serie. Die Niederterrasse wird also von der Grauen Serie unterlagert (Abb. 2). Das Hauptverbreitungsgebiet der Grauen Serie über Tage ist auf Abb. 1 dargestellt. In den Aufschlüssen zeigen sich die Ablagerungen im allgemeinen als rötlichgelbgraue Mittelsande mit Fein- und Grobsandanteilen, doch kommen, wie mehrfach beobachtet werden konnte, geringmächtige Schmitzen mit Feinkies und auch dünne Mergelbänkchen vor (vergl. auch Reineck 1957, Abb. 3 S. 237), in denen Molluskenreste auftreten („Schneckensande").

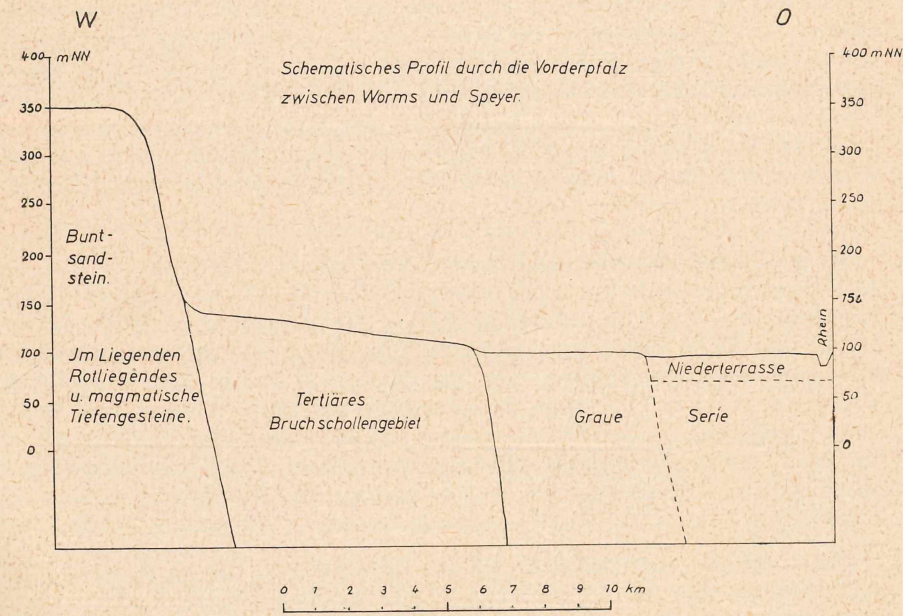


Abb. 2

Die Ton- und Schlickschichten halten kaum auf größere Strecken aus, sondern bilden mehr oder minder mächtige Linsen, die plötzlich auskeilen und darüber oder darunter wieder einsetzen. Schottler (1906, S. 29) und Steuer (1907, S. 73) berichten dasselbe für das rechtsrheinische Gebiet.

Wie Matthess (1958, S. 339, 345, 349) ausführt, trennen die Tonlagen zwei Grundwasserstockwerke. Das obere ist durch hartes, salzreicheres Wasser gekennzeichnet. Es wird durch die Brunnen gefördert, die etwa bis 30 m

tief sind. In den letzten Jahren wurden durch Tiefbrunnen, die im allgemeinen 100—120 m tief sind, ein unteres Grundwasserstockwerk erschlossen, das durch ein weiches, salzarmes Wasser charakterisiert ist.

Die linksrheinische Graue Serie hat bisher nur bei Worms eine erwähnenswerte Säugerfauna geliefert, die von STEUER (1909) und WEILER (1917; 1931, S. 132) zur Mosbacher Stufe II (*antiquus*-Stufe) gestellt wurde.

Für die Alterseinstufung der Wormser Fauna aus der Grauen Serie ist das Auftreten von *Rhinoceros etruscus*, das nach ADAM (1952, S. 234) mit der Mosbacher Fauna ausstirbt, von großer Wichtigkeit; denn es stellt diese Bildungen eindeutig in das Altpleistozän. Der Fund eines Zahnes von *Hippopotamus amphibius* kommt hinzu, der in Ludwigshafen 5 m unter der Rheinsohle aus den Sanden der Grauen Serie gefördert wurde (VOELCKER 1931). Die fossilführenden Schichten der Grauen Serie sind altpleistozänen Alters, ob jüngere Bildungen noch in der Grauen Serie enthalten sind, werden erst pollenanalytische Untersuchungen klären können.

Die Mächtigkeit der Grauen Serie ist aus dem Zusammenwirken der Absenkung des inneren Rheintalgrabens und der Heraushebung des Rheinischen Schiefergebirges zu verstehen. Die Hauptbewegungen dürften im Altpleistozän stattgefunden haben (WAGNER 1933, S. 41—42). Der Rhein begegnete der langsamen Senkung im zentralen Graben durch Ablagerung von Sand und Schlick. Bei Übergreifen des Senkungsvorganges auf die Randschollen konnten diese Bildungen über die heutigen Ränder hinausgreifen und auch im westlichen tertiären Schollenland geringe Mächtigkeit erreichen.

d) Die **Niederterrasse.** Als Niederterrase ist im folgenden und auf der geologischen Skizze (Abb. 1) die Abfolge von Grob-, Mittel- und Feinkiesen ausgeschieden, die wie zahlreiche tiefere Bohrungen zeigen, die feinen Sande und Tone überlagern (Abb. 2). Der Rhein fließt hier auf seiner Niederterrasse, die ähnlich wie im Rheingau ausgebildet ist. (Vergl. MICHELS & WAGNER 1930: Blatt Bingen-Rüdesheim und WAGNER 1931: Blatt Ober-Ingelheim). In den Erläuterungen zu Blatt Ober-Ingelheim (S. 69) ist das Profil der Niederterrasse wie folgt angegeben: „Die Bohrungen zeigen durchweg einen Kiessockel von 2—7 m Stärke, über dem Sande mit dünnen Kiesstreifen liegen, die oft ohne scharfe Grenze in Flugsande übergehen."

Diese Schilderung trifft auch für die Bildungen zu, die im Arbeitsgebiet als Niederterrasse bezeichnet werden. Die Mächtigkeit der Niederterrasse ist im allgemeinen ungefähr 20—25 m (PFEIFFER, SCHÄDEL & SCHERER 1953, S. 50).

Eine eindeutige Trennung von Niederterrasse und Holozän ist in der Regel kaum möglich. Als holozäne Bildungen sind die jungen Schlickrinnen und die ganz oder teilweise verlandeten Altwässer und Rheinschlingen, sowie auch die Lehmdecke zu bezeichnen, die mit 1—2 m Mächtigkeit die Niederterrasse bedeckt. Heute fließt der Rhein in seiner Niederterrasse und hat sie in zahlreichen Schlingen umgelagert. Hinweise dafür finden sich in der Auswahl der Fossilien, die nebeneinander aus diesen Kiesen geborgen werden. Die großen Kiesgruben der Scharrau bei Roxheim

und bei Altrip haben eine Menge an Resten geliefert, unter denen Zähne von *Elephas primigenius* am häufigsten sind.

Die Laufverlegungen des Rheines hielten bis in die geschichtliche Zeit hinein an. So wurde die nach Südwesten ausgreifende Schlinge bei Oggersheim 886 n. Chr. durchbrochen, wodurch Oppau und Edigheim auf die linke Rheinseite zu liegen kamen. Der Bogen von Lampertheim brach zu Beginn des 19. Jahrhunderts durch (STRIGEL 1934, S. 54). Die Rheinregulierung machte diesem Vorgang ein Ende.

e) **Flugsand, Schotter von Speyer- und Rehbach.**

Im Süden wird die Verbreitung der Grauen Serie an der Oberfläche durch die Schotter von Speyer- und Rehbach und durch den Flugsand eingeengt.

Der Flugsand ist ein junges Sediment. Die Flugsande haben sich in der Rheinebene bis in die jüngste Zeit bewegt. Beweise hierfür sind die Verwehungen einer Römerstraße und eines römischen Wachthauses bei Seckenheim (STRIGEL 1934, S. 59).

3. Das Klima der Vorderpfalz und seine Beziehungen zum Grundwasser

Aus dem Klimaatlas für Baden-Württemberg (DEUTSCHER WETTERDIENST 1953) lassen sich für die Vorderpfalz folgende, für das Grundwasser wichtige, klimatische Verhältnisse ableiten:

Das westlich dieses Gebietes liegende Haardt-Gebirge, sowie die übrigen das Rheintal begrenzenden Höhenzüge bedingen ein verhältnismäßig mildes Klima.

Für das Grundwasser sind hauptsächlich die Niederschläge von Bedeutung, die in den Wintermonaten fallen. Es zeigt sich, daß in der Vorderpfalz die Niederschläge im Sommerhalbjahr die höchsten Werte erreichen (Höchstwert August), während die Werte der Wintermonate etwa um ⅓ niedriger liegen. Für die landwirtschaftliche Nutzung ist die Verteilung der Niederschläge günstig, so daß trotz der insgesamt geringen Jahresniederschläge eine intensive landwirtschaftliche Nutzung möglich ist. Unmittelbar westlich des untersuchten Gebietes schließt sich ein Trockengebiet um dem Ort Hochstadt an. Hier liegen die Niederschläge unter 500 mm/Jahr. Während ein Großteil des Untersuchungsgebietes zwischen 500 und 550 mm im Jahr erhält, werden im übrigen über 550 mm gemessen. Genau so wie in Rheinhessen ist die ungewöhnliche Trockenheit durch die Lage im Regenschatten der westlich davorlagernden Gebirge (Haardt, Pfälzer Wald) bedingt. Die westlich anschließende Haardt erhält 700 bis 900 mm Niederschläge (Kalmit über 900 mm). Hier kommt es zu oberirdischem Abfluß. In der Vorderpfalz hingegen erhalten die Gewässer nur geringen Zustrom, in der Regel aber geben sie sogar noch Wasser an das Grundwasser ab. Nach den Untersuchungen von LEHR (1927, S. 189) im Gebiet von Speyer- und Rehbach erreichte der Wasserverlust dieser Bäche an den Untergrund 17% ihrer Wasserführung. In der Regel kann man also für das Gebiet der Grauen Serie (Tafel 1) sowie bedingt auch für das der Niederterrasse bei der fol-

genden Berechnung der Abflußspenden den oberflächlichen Abfluß vernachlässigen. Dies wird auch durch die Abflußmessung des Wasserwirtschaftsamtes Neustadt/Weinstraße am 5. September 1930 deutlich. Die Isenach spendete bei Bad Dürkheim, berechnet für ein Einzugsgebiet von 67 km², pro km² 3,7 l/sec., bei ihrer Mündung in Frankenthal bei einem Einzugsgebiet von 258 km² nur noch 0,8 l/sec. km². Leider handelte es sich bei dieser Messung — sie wurde bei niedrigem Wasserstand durchgeführt — um eine einmalige Bestimmung. Die Übereinstimmung der Versuchsergebnisse mit den Arbeiten von LEHR zeigt die grundsätzliche Übertragbarkeit der Verhältnisse im Speyer- und Rehbachgebiet auf den hier beschriebenen Teil der Vorderpfalz.

Da nun der Anteil der Niederschläge, der oberflächlich abfließt, vernachlässigt werden kann, läßt sich der Zuwachs des Grundwassers nach der Formel abschätzen, die in geschlossenen Einzugsgebieten für langjährige Mittelwerte gilt:

$$N = A + V$$

Der Niederschlag N verteilt sich auf den Abfluß A, der hier nur als unterirdischer in Erscheinung tritt, und die Verdunstung V.

Die Verdunstung stellt in allen derartigen Rechnungen den unsichersten Wert dar. Die Untersuchungen von PFAFF & FRIEDRICH (1954), die sich auf Messungen in Limburger Hof seit 1927 stützen, haben gezeigt, daß der für Mitteleuropa meist angewandte Wert von 450 mm/Jahr für eine mittlere Verdunstung vom festen Erdboden (WUNDT 1937, u. a.) auch für die Vorderpfalz gilt.

Nach der Niederschlagskarte zum Klimaatlas (DTSCH. WETTERDIENST 1953, Blatt 51) wurden die Flächen gleichen Niederschlags ausplanimetriert. Es wurde für die Flächen zwischen 2 Niederschlagshöhenlinien wie üblich der Mittelwert angesetzt, z. B. ist die Fläche zwischen 500 und 550 mm mit 525 mm in Anrechnung gekommen. Daraus ergaben sich die folgenden Werte: N für Niederterrasse und Graue Serie bei einer Fläche von rund 280 km² 153 500 000 m³. Nach Abzug von 450 mm Verdunstung ergibt sich als Abfluß, der als unterirdischer Abfluß zu verstehen ist: A = 27 500 000 m³. Dies entspricht einer Abflußspende von 3,1 l/sec. km².

Auf das Gesamtgebiet zwischen Rhein und Haardt und zwischen dem Einzugsgebiet des Speyerbaches und der Pfrimm (621 km²) fallen 324 000 000 m³ Niederschlag. Nach Abzug der Verdunstung verbleiben für den Abfluß 45 000 000 m³, d. h. eine Abflußspende von 2,3 l/sec. km². Auch hier handelt es sich um den unterirdischen Abfluß.

Eine Reihe von Zusammenhängen ergibt sich beim Vergleich der Ganglinien von Grundwasser, Niederschlägen und Rheinwasserstand. Auf Abb. 3 wurden zwei Grundwasserganglinien aufgetragen. Die Messungen wurden dem Verfasser in dankenswerter Weise vom Kanalbauamt der Stadt Ludwigshafen zur Verfügung gestellt.

Die Grundwasserganglinien verhalten sich verschieden:

1. In der Nähe des Rheinufers zeigen die Spiegelschwankungen des Grundwassers eine direkte Abhängigkeit vom Rhein. Sie folgen den täg-

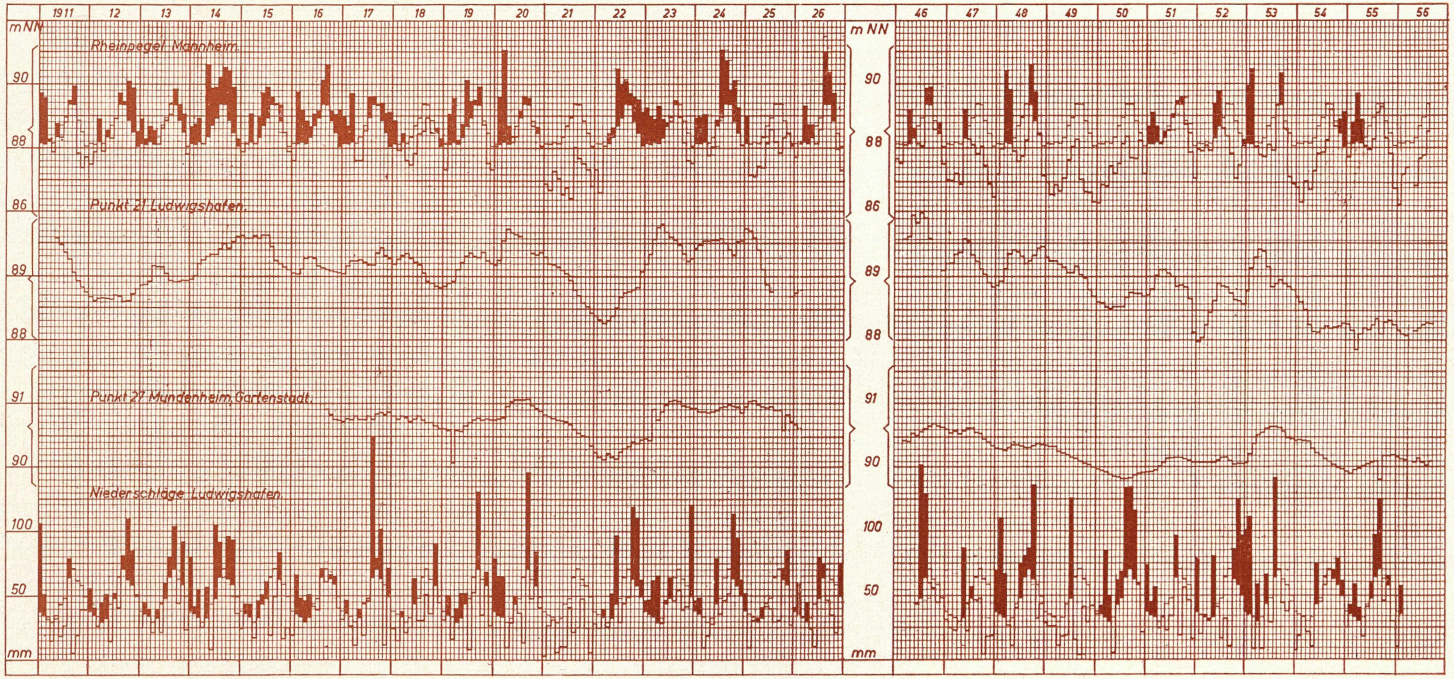
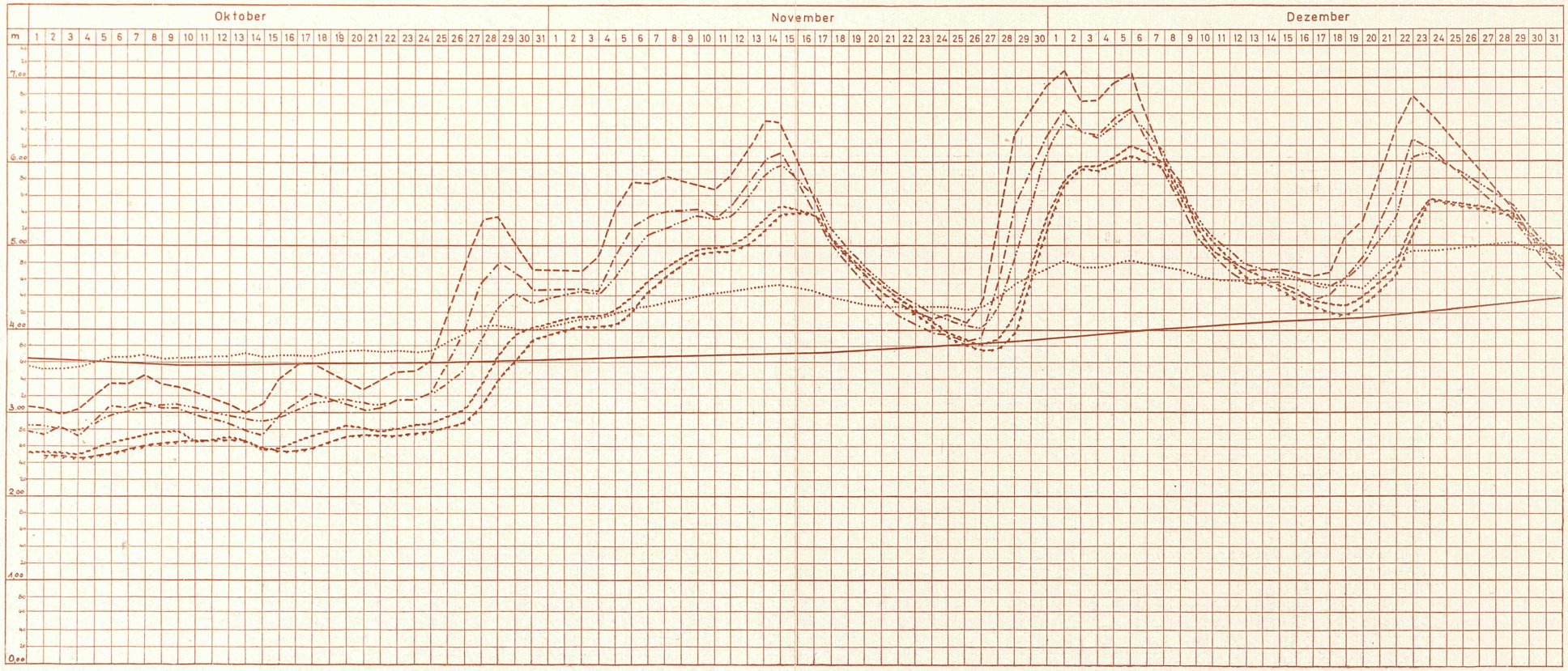


Abb. 3

Ganglinien von Grundwasser, Niederschlägen und Rheinwasserstand

(zu G. Matthess, Das Grundwasser in der östl. Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer)

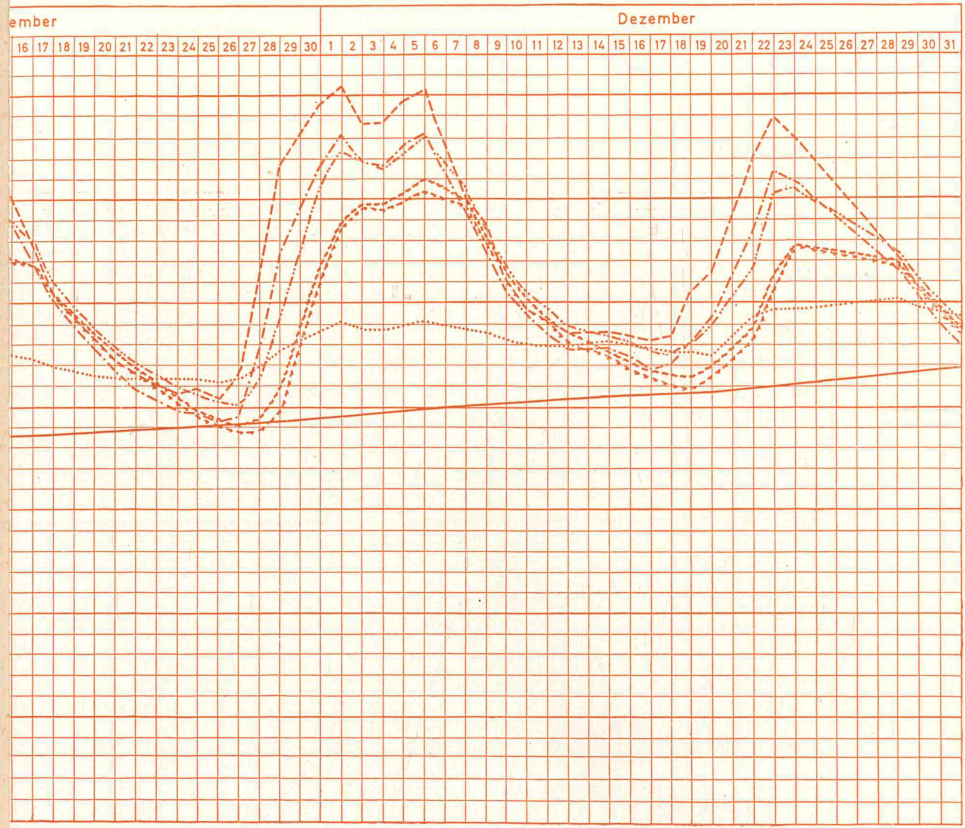


---- Rheinwasserstand bei km 422,00; -·-·- Bohrloch, Entf. vom Rhein 30m; ·····-·····- Bohrloch, Entf. vom Rhein 125m; ~~~~~ Bohrloch, Entf. vom Rhein 190m; - - - - - Bohrloch, Entf. vom Rhein 205m; —— Rangierbahnhof, Entf. vom Rhein 1200m; ····· Tiefbrunnen.

Abb. 4

Spiegelschwankungen in der Nähe der Parkinsel

(zu G. Matthess, Das Grundwasser in der östl. Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer)



Bohrloch, Entf. vom Rhein 190m; - - - - - Bohrloch, Entf. vom Rhein 205m; —— Rangierbahnhof, Entf. vom Rhein 1200m,

. 4

der Nähe der Parkinsel

. Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer)

lichen Schwankungen des Rheinwasserstandes, wobei ihre Amplituden nicht oder nur wenig geringer sind als die des Rheines. Auf Abb. 4 sind die Spiegelschwankungen einer Reihe von Beobachtungspunkten auf und in der Nähe der Parkinsel aufgetragen. Die Rohre in 30 bis 205 m Entfernung vom Rhein zeigen ein tägliches Mitgehen, die entfernteren Punkte (über 205 m Entfernung) folgen in ihren Maxima und Minima dem Rhein mit einem Tag Verzögerung nach. Das Beobachtungsrohr „Rangierbahnhof" (1200 m vom Rhein entfernt) gehört nicht mehr zu dieser Gruppe, sein Gang spiegelt wohl das Geschehen im Großen wieder, ohne die einzelnen kleinen Schwankungen abzubilden (Allerdings ist hierbei zu beachten, daß wöchentlich anscheinend nur eine Messung vorliegt).

Interessant ist auch, daß der Tiefbrunnen auf die Schwankungen des Rheines anspricht.

2. Eine Gruppe von Meßpunkten in größerer Entfernung vom Rhein zeigt Unabhängigkeit von den täglichen Schwankungen des Strompegels, doch folgt anscheinend den länger anhaltenden Hoch- oder Niedrigwassern des Rheines nach etwa 1 bis 2 Monaten ein Hoch- bzw. Niedrigstand des Grundwasserspiegels. Aus dieser Gruppe wurde das Beobachtungsrohr 21 ausgewählt, das im Ebertpark in Ludwigshafen steht. Dieser Punkt ist vom nächten Industriebetrieb (BASF) rund 1,5 km, vom Rhein rund 2 km entfernt. Eine unmittelbare Beeinflussung durch nahegelegene Industriebetriebe liegt anscheinend nicht vor.

3. Eine Reihe von Meßpunkten in größerer Entfernung vom Rhein zeigen einen noch ausgeglicheneren Verlauf der Ganglinien. Kleinere Schwankungen haben keinen Einfluß mehr, doch machen sich anscheinend lang anhaltende Hoch- und Tiefstände des Rheines, wenn auch mit einer Verzögerung von 2 Monaten bei Hochständen und bis zu 6 Monaten bei Niedrigständen bemerkbar. Es wurde Punkt 27 ausgewählt, der in der Gartenstadt Mundenheim schon im Bereich der Grauen Serie liegt und von Industriewerken 2,75 km und vom Rhein ebenfalls 2,75 km entfernt ist.

Im folgenden sei auf den Kurvenverlauf (dargestellt sind Abflußjahre, jeweils vom 1. November bis 31. Oktober) noch kurz eingegangen. Der Rheinganglinie wurde das 50jährige Mittel (1901—1951) gegenübergestellt. Die Kurve des Rheinwasserstandes hat im Winterhalbjahr ein Minimum, wenn man von kleineren Schwankungen absieht, die zur Zeit der Schneeschmelze in den Mittelgebirgen auftreten. Als Alpenfluß führt der Rhein im Sommerhalbjahr Hochwasser.

Durch eine Signatur (schwarze Ausfüllung) wurden die Werte der Ganglinie herausgehoben (Koehne 1937, S, 75), die über dem langjährigen Mittel liegen. Bei Rheinwasserständen, die niedriger sind, als die Mittelwertkurve angibt, ist auf eine besondere Signatur verzichtet worden.

Der Verlauf der Ganglinie zeigt nun, daß der Rheinpegel Mannheim im ersten Viertel dieses Jahrhunderts wesentlich häufiger Werte über dem Durchschnitt aufweist, während in den letzten zehn Jahren die Fehlbeträge gehäuft auftreten. Der Übergang findet sich in den nicht dargestellten

Zwischenjahren. Aus dem Kurvenverlauf kann man eine allmähliche Senkung des Rheinwasserstandes ablesen.

Die Frage nach der Ursache für diese Erscheinung läßt in der Hauptsache zwei Möglichkeiten zu:

1. Die Wasserführung des Rheins nimmt ab. Dies kann zwei Ursachen haben:

   a) Die Niederschläge in seinem Einzugsgebiet lassen nach. Dies muß auf Grund der allgemeinen Erfahrung verneint werden. In Mitteleuropa fehlen Anzeichen für eine säkulare Verminderung der Niederschläge, eher ist ein langsames Feuchterwerden des Klimas zu beobachten. Der Blick auf die Niederschlagskurve zeigt, daß Überschußwerte heute noch mit derselben Häufigkeit auftreten wie vor 40 Jahren. Weiterhin ist auf Grund des in den Alpen allgemein bemerkbaren Rückganges der Gletscher mit einer heute noch reichlicheren Wasserführung des Rheines zu rechnen.

   b) Wasserverluste des Rheines an Kanalsysteme im südlichen Oberrheintal. Dies mag eine gewisse Rolle spielen, doch ist m. E. die Hauptursache darin zu sehen, daß

2. der Rhein sich tiefer einschneidet. Auf die Korrektion des Oberrheins von 1818 bis 1878 setzte eine Erosion der Flußsohle ein, die heute noch nicht beendet ist. Die Schwelle bei Nierstein, die ursprünglich als Erosionsbasis gedacht war, wurde später im Interesse der Schiffahrt durch Sprengungen erniedrigt. Dies führte zu einer Vertiefung des Flußbettes, die nach Hofmann (1942, S. 336) den Wasserspiegel von 1860 bis 1930 bei Mannheim um 1,40 m, bei Roxheim um 1,20 m, bei Worms um 1,10 m senkte. Bero (1933, S. 76) wirft die Frage auf, ob die Tieferlegung des Rheines eine Absenkung des Grundwasserspiegels hervorruft, glaubte aber für das hessische Ried diese Frage noch nicht beantworten zu können. Betrachtet man die Ganglinien von Punkt 21 und 27, so kann man ein deutliches Absinken des Grundwasserspiegels bemerken, besonders in den letzten 10 Jahren. Für die Senkung des Grundwasserspiegels sind zwei Gründe zu nennen, die beide in gleicher Richtung wirken: die zunehmende Entnahme aus dem Grundwasser und der fallende Rheinwasserstand infolge der Tiefenerosion im Flußbett. Das Gefälle des Grundwassers stellt sich auf die neue Höhenlage des Vorfluters ein.

Am Beispiel des trocknen Jahres 1921 soll das Verhältnis des Grundwasserstandes zu Rhein und Niederschlägen kurz erläutert werden. Bei Punkt 21 erfolgt das Wiederansteigen mindestens 1 Monat später als beim Rhein. Deutlich wird der Anstieg sogar erst nach 5 Monaten, bei Punkt 27 erst nach 8 Monaten. Die Grundwasserspiegelschwankungen zeigen außer der Abhängigkeit vom Rheinwasserstand auch Beziehungen zu den Niederschlagsschwankungen. Mit einer Verzögerung von etwa ½ bis 1 Jahr machen sich die Niederschläge bemerkbar (Hofmann 1942, S. 316).

Im Jahre 1921 erreichten sowohl der Rhein als auch die Niederschläge einen Tiefstand, während das Grundwasser erst im Winterhalbjahr 1922 sein Minimum hatte, also rund um ein halbes Jahr nachhinkte (Siehe u. a. auch Ganglinie Berlin, DENNER 1953, Tafel S. 470).

Die Erklärung für eine Beziehung zwischen den Niederschlägen und den Spiegelschwankungen ergibt sich zwanglos aus der Entstehung des Grundwassers durch Niederschläge. Wie aber ist eine so weitreichende Wirkung des Rheines zu verstehen? Man kann einwenden, die zu Verfügung stehenden Meßpunkte seien alle doch sehr nahe am Rhein. Wie würden sich aber ferner liegende Punkte verhalten? Vom Wasserwirtschaftsamt Neustadt/ Weinstraße wird in den letzten Jahren der Ausbau eines Beobachtungsnetzes durchgeführt, zu dem die Beobachtungsstelle Fußgönheim (Abb. 1) gehört. Der Meßpunkt liegt etwa 11 km vom Rhein entfernt. Die wenigen Meßjahre erlauben noch keine weiteren Schlüsse, doch zeigte der vom Verfasser durchgeführte Vergleich mit der Ganglinie 27 (Abb. 3) eine grundsätzliche Übereinstimmung. Der Anstieg im Jahre 1953 hinkt etwa ein halbes Jahr hinter den reichlichen Niederschlägen im Herbst 1952 nach.

Die Möglichkeit der Beeinflussung des Grundwassers durch den Rhein kann man sich folgendermaßen vorstellen: Nach einem länger anhaltenden Tiefstand des Rheines hat das Grundwasser sein Gefälle auf den Wasserstand des Vorfluters eingestellt. Steigt nun der Rhein rasch auf einen höheren Wasserstand, so treten im wesentlichen die folgenden Erscheinungen ein: In der Uferregion wird das Wasser vom Fluß her in den Grundwasserleiter eindringen (Uferfiltration). Das aus dem Hinterlande heranströmende Grundwasser wird gestaut, was zum Ansteigen des Grundwasserspiegels führt. Schließlich wird ein ausgeglichenes Grundwassergefälle erreicht werden.

Weiterhin läßt sich auch eine rasche Reaktion des Grundwasserspiegels auf Rheinwasserstandsänderungen folgendermaßen erklären: In der Niederterrasse befindet sich oft gespanntes Grundwasser in durchlässigen Sanden und Kiesen, soweit diese von einer undurchlässigen, mehr oder minder mächtigen Lehmdecke überlagert werden. Jede Druckänderung durch Änderungen in der Wasserführung des Rheins wird sich dann rasch bemerkbar machen (PFEIFFER, SCHÄDEL & SCHERER 1953, S. 55).

Eine Karte der Grundwasserhöhenlinien für das ganze Untersuchungsgebiet zwischen Worms und Speyer zu entwerfen, war nicht möglich, da das Netz der Grundwassermeßpunkte sich als zu lückenhaft erwies. Insbesondere im Gebiet südlich Ludwigshafen gibt es weite Strecken, die keine Möglichkeit zum Einmessen des Grundwasserspiegels bieten, da in dieser Gegend seit einigen Jahrzehnten durch die Grundwasserwerke private Brunnen unnötig und deshalb von den Besitzern zugeschüttet wurden.

Eine wenn auch ältere Darstellung von Grundwasserhöhenlinien aus der Umgebung von Frankenthal (Abb. 5) konnte durch die Freundlichkeit des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz für diese Arbeit verwendet werden. Sie wurde bei der Mutung für das ältere Wasserwerk der Stadt Frankenthal im Jahre 1898 auf Grund zahlreicher Bohrungen entworfen

und ist geeignet, die wichtigsten Züge der Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet aufzuzeigen. Da der Grundwasserplan vor Anlage der heutigen Wasserwerke gezeichnet wurde, zeigt er die natürlichen Verhältnisse in der östlichen Vorderpfalz und ist daher grundsätzlich auch auf die südlich von Ludwigshafen gelegenen Partien der Niederung übertragbar, die im allgemeinen frei von Großentnahmestellen sind.

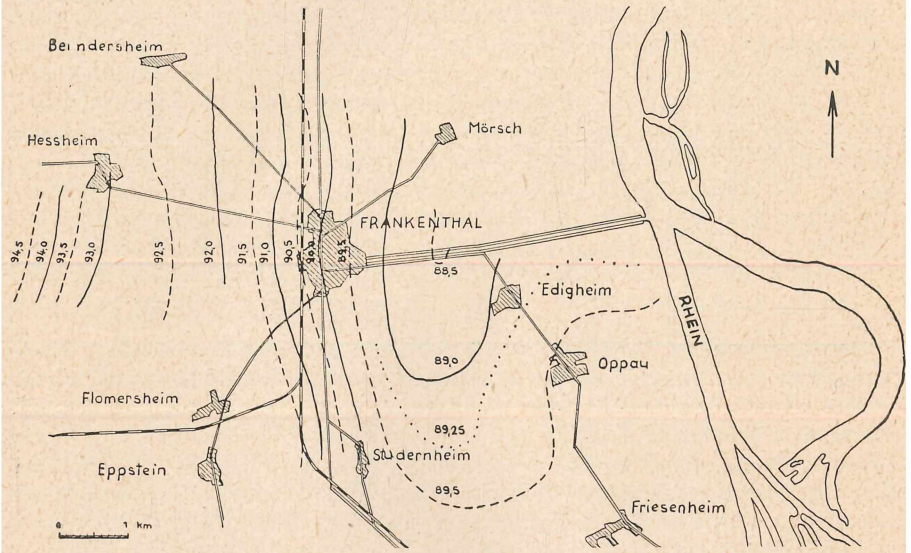


Abb. 5

Im Gebiet der Grauen Serie verlaufen die Grundwasserhöhenlinien etwa parallel zum Rhein, d. h. die Strömungsrichtung ist senkrecht auf den Rhein zu gerichtet. Störungen in dieser Regel treten wohl nur in der Umgebung von Entwässerungsgräben und Bachläufen auf, die naturgemäß zu Änderungen im Verlauf der Grundwasserhöhenlinien führen.

Im Gebiet der Niederterrasse verlaufen die Grundwassergleichen anders. Die Richtung der Grundwasserbewegung wird durch den Verlauf der verschiedenen alten Rheinläufe und -schlingen bestimmt. Die Verschiedenheit der Sedimente zwingt dem Grundwasser die Fließrichtung auf. In dem kiesigen Bett einer alten Rheinschlinge, das durch eine mehr oder weniger mächtige Schlick- und Lehmdecke gegen oben abgedeckt ist, bewegt sich ein Grundwasserstrom östlich Frankenthal nach Nordosten. Dieser Grundwasserstrom wurde bei der Anlage des alten Wasserwerks von Frankenthal südwestlich Edigheim und neuerdings durch den Ranney-Brunnen der Stadt Frankenthal ausgenützt. Das große Einzugsgebiet und die Grobkörnigkeit des Kieses sichern eine hohe Wasserförderung. Östlich dieses Grundwasserstromes schließt sich ein Gebiet an, dessen Grundwasserhöhenlinien ein Hochgebiet verraten, so daß aus diesem Gebiet das Grundwasser sowohl zum Rhein als auch nach Westen in den sich dort bewegenden Grundwasserstrom abfließen kann. Die Untersuchungen für die Anlage des Ranneybrunnens in den Jahren 1951/52 haben dies im wesentlichen

bestätigt (Gutachten Prof. Dr. O. Burre 1951/52). Das Auftreten von Grundwasserhöhenrücken in der Nähe des Flusses, der als Vorfluter dient, wurde auch von Solle (1951, S. 155) von Fechenheim (Blatt Frankfurt-Ost) beschrieben. Die Erklärung, die dort herangezogen wurde, dürfte wenigstens teilweise auch hier zutreffen. Bei Fechenheim treten Ablagerungen mit höherem Tongehalt auf, deren geringere Durchlässigkeit das Niederschlagwasser länger als die Kiese der Umgebung zurückhält, so daß hieraus z. T. die Erhöhung des Grundwasserspiegels zu verstehen ist. Das bei Fechenheim auftretende Wasser mit artesischem Auftrieb dürfte allerdings hier nicht angenommen werden. Eine etwas geringere Durchlässigkeit muß nicht allein auf tonige Zwischenmittel, sondern kann auch auf eine größere Feinkörnigkeit zurückgeführt werden. Beide haben eine Verringerung des Porenvolumens zur Folge. Bei der Entstehung von derartigen Grundwasserhöhenrücken spielt auch die Durchlässigkeit der Deckschichten eine Rolle. Durchlässige Böden erlauben einem größeren Anteil der Niederschläge zu versickern, so daß unter ihnen der Grundwasserspiegel erhöht wird. Die schlecht durchlässigen Schlicklagen in den verlandeten Rheinläufen hingegen behindern die Versickerung.

Das Grundwassergefälle ergab sich im Gebiet der Grauen Serie zu 0,43 bis 1,23 m auf 1 km, im Gebiet der Niederterrasse zu 0,29 bis 0,93 m auf 1 km. Dies deckt sich mit den Angaben bei der Untersuchung für das Wasserwerk Worms (Steuer u. a. 1905, S. 11), wo man für das hessische Ried zwischen Weinheim und dem Rhein ein Gefälle von 0,8 m auf 1 km fand.

Die Fließgeschwindigkeit dürfte mit 1—2 (vielleicht 3) m pro Tag angenommen werden, wobei das etwas stärkere Gefälle in der Grauen Serie und die größere Durchlässigkeit in der Niederterrasse sich in ihrer Wirkung kompensieren werden.

4. Das Grundwasser und seine Nutzung durch den Menschen

Die günstige Verkehrslage und eine rührige Industrie haben in der Vorderpfalz eine Konzentrierung von Menschenmassen entstehen lassen, die im Vereine mit den ständig wachsenden Ansprüchen der Betriebe den Wasserbedarf rasch anschwellen läßt. Bei der beginnenden Intensivierung der Landwirtschaft in dieser Gegend wird auch von dieser der Grundwasserschatz mehr als bisher in Anspruch genommen werden. So fördern Industrie und Gemeinden heute 752 Sekundenliter, davon aus Tiefbrunnen 307 Sekundenliter. Die Landwirtschaft erreicht mit 75,7 Sekundenliter nur den zehnten Teil.

Einwohnerzahl und Wasserverbrauch haben zugenommen. So versorgte das Wasserwerk Ludwigshafen 1896 39 800 Menschen mit 30 l pro Kopf und Tag, 1914 106 945 Menschen mit 71 l pro Kopf und Tag, 1938 139 875 Menschen mit 112 l pro Kopf und Tag und schließlich 1955 142 000 Menschen mit 155 l pro Kopf und Tag.

Da in diesem Zusammenhang interessant ist, wieviel nun der Mensch durch seine Ansiedlung, seine Landwirtschaft und seine Industrie an

Wasser aus dem Boden entnimmt, wurde versucht, möglichst alle Wasserentnahmestellen zu ermitteln. In der Zusammenstellung wurde nach folgenden Gesichtspunkten getrennt:

1. Entnahme aus der Grauen Serie in Brunnen mit Teufe über 30 m (Tiefbrunnen).
2. Entnahme aus Brunnen der Grauen Serie. Maximale Teufe 30 m.
3. Entnahme aus Brunnen der Niederterrasse. Maximale Teufe 30 m.

Als Grundlage wurden im allgemeinen die Verhältnisse zwischen 1954 und 1956 angenommen, bei der Landwirtschaft aber ein normales Jahr (nicht die feuchten Jahre 1955 und 1956) zu Grunde gelegt.

	1.	2.	3.
a) Landwirtschaft	—	1 769 000	618 000 m³
b) Industrie und kommunale Wasserversorgung	9 678 000	1 954 000	12 083 000 m³
	9 678 000	3 723 000	12 701 000 m³

Das Einzugsgebiet des tieferen Grundwasserstockwerks, das durch die Tiefbrunnen erschlossen wurde, ist wahrscheinlich das westlich anschließende Haardtgebirge. Da die Ausdehnung des Einzugsgebietes sowie die Fließgeschwindigkeit nicht bekannt sind, sind Berechnungen über die Zuflußmengen sehr unsicher. Daher wird in den folgenden Überlegungen nur das Wasser berücksichtigt, das sich im obersten Grundwasserstockwerk bewegt und dessen Neubildung hauptsächlich aus den unmittelbaren Niederschlägen erfolgt. Es zeigt sich, daß rund 16 Millionen m³ im Jahr aus Flachbrunnen entnommen werden, denen im Untersuchungsgebiet rund 28 Millionen m³ an jährlich neugebildetem Grundwasser gegenüberstehen.

Nun ist allerdings zu beachten, daß die Besiedlung und die Industrie in Ludwigshafen und Frankenthal zusammengeballt sind. Für dieses Gebiet ist das Einzugsgebiet wesentlich kleiner. Betrachtet man das unmittelbare Hinterland des Entnahmeschwerpunktes, d. h. Graue Serie und Niederterrasse (etwa 120 km²), so stehen dem unterirdischen Abfluß von 10 500 000 m³ (Abflußspende 2,8 l/sec. km²) eine Entnahme gegenüber, die den Abfluß um 5 924 000 m³ übersteigt. Dehnt man das mögliche Einzugsgebiet bis zur Haardt aus, so findet man für diese 225 km² einen unterirdischen Abfluß von 13 875 000 m³, also eine Abflußspende von 1,95 l/sec. km². Der Fehlbetrag zwischen Entnahme und dem im Einzugsgebiet neugebildeten Wasser beträgt nun nur noch rund 2 500 000 m³. Dieses rechnerische Defizit wird durch die Uferfiltration gedeckt, d. h. durch das Eindringen von Flußwasser in die Uferregion.

Wie oben anhand von Zahlen ausgeführt, genügt das Wasser des oberen Grundwasserstockwerkes nicht, den ständig wachsenden Bedarf zu decken. Dies führte dazu, Ausweichsmöglichkeiten suchen zu müssen. Als erste bot sich die Gewinnung uferfiltrierten Grundwassers an, ein Weg, der von der Stadt Ludwigshafen beschritten wurde (Liese 1934, Schaaff 1938) und der grundsätzlich auch für die Zukunft empfohlen werden kann. Die Stadt Ludwigshafen hat daher auch in großzügiger Vorausplanung sich Wasser-

gewinnungsrechte im Gebiet der Niederterrasse zwischen Altrip und Waldsee erworben und auch schon Gewinnungsversuche angestellt, die das Gebiet für eine Großwassergewinnung geeignet erscheinen lassen. Von der Benutzung dieser Lagerstätte hielt bisher nur die größere Entfernung von Ludwigshafen und die damit verbundenen Leitungskosten ab.

In den letzten Jahren eröffnete sich die Möglichkeit durch Anlage von Tiefbrunnen, das ausgezeichnete, hygienisch einwandfreie Wasser der tieferen Stockwerke zu gewinnen. Da über die Fließgeschwindigkeit und das Einzugsgebiet (wohl die Haardt) des Grundwassers in diesen Teufen nichts bekannt ist, besteht immer die Möglichkeit, daß die Tiefbrunnen im Laufe der Zeit infolge von Überbeanspruchung des Grundwasserleiters an Leistung nachlassen können.

Für Wässer, an die keine allzu hohen Ansprüche in hygienischer Hinsicht gestellt werden, bietet sich weiterhin der Rhein an, aus dem in weitem Maße Kühl- und Brauchwässer entnommen werden, die sogar nach einer Vollentsalzung als Kesselwasser Verwendung finden.

5. Zusammenfassung

1. Als Grundwasserspeicher sind in der Vorderpfalz der mittlere Buntsandstein der Haardt, das miozäne Kalktertiär, die Freinsheimer Schichten, die Graue Serie und die Niederterrasse zu nennen.
2. Die in der Grauen Serie auftretenden z. T. mächtigen und weitreichenden Schlicklinsen trennen mehrere Grundwasserstockwerke voneinander. Das obere Stockwerk führt ein hartes und salzreiches Wasser, während das tiefere weiche, salzarme und hygienisch einwandfreie Wässer führt.
3. Der Vergleich der Ganglinien des Rheinpegels Mannheim, mehrerer Beobachtungsrohre im Grundwasser und der Niederschläge läßt eine Abhängigkeit des Grundwasserstandes vom Rhein und den Niederschlägen erkennen. Ein wachsendes Nachhinken der Schwankungen des Grundwassers mit zunehmender Entfernung vom Rhein und eine Verzögerung der Wirkung der Niederschläge (um ½ bis 1 Jahr) ist bemerkbar.
4. Im Gebiet der Grauen Serie fließt das Grundwasser senkrecht auf den Rhein zu. Das Grundwasser wird dann in den alten Kiesbetten der Niederterrasse gesammelt und dem Rhein zugeführt. Die Fließgeschwindigkeit wird auf 1 bis 2 (möglicherweise 3) m pro Tag geschätzt.
5. Eine Abschätzung der durch Versickerung von Niederschlagswasser in der Vorderpfalz entstehenden Grundwassermenge ergibt, daß die Neubildung nicht aussreicht, die ständig steigenden Wasserbedürfnisse zu befriedigen. Als Ausweichsmöglichkeiten werden aufgeführt:
   a) Die Entnahme von uferfiltriertem Rheinwasser.
   b) Tiefbrunnen, meist 100 bis 120 m tief.
   c) Die Entnahme direkt aus dem Rhein für industrielle und gewerbliche Brauchwässer.

6. Schriftenverzeichnis.

ADAM, K. D. Die altpleistozänen Säugetierfaunen Südwestdeutschlands. — N. Jb. Geol. Paläontol., Mh., **5**, S. 229—236, Stuttgart 1952.

AMMON, L. v. & THÜRACH, H. Bericht über die gemeinschaftlichen Diluvialexkursionen. — Mitt. bad. geol. L.-A., (III), **1**, S. 37—56, 1893.

BERO, L. Die Grundwasserverhältnisse im rechtsrheinischen Ried. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (V), **14**, S. 70—80, Darmstadt 1933.

DENNER, J. Die Grundwasserganglinie 1870—1952 in der Innenstadt Berlin im Hinblick auf einige Grundwasserprobleme Groß-Berlins. — N. Jb. Geol. Paläontol., **97**, S. 463—495, Stuttgart 1953.

DEUTSCHER WETTERDIENST Klima-Atlas von Baden-Württemberg, 75 Karten, 9 Diagramme u. Erl., Bad Kissingen 1953.

FREUDENBERG, W. Beiträge zur Gliederung des Quartärs von Weinheim an der Bergstraße, Mauer bei Heidelberg, Jockgrim in der Pfalz usw. — Notizbl. Ver. Erdk. u. großh. hess. geol. L.-A., (IV). **32**, S. 76—149, Darmstadt 1911.

GARST, E. Das Diluvium im südlichen Rheinhessen und in der Rheinpfalz. — Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilk., **17**, 147—195, Gießen 1936.

GÜMBEL, C. W. v. Kurze Erl. zu dem Bl. Speyer (Nr. XVIII) nebst Karte 1:100 000, 77 S., München 1897.

HÄBERLE, D. Über Flugsandbildungen in der Rheinpfalz. — Verh. naturh.-med. Ver., **17**, 2, S. 85—103, Heidelberg 1930.

HOFMANN, E. F. Grundwasserstandsänderungen im Oberrheintal. — Pumpen- u. Brunnenbau, Bohrtechn., **38**, S. 299—301, 315—320, 335—340, 351—352, 1942.

KINKELIN, F. Der Pliozänsee des Rhein-Maintales und die ehemaligen Mainläufe. Ein Beitrag zur Kenntnis der Pliozän- und Diluvialzeit des westlichen Mitteldeutschland. — Ber. naturf. Ges., 302 S., Frankfurt/Main 1888.

KOEHNE, W. Die bildliche Darstellung als Schlüssel zum Verständnis vieler Grundwasserfragen. — Deutsche Wasserwirtsch. S. 74—76, 1937.

LEHR, G. J. Niederschlag und Abfluß im Gebiet des Speyer- und Rehbachs. — Mitt. pfälz. Ver. Naturk. Pollichia, **2**. N. F., S. 145—226, Bad Dürkheim 1927.

LIESE, K. Das Neubauprojekt des Städt. Wasserwerkes Ludwigshafen a. Rh. — Gas- u. Wasserf., **77**, S. 257, 277, 1934.

MATTHESS, G.: Geologische und hydrochemische Untersuchungen in der östlichen Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **86**, S. 335—378, Wiesbaden 1958.

MICHELS, F. & WAGNER, W. Geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Erl. Bl. Bingen-Rüdesheim, 167 S., Darmstadt 1930.

NIKLAS, H. & HOCK, A. Bestimmung der Reaktion und der Kalkbedürftigkeit von Böden der Pfalz (Bl. Speyer). — Geogn. Jh., **36**, S. 169—174, München 1923.

PFAFF, C. & FRIEDRICH. W. Die Wasserbilanz des bewachsenen Bodens nach Lysimeter-Versuchen. — Wasser u. Boden, **6**, 9, S. 1—5, Hannover 1954.

PFEIFFER, D., SCHÄDEL, K. & SCHERER, H.: Hydrogeol. Übersichtskarte 1 : 500 000 Erl. Bl. Karlsruhe, 78 S., 1 Übersichtskte., Remagen 1953.

PLEWE, E. Geomorphologische Studien am pfälzischen Rheingrabenrand. — Bad. geograph. Abh., 70 S., Freiburg 1938.

Reineck, H. E. Trockener, feuchter und nasser Sand, physikalisch betrachtet. — Natur u. Volk, **87**, 7, S. 234—241, Frankfurt/Main 1957.

Reis, O. M. Erl. zu Bl. Donnersberg (Nr. XXI) der geogn. Kte. von Bayern 1:100 000 mit Karte, 320 S., München 1921.

— Über Böden, Gesteine, Schichtfolge und Gebirgsbau der östlichen Hälfte des Blattes Speyer 1:100 000. — Geogn. Jh., **36**, S. 131—147, München 1923.

Röhrer, F. Zur Hydrologie der Quellen von Bad Dürkheim. — Z. wissensch. Bäderk., **6**, S. 1—14, 1930.

Schaaff, F. Das neue Wasserwerk der Stadt Ludwigshafen a. Rh. — Gas- u. Wasserf., S. 162—164, 1938.

Schottler, W. Geol. Kte. Großhzgt. Hessen 1 : 25 000, Erl. Bl. Viernheim (Käfertal), 116 S., Darmstadt 1906.

Solle, G. Geologie, Paläomorphologie und Hydrologie der Main-Ebene östlich von Frankfurt am Main. — Abh. senckenb. naturf. Ges., **485**, S. 121—220, Frankfurt/Main **1951.**

Steuer, A. u. a. Denkschrift über die neue Grundwasserversorgung der Stadt Worms, 140 S., Worms 1905.

Steuer, A. Bodenwasser und Diluvialablagerungen im hessischen Ried. — Notizbl. Ver. Erdk. u. großh. hess. geol. L.-A., (IV), **28**, S. 49—94, Darmstadt 1907.

— Neuere und ältere Aufschlüsse im rheinhessischen Diluvium. — Notizbl. Ver. Erdk. u. großh. hess. geol. L.-A., (IV), **30**, S. 28—40, Darmstadt 1909.

Strigel, A. Geologischer Untergrund und Landschaftsgestaltung von Mannheim und Umgebung. — Festschr. Jahrhundertfeier Ver. Naturk., S. 47—84, Mannheim 1934.

Thürach, H. Geol. Spec.-Kte. Großhzgt. Baden 1 : 25 000, Erl. Bl. Ladenburg, 62 S., Heidelberg 1905.

Voelcker, I. Hippopotamus amphibius von Mauer a. d. Elsenz. — Sitzber. Heidelberger Akad. Wiss. Math. Nat. Kl., S. 1—6, 1931.

Wagner, W. Geol. Kte. Hessen 1 : 25 000, Erl. Bl. Ober-Ingelheim, 118 S., Darmstadt 1931.

— Die Schollentektonik des nordwestlichen Rheinhessens. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (V), **14**, S. 31—45, Darmstadt 1933.

Weiler, W. Über das Vorkommen von Mosbacher Sanden am Eingang ins Pfrimmtal bei Worms. — Cbl. Min. Geol. Paläontol., S. 496—498, Stuttgart 1917.

— Die diluvialen Terrassen der Pfrimm mit einem Anhang über altdiluviale Säuger aus der Umgebung von Worms. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (V), **13**, S. 124—145, Darmstadt 1931.

— Über einen altdiluvialen Wasserlauf zwischen Westhofen und Gundheim bei Worms. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (V), **15**, S. 24—32, Darmstadt 1933.

Wittich, E. Beitrag zur Kenntnis des unteren Diluviums und seiner Fauna in Rheinhessen. — Notizbl. Ver. Erdk. u. großh. geol. L.-A., (IV), **21**, S. 30—39, Darmstadt 1900.

Wundt, W. Beziehungen zwischen den Mittelwerten von Niederschlag, Abfluß und Lufttemperatur für die Landflächen der Erde. — Deutsch. Wasserwirtsch., **32**, S. 82—88, 104—110, 1937.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der POLLICHIA

Jahr/Year: 1958

Band/Volume: 5

Autor(en)/Author(s): Matthess Georg

Artikel/Article: Das Grundwasser in der östlichen Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer 7-23