

Niederschlag und Abfluß, speziell im oberen Neckar- gebiet.

Von Dr. **Walter Wundt**.

Mit Taf. VIII und IX und 4 Textfiguren.

1. Allgemeines über Niederschlag und Abfluß.

Die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß sind für verschiedene Wissenszweige von Bedeutung. Den Meteorologen veranlassen sie zur Untersuchung des Niederschlags, der Verdunstung und der Bodenfeuchtigkeit, der Hydrologe und Techniker bedarf sie zu Zwecken des Hochwasserschutzes und der Wasserversorgung, der Geologe interessiert sich für den Einfluß der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes auf den Abfluß, der Forstmann endlich für die Abhängigkeit des Abflusses von der Waldbedeckung.

Wer sich mit dem Abflußproblem beschäftigt, hat sich zunächst mit einigen prinzipiellen Fragen auseinanderzusetzen. Allgemein besteht die Gleichung:

$$\text{Abfluß} = \text{Niederschlag} - \text{Verdunstung}.$$

Unter Niederschlag verstehen wir hier nur den Niederschlag aus der Atmosphäre. Demgegenüber behaupten die Anhänger der Volgerschen Quellentheorie¹, daß der größte Teil des Quellwassers von unterirdischen Niederschlägen herrühre, welche der Kondensation von Wasserdampf innerhalb des Bodens entstammen. Die Gründe, welche für diese Theorie angeführt werden, sind folgende: Aus Laboratoriumsversuchen wird geschlossen, daß der Regen

¹ Vergl. hierüber: König, Die Verteilung des Wassers über, auf und in der Erde. Jena 1901. Derselbe: Entstehung und Speisung der Grundwässer. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1906. S. 1033 ff. — Haedicke, Luftfeuchtigkeit und Wasserbildung im Grunde. Zeitschr. d. Ver. der Gas- und Wasserfachmänner in Österr.-Ungarn. XLIX, 6. Heft. — Mezger, Die Schwankungen der Grundwasserstände und der Quellenausflüsse. Gesundheitsingenieur. 1908. No. 32, S. 501 und No. 33, S. 517.

nicht imstande sei, Schichten auch nur geringer Mächtigkeit zu durchdringen. An Stationen, die zum Studium der Grundwasserbildung eingerichtet wurden, zeigten sich Schwankungen, die unabhängig vom Niederschlag waren. Das Wasser stieg stets nach dem Hygrometer und sehr häufig vor dem Regen. Der Betrag der Verdunstung soll nach den bisherigen Beobachtungen so groß sein, daß der Niederschlag bei weitem nicht imstande sei, diesen Ausfall und dazu noch die Quellenspeisung zu decken.

HANN¹ hat bewiesen, daß diese Quellentheorie vom physikalischen Standpunkt aus unhaltbar ist. Nach Versuchen in Wien ist die Luftzirkulation im Boden so gering, daß von einer nennenswerten Kondensation nicht die Rede sein kann. — Die Undurchlässigkeit mancher Böden für die Niederschläge beweist nichts für die Unabhängigkeit der Quellen vom Regen. Die Abwärtsbewegung des Wassers erfolgt nicht längs der Kapillaren, sondern in den nichtkapillaren Fugen des Gesteins; daß Lehmböden und dichte Sandböden für Wasser impermeabel sind, wird nicht bestritten. Auffallen könnte die Tatsache, daß manche Schwankungen des Grundwassers unabhängig vom Regen erfolgen; doch erklärt sie sich aus der Abhängigkeit der Grundwasserhöhe vom Barometerstand. Niedriger Luftdruck, der dem Regen meist vorangeht, saugt die Luft aus dem Boden heraus und bewirkt eine Hebung des Grundwasserstandes und damit eine vorübergehende Verstärkung der Quellen. — Die mit den Verdunstungsmessern ermittelten Beträge der Verdunstung entsprechen — abgesehen davon, daß meist veraltete Angaben benützt werden — keineswegs den wirklich verdunsteten Wassermengen. Erstere stellen ein Maximum dar, welches nur erreicht werden würde, wenn die ganze Bodenoberfläche beständig feucht wäre. Außerdem wird die Verdunstung um so geringer, je größer die beobachtete Fläche ist. Denn die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf sinkt, wenn dasselbe Luftquantum nacheinander verschiedene Teile der feuchten Fläche berührt. — Am überzeugendsten sprechen jedoch gegen die VOLGER'sche Theorie die Diagramme, welche die jährlichen Schwankungen des Grundwasserstandes denen des Niederschlags (im Zusammenhang mit der Temperatur) gegenüberstellen. Die Abhängigkeit vom Niederschlag ist eine so augenscheinliche, daß es unverständlich ist, wie man zu der Ansicht kommen kann, daß der Niederschlag von unerheblichem Einfluß auf die Quellenspeisung sei.

¹ Hann, Gaea XVI, S. 469 und XVII, S. 83.

Eine andere Frage ist, ob nicht außer Regen und Schnee auch Tau und Nebel Anlaß zur Quellbildung geben können. Die Brunnen in der Nähe von Berggipfeln (z. B. der Hexenbrunnen am Brocken) geben hierfür Beispiele. Schneeflächen können neben den Niederschlägen im engeren Sinn erhebliche Mengen Wasser in Form von Rauhreif aufnehmen. Doch sind dies mehr lokale Erscheinungen und für die Quellbildung unter normalen Verhältnissen ohne Bedeutung.

Da an den Küsten vielfach salzhaltige Quellen auftreten, so wurde daraus geschlossen, daß kapillar aufsteigendes Meerwasser in erheblichem Maße zur Speisung der Quellen beitrage. Dies kann jedenfalls nur für beschränkte Küstenstriche Geltung haben. Untersuchungen des Grundwassers an der belgischen Küste und an andern Stellen haben ergeben, daß in unmittelbarer Nähe des Meeres bis zu bedeutenden Tiefen Süßwasser vorhanden ist. Da der Grundwasserspiegel vom Meere aus ansteigt, so wäre es bei dem vorhandenen Überdruck unnatürlich, ein Einströmen des Wassers vom Meere aus anzunehmen. Die brackigen Quellen dürften lokaler Mischung von Salzwasser und ausströmendem Süßwasser (z. B. durch Saugwirkung) ihre Entstehung verdanken.

Wir nehmen also an, daß mit verschwindenden Ausnahmen — ob in den heißen Quellen sogenanntes juveniles Wasser zutage tritt, sei dahingestellt — das Wasser in den Flüssen meteorischen Ursprungs ist.

Der Abfluß setzt sich zusammen aus dem oberflächlichen und dem Grundwasserabfluß. Da wir nur den ersteren direkt messen können, so scheint es fraglich, ob es überhaupt möglich ist, Abfluß und Niederschlag zueinander in Beziehung zu setzen. Am einfachsten liegt der Fall im undurchlässigen Gebirgsland, wo keine oder nur sehr schwache Grundwasserströme vorhanden sind, z. B. im Urgebirge des Schwarzwalds; am schwierigsten da, wo stark durchlässige, z. B. diluviale Ablagerungen bedeutende Wassermassen aufzunehmen imstande sind, wie in der oberrheinischen Tiefebene. Die Wasserverluste, welche in Kalkgebirgen (Lone, obere Donau) oder in Verwerfungsgebieten vorkommen, sollen hier außer Betracht bleiben, da sie dem Wesen nach vom Grundwasserstrom verschieden sind. Daß das Grundwasser erheblichen Anteil an der Wasserführung eines Flusses haben kann, geht aus einer Reihe von Fällen hervor. Bekannt ist das Beispiel des Hachinger Bachs bei München, der während seines Laufs bis zu $\frac{1}{8}$ seiner Wassermenge an das

Grundwasser wieder abgibt¹. Weitere Beispiele liefern die Leitha und die Dreisam. Auch für den Rhein werden beträchtliche, aus dem Grundwasser zuströmende Wassermengen nachgewiesen². Der springende Punkt ist offenbar das prozentuale Verhältnis der Wassermenge des Grundwasserstromes zu der des Hauptwasserlaufs in der betreffenden Gegend. Auch sehr ergiebige Quellen, wie eine bei Kochendorf erbohrte Grundwasserquelle im Betrag von 500 Sekundenliter, verlieren an Bedeutung, wenn man sie zur mittleren Wasserführung des Flusses in Beziehung setzt (Neckar bei Offenau 50 cbm, also das Hundertfache dieser Menge!). Der Grund, warum ich den Grundwasserstrom in dem später betrachteten Fall (Neckar bei Tübingen) für relativ unbedeutend halte, ist, daß sich bei den Wassermessungen nirgends Widersprüche ergeben haben, wie dies bei wechselnder Abgabe und Aufnahme von Wasser aus dem Grundwasserstrom der Fall sein müßte. Eine plausible Vorstellung wäre, daß ein Fluß beim Austritt aus dem Gebirge Wasser an die Umgebung abgibt und daß er solches vor einem Gebirgsdurchbruche wieder sammelt (wobei natürlich auch die Gesteinsarten eine Rolle spielen); eine weitere, daß bei hohem Wasserstand ein Rückstau und Ansammlung des Grundwassers eintritt, während bei Tiefstand eine Speisung aus dem Grundwasser erfolgt; dieses würde also ähnlich wie ein Seebecken wirken. Der Grundwasserabfluß würde dann wesentlich nur eine zeitliche Verschiebung, nicht eine quantitative Änderung des Gesamtabflusses bedeuten. Beim oberen Neckar ist aus den bisherigen Messungen von diesen Vorgängen nichts zu erkennen und es ist bei der Berechnung des Abflußverhältnisses nur der oberflächliche Abfluß in Betracht gezogen. Ich denke in einer späteren Untersuchung auf diese Frage allgemein zurückzukommen.

Neben den prinzipiellen treten praktische Fragen auf, welche die Messung des Abflusses und des Niederschlags betreffen. Die Wassermessung erfolgt bei kleinen Rinnsalen mittels Überfällen von bekanntem Querschnitt. Schwieriger ist die Bestimmung von Wassermengen bei Flüssen. Sie erfordert eine genaue Feststellung des Flußprofils, sodann die Messung der mittleren Geschwindigkeit. Aus Querschnitt und Geschwindigkeit berechnet man bei einigen Pegel-

¹ Vergl. Soyka, Die Schwankungen des Grundwassers. Wien 1888. S.-A. aus Penck's Geograph. Abhandl. Bd. II, Heft 3.

² Ergebnisse der Untersuchungen der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. Heft VIII. 1908. ed. Großh. Bad. Zentralbureau f. Hydrographie.

ständen die Wassermengen; aus den zusammengehörigen Werten wird eine Kurve konstruiert, welche für jeden Pegelstand die Wassermenge angibt. Diese Beziehung läßt sich natürlich auch rechnerisch durchführen; in der Regel genügt zur Darstellung der Abhängigkeit eine Kurve zweiten Grades. Die Einzelheiten der Messung, namentlich die der mittleren Geschwindigkeit, sind schwierige technische Probleme, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Gewöhnlich wird die Wassermenge in Kubikmetern pro Sekunde ausgedrückt. Um den Abfluß bei verschiedenen Flüssen vergleichbar zu machen, reduziert man ihn auf die Flächeneinheit, d. h. man gibt an, wie viel Liter in der Sekunde von 1 qkm durchschnittlich abfließen. Ich habe nach dem Vorgang PENCK's ein anderes Maß gewählt, nämlich die Anzahl der Millimeter täglicher bzw. jährlicher Abflußhöhe, d. h. die Höhe der Schicht, welche den Boden bedecken würde, wenn man den Abfluß gleichmäßig auf dem Gebiet ausbreiten würde. Die Wahl dieses Maßes macht die Abflußhöhe direkt mit der Regenhöhe vergleichbar, die ebenfalls in Millimetern ausgedrückt wird. Der Regen wird bekanntlich in zylinderförmigen Gefäßen gemessen, deren Auffangfläche 1 m und mehr über dem Boden liegt. Es entsteht die Frage, ob der hier gemessene Betrag wirklich derjenige ist, welcher durchschnittlich den Erdboden trifft. Aus praktischen Gründen ist es nämlich unmöglich, den Regenschirm in den Boden einzugraben, da er als Sammelgefäß für die Abfälle der Umgebung dient. Vergleiche von Regenschirmen am Boden und in 1, 2, 3 m Höhe sind u. a. von WILD¹ angestellt worden, doch ohne endgültiges Resultat. Die Regenhöhe nimmt infolge der Wirbelbildung, die den Regen am Gefäß vorbeiführt, nach oben etwas ab, doch existiert kein Gesetz über diese Abnahme. LAUTERBURG schätzt, daß auf den Boden $\frac{1}{5}$ mehr Regen falle als in den Regenschirm; doch ist dies jedenfalls zu hoch gegriffen. Zur genauen Entscheidung der Frage haben wir leider keine Anhaltspunkte. Neben der Höhe der Auffangfläche über dem Boden spielen noch eine Reihe anderer Momente, so die Art des Regenschirms, die Aufstellung usw. eine bedeutende Rolle.

Gewisse Schwierigkeiten macht bei der Berechnung des Niederschlags die Schneedecke. Liegenbleibender Schnee muß offenbar vom Niederschlag des betreffenden Tages abgezogen, schmelzender Schnee demselben hinzugefügt werden. Die Schneedecke wird durch

¹ Wild, Repertorium für Meteorologie, IX. No. 9.

ihren sogenannten Wasserwert ausgedrückt, d. h. die durch Schmelzen erhaltene Wasserhöhe. Da in den meteorologischen Beobachtungen meist nur die Schneehöhe angegeben ist¹, so ist man zur Berechnung des Wasserwerts auf Schätzungen angewiesen. Je nach den Umständen beträgt der Wasserwert $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{15}$ der Schneehöhe. Im Winter spielt der Schnee als Aufspeicherer von Wasservorräten eine bedeutende Rolle und verschiebt das Abflußmaximum gegen das Frühjahr zu. Auf die Sublimation (Verdunstung) der Schneedecke kann keine Rücksicht genommen werden, da hierüber fast gar keine Messungen existieren.

Ist so die Niederschlagsmenge für möglichst viele Stationen in dem betrachteten Flußgebiet bestimmt, so handelt es sich noch darum, die mittlere Niederschlagshöhe zu finden. Die genaueste Methode besteht zweifellos darin, daß man Karten mit Kurven gleichen Niederschlags zeichnet und die Flächen planimetrisch auswertet. Diese Methode ist beispielsweise von PENCK und bei der Bearbeitung der württembergischen Flüsse angewandt worden. Handelt es sich jedoch darum, sehr viele Niederschlagskarten zu zeichnen, z. B. für jeden Tag des Jahres, so wäre diese Berechnungsweise zu umständlich. In diesem Fall genügen einfachere Methoden. Die einzelnen Stationen werden mit relativen Gewichten versehen, welche sich wie die Flächen erhalten, denen durchschnittlich der Niederschlag der betreffenden Station zukommt. Im Verhältnis dieser ein für allemal festgestellten Gewichte sind die einzelnen Stationen bei der Berechnung der mittleren Niederschlagshöhe beteiligt.

Eine der schwierigsten Fragen beim Abflußproblem erhebt sich, wenn wir bestimmte Zeiträume beim Niederschlag und Abfluß zueinander in Beziehung setzen sollen. Nehmen wir das Nächstliegende, nämlich ein Jahr. Wenn sich Abfluß und Niederschlag in diesem Jahr genau entsprechen sollen, so muß offenbar der Wasserstand zu Anfang und zu Ende der gleiche sein. Dies ist natürlich im allgemeinen nicht der Fall. Ist der Wasserstand zu Ende des Jahres höher, so fließt ein Teil des Wassers erst im nächsten Jahre ab; das aus dem Jahre allein berechnete Abflußverhältnis erscheint demnach zu tief. Ist der Wasserstand dagegen am Anfang höher, so erfolgt der Abfluß während des Jahres z. T. auf Kosten der vorher angesammelten Vorräte und das Abflußverhältnis berechnet sich höher, als es in Wirklichkeit ist. PENCK

¹ In den neueren Jahrgängen der preußischen Beobachtungen finden sich Angaben über den Wasserwert.

hat aus diesem Grunde vorgeschlagen, die einzelnen Jahre zu übereinandergreifenden Jahrespaaren zusammenzufassen, z. B. 1879/80, 1880/81 usw. Es leuchtet ein, daß die Fehler sich auf diese Weise bis zu einem gewissen Grade ausgleichen; aber das Hilfsmittel ist ein mathematisches, nicht ein im Wesen der Sache begründetes.

Weiterhin braucht das Wasser eine gewisse Zeit, um von dem Orte, wo es fällt, an den Punkt zu gelangen, wo es gemessen wird. Der Abflußzeitraum muß daher gegen den entsprechenden Niederschlagszeitraum verschoben werden. ULE nimmt in seiner Untersuchung über die Saale an, daß der Abflußvorgang in seinem Falle durchschnittlich 10 Tage beansprucht. Es kann sich jedoch dabei nur um einen Mittelwert handeln. Das Wasser kommt nicht nur von ganz verschiedenen Punkten her, sondern von diesen selbst mit sehr verschiedener Geschwindigkeit, je nach der Höhe des Wasserstandes.

Wie ich für den Neckar (bei Tübingen) die beiden letzten Schwierigkeiten zu vermeiden gesucht habe, soll in Abschnitt 3 gezeigt werden.

Ich habe es für notwendig gehalten, in diesem Abschnitt möglichst alle in Betracht kommende Fragen zu streifen. Ich wollte nicht eingehende Darlegungen und Widerlegungen geben, sondern nur einen Überblick über die Schwierigkeiten gewinnen, mit denen man sich abfinden muß, ehe man weitere Schlüsse zieht.

2. Einige Resultate aus früheren Arbeiten.

Wenn wir von den älteren Berechnungen GRÄVE'S und MÖLLENDORF'S absehen, so beträgt das Abflußverhältnis (Abfluß in Prozenten des Niederschlags) für einige mitteleuropäische Flüsse:

Saale (Trebritz)	27 %	Aller	34 %
Main (Miltenberg)	28 „	Weser	36 „
Elbe (Tetschen)	28 „	Maas	37 „
Neckar (Heidelberg)	31 „	Mulde (Grimma)	41 „
Ilmenau	33 „	Enns	47 „
Memel	34 „	Traun	57 „

Wenn wir von Enns und Traun absehen, bewegen sich die Abflußverhältnisse für die mitteleuropäischen Flüsse in den relativ engen Grenzen 27 %—41 %. Dies ist sehr bemerkenswert; denn die einzelnen Werte stammen von ganz verschiedenen Bearbeitern. Daß das Abflußverhältnis für Enns und Traun sich höher stellt, ist nicht verwunderlich. Die alpinen Einzugsgebiete sind viel

niederschlagsreicher und mit der Höhe des Niederschlags wächst nicht nur der Abfluß absolut, sondern auch der Prozentsatz des Abflusses. Berechnungen für einige amerikanische Flüsse der gemäßigten Zone hatten ähnliche Ergebnisse. MURRAY¹ hat das Abflußverhältnis zonenweise zwischen bestimmten Parallelen berechnet, doch sind die ziffernmäßigen Resultate ziemlich unsicher. Dagegen dürfte das allgemeine Resultat der Wahrheit ziemlich entsprechen, daß das Abflußverhältnis in höheren Breiten relativ hoch ist, daß es in etwa 30° Breite sein Minimum erreicht, um in den Tropen wieder zu wachsen. — Für den Oberrhein bis zur Tardisbrücke in Graubünden wird ein Abflußverhältnis von 94 % berechnet, für denselben bis zur Aaremündung ein solches von 66 %. Doch dürften diese Werte zu hoch sein, da die Regenhöhe im Hochgebirge zu wenig bekannt ist und die mittlere Niederschlagsmenge die (meist aus Talstationen berechneten) Werte von 1200 mm bezw. 1148 mm erheblich übertreffen dürfte. — Einer landläufigen Regel zufolge soll vom Niederschlag $\frac{1}{3}$ sofort abfließen, $\frac{1}{3}$ verdunsten und $\frac{1}{3}$ versickern. Was aus dem versickerten Teile wird, darüber gibt die Regel keine Auskunft. Wenn wir das Abflußdrittel für den Gesamtabfluß nehmen, so kommt dies nach obiger Zusammenstellung für mitteleuropäische Flüsse der Wahrheit im Mittel ziemlich nahe, worauf auch PENCK hingewiesen hat. Dagegen würde man im speziellen Fall mit dieser Annahme die größten Fehler begehen, besonders wenn man die unten zu besprechenden jahreszeitlichen Unterschiede in Betracht zieht.

Den Angaben über das Abflußverhältnis im ganzen mögen sich einige Resultate PENCK's² über die böhmische Elbe (bei Tetschen) anreihen. Er untersucht den gleichzeitigen Verlauf von Niederschlag, Abfluß und Temperatur in den einzelnen Jahren. Der mittlere Niederschlag unterliegt großen Schwankungen und beträgt beispielsweise im Jahre 1887 nur etwa 547 mm, im Jahre 1890 dagegen 858 mm. Der Temperaturverlauf geht dem des Niederschlags ziemlich parallel, und in der Tat besteht eine enge Beziehung zwischen beiden. Erhöhte Temperatur bedingt erhöhte Verdunstung, diese wiederum erhöhte Wolkenbildung und vermehrten Niederschlag. Auch der Abfluß hat einen ähnlichen Verlauf wie Niederschlag und Temperatur, doch ist die Abhängigkeit nicht so deutlich ausgeprägt.

¹ Vergl. das Referat Brückner's. Meteorol. Zeitschr. 1887.

² Ruvarac-Penck, Die Abfluß- und Niederschlagsverhältnisse von Böhmen etc. Penck's Geograph. Abhandl. Bd. V. Heft 5. 1896.

Er bringt eben dadurch seinen Charakter als Differenz: Niederschlag minus Verdunstung zum Ausdruck. PENCK stellt weiterhin den jährlichen Gang von Niederschlag und Abfluß (zunächst in absoluten Werten) dar. Es besteht ein großer Unterschied des Abfluvorgangs im Sommer und Winter. Obwohl im Winter der Niederschlag kaum halb so groß ist wie im Sommer, ist der absolute Abfluß im Winter und Frühjahr doppelt so groß. Dieser charakteristische Unterschied findet sich bei den meisten Flüssen wieder und kann zu den Wahrheiten über das Abflußproblem zählen, welche endgültig geborgen sind. Der relativ stärkste Abfluß findet im Frühjahr statt, während man ihn nach dem Stand der Sonne im Dezember oder Januar erwarten würde. Es drängt sich uns daher die Annahme auf, daß im Frühjahr eine Speisung aus früher angesammelten Vorräten erfolgt. Hierüber hat PENCK eine interessante Untersuchung angestellt. Er bestimmt den jährlichen Gang der Verdunstung auf zwei Arten, nämlich 1. mit dem Verdunstungsmesser, dessen Kurve wir kurz die Beobachtungskurve nennen wollen; 2. aus der Differenz Niederschlag — Abfluß, kurz als Differenzenkurve zu bezeichnen. Wenn Abfluß und Verdunstung gleichzeitig erfolgen, müssen offenbar die Kurven ganz gleich verlaufen. Wenn dies nicht der Fall ist, so müssen wir schließen, daß der Abfluß zum Teil gar nicht dem augenblicklichen Niederschlag entspricht. Da das Evaporimeter nur das Maximum der möglichen Verdunstung angibt, so läßt sich mit ihm nur der jährliche Gang, keine absoluten Werte feststellen. PENCK nimmt daher den absoluten Betrag aus Niederschlag — Abfluß als gegeben und verteilt diesen so auf die einzelnen Monate, wie es die Beobachtungskurve verlangt. Es ergibt sich, daß in der ersten Hälfte des Jahres die Beobachtungskurve über der Differenzenkurve liegt, in der zweiten Hälfte unter derselben. Dies bedeutet, daß wir in der ersten Jahreshälfte bei der Berechnung Niederschlag minus Abfluß einen zu großen Abfluß subtrahiert haben; ein Teil des Abflusses rührt also nicht vom Niederschlag, sondern von einer unterirdischen Speisung her. Umgekehrt haben wir in der zweiten Hälfte des Jahres zu wenig subtrahiert und müssen annehmen, daß ein Teil des Abflusses erst später zum Vorschein kommt. Wir haben demnach in der ersten Jahreshälfte eine Speisung, in der zweiten eine Aufspeicherung anzunehmen. Damit ist qualitativ der Beweis für eine winterliche Wasseraufspeicherung erbracht. Man darf jedoch nicht vergessen, daß dies als Mittelwert aus einer Reihe von Jahren abgeleitet ist, und daß im einzelnen Jahre die Sache sich ganz

anders gestaltet. Es wäre verfehlt, anzunehmen, man habe zu Beginn des Sommers einen bestimmten Wasservorrat und könne damit für den Wasserstand im Sommer eine Art Bilanz aufstellen.

Ich komme zu den Untersuchungen ULE's¹ über Niederschlag und Abfluß in Mitteleuropa. Eines seiner wichtigsten Ergebnisse ist der Gang des Abflußverhältnisses im Laufe des Jahres (vergl. Taf. I). Ich habe der ULE'schen Arbeit die Werte für die Elbe bei Tetschen, den Main, die Saale, die Enns und die Traun entnommen. Diesen Flüssen habe ich aus den Untersuchungen v. TEIN's² die Mosel (bei Trier) und den Neckar (bei Heidelberg), aus den württembergischen Beobachtungen³ die Enz, Kocher-Jagst, Rems und Blau angefügt. Die Ähnlichkeit des Verlaufs der Kurven, mit Ausnahme derer für Enns und Traun, muß überraschend genannt werden. Die Gleichartigkeit des Ganges ist so groß, daß mehrfach dieselben Werte auftreten. Wir müssen dabei bedenken, daß die Werte von verschiedenen Bearbeitern herrühren. Das Jahr ist scharf geschieden in ein abflußreiches und ein abflußarmes Halbjahr. Das erstere kann man passend mit dem 1. November beginnen und mit dem 1. Mai aufhören lassen. Bei allen Flüssen bewegt sich das Abflußverhältnis im Winterhalbjahr über 50% hinaus. Das Maximum tritt meist im März ein; dann erfolgt ein rascher Abfall. Das Minimum ist weniger konstant; es bewegt sich zwischen Juli und Oktober. Um die Zeichnung deutlicher zu machen, sind die Skalen der Flüsse gegeneinander verschoben; die Lage der 50%-Linie ist für jeden Fluß seitlich angegeben. Von den Kurven ist wohl die unsicherste die für die Blau, und zwar aus einem eigentümlichen Grunde. In der Blau und anderen Abflüssen tritt jeden Sommer eine starke Verkrautung des Bettes ein, welche den Wasserspiegel erhöht; die hohen Wasserstände im Sommer rühren daher von der Vegetation her. Selbstverständlich suchte man bei der Bearbeitung diesen Fehler zu eliminieren, indem man über die mittlere Höhe des Aufstaus Beobachtungen anstellte; doch gelingt es nicht, den Fehler ganz zu beseitigen. Denn jeden Sommer muß das Flußbett gereinigt werden

¹ Ule, Niederschlag und Abfluß in Mitteleuropa. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. XIV. 1903. S. 439.

² Ergebnisse der Untersuchungen der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. Heft VII u. VIII. ed. Großh. Bad. Zentralbureau für Hydrographie.

³ Verwaltungsberichte der K. Ministerialabteilung für den Straßen- und Wasserbau 1893/94 bis 1905/06.

und dann fällt der Wasserspiegel plötzlich scheinbar unmotiviert ab. Zudem wechselt die Verkrautung von Jahr zu Jahr. Zum Vergleich mit dem oberen Neckar (bei Tübingen), den ich als Typus eines Flusses mit wenig durchlässigem Gebiet und starkem Gefäll gewählt hatte, hatte ich ursprünglich die Blau als Beispiel eines reinen Quellflusses mit langsamem Gefäll ausersehen. Es stellte sich jedoch heraus, daß die Beobachtungen für kürzere Zeiträume nicht verwendbar waren.

Trotzdem zeigt die Kurve für die Blau Eigentümlichkeiten, die wohl keine Zufälligkeit sind. Dazu rechne ich die merkwürdige Stufe im Dezember und Januar. Während das Abflußverhältnis im Oktober und November rasch wächst, verlangsamt es sich im Dezember und Januar, um dann wieder rascher anzusteigen. Deutlicher ist diese Stufe bei der Enns ausgeprägt; aber auch bei den andern Flüssen fanden sich Andeutungen. Sie ist die Wirkung des Schnees und des Frostes. Eine Menge Niederschlag bleibt in fester Form liegen und drückt das Abflußverhältnis herab, um es dann im Frühjahr wieder emporschnellen zu lassen. Dazu kommt eine andere Ursache, auf die meines Wissens noch nicht aufmerksam gemacht wurde; es ist die Zurückhaltung von Wasser als Eis im gefrorenen Boden. In strengen Wintern gefriert der Boden bis $\frac{1}{2}$ m Tiefe und mehr. Der gefrorene Boden nimmt die Sickerwässer auf, wenn vorübergehend Tauwetter eintritt, und erst die Frühjahrs-sonne bringt diese beträchtlichen Wassermengen zur Auslösung. Dies zusammen mit dem Schnee bewirkt, daß das Abflußverhältnis nicht gleichmäßig gegen das Ende des Winters ansteigt. Das Ansteigen überhaupt dagegen ist den bis zum Frühjahr sich verbessernden Abflußbedingungen, in erster Linie dem Steigen des Grundwassers zuzuschreiben.

ULE untersucht weiterhin die Abhängigkeit der Abflußhöhe von der Niederschlagshöhe. Die Abflußhöhe y wird der Niederschlagshöhe x offenbar nicht proportional sein, sondern rascher als diese ansteigen. Die Beziehung drückt sich durch die Formel aus

$$y = 1818 \cdot 10^{-4} x + 857 \cdot 10^{-7} x^2 + 1024 \cdot 10^{-10} x^3 \text{ (ULE)}$$

Diese Formel ist aus den Beobachtungen für die Flüsse des gebirgigen Mitteleuropas als allgemeines Mittel hergeleitet. Da man aber, um die Veränderlichkeit während des Jahres sowie die Natur des Gebietes zu berücksichtigen, ihre Form vollständig verändern muß, ist sie auf den speziellen Fall nicht anwendbar. SCHREIBER¹

¹ Schreiber, Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa. Meteor. Zeitschr. XXI. 1904. S. 441.

hat gegen diese Formel eine Polemik eröffnet und selbst eine andere Formel aufgestellt, welche lautet:

$$y = x e^{-\frac{2,303 a}{x}}, \text{ wo } a = 200-350, \text{ und } e \text{ die Basis d. nat. Log. (SCHREIBER).}$$

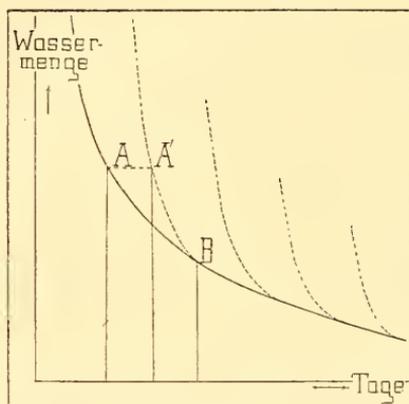
Diese Formel ist insofern umfassender als die erste, da sie eine Konstante enthält, welche den speziellen Verhältnissen angepaßt werden kann. Ich selbst messe beiden Formeln wenig Bedeutung bei, da sie rein empirisch sind und keinerlei physikalische Bedeutung besitzen.

3. Die Maximalabflußkurve und ihre Anwendung auf den oberen Neckar.

Die früheren Arbeiten haben sich darauf beschränkt, den jährlichen Abfluß zum jährlichen Niederschlag und den monatlichen Abfluß zum monatlichen Niederschlag in Beziehung zu setzen. Wie schon ausgeführt, laufen hier zwei Fehler mit unter: 1. Der Wasserstand ist zu Beginn und zu Ende des Jahres bzw. Monats nicht gleich hoch; daher wird das Abflußverhältnis zu groß oder zu klein. 2. Das Wasser braucht gewisse Zeit, um von der Niederschlagsstelle zur Messungsstelle zu gelangen. Der erste Fehler wird natürlich um so größer, je kürzer die betrachtete Periode ist. Im ganzen Monat April 1893 z. B. ist in Württemberg kein Niederschlag gefallen. Wenn man hier das Abflußverhältnis berechnen wollte, so würde sich unendlich ergeben. Um die Frage prinzipiell zu lösen, kann man sie so formulieren: Wie lassen sich Abflußperioden finden, denen genau definierte Niederschlagsperioden entsprechen? Es bleibt offenbar nichts anderes übrig, als auf den täglichen Abfluß und Niederschlag zurückzugreifen. Noch besser wäre es, kontinuierliche Registrierungen zu benützen, welche das Pulsieren des Flusses in allen Einzelheiten erkennen lassen; doch ist dies aus Mangel an veröffentlichtem Material und aus anderen praktischen Gründen nicht möglich. Schon die Berechnung des täglichen Abflusses und Niederschlags macht selbst für ein kleineres Flußgebiet große Arbeit. — Wenn man sich irgend eine Wasserstandskurve ansieht, so könnte man auf den Gedanken kommen, daß der Wasserhaushalt zwischen zwei beliebigen, aber gleich hohen Wasserständen als abgeschlossen betrachtet werden kann. Denn wenn derselbe Wasserstand wieder eingetreten ist, beginnt gewissermaßen der Abflußvorgang aufs neue. Ich könnte daher aus dem

Jahresverlauf eine Reihe von Perioden — ungleicher Länge — herausgreifen, die zwischen gleichen Wasserständen liegen, und für sie das Abflußverhältnis berechnen. Bei näherer Überlegung aber erweist sich dies als unrichtig. Derselbe Wasserstand ist das eine Mal die Folge reichlich fließender Quellen, das andere Mal die Folge eines plötzlichen Wolkenbruchs. Im letzteren Fall wird der Wasserstand viel rascher absinken als bei Quellenzufluß. Ein Wasserstand als Folge unterirdischen Zufusses repräsentiert gewissermaßen viel mehr potentielle Energie als derselbe als Folge von oberflächlichem Zufluß, z. B. nach einem heftigen Gewitter.

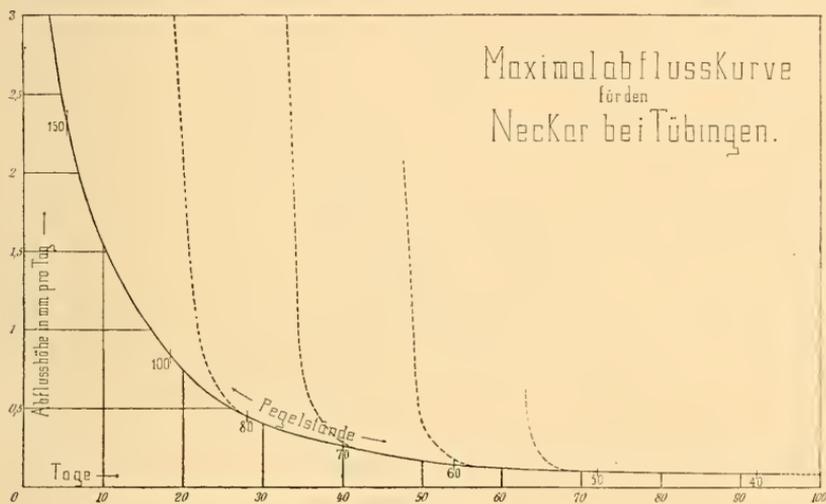
Allgemein wird sich die Sache folgendermaßen gestalten. Hören die Niederschläge auf, so sinkt der Wasserstand zuerst rasch, dann



Figur 1.

langsamer und immer langsamer. Dabei existieren (vergl. Fig. 1) zwei Extreme: 1. Die Kurve des langsamsten Absinkens (AB), wie sie bei reiner Quellenspeisung beobachtet wird. 2. Die Kurve des schnellstens Absinkens (A'B), wie sie plötzlichen heftigen Niederschlägen oder Schneeschmelze bei gefrorenem Boden entspricht. Letztere (A'B) möge einige Tage später beginnen; sie wird nach kurzer Zeit — wenn der oberflächliche Zufluß aufhört — in die erstere (AB) einmünden. Zwischen beiden Kurven liegen Kurvenzweige, die mäßig raschem Abfluß entsprechen; dieser Verlauf wird der häufigste sein. Tritt kein Niederschlag mehr ein, so nähert sich die Kurve allmählich dem Wasserstande 0 oder dem Versiegen des Flusses. Diese Annäherung ist asymptotisch zu denken. Von jedem Punkt der Kurve des langsamsten Absinkens sind Kurvenzweige ausgehend zu denken, die dem schnellsten Abfluß und mäßig raschem

Abfluß entsprechen. Die Flächen zwischen den Kurven und der horizontalen Achse sind direkt die abgeflossenen Wassermengen. Der Kurve des langsamsten Falls entspricht offenbar ein Maximum des Abflusses. Ich nenne daher diese Kurve die Maximalabflußkurve. Dieselbe läßt sich für jeden Fluß leicht wirklich herstellen. Es gehören ihr diejenigen Teile der beobachteten Wasserstandskurve an, bei welchen nur Quellenzufluß vorhanden ist. Da die übrigen Zweige nach wenigen Tagen in die Maximalabflußkurve einmünden, so setzen wir diese aus einer Anzahl Stücke zusammen, die Trockenperioden entnommen sind. Allein die sechswöchentliche Trockenperiode im Frühjahr 1893 liefert ein großes Stück derselben. Im



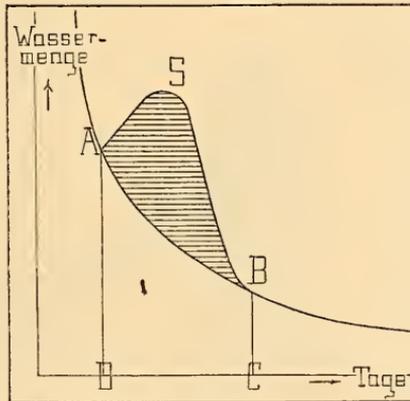
Figur 2.

obersten Teil wird natürlich bei völliger Sättigung der Quellen zum unterirdischen auch oberflächlicher Abfluß treten. In dem rechts gelegenen Teile entsprechen die Zwischenflächen zwischen den steileren Zweigen und der Maximalabflußkurve dem oberflächlichen Abfluß. In Fig. 2 ist die Maximalabflußkurve für den Neckar bei Tübingen mit ihren Nebenzweigen konstruiert. Die Ordinate sind die täglichen Abflußhöhen, in Millimetern ausgedrückt. Der höchste Tagesabfluß übersteigt 10 mm, nach 20 Tagen beträgt er noch 0,74 mm, nach 50 Tagen 0,17 mm, und der niedrigste bekannte Abfluß mit 0,09 mm täglich tritt nach etwa 92 Tagen ein. Vom höchsten bis zum tiefsten Wasserstand würde also rund ein Vierteljahr verstreichen, wenn keine Niederschläge mehr einträten. Von Interesse ist die Frage, wie lange der Neckar bis zum völligen

Versiegen fortfließen würde. Zu diesem Zwecke haben wir die Kurve bis zum Schnitt mit der Abszissenachse zu verlängern. Da die Annäherung asymptotisch ist, so können wir nur das Minimum ausrechnen, indem wir die Kurve in dem extrapolierten Teil ebenso stark geneigt denken, wie in dem unmittelbar vorhergehenden. Dabei ergibt sich als Mindestzeit für das Weiterfließen nach dem tiefsten Wasserstande etwa 160 Tage. In ähnlicher Weise läßt sich die Wasseraufspeicherung berechnen, die bei einem gewissen Pegelstand in dem Flußgebiet vorhanden ist. Unter Wasseraufspeicherung kann man sich etwa die vorhandene mittlere Grundwassermenge vorstellen. Die Fläche zwischen der extrapolierten Kurve und der Abszissenachse ist wiederum hinzuzuaddieren. Die Aufspeicherung beim niedrigsten Pegelstand beträgt im Minimum noch etwa 7 mm, d. h. es ist eine Wasserschicht von 7 mm Dicke im Neckargebiet gleichmäßig vorhanden zu denken. Ist diese Zahl auch unsicher, so muß sie, auch wenn man sie auf das Mehrfache erhöht, durch ihre Kleinheit auffallen. Das ganze, bei Tiefständen noch vorhandene Wasserquantum wäre demnach nicht größer als die Niederschlags-höhe bei einem bescheidenen Regen. Ich habe die — hier nicht wiedergegebenen — Maximalabflußkurven für einige andere Flüsse konstruiert und als Minimum der Aufspeicherung viel größere Werte gefunden. Auch bei sehr hohen Wasserständen sind nur etwa 75 mm durchschnittlich im oberen Neckargebiet vorhanden, eine Zahl, die manchmal von einem heftigen Wolkenbruch geliefert wird. Würde keine Verdunstung stattfinden, so müßte jeder solche Wolkenbruch eine gewaltige Überschwemmung hervorrufen. Dies sind Eigentümlichkeiten, welche mit dem großen Gefäll und der geringen mittleren Durchlässigkeit des oberen Neckargebiets zusammenhängen. Ich möchte daher an dieser Stelle einige Angaben über die Natur des Gebiets einfügen. Von bedeutenderen Nebenflüssen fallen hierher Prim, Schlichem, Eyach und Starzel rechts, Eschach und Glatt links. Alle diese Flößchen zeichnen sich durch starkes Gefäll, mächtige, schnell verlaufende Hochwasser und lang anhaltende Niederwasserstände aus. Diesen Charakter besitzt auch der Neckar bei Tübingen. Nach REGELMANN'S hydrographischer Durchlässigkeitkarte des Königreichs Württemberg schätze ich 81 % als mittel- und undurchlässig und nur 19 % als sehr durchlässig. Der undurchlässige Teil wird hauptsächlich von den weiten Liasebenen gebildet, die der Alb vorgelagert sind. Auch die durchlässigen Gebiete längs des Albtraufs üben nicht die aufspeichernde Wirkung,

die wir im Innern dieses Kalkgebirges finden, denn sie bestehen aus steilen, abschüssigen Hängen. Die bekannte Eyachkatastrophe im Jahre 1895 hat sich gerade in diesem Gebiet abgespielt. Wir können daher die Abfluvvorgänge im Neckar bei Tübingen als typisch ansehen für ein Gebiet mit starkem Gefäll und geringer Durchlässigkeit. Als Gegensatz dazu wäre etwa das Gebiet der Blau bei Ulm zu nennen, die sehr geringes Gefäll besitzt und ihr Wasser fast ausschließlich aus einigen Quelltöpfen bezieht.

Wie verhilft uns die Maximalabfluvkurve zur Berechnung von genauen Abfluvverhältnissen unter Vermeidung der oben genannten Schwierigkeiten? — Befinden wir uns auf ihr bei A (s. Fig. 3) und



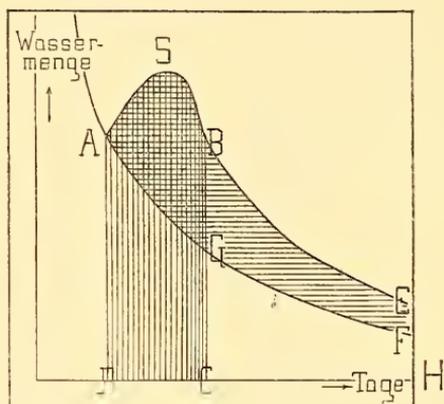
Figur 3.

tritt ein plötzlicher heftiger Niederschlag ein, so hebt sich der Wasserstand bis zu einem Scheitel S, um nach kurzer Zeit wieder zurückzusinken und in die Maximalabfluvkurve einzumünden. Der Abfluv, der vom Niederschlag herrührt, ist durch die schraffierte Fläche gegeben. Der andere Teil ABCD (unterhalb der Kurve) rührt von der Speisung aus früheren Vorräten her. Direkt messen läßt sich dagegen nur beides zusammen, d. h. die Fläche ASBCD. Denken wir uns nun den zweiten Fall, daß nicht rasch verlaufende, sondern anhaltende, in den Boden dringende Niederschläge eintreten, so hebt sich der Wasserstand ebenfalls (s. Fig. 4), aber er fällt viel langsamer. Wenn wir an dem Punkte B ankommen, der in gleicher Höhe mit dem Anfang A der Schwellung liegt, so beginnt gewissermaßen der ganze Vorgang von neuem: die Maximalabfluvkurve ist einfach um das Stück AB nach rechts verschoben. Der Gesamt-

abfluß ist in diesem Fall durch das ganze zwischen den Kurven liegende Flächenstück (wagrecht schraffiert) gegeben. Es läßt sich nun leicht beweisen, daß dieses Flächenstück gleich einem andern ist, nämlich gleich dem Stück $ASBCD$ (senkrecht schraffiert). Zunächst ist, unter steter Hinzurechnung der zwischen den extrapolierten Kurventeilen liegenden Flächenstücke, $DAFH$ gleich $CBEH$ (da die Kurve nur verschoben ist). Bringt man beiderseits die Fläche $CGFH$ in Abzug und addiert die Fläche $ASBG$, so folgt sofort

$$\text{Fläche } ASBCD = \text{Fläche } ASBEF.$$

$ASBCD$ ist aber der in dem Zeitraum direkt gemessene Abfluß; daher entspricht in diesem Fall der Abfluß wirklich dem Nieder-



Figur 4.

schlag. Allgemein kommen wir zu dem Satz, daß dieselben Wasserstände nur dann gleichwertig sind, wenn die Wasserstandskurve dieselbe Neigung besitzt. Der Wasservorrat ist also nicht nur vom Wasserstand, sondern auch vom Differentialquotienten desselben nach der Zeit abhängig.

Wir werden demnach genaue Abflußverhältnisse erhalten, wenn wir Perioden zwischen gleichen Wasserständen herausgreifen, bei denen gleichzeitig die Wasserstandskurve die gleiche Neigung hat. In Wirklichkeit ist es aber sehr schwierig, solche Perioden mit Sicherheit zu bestimmen.

Dagegen führt eine andere Methode zum Ziele. Wie oben ausgeführt wurde, mündet die Wasserstandskurve wenige Tage nach dem Aufhören des Niederschlags in die Maximalabflußkurve ein. Wir wählen nun die Perioden so, daß ihr Anfang

und Ende auf dieser liegt, d. h. wir lassen sie einige Tage nach dem Regen beginnen und aufhören; dabei mag der Wasserstand zu Beginn und zu Ende ungleich hoch sein. Ist der Wasserstand zu Anfang höher, so rührt ein genau bekannter Teil des Abflusses von unterirdischer Speisung her. Wir entnehmen ihn aus der Maximalabflußkurve und bringen ihn von der gemessenen Menge in Abzug. Ist dagegen der Wasserstand zu Ende der Periode höher, so bewegen wir uns gewissermaßen auf der Maximalabflußkurve rückwärts und es ist eine Aufspeicherung eingetreten. Diese tritt erst nach der betrachteten Periode in Wirksamkeit, ist aber, weil von dem zugehörigen Niederschlag herrührend, dem gemessenen Abfluß hinzuzuaddieren. Damit ist die Schwierigkeit, welche von der Verschiedenheit der Wasserstände zu Anfang und Ende der Perioden herrührt, vermieden.

Aber auch die zeitliche Verschiebung des Abflusses gegen den Niederschlag spielt keine Rolle mehr. Ob die Niederschläge ein paar Tage vor- oder rückwärts verschoben werden, ist ohne Belang; denn die Niederschlagsperiode ist so gewählt, daß sie auf beiden Seiten von einigen trockenen Tagen eingerahmt wird. Damit ist auch der zweiten Schwierigkeit aus dem Wege gegangen.

Auf diese Art sind die Abflußverhältnisse für den Neckar bei Tübingen in den Abflußjahren 1891/92 und 1892/93 — ich lasse das Abflußjahr mit dem 1. November beginnen — berechnet (vergl. Taf. II). Die Perioden sind natürlich ungleich lang und gehen jedesmal von einer, wenn auch kurzen Trockenperiode bis zur nächsten. Die dick ausgezogene Kurve ist das Abflußverhältnis in Prozenten, die gestrichelte Kurve der Gesamtabfluß mit Berücksichtigung der erfolgten Speisung bzw. Aufspeicherung, die dünn ausgezogene Kurve die der mittleren Niederschlagshöhe. Die Ordinaten der beiden letzten Kurven stehen also in dem prozentualen Verhältnis, das durch die erste Kurve dargestellt ist. Die strichpunktierte Kurve endlich stellt den jährlichen Gang der Wasseraufspeicherung dar. Haben wir uns während einer Periode auf der Maximalabflußkurve abwärts bewegt, so fällt diese Kurve; ist erhöhte Quellenspeisung eingetreten, so steigt dieselbe. Der Maßstab ist gegenüber dem des Abflusses und Niederschlags auf das Fünffache erhöht zu denken. Statt des Ausdrucks „Wasseraufspeicherung“ könnte man auch die Bezeichnung Quellenspeisung wählen. Beide Größen stehen in engem Zusammenhang mit der mittleren Höhe des Grundwassers.

Das allgemeine Bild der Kurve ist, wie zu erwarten, dasselbe wie in Taf. I: Im Winter und gegen das Frühjahr hin ein Ansteigen des Abflußverhältnisses, dann rasches Absinken und Verharren bei niedrigen Werten im Sommer. Der Gang ist beim oberen Neckar noch ausgeprägter als bei den andern Flüssen; dies hängt eben mit seinem torrentiellen Charakter zusammen. Sinkt doch das Abflußverhältnis in einigen Perioden bis auf 3 % herab und erhebt sich im Sommer selten über 10 %! Im Jahre 1893 bemerkt man eine Stelle, wo sowohl Abfluß als Niederschlag auf Null herabsinken. Diese entspricht der bekannten Trockenperiode im März—April 1893. Daß auch der Abfluß Null ist, entspricht dem Prinzip der Berechnung; der ganze Abfluß erfolgte auf Kosten der vorhandenen Vorräte und mußte daher von sich selbst subtrahiert werden. Der Gang des Niederschlags hat mit dem des Abflußverhältnisses wenig Gemeinsames. Der Einfluß der Jahreszeit ist so überragend, daß auch starke Niederschläge nur eine geringe Änderung des allgemeinen jährlichen Ganges hervorrufen. Das sommerliche Regenmaximum, das gegen das Innere des Kontinents immer mehr hervortritt, ist in den beiden Jahrgängen nicht zu erkennen. Viel mehr Ähnlichkeit hat die Kurve des Abflusses selbst mit der des Abflußverhältnisses. Am deutlichsten aber fällt der parallele Gang der Wasseraufspeicherung ins Auge. Wir können uns darunter den aus Quellen stammenden Teil des Abflusses vorstellen im Gegensatz zum oberflächlichen Abfluß. Wir haben somit das auffallende Resultat, daß das Abflußverhältnis ähnlich verläuft wie die Quellenergiebigkeit und weiterhin wie die durchschnittliche Höhe des Grundwassers. Dies steht im Einklang damit, daß die Gefährlichkeit starker Niederschläge, wie bekannt, wesentlich davon abhängt, auf welchen schon vorhandenen Wasserstand sie treffen. Auch die Frage der Aufspeicherung von Wasser im Winter findet in dieser Kurve für die betrachteten Jahre ihre zahlenmäßige Lösung. Der unterirdische Wasservorrat sinkt im Jahre 1892 vom März bis September um rund 10 mm, im Jahre 1893 um ungefähr denselben Betrag.

Ein merkwürdiger Umstand bleibt noch zu erklären. Das Abflußverhältnis steigt im März 1892 auf über 100 %. Es ist also auch mit Hinzufügung des Schmelzwassers zum Regen und unter Abzug der Speisung vom Abfluß noch mehr Wasser abgeflossen, als gefallen ist. Die einzig mögliche Erklärung ist die, daß neben der Quellenspeisung eine latente Speisung durch freiwerdendes Wasser

aus dem gefrorenen Boden vorhanden ist. Wenn die ersten Fröste eintreten, wird eine Menge Sickerwasser gebunden; dem entspricht die Stufe im November, Dezember und Januar. Das Freiwerden dieses Wassers im Frühjahr läßt das Abflußverhältnis wieder emporschnellen.

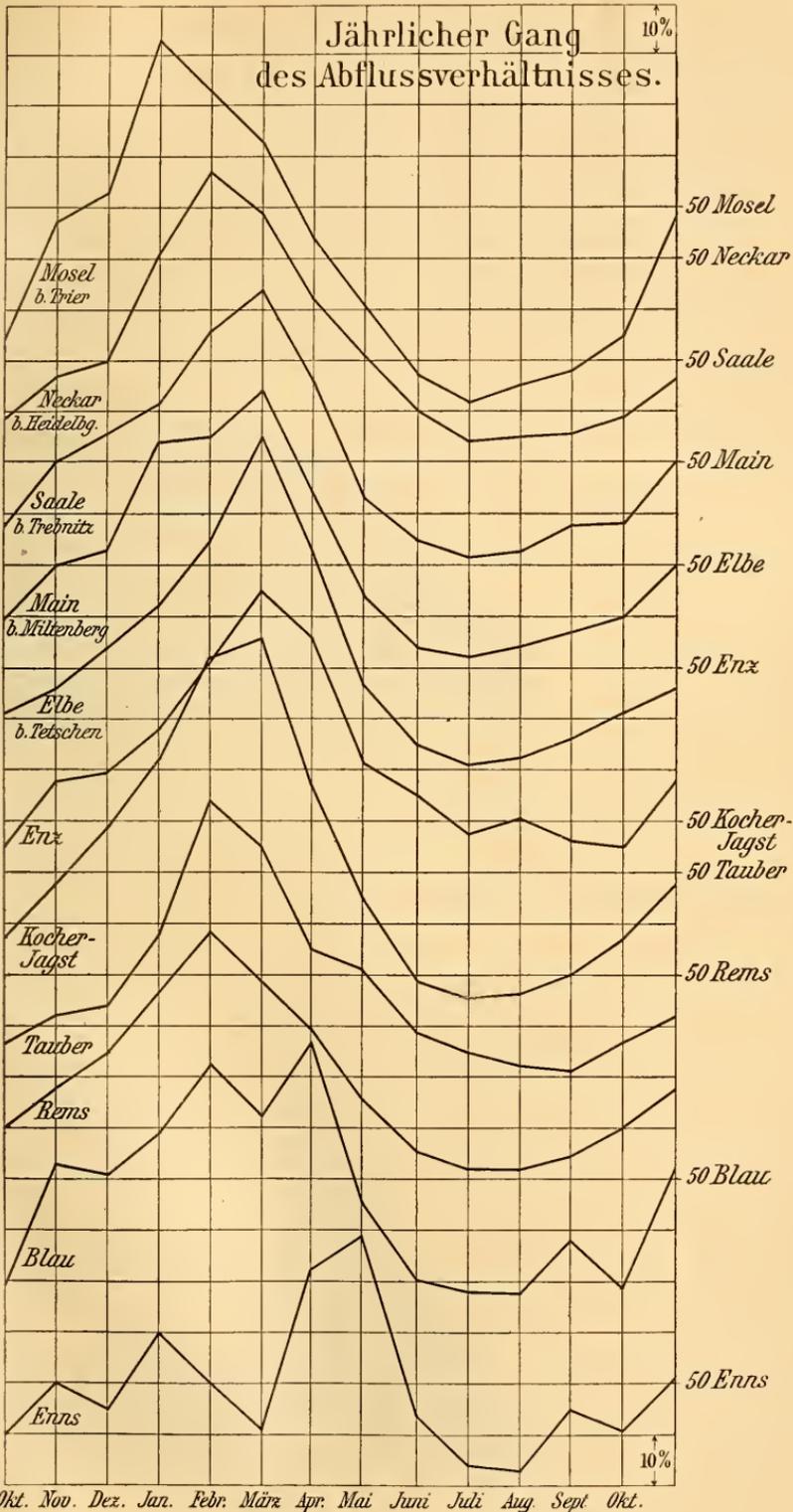
Es kommt durch diesen Umstand wieder ein Fehler in die Berechnung des Abflußverhältnisses herein, dessen Beseitigung nur von genauen Beobachtungen über die Bodenfeuchtigkeit in flüssiger und fester Form zu erhoffen ist.

Eine Übersicht über das Verhalten der besprochenen Größen in den vier Halbjahren möge noch hier Platz finden:

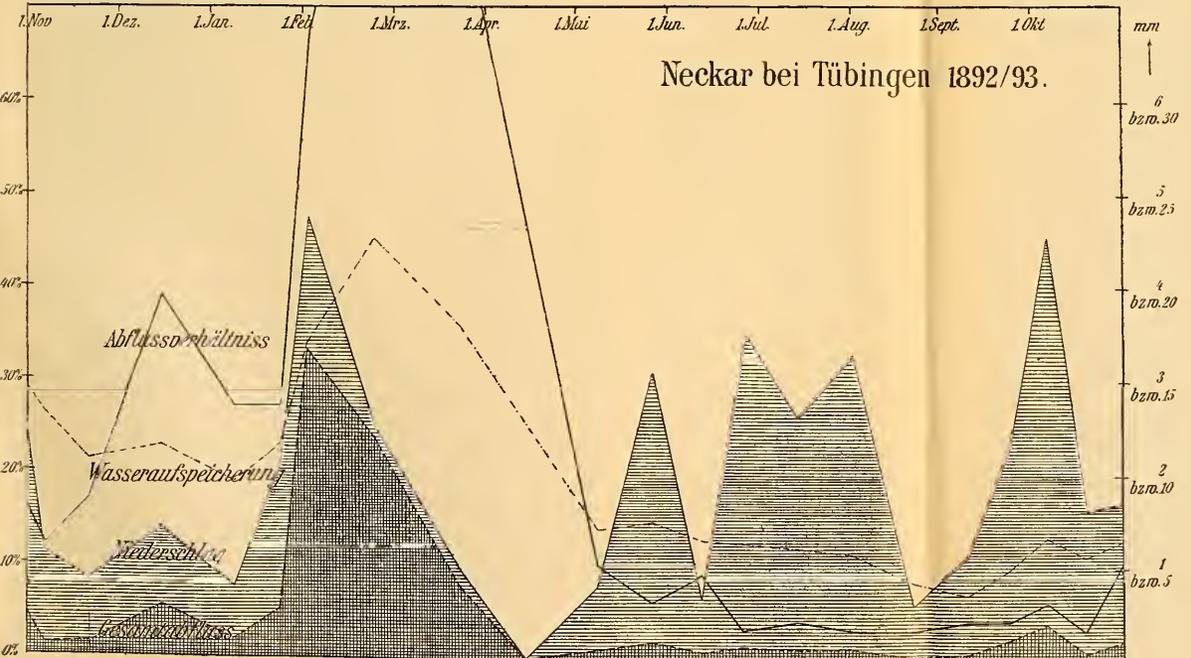
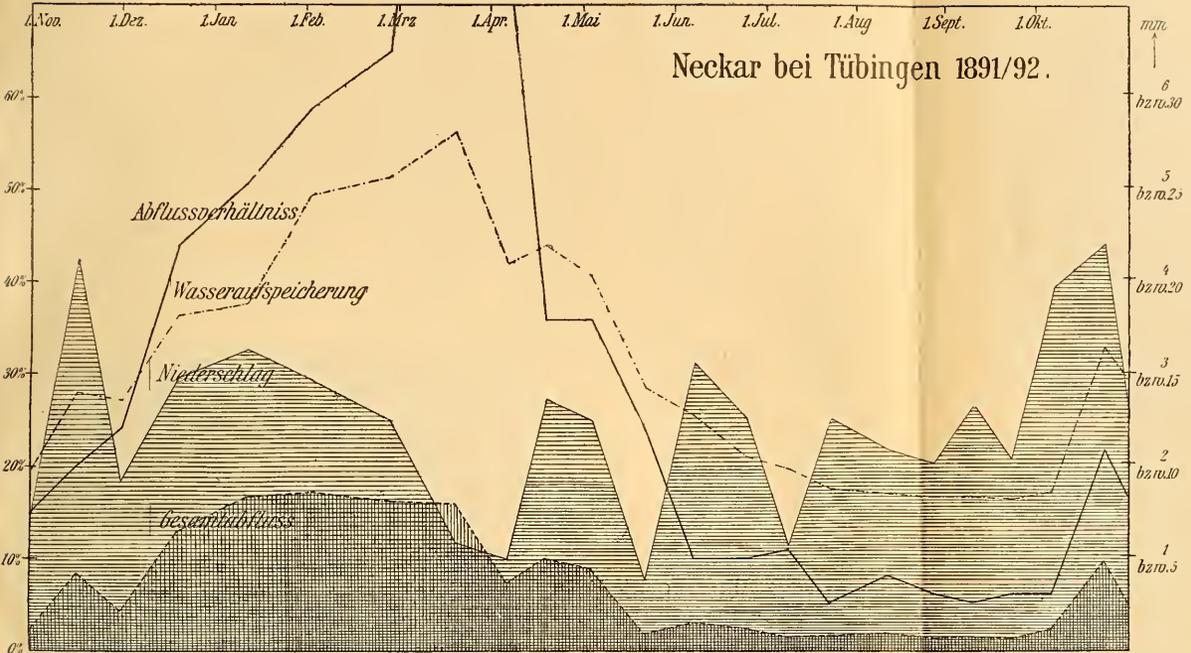
Neckar bei Tübingen.

	Nieder- schlag (mm)	Gesamt- abfluß (mm)	Abflußver- hältnis (‰)
November 1891—April 1892 . .	448	231	52
Mai—Oktober 1892	472	55	12
November 1892—April 1893 . .	248	154	62
Mai—Oktober 1893	433	18	4

Die Vorbedingung für die Berechnung von Abflußverhältnissen ist die genaue Kenntnis des Niederschlags und des oberflächlichen und unterirdischen Abflusses. Der Zweck meiner Ausführungen war, darzulegen, wie es möglich ist, unter diesen Voraussetzungen mit Hilfe der Maximalabflußkurve genaue Abflußverhältnisse zu berechnen.



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



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [66](#)

Autor(en)/Author(s): Wundt Walter

Artikel/Article: [Niederschlag und Abfluss, speziell im oberen Neckargebiet. 144-163](#)