

Untersuchungen
über die Berechnung der dem Grundwasser
von den Niederschlägen zugehenden
Wassermengen aus den Bewegungen des
Grundwasserspiegels

Von
Otto Burre
Darmstadt

Mit 5 Tafeln, 8 Tabellen und einer Abbildung

Herausgabe und Vertrieb durch das
Hessische Landesamt für Bodenforschung,
Wiesbaden, Mainzer Straße 25

Wiesbaden 1960

Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

Herausgegeben vom
Hessischen Landesamt für Bodenforschung

Heft 30

Untersuchungen
über die Berechnung der dem Grundwasser
von den Niederschlägen zugehenden
Wassermengen aus den Bewegungen des
Grundwasserspiegels

Von
Otto Burre
Darmstadt

Mit 5 Tafeln, 8 Tabellen und einer Abbildung

Herausgabe und Vertrieb durch das
Hessische Landesamt für Bodenforschung,
Wiesbaden, Mainzer Straße 25

Wiesbaden 1960

Inhalt

A. Ziel und Unterlagen der angestellten Untersuchungen und Berechnungen . . .	7
B. Das aufnehmbare Wasservolumen und seine Feststellung	8
C. Die das Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels verursachenden und beeinflussenden Kräfte, Vorgänge und Umstände, sowie ihre Wirkungsweise . . .	17
D. Die Auswertung der Bewegungen des Grundwasserspiegels für die Berechnung der Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser.	24
E. Die Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene in den Abflußjahren 1952 bis 1954.	33
F. Zusammenfassung	65
G. Schriften	67

A. Ziel und Unterlagen der angestellten Untersuchungen und Berechnungen

Bei der Ermittlung des Grundwasserhaushaltes eines Gebietes wird meistens in der Weise verfahren, daß man von den zahlenmäßig erfaßbaren Niederschlagsmengen die, ebenfalls mit Hilfe von Messungen bestimmten, verdunstenden und oberflächlich abfließenden Wassermengen abzieht und den Rest als versickerten Anteil betrachtet. Eine solche Berechnung eines Mengenanteiles als Rest aus den anderen zahlenmäßig bestimmten Anteilen, ohne daß der Rest durch ein besonderes Verfahren, zum mindesten zur Kontrolle, festgestellt wird, ist allemal unbefriedigend. Damit soll keineswegs die Richtigkeit der Messungen und der bei der Auswertung angewendeten Verfahren an sich angezweifelt werden; es liegt aber auf der Hand, daß alle bei diesen Methoden möglichen Irrtümer und Ungenauigkeiten der einzelnen Bestimmungen sich zwangsläufig auf den Rest auswirken. Die Bestimmung des versickerten Anteils mit Hilfe des Lysimeters ist für die vorliegende Aufgabe nicht verwendbar, weil der Versickerungsvorgang mit dieser Einrichtung nur bis zu einer Tiefe von weniger als 2 m erfaßt wird. Wieviel von dem im Lysimeter versickernden Wasser wirklich in das meistens viel tiefer unter Flur liegende Grundwasser gelangen würde, ist mit diesem Verfahren nicht festzustellen.

Um derartige Unzulänglichkeiten nach Möglichkeit auszumerzen, ist im folgenden versucht worden, ein Meß- und Berechnungsverfahren ausfindig zu machen und zu entwickeln, mit dessen Hilfe die natürlichen Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels abgeleitet werden können. Das Ziel des Verfahrens ist einerseits, alle Zu- und Abgänge möglichst vollständig zu erfassen und andererseits, nur diese der weiteren Berechnung zugrunde zu legen, um den „versickerten Anteil“ der Niederschläge unabhängig von anderen Bestimmungen zu ermitteln. Durch Anwendung des Verfahrens auf möglichst zahlreiche Meßstellen mit ganz verschiedenen Standortsbedingungen sollen auch Vergleichswerte für die Beurteilung des Einflusses der örtlichen Gegebenheiten auf die Grundwasserneubildung gewonnen werden, um Zahlenwerte an die Stelle einer beschreibenden Beurteilung setzen zu können.

Wenn ein oder viele Regentropfen auf den blanken Boden fallen oder an den Grashalmen herabrollen oder, zu kleinen Bächen vereinigt, an den glatten Buchenstämmen herabfließen und auf diesem Umwege auf den Boden gelangen und dann allesamt vom Erdreich aufgenommen werden, so sind sie im strengen Sinne des Wortes „versickert“. Die Summe dieser so in die Erdkruste eindringenden Wassermengen ist aber dem „versickerten Anteil“ in der Haushaltsrechnung nicht gleichzusetzen. Denn von dem auf die geschilderte Weise in den Boden gelangenden Wasser wird nicht nur, solange es nahe der Erdoberfläche im Boden bleibt, sondern auch bei seinem weiteren Wege in die Tiefe noch ein großer Teil der unmittelbaren und der mittelbaren Verdunstung durch den Pflanzenwuchs und anderen Einwirkungen zum Opfer fallen, sowie zum Aufbau der Vegetation verbraucht werden. Der Weg zum

Grundwasser wird im Boden überhaupt erst angetreten, wenn die versickerte Wassermenge groß, d. h. in diesem Falle schwer genug ist, um die das Wasser in den Poren der Erdschichten festhaltenden Kapillarkräfte zu überwinden; sonst bleibt es ganz oder teilweise auf seinem Wege in die Tiefe hängen. Von dem in den Boden eindringenden Niederschlagswasser gelangt also im allgemeinen nur ein Teil bis an den Grundwasserspiegel und wird erst hier zu Grundwasser, d. h. zu dem Wasser, „das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend“ erfüllt (KOEHNE 1948, S. 20). Nur dieser, erst bei Beendigung des Versickerungsvorganges im Boden erfolgende Wasserzugang zum Grundwasser ist, ebenso wie der umgekehrt verlaufende Wasserabgang vom Grundwasser, Gegenstand der in den folgenden Abschnitten beschriebenen Untersuchungen und Berechnungen.

Für die so umrissenen Aufgaben der vorliegenden Arbeit wurden die Messungen von 22 Meßstellen des Hessischen Landesgrundwasserdienstes aus den Abflußjahren 1952–1954 benutzt, deren Grundwasserstandslisten von Herrn Prof. Dr. MICHELS, Direktor des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung, in liebenswürdigster Weise zur Verfügung gestellt wurden. Herrn Professor MICHELS spreche ich meinen verbindlichsten Dank für diese wertvolle Unterstützung aus. Dazu kamen die Ergebnisse von Untersuchungen über das aufnehmbare Wasservolumen von Sand- und Kiesablagerungen in diesem Gebiete, deren Verwendung für den vorliegenden Zweck von Herrn Dipl.-Ing. VETTER, Direktor der Stadtwerke Mainz, in dankenswerter Weise gestattet wurde. Der Deutsche Wetterdienst, Wetteramt Frankfurt a. M., steuerte die Zahlenwerte der Niederschläge von drei Wetterdienststellen aus drei Abflußjahren in liebenswürdiger Weise bei. Allen genannten Herren und Dienststellen spreche ich auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank für die damit gewährte Unterstützung aus.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß sich alle Zeitangaben wie Halbjahr, Jahr, Winter und Sommer auf das hydrologische Abflußjahr vom 1. November bis zum 31. Oktober des Kalenderjahres beziehen, soweit nicht an der betreffenden Stelle ausdrücklich ein anderer Zeitabschnitt genannt wird.

B. Das aufnehmbare Wasservolumen und seine Feststellung

Als aufnehmbares Wasservolumen wird der mit Luft erfüllte Anteil des über dem Grundwasserspiegel liegenden Raumes des Wasserleiters bezeichnet, in den das versickernde Niederschlagswasser eindringen kann. Er ist mit dem Luftraum identisch¹⁾. KOEHNE 1948, S. 13 nennt den Luftraum „nutzbaren Hohlraumgehalt“. Die übrigen Teile dieses Gesamtraumes werden von den Gesteinskörnern und vom kapillar festgehaltenen Wasser eingenommen, die Kornraum und Wasserraum heißen.

Die Größe des aufnehmbaren Wasservolumens ist also einerseits von der Beschaffenheit des Grundwasserleiters und andererseits von der Menge des jeweils vorhandenen Kapillarwassers abhängig. Von seiten des Wasserleiters wird die Höchstmenge des vom Boden kapillar festgehaltenen Wassers durch die Beschaffenheit der Poren

¹⁾ Die bodenmechanischen Eigenschaften werden nach den Bezeichnungen und Begriffsbestimmungen von SIMON 1953 benannt.

Schichtenverzeichnisse

Grube und Bohrung I

Tiefe unter Flur m	Mächtigkeit m	Gestein	Geolog. Stellung	Anzahl der ungestörten Proben
0 —1,50	1,50	hellgelber und lichtbrauner, stellenweise ockeriger, sandiger Lehm und lehmiger Sand	Flug-sand	—
1,50—5,20	3,70	gelber, mittlerer bis grober Sand, vielfach mit wechselnden Mengen fein- bis grobkiesigen Materials durchsetzt, dünne Tonbank zwischen 4,90—5,20 m	Fluß-ablage-rung	6 oberhalb 2 unterhalb der Wasser-zugabe
5,20—7,30	2,10	Von 4,60—7,30 m Wasserzugabe beim Bohren graugelblicher und grauer, feiner bis mittlerer, in der Tiefe kalkiger Sand mit viel Magnetit	Fluß-ablage-rung	3
7,30—8,50	1,20	7,30 m Grundwasserspiegel grauer, feiner bis mittlerer, z. T. kalkiger Sand mit viel Magnetit	Fluß-ablage-rung	1

Grube und Bohrung II

0 —1,75	1,75	grauer, humoser und gelber, vielfach lehmiger, feiner und mittlerer, in der Tiefe auch grober bis feinkiesiger Sand	Flug-sand	—
1,75—6,00	4,25	gelber, z. T. bräunlicher, in den oberen Lagen kiesfreier, in den tieferen fein- bis grobkiesiger, mittlerer und grober Sand	Fluß-ablage-rung	4 oberhalb 1 unterhalb der Wasser-zugabe
6,00—7,10	1,10	Von 4,80—7,10 m Wasserzugabe beim Bohren dunkelgrauer, vorwiegend feiner, glimmeriger, kalkiger Sand mit reichlich Magnetit	Fluß-ablage-rung	2
7,10—8,70	1,60	7,10 m Grundwasserspiegel wie 6,00—7,10 m	Flußab-lagerung	—

Grube und Bohrung III

Tiefe unter Flur m	Mächtigkeit m	Gestein	Geolog. Stellung	Anzahl der ungestörten Proben
0 —2,20	2,20	grauer, schwach humoser und gelber, bindiger, feiner, in der Tiefe auch mittlerer Sand	Flug-sand	—
2,20—6,10	3,90	hellgelber und gelber, feiner, mittlerer und grober Sand mit wechselndem Gehalt an einzelnen Geröllen verschiedener Größe und unterschiedlichen Mengen von Fein- u. Mittelkies	Fluß-ablage-rung	4 oberhalb 1 unterhalb der Wasser-zugabe
6,10—7,90	1,80	Von 4,90—7,90 m Wasserzugabe beim Bohren grauer und bräunlicher, feiner bis mittlerer Sand, stellenweise auch gröbere Körner, an der Basis schwach kalkig	Fluß-ablage-rung	2
7,90—8,80	0,90	7,90 m Grundwasserspiegel grauer, feiner bis mittlerer Sand mit viel Magnetit	Fluß-ablage-rung	—
8,80—9,10	0,30	grauer, mittlerer Sand mit viel groben Sandkörnern	Fluß-ablage-rung	—

Grube und Bohrung IV

0 —1,90	1,90	graubrauner, schwach humoser und rötlich-brauner, feinsandiger kalkiger Lehm mit Lagen von mittlerem Sand	Flug-sand	—
1,90—7,10	5,20	lichtbrauner und gelber, feiner, mittlerer und grober Sand mit wechselnden Mengen einzelner Gerölle und mit feinem und mittlerem, stellenweise auch grobem Kies durchsetzt	Fluß-ablage-rung	4 oberhalb 1 unterhalb der Wasser-zugabe
7,10—7,50	0,40	Von 4,40—7,50 m Wasserzugabe beim Bohren grauer, feiner, schwach kalkiger Sand mit Magnetit	Flußab-lagerung	1
7,50—8,30	0,80	7,50 m Grundwasserspiegel wie 7,10—7,50 m		

Grube und Bohrung V

Tiefe unter Flur m	Mächtigkeit m	Gestein	Geolog. Stellung	Anzahl der ungestörten Proben
0,20—2,30	2,30	grauer, humoser Lehm und rotbrauner, ockeriger Sand mit kleinen Geröllen	Flug-sand	—
2,30—6,40	4,10	gelber, stellenweise rötlichgelber, feiner, mittlerer und grober, fein- bis grobkiesiger Sand	Fluß-ablage-rung	4 oberhalb 1 unterhalb der Wasser-zugabe
		Von 4,60—6,40 m Wasserzugabe beim Bohren		
6,40—8,20	1,80	6,40 m Grundwasserspiegel grauer, mittlerer bis feiner glimmeriger, kalkiger Sand mit viel Magnetit	Fluß-ablage-rung	2

nach Größe, Form, Verteilung, Verbindung untereinander usw. bestimmt, die wiederum von der Körnung und der Lagerung mit allen ihren Eigentümlichkeiten abhängig ist. Diese Höchstmenge ist eine für jede Schicht charakteristische Größe, die, bezogen auf die Mannigfaltigkeit der Bodenarten, in ziemlich weiten Grenzen schwankt, aber bei gleichartiger oder ähnlicher Beschaffenheit des Bodens vielfach nahe zusammenliegende Werte aufweist.

Die Einflüsse, welche die jeweilige Menge des im Wasserleiter vorhandenen Kapillarwassers bestimmen, wechseln in ihrer Wirkung zeitlich und räumlich. Das Maximum an Kapillarwasser wird nur so oft und nur so lange erreicht werden, wie versickerndes Wasser zum Grundwasserspiegel vordringt. Das gleiche ist in einer Zone unmittelbar über dem Grundwasserspiegel der Fall, solange dieser fällt. Auch im Saugsaum kann ein solcher Zustand erreicht werden; ob es dauernd der Fall ist, mag dahingestellt bleiben. Vermindert wird das Kapillarwasser durch die Verdunstung und durch den Wasserverbrauch der Pflanzen, die naturgemäß das meiste Wasser nahe der Erdoberfläche entnehmen und nach der Tiefe zu immer mehr an Einfluß verlieren. Da diese beiden Vorgänge jahreszeitlich schwanken und besonders die Verdunstung vom ewig wechselnden Wetter abhängig ist, ist der kapillare Wassergehalt im Boden sehr unterschiedlich. Daraus ergibt sich, daß der für die Versickerung von Wasser im Wasserleiter zur Verfügung stehende Raum, also das aufnehmbare Wasservolumen, zeitlich und örtlich großen Schwankungen unterworfen ist.

Wenn somit das aufnehmbare Wasservolumen in seinem Ausmaße kaum jemals ganz genau bestimmbar ist, so läßt sich doch für praktische Aufgaben ein angenäherter Durchschnittswert ermitteln, der der Wirklichkeit um so näher kommt, je mehr Einzelfeststellungen, gleichmäßig über den zu beurteilenden Raum verteilt vorliegen. Derartige Untersuchungen sind vor einigen Jahren im nördlichen Ried zu anderen Zwecken vorgenommen worden, wobei die Feldarbeiten, die makroskopische Bestimmung der Schichtenfolge und die Entnahme der ungestörten Bodenproben

Tabelle 1. Bodenphysikalische Grenz- und Durchschnittswerte im nordöstlichsten Teile der

Spalten		1	2	3	
A	Schichten und Bohrungen	1 Schichtengruppen	Gelbe Mittel- und		
		2 Gruben und Bohrungen	I	II	
		3 Grenzwerte	Min. Max.	Min. Max.	
B	Mächtigkeiten und Bodenproben	1 Mächtigkeiten der Schichtengruppen über dem Grundwasserspiegel m	3,70	4,25	
		2 Gesamtbetrag des durch ungestörte Proben erfaßten Teiles der Schichtenmächtigkeit m	1,90	1,20	
		3 Anzahl der untersuchten Bodenproben	8	5	
C	Körnung der Gesteine	Kornstufen			
		1 Schluff 0,0 - 0,06 mm } Gew.-%	0 - 1,5	1 - 6	
		2 Sand 0,06 - 0,2 mm }	41 - 98	58 - 90	
		3 Kies > 2 mm }	1 - 58	4 - 41	
D	Porosität	1 Porenvolumen in % des Gesamtraumes (n)	28 - 38	29 - 37,	
		2 Porenziffer (ϵ Prozentverhältnis des Porenvolumens zum Kornraum)	0,38 - 0,60	0,41 - 0,59	
E	Raumverteilung in % des Gesamtraumes	1 Luftraum	0,1 - 28,5	14,2 - 32,1	
		2 Wasserraum	3,5 - 25,5	4,9 - 16	
		3 Kornraum	62 - 72	63 - 71	
F	Wasser-Gehalt	1 bei der Probeentnahme (w) } % des Trockengewichtes	3 - 12	3 - 8,8	
		2 bei Wassersättigung (w max) }	17 - 22	15,4 - 22,3	
		3 Feuchtigkeitsgrad in % des mit Wasser erfüllten Porenraumes am Gesamtraum	0,11 - 0,71	0,13 - 0,51	
G	Aufnehmbares Wasservolumen in % des Gesamtvolumens	1 Grenzwerte	8,1 - 28,5	14,2 - 32,1	
		2 Durchschnitts- werte	a { Einzelwerte der Bodenproben auf benachbarte gleichartige Zonen übertragen } α Schichtengruppe β ganze Bohrungen γ alle Bohrungen	19,9	22,0
			b { Einzelwerte nur auf die Mächtigkeit der ungestörten Bodenproben bezogen } α Schichtengruppe β ganze Bohrungen γ alle Bohrungen	19,0	21,0
				19,9	22,3
		18,0	21,7		

Bezeichnungen und Definitionen nach SIMON (1953). Weitere Erläuterungen im Abschnitt B des Textes.

vom Verfasser ausgeführt wurden, während die bodenmechanischen Werte vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Sachbearbeiter Dipl.-Ing. Dr.-Ing. SIMON, bestimmt wurden.

Die Versuchsanordnung war folgende: Auf einer N-S verlaufenden Linie von etwa 460 m Länge waren im Abstände von 100-120 m fünf Gruben von 3,50-4,00 m Tiefe unter Flur angelegt, auf deren Sohlen jeweils eine Bohrung bis 8-9 m unter Flur niedergebracht wurde, so daß der Grundwasserspiegel um ungefähr 1 m unterfahren wurde. Aus den in nachstehenden Verzeichnissen beschriebenen Schichtenfolgen wurden insgesamt 47 ungestörte Bodenproben entnommen, von denen 3 aus verschiedenen Gründen unbrauchbar waren. Von den 44 ausgewerteten Proben stammten 41 aus dem Raume über dem Grundwasserspiegel, während 3 unter demselben entnommen wurden.

Die drei in den Schichtenverzeichnissen unterschiedenen Schichtengruppen: zu oberst eine etwa 2 m starke Decke von Windbildungen aus sandigem Lehm und lehmigem Sand, darunter mehrere Meter vorwiegend mittlerer und grober Sand, in wechselnder Menge mit Einzelgeröllen und feinen bis groben Kiesen durchsetzt,

wasserleitender Sande und Kiese über dem Grundwasserspiegel
Oberrheinischen Tiefebene

4				5				6				7				8				9				10				11				12			
Grobsande mit beträchtlichen Kieseinlagerungen																Grauer Feinsand mit viel Magnetit und örtlichen Kieseinlagerungen																			
III				IV				V				I-V				I				II				III				IV				I-IV			
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.						
3,90				5,20				4,10				21,15				2,10				1,10				1,80				0,40				5,40			
1,40				2,20				1,50				8,20				0,90				0,60				0,60				0,30				2,40			
6				8				6				33				3				2				2				1				8			
0 - 1				1 - 8				0 - 5				0 - 8				2,5 - 38				4				1				8				1 - 38			
41 - 98				52 - 97				56 - 89				41 - 98				55 - 97				83 - 95				79 - 93				71,5				55 - 97			
1 - 59				2 - 47				6 - 44				1 - 59				0 - 7				1 - 13				6 - 20				19,5				0 - 20			
26 - 42				31 - 42				31 - 38				26 - 42				36 - 44				36 - 38				32				35				32 - 44			
0,35 - 0,71				0,45 - 0,73				0,54 - 0,64				0,35 - 0,73				0,56 - 0,79				0,56 - 0,60				0,47				0,64				0,41 - 0,79			
29,1 - 35,4				10,2 - 36,5				17 - 27,2				8,1 - 36,5				14,4 - 19				13,5 - 28,1				7 - 20,8				9,2				7 - 28,1			
5,6 - 7,1				5,3 - 31,8				4,8 - 20				3,5 - 25,5				21,6 - 25,4				7,9 - 24,5				11,2 - 25,0				25,8				7,9 - 25,8			
58 - 72				58 - 69				62 - 69				58 - 72				56 - 64				62 - 64				68				65				56 - 68			
2,6 - 4,2				2,1 - 9,5				3 - 8,4				2,1 - 12				12,6 - 17				4,6 - 14,7				6,5 - 13,8				14,9				4,6 - 17			
13,2 - 27				17 - 26,5				17 - 24,1				13,2 - 27				21,6 - 28,3				21,3 - 22,7				17,7 - 17,9				20,4				17,7 - 28,3			
0,12 - 0,57				0,11 - 0,76				0,15 - 0,54				0,15 - 0,76				0,57 - 0,62				0,22 - 0,65				0,35 - 0,78				0,74				0,22 - 0,78			
18,9 - 35,4				10,2 - 36,5				17,0 - 27,2				8,1 - 36,5				14,4 - 19,0				13,5 - 28,1				7,0 - 20,8				9,2				7,0 - 28,1			
30,7				26,9				22,0				24,4				17,38				17,4				13,9				9,2				15,6			
25,4				25,6				22,0																											
22,7																																			
29,9				25,5				22,9				24,0				14,1				20,8				13,9				9,2				15,1			
25,05				23,5				22,9																											
23,0																																			

und mehrere Meter, bis unter den Grundwasserspiegel reichend, hauptsächlich feiner, meist glimmeriger, z. T. kalkiger Sand mit einem reichlichen Gehalt an Magnetit, sind in ihren Grundzügen auch in einer größeren Anzahl älterer Bohrungen der näheren und entfernteren Umgebung der Untersuchungsstrecke angetroffen worden. Wenn auch bei solchen Flußablagerungen naturgemäß die Mächtigkeiten der einzelnen Schichtengruppen und auch die Höhenlagen, sowohl über N.N. als auch bezogen auf den Grundwasserspiegel, wechseln, da die Grenzfläche zwischen beiden nach Westen geneigt ist, so kann man doch für einen größeren Ausschnitt aus dem Ried eine derartige leidlich gleichmäßige Ausbildung des Wasserleiters annehmen.

In Tab. I sind die wichtigsten bodenphysikalischen Werte der beiden unteren Schichtengruppen: gelbe Mittel- und Grobsande mit beträchtlichen Kieseinlagerungen einerseits, und grauer Feinsand mit viel Magnetit und örtlichen geringen Kieseinlagerungen andererseits, in der Weise zusammengestellt, daß jeweils die Maxima und Minima der betreffenden Gruppe in den einzelnen Bohrungen angegeben sind. Wenn nur eine Probe vorlag oder nur ein Wert in Frage kam, ist nur dieser eine Betrag eingesetzt.

Tabelle 2. Tiefenlage unter Flur und aufnehmbares Wasservolumen der ein-

Bohrung		I		
Gestein	Wasser	Nr. der Pr.	Tiefe unter Flur m	Aufnehmb. Wasservolumen Raum-%
Gelbe Mittel- und Grobsande mit beträchtlichen Kieseinlagerungen		1	1,70–1,90	15,2
		2	2,10–2,30	8,1
		3	2,50–2,70	12,5
		4	2,90–3,10	16,8
		5	3,30–3,50	23,9
		6	4,00–4,30	28,5
	Wasserzugabe beim Bohren	ab 4,60		
		7	4,60–4,90	26,7
	8	4,90–5,20	15,6	
Grauer Feinsand mit Magnetit und wenig Kieseinlagerungen		9	5,20–5,50	14,4
		10	5,80–6,10	15,6
		11	6,70–7,00	19,0
	Grundwasserspiegel	7,30		
		12	7,60–7,90	11,0

Weitere Erläuterungen im Abschnitt B des Textes.

Die Zahlenwerte der bodenmechanischen Eigenschaften sind folgendermaßen zu beurteilen: Wie aus den Werten B1 und 2 der Tab. 1 hervorgeht, sind im Durchschnitt etwa 40% der untersuchten Schichtenfolgen durch ungestörte Bodenproben erfaßt worden. Soweit die bodenphysikalischen Werte unmittelbar durch die Kornbestandteile bedingt sind, also hinsichtlich der Körnung (Zeilen C, 1–3), Porosität (D, 1–2), Raumverteilung (E, 1–3), und auch des Wassergehaltes bei Wassersättigung (F2), ist innerhalb jeder der beiden Schichtengruppen eine teils recht gute, teils wenn auch etwas geringere, so aber doch eine durchaus annehmbare Übereinstimmung zu erkennen. In dieser Beziehung kann die Ausbildung der Ablagerungen des Wasserleiters im allgemeinen also als recht gleichmäßig bezeichnet werden. Zwischen erheblich weiteren Grenzen liegen dagegen die Werte des Wassergehaltes, sowohl bei der Bestimmung des Gehaltes in Prozenten des Trockengewichtes, wie der des Feuchtigkeitsgrades in Prozenten des mit Wasser erfüllten Porenraumes am Gesamtraum (Zeilen F1 und 3), was ohne Frage durch die oben geschilderten wechselnden Einflüsse des Wetters und der Vegetation auf die Menge des Kapillarwassers im Raume oberhalb des Grundwasserspiegels bedingt ist.

Die Einzelwerte des von diesen Faktoren abhängigen aufnehmbaren Wasservolumens, das für die vorliegende Aufgabe von ausschlaggebender Bedeutung ist, sind in der Tab. 2 zusammengestellt. Sie sind unter Berücksichtigung der Tiefe unter Flur, aus der die ungestörte Probe entnommen ist, ihrer Entnahme vor oder nach der beim Bohren notwendigen Wasserzugabe, und ihrer Lage über oder unter dem

zelen ungestörten Bodenproben in Prozenten des Gesamtraumes der Proben

II			III			IV			V		
Nr. der Pr.	Tiefe unter Flur m	Aufnehmbar. Wasservolumen Raum-%	Nr. der Pr.	Tiefe unter Flur m	Aufnehmbar. Wasservolumen Raum-%	Nr. der Pr.	Tiefe unter Flur m	Aufnehmbar. Wasservolumen Raum-%	Nr. der Pr.	Tiefe unter Flur m	Aufnehmbar. Wasservolumen Raum-%
1	2,00-2,20	24,8	2	2,60-2,80	34,4	1	2,50-2,70	33,6	1	1,90-2,10	17,0
2	2,80-3,00	15,1	3	3,00-3,20	35,4	2	2,70-2,90	36,5	2	2,50-2,70	22,0
3	3,40-3,60	24,3	4	3,40-3,60	29,1	3	3,50-3,80	29,6	3	3,10-3,30	17,35
4	4,20-4,50		5	3,80-4,00	18,9	4	4,10-4,40	10,2			
ab 4,80			ab 4,90			ab 4,40			ab 3,70		
5	5,10-5,40	14,2	6	4,90-5,20	33,0	5	5,00-5,30	12,4	5	4,60-4,90	23,3
			7	5,60-5,90	31,7	6	5,30-5,60	27,6	6	5,50-5,80	27,2
						7	5,90-6,20	24,6	7	6,10-6,40	26,6
						8	6,50-6,80	35,7			
6	6,00-6,30	28,1	8	6,10-6,40	20,8						
7	6,30-6,60	13,5	9	7,30-7,60	7,0	9	7,10-7,40	9,2			
7,10			7,90			7,50			6,40		
									8	6,70-7,00	11,0
									9	7,00-7,30	3,0

Grundwasserspiegel angeordnet, um etwaige Einflüsse dieser Umstände auf das aufnehmbare Wasservolumen klarer zu erfassen.

In der Schichtengruppe der Mittel- und Grobsande mit Kieseinlagerungen ist in keiner Bohrung ein Abnehmen des aufnehmbaren Wasservolumens mit zunehmender Tiefe zu erkennen. Teils liegen die kleinsten Werte in den oberen Lagen und die großen in der Tiefe oder umgekehrt. Es macht sich auch kein unmittelbarer Einfluß der Wasserzugabe beim Bohren bemerkbar. Die z. T. stark voneinander abweichenden Einzelwerte sind ungleichmäßig über den ganzen Raum verteilt. Sie schwanken, wie aus der Zeile G1 der Tab. 1 hervorgeht, innerhalb der einzelnen Bohrungen in recht weiten Grenzen, die bis fast zur dreifachen Größe voneinander abweichen.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Ergebnissen der erheblich geringeren Anzahl von Bodenproben in der Schichtengruppe der Feinsande. Das aufnehmbare Wasservolumen ist hier im allgemeinen kleiner als bei der anderen Gruppe, wobei dahingestellt bleiben muß, ob das auf die größere Tiefenlage unter Flur und damit den geringeren Einfluß der Verdunstung, oder auf die feinere Körnung und die deswegen zu erwartenden feineren Poren, die das Kapillarwasser leichter und in größerer Menge festzuhalten vermögen, zurückzuführen ist. Bemerkenswert ist der geringe Wert des aufnehmbaren Wasservolumens unmittelbar über dem Grundwasserspiegel in den Bohrungen II, III und IV, während er in den Bohrungen I und besonders V viel höher ist. Wenn dieser Wert bei den Feinsanden unter dem Grundwasserspiegel, wo er eigentlich bei 0 liegen müßte, mit 3 bis 11% angegeben wird, so ist das wohl

auf Mängel bei der Probeentnahme zurückzuführen, bei der bereits Wasser abgelaufen war, ehe der Verschluß mit Paraffin fertig gemacht wurde.

Für die Berechnung der Durchschnittswerte des aufnehmbaren Wasservolumens in den einzelnen Schichtengruppen, den einzelnen ganzen Bohrungen und schließlich für alle Bohrungen zusammen, d. h. für den gesamten Wasserleiter, sind nur die über dem Grundwasserspiegel entnommenen ungestörten Bodenproben verwendet worden. Dabei ist in der Weise vorgegangen, daß zunächst unter Berücksichtigung der Mächtigkeit der einzelnen Lagen der jeweilige ganze Luftraum für einen Ausschnitt aus dem Wasserleiter mit der betreffenden Mächtigkeit und einer Einheitsgrundfläche (1 m^2) berechnet wurde. Durch Addition der Einzellufträume einer Schichtengruppe ergibt sich der Gesamtluftraum derselben, aus dessen Teilung mit der Gesamtmächtigkeit der Durchschnittswert des aufnehmbaren Wasservolumens dieser Schichtengruppe in Prozenten des Gesamtvolumens berechnet wird. Das Gesamtvolumen ist auf zwei verschiedene Weisen ermittelt worden. Einmal sind die für die einzelnen ungestörten Bodenproben experimentell festgestellten Werte auf die nach makroskopischem Befund als gleichartig zu betrachtenden benachbarten Zonen der Ablagerungen übertragen worden und die sich daraus ergebende größere Mächtigkeit eines solchen Schichtenpaketes der weiteren Berechnung zugrunde gelegt. Dabei haben sich die in den Zeilen G2a α , β , γ der Tab. 1 angeführten Werte ergeben. Zum anderen sind nur die Mächtigkeiten der über dem Grundwasserspiegel entnommenen 41 ungestörten Bodenproben, für welche die bodenmechanischen Werte unbedingt Gültigkeit haben, zur Ermittlung der Durchschnittswerte verwendet worden und haben die Größen in den Zeilen G2b α , β , γ der Tab. 1 geliefert.

Zwischen diesen Einzelwerten lassen sich durch Vergleich folgende Beziehungen ableiten. Die Durchschnittswerte des aufnehmbaren Wasservolumens der Schichtengruppe der Mittel- und Grobsande mit viel Kies, Spalten 2–6, Zeilen G2a α und G2b α , liegen trotz der weiten Spannung der Einzelwerte von 8,1–36,5% (Spalte 7, Zeile G1) mit 19,9–30,7% bzw. 19,9–29,9% in erträglichen und in beiden Fällen nahezu übereinstimmenden Grenzen. Die Durchschnittswerte der Feinsande mit Magnetit, Spalten 8–11, Zeilen G2a α und G2b α weisen trotz der etwas kleineren Spannung der Einzelwerte von 7,0–28,1% (Spalte 12, Zeile G1) eine etwas größere Streuung auf. Teils stimmen die auf verschiedene Weise errechneten Durchschnittswerte gut miteinander überein, teils weichen sie aber auch nicht unbeträchtlich voneinander ab.

Die Durchschnittswerte des aufnehmbaren Wasservolumens, der ganzen Bohrungen, die aus denen der beiden Schichtengruppen, gleichfalls unter Berücksichtigung der Mächtigkeiten, ihres Anteiles der Gesamtmächtigkeit abgeleitet sind, einmal unter Übertragung der bodenmechanischen Einzelwerte auf ähnliche benachbarte Bildungen, Zeile G2a β , und zum anderen unter Beschränkung auf die Mächtigkeit der ungestörten Proben, Zeile G2b β liegen jeweils in beiden Fällen zwischen ziemlich engen Grenzen und weichen nur geringfügig voneinander ab. Die daraus, wiederum entsprechend der Mächtigkeiten, berechneten Durchschnittswerte von 22,7% der Gesamtmächtigkeit des untersuchten Schichtenprofils und von 22% der Summe der Mächtigkeiten der einzelnen ungestörten Bodenproben liegen mit einem Unterschied von noch nicht 1% recht nahe zusammen.

Wägt man die beiden Werte gegeneinander ab, so hat der kleinere von 22% die Sicherheit der Zahlenunterlagen für sich; er erfaßt aber nur ungefähr 40% der Gesamtmächtigkeit der zu beurteilenden Schichtenfolge. Der größere Wert von 22,7% ist wohl auf der Gesamtmächtigkeit aufgebaut, aber durch Übertragung der bodenmechanischen Einzelwerte der ungestörten Bodenproben auf nur nach makroskopischem Befund „gleichartige“ benachbarte Teile der Schichtenfolge ermittelt worden, also nicht ganz auf bestimmte Zahlenunterlagen gegründet. Immerhin ist anzunehmen, daß der der Wirklichkeit am nächsten kommende Wert zwischen beiden Grenzwerten liegt. Da eine Berücksichtigung der Mächtigkeiten zur Bildung eines Mittelwertes in diesem Falle nicht mehr möglich ist, bliebe nur das arithmetische Mittel von 22,35% übrig. Das würde aber auch die Unzulänglichkeiten nicht völlig beseitigen, zumal es sich sowieso nur um einen Annäherungswert handelt. Um die vielen weiteren Berechnungen etwas zu vereinfachen, ist diesen der Wert von 22,5% zugrunde gelegt, der vom arithmetischen Mittel nur um 0,15% abweicht, die praktisch kaum ins Gewicht fallen.

Es unterliegt natürlich keinem Zweifel, daß dieser Betrag des aufnehmbaren Wasservolumens von 22,5% des Gesamtvolumens des Wasserleiters streng genommen nur für die nähere Umgebung des untersuchten Geländes gilt und auf die weitere Umgebung höchstens als Richtwert und auf andere Wasserleiter aus ähnlichen sandig-kiesigen Flußablagerungen nur für Überschlagsrechnungen übertragen werden kann, sofern nicht ausreichende örtliche bodenphysikalische Untersuchungen vorliegen. Man könnte sich in anderen Gebieten vielleicht auch mit der Ermittlung von Grenzwerten behelfen, für die 20 und 25% aufnehmbaren Wasservolumens am Gesamtraum des Wasserleiters anzunehmen wären.

C. Die das Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels verursachenden und beeinflussenden Kräfte, Vorgänge und Umstände, sowie ihre Wirkungsweise

Die Faktoren: Kräfte, Vorgänge und Umstände, welche die Bewegungen des Grundwasserspiegels bewirken und beeinflussen, werden als positiv bezeichnet, wenn sie einen Wasserzugang zum Grundwasser im Gefolge haben, der sich durch Steigen des Spiegels bemerkbar macht, und als negativ, wenn sie einen Wasserabgang nach sich ziehen, den ein Fallen des Spiegels anzeigt.

Unter diesen Kräften steht ohne Frage an erster Stelle die Schwerkraft, die sich auf der einen Seite positiv auswirkt, auf der anderen aber auch ein bedeutender negativer Faktor ist. Die positive Mitwirkung der Schwere ist für die vorliegende Aufgabe nur so weit zu behandeln, als sie den Versickerungsvorgang, wie er in Abschnitt B beschrieben ist, verursacht, nicht aber in Bezug auf den fallenden Regentropfen, der natürlich demselben Gesetz unterliegt. Bei der Abwärtsbewegung des im Boden versickernden Wassers wirken Kapillarkräfte und Sorptionskräfte des Bodens der Schwerkraft entgegen, verlangsamen die Durchflußgeschwindigkeit und verzögern dadurch das Erreichen des Grundwasserspiegels, d. h. die Vollendung des Versickerungsvorganges. Das Maß des Hemmens der Versickerung wird, wie schon in Abschnitt B behandelt worden ist, durch die Größe und Lagerung, sowie die stoffliche Zusammensetzung des Bodens bestimmt und ist im allgemeinen um so größer, je

kleiner die dabei entstehenden Poren sind. Darauf ist die bekannte Tatsache zurückzuführen, daß Kies- und Sandablagerungen in der Regel um so schwerer und langsamer durchflossen werden, je mehr feine und feinste Bestandteile sie enthalten, wie z. B. der feinkörnige Flugsand. Die Lehme und Tone mit ihrem hohen Gehalt an feinsten Bestandteilen von Schluff- und Tonkorngröße sind vielfach praktisch wasserundurchlässig. Das ist vor allem dann der Fall, wenn sie ganz oder teilweise wassergesättigt sind, was man häufig bei tiefer unter der Erdoberfläche gelegenen Schichten beobachten kann. Grundsätzlich anders aber liegen die Verhältnisse, wie Herr Reg.-Geologe Dr. SCHÖNHALS vom Hess. Landesamt für Bodenforschung in einem Briefwechsel mit dem Verfasser auf Grund bodenkundlicher Untersuchungen betont hat, wenn eine an der Erdoberfläche liegende, verhältnismäßig dünne Ton-schicht durch die Sonnenbestrahlung oder den Wind austrocknet und rissig wird, so daß diese Risse durch die ganze Tondecke bis in den liegenden Sand reichen. Bis dann der Ton bei neuen Niederschlägen so viel Wasser aufgenommen hat, daß die Risse durch Quellen des Tones geschlossen werden, kann und wird viel Niederschlagswasser in den Untergrund und damit in das Grundwasser gelangen. Die den Versickerungsvorgang hemmenden Kapillarkräfte gehören streng genommen nicht zu den Faktoren in dem oben festgelegten Sinne, da sie nur das noch nicht zu Grundwasser gewordene versickernde Wasser erfassen, also die Bewegungen des Grundwasserspiegels nicht unmittelbar beeinflussen und keinen Wasserabgang verursachen. Ihre Bedeutung für den Grundwasserhaushalt liegt beim Versickerungsvorgang vor allem darin, daß sie die Grundwasserneubildung verzögern oder auch zeitweise ganz verhindern, indem sie das Niederschlagswasser zwingen, oberflächlich abzuffießen oder durch Verlangsamung des Versickerungsvorganges seine Verdunstung fördern.

Unter den positiv wirkenden Vorgängen ist weiter aus unbekannter Tiefe aufsteigendes und in den Grundwasserstrom eindringendes juveniles Wasser zu nennen, das ohne Frage dabei eine Vermehrung des Grundwassers herbeiführen und sich durch Steigen des Spiegels bemerkbar machen wird. Dieselbe Wirkung hat auf Spalten artesisch zuffießendes Wasser. Beide Fälle sind aber im allgemeinen in pleistozänen Sand- und Kiesablagerungen, wie sie im vorliegenden Falle in Betracht kommen, ziemlich selten, wenn auch keineswegs ganz ausgeschlossen.

Die gleichfalls positiv wirkenden versickernden Niederschläge und Bachwässer, sowie der zu tropfbar flüssigem Wasser verdichtete Wasserdampf der Bodenluft rühren alle aus demselben Medium, der Lufthülle der Erde, her und werden alle durch denselben physikalischen Vorgang, die Kondensation, ausgeschieden. Da ihre einzelnen Anteile beim Zusickern zum Grundwasser nicht gesondert voneinander gemessen werden können, müssen sie zusammengefaßt werden und sollen nach dem ohne Frage größten Anteil insgesamt als Niederschlagswasser bezeichnet werden.

Das durch vorübergehende Hochwässer bedingte Ansteigen des Wasserspiegels im Vorfluter bis zur Umkehrung der Fließrichtung des Grundwasserstromes führt öfter zu einem Übertreten von Flußwasser in das Grundwasser, erreicht aber in der Regel nur das ufernahe Gelände und nur auf kurze Zeit. Dieser also örtlich und zeitlich eng begrenzte Vorgang ist für die vorliegende Aufgabe kaum von Bedeutung, so daß die davon betroffenen Gebiete aus dem Versuchsbereich ausgeschieden werden können. Da hier nur naturbedingte Vorgänge und Wirkungen behandelt werden sollen, fallen

für die allgemeine Beurteilung auch alle die Räume aus, in denen das Grundwasser durch künstliche Wasserversenkung angereichert wird.

Unter den negativ wirkenden Kräften steht wiederum die Schwerkraft an erster Stelle, wobei sie ihre wasserzehrende Wirkung in zweierlei Weise ausübt. Einmal hält sie den ständig fließenden Grundwasserstrom im Gang und bewirkt dadurch einen dauernden Wasserverlust des Grundwassers. Zwischen den die Durchflußgeschwindigkeit in verschiedenem Maße auch hier hemmenden und dadurch die Durchflußmenge verringernden Kapillarkräften des Wasserleiters einerseits und der Wirkung der Schwerkraft andererseits wird sich im Laufe der Zeit ein Gleichgewichtszustand in der Weise herausgebildet haben, daß an jedem Punkte des Stromgebietes in der Zeiteinheit eine an diesem Punkt nahezu gleichbleibende Wassermenge abfließt. Denn die Schwerkraft ist nur minimalen Schwankungen unterworfen, der Wasserleiter ändert sich nicht mehr und die Schwankungen des Grundwasserspiegels sind im Verhältnis zur Mächtigkeit des mit Wasser erfüllten Anteiles des Wasserleiters in der Regel so gering, daß sie kaum Änderungen herbeiführen können. Ähnliche Umstände herrschen auch hinsichtlich der Viskosität vor, da nur die obersten Teile des Grundwasserstromes bei sehr hoch liegendem Grundwasserspiegel so weit erwärmt werden können, daß die Beweglichkeit des Wassers merklich zunimmt. In der Hauptmasse des Stromes ist mit nahezu gleichbleibender Wassertemperatur zu rechnen, so daß auch von dieser Seite keine wesentlichen Einwirkungen auf Durchflußgeschwindigkeit und die Durchflußmenge anzunehmen ist.

Auf diese Weise ergibt sich also als Auswirkung der Schwerkraft ein im großen Durchschnitt ziemlich gleichbleibender und gleichmäßiger Wasserverlust durch den unterirdischen Abfluß des Grundwassers in den Vorfluter. Erst wenn dieser Dauerverlust überwunden ist, kann durch weitere Versickerung von Wasser ein Grundwasseranstieg herbeigeführt werden.

Der andere Teil der negativen Wirkung der Schwerkraft geht über die im Gebiet des Grundwasserstromes beginnenden oberirdischen Wasserläufe vor sich, deren Wasserabfluß durch dasselbe Gesetz der Schwere wie der des Grundwasserstromes verursacht wird. Die Speisung dieser Wasserläufe erfolgt einerseits teils unmittelbar durch die in sie fallenden Niederschläge, teils durch oberirdischen Zulauf bei starken Regenfällen, schmelzendem Schnee, zusammenrieselndem Tau usw., und andererseits durch Quellwasser, das aus dem Grundwasser abfließt und vor allem bei Niedrigwasser der Bäche durch unmittelbaren Übertritt von Grundwasser in das Bachbett. Diese beiden letzten Wasserspeisungen der Bäche sind echte negative Wirkungen der Schwerkraft. Da der oberirdische Abfluß des Wassers in den Bächen infolge der fehlenden Hemmung durch die Kapillarkräfte sehr viel schneller vor sich geht, als das Fließen des Grundwasserstromes, wird durch das dabei entstehende Tieferlegen der Vorflut oft ein länger dauernder und stärkerer Wasserabgang aus dem Grundwasser bewirkt werden, als er durch den Abfluß des Grundwasserstromes an sich erfolgt. Schwillt der Bach an und legt dadurch den Spiegel im Vorfluter höher, so kann dieser Vorgang umgekehrt werden, indem Wasser aus dem Bach in das Grundwasser versickert, wie oben bereits behandelt worden ist. Im einzelnen sind diese wechselweise durch die oberirdischen Wasserläufe zu- und abfließenden Wasser kaum je voll erfassbar.

Die zehrende Kraft der Verdunstung kann das Grundwasser selbst oder seinen Saugsaum nur dann unmittelbar stärker angreifen, wenn beide so nahe unter der Erdoberfläche liegen, daß sie durch Sonneneinstrahlung oder andere meteorologische Umstände hinreichend erwärmt werden. Mit zunehmender Tiefe des Grundwasserspiegels unter der Erdoberfläche nimmt die Einwirkung der unmittelbaren Verdunstung und der damit verbundene Wasserverlust aus dem Grundwasser immer mehr ab. Soweit sich die Verdunstung auf die Verdampfung des im Boden auf dem Wege zum Grundwasser befindlichen Niederschlagswassers erstreckt, gehört sie nicht zu den negativen Faktoren, da dieses Wasser ja noch kein Grundwasser ist, das es erst durch Vereinigung mit diesem werden würde. Hierdurch wird wohl die Grundwasserneubildung mehr oder weniger verhindert, aber kein Abgang vom Grundwasser selbst herbeigeführt.

Eine unmittelbare Wasserentziehung aus dem Grundwasser durch die Lebensvorgänge der Vegetation ist nur dann möglich, wenn die Wurzeln der Pflanzen entweder bis in das Grundwasser oder wenigstens bis in den Saugsaum reichen. Müssen die Pflanzen ihren Wasserbedarf aus dem im Luftraum des Wasserleiters kapillar festgehaltenen Bodenwasser decken, ohne daß ein Wassernachschub aus dem Grundwasser über den Saugsaum erfolgt, so wirkt sich das ebenso wie bei der Verdunstung wohl hindernd auf die Grundwasserneubildung aus, ist aber kein Einfluß eines negativen Faktors im vorliegenden Sinne.

Soweit der aus dem Grundwasser gedeckte Wasserverbrauch von Mensch und Tier, mitsamt dem technischen Bedarf, durch Hausbrunnen oder kleinere Wasserwerke dünnbesiedelter Gegenden gewonnen wird, fällt er kaum ins Gewicht und geht, negativ wirkend, unbemerkt in die sinkende Bewegung des Grundwasserspiegels mit ein. Das Gebiet der ausgedehnten und tiefen Entnahmetrichter der großen Wasserwerke ist dagegen für die Untersuchungen der vorliegenden Art ungeeignet, da ja kaum jemals genau festzustellen ist, welcher einzelne Anteil der Absenkung des Grundwasserspiegels auf natürliche Weise erfolgt und welcher auf den künstlichen Eingriff des Menschen zurückzuführen ist. Diese Gebiete sind also bei derartigen Untersuchungen auszuschneiden.

Etwas anders liegen die Verhältnisse in den Außenbezirken der bisweilen sehr weit ausgedehnten Absenkungstrichter großer Werke, wo die spiegel senkende Wirkung der Wasserentnahme nur geringfügig ist und sehr langsam erfolgt, so daß sie gegenüber den durch natürliche Faktoren bedingten Spiegelbewegungen kaum noch ins Gewicht fallen. Selbstverständlich sind auch diese Gegenden bei Untersuchungen der vorliegenden Art nach Möglichkeit zu vermeiden, was aber bei der großen Anzahl von Wasserwerken im Bereich ausgedehnter Grundwasserströme manchmal kaum möglich sein wird, da einerseits die genaue und meist wechselnde Grenze der Absenkungstrichter oft nicht genau bekannt ist. Andererseits ist es schwer, die für eine umfassende Untersuchung eines Geländes notwendige große Zahl von Grundwasserstellen in gleichmäßiger Verteilung über das zu untersuchende Gebiet ohne umfangreiche Neuanlagen ausfindig zu machen. Schließlich wird ja auch ein solches Wasserwerk durch seine jahrzehntelange Wasserentnahme aus dem Grundwasser selbst zu einem „natürlichen negativen Faktor“ im Wasserhaushalt der betreffenden Gegend. Jedenfalls bedürfen diese Umstände einer sorgfältigen Beobachtung und Berücksichtigung

bei der Beurteilung und Auswertung der für solche Untersuchungen herangezogenen Grundwassermeßstellen, um Fehler bereits in den wichtigsten Grundlagen der vorliegenden Aufgaben zu vermeiden.

Abgesehen von der in ihrer Hauptwirkung meistens ziemlich gleichbleibenden und nur in ihren Nebenwirkungen etwas wechselnden Schwerkraft ist der Einfluß der anderen besprochenen Kräfte und Vorgänge, die fast alle vom ewig wechselnden Wetter abhängig sind, sehr großen Schwankungen unterworfen. Außer einer etwaigen Dauerversickerung aus einem undichten Bachbett können und werden alle diese veränderlichen positiven und negativen Einflüsse zwischen einem Höchst- und einem Tiefstwert bis zum völligen Aufhören hin und her pendeln oder doch so stark an Wirksamkeit verlieren, daß ein durch sie hervorgerufener Zu- oder Abgang zeitweise praktisch ganz aufhört. Dieser „Nullpunkt“ dürfte von den positiven Faktoren vorwiegend im Sommerhalbjahr und von den negativen im Winterhalbjahr erreicht werden.

Im einzelnen wird mit folgenden Verhältnissen zu rechnen sein. Wenn bei kühlem oder kaltem Wetter, also besonders im Winterhalbjahr, dem Grundwasser Niederschlagswasser unter Steigen des Grundwasserspiegels zusickert, so ist eine Verdunstung aus dem Grundwasser selbst wohl kaum mehr möglich; ein Verdunsten des im luftefüllten Bodenraum herabrieselnden oder kapillar festgehaltenen Wassers bleibt dabei außer Betracht, da es ja nicht zum Grundwasser im vorliegenden Sinne gehört. Wenn im Luftraume des Wasserleiters Kondensation eintritt, hört überhaupt jede Verdunstung auf. Die Wasserentnahme der Pflanzen aus dem Boden sinkt in dieser Jahreszeit auf ein Minimum herab und wird auch, solange Niederschlagswasser herabsickert, wohl in erster Linie aus diesem Wasser gedeckt werden. Beim Steigen des Grundwassers werden also die veränderlichen negativen Faktoren oft fast ganz ausgeschaltet sein. Nur der von der Schwere erzeugte Abfluß des Grundwasserstromes bleibt dauernd wirksam und beeinträchtigt laufend das durch Zugang erfolgende Ansteigen um diese fortfließende Menge. Beim Ansteigen des Grundwasserspiegels während wärmeren Wetters, also besonders im Sommer, wird der in dieser Jahreszeit viel stärkere Einfluß der Verdunstung auf das Grundwasser durch das herabrieselnde Wasser wohl herabgesetzt, aber nur selten ganz ausgeschaltet sein. Ebenso verhält es sich beim Wasserverbrauch der Pflanzen. Die hemmende Wirkung auf das Ansteigen beschränkt sich also in dieser Zeit nicht nur auf den Abfluß durch die Schwere, sondern wird auch von den veränderlichen negativen Faktoren mitbestimmt. Im ganzen dürfte es sich aber meistens nicht um so sehr große Beträge handeln, da das Steigen des Spiegels im Sommer ja in der Regel nur seltener auftritt und nicht sehr lange Zeit anzuhalten pflegt.

Bei gleichbleibendem Grundwasserstand muß der Zugang mindestens ebenso groß sein wie der Abgang durch die ständig wirkenden Schwerkraften. Im Winter wird dieser Betrag infolge des zeitweise fast völligen Ausfallens der veränderlichen negativen Faktoren zum größten Teil dazu ausreichen. Im Sommer dagegen, während dessen die veränderlichen Kräfte und Vorgänge mehr oder weniger am Werke bleiben, werden größere Zugänge notwendig sein, um den Grundwasserspiegel konstant zu halten.

Wenn der Grundwasserspiegel im Winter fällt, so kann das durch verringerte Zugänge oder durch vermehrte Wirkung veränderlicher negativer Faktoren eintreten.

Da letztere, wie oben dargelegt ist, im Winter im allgemeinen nur geringe Kraft entwickeln, läßt ein langsames Absinken des Spiegels darauf schließen, daß noch positive Faktoren am Werke sind, also ein Wasserzugang erfolgt, der mengenmäßig jedoch nicht zu erfassen ist. Erfolgt der Abfall jedoch schnell, so ist anzunehmen, daß dem Grundwasser kein Wasser mehr zugeht. Wenn auch beim Fallen des Grundwasserspiegels im Sommer die Ursachen dieselben sind, wie im Winter, so sind in dieser Zeit ganz andere Umstände vorhanden. Die Niederschläge liegen erheblich höher, so daß von dieser Seite größere Zugänge möglich sind. Aber auch die veränderlichen negativen Faktoren steigern sich erheblich mehr und können das in den Boden gelangende Wasser auf seinem Absickerungswege bis in viel größere Tiefe angreifen, wodurch der Niederschlagsüberschuß oft mehr als wieder wettgemacht werden wird. Wenn auch hier bei langsamem Absinken des Grundwasserspiegels noch das Fallen hemmende Wasserzugänge möglich sind, so kann und wird auch gelegentlich der Zustand eintreten, daß das zusickernde Wasser durch die Verdunstung gerade aufgezehrt wird, sich also die veränderlichen positiven und negativen Faktoren die Waage halten. Dann wird die dauernd gleichmäßig wirkende Schwerkraft, die den Abfluß des Grundwasserstromes in Gang hält, einen stetig gleichbleibenden Wasserverlust durch Abfluß verursachen. Dauert dieser Gleichgewichtszustand längere Zeit, so muß das zu einem laufenden Absinken des Grundwasserspiegels um den gleichen Betrag in der Zeiteinheit führen. Ein schnelles Fallen des Spiegels macht es aber ganz unwahrscheinlich, daß dabei noch Zugänge vorkommen. Es ist vielmehr mit Sicherheit anzunehmen, daß in diesem Falle das Niederschlagswasser bereits vor Erreichen des Grundwasserspiegels verdampft wird.

Daß alle Auswirkungen der unmittelbaren und mittelbaren Verdunstung des Grundwassers und besonders des Kapillarwassers im Boden in sehr starkem Maße vom jeweiligen Feuchtigkeitsgehalt der Luft, von der Temperatur, dem Winde und anderen Wetterumständen beeinflusst werden, ist selbstverständlich. Aber alle diese Vorgänge zu erfassen und ihre Auswirkung in Rechnung zu ziehen, ist eine mehr meteorologische Aufgabe, die außerhalb des Fachgebietes des Verfassers liegt, so daß es bei diesem Hinweis sein Bewenden haben muß. Alle diese Einzelmomente sollen daher mit der summarischen Bezeichnung „Verdunstung“ zusammengefaßt werden.

Wenn man von den seltenen Fällen eines Zuganges von juvenilem und artesischem Wasser absieht, rührt die Hauptmenge des für die Grundwasserausbildung zur Verfügung stehenden Wassers wohl ohne Frage aus Niederschlägen her. Es ist dabei gleichgültig, ob das Wasser unmittelbar oder mittelbar auf Umwegen in den Boden gelangt ist, wie über die Pflanzen oder durch Bachversickerung. Wie weit die im Verhältnis zur Größe der Bodenfläche nur an wenigen Stellen gemessenen Niederschlagshöhen mit Sicherheit auf das umgebende Gebiet übertragen werden können, entzieht sich der Beurteilung des Verfassers. Die Zahlenwerte müssen als für nähere und z. T. auch für entferntere Gebiete zutreffend hingenommen werden. Der Anteil dieser Wassermengen, der wirklich den Boden erreicht und in das Erdreich eindringt, ist sowohl von dem Aggregatzustande der Niederschläge, Eis, Hagel, Schnee, Reif, Regen, Tau, und am Gestein oder an der Vegetation ausgeschiedenen Wasserdampf, als auch von der Art, in welcher der Niederschlag fällt, z. B. Platzregen, Landregen, und weiter von dem Zustande des Bodens abhängig, z. B. gefroren, pulvertrocken-

feucht usw. Von großem Einfluß auf diesen versickernden Anteil ist auch die Bodennutzung. Im Hochwald und Buschwald bleibt im Sommer ein großer Teil des Regens an den Ästen, Blättern und Nadeln hängen, ohne den Boden überhaupt zu erreichen; im Ackerland und in der Wiese liegen die Verhältnisse durch die geringere Höhe des Pflanzenwuchses wohl meistens wesentlich günstiger. In großen Ortschaften mit dichter Bebauung, gepflasterten Straßen und Kanalisation wird das Versickern von Niederschlagswasser in großen Flächen weitgehend unterbunden. Alle diese Umstände führen dazu, daß die an sich schon örtlich ungleichmäßig anfallende Wassermenge für eine Versickerung im Boden noch uneinheitlicher gemacht wird. Wenn sich somit die zeitlich und örtlich in verschiedenem Maße in den Boden eindringenden Wassermassen auch im einzelnen nicht erfassen lassen, so macht sich doch der Teil von ihnen, der bis zum Grundwasser vordringt und den oben geschilderten Versickerungsvorgang vollendet, durch das Steigen des Grundwasserspiegels wieder so bemerkbar, daß man versuchen kann, ihn mengenmäßig festzustellen.

Aus den oben gemachten Ausführungen über die das Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels verursachenden Faktoren geht hervor, daß sich ein Wasserzugang zum Grundwasser im allgemeinen durch Steigen des Spiegels und ein Wasserverlust durch Fallen desselben bemerkbar macht. Daß das aber nicht immer der Fall ist, zeigen die bereits erwähnten Umstände bei gleichbleibendem und steigendem Grundwasserspiegel. Ebenso trifft nachstehende Umkehrung der oben gezogenen Schlußfolgerung, daß jedes Steigen des Grundwasserspiegels einen Wasserzugang und jedes Fallen einen Wasserabgang anzeigt, wohl meistens, aber nicht unter allen Umständen zu. Es sind verschiedene Auf- und Abwärtsbewegungen des Grundwasserspiegels bekannt, die ohne Frage nicht durch Zu- oder Abgänge zur Gesamtsumme des Grundwassers, sondern durch andere Umstände entstanden sind. Hierher gehört das bereits erwähnte Ansteigen des Spiegels infolge Steigens des Wasserspiegels im Vorfluter und den dadurch bedingten Rückstau. Solche scheinbaren Wasserzu- und -abgänge können auch unter den nachstehend geschilderten Umständen vorgetäuscht werden. Durch örtlich begrenzte starke Niederschläge oder durch eine vorübergehende Bachversickerung infolge Hochwassers kann ein kleiner Wasserberg entstehen, dessen damit verbundener Grundwasseranstieg an der betreffenden Stelle natürlich einen echten Wasserzugang anzeigt. Wenn nun nach Beendigung des Wasserzuges der Wasserberg durch Abfluß kleiner wird, so steigt auch der Grundwasserspiegel in der Umgebung an, während er auf der Kuppe abfällt. Diese beiden Bewegungen des Grundwasserspiegels erfolgen dabei nur durch Umlagerung des Wassers innerhalb des Stromgebietes, ohne daß damit ein echter Wasserzu- oder -abgang verbunden ist. Der durch unterirdischen Zufluß von Wasser aus höher gelegenen Teilen des Einzugsgebietes, in denen meistens die Niederschlagshöhe und damit der Zugang zum Grundwasser größer ist, als in den tieferen Teilen desselben, ist hier aus demselben Grunde kein echter Wasserzugang. Zu diesen Erscheinungen gehören auch die bekannten Grundwasserwellen, die sich gelegentlich in großen Grundwasserströmen bemerkbar machen, und auch der Druckausgleich, wie er allenthalben zu beobachten ist.

Zusammengefaßt ergibt sich aus der Aufgliederung des Wechselspiels zwischen den Wasserzu- und -abgängen zum und vom Grundwasser einerseits und dem Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels andererseits bis in die einzelnen Phasen, die von einer

Reihe von positiven und negativen Faktoren gesteuert werden, daß wohl sehr wesentliche ursächliche Zusammenhänge zwischen den Schwankungen der Wassermenge und den Bewegungen des Grundwasserspiegels bestehen, daß aber die kausalen Beziehungen nicht immer restlos ineinander aufgehen. Das hat seinen Grund darin, daß die Kräfte, Umstände und Vorgänge mehr oder weniger voneinander unabhängig sind und gleichzeitig wirken können, bei gleichem Vorzeichen die Wirkung additiv vermehrend, bei entgegengesetztem Vorzeichen die Wirkung vermindern, aufhebend oder auch umkehrend. Es kann dabei nur dann zu einer bestimmten Bewegungsrichtung des Grundwasserspiegels kommen, wenn eine von beiden Gruppen an Wirkung überwiegt. Es unterliegt wohl kaum einem Zweifel, daß der größere Teil der Wasserzugänge und -abgänge im Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels zum Ausdruck kommt. Daß es aber auch Zu- und Abgänge gibt, die keine sichtbaren Bewegungen des Spiegels im Gefolge haben, und umgekehrt Spiegelschwankungen, denen keine echten Wasservermehrungen oder Verminderungen zugrunde liegen, ist oben dargelegt worden.

Wenn man aufgrund der geschilderten Feststellungen und Überlegungen die Ganglinien des Grundwasserspiegels überprüft, so lassen sich große Bewegungen meistens ohne Zwang nach der zeitlichen Aufeinanderfolge mit den Niederschlägen und jahreszeitlich bedingten Umständen in ursächlichen Zusammenhang bringen. Das tritt um so deutlicher in Erscheinung, je näher der Grundwasserspiegel der Erdoberfläche liegt, was sich zwanglos aus dem viel kürzeren Versickerungswege ergibt. Nicht immer so sicher ist der Kausalnexus bei Spiegelbewegungen mittlerer Stärke zu erkennen, während die kleinen Ausschläge, die nicht selten als kurze rhythmische Schwingungen erscheinen, mit den Monatssummen der Niederschläge nicht ohne weiteres in Beziehung gesetzt werden können. Ob das bei Tages- oder Wochensummen möglich wäre, kann mangels derartiger Unterlagen nicht beurteilt werden. Bei diesen kleinen Schwankungen bleibt außerdem immer der Verdacht bestehen, daß sie gar nicht auf echte Wasserzu- oder -abgänge zurückzuführen sind, sondern andere Ursachen haben.

D. Die Auswertung der Bewegungen des Grundwasserspiegels für die Berechnung der Wasserzu- und abgänge zum und vom Grundwasser

Je nachdem man alles jahreszeitlich bedingte rhythmische Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels und in beiden Richtungen mehr oder weniger häufig vorkommende rückläufige Bewegungen des Spiegels, vielfach kleineren Ausmaßes und wechselnder Zeitlänge, vollständig als Auswirkungen echter Wasserzu- oder -abgänge anerkennt oder nicht, läßt sich die Auswertung der Spiegelbewegungen für die Berechnung der zu- und abgehenden Wassermengen auf zweierlei Weise ausführen. Das eine Verfahren besteht darin, daß alle Auf- und Abwärtsbewegungen des Grundwasserspiegels zwischen zwei aufeinander folgenden Grundwassermessungen durch Vergleich der Werte untereinander in ihrem ganzen Ausmaß als Kennzeichen von Wasserzu- und -abgängen betrachtet werden. Da auf diese Weise alle einzelnen Anstiege und Abfälle des Spiegels vollständig in die Berechnung eingehen, soll es als Einzelverfahren bezeichnet werden. Dem zweiten Verfahren ist die Annahme zugrunde gelegt, daß die Kleinbewegungen des Grundwasserspiegels, die im vorhergehenden Abschnitt gelegentlich auch als Schwingungen bezeichnet worden sind, wenn vielleicht auch

nicht alle und nicht alle ganz, so doch zum großen Teil nur Wasserzu- oder -abgänge vortäuschen, in Wirklichkeit aber auf andere Ursachen wie Druckausgleich, Rückstau und dergleichen zurückzuführen sind.

Da einerseits weder bei jeder Spiegelbewegung festzustellen ist, ob es sich um wirkliche Zu- oder Abgänge handelt, noch ob sie ganz oder teilweise „echt“ oder „unecht“ sind, und da andererseits das Einzelverfahren ziemlich umständlich ist, erscheint es zweckmäßig, das zweite Verfahren etwas einfacher zu gestalten. Den Berechnungen wird daher an Stelle der normalen Ganglinie mit der Darstellung aller einzelnen Messungen eine schematisierte Linie zu Grunde gelegt, die durch die Grundwasserstände am Anfang, zur Halbzeit (= Schluß des Winterhalbjahres = Anfang des Sommerhalbjahres) und am Ende des Abflußjahres, sowie das Maximum und das Minimum des ganzen Jahres gezogen wird. Da bei diesem Verfahren nur die grundlegenden Auf- und Abwärtsbewegungen des Grundwasserspiegels summarisch erfaßt werden, soll es als summarisches Verfahren bezeichnet werden.

In den auf den Tafeln 1 und 2, die am besten von unten nach oben gelesen werden, wiedergegebenen Musterbeispielen sind die Berechnungen nach dem Einzel- und dem summarischen Verfahren auf Grund der Messungen des Abflußjahres 1953 an der Meßstelle 527/128 in Wolfskehlen, etwa 5 km südlich von Groß-Gerau, ausgeführt und dargestellt worden. Dabei ist von der letzten, dem Abflußjahre vorhergehenden Messung am 27. Oktober 1952 mit einem Grundwasserstande von 86,28 m über N.N. ausgegangen und die Zeitspanne über die Halbzeit am 27. April 1953 bis zur letzten Messung des Abflußjahres 1953 am 26. Oktober 1953 erfaßt worden. Streng genommen entspricht diese Meßzeit, deren Ablesungen üblicherweise auf einen bestimmten Wochentag, meistens einen Montag, abgestellt sind, mit den sich hieraus zwangsläufig ergebenden Anfangs- und Enddaten nicht genau dem vom 1. November 1952 bis zum 31. Oktober 1953 laufenden Abflußjahre 1953. Da infolge dieses allgemein gebräuchlichen Messens an einem bestimmten Wochentage in der Regel vom ersten und letzten Tage des kalendermäßig festgelegten Abflußjahres keine Meßzahlen vorliegen und da durch rechnerische oder graphische Interpolation keineswegs immer mit Sicherheit ein zuverlässiger Grundwasserstand genau am 31. Oktober 24.00 Uhr ermittelt werden kann und ein Ablesen an den zahlreichen Meßstellen um diese Zeit durch Beobachter oder durch registrierende Instrumente sehr kostspielig werden dürfte, erscheint es eher angängig, die kleine Zeitverschiebung von höchstens 6 Tagen in Kauf zu nehmen, als die grundlegenden Zahlenwerte von vorneherein mit Unsicherheiten zu belasten. Die Zeitverschiebung spielt beim halben und beim ganzen Abflußjahre in Bezug auf die kalendermäßig festgelegten Abschnitte der meteorologischen Niederschlagsmengen praktisch kaum eine Rolle. Nur bei kleineren Zeitabschnitten, z. B. den Monaten, sind sie von größerer Bedeutung und lassen Vergleiche miteinander nur in beschränktem Umfange zu.

Die Unterschiede je zweier, aufeinander folgender Grundwassermessungen sind zunächst nur Längenbeträge, die mit einem Plus-Zeichen kenntlich zu machen sind, wenn sie ein Steigen, und mit einem Minus-Zeichen, wenn sie ein Fallen des Spiegels anzeigen. Diese Werte geben sowohl durch ihre verschiedene Größe als auch durch das Vorzeichen wohl einen Anhalt dafür, daß ein größerer oder kleinerer Wasserzu- oder -abgang zum oder vom Grundwasser eingetreten ist, aber keine Raumgröße für

die Menge dieses Wassers. Ein solches Maß läßt sich mit Hilfe des aufnehmbaren Wasservolumens, das im Abschnitt C erläutert und für den nordöstlichen Teil des hessischen Riedes auf durchschnittlich 22,5% des Gesamtraumes des Wasserleiters ermittelt worden ist, gewinnen. Da es sich bei dem vorliegenden Beispiel nur um eine grundlegende Darstellung des Auswertungsverfahrens handelt, soll dieser Wert auch für die etwas weiter südlich gelegene Meßstelle 527/128 als richtig angenommen und den weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt werden.

Der Luftraum eines ein Kubikmeter großen, würfelförmigen, waagrecht über dem Grundwasserspiegel liegenden Raumteiles des Wasserleiters mit einem aufnehmbaren Wasservolumen von 22,5 Raumprozent beträgt 225 Liter. Eine waagerechte Scheibe dieses Raumteiles von einem Zentimeter Stärke und einer Fläche von einem Quadratmeter enthält dann 2,25 Liter Luft. Wenn der Grundwasserspiegel infolge Wasserzuganges durch die Versickerung um 1 cm steigt, so dringen dabei demnach 2,25 Liter Wasser in den von Luft erfüllten Raum ein und verdrängen diese Luftmenge vollständig, unter der Voraussetzung, daß keine Luftblasen in nennenswerter Menge eingeschlossen werden. Bei dem im Boden in winzigen Tröpfchen und meistens sehr langsam vor sich gehenden Wasserzugänge von jeweils 2,25 Liter je Quadratmeter in einer Woche, um den Spiegel um einen Zentimeter zu heben, dürften die Poren restlos von Wasser erfüllt werden. Das Wasser enthält natürlich, wie das Grundwasser überhaupt, gelöste Gase, meistens wohl Luft mit allen ihren Bestandteilen, wenn auch entsprechend der verschiedenen Lösbarkeit der einzelnen Gase in etwas anderen Mengenverhältnissen als die atmosphärische Luft. Umgekehrt zeigt die Senkung des Grundwasserspiegels um einen Zentimeter den Abgang von 2,25 Liter Wasser je Quadratmeter an. Auf diese Weise ergibt sich ein dem Längenmaße der Bewegungen des Grundwasserspiegels entsprechendes Hohlmaß der zugehenden bzw. der abgehenden Wassermenge. Eine Regenhöhe von 1 mm entspricht bekanntlich einer Niederschlagsmenge von einem Liter je Quadratmeter, eine solche von 2,25 mm mithin 2,25 Liter. Man kann also bei einem durchschnittlichen aufnehmbaren Wasservolumen von 22,5 Raumprozent jedes Zentimeter Anstieg oder Abfall des Grundwasserspiegels einer Regenhöhe von 2,25 mm gleichsetzen. Diese zugehende, bzw. abgehende Wassermenge wird im weiteren Text und bei den Berechnungen kurz mit der Signatur mmN bezeichnet.

Somit ergeben sich durch Malnehmen mit dem oben ermittelten Einheitswert von 2,25 mmN je ein Zentimeter der Bewegung des Grundwasserspiegels die Monats-, Halbjahres- und Jahressummen der beobachteten Zu- und Abgänge zum und vom Grundwasser. Die Bezeichnung „beobachtete“ Zu und Abgänge ist gewählt worden, da diese Zahlen unmittelbar aus den „Beobachtungen“ der Grundwassermessung abgeleitet sind, im Gegensatz zu den „berechneten“ Werten, deren Ermittlung weiter unten behandelt wird.

Wie bereits eingangs des vorliegenden Abschnittes erläutert worden ist, können die Abweichungen der so ermittelten zu- und abgehenden Wassermengen gegenüber den wirklichen in den kalendermäßigen Halb- und ganzen Jahren hingenommen werden. Das ist jedoch bei den jeweils aus vier oder fünf Messungen hervorgegangenen Monatssummen nicht angängig, so daß ein Vergleich mit den kalendermäßig erfaßten Niederschlägen höchstens noch nach der Größenordnung, aber nicht zahlenmäßig möglich ist.

Nach den Ausführungen im Abschnitt C bleibt der durch die Schwerkraft verursachte Wasserabfluß des Grundwasserstromes dauernd in gleicher Stärke im Gange ohne durch die veränderlichen positiven und negativen Faktoren in seiner Wirkung eines konstanten Wasserverlustes irgendwie beeinflußt zu werden. Durch Zugang von Wasser kann also ein Steigen des Grundwasserspiegels nur solange herbeigeführt werden, wie die zufließende Wassermenge groß genug ist, um den Dauerverlust des Abflusses auszugleichen, und erst dann, wenn das erreicht ist, kann durch weiteren Wasserzugang der Grundwasserspiegel gehoben werden. Beim Steigen des Grundwasserspiegels ist also der Wasserzugang in Wirklichkeit größer als der aus dem Steigen des Spiegels ermittelte „beobachtete“, und zwar um die Menge, die in der Beobachtungszeit durch die Schwerkraft abfließt. Auf der anderen Seite ist dieser Wasserverlust, der ja tatsächlich laufend eintritt, als Abgang zu verbuchen, solange der Grundwasserspiegel steigt.

Wie ebenfalls im Abschnitt C dargelegt ist, muß bei gleichbleibendem Stand des Grundwasserspiegels ein Gleichgewicht zwischen allen während dieser Zeit wirkenden positiven und negativen Faktoren, einschließlich des durch die Schwere negativ wirkenden Abflusses des Grundwasserstromes, vorhanden sein. Um diesen Zustand herbeizuführen und aufrechtzuerhalten, muß der Wasserzugang mindestens ebenso groß sein, wie der ständige Abfluß durch die Schwerkraft. Wenn darüber hinaus noch veränderliche positive oder negative Faktoren am Werke sind, müssen sich auch diese überschießenden Teile die Waage halten, solange der Stand des Grundwassers gleich bleibt, ohne daß dadurch der Ausgleich zwischen dem Abfluß und dem Zugang irgendwie berührt wird. Also auch bei gleichbleibendem Grundwasserstande ist derselbe Betrag für den dauernden Abfluß in der Zeiteinheit, demnach beim Einzelverfahren für je eine Woche, und sein Ersatz durch den Zugang von Wasser zu berechnen und positiv und negativ in Rechnung zu setzen.

Um diese Zu- und Abgänge, die also durch die Bewegungen des Grundwasserspiegels nicht angezeigt werden, ermitteln zu können, muß die infolge der Schwerkraft abfließende Wassermenge in einer Woche, d. h. zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Grundwassermessungen festgestellt werden, was auf folgende Weise versucht werden kann.

Im Abschnitt C ist bereits auf das mögliche Eintreten des Falles hingewiesen worden, daß sich die veränderlichen positiven und negativen Faktoren in ihrer Wirkung zeitweise ganz aufheben oder auch vorübergehend gar nicht zum Zuge kommen, d. h. keinen Wasserzugang oder Wasserabgang herbeiführen, so daß nur die unabhängige Schwerkraft allein in Tätigkeit bleibt und daß dann ein gleichmäßiges Absinken des Grundwasserspiegels in der Zeiteinheit die Folge sein müßte. Diese Erscheinung eines gleichbleibenden Absinkens des Grundwasserspiegels für die Dauer von mehreren Wochen hintereinander ist in den Abflußjahren 1952–1954, die den vorliegenden Untersuchungen zu Grunde liegen, bei einer Reihe von Meßstellen im nordöstlichsten rechtsrheinischen Teile der Oberrheinischen Tiefebene zu beobachten, wo in 11 von 24 untersuchten Grundwassermeßstellen solche Perioden von 3 bis 8 Wochen Dauer mit einem Absinken von 1 cm je Woche vorkommen. Als Beispiele seien diejenigen Meßstellen aufgeführt, bei denen dieser Vorgang 4 und mehr Wochen ange dauert hat oder sich an ein dreiwöchiges Gleichbleiben eine längere Zeitspanne

anschließt, in der der Spiegelabfall zwischen 0, 1 und 2 cm je Woche schwankt, im Durchschnitt also wieder auf eine Senkung um etwa 1 cm in 7 Tagen hinausläuft. Das ist vielleicht z. T. auf die Meßmethode von nur 1 cm Genauigkeit zurückzuführen, bei der halbe Zentimeter nicht erfaßt werden können, so daß der Beobachter einen vollen Zentimeterbetrag über oder unter der wirklichen Ablesung wählen muß: Meßstelle 507/34: 23. 6.—14. 7. 1953 je Woche 1 cm Abfall. — 507/36: 22. 3.—12. 4. 54 1 cm; bis 22. 5. 0, 1, 2 cm; 12. 7.—6. 9. 54 1 cm; bis 25. 10. 0, 1, 2 cm (siehe Taf. 4). 507/40: 11. 2.—3. 3. 52 1 cm; bis 31. 3. 0—2 cm; 4. 8.—8. 9. 52 1 cm; 15. 9.—13. 10. (siehe NÖRING 6, Taf. 23) 1 cm. 527/13: 9. 11.—14. 12. 54 1 cm. 527/38: 3. 5. bis 21. 6. 54 1 cm; 12. 7.—28. 8. 54 1 cm (siehe Taf. 4) und NÖRING 1955, Taf. 24. 527/165: 14. 9.—12. 10. 53 (siehe Taf. 4). 527/168: 28. 7.—25. 8. 54 1 cm; 5. 7. bis 2. 8. 54 1 cm; bis 27. 9. 0, 1, 2 cm; 27. 9.—25. 10. 54 1 cm. 527/173: 14. 6.—26. 7. 54 1 cm. Die Mehrzahl dieser Perioden fällt in das Sommerhalbjahr, während dessen anscheinend die Vorbedingungen für das Ausfallen der veränderlichen Faktoren leichter gegeben sind als im Winter, in dem jedoch solche Zeitspannen mit länger dauerndem Abfall des Spiegels um je 1 cm in der Woche keineswegs ganz fehlen.

Diese Erscheinung, die also nach den oben angeführten Beispielen gar nicht so selten ist, kann man dahin deuten, daß es sich in diesen Wochen mit gleichmäßig abfallendem Grundwasserspiegel um die Auswirkung einer dauernden Kraft negativer Art von gleichbleibender Stärke handelt und daß als solche nach der Aufgliederung der wirksamen Faktoren im Abschnitt C dafür nur die den Abfluß des Grundwasserstromes verursachende Schwerkraft in Frage kommt. Der Fallbetrag von je 1 cm in 7 Tagen entspricht nach den Darlegungen am Anfang dieses Abschnittes einem Wasserabgang von 2,25 l in diesem Zeitabschnitt. Da die sich somit ergebende Abflußmenge von 2,25 l je Quadratmeter und Woche, die einer Niederschlagshöhe von 2,25 mm entspricht, auch aus dem aufnehmbaren Wasservolumen abgeleitet ist, hat sie ebenso wie dieses nur den Charakter eines Durchschnittswertes, der wie alle solche Zahlen eigentlich nur zur Berechnung von Mittelwerten verwendet werden sollte. Für bestimmte Aufgaben sind sie nur unter Vorbehalt brauchbar. Ihre Zuverlässigkeit ist natürlich um so größer, je mehr Einzeluntersuchungen zur Verfügung stehen. Diese können im vorliegenden Falle einerseits durch dieselbe Anzahl von Feststellungen wie bei der Bestimmung des aufnehmbaren Wasservolumens und andererseits durch die Dauer und die Häufigkeit des gleichmäßigen Abfalles um denselben Betrag von 1 cm je Woche in zahlreichen Meßstellen bis zu einem gewissen Grade als vorhanden betrachtet werden. Wenn somit dieser Einheitswert von 2,25 mmN als einigermaßen sicher begründet erscheinen mag, so sollen andererseits gewisse Bedenken dagegen nicht verschwiegen werden. Es ist immerhin auffällig, daß dieser Einheitswert des Abflusses in einer Woche gerade genau 1 cm betragen soll. Es liegt der Verdacht nahe, daß dieser Betrag von 1 cm z. T. dadurch bedingt ist, daß die Grundwassermessungen üblicherweise nur mit der Genauigkeit von 1 cm vorgenommen werden. Würde man die Genauigkeit verdoppeln und die Höhe des Grundwasserspiegels auf halbe Zentimeter zu bestimmen versuchen, was mit der zur Zeit verwendeten Brunnenpfeife gar nicht und mit der Brunnenklatsche nur von geübten Beobachtern bei sehr sorgfältiger Handhabung angenähert erreicht werden könnte, so ließe sich vielleicht ein genauerer Abflußwert ermitteln. Ob durch Grundwassermessungen mit Millimeter-

Genauigkeit, die wohl nur durch Registrierapparate zu erreichen sind, eine weitere Verfeinerung erzielt werden könnte, müßte erst geprüft werden. Wie weit durch solche verfeinerte Verfahren festgestellte Einheitswerte von dem mit den bisher zur Verfügung stehenden einfacheren Meßgeräten abweichen würden, ist nicht zu sagen. Sehr groß würden die Unterschiede wohl nicht sein, da die Reihen gleichmäßigen Abstiegs z. T. doch recht lang sind. Einstweilen bleibt nichts weiter übrig, als sich mit dem mit verhältnismäßig rohen Messungen gewonnenen Einheitswert von 2,25 mm je Woche zu begnügen und dessen etwaige Ungenauigkeit in Kauf zu nehmen.

In Ermangelung eines besseren und sicheren Wertes soll dieser Betrag von 2,25 mmN je Woche für den Wasserabgang nicht nur für das vorliegende Musterbeispiel verwendet, sondern auch den weiteren Berechnungen bei der Anwendung des Verfahrens auf ein Teilgebiet der Oberrheinischen Tiefebene rechts des Stromes im Abschnitt E zu Grunde gelegt werden. Er dient zur Ermittlung des „berechneten“ Anteils der Zugänge und ist im Einzelverfahren für alle die Wochen mit dem Einheitswert von 2,25 mmN in Ansatz zu bringen, in denen der Grundwasserspiegel steigt oder gleich hoch bleibt. Fällt der Grundwasserspiegel, so geht der Wasserverlust durch den abfließenden Grundwasserstrom ohne weiteres in die negativen Werte des fallenden Grundwasserspiegels ein. Die Feststellung des „berechneten“ Anteiles im summarischen Verfahren wird im Unterabschnitt D II behandelt.

Die Berechnung der Wasserzu- und -abgänge vom und zum Grundwasser ist an dem Musterbeispiel der Meßstelle 527/128 Abflußjahr 1953 folgendermaßen durchgeführt worden.

I. Das Einzelverfahren (Tafel 1)

Die durch Vergleich je zweier unmittelbar aufeinander folgender wöchentlicher Grundwassermessungen ermittelten Beträge, um die der Grundwasserspiegel in der Zwischenzeit gestiegen ist, sind in Zeile 6, und wenn der Spiegel gefallen ist, in Zeile 5 eingetragen. Da es kaum einen praktischen Zweck haben dürfte, aus den in den Zeilen 5 und 6 angegebenen Zentimeterbeträgen des wöchentlichen Steigens und Fallens die in diesen kurzen Zeiträumen zu- oder abgehenden Wassermengen zu ermitteln, sind gleich die Monatssummen der Steig- und Fallbeträge des Grundwasserspiegels berechnet und in den Zeilen 9 und 10 der Spalten c-o eingetragen, z. B. für den Monat Dezember $+ 6 + 9 + 2 = 17$ cm und $- 2$ cm. In gleicher Weise sind die Zentimeterbeträge der Halbjahres- und Jahressummen für An- und Abstieg des Spiegels festgestellt und in denselben Zeilen, Spalten q-s angegeben.

Die in den Zeilen 12 und 15 in Anlage 1 eingetragenen „berechneten Anteile“ des Zuganges und des Abganges zum und vom Grundwasser sind durch Malnehmen des Einheitswertes von 2,25 l je Quadratmeter = 2,25 mmN für jede Woche mit der Anzahl der Wochen mit steigendem und gleichbleibendem Grundwasserspiegel in den Zeilen 7 und 8 berechnet worden. Diese Wochenzahlen ergeben sich ohne weiteres aus den Einzelwerten des Steigens und Gleichbleibens in den Zeilen 5 und 6, z. B. November: $+ 6, + 9, + 2$ gleich 3 Wochen Anstieg, keine Woche gleichbleibend, also $3 \times 2,25 = 6,75$ mmN; Februar: 1 Woche Anstieg, 1 Woche gleichbleibend, also $2 \times 2,25 = 4,50$ mmN. Die Summen des gesamten Wasserzuganges in der Zeile 14

und des gesamten Abganges in der Zeile 11 ergeben sich durch Addition der Werte der Zeilen 15 und 16, bzw. 12 und 13.

Mit diesen „beobachteten“ und „berechneten“ Mengen des Wasserzuganges und des Abganges ist die Summe der auf diese Weise erfaßbaren Vermehrungen und Verminderungen der Grundwassermenge festgestellt, soweit es das z. Z. übliche Verfahren der Grundwassermessungen an einem Tage der Woche ermöglicht. Alle die Bewegungen des Grundwasserspiegels, die in den 7 Tagen zwischen zwei Grundwassermessungen vorkommen und sich bis zur Messung am Schluß der betreffenden Woche wieder ausgleichen, fallen dabei für die Bestimmung des Grundwasserzu- und -abganges aus. Wie aus gelegentlichen in kürzeren Zeitabständen vorgenommenen Messungen hervorgeht, kommen solche sich in so kurzer Zeit kompensierenden Auf- und Abwärtsbewegungen des Grundwasserspiegels vor. Auf der anderen Seite können aber auch Bewegungen des Grundwasserspiegels erfaßt worden und in die Berechnung eingegangen sein, die gar keinen Wasserzu- oder -abgang mit sich gebracht haben, sondern durch Umlagerung innerhalb des Grundwasserstromes oder auf andere Weise entstanden sind, wie im Abschnitt C eingehend erläutert worden ist. Alle diese eben aufgeführten Möglichkeiten nicht oder zuviel erfaßter Bewegungen des Grundwasserspiegels führen natürlich zu Ungenauigkeiten bei der hier angewendeten Berechnungsart der Wasserzu- und -abgänge. Wenn es sich auch in vielen Fällen um kleine und kleinste Beträge handeln dürfte, so kommen aber ohne Frage auch bisweilen größere Mengen in Betracht, die erheblich ins Gewicht fallen und das Ergebnis beeinflussen können. In Zeile 17 sind die Monats- usw. -Summen der Niederschläge bei der am nächsten gelegenen Wetter-Dienststelle Groß-Gerau angegeben.

Die bildliche Darstellung der normalen Ganglinie des Grundwassers in der Meßstelle 527/128 im Abflußjahre 1953 (Taf. 1, Zeile 4), einschließlich der zur Ergänzung beigefügten letzten Messung des vorhergehenden Abflußjahres am 27. 10. 1952 (Spalte b) und der ersten Messung des folgenden Jahres am 2. 11. 1953 (Spalte p), der Summen der Niederschläge und der Zugangsmengen, sowie der in den Spalten t, u und v graphisch in demselben Maßstabe wie die Monatssummen gezeichneten Halbjahres- und Jahressummen sollen nur ein anschauliches Bild der Größenverhältnisse dessen geben, was in der Zahlentabelle als Einzelwerte zusammengestellt ist.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, daß bei der Berechnung der Zugangsmengen in einem Monat bisweilen mehr Wasser zuge laufen zu sein scheint, als in diesem Zeitraum Niederschläge gefallen sind, wie es z. B. in dem Muster im Dezember 1952 und im Januar 1953 der Fall ist. Dieser scheinbare Widerspruch findet seine einfache Erklärung teils darin, daß die „Zugangsmomente“ und die „Niederschlagsmomente“ nicht genau zusammenfallen, sondern sich etwas überschneiden, wie oben schon verschiedentlich betont ist, und teils dadurch, daß zwischen Niederschlag und Steigen des Grundwasserspiegels in der Regel ein zeitlicher Abstand verschiedener Dauer vorkommt, wie man es bekanntlich allenthalben beobachten kann. Infolgedessen erscheinen die aus dem Steigen des Spiegels abgeleiteten Zugangsmengen öfter erst in einem späteren Zeitabschnitt, in dem die Niederschlagshöhe kleiner als der für diese ermittelten Wasserzugang zum Grundwasser ist.

II. Das summarische Verfahren (Tafel 2)

In dem Schaubilde (Zeile 4) ist die dem summarischen Verfahren zugrunde gelegte schematisierte Ganglinie durchlaufend durch die Grundwasserstände des Anfanges der Berichtszeit am 27. 10. 1952 (A), des Maximums am 29. 12. 1952 (Max), der Halbzeit am 27. 4. 1953 (H), des Minimums am 27. 9. 1953 (Min) und des Endes der Berichtszeit am 26. 10. 1953 (E) der Meßstelle 527/128 gezeichnet worden. Die zum Vergleich als gestrichelte Linie eingetragene normale Ganglinie zeigt, daß im vorliegenden Falle einerseits die Grundformen beider Linien im wesentlichen übereinstimmen, daß aber andererseits verschiedene rückläufige Bewegungen des Grundwasserspiegels in den sonst an- oder absteigenden Abschnitten durch die schematisierte Linie abgeschnitten werden und damit aus der Berechnung der Wasserzu- und -abgänge herausfallen. Die genauso wie beim Einzelverfahren zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meßzeiten, in diesem Falle der Abschnitte A bis Max, Max bis H, H bis Min und Min bis E aus den beobachteten schematisierten Bewegungen des Grundwasserspiegels (Zeilen 9 und 10), ermittelten Werte für Wasserzu- und -abgänge (Zeilen 16 und 13) sind auf der linken Seite über dem betreffenden Abschnitte eingetragen. Zum Zwecke der Vereinfachung ist auf ein Abzählen der in den einzelnen Abschnitten vorkommenden Wochen mit steigendem oder gleichbleibendem Grundwasserstande verzichtet worden und an dessen Stelle jeweils $\frac{2}{3}$ der Wochen in den Abschnitten mit steigender Tendenz den berechneten Zu- und Abgängen zu Grunde gelegt worden. Diese Zahlen sind in der üblichen Weise auf- oder abgerundet in den Zeilen 7/8 angegeben, aus denen sich dann durch Malnehmen mit 2,25 die Werte in den Zeilen 12 und 15 ergeben. Die Gesamtsumme der Wasserzu- und -abgänge jedes Abschnittes liefern durch Addition der Werte der beobachteten Mengen die Gesamtbeträge der Zeilen 14 und 11. Schließlich sind die Summen der Niederschläge in den Abschnitten aus den Monatssummen berechnet und in Zeile 17 verzeichnet.

Zum Vergleich sind jeweils rechts über den Abschnitten die für diese geltenden nach dem Einzelverfahren berechneten Beträge in der gleichen Weise zusammengestellt. In den Spalten q, r, s sind die Halbjahres- und Jahressummen, wie sie sich aus dem summarischen Verfahren ergeben haben, zahlenmäßig und in den Spalten t, u, v bildlich wiedergegeben.

III. Vergleich der Ergebnisse des Einzelverfahrens und des summarischen Verfahrens miteinander

Von den auf Taf. 2 nebeneinander gestellten Ergebnissen der beiden Verfahren sind in sämtlichen Abschnitten der Ganglinie des Jahres 1953 bei der Meßstelle 527/128 diejenigen des summarischen Verfahrens hinsichtlich der angesetzten Wochen mit steigendem oder gleichbleibendem Grundwasserspiegel (Zeile 7/8), Steigen oder Fallen des Grundwasserspiegels (Zeilen 10 und 9), und die aus diesen Grundwerten ermittelten beobachteten und berechneten Wasserzu- und -abgänge (Zeilen 16/15 und 13/12), sowie deren entsprechenden Summen (Zeilen 14 und 11) alle kleiner als diejenigen des Einzelverfahrens. Das gleiche gilt natürlich auch für die in den Spalten q, r, s der Taf. 1 und 2 aufgeführten Halbjahres- und Jahressummen, die zum leichteren Vergleich noch einmal in Tab. 3 zusammengestellt sind. Wenn auch dieses Verhältnis

Tabelle 3. Halbjahres- und Jahres-Summen der Spiegelbewegungen des Grundwassers Meßstelle 527/128 im Abflußjahr 1953 ermittelt nach dem Ein-

Abfluß- jahr	Nummer der Meßstelle	Halbjahres und Jahres-Summen des beobachteten						Anzahl der Wochen mit steigendem oder gleichbleibendem Grundwasserspiegel			Halbjahres- und der beobachteten		
		Anstieges			Abfalles						Zugänge zum Grundwasser		
		des Grundwasserspiegels									+		
+						-			mmN				
cm													
Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr		
Spalten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1953	527/128	Ermittelt nach											
		69	19	88	50	50	100	12	4	16	155,25	42,75	198,00
		Ermittelt nach											
		55	1	56	36	32	68	6	3	9	123,75	2,25	126,00
Unter-													
		14	18	32	14	18	32	6	1	7	31,50	40,50	72,00

Weitere Erläuterungen im Abschnitt D III des Textes.

nach der Art und Weise der beiden Verfahren zu erwarten war, wie die im nächsten Abschnitt E in großer Zahl durchgerechneten Spiegelbewegungen gezeigt haben, so kommen doch auch gelegentlich Ausnahmen von dieser Regel vor, die aber nur ganz geringe Beträge ausmachen. In den Jahreswerten sind sie meistens bereits mehr oder weniger ausgeglichen.

Somit ergeben sich bei dem Musterbeispiel der Meßstelle 527/128 für das Abflußjahr 1953 aus beiden Verfahren zwei verschieden hohe Werte für die zum und vom Grundwasser zu- und abgehenden Wassermengen, deren auf- bzw. abgerundete Endwerte mit 261 mmN beim Einzelverfahren und 173 mmN beim summarischen Verfahren um 88 mmN voneinander abweichen. Nach den im folgenden Abschnitt E beim Durchrechnen der Meßergebnisse einer größeren Anzahl von Meßstellen aus mehreren Abflußjahren gemachten Erfahrungen liegen im vorliegenden Falle die sich aus dem Einzelverfahren ergebenden Zahlenwerte, bei denen jedes einzelne Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels vollständig erfaßt worden ist, so daß auch alle die Bewegungen des Spiegels in die Rechnung eingegangen sind, die nicht durch wirkliche Wasserzu- und -abgänge, sondern durch andere Umstände wie Druckausgleich, Umlagerung im Grundwasser (vgl. Abschnitt D I) entstanden sind, ohne Zweifel über dem des tatsächlichen Wasserzuganges. Das summarische Verfahren dagegen, bei dem die vorübergehenden, oft nur kurze Zeit dauernden rückläufigen Bewegungen des Grundwasserspiegels mit dem erneuten Wiedereinsetzen der jeweils vorherrschenden steigenden oder fallenden Tendenz, die oft in erster Linie auf örtlich begrenzte andere Ursachen und nicht auf echte Wasserzu- oder -abgänge zurückzuführen sein werden, unberücksichtigt bleiben, erfaßt mit den Höchst- und Tiefstwerten nur die Hauptauswirkungen der Spiegelbewegungen durch merkliche Vermehrung oder Vermin-

und der Zu- und Abgänge zum und vom Grundwasser sowie deren Unterschiede in der Einzelverfahren und dem summarischen Verfahren. Musterbeispiel

Jahres-Summen Wasser-						Halbjahres- und Jahres-Summen der gesamten Wasser-					
Abgänge vom Grundwasser			der berechneten Wasserzu- und Abgänge zum und vom Grundwasser			Zugänge zum Grundwasser			Abgänge vom Grundwasser		
mmN			mmN			+			-		
Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
dem Einzelverfahren											
112,50	112,50	225,00	27,00	9,00	36,00	182,25	51,75	234,00	139,50	121,50	261,00
dem summarischen Verfahren											
81,00	72,00	153,00	13,50	6,75	20,25	137,25	9,00	146,25	94,50	78,75	173,25
schied											
31,50	40,50	72,00	13,50	2,25	15,75	45,00	42,75	87,75	45,00	42,75	87,75

derung der Grundwassermasse. Da aber auf diese Weise ohne Frage nicht alle Sonderbewegungen des Grundwasserspiegels und diese nicht alle vollständig durch örtliche Ursachen hervorgerufen werden, sondern z. T. auch auf echten Wasserzu- oder -abgängen beruhen und da diese beim summarischen Verfahren nicht berücksichtigt werden, sind die auf diese Weise ermittelten Mengen wahrscheinlich kleiner als der wirkliche Wert. Das Einzelverfahren und das summarische Verfahren liefern also einen oberen und einen unteren Grenzwert, zwischen denen der tatsächliche Betrag des Wasserzu- und -abganges anzunehmen ist.

E. Die Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene in den Abflußjahren 1952 bis 1954

Es ist nicht beabsichtigt, in diesem Abschnitt eine erschöpfende Darstellung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse des Grundwassers im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene zu geben. Dazu würden vielleicht wohl die untersuchten Meßstellen ausreichen, nicht aber die kurze Dauer der drei Abflußjahre. Außerdem stehen keinerlei Unterlagen über den oberirdischen Wasserabfluß in dem sehr ausgedehnten Bachnetz zur Verfügung. Das Ziel der folgenden Darlegungen ist es vielmehr, die Auswertung der Spiegelbewegungen, deren Verfahren im vorigen Abschnitt formal erläutert worden sind, auf eine größere Anzahl von Meßstellen in einem ausgedehnteren Gebiet für eine gewisse Zeit durchzuführen, um die Anwendbarkeit im größeren Rahmen zu erproben. Aus den dabei gewonnenen Einzel- und Mittelwerten werden sich mancherlei Schlüsse teils besonderer und auf das untersuchte Gebiet anwendbarer, teils aber auch solche allgemeinerer Natur ziehen lassen.

Für die Anwendung der Berechnung der Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels ist der nordöstlichste Teil der Oberrheinischen Tiefebene auf der rechten Seite des Stromes gewählt worden, da hier die dazu notwendigen Vorbedingungen und Unterlagen in ausreichendem Maße vorhanden sind. In seinem Bereich liegt das Gelände, in dem der Durchschnittswert des aufnehmbaren Wasservolumens bestimmt worden ist, der also mit einiger Zuverlässigkeit als Richtwert auf das Gesamtgebiet übertragen werden kann oder zum mindesten in Ermangelung eines besseren Wertes übertragen werden muß. Aus den sehr zahlreichen, über den ganzen Raum verteilten Grundwassermeßstellen des Landes Hessen ließ sich eine genügend große Anzahl so auswählen, daß sie als ausreichende Grundlage für die vorliegende Aufgabe dienen können und vor allem nicht von störenden Einflüssen, z. B. Rückstau und Umkehrung des Grundwasserstromes infolge Ansteigen des Wasserspiegels im Vorfluter, stark wechselnden und tiefen Abfall im Absenkungstrichter eines großen Wasserwerkes beeinflußt werden. Weiter liegen in diesem Gelände die drei Wetterdienststellen Flughafen Rhein-Main, Groß-Gerau und Langen, deren Niederschlagsmessungen einen unmittelbaren Vergleich mit den in ihrer näheren, z. T. auch etwas weiteren Umgebung gestatten. Schließlich sind die geologischen Verhältnisse einerseits durch die hessische und preußische geologische Karte 1 : 25 000, die den gesamten Raum überdecken, und andererseits durch zahlreiche neuere tiefe und flache Bohrungen recht gut bekannt.

I. Lage, Geländeformen,

Bodennutzung und oberflächliche Entwässerung des Gebietes

Das in der Lageskizze auf Taf. 3 dargestellte Gebiet des nordöstlichsten Teiles der Oberrheinischen Tiefebene wird im Westen vom Rhein und im Norden vom Main, den beiden Vorflutern des Grundwasserstromes, in natürlicher Weise abgegrenzt. Nach Osten mußte der eigentliche Rand der Tiefebene etwas überschritten werden, um auch hier in der oberirdischen Wasserscheide zwischen einigen Bächen und Flüssen, die teils unmittelbar zum Rhein und teils zum Main fließen, wieder eine natürliche Begrenzung zu gewinnen, die mit der unterirdischen Ostgrenze des Grundwasserstromes im wesentlichen zusammenfällt. Im Süden ist eine durch die Orte Darmstadt-Arheilgen und Wallerstädten gehende O-W-Linie als willkürliche Grenze gezogen.

Morphologisch läßt sich das im großen und ganzen nach Westen und Nordwesten abfallende Gelände in drei Stufen gliedern. Östlich der von Darmstadt über Arheilgen, Langen, Sprendlingen und Neu-Isenburg nach Frankfurt führenden Landstraße, die man noch als einen Teil der Bergstraße ansehen kann, erhebt sich im südlichen Teil ein kleines Hügelland, das mit seinen höchsten auf der Wasserscheide liegenden Kuppen eine Höhe von 200 m über N. N. nur an einzelnen Stellen wenig überschreitet und bereits nördlich von Neuisenburg auf ein flaches Gelände von 120—130 m absinkt, dem weiter im Norden, im Stadtgebiet von Offenbach, einige etwas höhere Erhebungen folgen. Im Westen schließt sich an diesen S-N verlaufenden Streifen als mittlere breite Stufe ein Gelände an, das von seiner bei 140 bis 120 m liegenden Ostgrenze nach Westen und Nordwesten allmählich auf 90 m absinkt. Im Norden ist es durch einige kleine aufgesetzte Kuppen, im Süden durch flach eingeschnittene, im großen und ganzen O-W verlaufende Bachtäler schwach gegliedert. Der Abfall dieser

Stufe zum Maintal im Nordwesten ist vielfach durch steilere Böschungen ausgezeichnet, während im Westen der Übergang zur tieferen Stufe in einer vielfach gewundenen Linie durch die Ortschaften Raunheim, Haßloch, Königstädten, Nauheim, Klein-Gerau immer sanftere Formen annimmt. Die hier beginnende dritte Stufe, die zum hessischen Ried gehört, ist durch eine ganz geringe Neigung nach Westen ausgezeichnet, wobei das Gelände nur in den westlichen Teilen der schwach eingesenkten Bachtäler, die vielfach in Altläufen des Mains und des Neckars liegen, und in der eigentlichen Rheinniederung die 85 m-Linie unterschreitet. Nur einzelne kleine Kuppen des Geländes gehen bis über N. N. + 95 m hinaus.

Der größere Teil des Gebietes ist, besonders im Norden und Osten, von Hochwald, Nadel- und Laubwald, bedeckt, innerhalb dessen nur in der näheren Umgebung der Ortschaften kleinere und größere Geländeteile mit Ackerland und Wiese eingeschlossen liegen. Nur in einer breiteren Zone am Südrande des Gebietes zieht sich vom Hügellande im Osten ein von kleinen Waldstücken nur wenig unterbrochenes, sonst zusammenhängendes Feld- und Wiesengelände bis zum Ried hin, wobei die zahlreichen Obstplantagen den Feldern zugerechnet sind. Das Ried enthält nur wenig Wald in einzelnen kleineren und größeren Flächen und wird sonst von Äckern und Wiesen eingenommen.

Die Ortschaften haben meistens nur geringe Ausdehnung und überwiegend eine lockere Bebauung. Nur in den kleinen Kernen der Orte trifft man auch wohl eine mehr geschlossene Bauweise. Sonst sind die Gebäude in der Regel von größeren und kleineren Gärten umgeben.

Die oberflächliche Entwässerung erfolgt im nördlichen Teile des Gebietes, abgesehen von einigen kleinen Bächen und Rinnsalen in der Mainniederung, im Nordosten eigentlich nur durch den Luderbach, der, am Rande des Hügellandes entspringend, unter dem Namen Königsbach zwischen Niederrad und Sachsenhausen in den Main fließt. Der wenig südlich von hier gleichfalls in nordwestlicher Richtung fließende Hengstbach, der ebenfalls aus dem Hügellande im Südosten kommt, findet beim Forsthaus Mitteldick, unweit der Siedlung Zeppelinheim, durch Versickern ein vorzeitiges Ende, ohne einen der Vorfluter zu erreichen. Zeitweilig soll er von der Versickerungsgegend einen oberirdischen Abfluß zum Gundbach bei Walldorf haben. Ein eigentliches ausgedehntes Bachsystem hat nur der Schwarzbach, dessen wichtigste Zuflüsse die vom Hügellande kommenden Wasserläufe Gerätsbach mit dem Wurzelbach, Heegbach mit Rutschbach und Silz, nach Aufnahme des Rupfenbaches von Wixhausen ab Mühlbach genannt, sowie der bei Walldorf entspringende Gundbach sind. Der Schwarzbach mündet bei Ginsheim in den Rhein, nachdem er bei Astheim noch ein kleines, einem Altlauf des Mains von Raunheim über Königstädten folgendes Gewässer aufgenommen hat. Der sich zwischen Wixhausen und Gräfenhausen vom Mühlbach abzweigende und in den Heegbach fließende Apfelbach hat einen wenig ausgeprägten natürlichen Zulauf aus dem Hahnwiesenbach, der die Fortsetzung des bei Messel entspringenden Mörsbaches bildet. Auch der aus Arheilgen kommende Schlimme Graben gibt sein Wasser durch den künstlichen Landgraben an den Schwarzbach ab. Dieses gesamte Bachsystem mit seinen mehr oder weniger künstlichen Bifurkationen und Verzweigungen überzieht das Gelände als ein wenig übersichtliches Netz.

II. Die geologischen und die hydrogeologischen Verhältnisse

Soweit der tiefere Untergrund für die vorliegende Aufgabe von Bedeutung ist, wird er im gesamten Gebiet von Ablagerungen und Eruptivgesteinen des Rotliegenden gebildet, die in Form von Schiefertonen, Sandsteinen, Arkosen, örtlich auch von Kalksteinen, und Melaphyr im Hügellande im Südosten in weiter Verbreitung an die Erdoberfläche kommen. Sie sind an verschiedenen Stellen von Durchragungen älterer und Durchbrüchen jüngerer Eruptivgesteine durchsetzt. Die Schichtenfolge der vielfach nahezu waagrecht liegenden Sedimentgesteine des Rotliegenden wechselt in horizontaler und vertikaler Richtung meistens sehr stark, so daß die Mächtigkeit der seitlich auskeilenden Schichtglieder oft in beträchtlichem Maße schwankt. Die mehr oder weniger porösen Sandsteine und Arkosen sowie die klüftigen Melaphyre und Kalksteine vermögen das Niederschlagswasser leicht aufzunehmen und abzugeben; doch ist die Weiterleitung infolge der geschilderten stratigraphischen Verhältnisse in Verbindung mit tektonischen Schichtenverschiebungen oft gehemmt, da die zwischen den wasserleitenden Gesteinen eingeschobenen schwer durchlässigen Schiefertone als Wasserstauer wirken. Dadurch wird im Rotliegenden die Bildung großräumiger Wasserspeicher vielfach verhindert, zumal die kleinen Wasseransammlungen in den durchlässigen Gesteinen mehr oder weniger voneinander abgeschlossen sind. Immerhin bilden die Schichten und Gesteine des Rotliegenden infolge der höheren Niederschläge in dem von ihnen eingenommenen Hügellande, in dem auch ein großer Teil der Bäche entspringt, ein wertvolles Speichergebiet des westlich anstoßenden Raumes der Oberrheinischen Tiefebene.

Die das Rotliegende diskordant überlagernden Sedimentgesteine des Tertiärs, das durch eine größere Anzahl von Schichtstufen verschiedenen Alters und verschiedener Gesteinsausbildung vertreten ist, bestehen in ihren älteren und mittleren Teilen (Oligozän und Miozän) aus Kalksteinen, Mergeln und Tonen, denen örtlich in geringer Menge auch sandige Ablagerungen eingeschaltet sein können. In den jüngsten tertiären Ablagerungen (Pliozän) herrschen meistens helle feine tonige Sande und weißliche Tone vor, während grobsandige und kiesige Bildungen recht selten und örtlich begrenzt sind. Das Tertiär tritt in größerer Verbreitung nur im Raume von Offenbach zutage. Sonst durchragen diese Ablagerungen die quartären Deckschichten nur in kleineren Flecken, z. B. bei Langen und Sprendlingen sowie in dem kleinen Hügel Steinmarkt nordöstlich von Bauschheim. Ihre weite Verbreitung im nahen und tieferen Untergrunde ist durch zahlreiche Bohrungen nachgewiesen, so daß man wohl eine ziemlich zusammenhängende Decke von Bildungen tertiären Alters in wechselnder Mächtigkeit zwischen dem Rotliegenden und dem Quartär in diesem Teile der Oberrheinischen Tiefebene annehmen kann. Wenn auch die klüftigen Kalksteine und die sandigen Einlagerungen des Tertiärs örtlich als Wasserleiter, allerdings meist geringerer Bedeutung, auftreten können, so wirken die Bildungen des Tertiärs doch im Schichtenverbände vorwiegend als Wasserstauer, vor allem im Gegensatz zu den meistens sehr gut wasserdurchlässigen Ablagerungen des Quartärs.

Der größte Teil des älteren Quartärs, des Pleistozäns, besteht aus Flußablagerungen, an deren Entstehung Rhein, Main, Neckar und auch kleinere Bäche des Hügellandes beteiligt sind. In der Hauptmasse sind es mehr oder weniger kiesige Sande mittleren bis groben Kornes, sandige Kiese, die örtlich auch in grobe Schotter

übergehen können, und feine Sande, die in Lagen wechselnder Mächtigkeit auftreten. Fast alle diese Bildungen sind in den im Abschnitt C beschriebenen Bohrprofilen vertreten. Tonige und lehmige Einlagerungen haben in der Regel vertikal und horizontal nur beschränkte Ausdehnung, können aber auch mit Stärken von mehreren Metern auftreten und sich über größere Flächen verbreiten. Diese Flußablagerungen liegen über dem Tertiär als eine große, wohl fast überall zusammenhängende geschlossene Decke zwischen Rhein und Main einerseits und Hügelland andererseits, wobei aber dessen rotliegende Schichten östlich von Sprendlingen und Neuisenburg unmittelbar von fluviatilen Pleistozän zugedeckt werden. Infolge junger tektonischer Schichtenbewegungen, die sich während der Ablagerung dieser Bildungen ereignet haben und auch heute wohl noch nicht ganz abgeklungen sind, schwankt ihre Mächtigkeit in sehr weiten Grenzen. Die jenseits der S-N verlaufenden östlichen Randverwerfung des Oberrheintalgrabens östlich von Neuisenburg und Sprendlingen auf dem Rotliegenden abgelagerten Schotter und Sande gehen über wenige Meter kaum hinaus. Westlich dieser Bruchzone steigt die Mächtigkeit der Flußbildungen bis zur Verwerfung in der Linie Haßloch-Klein-Gerau auf etwa 20 m an. In dem Grabeneinbruch im Raume Groß-Gerau-Rüsselsheim-Astheim zwischen der eben genannten Störung und dem westlichen Randbruch des Oberrheintalgrabens in der Linie Astheim-Rüsselsheim sind die pleistozänen fluviatilen Sande und Kiese von zahlreichen Bohrungen bis 100 m Tiefe nicht durchsunken worden. Westlich des eben genannten Randbruches sind diese Bildungen wieder nur wenige Meter stark und werden in ganz geringer Tiefe von verschiedenen Stufen des Tertiärs unterlagert.

Die Sande und Kiese des Quartärs sind in der Regel sehr gute Wasserleiter, welche die versickernden Niederschläge leicht aufzunehmen, in großen Mengen zu speichern, weiterzuleiten und wieder abzugeben vermögen. Örtlich wird der Wasserumlauf durch eingelagerte feine Sande und noch mehr durch eingeschaltete Ton- und Lehmlagen gehemmt. Treten letztere in größeren zusammenhängenden Massen auf, kann es auch zu einer Teilung des fließenden Grundwassers in eine tiefere und höhere Lage kommen. Dadurch wird vielfach der Eindruck erweckt, daß es sich um verschiedene Wasserstockwerke handele. Es bleibt aber meistens zweifelhaft, ob es wirkliche Stockwerke sind, die ganz voneinander getrennt sind. Nach der Art der Ablagerungen ist vielmehr anzunehmen, daß doch irgendwo ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen ihnen besteht, und daß sie somit nicht als echte Stockwerke angesprochen werden können.

Besonders in der mittleren Landschaftsstufe, örtlich aber auch auf der unteren, sind die fluviatilen Ablagerungen von sehr ausgedehnten pleistozänen Flugsanddecken überzogen, die die unterlagernden Bildungen nur an wenigen Stellen in kleinen Flächen an die Erdoberfläche kommen lassen. Weit verbreitet sind Dünen, teils in kleinen Kuppen, teils in längeren Zügen aufgeweht. Die Wasseraufnahme und -leitfähigkeit der Flugsande ist teils durch das feinere Korn und teils durch einen nicht selten auftretenden Tonstaub gegenüber den meist gröberen Flußsanden mehr oder weniger behindert, besonders in den humosen Teilen des Mutterbodens.

Im Bereich der unteren Landschaftsstufe tritt jungpleistozäner Schlick der Niederterrasse, der besonders von Rhein und Neckar bei Hochfluten abgesetzt ist und als ausgedehnte Decke an der Oberfläche auch die Flugsande vielfach überlagert, weit verbreitet auf. Er besteht vorwiegend aus feinem, z. T. mergeligem Ton, dessen

Mächtigkeit bis zu einem Meter ansteigen kann. Im feuchten Zustande ist er kaum wasserdurchlässig, wenn er aber austrocknet und rissig wird, kann er u. U. Niederschlagswasser leicht in den tieferen Untergrund weiterleiten, worauf bereits im Abschnitt C hingewiesen ist.

Holozänen Alters sind Anschwemmungen des fließenden Wassers in den Bachtäälern sowie in der Rheinniederung, an denen neben sandigen und örtlich auch kiesigen Bildungen vor allem solche lehmiger und toniger Natur beteiligt sind. Diese Auskleidung der als Wiesen genutzten Talniederungen mit schwer wasserdurchlässigem Auelehm wirkt ohne Frage in der Regel als Wasserstauer und ermöglicht dadurch die Nutzung des Bodens als Wiesen. Sie ist aber nach Untersuchungen des Verfassers öfter auch durch Sandablagerungen unterbrochen und führt dabei zur Versickerung von Bachwasser in den Untergrund und dann weiter in das Grundwasser. Gerade diese sandigen Verbindungsstellen zwischen den Bachläufen auf dem Auelehm und dem Wasserleiter des Grundwasserstromes sind es, die das oben beschriebene Wechselspiel zwischen Bachversickerung und Übertritt von Grundwasser in das Bachwasser herbeiführen.

III. Der Grundwasserstrom

Von einem eigentlichen Grundwasserstrom, d. h. von einer zusammenhängenden Wassererfüllung der Hohlräume der Gesteine des Wasserleiters in der festen Erdkruste, die sich, dem Gesetz der Schwere folgend, vom Ursprungsgebiet zum Vorfluter bewegt, kann nur im Bereich der fluviatilen Kiese und Sande die Rede sein. Diese Gesteinsmasse von gleichartiger Entstehung und daher auch mehr oder weniger gleichartiger Ausbildung ist ein wesentlicher Bestandteil der gesamten mittleren und unteren Stufe des Geländes, wenn auch die Mächtigkeit der Ablagerungen in weiten Grenzen schwankt. Dieser hier überall vorhandene gute Wasserleiter bildet die Grundlage des sich in ihm bewegenden Grundwasserstromes. In der oberen Geländestufe, in der sich die Verbreitung der pleistozänen Sande und Kiese auf das flache Gelände östlich Neuisenburg und Sprendlingen beschränkt, gehört nur dieser Teil bis zur oberirdischen Wasserscheide nach Osten zum Bereich des Grundwasserstromes. Die übrigen Teile dieser Stufe sind nur Speisungsräume für das Stromgebiet, wobei die Wasserzuführung teils oberirdisch durch Wasserläufe, aber teils auch unterirdisch durch unmittelbaren Übertritt des im Untergrunde angesammelten Wassers in den Wasserleiter des Stromgebietes erfolgt. Außer diesen Zuzugsgebieten erhält der Grundwasserstrom natürlich auch in seinem eigenen Gebiete in der mittleren und der unteren Geländestufe erheblich und wohl die größten Zugänge durch Versickerung von Niederschlägen teils unmittelbar durch den Boden, teils durch Bachversickerung.

Das Bild des Grundwasserstromes, dessen Entwicklung im westlichen Teile des hier behandelten Gebietes während der Jahre 1927—1950 in einer Abhandlung des Verfassers (1952 a) und dessen Stand am 2. Juli 1951 im Raume zwischen Rhein, Main, Odenwald und Neckar auf einer Anlage zu einem anderen Aufsatz desselben (1952 b) dargestellt ist, hat sich im Laufe der folgenden Jahre wohl im einzelnen etwas verändert, dürfte aber in großen Zügen so geblieben sein, wie er in den Veröffentlichungen wiedergegeben ist.

Der, abgesehen von dem nach Osten vorspringenden Senkungsgebiet östlich Neuisenburg und Sprendlingen an der Grenze der oberen und der mittleren Geländestufe

in breiter Front beginnende Grundwasserstrom fließt, bedingt durch die Lage der Vorfluter Main und Rhein im nordöstlichen Teile des Gebietes nach Nordwesten und im südlichen im großen und ganzen nach Westen. Die nicht ganz gradlinig verlaufende Grenzlinie zwischen beiden Teilen geht von Buchschlag ungefähr 2 km nördlich an Walldorf vorbei nach Rüsselsheim. Das am äußersten Nordende zwischen Sachsenhausen und Oberrad recht starke Gefälle von 0,5% nimmt im nördlichen, zum Main fließenden Ast des Stromes nach Südwesten und Süden stark ab und hält sich auf der Grenzlinie zwischen 0,09 und 0,15%, wobei der Abfall am Rande des Maintales natürlich erheblich steiler bleibt. Im südlichen, zum Rhein fließenden Ast des Stromes ist das Gefälle am Rande des Hügellandes zunächst recht steil und hat bei Arheilgen noch etwa 0,5%. Während in der Nordhälfte dieses Astes anschließend an die Gefällsverhältnisse an der Grenzlinie von der 105 m-Gleiche an der Grundwasserspiegel in nach Westen zunehmendem Maße immer flacher abfällt, bleibt er im südlichen Teile bis Braunshardt noch ziemlich steil, geht zunächst schnell, dann mehr allmählich auf das ganz flache Gefälle von 0,3% bei Groß-Gerau herunter.

Etwas anders liegen die Verhältnisse im nördlichen Teile der unteren Geländestufe, wo bei Bauschheim eine eigentümliche Erhebung des Grundwasserspiegels von 2—3 m über die durchschnittliche Höhe des Spiegels in der Umgebung seit langer Zeit bekannt ist (BERO 1933 und VIESOHN, 1934). 1942 hat E. F. HOFMANN diese Erscheinung in einer Lageskizze dargestellt und durch Aufsteigen von artesischem Wasser an einer Verwerfungsspalte erklärt. Der Verfasser der vorliegenden Arbeit, dem der Aufsatz von HOFMANN erst später bekannt geworden ist, hat in der erwähnten Abhandlung den von ihm benannten „Bauschheimer Wasserberg“ in erster Linie auf die Stauwirkung von eingelagerten feinen oder tonigen Sanden mit geringerer Wasserdurchlässigkeit, als sie den anderen fluviatilen Ablagerungen der Umgebung eigen ist, zurückgeführt. Gegen die Deutung einer Entstehung der Wasserkuppe durch aufsteigendes artesisches Wasser spricht der Umstand, daß der Verlauf der Ganglinien bei den im Bereich des Wasserberges liegenden Meßstellen mit dem bei den anderen in der Umgebung gelegenen Meßstellen seit Jahren übereinstimmt. Es ist kaum anzunehmen, daß eine artesische Quelle, um die es sich doch handeln müßte, stets so gleichmäßig schüttet, daß sich ihr Einfluß verwischt. Die Möglichkeit von Wasseranstieg an der Bruchzone, die in der Gegend des Wasserberges die nahe unter der Erdoberfläche gelegenen tertiären Schichten durchsetzt, ist freilich nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen. Das Einzugsgebiet des Wassers müßte dann im rheinhessischen Plateau oder nördlich des Mains, etwa zwischen Hochheim und Flörsheim, zu suchen sein. Erschwert wird die Beurteilung dadurch, daß sich unmittelbar östlich an den Wasserberg der tiefe Entnahmetrichter des Mainzer Wasserwerks Hof Schönau anschließt. Derartige tiefe Einsenkungen im Grundwasserspiegel ziehen sich in den Absenkungstrichtern der großen Wasserwerke der Stadt Frankfurt a. M. und der Industrie auf dem linken Mainufer entlang. Sonst wird der Grundwasserspiegel am Mainufer durch die zahlreichen Staustufen, die den Wasserspiegel fast das ganze Jahr auf derselben Höhe halten, stark beeinflusst. Am Rheinufer machen sich die Einflüsse länger dauernder Spiegelsenkungen im Strom bis weit über das Ufer hinaus bemerkbar, während sich diejenigen der kurzen Hochwässer nur in der Nähe des Ufers auszuwirken pflegen.

Tabelle 4. Monats-, Halbjahres-, Jahressummen sowie Jahres- und Dreijahres-Mittel und Längen (Hessen) in den Abfluß-

Abflußjahr	Wetterdienst-Stelle	Monats-Summen					
		November	Dezember	Januar	Februar	März	April
1952	Flughafen Rhein-Main	68,4	22,1	65,4	35,3	75,2	40,4
	Groß-Gerau	65,3	23,4	51,1	31,1	68,1	41,2
	Langen	80,9	23,7	84,4	52,9	81,2	40,9
	Mittel	71,5	23,1	67,0	39,8	74,8	40,8
1953	Flughafen-Rhein-Main	106,1	83,0	9,3	26,2	4,5	48,9
	Groß-Gerau	95,6	81,5	9,2	25,7	6,2	42,5
	Langen	130,9	111,7	18,2	38,7	8,0	65,1
	Mittel	111,0	92,1	12,2	30,2	6,2	52,2
1954	Flughafen Rhein-Main	8,6	27,5	35,7	18,1	28,5	38,2
	Groß-Gerau	8,4	26,9	38,9	10,5	26,2	32,7
	Langen	8,7	40,5	51,4	20,8	32,7	47,8
	Mittel	8,6	31,6	42,0	16,5	29,1	39,6

Dreijahresmittel 1952/54: Flughafen 585, Groß-Gerau 547,6, Langen 730,1, Gesamt 615,7 mm

IV. Die Niederschläge bei den Wetterdienststellen Flughafen Rhein-Main, Groß-Gerau und Langen (Hessen) in den Abflußjahren 1952—1954

Die vom Wetteramt Frankfurt a. M. freundlichst zur Verfügung gestellten Zahlenwerte der Monatssummen der Niederschläge bei den Wetterdienststellen Flughafen Rhein-Main, Groß-Gerau und Langen (Hessen) in den Abflußjahren 1952—1954, sowie die daraus berechneten Halbjahres- und Jahressummen und die Mittelwerte aller dieser Einzelbeträge sind in Tab. 4 zusammengestellt, letztere auch graphisch in Abb. 1 wiedergegeben. Da die drei verhältnismäßig nahe zusammenliegenden und damit unter ähnlichen meteorologischen Verhältnissen stehenden Wetterdienststellen einen in ihren Grundzügen gleichartigen Ablauf der Niederschlagstätigkeit aufweisen, geben die Mittelwerte sowohl in den Zahlenreihen wie besonders in der figürlichen Darstellung ein für diese kurze Übersicht hinreichend zuverlässiges und klares Bild dieser Vorgänge. Auf den Taf. 1, 2, 4 und 5 sind mit den Ganglinien des Grundwasserspiegels auch die Monatssummen der Niederschläge bei der jeweils am nächsten oder unter gleichartigen meteorologischen Verhältnissen stehenden Wetterdienststelle eingetragen worden, um einen unmittelbaren Vergleich zwischen den Niederschlägen und den Wasserzugängen zu erleichtern.

Naturgemäß ist die am höchsten über N. N. gelegene Wetterdienststelle Langen fast in allen Monaten und in den meisten Halbjahren sowie in allen ganzen Jahren mit der größten Menge am Durchschnitt beteiligt, während Groß-Gerau und Flughafen in der Regel wenig voneinander abweichende, aber etwas geringere Beiträge liefern. Im einzelnen ist die Niederschlagstätigkeit folgendermaßen abgelaufen.

Im Abflußjahre 1952 wechseln in den ersten zehn Monaten, November 1951 bis August 1952 regenreiche und regenarme Monate fast gleichmäßig miteinander ab, denen dann im September und Oktober 1952 zwei Monate mit hohen Niederschlägen folgen. Das führt dazu, daß die Regenhöhe des Winterhalbjahres 1952 mit im Mittel

der Niederschläge bei den Wetterdienststellen Flughafen Rhein-Main, Groß-Gerau
 jahren 1952–1954 in mm-Regenhöhe

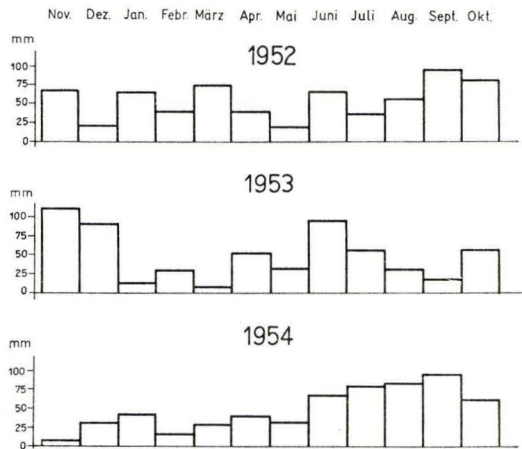
Monats-Summen						Halbjahres-Summen		Jahres-Summen
Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Winter	Sommer	
19,3	76,5	42,1	60,8	104,1	74,5	306,8	377,3	648,1
15,1	65,8	35,1	58,6	80,5	72,9	280,2	328,0	608,2
25,6	57,1	28,7	53,6	102,1	102,6	364,0	369,7	733,7
20,0	66,5	35,3	57,5	95,6	83,3	316,7	358,3	675,0
26,3	85,5	61,7	29,1	21,1	48,2	278,0	271,9	549,9
33,6	76,9	49,2	18,0	12,2	62,6	260,7	252,5	513,2
36,4	125,4	62,0	42,4	19,8	61,8	372,6	347,8	720,4
32,1	95,9	57,6	29,8	17,7	57,5	303,8	290,7	594,3
28,5	58,5	77,1	92,8	87,7	55,9	156,6	400,5	557,1
33,4	54,8	55,8	76,3	111,4	46,2	143,6	377,9	521,5
29,6	85,9	89,4	84,2	85,1	79,0	201,9	453,2	655,1
30,5	66,4	77,8	84,4	94,7	60,4	167,4	410,3	577,9

Weitere Erläuterungen im Abschnitt E IV des Textes.

316,7 mm nur wenig unter der des Sommers mit 358,3 mm liegt. Die Jahressummen von Groß-Gerau mit 608,2 mm und von Langen mit 733,7 mm übersteigen den langjährigen Durchschnitt 1901–1949 (BURRE 1952a, S. 222) von 582 bzw. 700 mm nur unbedeutend.

Die hohen Niederschläge am Schluß des vorhergehenden Jahres setzen sich im November und Dezember 1952 des Abflußjahres 1953 verstärkt fort, worauf dann eine recht niederschlagsarme Periode von fünf Monaten, Januar bis Mai 1953, folgt. An die sehr starken Regenfälle im Juni 1953 schließen sich vier Monate mittlerer Niederschlagshöhe an. Bei allen drei Wetterdienststellen ist in diesem Jahr die Summe der Win-

Monatssummen



Halbjahres- und Jahressummen

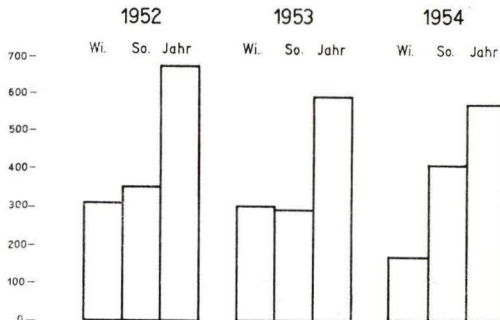


Abb. 1. Monats-, Halbjahres- und Jahres-Summen der Niederschläge bei den Wetterdienststellen Flughafen Rhein-Main, Groß-Gerau und Langen (Hessen) in den Abflußjahren 1952–1954.

terniederschläge im Gegensatz zu dem sonst üblichen Verhältnis größer als die des Sommers. Die Jahressummen 1953 liegen bei Groß-Gerau mit 513 mm unter und bei Langen mit 720 mm eben über denen des langjährigen Mittels.

Der Winter des Abflußjahres 1954 ist durch sehr spärliche Niederschläge gekennzeichnet, dessen Halbjahressumme von 167,4 mm sehr weit hinter der des Sommers mit 410,3 mm zurückbleibt. Dieser relativ hohe Betrag reicht aber nicht aus, die Jahressummen von Groß-Gerau und Langen an das langjährige Mittel heranzubringen. Das Abflußjahr 1954 ist mit einem Mittel von 577,9 mm das schwächste der dreijährigen Berichtszeit.

Das dreijährige Mittel der Niederschläge bei Groß-Gerau von 547,4 mm liegt um 34,6 mm tiefer als das langjährige Mittel von 1901—1949 von 582 mm und dasjenige von Langen von 703,1 mm fast in derselben Höhe des langjährigen Mittels von 700 mm. Somit kann man diesen Dreijahresabschnitt im ganzen wohl als eine Periode etwa mittlerer Niederschlagshöhe bezeichnen.

Über die Art, wie diese Niederschläge gefallen sind, als Schauer, Platzregen, Landregen, Schnee, Hagel usw., mit schnellem oder langsamem Abtauen und über die Bedingungen, unter denen sie den Boden erreicht haben, pulvertrocken, feucht, naß, wassergesättigt, rissig usw. liegen keine Unterlagen vor. Alle diese Umstände, die ohne Frage auf den Versickerungsvorgang von großem Einfluß sind, können also nicht berücksichtigt werden.

V. Die Grundwasserentwicklung in den Abflußjahren 1952 bis 1954 und ihre Ursachen

Zur Darstellung, Erläuterung und Beurteilung der Grundwasserentwicklung im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene in den Abflußjahren 1952—1954 sind aus der großen Zahl von Meßstellen 22 so ausgewählt worden, daß sie den im Abschnitt C gestellten Forderungen: Vollständigkeit der Meßreihen, kein unmittelbarer Einfluß der Wasserentnahme durch benachbarte Wasserwerke auf den Grundwasserspiegel, kein Rückstau infolge Ansteigen des Spiegels im Vorfluter, gleichmäßige Verteilung auf das zu untersuchende Gelände (siehe Geländeskizze auf Anlage 3) im wesentlichen gerecht werden. Hinsichtlich der zuerst genannten Bedingung mußten bei einigen wenigen Wasserstandslisten Lücken von 1—2 Meßtagen, d. h. für den Zeitraum von einer bis zwei Wochen in Kauf genommen werden. Von den 22 Meßstellen liegen 50 Grundwasserstandslisten vor, die sich folgendermaßen auf die einzelnen Jahre verteilen: 1952 13, 1953 19 und 1954 18 Listen; von 3 Meßstellen stehen nur je eine Jahresliste, von 10 zwei und von 9 alle drei Jahreslisten zur Verfügung. Diese verhältnismäßig geringe Zahl, die ungleichmäßige Verteilung und Gliederung haben ihren Grund darin, daß einige Meßstellen erst im Laufe des Jahres 1952 eingerichtet worden sind, andere nur alle 14 Tage gemessen werden, weitere Listen größere Lücken oder derartige Unregelmäßigkeiten aus nicht erkennbaren Ursachen aufwiesen, daß sie als für die vorliegende Aufgabe unbrauchbar ausgeschieden werden mußten.

Um eine Überlastung dieser Abhandlung mit einem ohnehin schon sehr reichlichen Zahlenmaterial zu vermeiden, ist auf eine tabellarische Wiedergabe der 50 Grund-

wasserstandslisten mit ihren etwa 2600 Einzelwerten verzichtet worden. Die Listen liegen im Archiv des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung in Wiesbaden und können dort eingesehen werden. Wenn auch die Einzelwerte dieser Grundwasserstandslisten die zahlenmäßige Grundlage für alle weiteren Berechnungen und deren Bewertung und Beurteilung bilden, so werden sie doch für die weitere Behandlung nicht unbedingt benötigt, während die daraus abgeleiteten zahlenmäßigen Beziehungen, wie sie in den beigegeführten Tabellen zusammengestellt sind, für die vorliegende Aufgabe der Berechnung der Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser unmittelbar gebraucht werden. Die in der Tab. 5 angegebenen Grundwasserstände über N. N. sind daher auf die Hauptpunkte der Ganglinien und die zugehörigen Tagesdaten beschränkt worden. Die außerdem in dieser Tabelle aufgeführten Halbjahres- und Jahresmittel der Grundwasserstände über N. N., sowie die Tiefenlage der Maxima und Minima und der Jahresmittel unter Flur sind für verschiedene Sonderbeurteilungen von Bedeutung. Schließlich geben die nach den Zahlenwerten der Grundwasserstandslisten auf den Taf. 4 und 5 graphisch mit ihren Ecken, Knicken und Spitzen gezeichneten Darstellungen der normalen Ganglinien, die für die zu unterscheidenden Typen charakteristisch sind, ein anschauliches Bild der Spiegelbewegungen, die natürlich in Wirklichkeit krummlinige Bewegungskurven sind. In Tab. 5 sind es dieselben Punkte, die auch beim summarischen Verfahren zur Berechnung der Wasserzugänge usw. verwendet werden: Anfang und Ende des Abflußjahres, Halbzeit (= Schluß des Winterhalbjahres = Beginn des Sommerhalbjahres), (Sp. 1—3), Höchst- und Tiefstwerte (Sp. 4 und 5).

Stellt man alle für die vorliegende Aufgabe verwendbaren Ganglinien der 22 Meßstellen aus den drei Abflußjahren zusammen, von denen 11 auf den Taf. 4 und 5 wiedergegeben sind, so zeigt sich eine außerordentliche Mannigfaltigkeit und Vielartigkeit der Gangbilder, aus denen nur schwer bestimmte Gesetzmäßigkeiten abzuleiten sind. Wohl lassen die Ganglinien einer Meßstelle in manchen Fällen in den aufeinanderfolgenden Jahren durch das Steigen und Fallen des Spiegels eine Folgewirkung der Schwankungen der Niederschläge erkennen, wenn sich auch die zeitliche Folge nicht immer unmittelbar anschließt, sondern in wechselnden Abständen hinterherkommt (Taf. 4: Meßstellen 507/36, 527/38 u. 2, Winter 1952 u. 53, Taf. 5: alle Meßstellen). Bei anderen Meßstellen (527/56, Taf. 4 Winter 1954) ist das keineswegs in gleichem Maße der Fall; auch bleibt die Wirkung bisweilen ganz aus und an Stelle des zu erwartenden Steigens des Grundwasserspiegels nach stärkeren Niederschlägen zeigt sich ein Fallen, oder umgekehrt (Taf. 4 M. St. 507/36, 527/38 u. 2 im Sommer 1954; 527/56, 171, 55 im Sommer 1954).

Die schärfsten Gegensätze zeigen sich jedoch, wenn man innerhalb der einzelnen Jahre, in denen im gesamten Gebiet nach den Ausführungen im Abschnitt E IV wenn auch nicht genau übereinstimmende, so doch ähnliche Niederschlagsverhältnisse geherrscht haben, miteinander vergleicht. So stehen z. B. im Jahre 1953 den in ruhigem und gleichmäßigem Gange verlaufenden Spiegelbewegungen mit mittelsteilen, kaum durch Rückläufe unterbrochenem Anstieg mäßiger Höhe mit dem Maximum etwa am Ende des Winterhalbjahres und flachem Absinken im Sommer (Taf. 4, M. St. 507/36, 527/38 u. 2) solche mit sehr steilen, sprunghaften, öfter durch rückläufige Bewegungen unterbrochenen Anstiege, dem Maximum in der ersten Hälfte

Tabelle 5. Grundwasserstände in 22 Meßstellen im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene während der Abflußjahre 1952-1954

Jahr	Nummern der Meßstellen	Grundwasserstände														
		über N.N.									unter Flur					
		Winter			Sommer			Jahres-			Halbjahres- und Jahres-			Jahres-		
		Anfang	Halbzeit	Ende	Maximum		Minimum		Mittel			Maxi-	Mini-	Mittel		
des Abflußjahres			Tag		Tag		m			imum	imum	m				
m			m		m		Winter	Sommer	Jahr	m						
Spalten		1	2	3	4		5		6	7	8	9	10	11		
Gruppe (Teilraum) a mit überwiegend stetigem Verlauf der Ganglinien																
		Tag	29.10.51	28.4.52	27.10.52											
1952	507	40	101,18	99,93	99,87	5. 11. 51	101,18	31. 3. 52	99,85	99,98	99,98	99,98	10,51	10,84	10,91	
	527	38	89,45	89,87	89,35	28. 4. 52	89,87	13. 10. 52	89,33	89,57	89,54	89,56	2,93	3,47	3,24	
		2	95,31	95,67	95,31	23. 6. 52	95,75	3. 12. 51	95,27	95,38	95,62	95,50	3,19	3,67	3,44	
		168	83,38	83,43	83,24	2. 6. 52	83,50	27. 10. 52	83,24	83,33	83,39	83,36	4,37	4,63	4,51	
		Tag	27.10.52	27.4.53	26.10.53											
1953	507	34	88,22	88,52	88,12	26. 1. 53	88,76	26. 10. 53	88,12	88,59	88,29	88,44	17,68	18,50	18,18	
		35	98,14	98,86	98,50	9. 3. 53	98,88	3. 11. 52	98,13	98,62	98,69	98,66	11,34	12,09	11,56	
		36	94,81	95,60	95,17	23. 3. 53	95,60	27. 10. 52	94,81	95,36	95,39	95,38	4,10	4,87	4,32	
		40	99,87	100,49	100,18	4. 5. 53	100,50	3. 11. 52	99,87	100,19	100,37	100,33	10,19	10,82	10,41	
	527	7	92,64	93,25	92,34	5. 1. 53	93,54	26. 10. 53	92,34	93,22	92,73	93,04	0,68	1,88	1,18	
		38	89,35	90,14	89,38	23. 2. 53	90,26	3. 11. 52	89,37	90,11	89,70	89,89	2,54	3,43	2,91	
		2	95,31	95,88	95,67	20. 4. 53	95,88	3. 11. 52	95,31	95,55	95,74	95,65	3,06	3,63	3,29	
		168	83,24	83,73	83,28	30. 3. 53	83,73	2. 11. 52	83,23	83,53	83,51	83,52	4,14	4,64	4,35	
		Tag	26.10.53	26.4.54	25.10.54											
1954	507	35	98,50	98,04	97,69	9. 11. 53	98,47	18. 10. 54	97,69	98,26	97,83	98,04	11,75	12,53	12,18	
		36	95,17	94,74	94,51	26. 10. 53	95,16	18. 10. 54	94,51	94,93	94,62	94,77	4,54	5,19	4,93	
	527	38	89,38	89,41	89,22	26. 4. 54	89,41	13. 9. 54	89,17	89,35	89,27	89,31	3,39	3,63	3,49	
		2	95,67	95,31	95,22	2. 11. 53	95,63	30. 8. 54	95,11	95,48	95,19	95,35	3,31	3,83	3,61	
		168	83,28	82,97	82,77	2. 11. 53	83,27	25. 10. 54	82,77	83,09	82,87	82,98	4,60	5,10	4,89	

Gruppe (Teilraum) b mit teils stetigem, teils unstetigem Verlauf der Ganglinien

		Tag	29.10.51	28.4.52	27.10.52										
1952	527	4a	82,73	83,13	82,68	7. 4. 52	83,20	18. 8. 52	82,58	82,91	82,72	82,81	2,54	3,16	2,93
		173	84,71	85,22	84,81	14. 4. 52	85,24	18. 8. 52	84,64	84,94	84,80	84,87	2,32	2,92	2,69
		55	86,44	87,14	86,34	28. 4. 52	87,14	15. 9. 52	86,23	86,80	86,57	86,68	0,80	1,71	1,26

		Tag	27.10.52	27.4.53	26.10.53										
1953	527	171	85,31	86,03	85,06	9. 2. 53	86,25	26. 10. 53	85,06	85,97	85,50	85,74	2,53	3,72	3,04
		56	86,25	86,90	86,34	16. 2. 53	87,05	27. 10. 52	86,25	86,87	86,56	86,72	1,65	2,40	1,98
		55	86,34	87,21	86,26	23. 2. 53	87,44	26. 10. 53	86,26	87,19	86,69	86,94	0,50	1,68	1,00
		Tag	26.10.53	26.4.54	25.10.54										
1954	527	4a	82,61	82,53	82,70	4. 10. 54	82,83	23. 11. 53	82,53	82,56	82,66	82,61	2,91	3,21	3,13
		173	84,51	84,72	84,51	12. 4. 54	84,73	13. 9. 54	84,39	84,59	84,48	84,52	2,83	3,17	3,02
		171	85,06	85,77	85,22	11. 1. 54	85,82	3. 5. 54	84,83	85,25	85,41	85,33	2,96	3,95	3,45
		56	86,34	86,29	86,02	2. 11. 53	86,36	20. 9. 54	85,95	86,28	86,10	86,19	2,34	2,75	2,56
		55	86,26	86,66	86,28	29. 3. 54	86,68	9. 11. 53	86,18	86,48	86,34	86,41	1,26	1,76	1,53
Gruppe (Teilraum) c mit überwiegend unstetigem Verlauf der Ganglinien															
		Tag	29.10.51	28.4.52	27.10.52										
1952	527	1	105,19	105,86	105,45	31. 3. 52	106,25	22. 9. 52	105,12	105,57	105,36	105,47	1,63	2,56	2,21
		165	83,90	84,41	83,92	7. 4. 52	84,53	1. 9. 52	83,79	84,14	83,98	84,06	2,64	2,98	2,71
		169	87,73	88,32	88,19	31. 3. 52	88,56	18. 8. 52	87,40	88,17	87,72	87,92	0,54	1,70	1,18
		170	89,64	90,17	90,04	31. 3. 52	90,49	18. 8. 52	89,44	90,10	89,73	89,92	0,97	2,02	1,54
		172	83,00	83,40	82,98	7. 4. 52	83,48	22. 9. 52	82,86	83,18	83,06	83,12	3,23	3,85	3,59
		Tag	27.10.52	27.4.53	26.10.53										
1953	527	12	100,21	100,45	99,91	29. 12. 52	100,85	26. 10. 53	99,91	100,59	100,25	100,42	1,19	2,13	1,62
		13	107,53	107,95	107,40	29. 12. 52	108,40	12. 10. 53	107,40	108,06	107,66	107,86	2,20	3,20	2,74
		1	105,45	105,82	105,10	22. 12. 52	106,39	26. 10. 53	105,10	106,04	105,44	105,74	1,29	2,58	1,94
		51	88,61	88,74	87,91	22. 12. 52	89,28	26. 10. 53	87,91	89,01	88,28	88,65	0,44	1,81	1,07
		169	88,19	88,12	87,41	1. 12. 52	88,72	14. 9. 53	87,41	88,40	87,70	88,05	0,38	1,69	1,05
		170	90,04	90,19	89,50	22. 12. 52	90,71	12. 10. 53	89,49	90,35	89,79	90,07	0,75	1,97	1,39
		172	82,98	83,30	82,87	29. 12. 52	84,05	19. 10. 53	82,87	83,51	83,07	83,29	2,66	3,84	3,42
		Tag	26.10.53	26.4.54	25.10.54										
1954	527	12	99,91	100,14	100,11	3. 5. 54	100,15	9. 8. 54	99,92	100,07	100,01	100,04	1,89	2,12	2,00
		13	107,40	107,52	107,43	12. 4. 54	107,52	6. 9. 54	107,33	107,44	107,39	107,42	3,08	3,27	3,18
		1	105,10	105,23	104,93	25. 1. 54	105,35	13. 9. 54	104,84	105,18	104,97	105,07	2,33	2,84	2,61
		51	87,91	88,66	88,49	5. 4. 54	88,80	9. 8. 54	88,09	88,53	88,32	88,42	0,92	1,81	1,30
		169	87,41	88,08	87,90	12. 4. 54	88,32	2. 11. 53	87,61	88,06	87,78	87,84	0,88	1,49	1,23
		170	89,50	90,02	89,88	12. 4. 54	90,09	9. 8. 54	89,56	89,89	89,76	89,82	1,37	1,90	1,64
		172	82,87	82,95	82,89	20. 9. 54	83,04	9. 8. 54	82,83	82,93	82,94	82,94	3,67	3,88	3,77
				Tag	82,77	82,90	82,84	4. 10. 54	83,21	2. 9. 54	82,72	82,87	82,87	1,00	1,00

Weitere Erläuterungen im Abschnitt E V des Textes.

des Winterhalbjahres und unregelmäßigem Abstieg im Sommer gegenüber (Taf. 5, M. St. 527/1, 170, 169).

Sowohl diese Gegenüberstellungen in großen Zügen, wie zahlreiche Einzelbeobachtungen und Vergleiche an Hand der Ganglinien auf den Taf. 4 und 5 zeigen, daß die Grundwasserentwicklung im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene sehr uneinheitlich ist. Geht man nun, um diese unübersichtliche Vielfältigkeit zu entwirren, zunächst von der äußeren Erscheinungsform der Ganglinien aus, so lassen sich drei Grundtypen mehr oder weniger scharf gegeneinander abgrenzen, die unter sich eine Anzahl gemeinsamer Merkmale haben, wenn sie auch nicht in allen Einzelheiten der Form und des Maßes übereinstimmen.

Einer dieser Grundtypen ist dadurch gekennzeichnet, daß die Form der Ganglinie ein nahezu gleichmäßiges, nur in engen Grenzen schwankendes Auf- und Absteigen des Grundwasserspiegels ohne wesentliche Unterbrechungen durch rückläufige Bewegungen erkennen läßt. Die Ganglinien solcher Meßstellen (Taf. 4, Nr. 507/36, 527/38 u. 2) erscheinen als nur schwach geknickte, teilweise auch fast gerade Linien (vgl. Abschnitt D). Da diese Ganglinien in ihrer äußeren Form einer stetigen Kurve ähneln, in einzelnen Teilen auch wohl mit einer solchen übereinstimmen können, sollen die Meßstellen 507/34, 35, 36, 527/2, 7, 38, 40, 168, deren Ganglinien die oben beschriebenen Merkmale der Stetigkeit zeigen, als Gruppe a der Meßstellen mit überwiegend stetiger Ganglinie zusammengefaßt werden.

Ein zweiter Grundtyp der Erscheinungsformen der Ganglinien ist dadurch charakterisiert, daß ein Teil der Spiegelbewegungen ähnlich wie bei den Meßstellen der Gruppe a, also zeitweilig stetig ist (Taf. 4, M. St. 527/56, 171, 155), wenn auch nicht ganz so scharf ausgeprägt wie dort, während ein anderer Teil der Bewegungen stärkere Abweichungen davon zeigt, auch wohl durch einzelne rückläufige Bewegungen, meist kürzerer Dauer, unterbrochen ist, also im Schaubilde unstetig erscheint. Aus diesen beiden Grundmerkmalen ist die Bezeichnung Gruppe b der Meßstellen mit teils stetiger, teils unstetiger Ganglinie gebildet worden. Zu ihr sind die Meßstellen 527/4a, 55, 56, 171 und 173 zu rechnen.

Allen übrigen Meßstellen ist der Grundtyp der Erscheinungsform der Ganglinien eigen, daß die Bewegungen des Grundwasserspiegels meistens schnell und sprunghaft vor sich gehen und häufig durch rückläufige Bewegungen unterbrochen werden, was aber nicht hindert, daß der Gesamtabstand zwischen Maximum und Minimum in einzelnen Jahren sehr groß ist (Taf. 5 alle Meßstellen). Das charakteristische dieses Grundtyps ist die Unstetigkeit, der gegenüber einige nahezu stetig erscheinende Teile der Ganglinien gar nicht ins Gewicht fallen. Diese Gruppe soll daher mit allen ihren Meßstellen 527/1, 12, 13, 51, 165, 169, 170, 172 und 179 als Gruppe c der Meßstellen mit überwiegend unstetigem Verlauf der Ganglinien benannt werden.

Diese zunächst aus der Form der Ganglinien abgeleitete Gliederung der Meßstellen in drei Gruppen mit charakteristischen Spiegelbewegungen ist nicht nur auf diese äußeren Merkmale gegründet. Wie im Verlauf der weiteren Ausführungen dargelegt wird, sind die grundlegenden Typenelemente das Ergebnis einer Reihe von Umständen und Vorgängen, auf deren verschiedenartiger Wirkung die Unterschiedlichkeit der Grundwasserentwicklung im Bereich des nordöstlichsten Teiles der Oberrheinischen Tiefebene beruht. Diese somit naturgemäß gegebene Stoffeinteilung wird

daher nicht nur der Behandlung der Grundwasserentwicklung, sondern auch den sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen zu Grunde gelegt. Äußerlich kommt das in der Unterteilung der Meßstellen in die drei Gruppen mit überwiegend stetigem, mit teils stetigem teils unstetigem und mit überwiegend unstetigem Verlauf der Ganglinien auf den Taf. 4 und 5 und in den Tab. 5—8 zum Ausdruck.

Innerhalb der einzelnen Gruppen ist folgende Grundwasserentwicklung festzustellen, deren Unterlagen in den genannten Tafeln und Tabellen zusammengestellt sind.

Im Winterhalbjahre des Abflußjahres 1952 zeigten die vier der Gruppe a mit überwiegend stetigem Verlauf der Ganglinien angehörenden Meßstellen 507/40, 527/38, 2, 168 zunächst einen schwachen Abfall des Grundwasserspiegels von verschiedener Dauer, dem dann ein ebenso beschaffener Anstieg bis zum Maximum folgte, das in der M. St. 38 im April, von den anderen erst im Juni 1952 erreicht wurde. Diesem, außer bei der M. St. 38 ungewöhnlichen Spiegelgange, schloß sich im Sommer 1952 ein normaler flacher Abstieg bis zum Ende des Abflußjahres an, bei dem der Spiegel meistens tiefer, nur bei der M. St. 2 in derselben Höhe wie am Anfang des Jahres lag. Daraus ergibt sich ein Fallen des Spiegels von durchschnittlich 14 cm. Der Unterschied zwischen den Höchst- und Tiefstwerten war mit 0,26 bis 0,54 m gering bis mittel. In allen Meßstellen lag der mittlere Grundwasserspiegel mehr als 3 m unter Flur (Tab. 5, Sp. 14). Eine unmittelbare Auswirkung der ziemlich ausgeglichenen Niederschläge ist nicht zu erkennen; auch die Steigerung im September/Oktober 1952 ist nicht mehr wirksam geworden. — Im Winter 1953 stieg der Grundwasserspiegel in allen acht Meßstellen 507/34, 35, 36, 40 und 527/7, 38, 2, 168 der Gruppe a z. T. gleichmäßig, z. T. auch ungleichmäßig in verschiedener Steilheit zum Maximum an, das in den Meßstellen 7 und 34 bereits im Januar, in den übrigen erst März/April erreicht wurde. In dem sich anschließenden Abfall im Sommer 1953 kam der stetige Verlauf der Ganglinien besonders deutlich zum Ausdruck. Die am Schluß des Jahres meist höhere Lage des Spiegels als am Anfang führte zu einem mittleren Anstieg um 13 cm. Die vom Grundwasserspiegel durchlaufene Höhe schwankte bei einem Unterschiede zwischen den Höchst- und Tiefstwerten von 0,43—1,20 m in weiten Grenzen. Der Grundwasserspiegel lag nur in zwei Meßstellen im Mittel unter 3 m, bei dreien über 3 m und bei einer über 10 m unter Flur. Der starke Anstieg des Grundwasserspiegels im Winterhalbjahr 1953 ist ohne Frage auf die hohen Niederschläge im November 1952 bis Februar 1953 zurückzuführen. Den Gesamtverlauf des Spiegels kann man als normal bezeichnen. — Das Abflußjahr 1954 zeigte bei allen Meßstellen der Gruppe a 507/35, 36 und 527/38, 2, 168 einen meistens das ganze Jahr andauernden gleichmäßigen Abfall, der nur in der M. St. 38 durch ein schwaches Maximum im April unterbrochen wurde. In allen Meßstellen stand das Grundwasser am Jahresende tiefer als am Anfang, im Mittel um 0,52 m. Die vom Spiegel bestrichene Höhe war mit einem Unterschied von 0,26—0,78 m zwischen den äußersten Grenzwerten meistens mittel, vereinzelt gering. Die Tiefe unter Flur betrug bei allen Meßstellen mehr als 3 m. In dieser Entwicklung des Jahres 1954 spiegelt sich der z. T. sehr geringe Niederschlag vom Juli bis September 1953 und vom November 1953 bis Mai 1954 wider, während der etwas höhere Niederschlag Juni bis September 1954 fast nichts mehr am Spiegelgange zu ändern vermochte und sich nur in der M. St. 2 durch ein ganz geringes Steigen bemerkbar machte.

Die Ganglinien der Meßstellen 527/4a, 55, 173 der Gruppe b mit teils stetigem, teils unstetigem Verlauf waren im Winter 1952 durch einen etwas unregelmäßigen Anstieg mittlerer Steilheit bis zu dem im April liegenden Maximum ausgezeichnet, an das sich ein ebensolcher Abstieg bis zum Minimum im August/September anschloß, dem dann bis zum Jahresende noch ein ganz flaches Ansteigen folgte. Der Unterschied zwischen Anfangs- und Endstand des Grundwasserspiegels war mit durchschnittlich 5 cm sehr gering, während derjenige zwischen den Extremwerten mit 0,62—0,91 m als mittel bis hoch zu bezeichnen ist. Die Lage des Spiegels unter Flur hielt sich unter 3 m. Der Einfluß der Niederschläge läßt keine Besonderheiten erkennen. — Im Winterhalbjahr 1953 setzte sich in den Meßstellen 527/171, 56, 55 der bereits am Schluß des vorhergehenden Jahres begonnene und durch die hohen Niederschläge September bis Dezember 1952 hervorgerufene Anstieg in steiler Form bis zum Maximum im Februar fort. Der bei diesem frühzeitigen Hochstande beginnende, teils fast stetige, teils aber auch durch rückläufige Bewegungen unterbrochene Sommer-Abstieg hielt bis zu dem meistens mit dem Minimum zusammenfallenden Ende des Abflußjahres an. Infolgedessen lag auch der Grundwasserstand am Jahresschluß meistens tiefer als am Anfang, im Mittel um — 8 cm. Der Unterschied zwischen den Höchst- und Tiefstwerten war mit 0,75—1,19 m recht groß, was offenbar durch den starken Spiegelabfall infolge der im Januar begonnenen und bis zum Mai dauernden geringen Höhe der Niederschläge bedingt war. Der Wasserspiegel lag in ziemlich geringer Tiefe unter Flur. — Die Grundwasserentwicklung in den Meßstellen 527/4a, 173, 171, 56, 55 der Gruppe b war im Winter 1954 sehr verschieden. Die M. St. 4a zeigte zunächst einen ganz flachen, z. T. durch rückläufige Bewegungen unterbrochenen Abfall bis zu dem mit der Halbzeit zusammenfallenden Minimum, während die M. St. 173, 55, 56 durch flachen Anstieg, nach vorübergehendem Rücklauf, das Maximum im April erreichten. In der Meßstelle 173 stieg dann der Spiegel nach anfänglichem Abstieg bis zum Minimum im Januar, mittelsteil zum Maximum im Mai an. Im Sommer 1954 hatte die M. St. 4a bis zum Maximum im Oktober einen weiteren Anstieg, während die M. St. 173, 55, 56 flach, mit Rückschlag zum Minimum im September/Okttober absanken: M. St. 171 fiel mittelstark bis zum Ende des Jahres ab. Am Anfang und am Schluß des Jahres herrschte fast gleichhoher Wasserstand (gefallen 1 cm). Maximum und Minimum waren mit 0,30—0,99 m sehr verschieden weit voneinander entfernt. Aus den Niederschlägen sind keine besonderen Auswirkungen auf den Spiegelgang festzustellen, außer bei den anfänglichen rückläufigen Bewegungen in den M. St. 4a und 171.

Die Meßstellen 527/1, 165, 169, 170, 172, 179 der Gruppe c mit überwiegend unstetigem Verlauf der Ganglinien stiegen im Winter 1952, meistens bis Dezember einschließlich, flach, dann wechselnd steil bis zum Maximum Ende März/Anfang April an und hatten dabei in wechselnder Menge und Stärke rückläufige Bewegungen zu überwinden, deren Ursache in der sehr verschiedenen Höhe der Niederschläge in den ersten sechs Monaten des Abflußjahres zu suchen ist. Im Sommer 1952 schloß sich daran ein ähnlicher Abstieg zum frühen Minimum im August/September, dem dann ein teils steilerer, teils flacherer Wiederanstieg folgte. Dadurch war ein in allen Meßstellen nachweisbarer höherer Wasserstand am Jahresschluß gegenüber dem Anfang bedingt, im Mittel 0,20 m. Der Unterschied zwischen den Höchst-

und Tiefstwerten war mit 0,62—1,00 m mittel bis groß. Der Wasserstand lag in der Regel weniger als 3 m unter Flur. Bemerkenswert ist die schnelle Auswirkung der wechselnden Höhe der Niederschläge auf die Bewegungen des Grundwasserspiegels. — Im Winter 1953 stieg der Grundwasserspiegel in den Meßstellen der Gruppe c 527/12, 13, 1, 51, 169, 170, 172, 179 sehr schnell und steil bis zum Maximum im Dezember 1952 an, dem im Januar 1953 ein ebensolcher Abfall folgte. Der sich dann verlangsamende Abstieg hielt bis zum Jahresende an. Diese Grundzüge der Spiegelbewegungen wurden sowohl beim Steigen wie beim Fallen öfter durch rückläufige Bewegungen unterbrochen, deren Spitzen fast in allen Meßstellen in dieselbe Zeit fallen. Abgesehen von dem Maximum ist der markanteste dieser Rückläufe derjenige an der Wende Juni/Juli 1953. Die Bilder der Ganglinien spiegeln die Wechsel der Niederschlagshöhen wieder und lassen durch die kurze zeitliche Folge eine große Reaktionsgeschwindigkeit erkennen. Vom Anfang bis zum Ende des Abflußjahres ist der Grundwasserspiegel im Mittel um 0,38 m, also stark gefallen. Abgesehen von der M. St. 169 mit 0,31 m, war der Unterschied in den Extremwerten mit 0,94—1,23 m recht groß. Unter Flur lag der Grundwasserspiegel meistens weniger als 2 m, nur in einem Falle (M. St. 172) mehr als 3 m. — Im Abflußjahre 1954 war die Grundwasserentwicklung in den M. St. 527/12, 13, 1, 51, 169, 170, 172, 179 der Gruppe c außerordentlich uneinheitlich. Die M. St. 12, 13, 172, 179 wiesen in den Spiegelbewegungen nur sehr geringe Schwankungen auf und blieben fast die ganze Zeit in gleicher Höhe mit schwachem Maximum meistens im April und z. T. etwas stärkerem Wiederanstieg in den Monaten August bis Oktober 1954. Die M. St. 1, 51, 169, 170 waren durch einen mittleren Anstieg bis zum Maximum ausgezeichnet, das meistens in den April fiel, woran sich ein allmählicher Abfall bis zum Minimum, bzw. einem Tiefpunkt im August/September mit nachfolgendem mittleren bis stärkerem Wiederanstieg schloß. Alle diese Ganglinien waren von Rückläufen wechselnder Stärke durchsetzt, die vielfach zeitlich zusammenfielen. Der Grundwasserspiegel ist im Mittel um 0,20 m im Laufe des Jahres gestiegen, obwohl zwei Meßstellen ein Fallen zeigten. Der Unterschied zwischen den Höchst- und Tiefstwerten schwankte zwischen kleinen und mittleren Beträgen. Weniger als 3 m unter Flur blieb der Grundwasserspiegel in 6 Meßstellen und in 2 mehr als 3 m. Die Ursachen der Grundzüge der Spiegelbewegungen sind in den geringen Niederschlägen vom November 1953 bis Mai 1954 und in deren Zunahme im Juli bis September 1954 zu suchen.

Wie aus der vorstehenden Beschreibung der Grundwasserentwicklung im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene in den drei Abflußjahren 1952—1954 hervorgeht, zeigen die drei nach der Form der Ganglinien unterschiedenen Gruppen a) mit überwiegend stetigem, b) mit teils stetigem, teils unstetigem und c) mit überwiegend unstetigem Verlauf der Spiegelbewegungen außer diesen mehr äußerlichen Grundmerkmalen innerhalb der einzelnen Beobachtungsjahre noch eine Reihe weiterer Übereinstimmungen oder Ähnlichkeiten miteinander. So fielen die meisten Extremwerte jeweils in dieselbe Jahreszeit: Frühwinter, Spätfrühling, Jahresende usw.; ihr Unterschied bei der größeren Anzahl gleichsinnig und oft auch in der Größenordnung nahestehend, der von dem Grundwasserspiegel bestrichene Raum vielfach gleich groß, d. h. der Unterschied zwischen den Höchst- und Tiefstwerten lag nahe beieinander. Die in den oben angegebenen grundlegenden Unterscheidungsmerkmalen

sichtbar werdende Reaktionsgeschwindigkeit, mit der die Bewegungen des Grundwasserspiegels der wechselnden Höhe der Niederschläge folgte, war innerhalb der Gruppen und Jahre bei den zugehörigen Meßstellen meistens gleichartig. So stieg im Winter 1953 der Grundwasserspiegel in allen drei Gruppen stark mit frühem Maximum an. Aus der Summe aller dieser Gleichartigkeiten ergibt sich die Ähnlichkeit mancher der Ganglinienbilder. Dieser Gleichförmigkeit innerhalb der Gruppen stehen nun aber zwischen diesen während ein und desselben Jahres starke Gegensätze einander gegenüber. So ist der Grundwasserspiegel im Winter 1952 in den Meßstellen der Gruppe a gefallen, in denen der Gruppe b stark gestiegen, und in c nach anfänglichem flachen Fallen steil gestiegen; im Jahre 1954 herrschte bei a) ein Abfall des Spiegels während des ganzen Jahres, bei b) zu derselben Zeit teils fallender, teils steigender Spiegel und bei c) teils fallender, teils fast gleichbleibender, teils normaler An- und Abstieg vor. Der Grundwasserstand ist im Mittel vom Anfang bis zum Ende des Abflußjahres 1952 bei a) und b) gefallen, c) gestiegen, 1953 bei a) gestiegen, b) und c) gefallen, 1954 bei a) stark gefallen, b) etwa gleich geblieben, c) gestiegen. Unter diesen Umständen ist es unmöglich, eine gemeinsame Darstellung der Grundwasserentwicklung im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene während der Abflußjahre 1952—1954 zu geben.

Soweit die Höhe und die Verteilung der Niederschläge, wie sie bei den drei Wetterdienststellen beobachtet sind, die Grundwasserentwicklung im einzelnen verursacht, bzw. beeinflußt haben, sind sie in der vorstehenden Beschreibung der Grundwasserentwicklung der drei Gruppen behandelt worden. Diese Niederschlagszahlen liefern aber keine Anhaltspunkte für die Einflüsse, denen die unterschiedliche Entwicklung in den einzelnen Gruppen ihre Entstehung verdankt. Wie im Abschnitt E IV erläutert ist, sind die Werte der Wetterstellen Flughafen Rhein-Main und Groß-Gerau zu wenig voneinander verschieden und weichen beide von denen der Wetterstelle Langen nicht so beträchtlich ab, um daraus Schlüsse auf verschiedenartigen Spiegelbewegungen ziehen zu können, die der Gliederung der Grundtypen des Verlaufs der Ganglinien zugrunde liegen.

Teilweise ähnlich liegen die geologischen Verhältnisse der Wasserleiter. Die Ausdehnung des Versuchsgeländes, in dem die im Abschnitt B beschriebene Ermittlung des aufnehmbaren Wasservolumens vorgenommen ist, und seiner Umgebung, in der Anzeichen für eine ähnliche Beschaffenheit des Untergrundes vorliegen, ist im Verhältnis zur Größe des Gesamtgebietes zu klein, um die hier im einzelnen festgestellten hydrogeologischen Verhältnisse ohne weiteres darauf zu übertragen. Die sonst im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene bekannt gewordenen Bohrungen zeigen aber im großen und ganzen eine im Grunde so gleiche oder doch ähnliche Beschaffenheit der aus Sanden und Kiesen mit Tonbänken bestehenden Flußablagerungen, vor allem des Mains, im Westen auch des Rheins und des Neckars, und im Osten der kleinen von dem Hügelzuge kommenden Bäche, daß hieraus keine allgemeinen Unterschiede im Aufbau und in der Zusammensetzung abzuleiten sind, die so große Unterschiede in der Grundwasserentwicklung hervorrufen könnten, wie sie oben beschrieben sind. Nur im Bereich der jungpleistozänen tonigen Schlickablagerungen auf der unteren Geländestufe, wo die Verteilung von guten Wasserleitern und Wasserstauern an der Erdoberfläche stark wechselt und Waldstücke mittlerer Größe

im Feld- und Wiesengelände verstreut liegen, können diese Umstände bei den Unregelmäßigkeiten der Grundwasserentwicklung mitgewirkt haben.

Ebenso liegen keine Anhaltspunkte dafür vor, die bestehenden Unterschiede in der Grundwasserentwicklung der einzelnen Gruppen auf die Geländeformen und ihre Gliederung in drei Stufen, deren Höhenunterschiede sehr gering sind, zurückzuführen. Daß örtliche Unterschiede z. B. in der Ausbildung und Ausdehnung sowie Höhenlage unter Flur von Tonbänken lokale Einflüsse bei einzelnen Meßstellen hervorgerufen haben können und werden, ist natürlich nicht von der Hand zu weisen.

Im Gegensatz zu diesen im einzelnen vielfach nur schwer erkennbaren Auswirkungen der die Grundwasserentwicklung gestaltenden Hauptfaktoren: Niederschläge und hydrogeologische Verhältnisse und Oberflächenformen weisen andere Umstände in ihrer regionalen Verbreitung innerhalb des nordöstlichsten Teiles der Oberrheinischen Tiefebene so große Unterschiede auf, daß sie als Ursache der so stark voneinander abweichenden Spiegelbewegungen der drei Gruppen angesehen werden können. Diese Faktoren sind die sehr ungleichmäßige Verteilung von Wald einerseits und Feld und Wiese andererseits, sowie die ebenso ungleichmäßige Verteilung der oberflächlichen Entwässerung durch das fast allein auf den Süden beschränkte, weit verzweigte Netz von Bächen und Gräben und das beinahe abflußlose ausgedehnte Waldgelände im Norden.

Wie aus der hydrogeologischen Skizze auf Taf. 3 hervorgeht, liegen die 8 Meßstellen der Gruppe a mit überwiegend stetigem Verlauf der Ganglinien (507/34, 35, 36, 40; 527/2, 7, 38, 168) alle im Nordosten des Gebietes, im Bereich oder am Rande des nur von wenigen Feldflächen unterbrochenen großen Waldgebietes, in dem außer dem wenig östlich des Flughafens Rhein-Main versickernden Hengstbache und dem Gundbache keine oberirdischen Gewässer vorhanden sind. Im bei weitem größten Teil dieses Raumes treten die vielfach mit Flugsanden überdeckten pleistozänen Flußsande und Kiese des Mains zutage, die nur am westlichen Rande in geringen Umfange von jungpleistozänen Schlick überlagert werden. Während die Grenzen dieses Raumes im Nordwesten durch den Main ganz scharf, im Osten durch die Trennungslinie zwischen der oberen und der mittleren Geländestufe im Zuge der Orte Langen, Sprendlingen, Neuisenburg und Frankfurt leidlich deutlich, im Süden durch den Wurzelbach-Gerätsbach und den Schwarzbach wieder klarer gekennzeichnet sind, ist dieses im Westen gegenüber der Gruppe b nicht der Fall, wie die Lage der M. St. 527/168 der Gruppe a und 527/56 der Gruppe b bei Haßloch zeigen; erstere liegt westlich der letzteren.

Das Verbreitungsgebiet der 5 Meßstellen der Gruppe b mit teils stetig, teils un-stetig verlaufenden Ganglinien (527/4a, 55, 56, 171, 173) liegt vollständig im Bereich der unteren morphologischen Stufe, wo die Sande und Kiese der Flußbildungen in großen Flächen mit Schlick bedeckt sind. Das Gelände ist durch einige, noch heute von Bächen durchflossene Altläufe des Rheins und des Mains schwach gliedert. Das fast ganz der landwirtschaftlichen Nutzung dienende Gelände trägt nur zwischen Königstädten und Nauheim, sowie südlich von Rüsselsheim einige Waldstücke kleiner bis mittlerer Größe. Die Abgrenzung ist nach Norden und Westen eindeutig festgelegt, während im Süden und Osten durch Überschneiden mit den Gebieten der Gruppen a und c kaum eine klare Trennung vorzunehmen ist.

Der Raum der 9 Meßstellen der Gruppe c mit überwiegend unstetigem Verlauf der Ganglinie (527/1, 12, 13, 51, 165, 169, 170, 172, 179) erstreckt sich vom Rande der oberen Stufe in der Linie Langen, Egelsbach, Arheilgen durch die ganze mittlere Stufe bis weit in das Gebiet der unteren bei Trebur. In ihm liegt das breite Netz von Bächen und Gräben, das, im Hügellande des Rotliegenden beginnend, sich als breiter Streifen von Osten nach Westen hinzieht und sein gesamtes oberirdisches Wasser, an dem aber ohne Frage auch Zugänge aus dem Grundwasser beteiligt sind, durch den Schwarzbach an den Rhein abgibt. Abgesehen von den Überschneidungen mit der Gruppe b bei Nauheim und Groß-Gerau ist dieses Gebiet ziemlich klar umrissen. Ob es sich jenseits der willkürlich gezogenen O-W-Grenze Darmstadt/Arheilgen-Wallerstädten-Trebur-Astheim weiter nach Süden fortsetzt, ist nicht näher untersucht worden. Der größte Teil der Meßstellen gehört somit zum Bereich des ausgedehnten Feld- und Wiesengebietes im Süden; einige von ihnen liegen aber auch teils am Rande, teils innerhalb der großen Waldzone im Nordosten unseres Raumes.

Aus dieser regionalen Verteilung der einzelnen Gruppen mit ihrer in sich ziemlich einheitlichen Grundwasserentwicklung ergibt sich eine, wenn auch nicht überall scharf gegeneinander abzugrenzende, Dreiteilung des Flächenraumes des nordöstlichsten Teiles der Oberrheinischen Tiefebene. Die auf Grund der Erscheinungsformen der Ganglinien unterschiedenen Gruppen der Meßstellen führen zu Teilräumen mit nahezu gleichartiger Grundwasserentwicklung. Die nachfolgende Feststellung und Beurteilung der hier begrenzt regional wirkenden Faktoren beschränkt sich zunächst nur auf die kausalen Zusammenhänge, während die Ermittlung der zu- und abgehenden Wassermengen zum und vom Grundwasser innerhalb der Teilräume im Unterabschnitt E VI behandelt wird.

In dem im Norden und Nordosten unseres Gebietes gelegenen Teilraume a zeigen die wöchentlichen Spiegelan- und -abstiege um Beträge gleicher Größenordnung oder noch sinnfälliger, der stetige Verlauf der danach gezeichneten normalen Ganglinien, der nur selten von rückläufigen Bewegungen unterbrochen wird, daß der Wasserzu- und -abgang meistens ziemlich gleichmäßig ist. Kleinere Unregelmäßigkeiten in den Niederschlagsmengen machen sich in der Regel kaum bemerkbar. Nur die jahreszeitlich bedingten Faktoren, vor allem die wechselnde Stärke der Verdunstung bestimmen den rhythmischen Verlauf der Spiegelbewegungen, was besonders im Jahre 1953 in Erscheinung tritt. Diese Einflüsse können aber auch durch außergewöhnliche Verteilung der Niederschläge verwischt werden, wie z. B. im Jahre 1954, wo der sonst normale Anstieg im Winterhalbjahr infolge der geringen Niederschläge in der vorhergehenden Zeit nahezu vollständig ausgefallen ist und der starke Sommerniederschlag das erst am Ende des Abflußjahres zu erwartende Minimum um zwei Monate vorverlegt und einen bereits im September beginnenden Wiederanstieg des Spiegels verursacht hat. Die Mitwirkung des nahezu geschlossenen großen Waldgebietes ist einmal darin zu suchen, daß die vielfach stoßweise erfolgende Wasserzufuhr aus den Niederschlägen zum Boden durch das Abfangen des Regens, Schnees usw. an den Stämmen, Ästen, Zweigen, Blättern und Nadeln ausgeglichen und zeitlich mehr oder weniger gleichmäßig verteilt wird. Es dürfte keinem Zweifel unterliegen, daß dabei auch der lange Weg, den das an der Erdoberfläche versickernde Wasser bis zum Grundwasserspiegel mit fast stets über 3 m, öfter mehr als 5 m bis weit über 10 m

Länge zurückzulegen hatte, regulierend mitgewirkt hat. Daß die dafür verbrauchte Zeit auf das Hinterherhinken des Grundwasseranstieges hinter dem Niederschlag von Einfluß gewesen ist, zeigt die M. St. 7 dieser Gruppe, in der der Grundwasserspiegel zwischen 0,68 und 1,88 m unter Flur schwankte, und mit Beginn des Abflußjahres 1953 am 26. 10. 1952 von N. N. + 92,64 in ununterbrochenem Zuge bis zum Maximum am 5. 1. 53 auf 93,54 m, also in zwei Monaten um 0,90 m angestiegen ist, während die übrigen Meßstellen mit tiefem Grundwasserstande unter Flur mit einer Ausnahme z. T. beträchtlich geringere Steigungswerte von 0,91—0,49 m erst im März/April 1953 erreicht haben. Daß dabei auch örtliche Einlagerungen schlechter Wasserleiter in Form ausgedehnterer Tonlagen von entscheidendem Einfluß auf diese Erscheinungen sein können und gewesen sein werden, ist selbstverständlich; doch sind diese Hindernisse der Versickerung örtlich kaum zu erfassen, wenn nicht eine sehr große Zahl dicht beieinanderstehender Bohrungen zur Verfügung steht. Schließlich ist auf das fast völlige Fehlen von Bachläufen in diesem Gebiete hinzuweisen. Ein Einfluß des versickernden Hengstbaches ist an keiner Meßstelle zu erkennen, was vielleicht darauf zurückzuführen ist, daß sich das Versickern über eine sehr lange Strecke ausdehnt. Der bei Walldorf entspringende Gundbach dürfte mehr zum Abführen von Grundwasser als zum Auffüllen durch im Bachbett versickerndes Wasser dienen.

Die schon aus der wechselnden Form der Ganglinien hervorgehende Uneinheitlichkeit der Grundwasserentwicklung im Teilraume b im Westen und Nordwesten unseres Gebietes kann ihren Grund in der wechselnden Wasserdurchlässigkeit der an der Erdoberfläche liegenden Kies- und Sandablagerungen von Rhein, Main und Neckar, des meist anlehmigen Flugsandes und des Schlicks haben, wozu noch diejenigen der ebenso verschiedenartig zusammengesetzten holozänen Bildungen in den Niederungen des Rheins und deren Altläufen, sowie der flach eingesenkten Bachläufe kommen. Hier liegt das Betätigungsfeld der im Abschnitt C erörterten Durchflüsse durch die Trockenspalten und Risse der an der Erdoberfläche liegenden Tonablagerungen. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß solche Spalten nur bei längerer Trockenheit im Sommer und Herbst auftreten, sich aber bei Niederschlägen leicht schließen und im Winter und Frühjahr kaum aufreißen werden. Von dieser Seite ist also nur mit zeitlich begrenzten größeren Wasserzugängen zu rechnen. Eine gewisse regulierende Einwirkung auf die Wasserzugänge durch einzelne etwas größere Waldstücke und die Nähe des großen Waldgeländes ist aus dem fast stetigen Verlauf der Ganglinie in der M. St. 173 in Nauheim und der ähnlichen Beschaffenheit derjenigen der M. St. 171 im Jahre 1953 abzuleiten. Sonst liegen die Ganglinien der übrigen Meßstellen dieses Teilraumes denen der Gruppe c näher, mit denen sie sich z. T. in die tiefere Geländestufe unseres Gebietes teilen und damit ohne Frage dem Einfluß des durch deren südlichen Teil gehenden Bachnetzes ausgesetzt sind.

Von den Meßstellen im Teilraume c lassen alle Ganglinien der Abflußjahre 1952 und 1953 und die meisten des Jahres 1954 mit ihrem oft steil ansteigendem und ebenso absteigendem Verlauf und dem häufigen Wechsel der Bewegungsrichtung erkennen, daß der Wasserzu- und -abgang in der Regel schnell und stark vor sich gegangen ist und häufig gewechselt hat, wobei die Bewegungen des Grundwasserspiegels den Unterschieden der Niederschläge in kurzen Zeitabständen gefolgt sind. Die Ursachen dieser Erscheinungen sind nicht allein darauf zurückzuführen, daß der

größte Teil dieses Gebiets von Feldern und Wiesen eingenommen wird, da sie ja auch bei der im Bereich des Waldgebietes liegenden M. St. 169 in besonders scharfer Form auftritt und auch im Jahre 1953 in den M. S. 12 und 13 zu beobachten war, die noch innerhalb des Waldes, wenn auch am Rande liegen, und wahrscheinlich infolgedessen im Jahre 1954 einen mehr ausgeglichenen Verlauf der Ganglinien zeigten. Die Hauptgründe für die den Teilraum c eigene besondere Grundwasserentwicklung liegen offenbar in dem weiten und weitverzweigten Bach- und Grabensystem, von den auf der Geländeskizze (Taf. 3) nur die wichtigsten durchlaufenden Züge dargestellt werden konnten, während die zahlreichen kleinen und kleinsten Längs- und Quergräben fortgelassen werden mußten, um die Übersichtlichkeit der Darstellung nicht zu beeinträchtigen. Dieses offenbar zur Meliorisation zum großen Teil künstlich angelegte Entwässerungssystem hat zu seinem Hauptzweck offenbar auch dadurch wesentlich beigetragen, daß das Niederschlagswasser schneller versickern konnte, als bei diesen Arbeiten die oft mehr oder weniger verlehmteten Bachsohlen, die Wiesenböden, die lehmige Ackerkrume durchstoßen wurden und dadurch die Wasserrinnen in die in der Regel gut durchlässigen Sande und Kiese der pleistozänen Flußbildungen verlegt wurden, wodurch der Wasserversickerung in den Untergrund Tür und Tor geöffnet wurde. Die außerordentliche, schon öfter betonte, starke Reaktionsgeschwindigkeit, mit der in diesem Raume die positiven und negativen Spiegelbewegungen des Grundwassers dem Wechsel der Niederschlagsmengen folgen, liegt aber ohne Frage auch in der natürlichen Undichtigkeit der Bachsohlen, wie sie in der dortigen Gegend vom Verfasser öfter beobachtet ist. Dazu kommt die geringe Tiefe des Grundwasserspiegels unter Flur und der dadurch bedingte kurze Weg durch den Wasserleiter. Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß ein Teil der Meßstellen mit den markantesten Erscheinungen der Spiegelbewegungen in der Nähe von Bächen liegt. Die Ausnahmen von der im Teilraum c vorherrschenden Grundwasserentwicklung im Abflußjahre 1954 finden bei den M. St. 527/12 und 13 durch ihre Lage am Rande des Waldgebietes eine annehmbare Erklärung, während sich bei den beiden nahe am Schwarzbach gelegenen M. St. 527/172 und 179 mit dem außergewöhnlichen Verlauf ihrer Spiegelbewegungen keine bestimmten Ursachen erkennen lassen.

Somit kann die Dreiteilung des Geländes in Teilräume mit verschiedener Grundwasserentwicklung auf standortgebundene Ursachen zurückgeführt werden. Daß die Grenzen zwischen den einzelnen Arealen nicht immer scharf und genau anzugeben sind, ist dadurch bedingt, daß sich auch die Ursachen räumlich überschneiden, z. B. das Waldgebiet im Norden und Nordosten mit der an Bächen und Gräben reichen Zone im Süden. Trotz dieser Verzahnungen der Räume miteinander lassen sich im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene drei deutlich voneinander unterscheidbare Zonen mit verschiedener Grundwasserentwicklung erkennen, die wegen ihrer Eigenart gesondert beurteilt werden müssen und sich für größere Räume höchstens rechnerisch zusammenfassen lassen, wobei jedoch nur Überschlagswerte zu erzielen sind.

VI. Die Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser

In den Tabellen 6 und 7 sind die Halbjahres- und Jahressummen der Spiegelbewegungen des Grundwassers und der daraus nach den im Abschnitt D beschriebenen Einzel- und dem summarischen Verfahren ermittelten Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser gegliedert nach den Teilräumen zusammengestellt. In Tabelle 8 sind die zugehörigen Mittel in den Teilräumen und im Gesamtraum in gleicher Anordnung verzeichnet. In den drei Tabellen 6—8 bestehen folgende rechnerische Beziehungen zwischen den einzelnen Spalten. Additionen: Spalten 1 + 2 = Spalte 3, 4 + 5 = 6, 7 + 8 = 9, 10 + 11 = 12, 13 + 14 = 15, 16 + 17 = 18, 19 + 20 = 21, 22 + 23 = 24; 10 + 16 = 19, 11 + 17 = 20, 12 + 18 = 21, 13 + 16 = 22, 14 + 17 = 23, 15 + 18 = 24. Nur in den Tabellen 6 und 7 gelten nachstehende Multiplikationen: Faktor 2,25 mal Spalte 1 = Spalte 10, $\times 2 = 11$, $\times 3 = 12$, $\times 4 = 13$, $\times 5 = 14$, $\times 6 = 15$, $\times 7 = 16$, $\times 8 = 17$, $\times 9 = 18$. — In Tabelle 8 sind die aus den Einzelbeträgen der Tabellen 6 und 7 als arithmetische Mittel berechneten Werte in der Weise auf ganze Zahlen gekürzt, daß mit der Zahl der jeweiligen Summe für das Jahr oder den Dreijahresabschnitt in der für Kürzungen üblichen Form verfahren ist, während die Summanden Halbjahr, bzw. ganzes Jahr, so bestimmt sind, daß die angegebenen Additionsbeziehungen bestehen bleiben. Infolgedessen gelten die für die Tabellen 6 und 7 angegebenen Multiplikationsbeziehungen in den entsprechenden Spalten der Tabelle 8 nur annäherungsweise. Die Jahresmittel der Teilräume und die Halbjahres-, Jahres- und Dreijahresmittel des Gesamtraumes sind nicht aus den Jahresmitteln errechnet worden, da das wegen der in weiten Grenzen wechselnden Zahl der Einzelwerte in den Teilräumen nicht zugänglich war; sie sind vielmehr aus der Gesamtzahl der jeweiligen Einzelwerte ermittelt.

Wie bei der stark voneinander verschiedenen Grundwasserentwicklung in den einzelnen Räumen des nordöstlichsten Teiles der Oberrheinischen Tiefebene, die zu der soeben beschriebenen Unterteilung geführt hat, nicht anders zu erwarten war, ist die Streuung der bei den einzelnen Meßstellen gefundenen Zahlenwerte in den Tab. 6 und 7 sehr groß. Die Extremwerte weichen oft um ein Vielfaches voneinander ab. Aber auch innerhalb der Teilräume liegen trotz der bis zu einem gewissen Grade gleichartigen Grundwasserentwicklung die höchsten und tiefsten Werte nicht selten weit auseinander. Das ist sowohl bei den beobachteten wie bei den berechneten Zu- und Abgängen in beiden Verfahren der Fall, wo die Maxima öfter das Zwei- und Dreifache, vereinzelt auch noch höhere Vielfache der Minima erreichen. Diesen starken Unregelmäßigkeiten stehen aber auch Gruppen mit mehr ausgeglichenen Zahlenwerten gegenüber, deren Einzelwerte sich in engeren Grenzen halten. Das ist auch öfter bei den Jahressummen der gesamten Wasserzu- und -abgänge in den Sp. 21 und 24 der Fall.

Sämtliche nach dem Einzelverfahren ermittelten Werte der Tab. 6 liegen, wie nicht anders zu erwarten war, über den entsprechenden Zahlen der Tab. 7 nach dem summarischen Verfahren. Bei der großen Streuung der Einzelergebnisse der Meßstellen gehen auch die Unterschiede zwischen beiden in sehr weiten Grenzen auseinander. Schätzungsweise dürfte sich die Hauptmasse der summarisch gefundenen Beträge zwischen 55 und 75% der nach dem Einzelverfahren bestimmten halten. Ähnlich liegen die Verhältnisse zwischen den Jahres- und Dreijahresmitteln der Tab. 8, Sp. 21: Teilraum a) 1952 69%, 53 84%, 54 36%, 52/54 75%; b) 52 75%, 53 76%, 54 54%, 52/54 66%; c) 52 81%, 53 55%, 54 59%, 52/54 63%; Gesamtraum 52 77%, 53 67%, 54 55%, 52/54 61%. In ganz grobem Durchschnitt kann man vielleicht den Betrag des summarischen Verfahrens auf 60% des Einzelverfahrens veranschlagen.

Tabelle 6. Halbjahres- und Jahressummen der Spiegelbewegungen des Grundwassers nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene während

Jahr	Nummern der Meßstellen		Halbjahres- und Jahres-Summen des beobachteten						Anzahl der Wochen mit steigendem oder gleichbleibendem Grundwasserspiegel			Halbjahres- und der beobachteten			
			Anstieges			Abfalles						Zugänge zum Grundwasser			
			des Grundwasserspiegels			des Grundwasserspiegels			+ mmN						
			+			-									
			Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	
Spalten			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Teilraum a mit überwiegend															
1952	507	40	8	12	20	33	18	51	7	12	19	18,00	27,00	45,00	
		38	48	2	50	6	54	60	23	4	27	108,00	4,50	112,50	
		2	42	9	51	6	45	51	22	12	34	94,50	20,25	114,75	
		168	16	8	24	11	27	38	17	8	25	36,00	18,00	54,00	
1953	507	34	55	0	55	25	40	65	15	3	18	123,75	0	123,75	
		35	77	2	79	5	38	43	21	6	27	173,25	4,50	177,75	
		36	88	3	91	9	46	55	20	4	24	198,00	6,75	204,75	
		40	62	1	63	0	32	32	26	5	31	139,50	2,25	141,75	
	527	7	98	0	98	37	91	128	14	0	14	220,50	0	220,50	
		38	96	0	96	17	76	93	22	0	22	216,00	0	216,00	
		2	59	8	67	2	29	31	24	9	33	132,75	18,00	150,75	
		168	52	0	52	3	45	48	25	1	26	117,00	0	117,00	
1954	507	35	1	6	7	47	41	88	4	11	15	2,25	13,50	15,75	
		36	6	0	6	49	23	72	4	7	11	13,50	0	13,50	
		38	13	5	18	10	24	34	17	7	24	29,25	11,25	40,50	
		2	4	12	16	40	21	61	7	14	21	9,00	27,00	36,00	
527	168	0	0	0	31	20	51	4	7	11	0	0	0		
	Teilraum b mit teils stetigem,														
	1952	527	4a	65	12	77	25	57	82	15	8	23	146,25	27,00	173,25
			173	64	18	82	13	59	72	11	9	30	144,00	40,50	184,50
55			108	19	127	38	99	137	21	7	28	243,00	42,75	285,75	
1953	527	171	98	4	102	26	101	127	17	3	20	220,50	9,00	229,50	
		56	95	16	111	30	72	102	17	7	24	213,75	36,00	249,75	
		55	118	25	143	31	120	151	15	6	21	265,50	56,25	321,75	
1954	527	4a	19	44	63	27	27	54	11	16	27	42,75	99,00	141,75	
		173	33	12	45	12	33	45	19	10	29	74,25	27,00	101,25	
		171	96	31	127	25	86	111	16	9	25	216,00	69,75	285,75	
		56	61	44	105	66	71	137	13	9	22	137,25	99,00	236,25	
		55	98	28	126	58	66	124	15	12	27	220,50	63,00	283,50	
Teilraum c mit überwiegend															
1952	527	1	91	38	129	24	79	103	19	7	26	204,75	85,50	290,25	
		165	71	16	87	20	65	85	20	5	25	159,75	36,00	195,75	
		169	109	90	199	50	103	153	18	13	31	245,25	202,50	447,75	
		170	107	66	173	54	79	133	16	11	27	240,75	148,50	389,25	
		172	58	18	76	18	60	78	17	9	26	130,50	40,50	171,00	
1953	527	179	87	48	135	54	74	128	15	9	24	195,75	108,00	303,75	
		12	69	32	101	45	86	131	14	8	22	155,25	72,00	227,25	
		13	99	15	114	57	70	127	14	5	19	222,75	33,75	256,50	
		1	124	37	161	87	109	196	8	2	10	279,00	83,25	362,25	
		51	111	32	143	98	115	213	10	5	15	249,75	72,00	321,75	
		169	108	49	157	115	120	235	10	6	16	243,00	110,25	353,25	
		170	117	26	143	102	95	197	14	5	19	263,25	58,50	321,75	
1954	527	172	118	16	134	86	59	145	11	5	16	265,50	36,00	301,50	
		179	158	55	213	145	81	226	9	9	18	355,50	123,75	479,25	
		12	34	22	56	11	25	36	20	14	34	76,50	49,50	126,00	
		13	24	14	38	12	23	35	17	15	32	54,00	31,50	85,50	
		1	53	10	63	40	40	80	12	9	21	119,25	22,50	141,75	
		51	112	47	159	37	64	101	19	14	33	252,00	105,75	357,75	
		169	148	52	200	81	70	151	19	13	32	333,00	117,00	450,00	
527	170	87	46	133	35	60	95	16	15	31	195,75	103,50	299,25		
	172	39	50	89	31	56	87	15	11	26	87,75	112,50	200,25		
	179	53	112	165	40	118	158	13	13	26	119,25	252,00	371,25		

Weitere Erläuterungen im Abschnitt E VI des Textes.

und der Wasserzu- und Abgänge zum und vom Grundwasser in 22 Meßstellen im
der Abflußjahre 1952-1954. Ermittelt nach dem Einzelverfahren

Jahres-Summen

Wasser- Abgänge vom Grundwasser — mmN			der berechneten Wasserzu- und Abgänge zum und vom Grundwasser mmN			der gesamten Wasser- Zugänge zum Grundwasser Abgänge vom + mmN —					
Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

stetigem Verlauf der Ganglinien

74,25	40,50	114,75	15,75	27,00	42,75	33,75	54,00	87,75	90,00	67,50	157,50
13,50	121,50	135,00	51,75	9,00	60,75	159,75	13,50	173,25	65,25	130,50	195,75
13,50	101,25	114,75	49,50	27,00	76,50	144,00	47,25	191,25	63,00	128,25	191,25
24,75	60,75	85,50	38,25	18,00	56,25	74,25	36,00	110,25	63,00	78,75	141,75
56,25	90,00	146,25	33,75	6,75	40,50	157,50	6,75	164,25	90,00	96,75	186,75
11,25	85,50	96,75	47,25	13,50	60,75	220,50	18,00	238,50	58,50	99,00	157,50
20,25	103,50	123,75	45,00	9,00	54,00	243,00	15,75	258,75	65,25	112,50	177,75
0	72,00	72,00	58,50	11,25	69,75	198,00	13,50	211,50	58,50	85,50	141,75
83,25	204,75	288,00	31,50	0	31,50	252,00	0	252,00	114,75	204,75	319,50
38,25	171,00	209,25	49,50	0	49,50	265,50	0	265,50	87,75	171,00	258,75
4,50	65,25	69,75	54,00	20,25	74,25	186,75	38,25	225,00	58,50	85,50	144,00
6,75	101,25	108,00	56,25	2,25	58,50	173,25	2,25	175,50	63,00	103,50	166,50
105,75	92,25	198,00	9,00	24,75	33,75	11,25	38,25	49,50	114,75	117,00	231,75
110,25	51,75	162,00	9,00	15,75	24,75	22,50	15,75	38,25	119,25	67,50	186,75
22,50	54,00	76,50	38,25	15,75	54,00	67,50	27,00	94,50	60,75	69,75	130,50
90,00	47,25	137,25	15,75	31,50	47,25	24,75	58,50	83,25	105,75	78,75	184,50
69,75	45,00	114,75	9,00	15,75	24,75	9,00	15,75	24,75	78,75	60,75	139,50

teils unstetigem Verlauf der Ganglinien

56,25	128,25	184,50	33,75	18,00	51,75	180,00	45,00	225,00	99,00	146,25	236,25
29,25	132,75	162,00	47,25	20,25	67,50	191,25	60,75	252,00	76,50	153,00	229,50
85,50	222,75	308,25	47,25	15,75	63,00	290,25	58,50	348,75	132,75	238,50	371,25
58,50	227,25	285,75	38,25	6,75	45,00	258,75	15,75	274,50	96,75	234,00	330,75
67,50	162,00	229,50	38,25	15,75	54,00	252,00	51,75	303,75	105,75	177,75	283,50
69,75	270,00	339,75	33,75	13,50	47,25	299,25	69,75	369,00	103,50	283,50	387,00
60,75	60,75	121,50	24,75	36,00	60,75	67,50	135,00	202,50	85,50	96,75	182,25
27,00	74,25	101,25	42,75	22,50	65,25	117,00	49,50	166,50	69,75	96,75	166,50
56,25	193,50	249,75	36,00	20,25	56,25	252,00	90,00	342,00	92,25	213,75	306,00
148,50	159,75	308,25	29,25	20,25	49,50	166,50	119,25	285,75	117,75	180,00	357,75
130,50	148,50	279,00	33,75	27,00	60,75	254,25	90,00	344,25	164,25	175,50	339,75

unstetigem Verlauf der Ganglinien

54,00	177,75	231,75	42,75	15,75	58,50	247,50	101,25	348,75	96,75	193,50	290,25
45,00	146,25	191,25	45,00	11,25	56,25	204,75	47,25	252,00	90,00	157,50	247,50
112,50	231,75	344,25	40,50	29,25	69,75	285,75	231,75	517,50	153,00	261,00	414,00
121,50	177,75	299,25	36,00	24,75	60,75	276,75	173,25	450,00	157,50	202,50	360,00
40,50	135,00	175,50	38,25	20,25	58,50	168,75	60,75	229,50	78,75	155,25	234,00
121,50	166,50	288,00	33,75	20,25	54,00	229,50	128,25	357,75	155,25	186,75	342,00
101,25	193,50	294,75	31,50	18,00	49,50	186,75	90,00	276,75	132,75	211,50	344,25
128,25	157,50	285,75	31,50	11,25	42,75	254,25	45,00	299,25	159,75	168,75	328,50
195,75	245,25	441,00	18,00	4,50	22,50	297,00	87,75	384,75	213,75	249,75	463,50
220,50	258,75	479,25	22,50	11,25	33,75	272,25	83,25	355,50	243,00	270,00	513,00
258,75	270,00	528,75	22,50	13,50	36,00	265,50	123,75	389,25	281,25	283,50	564,75
229,50	213,75	443,25	31,50	11,25	42,75	294,75	69,75	364,50	261,00	225,00	486,00
193,50	132,75	326,25	24,75	11,25	36,00	290,25	47,25	337,50	218,25	144,00	362,25
326,25	182,25	508,50	20,25	20,25	40,50	375,75	144,00	519,75	346,50	202,50	549,00
24,75	56,25	81,00	45,00	31,50	76,50	121,50	81,00	202,50	69,75	87,75	157,50
27,00	51,75	78,75	38,25	33,75	72,00	92,25	65,25	157,50	65,25	85,50	150,75
90,00	90,00	180,00	27,00	20,25	47,25	146,25	42,75	189,00	117,00	110,25	227,25
83,25	144,00	227,25	42,75	31,50	74,25	294,75	137,25	432,00	126,00	175,50	301,50
182,25	157,50	339,75	42,75	29,25	72,00	375,75	146,25	522,00	225,00	186,75	411,75
78,75	135,00	213,75	36,00	33,75	69,75	231,75	137,25	369,00	114,75	168,75	283,50
69,75	126,00	195,75	33,75	24,75	58,50	121,50	137,25	258,75	103,50	150,75	254,25
90,00	265,50	355,50	29,25	29,25	58,50	148,50	281,25	429,75	119,25	294,75	414,00

Tabelle 7. Halbjahres- und Jahressummen der Spiegelbewegungen des Grundwassers östlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene während der Ab-

Jahr	Nummern der Meßstellen	Halbjahres- und Jahres-Summen des beobachteten						Anzahl der Wochen mit steigendem oder gleichbleibendem Grundwasserspiegel			Halbjahres- und der beobachteten Zugänge zum Grundwasser + mmN			
		Anstieges			Abfalles			Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	
		+	des Grundwasserspiegels		—									
Spalten		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Teilraum a mit überwiegend														
1952	507 527	40	8	0	8	33	6	39	3	0	3	18,00	0	18,00
		38	42	2	44	0	54	54	17	1	18	94,50	4,50	99,00
		2	40	8	48	4	44	48	14	5	19	90,00	18,00	108,00
		168	5	7	12	0	26	26	17	3	20	11,25	15,75	27,00
1953	507	34	54	0	54	24	40	64	9	0	9	121,50	0	121,50
		35	75	0	75	3	36	39	12	0	12	168,75	0	168,75
		36	79	0	79	0	43	43	18	0	18	177,75	0	177,75
		40	62	1	63	0	32	32	17	1	18	139,50	2,25	141,75
	527	7	90	0	90	29	91	120	7	0	7	202,50	0	202,50
		38	91	0	91	12	76	88	12	0	12	204,75	0	204,75
		2	57	0	57	0	21	21	17	0	17	128,25	0	128,25
		168	50	0	50	1	45	46	16	0	16	112,50	0	112,50
1954	507	35	0	0	0	46	35	81	0	1	1	0	0	0
		36	0	0	0	43	23	66	0	1	1	0	0	0
	527	38	3	5	8	0	24	24	17	4	21	6,75	11,25	18,00
		2	0	11	11	36	20	56	0	5	5	0	24,75	24,75
		168	0	0	0	31	20	51	0	0	0	0	0	0
Teilraum b mit teils stetigem,														
1952	527	4a	47	10	57	7	55	62	15	7	22	105,75	22,50	128,25
		173	53	17	70	2	58	60	16	7	23	119,25	38,25	157,50
		55	70	11	81	0	91	91	17	4	21	157,50	24,75	182,25
1953	527	171	94	0	94	22	97	119	10	0	10	211,50	0	211,50
		56	80	4	84	15	60	75	11	1	12	180,00	9,00	189,00
		55	110	0	110	23	95	118	11	0	11	247,50	0	247,50
1954	527	4a	0	30	30	8	13	21	14	16	30	0	67,50	67,50
		173	22	12	34	1	33	34	16	4	20	49,60	27,00	76,50
	171	94	5	99	23	60	83	16	12	28	211,50	11,25	222,75	
	56	2	7	9	7	34	41	1	4	5	4,50	15,75	20,25	
	55	50	0	50	10	38	48	14	0	14	112,50	0	112,50	
Teilraum c mit überwiegend														
1952	527	1	86	33	119	19	74	93	15	3	18	193,50	74,25	267,75
		165	63	13	76	12	62	74	16	6	22	141,75	29,25	171,00
		169	83	79	162	24	92	116	16	7	23	186,75	177,75	364,50
		170	85	60	145	32	73	105	15	7	22	191,25	135,00	326,25
		172	48	12	60	8	54	62	16	3	19	108,00	27,00	135,00
		179	64	23	87	31	49	80	15	7	22	144,00	51,75	195,75
1953	527	12	64	0	64	40	54	94	6	0	6	144,00	0	144,00
		13	87	0	87	45	55	100	6	2	8	195,75	0	195,75
		1	94	0	94	57	72	129	5	0	5	211,50	0	211,50
		51	67	0	67	54	83	137	6	0	6	150,75	0	150,75
		169	53	0	53	60	71	131	3	4	7	119,25	0	119,25
		170	67	1	68	52	72	124	5	2	7	150,75	2,25	153,00
		172	107	0	107	75	43	118	6	1	7	240,75	0	240,75
		179	110	0	110	97	26	113	6	5	11	247,50	0	247,50
1954	527	12	23	20	43	0	23	23	18	8	26	51,75	45,00	96,75
		13	12	10	22	0	19	19	18	5	23	27,00	22,50	49,50
		1	25	9	34	12	39	51	8	4	12	56,25	20,25	76,50
		51	89	40	129	14	57	71	16	7	23	200,25	90,00	290,25
		169	91	0	91	24	18	42	16	0	16	204,75	0	204,75
		170	59	32	91	7	46	53	16	7	23	132,75	72,00	204,75
		177	8	21	29	0	27	27	18	4	22	18,00	47,25	65,25
		179	13	49	62	0	55	55	18	6	24	29,25	110,25	139,50

Weitere Erläuterungen im Abschnitt E VI des Textes

und der Wasserzu- und Abgänge zum und vom Grundwasser in 22 Meßstellen im nord-flußjahre 1952-1954. Ermittelt nach dem summarischen Verfahren

Jahres-Summen

Wasser- Abgänge vom Grundwasser			der berechneten Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser			der gesamten Wasser- Zugänge zum Abgänge vom Grundwasser					
—			mmN			+			—		
Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

stetigem Verlauf der Ganglinien

74,25	13,50	87,75	6,75	0	6,75	24,75	0	24,75	81,00	13,50	94,50
0	121,50	121,50	38,25	2,25	40,50	132,75	6,75	139,50	38,25	123,75	162,00
9,00	99,00	108,00	31,50	11,25	42,75	121,50	29,25	150,75	40,50	110,25	150,75
0	58,50	58,50	38,25	6,75	45,00	49,50	22,50	72,00	38,25	65,25	103,50
54,00	90,00	144,00	20,25	0	20,25	141,75	0	141,75	74,25	90,00	164,25
6,75	81,00	87,75	27,00	0	27,00	195,75	0	195,75	33,75	81,00	114,75
0	96,75	96,75	40,50	0	40,50	218,25	0	218,25	40,50	96,75	137,25
0	72,00	72,00	38,25	2,25	40,50	177,75	4,50	182,25	38,25	74,25	112,50
65,25	204,75	270,00	15,75	0	15,75	218,25	0	218,25	81,00	204,75	285,75
27,00	171,00	198,00	27,00	0	27,00	231,75	0	231,75	54,00	171,00	225,00
0	47,25	47,25	38,25	0	38,25	166,50	0	166,50	38,25	47,25	85,50
2,25	101,25	103,50	36,00	0	36,00	148,50	0	148,50	38,25	101,25	139,50
103,50	78,75	182,25	0	2,25	2,25	0	2,25	2,25	103,50	81,00	184,50
96,75	51,75	148,50	0	2,25	2,25	0	2,25	2,25	96,75	54,00	150,75
0	54,00	54,00	38,25	9,00	47,25	45,00	20,25	65,25	38,25	63,00	101,25
81,00	45,00	126,00	0	11,25	11,25	0	36,00	36,00	81,00	56,25	137,25
69,75	45,00	114,75	0	0	0	0	0	0	69,75	45,00	114,75

teils unstetigem Verlauf der Ganglinien

15,75	123,75	139,50	33,75	15,75	49,50	139,50	38,25	177,75	49,50	139,50	189,00
4,50	130,50	135,00	36,00	15,75	51,75	155,25	54,00	209,25	40,50	146,25	186,75
0	204,75	204,75	38,25	9,00	47,25	195,75	33,75	229,50	38,25	213,75	252,00
49,50	218,25	267,75	22,50	0	22,50	234,00	0	234,00	72,00	218,25	290,25
33,75	135,00	168,75	24,75	2,25	27,00	204,75	11,25	216,00	58,50	137,25	195,75
51,75	213,75	265,00	24,75	0	24,75	272,25	0	272,25	76,50	213,75	290,25
18,00	29,25	47,25	31,50	36,00	67,50	31,50	103,50	135,00	49,50	65,25	114,75
2,25	74,25	76,50	36,00	9,00	45,00	85,50	36,00	121,50	38,25	83,25	121,50
51,75	135,00	186,75	36,00	27,00	63,00	247,50	38,25	285,75	87,75	162,00	249,75
15,75	76,75	92,25	2,25	9,00	11,25	6,75	24,75	31,50	18,00	85,50	103,50
22,50	85,50	108,00	31,50	0	31,50	144,00	0	144,00	54,00	85,50	139,50

unstetigem Verlauf der Ganglinien

42,75	166,50	209,25	33,75	6,75	40,50	227,25	81,00	308,25	76,50	173,25	249,75
27,00	139,50	166,50	36,00	13,50	49,50	177,75	42,75	220,50	63,00	153,00	216,00
54,00	207,00	261,00	36,00	15,75	51,75	222,75	193,50	416,25	90,00	222,75	312,75
72,00	164,25	236,25	33,75	15,75	49,50	225,00	150,75	375,75	105,75	180,00	285,75
18,00	121,50	139,50	36,00	6,75	42,75	144,00	33,75	177,75	54,00	128,25	182,25
69,75	110,25	180,00	33,75	15,75	49,50	177,75	67,50	245,25	103,50	126,00	229,50
90,00	121,50	211,50	13,50	0	13,50	157,50	0	157,50	103,50	121,50	225,00
101,25	123,75	225,00	13,50	4,50	18,00	209,25	4,50	213,75	114,75	128,25	243,00
128,25	162,00	290,25	11,25	0	11,25	222,75	0	222,75	139,50	162,00	301,50
121,50	186,75	308,25	13,50	0	13,50	164,25	0	164,25	135,00	186,75	321,75
135,00	159,75	294,75	6,75	9,00	15,75	126,00	9,00	135,00	141,75	168,75	310,50
117,00	157,50	274,50	11,25	4,50	15,75	162,00	6,75	168,75	128,25	162,00	290,25
168,75	96,75	265,50	13,50	2,25	15,75	254,25	2,25	256,50	182,25	99,00	281,25
218,25	58,50	276,75	13,50	11,25	24,75	261,00	11,25	272,25	231,75	69,75	301,50
0	51,75	51,75	40,50	18,00	58,50	92,25	63,00	155,25	49,50	69,75	119,25
0	42,75	42,75	40,50	11,25	51,75	67,50	33,75	101,25	40,50	54,00	94,50
27,00	87,75	114,75	18,00	9,00	27,00	74,25	29,25	103,50	45,00	96,75	141,75
31,50	128,25	159,75	36,00	15,75	51,75	236,25	105,75	342,00	67,50	144,00	211,50
54,00	40,50	94,50	36,00	0	36,00	240,75	0	240,75	90,00	40,50	130,50
15,75	103,50	119,25	36,00	15,75	51,75	168,75	87,75	256,50	51,75	119,25	171,00
0	60,75	60,75	40,50	9,00	49,50	58,50	56,25	114,75	40,50	69,75	110,25
0	123,75	123,75	40,50	13,50	54,00	69,75	123,75	193,50	40,50	137,25	177,75

Abgesehen vom Jahre 1954, in dem der mittlere Wasserzugang zum Grundwasser nach beiden Verfahren im Winter wenig unter dem des Sommers liegt, ist der Wasserzuwachs im Winterhalbjahr durchweg größer als im Sommer. Bei den Mittelwerten entfallen meistens 65—85% der Zugänge auf den Winter, innerhalb dessen die Grenzwerte bei 50—100% liegen; im Gesamtraum sind es bei den Dreijahresmitteln nach dem Einzelverfahren 73%, beim summarischen Verfahren 82%. In etwa denselben Größenordnungen bewegen sich die Verhältnisse der Wasserabgänge vom Grundwasser, bei denen die Hauptmasse natürlich im Sommerhalbjahr abgeht.

Mag auch die Mannigfaltigkeit und Verschiedenartigkeit der Zahlenwerte fast unübersehbar erscheinen und im einzelnen nicht auf besondere örtliche Umstände und zeitliche Vorgänge zurückgeführt werden können, so darf aber auch nicht verkannt werden, daß der größere Teil der Ergebnisse in engeren Grenzen zusammengeschlossen erscheint, demgegenüber die nach oben und unten außerhalb dieser Zone liegenden Werte nicht gerade allzu sehr ins Gewicht fallen. Die Streuungen, wie sie allenthalben vorkommen, schließen in den Teilräumen und im Gesamtraum die Bildung von Mittelwerten nicht aus, in die die Einzelwerte ja nur mit Bruchteilen eingehen. Es erscheint daher angängig, den weiteren Betrachtungen und Beurteilungen der Ergebnisse der Wasserzugänge nur die in Sp. 21 der Tab. 8 zusammengestellten Jahres- und Dreijahresmittel zu Grunde zu legen, von denen jedoch diejenigen des Gesamtraumes nur als Überschlagswerte gelten können.

Nach den Werten des Einzelverfahrens ist in allen Teilräumen der jeweils stärkste Wasserzugang im Jahre 1953 zu verzeichnen gewesen, ihm schließt sich teils in kleineren, teils im größeren Abstände das Jahr 1952 an und am Schluß folgt das Jahr 1954. Beim summarischen Verfahren liegen die Verhältnisse ebenso mit Ausnahme des Jahres 1954 im Teilraume c, in dem das Jahr 1952 bei weitem an der Spitze steht. Mit den in Tab. 4 angegebenen Jahresmitteln der Niederschläge bei den drei Wetterstellen Flughafen Rhein-Main, Groß-Gerau und Langen mit 675 mm im Jahre 1952, 594,3 mm 1953 und 577,9 mm 1954 steht das oben angegebene Verhältnis der Wasserzugänge in den einzelnen Jahren in einem gewissen Gegensatz. Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Niederschlag und Wasserzugang läßt sich erst feststellen, wenn man die Verteilung der Niederschläge auf Winter und Sommer der einzelnen Abflußjahre heranzieht. 1952 und 1954 überwog, wie es in der Regel der Fall zu sein pflegt, der Sommerniederschlag den des Winters mit 358 : 316 mm, besonders stark im letzten Jahre mit 410 : 167 mm, während 1953 der Winterniederschlag mit 303 mm über dem des Sommers mit 290 mm lag. 1952 und 1954 ist offenbar ein größerer Teil der Niederschläge sehr schnell der stärkeren Verdunstung des Sommers anheimgefallen, während der Winterüberschuß 1953 mehr dem Grundwasser zugute gekommen ist. Die etwa sonst noch wirksamen meteorologischen Einflüsse können mangels weiterer Unterlagen nicht herangezogen werden. Soviel geht jedoch aus diesen Umständen und Vorgängen mit Sicherheit hervor, daß die Höhe der Niederschläge im ganzen Jahre nicht allein für die Menge der Zugänge von Niederschlagswasser zum Grundwasser maßgebend ist.

Übereinstimmend mit der Grundwasserentwicklung ist der Wasserzugang zum Grundwasser sowohl nach den Berechnungen des Einzelverfahrens, wie nach denen des summarischen Verfahrens in den meisten einzelnen Jahresmitteln und stets in

den Dreijahresmitteln im Teilraum a am geringsten und im Raum c am größten, während b zwischen beiden liegt. Der jeweilige Anteil der Dreijahresmittel am Gesamtwasserzugang ist aus nachstehender Zusammenstellung ersichtlich.

Teilraum	Einzelverfahren Dreijahresmittel		Summarisches Verfahren Dreijahresmittel	
	mmN	%	mmN	%
a	156	19,8	117	22,4
b	283	36,0	187	35,7
c	347	44,2	220	41,9
Summe a—c	786	100,0	524	100,0
Gesamtraum	268	.	177	.

Zwischen den beiden Verfahren ergibt sich somit eine durchaus befriedigende Übereinstimmung der jeweiligen prozentualen Anteile.

In diesen bei beiden Verfahren stark voneinander abweichenden Dreijahresmitteln der Wasserzugänge zum Grundwasser zu den drei Teilräumen kommt der unterschiedliche Wasserzugang, wie er im vorigen Unterabschnitt beschrieben und erläutert ist, am deutlichsten zum Ausdruck. Das von Bachläufen fast freie Waldgebiet (Teilraum a) weist mit 156 bzw. 117 mmN den geringsten Wasserzugang auf. Das Feldgebiet der unteren Geländestufe mit geringem Waldbestand, aber von Bachläufen durchzogen (Teilraum b) liegt mit 283 bzw. 187 mmN beträchtlich höher. Das sich im Zuge des Feldgebietes mit seinem ausgedehnten Bach- und Grabennetz am Südrande unseres Raumes hinziehende Gelände (Teilraum c) hat mit 347 bzw. 220 mmN den größten Wasserzugang zu verzeichnen. Mit diesen Zahlenwerten werden Unterlagen dafür gewonnen, in welchen Teilen des Gesamtraumes die größten Wassermengen gewonnen werden können. Hierbei zeigt sich aber der beschränkte Wert der Dreijahresmittel des Gesamtraumes von 268 bzw. 177 mmN. Würde man bei solchen praktischen Aufgaben diese Zahlen auf die einzelnen Teilräume des Gesamtgebietes anwenden, so würde man nur im Teilraum b dem wirklichen Werte ziemlich nahe kommen, die Nutzbarkeit des Teilraumes a stark überschätzen und diejenige des Teilraumes c ebenso unterbewerten.

Für die absolute Höhe der Wasserzugänge zum Grundwasser lassen sich Vergleichszahlen nur mit Hilfe des bisher üblichen, im Abschnitt A kurz beschriebenen, Verfahrens gewinnen, die aber im vorliegenden Falle höchstens bis zu einer vorsichtigen Schätzung führen. Von den Unterlagen stehen für den Gesamtraum als sichere Zahlen nur die Niederschlagshöhen zur Verfügung, bei denen allein das Dreijahresmittel 1952/1954 der Niederschläge der drei Wetterstellen mit 615,7 mm eindeutig klar ist, eine Zahl, die mit den Angaben des langjährigen Mittels der Niederschläge 1891—1930 auf Taf. 11 bei SCHÖNHALS (1954) gut übereinstimmt. Bei den Teilräumen bleibt es öfter etwas zweifelhaft, wieweit die Ergebnisse der einzelnen Wetterstellen für die Berechnung der Niederschläge auf sie anzuwenden sind. So liegen die Meßstellen des Teilraumes a hauptsächlich in der Umgebung der Wetterstelle Flughafen (siehe Taf. 3), so daß trotz der etwas abseits im oder am Rande des Einflußbereichs der anderen

Tabelle 8. Halbjahres-, Jahres- und Dreijahresmittel von Spiegelbewegungen des Teilräumen und im Gesamtraum des nordöstlichsten Teiles der Oberrheinischen flußjahren

Verfahren	Jahr	Mittel	Beobachteter						Anzahl der Wochen mit steigendem oder gleichbleibendem Grundwasserspiegel		
			Anstieg des Grundwasserspiegels + cm			Abfall — cm			Winter	Sommer	Jahr
			Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr			
Spalten			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Teilraum a mit überwiegend											
Einzelverfahren	1952	Halbjahres- und Jahres- } Mittel	28	8	36	14	36	50	17	9	26
	1953		73	2	75	12	50	62	21	3	24
	1954		5	4	9	35	26	61	7	9	16
	1952/54	Dreijahresmittel	43	4	47	20	39	59	16	6	22
Summarisches Verfahren	1952	Halbjahres- und Jahres- } Mittel	24	4	28	9	33	42	13	2	15
	1953		70	0	70	9	48	57	14	0	14
	1954		1	3	4	31	25	56	4	2	6
	1952/54	Dreijahresmittel	39	2	41	16	37	53	11	1	12
Teilraum b mit teils stetigem,											
Einzelverfahren	1952	Halbjahres- und Jahres- } Mittel	79	16	95	25	72	97	19	8	27
	1953		104	15	119	29	98	127	17	5	22
	1954		61	32	93	38	56	94	15	11	26
	1952/54	Dreijahresmittel	78	23	101	32	72	104	16	9	25
Summarisches Verfahren	1952	Halbjahres- und Jahres- } Mittel	56	13	69	3	68	71	16	6	22
	1953		95	1	96	20	84	104	11	0	11
	1954		33	11	44	10	35	45	12	7	19
	1952/54	Dreijahresmittel	57	9	65	11	57	68	13	5	18
Teilraum c mit überwiegend											
Einzelverfahren	1952	Halbjahres- und Jahres- } Mittel	87	46	133	37	76	113	18	9	27
	1953		113	33	146	92	92	184	11	6	17
	1954		69	44	113	36	57	93	16	13	29
	1952/54	Dreijahresmittel	90	40	130	57	75	132	15	9	24
Summarisches Verfahren	1952	Halbjahres- und Jahres- } Mittel	71	37	108	21	67	88	15	6	21
	1953		81	0	81	60	60	120	5	2	7
	1954		40	23	63	7	36	43	16	5	21
	1952/54	Dreijahresmittel	64	18	82	30	53	83	12	4	16
Gesamt-											
Einzelverfahren	1952	Halbjahres- und Jahres- } Mittel	67	28	95	27	63	90	18	9	27
	1953		95	17	112	48	75	123	16	5	21
	1954		49	30	79	36	48	84	13	12	25
	1952/54	Dreijahresmittel	71	24	95	39	62	101	16	8	24
Summarisches Verfahren	1952	Halbjahres- und Jahres- } Mittel	54	21	75	13	57	70	15	5	20
	1953		79	0	79	32	59	91	9	1	10
	1954		27	14	41	15	32	47	11	5	16
	1952/54	Dreijahresmittel	53	11	64	21	49	70	12	3	15

Weitere Erläuterungen im Abschnitt E VI des Textes.

Grundwassers und Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser in den Tiefebene nach dem Einzel- und dem summarischen Verfahren in den Ab-1952-1954

Beobachteter Wasser-						Berechneter Wasserzu- und -abgang zum und vom Grundwasser	Gesamter Wasser-							
Zugang zum			Abgang vom				Zugang zum			Abgang vom				
Grundwasser							Grundwasser							
+			-				+			-				
mmN			mmN			mmN			mmN					
Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
stetigem Verlauf der Ganglinien														
64	18	82	32	81	113	39	20	59	103	38	141	71	101	171
165	4	169	27	112	139	47	8	55	212	12	224	74	120	194
11	10	21	80	58	138	16	21	37	27	31	58	96	79	175
96	9	105	44	88	132	36	15	51	132	24	156	80	103	183
53	10	63	21	73	94	29	5	34	82	15	97	50	78	128
157	0	157	19	108	127	31	0	31	187	1	188	50	108	158
2	7	9	70	55	125	8	5	13	9	12	21	78	60	138
87	4	91	35	84	119	23	3	26	110	7	117	58	87	145
tells unstetigem Verlauf der Ganglinien														
178	37	215	57	161	218	43	18	61	220	55	275	100	179	279
233	34	267	65	220	285	37	12	49	270	46	316	102	232	334
138	72	210	85	127	212	34	25	59	171	97	268	118	152	270
175	52	227	72	162	234	37	19	56	212	71	283	109	181	290
128	28	156	7	153	160	36	14	50	164	42	206	43	166	209
213	3	216	45	189	234	24	0	24	237	4	241	69	190	259
76	24	100	22	80	102	28	16	44	103	41	144	50	96	146
127	20	147	24	130	154	29	11	40	156	31	187	53	141	194
unstetigem Verlauf der Ganglinien														
151	62	213	61	142	203	40	20	60	235	124	359	101	161	262
254	74	328	207	206	413	25	13	38	280	86	366	232	219	451
155	99	254	81	128	209	37	29	66	191	129	320	118	157	275
202	91	293	127	169	296	33	21	54	235	112	347	160	190	350
161	82	243	47	152	199	35	12	47	196	95	291	82	164	246
183	0	183	135	133	268	12	4	16	195	4	199	147	137	284
90	51	141	16	80	96	36	11	47	126	62	188	53	91	144
143	41	184	68	119	187	27	9	36	170	50	220	95	128	223
raum														
151	62	213	61	142	203	40	20	60	191	82	273	101	162	263
213	38	251	109	169	278	36	11	47	250	48	298	145	180	325
110	67	177	82	108	190	30	26	56	140	93	233	112	134	246
160	55	215	87	140	227	35	18	53	195	73	268	122	158	280
120	48	168	30	128	158	34	11	45	154	59	213	63	138	201
176	1	177	72	132	204	22	2	24	198	3	201	94	133	227
62	31	93	33	73	106	26	11	37	87	42	129	59	84	143
120	24	144	47	109	156	26	7	33	146	31	177	73	116	189

Wetterstellen gelegenen M. St. 527/168 und 2 die beim Flughafen ermittelten Niederschläge allein zugrunde gelegt werden können. Für den Teilraum b kommen nur die Werte der Wetterstelle Groß-Gerau in Frage, wenn für die M. St. 56 bei Haßloch auch diejenigen vom Flughafen anwendbar wären. Der von Osten nach Westen langgestreckte Teilraum c liegt mit seinen östlichen M. St. 527/1, 12 und 13 ohne Frage im Niederschlagsraum der Wetterstelle Langen, während sich die übrigen Meßstellen des westlichen Teiles um die Wetterstelle Groß-Gerau scharen. Hier erscheint es daher geboten, das Mittel aus den Ergebnissen dieser beiden Wetterstellen anzuwenden. Für die mittlere Jahresverdunstung sollen im Waldgebiet 450 mm, im Feldgebiet 400 mm und im Gesamtraum 425 mm angesetzt werden. Mangels irgendwelcher Unterlagen werden die oberirdisch abfließenden Mengen folgendermaßen geschätzt. Nennenswerte oberirdische Gewässer sind im Teilraum a nur der am Südrande verlaufende teils Wurzelbach, teils Gerätsbach genannte Wasserlauf, der mit dem von Walldorf kommenden Gundbach den Schwarzbach bildet. Daneben spielen das oft trocken werdende, in einem alten Mainlauf aus der Gegend von Raunheim über Haßloch und Königstädten fließende Gewässer, sowie die kleinen Rinnsale in der Mainniederung bei Oberrad und Kelsterbach kaum eine Rolle. Der gesamte oberirdische Abfluß dürfte etwa 20 mm betragen. — An der Entwässerung des Teilraumes b sind das bereits genannte namenlose Gewässer bei Königstädten, Bauschheim und Astheim, wo es in den Schwarzbach mündet, der Schwarzbach selbst und die Unterläufe seiner Nebenbäche Heegbach, Apfelbach und Mühlbach beteiligt. Die oberirdische Wasserabgabe wird auf 40 mm geschätzt. — Der Teilraum c läßt durch das im Unterabschnitt E I geschilderte weitverzweigte Bach- und Grabensystem, deren wichtigste Glieder der Heegbach, Apfelbach, Mühlbach, Schlimmer Graben und Landgraben mit ihren zahlreichen Nebenbächen und Gräben den gesamten Raum von Osten nach Westen durchfließen und alle ihr Wasser an den Schwarzbach abgeben, erkennen, daß hier die oberirdische Wasserabgabe groß ist und auf 90 mm angenommen werden kann. Für den Gesamtraum werden 80 mm als mittlerer oberirdischer Wasserabfluß in Ansatz gebracht. Führt man mit diesen fast ausnahmslos recht zweifelhaften Unterlagen eine „Berechnung“ der Wasserzugänge zum Grundwasser durch, so ergibt sich nachstehende Gegenüberstellung zu den aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels abgeleiteten Werten.

Sämtliche Werte der Berechnungen der Wasserzugänge aus den Spiegelbewegungen des Grundwassers liegen über denen, die aus den Niederschlägen, der Verdunstung und dem oberirdischem Abfluß abgeleitet sind. Beim Einzelverfahren sind die Unterschiede z. T. recht groß und erreichen Beträge bis zu doppelter Höhe. Weniger scharf ist der Gegensatz zu den Resultaten des summarischen Verfahrens, die im Teilraume a sogar fast genau übereinstimmen. Bereits im Abschnitt D ist dargelegt worden, daß die Ergebnisse des Einzelverfahrens, wahrscheinlich zu groß seien, da manche Aufwärtsbewegungen in die Berechnung eingingen, die nicht durch wirkliche Wasserzugänge verursacht seien. Umgekehrt würden beim summarischen Verfahren manche echten Wasserzuzüsse nicht erfaßt, so daß diese Werte also zu klein ausfielen. Wo der wahre Wert zwischen beiden zu suchen ist, ist nicht genau zu sagen; wahrscheinlich liegt er nicht unbeträchtlich unter dem arithmetischen Mittel zwischen den Ergebnissen der beiden Verfahren.

Dreijahresmittel 1952—1954 der Wasserzugänge zum Grundwasser, berechnet aus Niederschlag, Verdunstung und oberirdischem Abfluß sowie aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels

		Teilraum			Gesamt- raum
		a	b	c	
Wasserzufuhr	Niederschlag	585	548	625	616
Wasserverlust	Verdunstung	450	400	400	425
	Oberirdischer Abfluß	20	40	90	60
	Gesamtverlust	470	440	490	485
Restbetrag	Zugang zum Grundwasser . .	115	108	135	131
Wasserzugang zum Grund- wasser	Einzelverfahren	156	283	347	268
	Summarisches Verfahren . .	117	187	220	177

Über die Wasserabgänge vom Grundwasser, deren Dreijahresmittel in Tab. 8 in der Sp. 24 zusammengestellt sind, lassen sich im einzelnen kaum zahlenmäßige Angaben machen. Rechnet man den Einheitswert von 2,25 mmN Abfluß in 7 Tagen durch den Grundwasserstrom infolge der Schwere in der üblichen Weise auf die Grundwasserspense des Gebietes um, so ergibt sich mit 3,72 l/s/km² ein Betrag, der einer Niederschlagsmenge von 117,2 mm je Jahr entspricht. Dieser Wert liegt im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene im Vergleich mit den aus den Spiegelbewegungen ermittelten Abgängen vom Grundwasser durchaus im Bereich der Möglichkeit. Mit dieser Menge wird aber nur der Teil des Abflusses erfaßt, der durch den Grundwasserstrom unterirdisch abgeführt wird. Dazu kommt der Anteil des durch die Bäche abfließenden Wassers, der teils aus deren Quellen, teils aus dem Übertreten von Grundwasser in das Bachwasser herrührt, wie bereits früher dargelegt ist. Diese Mengen sind mit dem vorliegenden Verfahren im einzelnen nicht zu erfassen. Sie gehen aber in die Abflußmengen der Bäche ebenso ein, wie auch die unmittelbar in die Bäche fallenden Niederschläge und das bei diesen Gelegenheiten ihnen oberirdisch zufließende Wasser. Diese Abflüsse dürfen aber nicht voll als Grundwasserspense und damit als Grundwasserverlust angesetzt werden, wenn auch andererseits ein großer Teil des oberirdischen abfließenden Wassers ohne Frage aus dem Grundwasser stammt.

F. Zusammenfassung

Das für die Feststellung der Wasserzugänge zum Grundwasser bisher übliche Verfahren durch Berechnung aus dem Unterschied zwischen der Summe der Niederschläge einerseits und dem verdunstenden Anteil und den oberirdischen Abflüssen andererseits ist meistens unbefriedigend, da in der Regel nur die Niederschläge, aber keiner der abzuziehenden Beträge für das zu beurteilende Gebiet aus örtlichen Untersuchungen zahlenmäßig bekannt sind und durch ganz allgemeine Mittelwerte und Schätzungen ersetzt werden müssen. Außerdem ist eine Nachprüfung des Restes, auf den es gerade ankommt, nicht möglich. Die Voraussetzung für die mengenmäßige

Ermittlung der Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels ist eine genaue Kenntnis des durchschnittlichen aufnehmbaren Wasservolumens des Wasserleiters, d. h. der Wassermenge, die der bergfeuchte Wasserleiter je Zentimeter Mächtigkeit aufzunehmen vermag. Dieser im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene zu anderen Zwecken mit den üblichen bodenphysikalischen Methoden vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung in Wiesbaden festgestellte Wert beträgt je Quadratmeter Fläche 2,25 l und entspricht damit einer Niederschlagshöhe von 2,25 mm (= 2,25 mmN). Außerdem ist ein ausgedehntes Netz regelmäßig gemessener Grundwassermeßstellen erforderlich.

Mit Hilfe dieses Einheitswertes als Faktor lassen sich die Wasserzu- und -abgänge aus der Anzahl der Zentimeter berechnen, um die der Grundwasserspiegel gestiegen oder gefallen ist. Je nachdem man dabei von der normalen Ganglinie mit allen ihren rückläufigen Bewegungen des Spiegels ausgeht und an Hand der Grundwasserstandslisten jede einzelne dieser Auf- und Abbewegungen registriert und ihre Beträge in die Berechnung einführt (= Einzelverfahren) oder eine vereinfachte schematisierte Ganglinie zu Grunde legt, die durch die Grundwasserstände am Anfang, in der Halbzeit (= Ende des Winters = Anfang des Sommers) und am Ende des Abflußjahres sowie die Höchst- und Tiefstwerte geht, die Spiegelbewegungen also nur summarisch erfaßt (= summarisches Verfahren), ergeben sich Werte verschiedener Höhe. Wahrscheinlich liefert das Einzelverfahren zu hohe und das summarische Verfahren zu niedrige Werte, da von dem ersteren auch solche Bewegungen verzeichnet werden, denen keine echten Wasserzugänge zugrunde liegen, und bei letzterem nicht alle Wasserzuflüsse erfaßt werden. Außer diesen aus den unmittelbaren Beobachtungen abgeleiteten Wasserzugängen sind noch andere zu berechnen, deren tatsächliches Vorhandensein sich aus den Fließbewegungen des Grundwasserstromes und den Spiegelbewegungen ableiten läßt.

Die Anwendung dieser Verfahren auf den nordöstlichsten Teil der Oberrheinischen Tiefebene hat zu Zahlenwerten geführt, die beim Einzelverfahren beträchtlich, beim summarischen Verfahren in geringerem Maß über denen des mit Hilfe der bisher üblichen Methode gefundenen Beträgen liegen.

Zum Schluß sei nochmals betont, daß es sich bei den vorliegenden Ausführungen um einen Versuch handelt, zuverlässigere Werte der Wasserzu- und -abgänge zum und vom Grundwasser aus diesem selbst und nicht auf Umwegen über andere Vorgänge zu gewinnen. Es muß zugegeben werden, daß nicht alle Einzelergebnisse voll befriedigend sind. Vor allem sei aber darauf hingewiesen, daß die Zahlenergebnisse über die Verhältnisse im nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene keine endgültigen Werte sind, da die zu Grunde gelegte Zeit von drei Jahren viel zu klein ist, um daraus weitgehende Schlüsse ziehen zu können. Besonders trifft das für die Mittelwerte des Gesamtraumes zu.

Schriften

- BERO, L.: Die Grundwasserverhältnisse im rechtsrheinischen Ried. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A. f. 1929, (V) 14, S. 70—80, Taf. 2—6, 8 Abb., Darmstadt 1933.
- BURRE, O.: Die Ursachen der Grundwasserentwicklung im nordwestlichen Teile des Kreises Groß-Gerau in Hessen (Mainspitze) in den Jahren 1927-1950. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. (VI) 3, S. 199—250. 3 Abb., 7 Tab., 2 Taf. Wiesbaden, 1. 1. 1952.
- Der Landesgrundwasserdienst in Hessen in den Abflußjahren 1949—1951. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., (VI) 3, S. 396—449, 2 Taf., Wiesbaden 1952.
- HOFMANN, E. F.: Grundwasserstandsänderungen im Rheintal. — Pumpen und Brunnenbau, Bohrtechnik, 38, Nr. 17—21, S. 299—301, 315—320, 335—340, 351—352, 26 Abb., Berlin 1942.
- KOEHNE, W.: Grundwasserkunde. 2. Aufl. Stuttgart 1948.
- NÖRING, F.: Der Hessische Landesgrundwasserdienst und Quellmeßdienst im Anflußjahr 1954. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 83, S. 350—396. 6 Tab., Taf. 17—26, Wiesbaden 1955.
- SCHÖNHALS, E.: Die Böden Hessens. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 2, S. 1—288, 25 Abb., 60 Tab., 15 Taf., Wiesbaden, 30. 3. 1954.
- SIMON, K.: Schrittweises Kernern und Messen bodenphysikalischer Kennwerte des ungestörten Untergrundes. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 6, S. 1—63, 19 Abb., 3 Taf., Wiesbaden 1953.
- VIESOHN, G.: Die Wasserversorgung der Stadt Frankfurt a. M. — Z. deutsch. geol. Ges., 85, S. 523—529, Taf. 40—43, Berlin 1934.

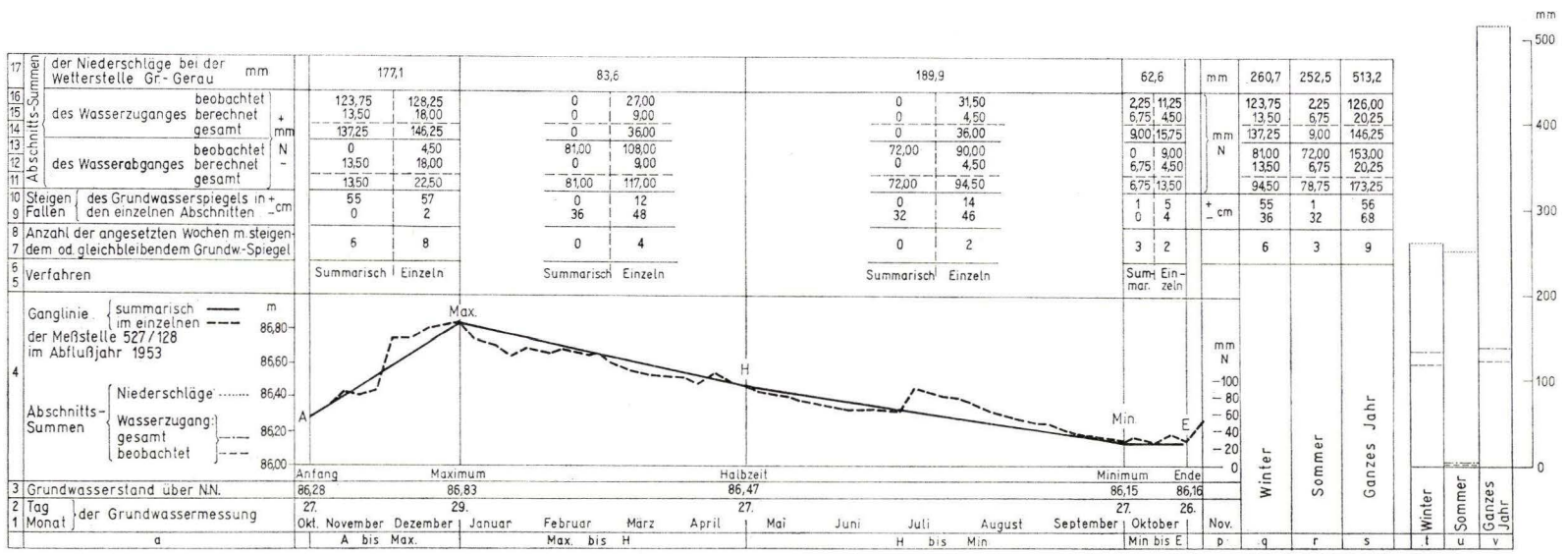
Manuskript eingegangen am 23. März 1959

Anschrift des Autors:

Professor Dr. OTTO BURRE, Oberregierungsgeologe a. D.,
Darmstadt, Niebergallweg 26.

Für die Redaktion verantwortlich:

Dipl.-Geol. Dr. FRITZ KUTSCHER, Oberregierungsgeologe
beim Hessischen Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden,
Mainzer Straße 25.



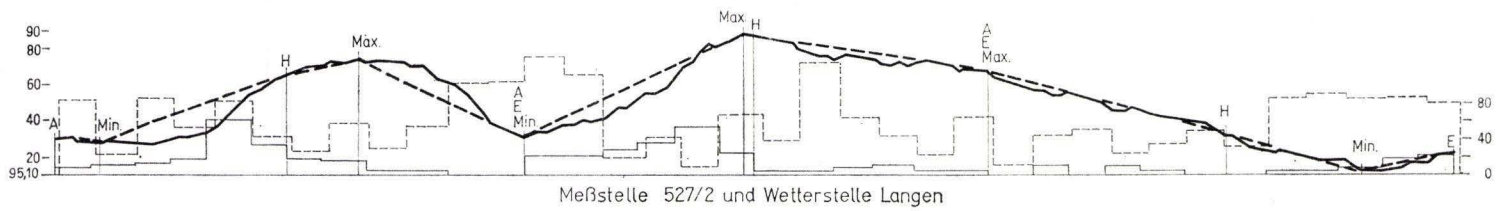
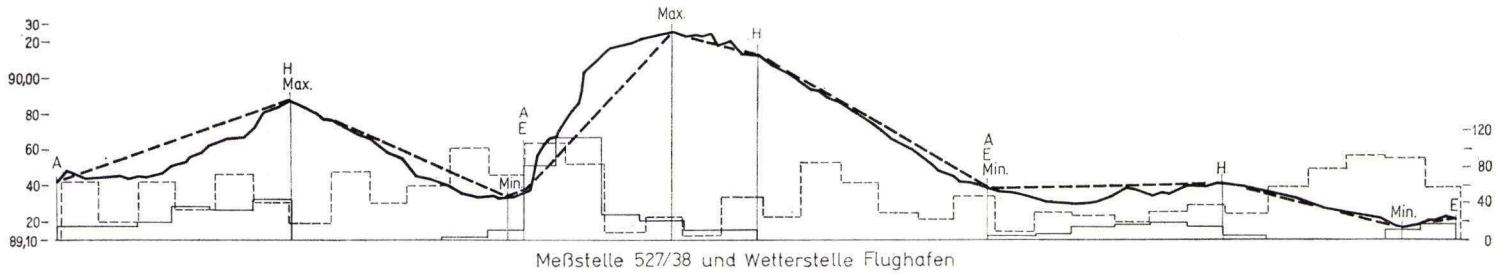
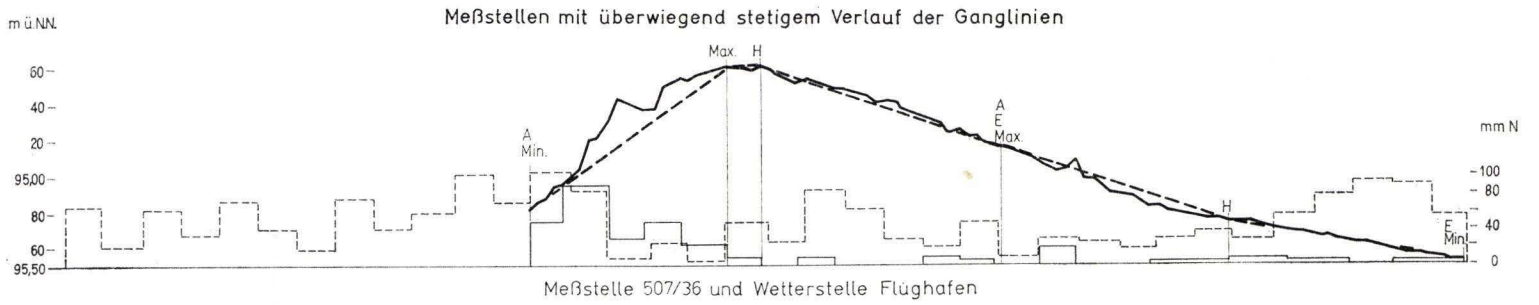
Musterbeispiel zur Berechnung der Wasserzu- und Abgänge zum und vom Grundwasser aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels, durchgeführt an der Meßstelle 527/128 für das Abflußjahr 1953 nach dem summarischen Verfahren. Die Tabelle ist von unten nach oben zu lesen. - Weitere Erläuterungen im Abschnitt D II des Textes.

1952

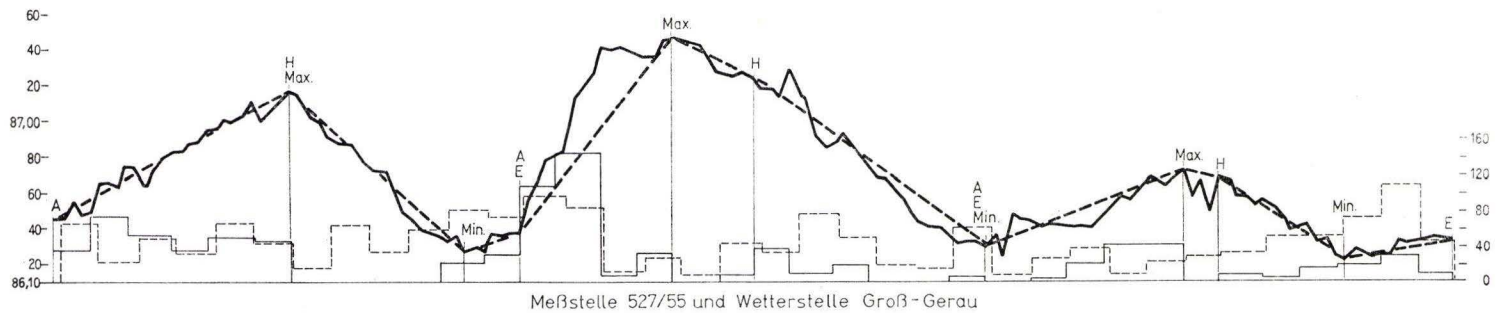
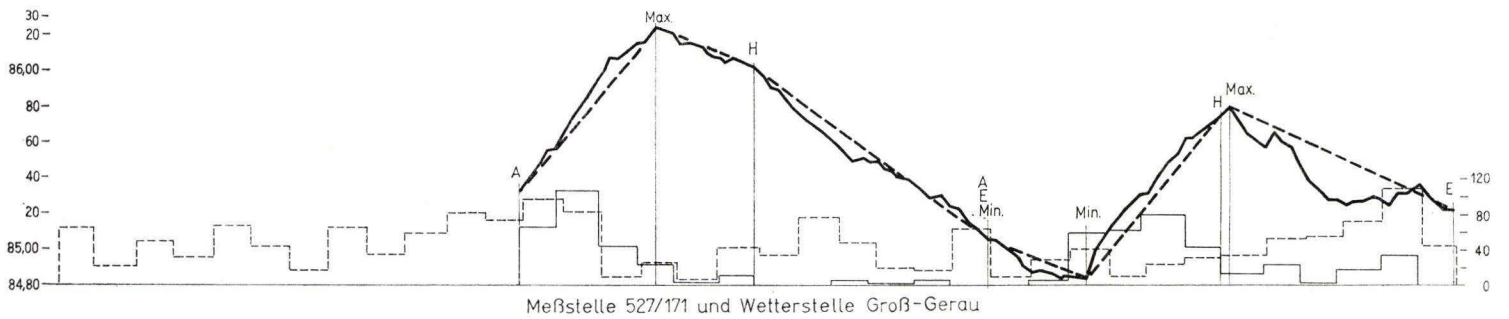
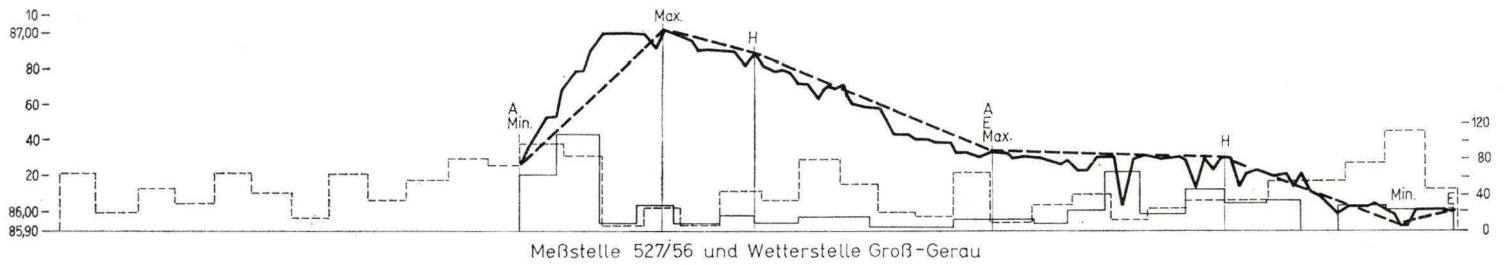
1953

1954

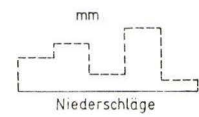
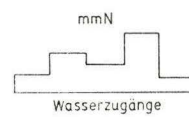
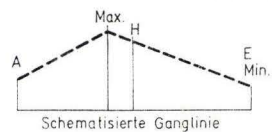
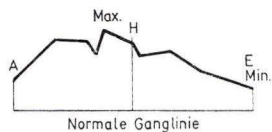
Nov. | Dez. | Jan. | Febr. | März | Apr. | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. | Jan. | Febr. | März | Apr. | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. | Jan. | Febr. | März | Apr. | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt.



Meßstellen mit teils stetigem, teils unstetigem Verlauf der Ganglinien



A = Anfang
H = Halbzeit
E = Ende
Max. = Maximum
Min. = Minimum



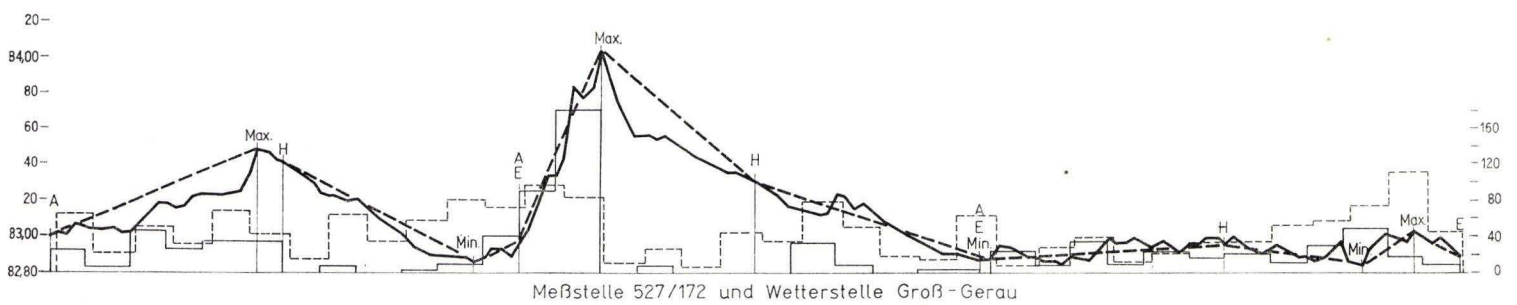
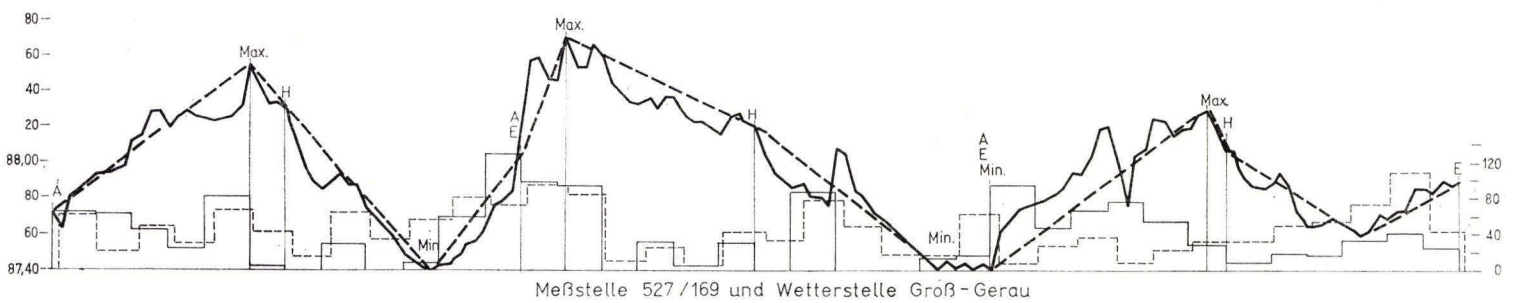
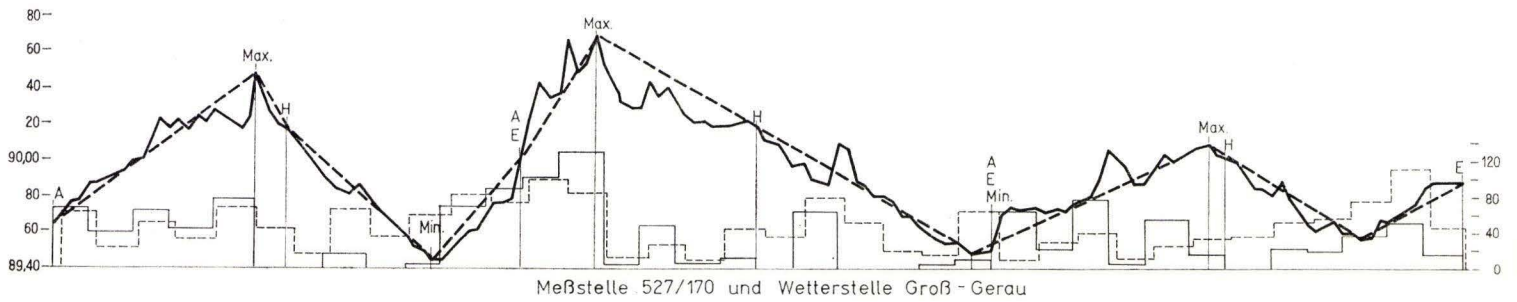
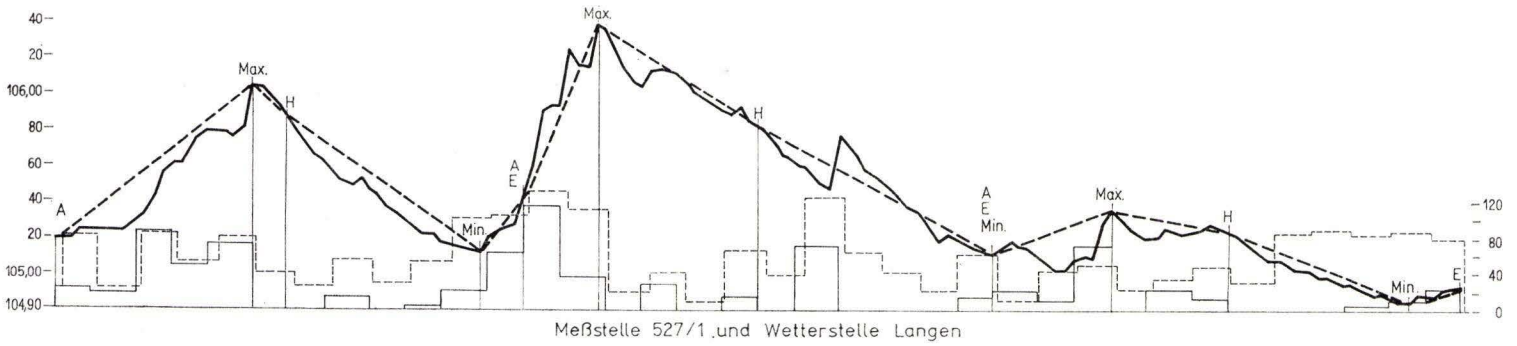
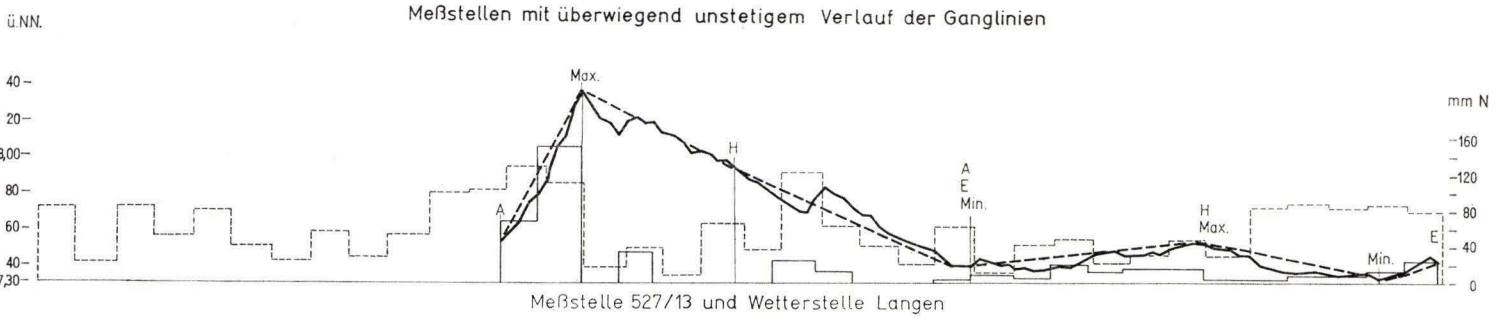
Normale und schematisierte Ganglinien von drei Grundwassermeßstellen mit überwiegend stetigem und drei Meßstellen mit teils stetigem, teils unstetigem Verlauf aus dem nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene, sowie Darstellungen der monatlichen Wasserzugänge zum Grundwasser und der monatlichen Niederschläge während der Abflußjahre 1952-1954.

1952

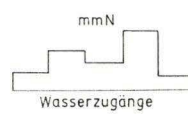
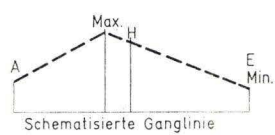
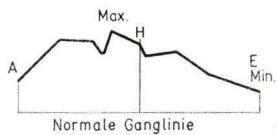
1953

1954

Nov. | Dez. | Jan. | Febr. | März | Apr. | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. | Jan. | Febr. | März | Apr. | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. | Jan. | Febr. | März | Apr. | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt.



A = Anfang
 H = Halbzeit
 E = Ende
 Max = Maximum
 Min = Minimum



Normale und schematisierte Ganglinien von fünf Grundwassermeßstellen mit überwiegend un stetigem Verlauf aus dem nordöstlichsten Teile der Oberrheinischen Tiefebene, sowie Darstellungen der monatlichen Wasserzugänge zum Grundwasser und der monatlichen Niederschläge während der Abflußjahre 1952-1954.

IN DIESER REIHE BISHER ERSCHIENEN

- Heft 1: JOHANNSEN, A.: Die geologischen Grundlagen der Wasserversorgung am Ostrand des Rheinischen Gebirges im Raume von Marburg-Frankenberg-Borken. 1950. 87 S., 10 Taf., 8 Abb. 8,— DM
- Heft 2: SCHÖNHALS, E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit einer bodenkundlichen Übersichtskarte 1:300000. 1954. 288 S., 15 Taf., 25 Abb., 60 Tab. 15,— DM
- Heft 3: KUBELLA, K.: Zum tektonischen Werdegang des südlichen Taunus. 1951. 81 S., 2 Taf., 14 Abb. 5,— DM
- Heft 4: GÖRGES, J.: Die Lamellibranchiaten und Gastropoden des oberoligozänen Meeressandes von Kassel. 1952. 134 S., 3 Taf. 7,50 DM
- Heft 5: SOLLE, G.: Die Spiriferen der Gruppe *arduennensis-intermedius* im rheinischen Devon. 1953. 156 S., 18 Taf., 45 Abb., 7 Tab. 20,— DM
- Heft 6: SIMON, K.: Schrittweises Kern- und Messen bodenphysikalischer Kennwerte des ungestörten Untergrundes. 1953. 63 S., 3 Taf., 19 Abb. 7,— DM
- Heft 7: KEGEL, W.: Das Paläozoikum der Lindener Mark bei Gießen. 1953. 55 S., 3 Taf., 3 Abb. 6,— DM
- Heft 8: MATHES, S.: Die Para-Gneise im mittleren kristallinen Vor-Spessart und ihre Metamorphose. 1954. 86 S., 36 Abb., 8 Tab. 12,50 DM
- Heft 9: RABIEN, A.: Zur Taxionomie und Chronologie der Oberdevonischen Ostracoden. 1954. 269 S., 7 Abb., 5 Taf., 4 Tab. 17,— DM
- Heft 10: SCHUBART, W.: Zur Stratigraphie, Tektonik und den Lagerstätten der Witzenhäuser Grauwacke. 1955. 67 S., 4 Taf., 8 Abb. 8,— DM
- Heft 11: STREMME, H.: Bodenentstehung und Mineralbildung im Neckarschwemmlern der Rheinebene. 1955. 79 S., 3 Taf., 35 Abb., 28 Tab. 7,— DM
- Heft 12: v. STETTEN, O.: Vergleichende bodenkundliche und pflanzensoziologische Untersuchungen von Grünlandflächen im Hohen Vogelsberg (Hessen). 1955. 67 S., 1 Taf., 4 Abb., 2 Tab. 5,50 DM
- Heft 13: SCHENK, E.: Die Mechanik der periglazialen Strukturböden. 1955. 92 S., 21 Abb., 13 Tab., 10 Taf. 12,— DM
- Heft 14: ENGELS, B.: Zur Tektonik und Stratigraphie des Unterdevons zwischen Loreley und Lorchhausen a. Rhein (Rheinisches Schiefergebirge). 1955. 96 S., 31 Abb., 2 Tab., 15 Diagramme, 5 Taf. 12,60 DM

IN DIESER REIHE BISHER ERSCIENEN

- Heft 15: WIEGEL, E.: Sedimentation und Tektonik im Westteil der Galgenberg-Mulde (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1956. 156 S., 41 Abb., 7 Tab., 7 Taf. 18,60 DM
- Heft 16: RABIEN, A.: Zur Stratigraphie und Fazies des Oberdevons in der Waldecker Hauptmulde. 1956. 83 S., 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf. 7,— DM
- Heft 17: SOLLE, G.: Die Watt-Fauna der unteren Klerfer Schichten von Greimerath (Unterdevon, Südost-Eifel). Zugleich ein Beitrag zur unterdevonischen Mollusken-Fauna. 1956. 47 S., 7 Abb., 6 Taf. 5,— DM
- Heft 18: Beiträge zur Geologie des Vorpessarts. Mit 6 Beiträgen von BEDERKE, BRAITSCH, GABERT, MURAWSKI, PLESSMANN. 1957. 167 S., 65 Abb., 18 Taf. 13,— DM
- Heft 19: BISCHOFF, G.: Die Conodonten-Stratigraphie des rheinoherzynischen Unterkarbons mit Berücksichtigung der *Wocklumeria*-Stufe und der Devon/Karbon-Grenze. 1957. 64 S., 1 Abb., 2 Tab., 6 Taf. 8,— DM
- Heft 20: PILGER, A. & SCHMIDT, Wo.: Die Mullion-Strukturen in der Nord-Eifel. 1957. 53 S., 42 Abb., 8 Taf. 9,80 DM
- Heft 21: LEHMANN, W. M.: Die Asterozoen in den Dachschiefen des rheinischen Unterdevons. 1957. 160 S., 31 Abb., 55 Taf. 30,— DM
- Heft 22: BISCHOFF, G. & ZIEGLER, W.: Die Conodontenchronologie des Mitteldevons und des tiefsten Oberdevons. 1957. 135 S., 16 Abb., 5 Tab., 21 Taf. . . . 20,— DM
- Heft 23: ZÖBELEIN, H. K.: Kritische Bemerkungen zur Stratigraphie der Subalpinen Molasse Oberbayerns. 1957. 91 S., 2 Abb. 8,— DM
- Heft 24: GUNZERT, G.: Die einheitliche Gliederung des deutschen Buntsandsteins in der südlichen Beckenfazies. 1958. 61 S., 14 Abb., 7 Tab. 14,— DM
- Heft 25: PAULY, E.: Das Devon der südwestlichen Lahnmulde und ihrer Randgebiete. 1958. 138 S., 41 Abb., 6 Taf. 20,— DM
- Heft 26: SPERLING, H.: Geologische Neuaufnahme des östlichen Teiles des Blattes Schaumburg. 1958. 72 S., 14 Abb., 5 Tab., 10 Taf. 10,— DM
- Heft 27: JUX, U. & PFLUG, H. D.: Alter und Entstehung der Triasablagerungen und ihrer Erzkvorkommen am Rheinischen Schiefergebirge, neue Wirbeltierreste und das Chirotheriumproblem. 1958. 50 S., 11 Abb., 3 Taf. 5,60 DM
- Heft 28: SCHMIDT, H.: Die Cornberger Fährten im Rahmen der Vierfüßler-Entwicklung. 1959. 137 S., 57 Abb., 9 Taf. 15,— DM
- Heft 29: Beitrag zur Geologie der Mittleren Siegener Schichten. Mit 14 Arbeiten von BAUER, FENCHEL, MÜLLER, PAHL, PAPROTH, PILGER, REICHENBACH, SCHMELCHER, WENTZLAU. 1960. 363 S., 85 Abb., 22 Taf., 10 Tab.