©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Der Abflußvorgang im obersten Enzgebiet.

Von Dr. W. Wundt, Aalen.

Mit Taf. III—V.

In zwei früheren Aufsätzen (5, 6) hat sich der Verfasser mit dem Abflußvorgang in Württemberg und den angrenzenden Gebieten beschäftigt. Der erste enthält eine Spezialuntersuchung über den oberen Neckar, der zweite eine Übersicht über sämtliche württembergische Flüsse mit kartographischen Darstellungen. In all diesen Fällen war es aber aus Mangel an genügendem Beobachtungsmaterial unmöglich, weiter als zu vorläufigen Ergebnissen zu gelangen. Ich richtete daher mein Augenmerk darauf, ein kleineres Gebiet zu finden, das genaue Beobachtungen über den Abflußvorgang aufzuweisen hat und sich durch Einheitlichkeit der Verhältnisse auszeichnet. Als ein Gebiet, das die genannten Voraussetzungen erfüllt, bot sich die oberste Enz dar.

A. Beschreibung des Gebietes.

Das Quellgebiet der Enz (siehe die Übersichtskarte Taf. III) liegt in der Osthälfte des nördlichen Schwarzwalds und umfaßt bis zur Meßstelle beim Lautenhof 85 qkm. Im Westen grenzt es an das Gebiet der Murg, in den übrigen Himmelsrichtungen stoßen die Gebiete der eigenen Nebenflüsse an, so im Norden die Eyach, im Osten die Kleinenz, im Süden die Quellbäche der Nagold. Da die Landesgrenze nicht auf dem Kamm, sondern östlich der Wasserscheide gegen die Murg verläuft, gehört ein Teil des Gebiets zu Baden. Der höchste Punkt liegt in der Nordwestecke, wo im Hohloh 988 m erreicht werden. Auch an der Südumrandung steigt das Gebiet bis nahezu 900 m an. Im allgemeinen findet eine langsame Abdachung des Gebiets gegen Osten zu statt, wo die Erhebungen um 800 m herum sich bewegen. Der tiefste Punkt befindet sich oberhalb des Lautenhofes in 475 m Meereshöhe.

©Biodiversity Heritage Library, http://biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bemerkenswert ist, daß die Bergformen fast durchweg breite Rücken darstellen; die Täler bilden tiefeingeschnittene schmale Rinnen, zwischen denen sich ausgedehnte Hochflächen hinziehen. Die mittlere Erhebung ist daher sehr bedeutend, wesentlich höher, als der Beobachter im Tal sie zu schätzen geneigt ist. Eine Auswertung nach Höhenstufen aus einer Karte 1 : 50000 mit Hilfe eines Quadratnetzes ergab als mittlere Höhenlage 787 m. Dies entspricht etwa der Höhe des Ortes Besenfeld am Südrande des Gebiets. — Die Berechnung des Abflusses an der Meßstelle erfolgt aus Überfallhöhen unter Benützung eines selbstregistrierenden Pegels. Die Bewaldung, fast durchweg Nadelholz-Hochwald, ist sehr stark und gleichmäßig; sie beträgt etwa 94 % des Gesamtgebiets. Waldfrei sind fast nur die von Wiesen erfüllten Talgründe der Enz und ihrer Nebenbäche. Auch der geologische Untergrund zeichnet sich durch große Gleichförmigkeit aus. Wir befinden uns, von der granitischen Talsohle bei Wildbad abgesehen, durchweg im Buntsandstein. Eng verbunden mit dem Untergrund ist die für den Abflußvorgang so wichtige Durchlässigkeit des Bodens. Nimmt man nach Regelmann (3) als „mitteldurchlassend“ die unteren und mittleren Schichten des Buntsandsteins an, als „undurchlassend“ einen kleinen Streifen des oberen Buntsandsteins im Südosten und die Hochmoorgebiete des Hohloh, so sind nach roher Schätzung 87 % des Gebiets mitteldurchlassend und 13 % undurchlassend (als stark durchlassend, infolge der Durchsetzung mit Klüften, ist in Württemberg in erster Linie die Weißjuraplatte der Alb anzusehen).

Die Niederschlagshöhe des Gebiets ist durchweg sehr bedeutend. Zur Herstellung einer Regenkarte wurden die württembergischen Stationen Aichhalden, Besenfeld, Dobel, Gaistal, Freudenstadt, Haiterbach, Schömberg OA. Neuenbürg, Simmersfeld und Wildbad zu Hilfe genommen, von Baden die Stationen Kaltenbronn und Langenbrand. Soweit sie auf der Übersichtskarte liegen, sind sie durch kleine Fähnchen bezeichnet. Die Regenlinien (Isohyeten) beziehen sich auf den Zeitraum September 1906 bis August 1915; dessen Wahl ist auf äußere Gründe, nämlich das gleichzeitige Vorhandensein von Abflußbeobachtungen, zurückzuführen. Die genannten Stationen bestanden nicht alle gleichzeitig, sondern lösten z. T. einander ab; so wurde Aichhalden, das im Juli 1914 einging, durch Simmersfeld ersetzt. Auch sonst wurde teilweise Interpolation nötig. Bei Ziehung der endgültigen Linien wurden auch die orographischen Verhältnisse berücksichtigt. Der Mittelwert wurde

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

durch Auswertung einer Karte 1 : 100000 mit Hilfe eines Quadratnetzes gefunden. Im einzelnen betragen die jährlichen Regenhöhen in mm: Aichhalden (Simmersfeld) 1166, Besenfeld 1323, Dobel 1250, Freudenstadt 1563, Gaistal 1340, Haiterbach 780, Kaltenbronn 1481, Langenbrand 1234, Schömberg 930, Wildbad 1230. Das Mittel ist 1324 mm für den genannten Zeitraum.

Freudenstadt bietet durch langjähriges Bestehen die Möglichkeit, diesen Wert auf den Zeitraum 1856/1915 zu reduzieren. In letzterem hatte Freudenstadt durchschnittlich 1512 mm Regenhöhe. Durch entsprechende Verkleinerung bei den einzelnen Monaten ergibt sich für das oberste Enzgebiet 1292 mm im 60jährigen Mittel. Von Reduktionen anderer Werte auf das 60jährige Mittel wird später die Rede sein (siehe D.). Durchweg wurde hiebei Freudenstadt benützt, das sich hiezu wegen seiner klimatischen Verhältnisse und seiner Höhenlage besser eignet als das näher am Gebiet gelegene Wildbad. Die Hauptstation Freudenstadt liegt etwa 14 km südlich von Besenfeld, Schömberg etwa 11 km nordöstlich vom Lautenhof, Dobel ungefähr 6 km nordwestlich von Wildbad. Für die 20 Kalenderjahre 1896—1915 berechnet Sassenfeld (16) die Regenhöhe von Wildbad zu 1237 mm. Das Tagesmaximum innerhalb dieses Zeitraumes war 89,5 mm (am 1. 8. 01). Sassenfeld weist auf die Niederschlagsarmut im Oktober hin, aber auch auf den Umstand, daß 20 Jahre zur Berechnung solcher Mittelwerte zu kurz sind (vgl. D. und die 60jährigen Mittel Tab. 5).

Da ich beim Abfluß auf die Regenhöhen der einzelnen Tage und Perioden zurückgreifen mußte, so war ich gezwungen, für diese an Stelle der Flächenausmessung ein weniger zeitraubendes Verfahren zu setzen. Es ergab sich, daß die Mittelbildung der vier Stationen Wildbad, Aichhalden (Simmersfeld), Besenfeld und Kaltenbronn durchschnittlich nur 2 % von dem genaueren Werte abweicht. Dies liegt unter der Genauigkeitsgrenze der Regenbeobachtungen überhaupt. Die mittlere Regenhöhe der Einzeltage wurde daher zu 102 % des genannten Mittels angesetzt. Nebenbei gesagt ist die mittlere Regenhöhe des Gebiets fast genau gleich der von Besenfeld.

Besondere Schwierigkeit machte die Berücksichtigung der Schneedecke, die für ein Gebiet mit so hohem Niederschlag und so bedeutender Höhenlage eine sehr wichtige Rolle spielt. Die Mittelbildung wurde wie beim Regen vorgenommen; dagegen erwies es sich nicht als angängig, bei der Umrechnung des Schnees in

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Niederschlag für alle Monate dieselbe Schneedichte anzunehmen. Nach Hann (14) S. 313 schwankt dieser Wert innerhalb weiter Grenzen. Nach mehrfachen Versuchen erschien es mir als das Richtigste, die Schneedichte gegen Ende des Winters ansteigen zu lassen, und zwar nach folgender Reihe: November 0,14; Dezember 0,17; Januar 0,20; Februar 0,23; März 0,26; April 0,29. Wem diese Werte zu hoch erscheinen, der möge bedenken, daß die Grundlage der Rechnung die mehrwöchige Periode ist (siehe D.), daß es sich also durchweg um zusammengesessenen, nicht um frischgefallenen Schnee handelt. Das Mittel der angenommenen Werte beträgt 0,22. In Tabelle 2 tritt die Bezeichnung „gemessener" bezw. „berechneter" Niederschlag auf. Der berechnete Niederschlag ergibt sich aus dem gemessenen durch Subtraktion des liegengebliebenen bezw. Addition des geschmolzenen Schnees. Sommers (d. h. von Mai bis Oktober) müssen natürlich gemessener und berechneter Niederschlag übereinstimmen.

Die mittlere Temperatur des Gebiets ergibt sich zu etwa 6,6° durch Extrapolation aus der Höhenlage nach den Mitteltemperaturen von Wildbad (425 m; 7,3°); Schömberg (635 m; 7,0°); Dobel (690 m; 6,8°); Freudenstadt (735 m; 6,7°). Die genannten Werte beziehen sich auf den 75jährigen Zeitraum 1826/1900. Als mittlere Temperatur der Quellen wird in guter Übereinstimmung damit 6,5°—7,5° angegeben (4).

B. Rücklage und Aufbrauch.

Wenn man den Abfluß zum Niederschlag in Beziehung setzen will, stößt man auf gewisse Schwierigkeiten. Der Abfluß ist nämlich gegenüber dem Niederschlag zeitlich verschoben und dies in sehr verschiedenem Betrage. Beispielsweise speisen die gegen Ende des Winters angesammelten Wassermengen die folgenden Monate bis weit in den Sommer hinein; umgekehrt ist der Abfluß in einem regenarmen Monat zum großen Teil auf Rechnung der vor dieser Zeit gefallenen Niederschläge zu setzen. Es findet also in dem einen Zeitraum eine Rücklage, in dem andern ein Aufbrauch von Wasservorräten statt. Um Abflußmengen zu erhalten, die den Regenmengen direkt entsprechen, bezw. um Rücklage und Aufbrauch zu berechnen, kann man verschiedene Wege einschlagen; ich folge hier in der Hauptsache den Ausführungen Dr. Fischer's (7). Der erste Weg ist folgender: Man nimmt, was ohne wesentlichen Fehler erlaubt ist, an, daß für längere Zeiträume

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Abfluß und Niederschlag einander auch zeitlich entsprechen. Die Differenz beider Größen, sonst schlechthin als Verlust zu bezeichnen, stellt für diesen Fall den absoluten Betrag der Verdunstung dar. Ihr durchschnittlicher Jahresbetrag wird nach dem beobachteten Gange der Verdunstung prozentual auf die einzelnen Monate verteilt. Diesem Sollbetrag des Verlustes für die einzelnen Monate steht ein Istbetrag gegenüber, der sich aus der tatsächlichen Differenz zwischen Niederschlag und Abfluß ergibt. Ist der Sollbetrag größer als der Istbetrag, so ist nicht alles Wasser verloren gegangen, das hätte verbraucht werden sollen; es hat vielmehr eine Aufspeicherung oder Rücklage stattgefunden. Im umgekehrten Falle dagegen ist die tatsächliche Verdunstung größer als die ausgerechnete, d. h. es muß, um den Ausfall zu decken, ein Aufbrauch von Grundwasservorräten stattgefunden haben. — Hiebei kann der Gang der Verdunstung auf verschiedene Weise festgestellt werden, entweder mit Verdunstungsmessern (Evaporimetern) oder mit Hilfe der Beobachtung des feuchten Thermometers, das bekanntlich zur Berechnung der relativen Feuchtigkeit $\left(\frac{e}{E}\right)$ und des Sättigungsdefizits $(E - e)$ führt. Leider stehen für unser Gebiet keine direkten Verdunstungsmessungen zur Verfügung; solche sind nur an einigen anderen Orten Württembergs und für Jahrgänge vorhanden, die sich mit unserem Abflußzeitraum nicht decken. Das verwendete Instrument mißt die Verdunstung von einer freien Wasseroberfläche und ist nach Art einer Briefwage gebaut. Ich versuchte aber aus den vorhandenen Stationen wenigstens einen Zusammenhang zwischen mittlerer Monatstemperatur und Verdunstung zu konstruieren. Dieser Zusammenhang ist natürlich nicht eindeutig; die Eintragung in ein Koordinatensystem ergibt einen Punktschwarm, in dem eine Mittellinie gelegt werden muß. Auf diese Weise gelang es, den Gang der monatlichen Sollverdunstung auf Grund der Mitteltemperaturen von Freudenstadt einigermaßen zu schätzen. — Das Sättigungsdefizit $(E - e)$, auch Dampfhunger genannt, wird als Maß für den Gang der Verdunstung neuerdings der relativen Feuchtigkeit $\left(\frac{e}{E}\right)$ vorgezogen und hat durch die Arbeiten von Köppen (15) neue Bedeutung gewonnen. Das feuchte Thermometer kann zwar, da es eine indirekte Messung darstellt, den Verdunstungsmesser nicht ersetzen, aber es ist allgemein verbreitet und bietet daher eine gleichmäßige Grundlage. Köppen spricht als Resultat seiner Untersuchungen aus: „Die Evaporations-

©Biodiversity Heritage Library, http://biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

kraft der Klimate und Jahreszeiten ist dem Dampfhunger der Luft proportional.“ Auf Grund dieser Überlegung habe ich den Gang des Sättigungsdefizits für Freudenstadt in den Jahren 1906/15 festgestellt, den durchschnittlichen jährlichen Gesamtverlust dementsprechend auf die Monate verteilt und, wie oben geschildert, Rücklage und Aufbrauch berechnet.

Das Hauptbedenken gegen das Evaporimeter und das Sättigungsdefizit bei Berechnung der Abflußvorgänge bezieht sich darauf, daß beide Größen nur die mögliche Verdunstung, die sogenannte Evaporationskraft, messen und daß die Angaben der Verdunstungsmesser stark von der Art des Instrumentes und von der Aufstellung abhängen. Denn ein paralleler Gang zwischen Verdunstung und Dampfhunger wird nur dann zu erwarten sein, wenn auch tatsächlich eine Wasseroberfläche vorhanden ist, welche die Verdunstung gestattet. Dies ist aber nur nach Regenfällen der Fall; sonst beschränkt sich die Verdunstung auf die Wasserläufe, die feuchten Stellen des Erdreichs und den Verbrauch durch die Pflanzen. Der theoretischen Verdunstung ist daher eine Landverdunstung gegenüberzustellen, die sich mit Instrumenten nicht messen läßt und mit den geographischen und klimatischen Bedingungen wechselt. Diese Landverdunstung kann nur aus der Differenz: Niederschlag minus Abfluß hergeleitet werden.

Eine weitere Art, Rücklage und Aufbrauch zu berechnen, beruht in der Verwendung der niedrigsten Monatswasserstände zur Berechnung der Grundwasservorräte; denn die durchschnittliche tiefste Wasserführung eines Monats muß ebenfalls ein Maß für die Grundwasserspeisung abgeben. Übersteigt die niedrigste Wasserführung eines Monats die des vorhergehenden, so hat eine Rücklage stattgefunden, da diese Zunahme als Folge der erhöhten Grundwasservorräte aufzufassen ist; im umgekehrten Fall ist ein Aufbrauch anzunehmen. Rücklage und Aufbrauch sind daher in erster Annäherung der Zunahme bezw. Abnahme der Niedrigstwasserführungen gleichzusetzen, wodurch sich eine von der vorigen ganz unabhängige Art der Berechnung ergibt. — Ein Mangel dieser Methode liegt einmal darin, daß die niedrigsten Wasserstände, zumal in wasserreichen Monaten, die Grundwasserspeisung nur unvollkommen zum Ausdruck bringen; ein weiterer beruht darauf, daß die Grundwasservorräte der augenblicklichen Grundwasserspeisung nicht proportional sind. Von der Art dieser Abhängigkeit, die durch die sogenannte Trockenwetterkurve ausgedrückt

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wird, soll im folgenden Abschnitt die Rede sein und im Zusammenhang damit von einem weiteren Verfahren, Rücklage und Aufbrauch zu berechnen.

C. Die Trockenwetterkurve.

Stellt man die Wassermenge y als Funktion der Zeit x durch eine Kurve $y = f(x)$ dar, so ist der augenblickliche Durchfluß an der Meßstelle durch die Ordinate y, der Wasservorrat dagegen durch die Fläche der Kurve gegen die x-Achse gegeben (siehe Schema Taf. V). Die am Schluß des vorigen Abschnitts gemachte Gleichsetzung wäre also durch eine Aufstellung über Ab- und Zunahme dieser Fläche zu ersetzen. Wir kommen dabei zu folgenden Überlegungen: Der tatsächliche Wasserstandsverlauf setzt sich aus zahlreichen unregelmäßigen Wellen zusammen, von denen ein Stück ABEFG herausgegriffen sei. Der letzte Niederschlag liege so weit zurück, daß das Kurvenstück AB nur von der Grundwasserspeisung, nicht mehr vom oberflächlichen Abfluß beeinflußt werde. Dabei sei unter Grundwasser im weitesten Sinne solches Wasser verstanden, das einen Teil seines Weges unter Tag zurücklegt. Durch einen neuen Niederschlag werde die Hebung bei E bewirkt. Denkt man sich diese Hebung weg, so würde der Wasserstand gleichmäßig weiter über C nach D sinken. Das Kurvenstück BCD muß nun, weil nur vom Grundwasserzufluß abhängig, eine ganz bestimmte Gestalt haben, die sich bei Eintritt trockener Witterung ständig wiederholen muß. Läßt man z. B. den Wasserstand von E aus wieder bis zum Punkt F fallen, wo der Oberflächenabfluß aufhört, so muß das folgende Kurvenstück FG eine Wiederholung (Parallelverschiebung) des entsprechenden Kurvenstückes CD darstellen. Verbindet man noch B und F durch eine Gerade, die einer gleichmäßigen Abnahme des Grundwasserstandes zwischen B und F entspricht und bezeichnet die von den stark ausgezogenen Linien eingerahmten Flächen mit a, b, c, d, e, f (e und f sind ins Unendliche ausgedehnt zu denken), so stellt dar:

$a + b + c + d$ den zwischen B und F gemessenen Abfluß;
a den oberflächlichen Abfluß;
$b + c + d$ den unterirdischen Abfluß.

Nun ist aber unser Zweck offenbar nicht, den zwischen B und F fallenden Niederschlag zu dem gleichzeitigen oder gemessenen Abfluß in Beziehung zu setzen, sondern nur zu dem Abfluß, der aus ihm selbst herrührt und teilweise erst später

©Biodiversity Heritage Library, http://biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

erfolgt (berechneter Abfluß). Wäre kein neuer Niederschlag erfolgt, so wäre die Abfallkurve längs BCD verlaufen. Die Fläche (b + d + f) stammt also jedenfalls aus früheren Vorräten, während die ihr aufgelagerte Fläche (a + c + e) von dem neuen Niederschlag herrührt. Ferner folgt aus der Parallelverschiebung des Kurvenstücks CD nach FG die Gleichheit d + f = e + f; somit unter Heraushebung von f auch die Gleichheit d = e. Das ins Unendliche sich hinausziehende, aber rasch sich verjüngende Flächenstück e ist demnach gleich der endlichen Fläche d. Teilt man endlich den berechneten Abfluß in einen sofortigen (innerhalb der Periode erfolgenden) und einen späteren ein, so ergibt

a + c + d den berechneten Abfluß;
a + c den sofortigen Abfluß;
d den späteren Abfluß.

Wie gelangen wir in der Praxis zu den genannten Flächenstücken? Um den aus einer bestimmten Niederschlagsperiode stammenden Abfluß zu bestimmen, müssen wir auf der Wasserstandskurve vorher und nachher zwei Punkte B und F suchen, wo ihr Verlauf nur von der Grundwasserspeisung abhängig ist. Dies wird im allgemeinen dann der Fall sein, wenn seit dem letzten Regen einige Tage verstrichen sind. Sind solche Pausen zwischen den Regenfällen nicht vorhanden, so ist eine Ausscheidung eines Niederschlags von anderen nicht möglich. Ferner muß die Gestalt des Kurvenstücks BCD, d. h. der weitere Kurvenabfall von B aus bei trockenem Wetter bekannt sein. Die Gestalt dieser Kurve läßt sich ziemlich genau aus Einzelstücken bestimmen, die aus einer Anzahl Trockenperioden entnommen werden. Diese Kurve kennzeichnet beim Fehlen weiterer Niederschläge den langsamsten möglichen Abfall und daher den höchsten noch möglichen Abfluß; ich habe sie daher seinerzeit (5) Maximalabflußkurve genannt. Auf einen privaten Vorschlag von Herrn Dr. Koehne möchte ich ihr aber lieber künftig den anschaulicheren Namen Trockenwetterkurve geben. Hat man im tatsächlichen Wasserstandsverlauf zwei Punkte B und F und kennt die Trockenwetterkurve in allen ihren Teilen, so bietet die Bestimmung der Flächen a—f für die eingeschlossene Niederschlagsperiode keine Schwierigkeit mehr. Der Schnitt der durch B gelegten Kurve mit der Parallelen zur x-Achse durch F gibt C und damit leicht die gesuchten Stücke.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle 1. **Grundlagen für die Trockenwetterkurve der obersten Enz (beim Lautenhof).**

Tagesablauf (1000 m³)	Mittlere Dauer (Tage)	Zahl der Fälle	Tagesablauf (1000 m³)	Mittlere Dauer (Tage)	Zahl der Fälle
1400—700	0.7	5	117,5—112,5	1,7	9
700—500	1,7	10	112,5—107,5	1,7	9
500—375	2,7	11	107,5—102,5	2,0	7
375—325	1,9	8	102,5—97,5	1,7	8
325—275	2,3	17	97,5—92,5	2,9	14
275—225	3,9	41	92,5—87,5	2,9	17
225—195	4,4	39	87,5—82,5	3,8	16
195—165	4,4	30	82,5—77,5	4,5	12
165—142,5	4,5	26	77,5—72,5	4,2	6
142,5—137,5	3,1	12	72,5—67,5	7,1	17
137,5—132,5	1,6	13	67,5—62,5	9,0	24
132,5—127,5	1,7	14	62,5—57,5	6,5	24
127,5—122,5	1,7	16	57,5—47,5	38,1	31
122,5—117,5	1,9	12	1400—47,5	122,6	448

Zur Berechnung und Aufzeichnung der Trockenwetterkurve für die oberste Enz ist noch zu bemerken: Die Wassermengen für das obere Enzgebiet waren in Kubikmeter Tagesablauf vom ganzen Gebiet angegeben. Für alle Trockenperioden, auch solche von kurzer Dauer, innerhalb der neun Jahre wurde die tägliche Abnahme des Ablaufs für bestimmte Ausgangswasserstände bezw. die zugehörigen Intervalle festgestellt und für jedes Intervall der Durchschnitt gebildet. Die Mittelbildung, mit starken Abnahmen bei hohen Wasserständen und schwachen bei Tiefständen, ergab einen überraschend stetigen Verlauf. Beim Entwurf von Taf. V wurde keinerlei „Glättung" durch übergreifende Mittel und Ähnliches vorgenommen. Die entstehende Tabelle wurde in der Weise neu angelegt, daß ich berechnete, wieviel Tage bezw. Bruchteile davon verstreichen mußten, um ins nächste Intervall zu gelangen. Durch Summierung dieser Tage erhielt ich den Zeitraum, der bei eintretender Trockenheit vom höchsten Wasserstand bis zu einem beliebigen anderen Wasserstand verstreichen würde. Um über die Grundlagen ein Urteil zu ermöglichen, sind in Tabelle 1 die Wasserstandsintervalle, die zugehörige Dauer und die Zahl der Fälle einander gegenübergestellt. Die Tabelle umfaßt 448 Fälle, was 97% aller Fälle entspricht; die restlichen 3% sind wegen

©Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Unsicherheit der Beobachtungen infolge von störenden Einflüssen z. B. Wiesenwässerung, Einfluß von Stauung u. ä.) ausgeschieden worden. Die mittlere Wasserstandsdauer bezieht sich nicht, wie sonst üblich, auf sämtliche in das betreffende Intervall fallende Wasserstände, sondern nur auf solche, bei denen der letzte Niederschlag weit genug zurückliegt.

Die Summe der Tage, die bei eintretender Trockenheit vom höchsten bis zum tiefsten Wasserstand verstreichen würde, ergibt sich aus Tabelle 1 zu 122,6 Tagen. Für den Neckar bei Tübingen habe ich seinerzeit diesen Zeitraum zu 92 Tagen bestimmt (5). In der Zeichnung wurde an Stelle des Tagesablaufs als üblicheres Maß die Wasserspende (Sekundenliter vom Quadratkilometer) gesetzt. Als mittlerer Abfluß in Spende ergab sich im neunjährigen Mittel der Wert 23,7. Der Tageshöchstabfluß in diesem Zeitraum trat am 19. Januar 1910 mit einer durchschnittlichen Wasserspende von 192 ein. Dieser Wert ist nicht sehr hoch, wenn man ihn mit anderen Zahlen (6) vergleicht; denn die Hochwasserspenden von Gebirgsflüssen werden in der Höhe von einigen Tausend angenommen. Es zeigt sich also der mäßigende Einfluß des Waldes; auch ist zu bedenken, daß sich die berechnete Spende auf einen ganzen Tag bezieht und daß der Beobachtungszeitraum nur neun Jahre umfaßt. Der niedrigste Tagesablauf trat am 28. Oktober 1907 mit der Spende 6,9 ein. Die Abflußspenden im Herbst 1911, nach dem bekannten dürren Sommer, sind etwas höher; dies rührt daher, daß die Trockenheit dieser Monate im Innern der Gebirge durch ausgiebige Gewitterregen gemildert wurde. Verglichen mit anderen Flußgebieten sind die niedrigsten Wassermengen der oberen Enz, auf die Flächeneinheit berechnet, durchweg recht bedeutend. Die große Regenmenge und die gleichmäßige Verteilung des Niederschlags, die lange Trockenperioden nicht duldet, lassen keine solchen Tiefstände aufkommen, wie wir sie bei anderen Flüssen finden. — Es sei an dieser Stelle auf interessante Formeln hingewiesen, die Czermak (19) aufgestellt hat, um die Abflußmengen eines Gebiets direkt aus den Niederschlagsbeobachtungen unter Zuhilfenahme der Temperaturen zu berechnen.

Zunächst erschien es zweifelhaft, ob nicht Sommer und Winter verschiedene Abfallkurven (der Sommer eine steilere?) ergeben würden. Die Rechnung wurde daher getrennt durchgeführt, ergab aber, daß diese Vermutung, von kleinen Abweichungen abgesehen, für das oberste Enzgebiet nicht zutrifft. — Ebenso wie der Einfluß

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Jahreszeit, so muß auch die Vegetationsentwicklung im Frühjahr, die Fröste im Spätherbst, die Schneedecke im Winter und das Auftauen des Bodens zu Ende des Winters sich in der Gestalt der Kurve geltend machen. Ein solcher Einfluß wurde auch konstatiert, es zeigte sich aber, daß er aus den übrigen Faktoren nicht heraus geschält werden konnte. Eine gesonderte Durchschnittsbildung für Frostkurven, Vegetationskurven usw. konnte nicht durchgeführt werden, da viel zu wenig Fälle vorhanden waren. Die Kurven, die nach Betrachtung der Temperaturverhältnisse Frostkurven sein sollten, bewegen sich in den meisten Fällen ganz nahe an der allgemeinen Trockenwetterkurve. Bei den Vegetationskurven ist es ähnlich. Hier tritt noch die besondere Schwierigkeit auf, daß sich die Vegetation bekanntlich am stärksten bei Regen entwickelt, also gerade, wenn die Abfallkurve, die uns Aufschluß über den Verbrauch geben soll, verschleiert ist. Dazu kommt das Auftauen des Bodens, das in kalten Lagen noch Wasser liefert, während die Vegetation solches verbraucht. Eine gegenseitige Trennung dieser Einflüsse ist sehr schwierig. Aus diesen Gründen mußte ich mich darauf beschränken, einige wenige Beispiele herauszugreifen und als Seitenzweige mit Angabe des Datums der graphischen Darstellung einzufügen (siehe Taf. V). Von Auftaukurven mußte ebenfalls abgesehen werden, da hier die Einflüsse noch unregelmäßiger sind. Die Schneedeckenkurven dagegen laufen, abgesehen von den ganz tiefen Wasserständen, so regelmäßig, daß auch die Einzelbeispiele mit der Hauptkurve harmonieren. Naturgemäß finden sich die Beispiele für Vegetationseinfluß (V) am hochliegenden Teile, die für Frost (F) am tiefliegenden Teile der Hauptkurve und sind, weil sie einem übernormalen Verbrauch entsprechen, nach unten anzusetzen. Im Gegensatz zu ihnen stehen die Linien raschen Abflusses (besonders bei Gewittern), von denen ebenfalls einige Beispiele in die Tafel aufgenommen sind. Die Ursache ihres steilen Abfalles ist das mangelnde Eindringen des Wassers in den Boden; sie sind daher nach oben an die Hauptkurve anzusetzen. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß alle diese Beispiele die Extreme der Abweichungen darstellen. Die allermeisten Fälle, auch bei den Frost-, Gewitterkurven u. a. verlaufen ganz nahe bei der Hauptkurve. Wollte man alle Fälle einzeichnen, so würden sie sich, bildlich gesprochen, um die Hauptkurve häufen, wie die Bestandteile einer dicken Schnur, von der da und dort ein Fäserchen abhängt.

©Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Einwände, welche gegen diese Art der Abflußberechnung rhoben werden, beziehen sich, wie zu erwarten, darauf, daß die Gestalt der Trockenwetterkurve von weiteren Faktoren, nämlich ahreszeit, Vegetation, Frostwirkung usw. abhänge. Czermak (18), er in einem Aufsatz die Trockenwetterkurve — dort als Linie er Basiswasserführung bezeichnet — anwendet, weist darauf hin, aß ihr Verlauf „nur durch die Wasserstandsbewegung während ieler Trockenperioden, nach Art der vorausgegangenen Durcheuchtung, für jeden Flußlauf, jedes Profil und jeden Monat gesondert" zu ermitteln sei. Maillet (17), auf dessen Arbeiten ich on Herrn Fischer hingewiesen wurde, sucht die Trockenwetterurve durch eine Gleichung von der Form $y = a e^{-\alpha t}$ darzustellen.)abei stellt y die Wassermenge, t die Zeit, a und α Konstanten ar, die den gewählten Maßen, der Eigenart des Wasserlaufs und en vorhin genannten Faktoren entsprechen. α, der sogenannte ustrocknungskoeffizient, wird bei stationären, nachhaltig fließenden Gewässern verhältnismäßig klein, bei rasch austrocknenden Wasserläufen dagegen groß sein. Zur Bestimmung der zwei Unbekannten a nd α läßt man die theoretische Kurve mit der empirischen an rgend zwei Punkten übereinstimmen und setzt die diesen Punkten ntsprechenden Werte von y und t ein, wodurch man zwei Gleichungen ür a und α erhält. Ist die oben gemachte Annahme über der Natur der Kurve richtig, so müssen außer den zwei festen Punkten uch die übrigen Punkte einigermaßen die Gleichung der Kurve efriedigen. Dies trifft, wie Versuche für die oberste Enz ergaben, ier nur in sehr grober Annäherung zu. Immerhin war es interssant, die gefundenen Werte von α mit solchen von Maillet der Größenordnung nach zu vergleichen. Es zeigte sich, daß α bei ler Enz 6—10mal größer war als bei der Quelle von Cerilly Typus eines nachhaltigen Wasserlaufs), dagegen 3—5mal kleiner ls bei der 400 qkm umfassenden Meßstelle von Autricourt (Beispiel eines Durchschnittsflüßchens).

Daß der Einfluß der Jahreszeit auf die Trockenwetterkurve bei der obersten Enz nur gering ist, ist durch die getrennte Behandlung der Jahreszeiten erwiesen. Ich habe auch versucht, durch Vergleich der entsprechenden Frühjahr- und Herbstmonate die Wirkung der Vegetation und des Bodenfrostes herauszuschälen, doch konnte ich infolge der gegenseitigen Verwischung zu keinem klaren Ergebnis kommen. Es ist dies übrigens bei der Eigenart des Gebietes sehr erklärlich. Die gleichartige Beschaffenheit, vor

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

allem die Nadelholzbedeckung, bedingen ein ähnliches Verhalten im Sommer und Winter. Auch der Wasserverlust durch Vegetationsentwicklung dürfte hier mehr über das Jahr ausgeglichen sein als in unbewaldeten Gebieten. Der Prozeß der Wasserzurückhaltung durch Frost tritt in diesem hochgelegenen Gebiet gegenüber dem Einfluß der Schneedecke zurück. — Immerhin kommen durch die erwähnten Umstände Fehler herein, deren Beseitigung nur durch Beobachtung der Bodenfeuchtigkeit im weitesten Sinn erhofft werden kann (20).

Ein weiteres Bedenken gegen die Trockenwetterkurve liegt nach Fischer darin, daß das Grundwasser, auch ohne daß Niederschläge fallen, von einer aus andern Teilen des Flußgebiets stammenden Flutwelle gespeist werden kann. Wir hätten also eine Hebung der Trockenwetterkurve ohne Niederschlag. Dieser Umstand spielt zweifellos bei größeren Flußgebieten eine bedeutende Rolle; z. B. sind die aus den Sudeten stammenden Flutwellen der Oder imstande, den Grundwasserstand im Flachland durch Einsickerung zu heben. Für das Quellgebiet der Enz sind jedoch die Vorbedingungen für diese Erscheinung nicht gegeben. Der Abflußvorgang ist hier so rasch, die Möglichkeit der Einsickerung vom Fluß aus so gering, daß der genannte Umstand für die Trockenwetterkurve keine Rolle spielt.

D. Beschreibung der Tabellen und graphischen Darstellungen.

Zu Tabelle 1 ist schon im Abschnitt über die Trockenwetterkurve das Nötige gesagt (siehe C.).

In Tabelle 2 (Taf. IV) teilt sich der gemessene Abfluß in einen unterirdischen und einen oberflächlichen, der berechnete Abfluß in einen sofortigen und einen späteren (vgl. C.). Der berechnete Abfluß ist kleiner als der gemessene, wenn der Beginn des Zeitraums höher auf der Trockenwetterkurve liegt als deren Ende, da die Fläche zwischen Anfangs- und Endordinate eine Speisung aus früheren Vorräten darstellt. In Tabelle 2, 5 ist der Gang des durch die Fläche gegen die Zeitachse dargestellten Grundwasserstandes wiedergegeben, einerseits in 5 a) als Abweichung vom Mittel (160 mm), andererseits in 5 c) unter Hinzunahme der Schneedecke als absoluter Wert. Der Wert 160, der ein Mindestmaß darstellt, wurde durch geradlinige Fortsetzung des tiefsten Teils der Trockenwetterkurve gewonnen, stellt also nur eine unsichere

Tabelle 2. **Wasserhaushalt im Kreislauf des Jahres (9jährige Mittel).** Maß: $\frac{\text{Liter}}{\text{sec . km}^2}$ („Spende"), wo nichts anderes angegeben

		Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Wi.	So.	Jahr
1.	Niederschlag															
	a) Gemessen . . .	52,2	44,7	45,2	35,4	51,0	40,1	44,2	42,7	47,3	39,2	42,5	23,2	44,2	39,9	42,1
	b) Schneedecke . .	— 2,7	— 2,4	— 7,1	2,1	5,0	5,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	c) Berechnet (a + b)	49,5	42,3	38,1	37,5	56,0	45,2	44,2	42,7	47,3	39,2	42,5	23,2	44,2	39,9	42,1
2.	Abfluß a) Gemessen .	18,9	25,4	31,0	24,0	35,2	36,0	26,5	18,7	18,7	15,8	20,5	13,2	28,5	18,9	23,7
	Zerfallend in α) Unterirdisch	14,5	18,4	21,2	20,0	27,2	29,8	22,6	17,9	15,7	13,9	15,4	12,4	22,3	16,3	19,3
	Zerfallend in β) Oberflächlich	4,4	7,0	9,4	4,0	8,0	6,2	3,9	0,8	3,0	1,9	5,1	0,8	6,2	2,6	4,4
	Abfluß b) Berechnet .	27,5	32,9	29,9	25,6	45,3	33,5	18,8	16,0	17,9	14,7	14,8	7,3	32,4	15,0	23,7
	Zerfallend in α) Sofortiger	8,8	12,2	13,1	6,0	17,1	13,7	5,2	3,4	5,4	3,6	7,8	1,2	11,8	4,4	8,1
	Zerfallend in β) Späterer	18,7	20,5	17,0	20,2	31,6	19,8	13,7	12,7	12,5	11,7	7,0	6,1	20,6	10,6	15,6
3.	Verlust = 1 a) — 2 a) . .	33,3	19,3	14,2	11,4	15,8	4,1	17,7	24,0	28,6	23,4	22,0	10,4	15,7	21,0	18,4
4.	Verdunstung = 1 c) — 2 b) .	22,0	9,4	8,1	11,9	10,7	11,7	25,4	26,7	29,4	24,5	27,7	15,9	11,8	24,9	18,4
5.	a) Grundwasserstand (mm) Abweichung vom Mittel	—14,6	— 0,7	7,8	4,7	21,6	27,3	12,7	— 2,0	—11,1	—16,5	—11,8	—20,4	8,3	— 8,3	0,0
	b) Schneedecke (Wasserwert in mm)	3,9	9,7	22,7	34,6	19,5	5,6	—	—	—	—	—	—	15,8	—	7,9
	c) Wasservorrat = a + b + 160 (mm)	149,3	169,0	190,5	199,3	201,1	192,9	172,7	158,0	148,9	143,5	148,2	139,6	184,1	151,7	167,9
6.	Sättigungsdefizit (mm) . .	0,4	0,4	0,3	0,4	0,9	1,7	2,2	2,6	2,7	2,6	1,7	1,0	0,7	2,1	1,4
7.	Temperatur (Cels.)	2,5	0,8	— 2,0	— 0,3	2,3	5,6	10,8	13,7	14,5	14,5	11,0	8,2	1,5	12,1	6,8
8.	Mittl. Periodenlänge (Tage)	17,4	17,4	21,9	19,7	23,6	18,2	15,9	14,8	17,0	18,2	19,2	17,3	19,7	17,1	18,4

©Biodiversity Heritage Library www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Schätzung dar. In Tabelle 2, 8 sind die mittleren Periodenlängen angegeben, die uns ein Urteil über die Grundlagen der Tabellen gestatten sollen. Die hier angegebenen Werte erscheinen in Anbetracht dessen, daß die Ausscheidung der Perioden auf Grund der ganz zufällig gruppierten Niederschläge erfolgte, recht gleichmäßig. Alle angegebenen Größen ergeben sich zunächst nur für die unregelmäßig über das Jahr verteilten Perioden, welche in den einzelnen Jahren wiederum ganz verschieden fallen. Um hieraus Mittel für regelmäßige Zeiträume abzuleiten, bildete ich aus den neun zur Verfügung stehenden Jahren für jeden Tag des Jahres das arithmetische Mittel und hieraus Dekaden- und Monatsmittel. Die Dekadenmittel sind nicht veröffentlicht, weil sie noch zu viele Unregelmäßigkeiten aufweisen, die auf Zufall zurückzuführen sind. Für die Halbjahres- und Jahresmittel wurde aus bekannten Gründen nicht das Kalenderjahr, sondern das sogenannte Abflußjahr genommen, bei dem hier mit Rücksicht auf die Schneeschmelze der Winter von November bis April, der Sommer von Mai bis September dauert. — Über den Verlauf der Elemente wäre folgendes zu sagen: Der Niederschlag ist im allgemeinen gleichmäßig über das Jahr verteilt; es fällt nur der geringe Wert im Oktober auf, der aber nur der Periode 1906—1915 eigentümlich ist. Bei der Schneedecke findet eine Aufspeicherung bis Anfang Februar statt, während die Speisung aus den Schneevorräten bis Ende April dauert.

Der gemessene Abfluß (Taf. IV ob.) hat das Hauptmaximum im März/April, das Hauptminimum im Oktober, daneben erscheinen sekundäre Stufen, die mit denen des Niederschlags parallel gehen. Der berechnete Abfluß (Taf. IV ob.) hat im wesentlichen denselben Verlauf wie der gemessene. Das Frühjahrsmaximum ist noch schärfer ausgeprägt; sommers ist er allgemein kleiner als der gemessene Abfluß, winters dagegen umgekehrt; auch erscheinen die Erhebungen zeitlich verschoben. Bei der Teilung des gemessenen Abflusses in den unterirdischen und oberflächlichen (Taf. IV unt.) fällt das Überwiegen des unterirdischen Abflusses auf. Man muß sich hiebei erinnern, daß der unterirdische Abfluß nicht bloß die reine Quellenspeisung umfaßt, sondern bei höheren Wasserständen auch die Mengen, die der Boden nicht aufnehmen kann, ohne daß sie deshalb besonders rasch abfließen würden (z. B. bei Landregen). Bei jeder Periode ist mindestens der Teil als unterirdischer Zufluß anzusprechen, der dem mittleren Grundwasserstand des gewählten Zeitraums (Mittel der Anfangs- und Endordinate der Trockenwetter-

©Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

curve; $\frac{1}{2}$[BH + FL] im Schema Taf. V) entspricht. — Unterirdischer und oberflächlicher Abfluß verlaufen im allgemeinen gleichmäßig, doch ist der Prozentsatz des letzteren im Winter bedeutend höher.

Der berechnete Abfluß zerfällt in einen sofortigen und einen späteren (Taf. IV unt.). Hier ist als sofortiger Abfluß derjenige Teil zu verstehen, der innerhalb von 10 Tagen (einer Dekade), als späterer, der nach der Dekade abfließt. Der spätere Abfluß ist durchweg größer als der sofortige, außer im September, wo ihn der letztere etwas übersteigt. Die Ursache für letzteres könnte in der hohen Regenmenge gesucht werden und in den Vegetationsverhältnissen, die äußerlich noch sommerlichen Charakter tragen, ohne jedoch einen entsprechenden Wasserverbrauch zu bedingen.

Verlust und (Land-)Verdunstung (Taf. IV ob.) bilden den Inhalt der beiden nächsten Zeilen in Tabelle 2. Die Verdunstung hat, wie zu erwarten, einen gleichmäßigeren Gang als der Verlust. Es fällt bei ihr ein sekundäres Maximum auf, das wohl der Schneedecke seine Entstehung verdankt; auch die Schwankungen des Niederschlags spiegeln sich bis zu einem gewissen Grade hier wieder. Zum Vergleich ist sowohl in Tabelle 2 als auch in Taf. IV der Gang des Sättigungsdefizits daneben gestellt.

Zeile 5a, b, c der Tabelle 2 (Taf. IV unt.) gibt Auskunft über den Verlauf des Grundwasserstandes. Dieser erreicht ohne Berücksichtigung der Schneedecke sein Maximum im April, um von da ab bis Oktober im allgemeinen zu fallen. Ein sekundäres Minimum tritt im Februar auf, das wohl einer dachartigen Wirkung der Schneedecke zuzuschreiben ist; das sekundäre Maximum im September ist wohl eine Folge des hohen Niederschlages in diesem Monat. Zusammen mit der Schneedecke bildet der Grundwasserstand den Wasservorrat, der im Winterhalbjahr eine gleichmäßige Welle bildet; doch ist zu beachten, daß infolge der Annahme über den Wasserwert der Schneedecke hier eine gewisse Willkürlichkeit hereinkommt.

Tabelle 3 (Taf. III) gibt darüber Aufschluß, wie sich Niederschlag und Abfluß in den einzelnen Jahren unseres Zeitraums verhalten, wobei in der Tabelle auch die Trennung in die Abflußhalbjahre (November bis April; Mai bis September) durchgeführt ist. Von besonderem Interesse sind dabei die Prozente des abgeflossenen Niederschlags. Die „gemessenen“ Prozente setzen den

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gemessenen Abfluß zum gemessenen Niederschlag ins Verhältnis, die „berechneten“ dagegen ziehen übernommene Vorräte beim Abfluß ab und zählen ihm hinterlassene Wassermengen zu. Die Schwankungen des Abflusses folgen im allgemeinen denen des Niederschlags. Beim Niederschlag fällt die starke Schwankung im Winter auf, der einmal die Spende 29,1, ein anderes Mal 55,5 liefert. Die betreffenden Jahre liefern auch die Extreme des gemessenen Abflusses für das Volljahr (18,6 und 30,6). Die niedrigsten und höchsten Abflußprozente finden sich dagegen nicht, wie man erwarten sollte, in diesen beiden, sondern mit 48 % und 67 % in zwei anderen Jahren. Es geht daraus hervor, daß nicht allein die Menge des Niederschlags den Abflußanteil steigert, sondern auch andere Faktoren, von denen wohl die Verteilung des Niederschlags die Hauptrolle spielt. Die gemessenen Abflußprozente weichen von den berechneten stark ab, z. B. im Jahre 1907/08 um 6 %. An wichtigeren Einzelwerten ist hervorzuheben, daß für unser Jahrneunt die Niederschlagsspende im Durchschnitt 42,1, die Abflußspende 23,7 und der Abflußanteil 56 % beträgt. Der Jahreswert des Abflusses weicht von meiner früheren überschlägigen Berechnung (6) für das Jahrzehnt 1901/10 nur unwesentlich ab; etwas stärker sind die Unterschiede beim März und Oktober, wobei jedoch auf die großen Differenzen zwischen gemessener und berechneter Abflußspende in diesen Monaten hingewiesen sei (siehe Tabelle 2, 2). In der Veröffentlichung über die Stuttgarter Wasserversorgung (4) sind für die Enz beim Lautenhof etwas höhere Werte angegeben. Der Unterschied erklärt sich aber zwanglos dadurch, daß andere Jahre genommen wurden, namentlich aber aus dem Umstand, daß dort als Niederschlagsstation nur Wildbad benützt wurde, das als Talstation die niedrigsten Werte aufweist und demnach die Abflußprozente heraufdrücken muß.

In Tabelle 4 (Taf. III) sind die jährlichen Mitteltemperaturen und die Endgrundwasserstände der einzelnen Jahre zusammengestellt. Man glaubt ein gewisses gegensätzliches Verhalten, andererseits ein Steigen der berechneten Abflußprozente mit dem Grundwasserstand zu erkennen. Der mittlere Endgrundwasserstand ist, da er sich auf Ende Oktober bezieht, mit 140 mm natürlich niedriger als der mittlere Jahreswasserstand (160 mm).

In Tabelle 5 ist mit Rücksicht auf die praktische Verwendbarkeit der vorliegenden Untersuchung eine Reduktion der Ergebnisse auf einen 60jährigen Zeitraum mit Hilfe der Freudenstädter

©Biodiversity Heritage Library, http://biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Niederschlagsreihe versucht. Der Niederschlag stellt sich im langjährigen Mittel etwas kleiner und dementsprechend auch die Abflußmengen der einzelnen Monate; diese wurden unter Übernahme der 56 % beim Jahresabfluß für die einzelnen Monate, speziell für den Oktober, nach dem Gange des Niederschlags geschätzt. Als Maß sind hier die Millimeter pro Monat benützt. Die neunjährigen (nicht geschätzten) Abflußprozente sind am Schluß der Tabelle angefügt und in Taf. III graphisch dargestellt. Die bemerkenswerteste Eigentümlichkeit ist, daß die berechneten Abflußprozente innerhalb des Jahres einen ähnlichen Verlauf haben wie der Grundwasserstand (vgl. hiezu Taf. IV unt. und Tabelle 2, 5).

Zu bemerken ist, daß — nach den hier nicht veröffentlichten Originalzusammenstellungen — die Abflußprozente für zahlreiche Einzelperioden im Sommer auf nahezu 0 herabsinken. Die verhältnismäßig hohen Abflußprozente der Sommermonate sind daher nicht eine zeitlich gleichmäßig verteilte Eigenschaft, sondern sie sind durch einzelne heftige oder rasch aufeinanderfolgende Regenfälle hervorgerufen; mit anderen Worten: sie sind eine Funktion der sogenannten Regendichte.

In Tabelle 6 (Taf. IV unt.) ist Rücklage und Aufbrauch nach den früher (siehe B. und C.) entwickelten Methoden berechnet. Die aus dem Verdunstungsmesser und dem Sättigungsdefizit gewonnenen Reihen zeigen große Ähnlichkeit. Daß die Extreme beim letzteren schärfer ausgeprägt sind, wird man dem Umstand zuschreiben können, daß das feuchte Thermometer noch bessere Verdunstungsbedingungen darbietet als das Evaporimeter. Die beiden aus den niedrigsten Monatsständen und aus der Trockenwetterkurve gewonnenen Zahlenreihen haben unter sich nähere Verwandtschaft. Man wird die Ursache für die schwache Ausprägung der ersten Reihe darin finden, daß die niedrigsten Monatsstände nur eine Annäherung an die reine Grundwasserspeisung darstellen; denn es existieren Monate, in denen die Trockenwetterkurve wegen andauernden Regens überhaupt nicht erreicht wird. Allen vier Reihen ist aber eines gemeinsam: in den Wintermonaten November bis März findet vorwiegend eine Rücklage statt, in den übrigen Monaten ein Aufbrauch. Dies stimmt durchaus mit den Resultaten Fischer's (7) überein, während es den von Halbfass gewonnenen Ergebnissen widerspricht (10, 11).

Der Januar macht, wohl infolge der lebhaften Sublimation der Schneedecke, in den Reihen 6c und 6d eine Ausnahme, des-

Tabelle 3. **Niederschlag und Abfluß in verschiedenen Jahren.** Maß: $\frac{\text{Liter}}{\text{sec. km}^2}$ („Spende").

	Jahrgang 19	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	Mittel[1]
Winter	Niederschlag	44,0	44,0	*29,1*	46,8	45,3	49,3	33,4	**55,5**	51,7	44,3
	Abfluß gem.	25,7	21,9	*18,7*	32,7	29,8	29,7	28,5	**36,2**	33,0	28,5
	Abfluß ber.	32,3	32,8	*23,4*	35,9	31,2	31,3	28,4	**39,2**	35,9	32,4
	Abflußproz. ber.	73	75	80	77	69	*63*	**85**	71	69	73
Sommer	Niederschlag	*26,2*	29,6	43,2	41,5	31,6	**55,0**	36,4	54,4	—	39,9
	Abfluß gem.	15,0	22,9	18,6	**24,7**	*12,5*	24,0	14,4	27,1	—	18,9
	Abfluß ber.	*6,4*	16,4	18,1	22,1	8,9	18,5	11,5	**23,9**	—	15,0
	Abflußproz. ber.	*24*	**55**	42	53	28	34	32	44	—	38
Jahr	Niederschlag	35,1	36,8	36,2	44,2	38,5	52,2	*34,9*	**55,0**	—	42,1
	Abfluß gem.	20,4	22,4	*18,6*	28,7	21,1	26,9	21,4	**30,6**	—	23,7
	Abfluß ber.	*19,3*	24,6	20,9	29,0	20,0	24,9	19,9	**31,5**	—	23,7
	Abflußproz. gem.	58	61	*51*	**65**	55	*51*	61	56	—	**56**
	Abflußproz. ber.	55	**67**	58	66	52	*48*	57	57	—	56

[1] 10. Sept. 1906—9. Sept. 1915.

Tabelle 4. **Temperatur in Freudenstadt (Celsius) und End-Grundwasserstand (mm).**

Jahrgang 19	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	Mittel
Temperatur	6,5	6,8	6,1	6,5	7,5	7,1	6,9	7,1	—	6,8
End-Grundwasserstand	55	128	206	215	183	128	88	118	—	140

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle 5. **Reduktion der Ergebnisse auf 60jährige Mittel.**

			Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Wi.	So.	Jahr
Niederschlag (mm)	9jähr.	gem.	137	116	117	90	132	106	115	112	123	102	112	62	698	626	1324
		ber.	130	110	99	95	145	119									
	60jähr.	gem.	118	110	98	77	132	103	121	108	110	91	108	116	638	654	1292
		ber.	112	103	82	82	144	115									
Abfluß (mm)	9jähr.	gem.	49	67	82	59	93	94	70	49	50	42	53	35	444	299	743
		ber.	71	87	79	63	120	88	49	42	48	39	38	19	508	235	743
	60jähr.	gem.	42	63	68	50	92	91	73	47	44	36	50	64	406	314	720
		ber.	62	83	67	54	121	86	51	40	44	35	37	40	473	247	720
Abflußproz.	9jähr.	gem.	36	58	70	66	70	89	61	44	41	41	47	56	64	48	56
		ber.	55	79	80	66	82	74	43	37	39	38	34	31	73	38	56

Tabelle 6. **Rücklage (+) und Aufbrauch (—); 9jährige Mittel in Millimeter, berechnet aus:**

	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Wi.	So.	Jahr
a) Verdunstungsmesser	+ 63	+ 30	+ 32	+ 24	+ 15	— 28	— 23	— 25	— 18	— 31	— 12	— 27	+ 136	— 136	0
b) Sättigungsdefizit . .	+ 74	+ 35	+ 25	+ 17	+ 8	— 47	— 31	— 26	— 20	— 29	+ 1	— 7	+ 112	— 112	0
c) Niedrigste Monatsstände	+ 9	+ 7	— 4	+ 11	+ 12	— 19	— 9	— 4	— 2	— 4	— 1	+ 4	+ 16	— 16	0
d) Trockenwetterkurve	+ 22	+ 20	— 3	+ 4	+ 27	— 6	— 21	— 7	— 2	— 3	— 15	— 16	+ 64	— 64	0

©Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gleichen der September bei der Reihe 6b. Der Schwerpunkt des Aufbrauchs fällt bei sämtlichen Reihen in den April bis Mai, den Zeitpunkt der Vegetationsentwicklung. Daneben spiegelt sich in allen Reihen der Gang des Niederschlags wieder, der nicht bloß den Abfluß, sondern auch die Verdunstung erhöht. Auffallend erscheint, daß die Zeiten des Aufbrauchs und der Rücklage gegenüber den von Fischer angeführten Beispielen (Böhmische Elbe, Havel, Oder, Theiß) zeitlich verschoben sind (der Aufbrauch beginnt dort mehrfach schon im Februar, die Rücklage schon im Juli). Ein Grund hiefür liegt wohl in der bedeutenden Höhenlage und der langen Schneebedeckung im oberen Enzgebiet. Die Ursache für den frühen Beginn der Rücklage bei den vorhin genannten Flüssen ist wohl darin zu suchen, daß der Vegetationsverbrauch dort schon vor der Ernte in der Hauptsache abgeschlossen ist. In unserem Gebiete dagegen wiegen infolge der starken Nadelholzbedeckung die klimatischen Einflüsse vor und bedingen einen allgemeinen Aufbrauch bis in den Herbst, während im übrigen die monatlichen Regenmengen das Bild bestimmen.

In einer weiteren, nicht veröffentlichten Tabelle habe ich ferner Rücklage und Aufbrauch für die einzelnen Monate der betrachteten neun Jahre zu schätzen versucht. Die Abweichungen, die sich im einzelnen vom Mittel ergaben, waren sehr stark. So findet sich bei den Hauptmonaten der Aufspeicherung November, Dezember und März je ein Jahrgang, der verbraucht, statt zurückzulegen; umgekehrt weist auch der Mai, der Monat des Hauptaufbrauchs, einen Vertreter auf, der aufspeichert, statt zu verbrauchen. In den Monaten mit geringer Rücklage und Aufbrauch geben die verschiedenen Jahre ein buntes Bild mit bald positiven, bald negativen Werten. Die höchste Rücklage findet sich im Winter 1907/08 mit 174 mm, der im Winter 1912/13 nur 5 mm gegenüberstehen. Der Sommer 1907 verbrauchte 131 mm, während der von 1909 den Grundwasserstand nur um 8 mm erniedrigte.

Der Zweck der vorliegenden Untersuchung war, auf Grund sorgfältiger Niederschlags- und Abflußmessungen Einblick in den Abflußvorgang eines Gebiets zu gewinnen, das sich durch Gleichförmigkeit auszeichnet und dadurch die Erscheinungen in reiner Form zutage treten läßt. Es gelang, eine Reihe von Vorgängen mit ziemlicher Genauigkeit festzulegen und auch Rückschlüsse auf den Abflußvorgang in längeren Perioden zu machen. Andererseits zeigte sich, daß es auch bei dieser Spezialbeschreibung nicht möglich

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

war, gewisse Einzelheiten, wie den Wasserverbrauch der Vegetation, aus der Gesamterscheinung zahlenmäßig herauszulösen. Der Pulsschlag des Wassers ist ohne weitere Beobachtungsreihen, die sich namentlich auf das Gebiet der Bodenfeuchtigkeit erstrecken müssen (20), nicht genau festzulegen. Wir finden hier den alten Satz bestätigt, daß eine Naturerscheinung um so komplizierter wird, je tiefer man in sie einzudringen sucht.

Für die liebenswürdige Unterstützung, die ich bei meiner Untersuchung von seiten der Beamten der Meteorologischen Zentralstation und der Ministerialabteilung für Straßen- und Wasserbau zu erfahren hatte, möchte ich an dieser Stelle meinen herzlichen Dank aussprechen.

Literaturverzeichnis.

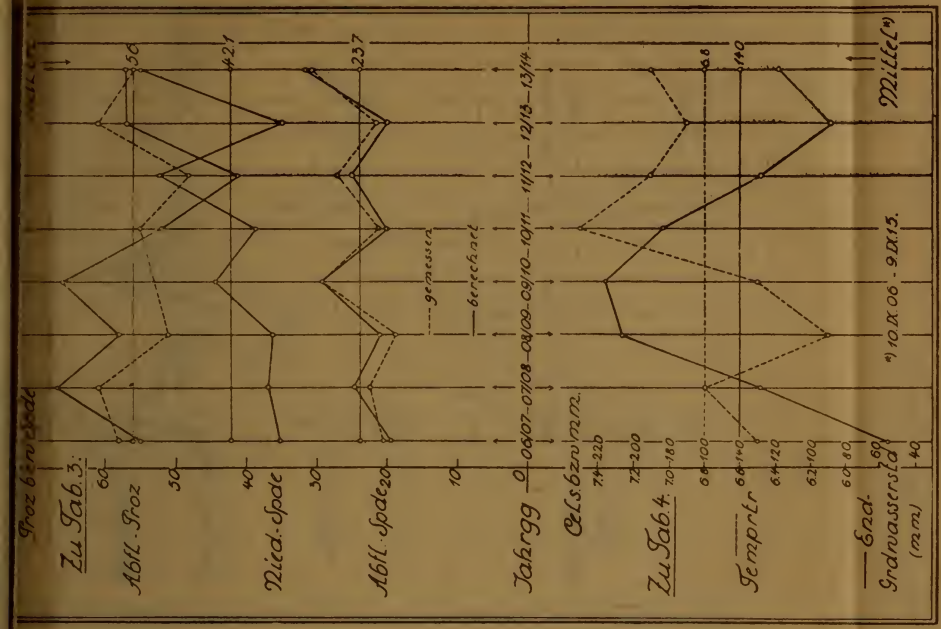
1. Schröder: Das Klima von Schömberg OA. Neuenbürg, unter Mitwirkung von Prof. Dr. Meyer und weiland L. Pfeiffer. Würzburg 1912.
2. v. Müller, A.: Graphische Tafeln zum Klima von Schömberg, enthalten im Handbuch der Tuberkulose 2. Bd. Leipzig 1914.
3. Hydrographische Durchlässigkeitskarte des Königreichs Württemberg, 1891 (von Regelmann).
4. Die Neugestaltung der Wasserversorgung der Stadt Stuttgart, verfaßt vom Bauamt der städt. Wasserwerke, Stuttgart 1909.
5. Wundt: Niederschlag und Abfluß, speziell im oberen Neckargebiet. Diese Jahresh. 1910. S. 144.
6. — Die Abflußverhältnisse Württembergs in kartographischer Darstellung. Diese Jahresh. 1916. S. 272.
7. Fischer: Der jährliche Gang der Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluß, Verdunstung und Versickerung im Landklima Mitteleuropas. Naturwiss. Wochenschrift. 1918. Nr. 19.
8. — Die Sommerhochwasser der Oder von 1813—1903. Jahrb. f. d. Gewässerkunde Norddeutschlands. Bes. Mitt. Bd. I. Nr. 6.
9. — Niederschlag und Abfluß im Odergebiet. Jahrb. f. d. Gewässerkunde Norddeutschlands. Bes. Mitt. Bd. 3. Nr. 2.
10. Halbfaß: Über den Jahreshaushalt der Elbe und Oder. Naturwissensch. Wochenschrift. 1916. Nr. 43.
11. — Die im Elb- und Oderstromgebiet vorhandene Wassermenge. Naturw. Wochenschrift. 1917. Nr. 8.
12. Penck-Ruvarak: Untersuchungen über Verdunstung und Abfuhr von größeren Landflächen, 1896. Penck's Geogr. Abhandl. V. 5.
13. Ule: Niederschlag und Abfluß in Mitteleuropa, 1903. Forsch. zur deutsch. Landes- u. Volkskunde. XIV. 5.
14. v. Hann: Lehrbuch der Meteorologie. 3. Aufl. 1915.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

15. Köppen: Verdunstungsmenge, Verdunstungskälte und Dampfhunger. Meteor. Zeitschr. 1917. S. 49.
16. Sassenfeld: Klima von Wildbad im Schwarzwald. Meteor. Zeitschr. 1918. S. 294.
17. Maillet: Sur les décrues des rivières. Compt. rend. 1904. S. 1030.
18. Czermak: Über den Abflußvorgang eines eintägigen Augustregens in österreich. Rheingebiete. Zeitschr. f. d. ges. Wasserwirtschaft. 1915. Heft 5/6.
19. — Die Bestimmung von Grenzwerten der Wasserführung offener natürlicher Gerinne. Zeitschr. f. d. ges. Wasserwirtschaft. 1918. Heft 3/4.
20. Koehne: Das Grundwasser in der Südbayerischen Hochebene. Landeskundliche Forschungen, herausgeg. von der Geograph. Gesellschaft in München. 1916. Heft 23.

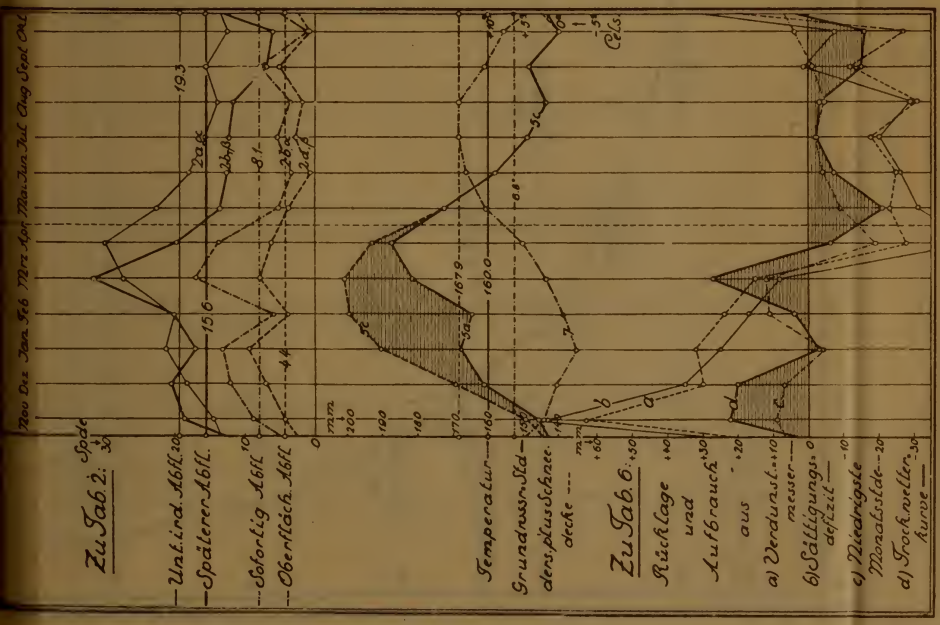
©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Übersichtskarte 1 : 160000
mit Wasserscheiden, Höhenzahlen (m), Regenlinien (mm) und Landesgrenze.

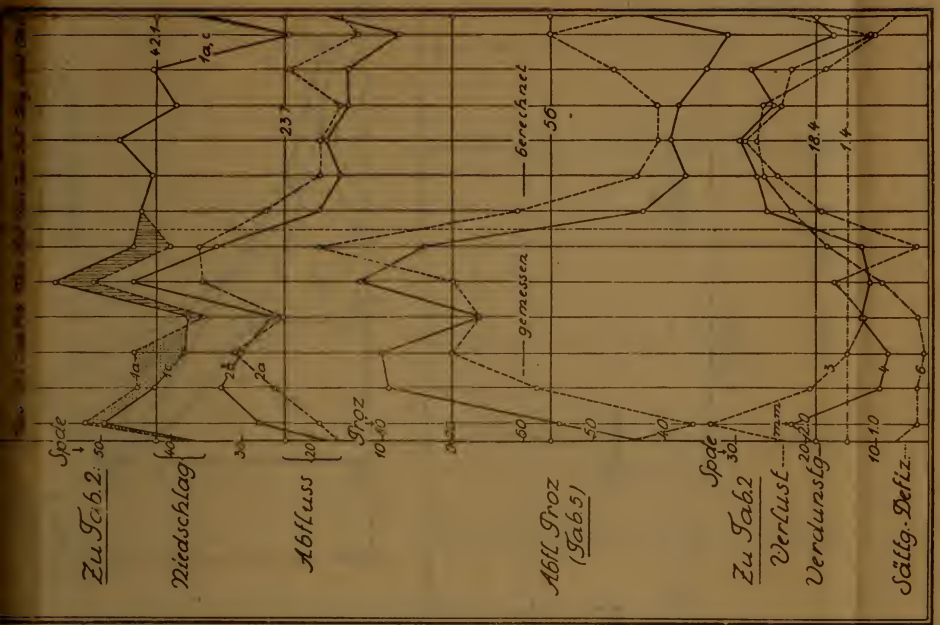


Graphische Darstellungen zu Tabelle 3 und 4.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

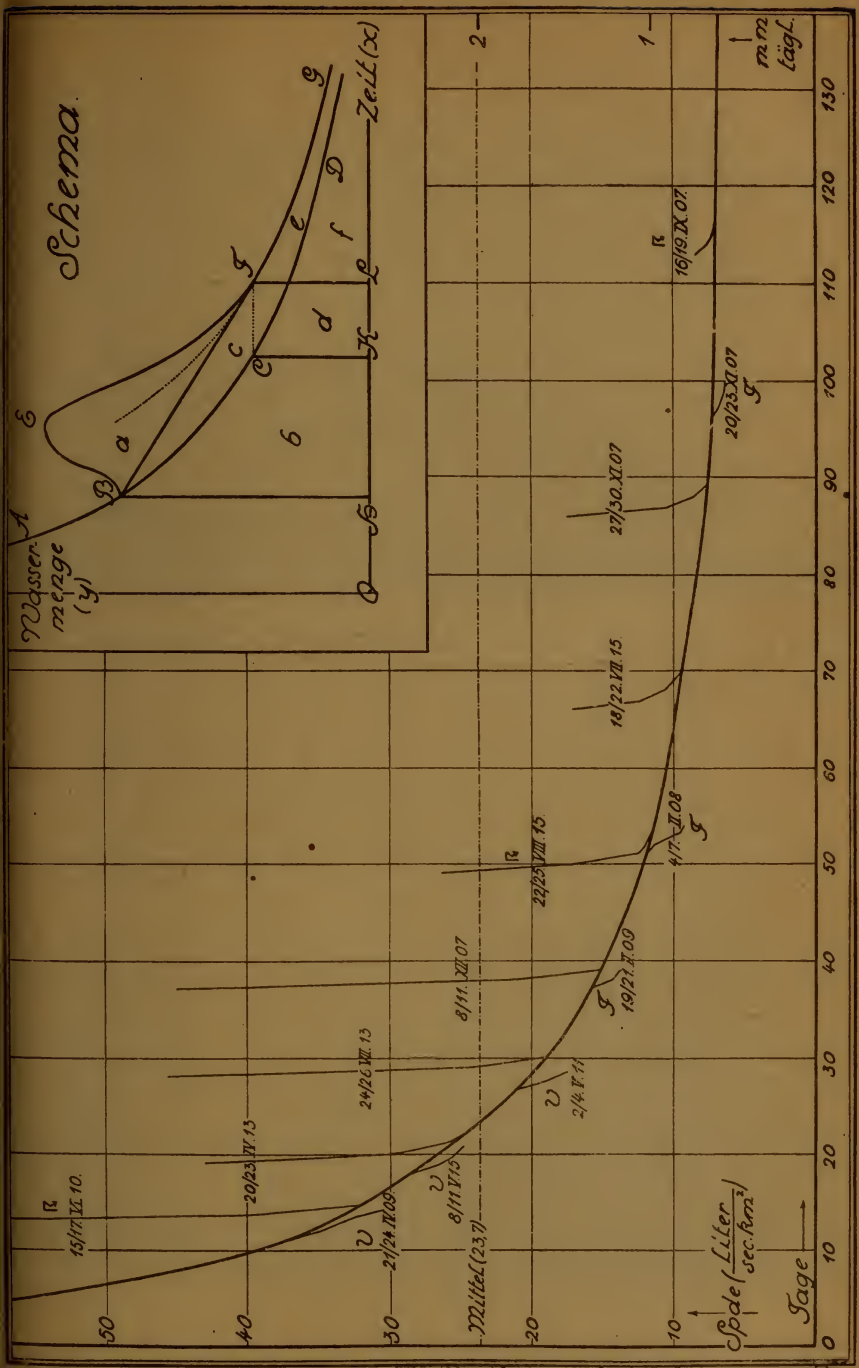


Graphische Darstellungen zu Tabelle 2 und 6.



Graphische Darstellungen zu Tabelle 2 und 5.

©Naturwissenschaftl. Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at; www.zobodat.at



Trockenwetterkurve für die oberste Enz (beim Lauteuhof).

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: 1919

Band/Volume: 75

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

Artikel/Article: Der Abflußvorgang im obersten Enzgebiet. 154-176