

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im Deutschen Rheingebiet

Auf Veranlassung der Reichskommission zur Untersuchung der Stromverhältnisse des Rheins und seiner wichtigsten Nebenflüsse und auf Grund der von den Wasserbaubehörden der Rheingebietsstaaten gelieferten Aufzeichnungen

Der Abflußvorgang im Rhein unter der wechselnden Wasserlieferung des Stromgebietes und die Vorherbestimmung der Rheinstände

Tein, Maximilian von

1908

Die Wasserlieferung der Hochgebirgs- und Mittelgebirgsflüsse

[urn:nbn:de:bsz:31-39129](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-39129)

Die Wasserlieferung der Hochgebirgs- und Mittelgebirgsflüsse.

Hochgebirgsflüsse. Die Quellengebiete des Rheins sowie die der Aare reichen in die Schneeregion des Alpenlandes hinauf. Hier, in Höhen von 2000 bis 3000 m fallen die Niederschläge in der kälteren Jahreszeit (November bis April) fast immer in fester Form und bleiben starr gefroren liegen. Zugleich findet andauernd eine Verdichtung des Wasserdampfes der über das Hochgebirge streichenden Luft an den kalten Firnflächen statt, die zweifellos ebenfalls bedeutende Wassermassen liefert, sich indes der Messung entzieht. Für diesen Teil der Schweizer Alpen ist der Winter im allgemeinen die niederschlagsarme Jahreszeit; denn zwischen Dezember und Februar fallen nur 13 bis 14 % der Gesamtniederschlagsmenge des Jahres. In der Frostperiode hören fast alle oberirdischen Gerinne des Hochgebirges zu fließen auf; der Graubündner Rhein mit seinen Zuflüssen, die obere Aare mit der Lütchine, Kander und Saane sowie die Reuß und Linth haben dann andauernd niedrige Wasserstände, die niedrigsten gewöhnlich im Februar. Mit der steigenden Luftwärme und reichlichem Regen im Frühling geht zunächst der Schnee auf den Vorbergen ab; Quellen und Gießbäche beginnen wieder zu fließen, die Alpenflüsse sich allmählich zu heben. Zuweilen tritt der Umschlag in der Witterung unvermittelt ein und Rhein wie Aare schwellen in schroffem Anstiege von ihrem Niederstande aus schon jetzt zu größerer Höhe an.

Im Hochgebirge setzt der Abgang der Schneemassen, die indes schon im Winter durch raschere Verdunstung, und zwar auf den Höhen bei Temperaturumkehr, in den tieferen Lagen aber durch die dem Alpenlande eigentümlichen stürmischen Föhnerscheinungen stark eingezehrt sein können, gewöhnlich erst in der zweiten Hälfte des Frühlings ein; dann steigen die Gewässer, auch nachdem die Vorberge schneefrei geworden sind, ziemlich stetig weiter und erreichen den Höhepunkt meist erst gegen die Mitte des Jahres. Die Schneegrenze liegt auf der

Nordseite der Alpen in der wärmeren Jahreszeit zwischen 2000 und 2500 m hoch, während die Nullisotherme im Hochsommer 3000 m noch überschreitet, so daß auch ein größerer Teil des übereisten Gebietes alljährlich dem Abschmelzen ausgesetzt wird*).

Zwischen Juni und August fällt, wie im größeren Teile des übrigen Rheingebietes, so auch im Alpenlande, die Hauptregenzeit. Der Höchstbetrag der Niederschläge — im Juli — liegt 110 mm über dem Winterminimum; er beträgt rd. 170 mm; in den drei Sommermonaten empfängt dieser Gebirgsabschnitt nahezu 37 % der ganzen Jahresmenge. Die sommerliche Verdunstung aber ist, namentlich von den höhergelegenen Gebietsteilen, wesentlich geringer als im Mittelgebirge und in der Tiefebene; auch die in den Boden versickerte und die von Pflanzen aufgenommene Menge kann bei dem Vorherrschen wenig durchlässiger Bodenbedeckung und wegen verhältnismäßig geringer Bewaldung und Bebauung des Bodens nicht erheblich sein; aus diesen Gründen erreicht auch der oberirdische Abfluß im Hochsommer sein Maximum. Die meisten Gewässer der Alpen und des Alpenvorlandes — gleichviel ob sie Gletscherwasserzuflüsse aufnehmen oder nicht — zeigen daher in den Sommermonaten eine wesentliche Zunahme ihrer Wasserführung; durch die Gletscherabflüsse wird diese Erscheinung nur verschärft**). Die allgemeine Wiederabnahme der Niederschläge vom Sommer zum Herbst vollzieht sich meist unter größeren Schwankungen, hauptsächlich infolge der oft bedeutenden Regenfälle während dieser Übergangszeit. Durch die stärkeren Regenfälle erfährt auch

* Der Grindelwaldgletscher rückt als tiefstreichender im Rheingebiete bis gegen 1000 m herab vor, wo die mittlere Jahrestemperatur noch 6° C überschreitet. (Hann, Allgem. Erdkunde.)

**) Vorder- und Hinterrhein, die Aare oberhalb Brienz, die Lütchine, die Kander, die Göschener- und Maierreuß sowie die Glarner Linth führen größtenteils Schnee- und Gletscherwasser, die übrigen meist Regenwasser.

der Verlauf der Wasserstandsbeziehung zeitweise eine ungewöhnliche Steigerung, die selbst zu bedrohlichen Hochständen führen kann, wenn sie noch mit der durch die Gletscherschmelze veranlaßten Welle zusammentrifft.

Für das Verhalten der Hochgebirgsflüsse im Frühling und Sommer kommen hiernach im allgemeinen nicht so sehr die im Laufe des Winters angesammelten Schneemassen als die Umstände in Betracht, unter denen ihr Abgang sich vollzieht. Rückt die Schneeschmelze mit Beginn der wärmeren Jahreszeit nur allmählich von der Ebene gegen die Vorberge und das Hochgebirge auf und verteilt sich demnach über einen größeren Zeitraum, so wird die sommerliche Anschwellung der Gewässer bei verhältnismäßig langer Dauer mäßige Grenzen nicht überschreiten; bleiben aber die Schneemassen des Winters zufolge rauher Witterung selbst auf den Vorbergen noch weit in das Frühjahr hinein liegen, werden sie unter Umständen durch Neuschnee noch erheblich vermehrt und gehen erst mit Beginn der wärmeren Jahreszeit nach raschem Witterungsumschlage — oft begleitet von Gewittererscheinungen — ab, so können Schweizer Rhein und Aare wie auch ihre großen Nebenflüsse Wasserstände von ungewöhnlicher Höhe erreichen.

Über die tatsächlichen Niederschlags- und Abflusssmengen, welche im oberen Rheingebiet und im Aaregebiet in Betracht kommen, liegen einige genauere Messungsergebnisse vor; sie ermöglichen, die Wasserverteilung innerhalb jener Abschnitte des Rheingebietes annähernd zu ermitteln und so die Bedeutung der Hochgebirgsflüsse für den Gesamtwasserhaushalt klarzustellen, wenn auch wegen der verhältnismäßig geringen Zahl von Beobachtungen und der Kürze der Reihen endgültige Werte daraus derzeit noch nicht abgeleitet werden können*).

Das Quellengebiet des Schweizer Rheins bis herab zur Landquartmündung (Tardisbrücke) empfängt jährlich im Durchschnitte 5076 Millionen Kubikmeter Niederschlag, dagegen fließen im gleichen Zeitraume 4784 Millionen Kubikmeter ab; es kommen hier demnach gegen 94 % zum Abflusse. Indes ist anzunehmen, daß — wie schon angedeutet — in den höheren Gebietsteilen die Niederschlagshöhen größer sind, als durch Messung festgestellt ist und somit der verhältnismäßige Abfluß etwas kleiner wird. Der geringste Abfluß zeigt sich im Februar mit 83 Millionen, der stärkste im Juni mit 1081 Millionen Kubikmeter. Am häufigsten, nämlich an 162 Tagen, wird eine Wasserführung von 30 bis 40 cbm in der Sekunde beobachtet. Abflusssmengen von 100 bis 200 cbm treten an durchschnittlich 64 Tagen im Jahre, solche von 200 bis 300 cbm an 44 Tagen auf. 300 bis 400 cbm führt der Graubündner Rhein an 27 Tagen und über 400 cbm an weiteren 29 Tagen. An der Landquartmündung entwässert der Rhein indes erst eine Einzugsfläche von 4230 qkm; aus seinem Gesamtgebiete bis zum Bodensee führt er diesem daher voraussichtlich mehr als 7 Milliarden Kubikmeter im Jahre zu.

*) Die Messungsergebnisse verdankt das Zentralbureau der gefälligen Mitteilung durch das Eidgen. Hydrometrische Bureau in Bern.

Für das ganze Einzugsgebiet des Rheins bis zu seinem Zusammenflusse mit der Aare wurde die mittlere Regenhöhe zu 1148 mm gefunden; sie ergibt eine Gesamtniederschlagsmenge von 18392 Millionen Kubikmeter. Andererseits berechnet sich die mittlere jährliche Abflussmenge des Rheins oberhalb der Aaremündung (Kadelburg) für den gleichen Zeitraum zu 12 210 Millionen Kubikmeter, so daß an dieser Stelle nur mehr 66 % des Niederschlages zum Abflusse kommen. Von jedem Quadratkilometer der Einzugsfläche fließen an der Landquartmündung durchschnittlich 36 Liter in der Sekunde ab; an der Aaremündung hat sich der mittlere Abfluß auf 24 Liter ermäßigt.

Im Aaregebiet fallen jährlich bei einer mittleren Niederschlagshöhe von 1234 mm 21 737 Millionen Kubikmeter. Die Abflussmenge der Aare zunächst ihrer Mündung (Döttingen) während des entsprechenden Zeitraumes wurde gefunden zu 15 577 Millionen Kubikmeter; hier kommen daher gegen 72 % zum Abflusse. Die jahreszeitliche Verteilung des Abflusses zeigt einen Mindestbetrag im Januar von 710 Millionen Kubikmeter, eine Höchstmenge im Juni von 2074 Millionen Kubikmeter; vom Mai bis August fließen fast 50 %, in den sechs Monaten zwischen April und September gegen $\frac{2}{3}$ der ganzen Jahresmenge ab. Bei niedrigem Wasserstande — etwa 50 cm zu Döttingen — wurde die sekundliche Wasserlieferung der Aare zum Rhein auf rd. 150 cbm festgestellt. Früher wurde die größte sekundliche Abflussmenge zu 3400 cbm geschätzt; die Höchstmenge wird indes infolge der Juragewässerkorrektion und der künstlichen Einleitung der Aare in die Juraseen künftig 2000 Kubikmeter kaum mehr wesentlich überschreiten. Die Abflußbewegung der Aare unterhalb der Reuß-Limmatmündung hält sich gegenwärtig im allgemeinen zwischen den Grenzen von 50 und 400 cm (Döttingen); niedrigere und höhere Wasserstände sind selten. Über 100 cm in Döttingen steht die Aare an etwa 320 Tagen im Jahre, über 200 cm noch an 180 Tagen, über 250 cm an 60 Tagen, über 300 cm an 15 Tagen. Aarestände zwischen 200 und 250 cm entsprechen einer Abflussmenge von rd. 600 cbm in der Sekunde; sie können als die häufigst beobachteten betrachtet werden*).

In den oberen Abschnitten des Rheingebietes erreichen Niederschlag sowohl als Abfluß in der kälteren Jahreszeit den kleinsten, in der wärmeren den höchsten Betrag; doch kommt in der Abflussmenge der Sommermonate die Wasserzurückhaltung des Winters mit zum Ausdruck. Zu einer genaueren Feststellung der Rolle, welche das in den Schneefeldern und Firnflächen vorübergehend aufgesammelte Wasser im Abflußvorgange des Rheins zu spielen berufen erscheint, ist demnach die Menge des alljährlich abfließenden Schmelzwassers zu bestimmen. Die Schneedecke, welche das Vorgebirge und die schweizerische Hochebene gelegentlich vorübergehend tragen, kommt für die Wasserzurückhaltung weit weniger in Betracht.

*) Nach den Beobachtungen von 1892 bis 1901.

Die Wasserlieferung aus der Schnee- und Gletscherregion zum Rhein und zur Aare kann getrennt vom Regenabflusse genauer nur da bestimmt werden, wo der Gang der Wasserstandsbewegung noch leicht erkennbar den Wechseln der Wärme folgt und Einwirkungen anderer Art, insbesondere also Abflußsteigerung durch Regenfälle, sich unschwer als solche nachweisen lassen — demnach möglichst nahe den Schnee- und Firngebieten jener Hochgebirgsflüsse selbst. Für den Graubündner Rhein liegt die Stelle etwa da, wo sich Vorder- und Hinterrhein vereinigen, für die Aare noch oberhalb ihres Einflusses in den Briener See. Dementsprechend wurden mit Hilfe der Wasserstandsaufzeichnungen für Reichenau und für Brienz aus den zehn Jahren 1891—1900 unter Berücksichtigung des gleichzeitigen Verlaufes der Wärme sowie der Regenfälle in den oberhalb gelegenen Gebietsabschnitten — wie aus dem beigefügten Ausschnitte der Darstellung der Wärme-, Niederschlags- und Wasserstandsbewegung für den Graubündner Rhein sowie für die obere Aare im Jahre 1892 hervorgeht — die augenscheinlich von Überregnungen herrührenden Hebungen des Wasserstandes von der übrigen Wasserstandsbewegung geschieden. Dadurch wurde die dem Abflusse des Schmelzwassers entsprechende Wasserhöhe zu Reichenau und Brienz für sich allein erhalten. Bei der Feststellung der Grenze von Regenwasser- und Schmelzwasserabfluß war zu berücksichtigen, daß in den Wintermonaten die Schnee- und Eisfelder der Höhenzone von mehr als 2000 m wenig Schmelzwasser liefern — nur die Bewegung der Eisströme und vielleicht auch die natürliche Erdwärme bringen stetig etwas von der untersten Eisschichte zum Abgange — daß die Schmelzwassermengen zu Reichenau und Brienz also jedenfalls im Februar verschwindend gering werden, ein etwa beobachteter stärkerer Abfluß daher wohl als Sickerwasserabfluß zu gelten hat; daß ferner stärkere Niederschläge im Frühjahr und Herbst, die keine Hebung des Rheins veranlassen, als Schneefälle zu betrachten sind, andererseits aber ein ungewöhnlich rasches Anschwellen der Wasserläufe in dieser Jahreszeit ohne bedeutendere Regen auf den Abgang vorher gefallener Schneemassen zurückzuführen ist, daß schließlich vom Herbste ab die Wasserstandsbewegung der Schnee- und Gletscherwasser führenden Gewässer in der Regel nicht mehr erkennbar dem Gange der Wärme folgt, weil dann ein größerer Teil der dem Abschmelzen ausgesetzten Schnee- und Eisfelder wieder über der Nullisotherme liegt. Zu den hiernach bestimmten Schmelzwasserhöhen sind die entsprechenden Abflußmengen berechnet und die 5-tägigen Mittelwerte im Durchschnitte der Jahre 1891—1900 gebildet worden.

Für die übrigen Bestandteile des Rhein- und Aaregebietes, die ebenfalls Schmelzwasser liefern, konnte die Untersuchung nicht in der gleichen Art durchgeführt werden, da die hierzu erforderlichen Wasserstands- und Abflußmengenbeobachtungen in genügender Vollständigkeit nicht verfügbar waren. Hier wurde daher unterstellt, daß der Schmelzwasserabfluß von der Flächeneinheit des bei Reichenau entwässerten Gebietes in gleicher Größe auch für das übrige Rheingebiet bis zum Bodensee und

für das benachbarte Linthgebiet gelte und ebenso der verhältnismäßige Abfluß zu Brienz für das übrige Aaregebiet sowie für das Reußgebiet zutrefte. Die Schmelzwasserabflußmengen wurden innerhalb jener gleichartigen Gebietsabschnitte proportional den wasserspendenden Flächen gesetzt, was im Hinblick auf die verhältnismäßig geringe Ausdehnung und die Nachbarschaft der Gebiete zulässig erscheinen dürfte. Um den Abflußverhältnissen in der Natur möglichst zu entsprechen, wurde weiters angenommen, daß in der kälteren Jahreszeit (November bis April) der ganze über 2000 m aufragende Teil des oberen Rheingebietes schneebedeckt und als Abflußgebiet zu betrachten ist, daß sich im Laufe des Monats Mai die Schneedecke auf die eigentlichen Firnflächen zurückzieht, in den Sommermonaten Juni, Juli und August nur mehr Gletscherabfluß stattfindet und daß schließlich im September wieder eine allmähliche Ausbreitung der Schneedecke auf den winterlichen Umfang eintritt. Hierbei sind der Bestimmung des Schmelzwasserabflusses des ganzen Schweizer Rheingebietes bis zum Bodensee sowie des Linthgebietes, sodann des Aaregebietes bis zur Reuß und des Reußgebietes die nachstehenden Abflußflächen zugrunde gelegt^{*)}. Es umfaßt das Abflußgebiet bei Reichenau in den Sommermonaten 152 qkm, im Mai und September rund 700, in der kälteren Jahreszeit 1260 qkm; das Abflußgebiet des Schweizer Rheins bis zum Bodensee entsprechend 266, 1240 und 2210 qkm; das Aaregebiet bis Brienz in den gleichen Zeitabschnitten 161, 250 und 330 qkm, bis zur Reuß 295, 530 und 770 qkm; das Reußgebiet 145, 410 und 680 qkm; das Limmatgebiet 45, 220 und 390 qkm. Hiernach sind die in der Zahlentafel 1, Spalte 3, 4, 6, 7, 9 und 11 zusammengestellten 5-tägigen Mittel der Schmelzwasserabflußmengen der Jahresreihe 1891 bis 1900 für Reichenau und den ganzen Schweizer Rhein, für Brienz sowie für die ganze Aare bis zur Reuß, endlich für die Reuß und die Limmat berechnet.

Der Schmelzwasserabfluß im Vorder- und Hinterrheingebiete erscheint namentlich in den Sommermonaten wesentlich bedeutender zu sein, als jener von dem höher aufragenden und stärker vergletscherten Gebirgsmassive des Finsteraarhorn, welches das Haupteinzugsgebiet der oberen Aare bildet. Die mächtigen Firnmassen des Berner Oberlandes sind dem Abschmelzen offenbar weniger zugänglich, aber darum nachhaltiger in der Wasserlieferung, als die Eisfelder im Abflußgebiete des Graubündner Rheins. Insgesamt führt, wie aus den Ergebnissen in den Spalten 4, 7, 9 und 11 der Zahlentafel folgt, der Graubündner Rhein namentlich in den Frühlingsmonaten und selbst bis zur Jahresmitte mehr Schmelzwasser ab, als die Aare; doch schon anfangs Juli ändert sich dieses Verhältnis zugunsten der Aare, die sodann namentlich im August und September wesentlich überlegen bleibt; erst gegen Ende Oktober führen Rhein und Aare wieder ziemlich gleich große

^{*)} Nach dem Rheinstromwerke, dessen Angaben teilweise auf Grund neuerer Feststellungen des Eidgen. Hydrometrischen Bureaus in Bern berichtigt worden sind.

Mengen Schmelzwasser ab. Im Hinblick auf die Gesamtwasserlieferung dieser großen Alpenflüsse zum Rhein sind die Schmelzwasserabflüsse der Menge nach nicht sehr bedeutend, doch ist die Verteilung dieser Abflüsse über einen verhältnismäßig langen Zeitraum und die Stetigkeit, in welcher sich der Schmelzprozeß der gewaltigen Schnee- und Firnmassen alljährlich vollzieht, von größter Wichtigkeit für den Verlauf des Wasserabflusses in den Hochgebirgsflüssen. Nach den Ergebnissen der Zahlentafel 1 berechnet sich der Gesamtabfluß von den Schneefeldern und Gletschern des schweizerischen Rheingebietes im Mittel auf jährlich 4700 Millionen Kubikmeter. Die Gesamtabflußfläche beträgt 4050 Quadratkilometer; der weit aus größere Teil dieser Flächen fällt — abgesehen von kleinen Abschnitten der Tödikette, der Säntisgruppe und der Voralberger Alpen — in die Niederschlagszonen zwischen 1700 und 1300 mm; sie empfangen daher durchschnittlich gegen 6 Milliarden Kubikmeter Niederschlag, wovon gegen 60% = 3,6 Milliarden Kubikmeter in jenen Höhen in fester Form fallen und aufgespeichert bleiben; diese Schneemassen vermögen indes noch bis zu 75% ihres eigenen Gewichtes an Regen aufzunehmen und zu binden*), so daß die oben ermittelte Schmelzwasserabflußmenge von den aufgesammelten Schneemassen auch bei der Annahme einer größeren verdunsteten Menge recht wohl gedeckt werden kann. Aus jenen obersten Abschnitten des Rheingebietes gelangen daher 4,7 von 6 Milliarden Kubikmeter als Schnee- und Gletscherwasser zum Abflusse, der Rest mit etwa 20% fließt als Regenwasser ab oder verdunstet. Da im übrigen die Niederschlagsmenge über den Hochgebirgsgipfeln größer als die gemessene sein wird, so ist wahrscheinlich der Regenabfluß und die Verdunstungsmenge im Verhältnisse zum Schmelzwasserabflusse bedeutender anzunehmen. Die schließlich dem Rhein zugehende Menge des Schmelzwasserabflusses erfährt durch die großen Seebecken am Nordrande der Alpen noch eine nicht unwesentliche Änderung.

So sehr die Wasserzurückhaltung durch die Schneefelder und Gletscher im allgemeinen jahreszeitlichen Gange der Abflußerscheinungen der Hochgebirgsflüsse sich geltend macht, so kommt sie doch für die Entstehung und den Verlauf der nicht periodischen Anschwellungen dieser Gewässer nur wenig in Betracht. Die meisten der großen Hochwasser des Graubündner Rheins und der Aare treffen zwar in die Spätsommermonate, also in die Zeit, da die Schnee- und Gletscherschmelze in den Alpen sich dem Abschlusse nähert; die Niederschläge fallen aber um jene Zeit selbst im Hochgebirge in der Regel noch nicht in fester Form, so daß der größte Teil hiervon unter den gegebenen Verhältnissen sofort zum Abflusse gelangt. Dagegen finden die in der kühleren Jahreszeit durch Überregnung der Voralpen und der Schweizer Hochebene entstehenden Anschwellungen durch die Gewässer des Alpenlandes keine Verstärkung, da in dieser Zeit die Niederschläge im Hochgebirge nur in fester Form fallen und hier zurückgehalten werden.

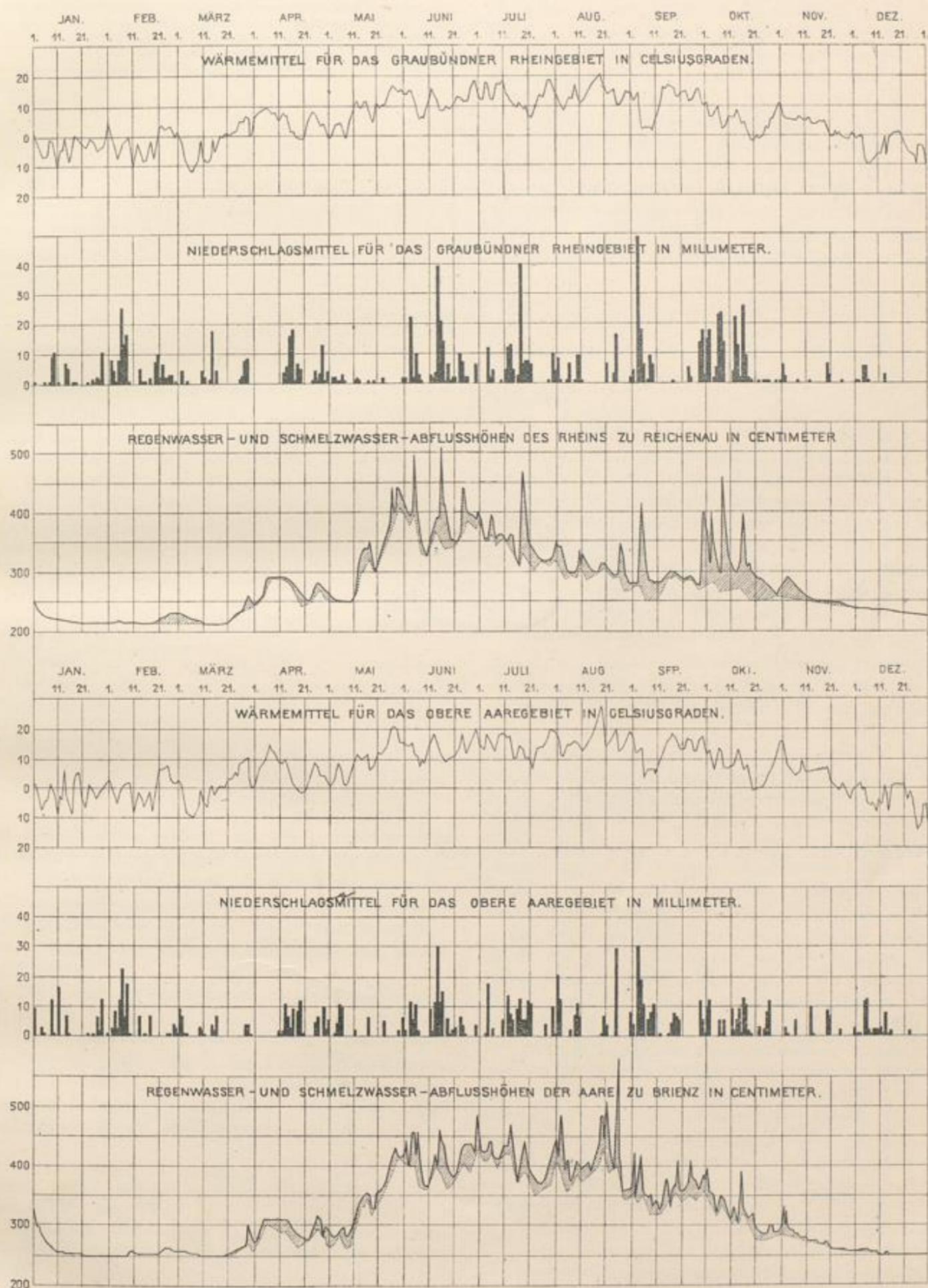
*) Nach Heim, Gletscherkunde S. 85.

In dem Verhalten der Hochgebirgsflüsse spielen die Seen des schweizerischen Rheingebietes, unter denen namentlich der Bodensee, der Walen- und Zürichsee, der Zuger- und Vierwaldstätter See, ferner der Briener- und Thuner See, schließlich die drei Juraseen: der Bieler-, Neuenburger- und Murten-See in Betracht kommen, durch ihre Wasserzurückhaltung im allgemeinen, namentlich durch die Abschwächung der Hochwasserwellen eine wohl noch wichtigere ausgleichende Rolle, als die Schnee- und Firnmassen der Alpen. Nur selten sind bei den genannten Seebecken Zufluß- und Abflußmengen gleich, so daß weder Ansammlung noch Mehrabgabe stattfindet und der Seespiegel auf gleicher Höhe beharrt. Das Ansammlungsvermögen wird im allgemeinen durch die Flächenausdehnung des Seespiegels bedingt, richtet sich indes auch nach den natürlich gegebenen Grenzen für die Wasserstandsbewegung, wie insbesondere Uferhöhe und Ausflußschwelle.

Auf Grund der dem Rheinstromwerke entnommenen Größenverhältnisse der bedeutenderen Seebecken des schweizerischen Rheingebietes und des Spielraumes zwischen den seither beobachteten höchsten und tiefsten Seeständen ist zunächst die in jedem See zurückgehaltene Größtmenge, also die äußerste Leistungsfähigkeit der Seebecken bestimmt worden; doch werden diese Größtmengen kaum jemals während ein und derselben Abflußperiode erreicht, das Zurückhaltungsvermögen der Seebecken also voll ausgenützt. Insbesondere die Alpenrandseen befinden sich meist kurz vor der Zeit ihrer bedeutendsten Inanspruchnahme schon auf einem höheren Wasserstande. Die größte, seither aufgesammelte Wassermenge umfaßt bei dem Bodensee 2165 Millionen Kubikmeter, bei den Seen des Aaregebietes nach der Juragewässerkorrektur 890 Millionen Kubikmeter. Bei den letztgenannten ist das Fassungsvermögen durch künstliche Regelung ihrer Abflußverhältnisse zwischen 1870 und 1880 gegenüber den vormals hier bestandenen Verhältnissen um annähernd 600 Millionen Kubikmeter gewachsen.

Die aus den Beobachtungen von 1881—1900 abgeleitete mittlere, jährlich zurückgehaltene Wassermenge erreicht nach der Zahlentafel 2 im Bodensee 1080 Millionen Kubikmeter, bei den größeren Seen des Aaregebietes zusammen gegen 700 Millionen Kubikmeter. Die Ansammlung des Wassers findet im Bodensee durchschnittlich an 138 Tagen im Jahre, in der übrigen Zeit Wasserabgabe statt. In den Aareseen dauert die Wasserabgabe 230—250 Tage. Die mittlere sekundliche Wasserzurückhaltung erreicht daher im Rhein oberhalb der Vereinigung mit der Aare 91 cbm, die sekundliche Mehrabgabe 55 cbm; für die Aare wurden entsprechend die zurückgehaltenen Mengen zu 48 cbm, die abgegebenen zu 22 cbm festgestellt. Die tatsächliche Wasserzurückhaltung durch die Seebecken muß übrigens größer als die vorstehend ermittelte sein, da die keineswegs unbedeutende Verdunstung bei dem Bodensee allein schon — wie aus der folgenden Zusammenstellung hervorgeht — durchschnittlich 5,4% der jeweils ausfließenden Menge erreicht. In den einzelnen Monaten hat die Verdunstung vom

WÄRMEVERTEILUNG UND MITTLERER NIEDERSCHLAG IM JAHRE 1892 .
IM OBEREN RHEIN- UND AAREGEBIET
SOWIE REGENWASSER-UND SCHMELZWASSER-ABFLUSSHÖHEN IM RHEIN UND IN DER AARE.



Die schrafflierten Flächen bezeichnen den Anteil des Regenabflusses an der Wasserstandsbeugung des Rheins und der Aare.



Bodenseespiegel im Mittel der Jahre 1855 bis 1864^{*)} betragen:

	Mittlere Verdunstungshöhe:	Entsprechend einer Menge von sekundlich:	Gleichzeitige Abflußmenge zu Stein	Verdunstet in Hundertteilen der Abflußmenge:
	mm	cm	cbm	‰
im Januar . . .	24	4.8	98	5
» Februar . . .	29	6.8	87	7
» März . . .	50	10.1	96	10
» April . . .	69	14.4	165	9
» Mai . . .	72	14.5	282	5
» Juni . . .	97	20.2	496	4
» Juli . . .	102	20.6	510	4
» August . . .	101	20.4	420	5
» September . .	69	14.4	360	4
» Oktober . . .	52	10.5	288	4
» November . .	38	7.9	180	4
» Dezember . .	27	5.4	124	4

Die Verdunstung unterliegt demnach, wie die Ausflußmenge selbst im allgemeinen einem jahreszeitlichen Wechsel; sie wird auch bei den übrigen Schweizer Seen des Rheingebietes wohl einen namhaften Betrag erreichen.

Die Berechnung der Wasserzurückhaltung der einzelnen größeren Seebecken, selbstverständlich unter Berücksichtigung der besonderen Zu- und Abflußverhältnisse eines jeden, hat ergeben, daß für je 100 cbm zufließende Menge beträgt:

	die Hebung des Seestandes in 24 Stunden	die Dauer des vollständigen Abflusses
im Bodensee (Ober- und Untersee)	von 1,6 cm	21 Tage
im Bielersee (Neuenburger- u. Murtensee)	von rund 20 cm	annähernd 4 bis 5 Tage
im Vierwaldstätter See	von 8 cm	12 Tage
im Walen-Züricher See	von 37 cm im Walensee, 0,7 cm im Züricher See	50 Tage

Am bedeutendsten gestaltet sich die verhältnismäßige Wasserzurückhaltung bei den mehrfachen Seebecken. In den großen Juraseen kommt sie gleichwohl wenig zur Geltung, weil die Aare unmittelbar nur mit dem Bielersee in Verbindung steht und erst bei höheren Seeständen durch Rückströmung nach dem Neuenburger See Wasser dahin abgibt^{**)}.

Die allmähliche Aufsammlung und langsame Wiederabgabe des Wassers hat eine je nach der Größe der Seen mehr und minder bedeutende zeitliche Verschiebung zwischen den Höhepunkten der ein- und austretenden Welle zur Folge. Der Bodensee beispielsweise steigt, auch bei bedeutendem Hochwasser und nachdem im einfließenden Rhein schon längst der Höchststand ein-

^{*)} Unter Benützung der Beobachtungen von Dr. Th. Plieninger, veröffentlicht in den Beiträgen zur klimatisch-meteorologischen Statistik Württembergs. Stuttgart 1867.

^{**)} Bei höheren Wasserständen des Bielersees werden durch Rückströmung nach dem Neuenburger See sekundlich etwa 10 cbm dorthin abgegeben.

getreten war, oft noch eine Reihe von Tagen stetig weiter. Die den See verlassende Welle kulminiert daher oft 3 bis 5 Tage später als die einfließende. Bei dem Bielersee und den übrigen größeren Aareseen lassen sich die Zeitunterschiede noch nicht so genau feststellen; sie sind aber jedenfalls wesentlich kleiner, als bei dem Bodensee. Andererseits ist bei dem Bodensee, wie aus den genauen Wasserstandsaufzeichnungen zu Tardisbrücke und Konstanz hervorgeht, die Wirkung des verstärkten Rheinzufusses zum See schon sehr zeitig in Konstanz zu bemerken, und zwar um so früher, je bedeutender die eintretende Welle gewesen ist. Anschwellungen des Schweizer Rheins, welche zu Tardisbrücke (Mastrils)

50 cm über N. W. erreicht haben, kommen 8 Stunden
100 » » » » » » » 5 »
150 » » » » » » » 3 »
200 » » » » » » » 1 1/2 »

nach ihrem Eintritt in den See schon in der Wasserstandsbewegung zu Konstanz als Hebung des Seespiegels zur Geltung.

Eine wichtige Aufgabe erfüllen die Alpenrandseen durch die Aufnahme der zuweilen stürmisch verlaufenden hohen Anschwellungen ihrer Hochgebirgszuflüsse, die in den weiten Seebecken sich ausbreiten müssen und als verflachte Wellen den See wieder verlassen. Der Grad der Abschwächung der Hochwasserwellen hängt sowohl von deren ursprünglicher Mächtigkeit — Höhe und Andauer — als der Größe der Seefläche und dem Seestande vor dem Eintritt der Fluterscheinung ab.

Im oberen Bodensee bewirkt bei mittleren Wasserständen eine aus dem Schweizer Rhein als Hauptzufluß eintretende Welle von 300 cm Höhe zu Tardisbrücke bei 24stündiger Dauer und bei Berücksichtigung der gleichzeitigen Abflußsteigerung zu Konstanz eine Hebung des Seespiegels um etwa 9 cm; die zurückgehaltene Menge erreicht 48 Millionen Kubikmeter. Eine Rheinwelle von 400 cm Höhe zu Tardisbrücke veranlaßt unter gleichen Verhältnissen, wie angegeben, ein Ansteigen des mittleren Seestandes um 16 cm; die im Bodensee zurückgehaltene Menge beträgt 86 Millionen Kubikmeter. Bei außerordentlichen Fluterscheinungen des Graubündner Rheins wurde indes der Seestand schon viel mehr gehoben, da dann in der Regel die übrigen zahlreichen Zuflüsse des Sees gleichzeitig größere Wassermengen geführt haben. Die bedeutendste Wirkung solcher Art ist im Verlaufe des Hochwassers vom Juni 1876 beobachtet worden. Die Ansteigung des Seespiegels vom 12. auf 13. Juni hat im Zeitraum von 24 Stunden 33 cm erreicht — entsprechend einer im See zurückgehaltenen Menge von 183 Millionen Kubikmeter, etwa dem 8. Teil der im ganzen Hochwasserjahr 1876 im Bodensee aufgesammelten Menge. Wie aus den Umständen jenes Hochwasserlaufes von 1876 bekannt ist, war an der bedeutenden Hebung des Seestandes auch die unmittelbar auf die Seefläche gefallene Regenmenge nicht unwesentlich beteiligt.

Der mäßige Einfluß der Wasserzurückhaltung durch die Seebecken hat jedoch meistens nur für die Gewässerstrecke unmittelbar unterhalb des Seeausflusses

Bedeutung; auf den Verlauf oder die Höhenentwicklung der großen Hochwassererscheinungen des Rheins ist sie ohne wesentliche Einwirkung geblieben — ja, sie hat in den Fällen wiederholter Fluterscheinungen wegen der Verzögerung im Abflusse vorausgegangener Anschwellungen geradezu zur Erhöhung des Rheinstandes im unteren Stromlaufe beigetragen. Zur Feststellung der Wirkung der größeren Schweizer Seen auf den Verlauf der wichtigsten Rheinhochwasser wurde — unter Berücksichtigung der annähernd bekannten Zulaufzeiten — versucht, die am Tage der Scheitelbildung im Rhein zu Basel in den einzelnen Seen zurückgehaltenen Mengen zu ermitteln und die insgesamt aufgespeicherte Wassermenge in Hundertteilen des Höchstabflusses zu Basel darzustellen. Die Untersuchungsergebnisse finden sich in der Zahlen-tafel 3. Die Leistung der Seen erscheint überraschend gering — die Gesamtzurückhaltung übersteigt nicht 4—5% der zu Basel abgeflossenen Höchstmengen — erklärt sich aber dadurch, daß die Scheitelbildung im Rhein fast immer viel früher eintritt, als die Seen die größte Wasserzurückhaltung während des Hochwasserverlaufes erreichen. Da die Höchstwerte der zurückgehaltenen Wassermengen in den einzelnen Seebecken meistens zu verschiedenen Zeiten eingetreten sind, kommt überhaupt wohl kaum die Höchstleistung der Seen im Verlaufe eines Rheinhochwassers zur Geltung. Die Wirksamkeit der Seebecken für die unteren Stromgegenden besteht demnach weniger in einer namhaften Abschwächung des Höchststandes als des Wasserstandswechsels; die steigende und insbesondere die fallende Bewegung werden vermindert, die Dauer der Anschwellung also verlängert.

So bedeutend sich auch die Wirkung der Wasserzurückhaltung durch die größeren Seebecken des Oberrheingebietes darstellt, so wird die Wirkung doch manchmal überschätzt; nicht selten begegnet man der Anschauung, daß es möglich sein würde, durch bessere Ausnützung jenes Zurückhaltungsvermögens sogar den Gesamtabfluß des Oberrheins gleichartig zu gestalten, den Überschuß des sommerlichen Abflusses durch die Seen aufzuspeichern und in der kälteren Jahreszeit mit ihren niedrigen Rheinständen nutzbar zu machen. Da der jährliche Gesamtabfluß des Oberrheins (Waldshut), wie hier später nachgewiesen wird, durchschnittlich 27 Milliarden Kubikmeter erreicht, so berechnet sich der mittlere monatliche auf 2250 Millionen Kubikmeter; dieser Durchschnittsbetrag entspricht annähernd dem Abflusse des Rheins im April. In den Monaten Oktober bis einschließlich März fließen um 4140 Millionen Kubikmeter weniger als der Durchschnitt, vom Mai bis September um ebensoviel mehr ab. Zieht man hier nur die Wirkung des Bodensees als des größten der Seebecken in Betracht, dessen Oberfläche 44% der Gesamtfläche der Seen des Schweizer Rheingebietes ausmacht und unterstellt, daß die Seen im Verhältnis ihres Fassungsvermögens an der Wasserzurückhaltung zu beteiligen wären, was in Wirklichkeit kaum zu erreichen sein würde, so müßten durch den Bodensee allein in der Zeit seiner größten Beanspruchung rd. 1840 Millionen Kubikmeter aufgespeichert werden, die einen Aufstau des Seespiegels von 340 cm bedingen würden.

Der seither zu Konstanz beobachtete Unterschied des tiefsten Standes (vom Jahre 1823 und 1836) und des höchsten (vom Jahre 1817) war 390 cm; er kommt daher jener Stauhöhe, die alljährlich im Sommer zu erreichen wäre, nahe. Der genannte Aufstau von 340 cm könnte aber sehr wohl beträchtlich überschritten werden, da gerade in die Zeit des Spätsommers bekanntlich die häufigsten und höchsten Anschwellungen des Graubündner Rheins fallen, welche — wie beispielsweise 1868 IX, 1881 IX, 1885 IX, 1888 IX, 1890 VIII, 1897 IX — den Wasserstand des Bodensees in wenigen Tagen um 100 bis 150 cm heben können. Durch die Maßregel jener Wasseraufspeicherung für einen regelmäßigen Rheinabfluß würde daher ein Zustand, der von Natur aus vielleicht ein oder das andere Mal innerhalb eines Jahrhunderts eintritt und dann stets als ein Notstand empfunden wird, zu einer fast alljährlich wiederkehrenden Erscheinung. Bei den übrigen Seen der Schweiz mit ihren meist tiefliegenden Ortschaften würden sich die Verhältnisse kaum günstiger, als am Bodensee gestalten, und für die großen Juraseen des Aaregebietes wäre die mit bedeutenden Kosten erst vor zwei Jahrzehnten erreichte Wirkung der Tieferlegung der Hochwasserstände wieder vollständig aufgehoben. Schon die gegebenen Andeutungen dürften genügen, um zu zeigen, daß die Frage einer gesteigerten Ausnützung der Wasserzurückhaltung der Seen des Oberrheingebietes zur Erzielung einer mehr gleichmäßigen Wasserführung des Rheins keineswegs einfacher Art ist und jedenfalls nicht allein vom Standpunkte der Verbesserung der Rheinwasserführung betrachtet werden darf.

Außer der fast alljährlich in der wärmeren Jahreszeit eintretenden allgemeinen Steigerung in der Wasserführung der Hochgebirgsflüsse, ihrer regelmäßigen Sommeranschwellung, kommen hier die Beharrungsstände im Abflusse und namentlich die nicht periodischen und meist kurzdauernden Anschwellungen wesentlich in Betracht.

Im Winter und noch weit in das Frühjahr hinein beharren, wie schon bemerkt, die Zuflüsse des Rheins aus dem Hochgebirge auf verhältnismäßig niedrigem Stande. Der äußerst geringe Abfluß von den Firnflächen, sowie der Umstand, daß die Niederschläge hier fast nur in fester Form fallen und etwa niedergehende Regen von der meist mächtigen Schneelage aufgenommen und gebunden werden können, verhindern den Eintritt höherer Wasserstände in dieser Zeit. Der Rhein zu Reichenau führt dann oft viele Wochen hindurch sekundlich 35 bis 40 cbm Wasser, die aber wohl hauptsächlich dem Sickerwasserzuflusse aus den Talweiten des Vorderrheins, der unteren Albula und des Domleschg zugeschrieben werden dürfen und hält sich auf einer mittleren Höhe von etwa 215—220 cm zu Reichenau, welcher eine Höhe von 125 cm an der Tardisbrücke*) entspricht. In der wärmeren Jahreszeit, während welcher der Graubündner Rhein fast immer einen höheren Wasserstand

*) Die Sohle des Graubündner Rheins ist in einer andauernden Umbildung begriffen, so daß die angegebenen Höhenverhältnisse nur für den Zustand des Flußbettes um das Jahr 1900 genauer zutreffend sind.

einnimmt, werden Beharrungszustände im Abflusse von längerer Dauer kaum bemerkt. Die häufigen und oft bedeutenden Niederschläge in dieser Jahreszeit und die lebhaft bewegte Bewegung der dem Rhein hier zufließenden Gewässer, welche infolge des schwer durchlässigen Bodens auch schon für geringere Regenfälle empfindlich sind, lassen eine stetige Bewegung nur selten zustande kommen. Erst durch die ausgleichende Wirkung des Bodenseebeckens erfahren diese Wechsel in der Abflubbewegung des Schweizer Rheins eine so erhebliche Abschwächung, daß bei Konstanz nur die bedeutenderen Rheinwellen eine erkennbare Hebung des Seespiegels bewirken können und in dem Rheinlaufe unterhalb Stein auch in den Sommermonaten oft längere Zeit ein gleichbleibender Abfluß bemerkt wird. Die Thurgaugewässer — insbesondere die Thur — veranlassen in der Wasserführung des Rheins sodann aufs neue größere Schwankungen.

Bei der Aare, der Reuß und Limmat sind die Umstände für die Entstehung und Erhaltung von Beharrungszuständen im Abflusse im allgemeinen ähnlich, wie bei dem Schweizer Rhein, wiewohl die Seebecken, welche hier mit zur Geltung kommen, teilweise künstlich geregelten Ausfluß besitzen, wodurch die Entstehung von andauernd gleichgroßen Abflußmengen nicht mehr allein von jahreszeitlichen Einflüssen abhängt. Immerhin sind sowohl bei der Aare, als der Reuß und Limmat langdauernde Beharrungszustände vorzugsweise bei verhältnismäßig geringen Abflußmengen zu beobachten. Als solche kommen aus dem jüngsten Zeitraum in Betracht die niedrigen Wasserstände der oberen Aare, beobachtet zu Bern 1880 II, 1881 XII, 1894 I, 1895 II, 1897 I und der unteren Aare, beobachtet zu Döttingen 1889 I, 1891 II, 1895 I, 1897 XI, 1899 XII, 1900 XII, 1901 II; sie gehören demnach sämtlich der kälteren Jahreszeit an.

Bei der Nachbarschaft und der verhältnismäßig geringen Ausdehnung der Gebiete treten Anschwellungen im Schweizer Rhein wie in der Aare, der Reuß und Limmat fast immer gleichzeitig auf, wenn auch die Stärke der Anschwellungen je nach der Niederschlagsverteilung wechselnd sein kann; dies gilt jedoch nur von gewöhnlichen Anschwellungen. Von hohen Flutwellen erscheint im allgemeinen der Rhein häufiger betroffen, als die Aare, was mit der ausgedehnten Vergletscherung im Einzugsgebiet der letzteren zusammenhängen dürfte. Die Anschwellungen fallen wohl ausschließlich in die Sommermonate Juni bis September, wann, wie schon erwähnt, die hier in Betracht kommenden Gewässer wegen der regelmäßigen Sommeranschwellung ohnehin einen höheren Wasserstand einnehmen, jede stärkere Überregnung demnach alsbald auch einen bedeutend vermehrten Abfluß bewirkt.

Als wichtigere Anschwellungen des Graubündner Rheins aus der neueren Zeit werden jene vom September 1868, Juli 1874, Juni 1876, Juli 1877, August 1878, Juni 1879, September 1881, Juli 1883, September 1885, Sep-

tember 1888, August 1890, Juli 1891 und September 1897 bezeichnet. Die sekundlichen Höchstmengen, welche der Rhein im Verlaufe derselben abgeführt hat, bewegen sich annähernd zwischen 1500 cbm (1891) und 2300 cbm (1885); im September 1868 hat dagegen die Höchstmenge 3000 cbm wahrscheinlich überschritten. Die Anschwellungen treten im Graubündner Rhein fast immer am gleichen Tage auf, wann die starke Überregnung beginnt; sie verlaufen ungemein lebhaft, so daß der bedeutende Abfluß nur verhältnismäßig kurze Zeit, oft nur wenige Stunden, andauert. Indes folgen erfahrungsgemäß in der Regel mehrere Anschwellungen in kleinen Zwischenräumen.

Die Hochwasserwellen legen den rund 90 km langen Weg von Reichenau bis zum Bodensee in etwa 10 Stunden, von der Landquartmündung bis dahin in ungefähr 6 Stunden — durchschnittlich 9 km in der Stunde — zurück. In der untersten Flußstrecke des Rheins, oberhalb seiner Mündung in den Bodensee haben fast alle Anschwellungen der neueren Zeit durch Aufschüttung der Flußsohle — die sich seit 1817 streckenweise um mehrere Meter gehoben hat, bedeutende Höhen erreicht; andererseits haben gleichzeitige ausgedehnte Überflutungen des unteren Rheintales infolge von Deichbrüchen — das Überschwemmungsgebiet ist bei Sargans 3 km, bei Hohenems 6 km breit — nicht unwesentlich zur Minderung der Wellenhöhe in dieser Flußstrecke beigetragen; so war die Wasserhöhe am Zusammenfluß von Vorder- und Hinterrhein im September 1868 220 cm größer als im Juni 1876; am Pegel zu Au-Monstein erreichte der Rhein dagegen während jenes Junihochwassers einen um 45 cm höheren Stand als 1868. Die bekannt höchsten Anschwellungen haben sich hier fast 5 m über die bekannt niedrigsten Wasserstände erhoben.

Die Hochwasserwellen des Schweizer Rheins erleiden, wie aus der beigegebenen Darstellung hervorgeht, im Bodensee eine so erhebliche Abschwächung, daß selbst die bedeutendsten der seither aufgetretenen Fluterscheinungen das Seebecken als durchaus mäßige Anschwellungen wieder verlassen haben. Der dem Höchstanstiege des Sees entsprechende Höchstabfluß hat 1100 cbm in der Sekunde nicht überstiegen; während die einfließende Welle aber meistens nur wenige Stunden auf hohem Stande verbleibt, dauert der Höchstabfluß wesentlich längere Zeit an. Durch die linkseitigen Zuflüsse zwischen dem Bodensee und der Aaremündung und die in der Wutach sich sammelnden Abflüsse vom südlichen Schwarzwald kann indes unabhängig von den gleichzeitigen Bodenseeständen ein Hochwasser im Rhein veranlaßt werden; denn diese Flüsse führen, durch plötzliche Schneeabgänge oder starke Regengüsse angeschwollen, für sich dem Rhein schon größere Mengen zu, als sie aus dem Bodensee seither nur äußersten Falles abgeflossen sind. Die Anschwellungen der genannten Gewässer treten überdies naturgemäß viel schroffer als jene des Seeausflusses auf und sie begegnen sich, wie die Beobachtungen einer Reihe solcher Hochwassererscheinungen bestätigen, nicht selten mit ihren Höchsterhebungen.

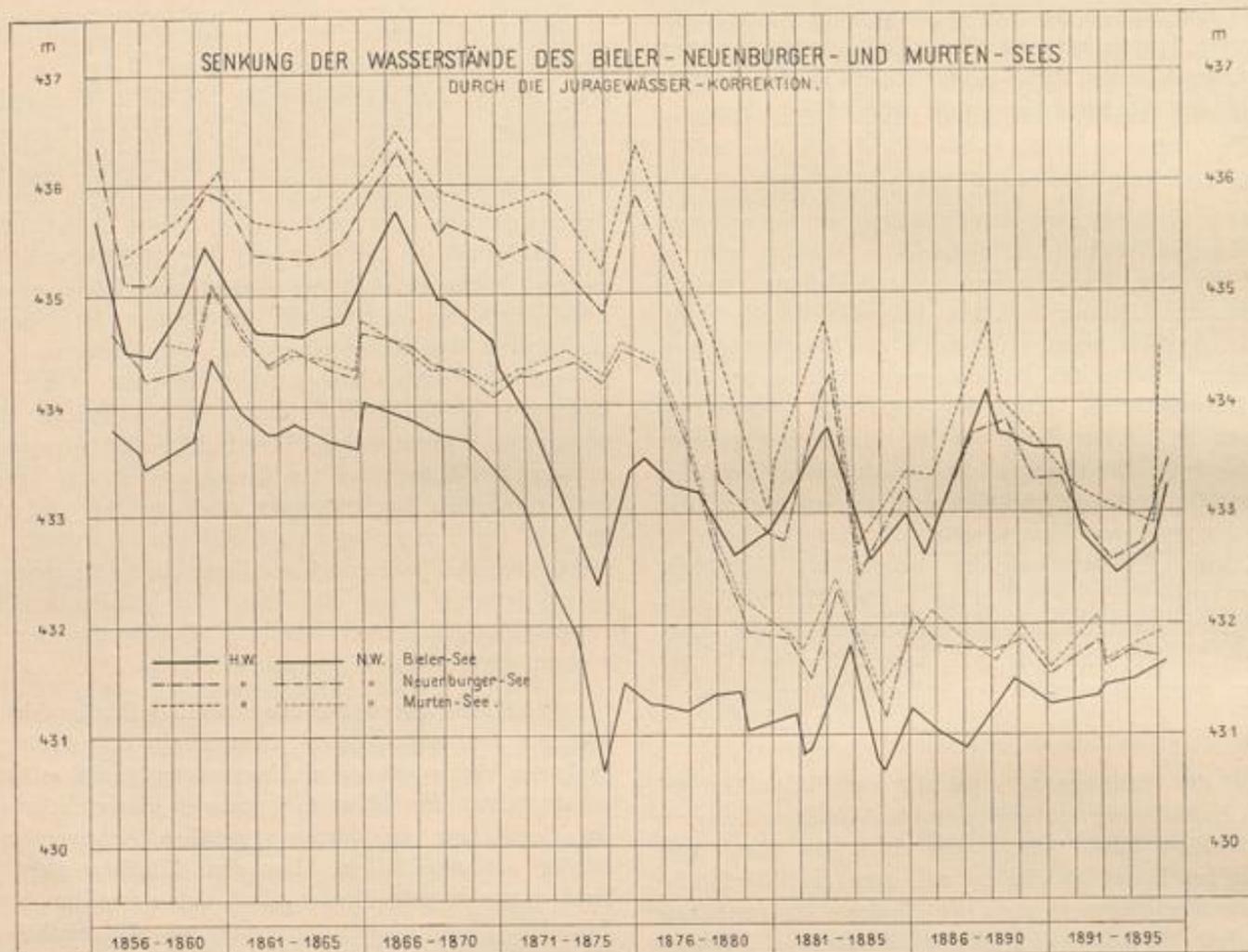
Die bemerkenswerteren Anschwellungen des Rheins zwischen Bodensee und Aaremündung, wie jene von

1852 IX. 18. mit 516 cm	} zu Kadelburg.
1876 VI. 12. > 540 >	
1881 IX. 2. > 540 >	
1888 IX. 3. > 495 >	
1890 IX. 2. > 481 >	

gehen sämtlich mit bedeutenden Hochwassererscheinungen der Thur und der Wutach einher; der gleichzeitige verstärkte Seeausfluß begünstigt natürlich die Bildung großer Hochstände, ohne sie unmittelbar zu veranlassen. Die

Scheitelbildung im Rhein zu Kadelburg wird meist alsbald oder doch nur einen Tag nach jener des Schweizer Rheins zu Au-Monstein beobachtet, also mehrere Tage vor dem Höhepunkte des Seestandes und der aus ihm austretenden Welle.

Die Anschwellungen der oberen Aare (bei Bern) verlaufen infolge der ausgleichenden Wirkung des Briener- und Thuner-Sees fast immer in mäßigen Grenzen; der seither beobachtete Unterschied zwischen Hoch- und Tiefstand hat gegen 250 cm erreicht; er entspricht einem Mehrabflusse bei Hochwasser von etwa 400 cbm in der Sekunde. Erst durch die Saane und Sense, welche vor-

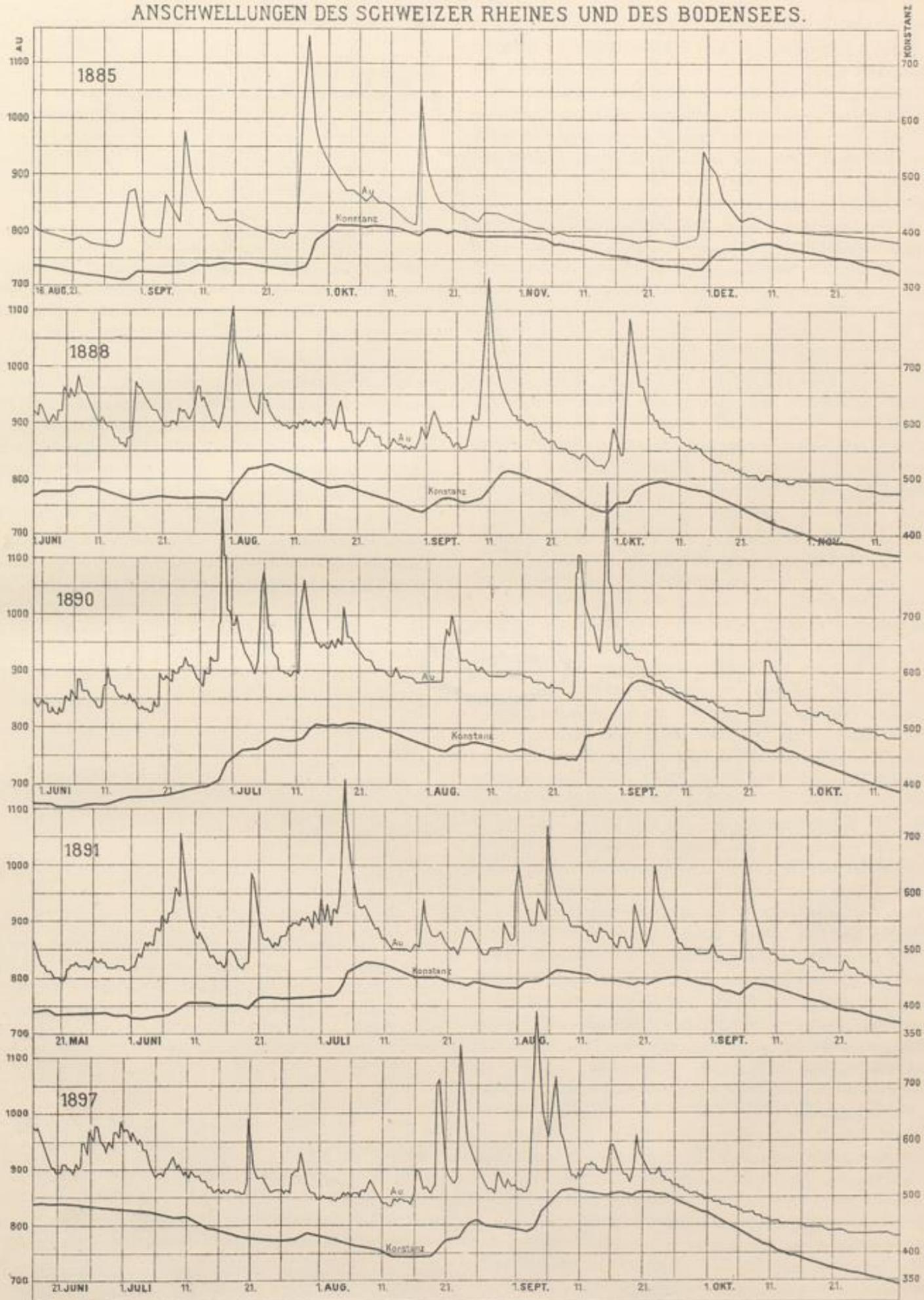


wiegend Abflüsse aus den niederschlagsreichen Diablerets und aus ihrem Vorlande der Aare zuführen, wird die Bewegung schroffer und die Wasserführung reichlicher — mit Schwankungen bis zu 500 cm bei Aarberg. Die Hochwasserwellen werden indes hier durch künstliche Ableitung nach den großen Juraseen aufs neue so wesentlich verflacht, daß im Unterlaufe der Aare nur in seltenen Fällen — bei gleichzeitiger bedeutender Wasserführung der Abflüsse des Alpenvorlandes und der Schweizer Hochebene, namentlich der Großen Emme — nochmals bemerkenswerte Hochstände entstehen können.

Für die Wasserstandsverhältnisse der Aare im allgemeinen und zumal für den Vergleich früherer und neuerer Anschwellungserscheinungen dieses Flusses

wichtig sind hierwegen die künstlichen Eingriffe in die natürlichen Abflußzustände, die um die Mitte der 1870er Jahre zum Abschlusse gekommen und unter der Bezeichnung »Juragewässerkorrektion« bekannt sind: die Einleitung der Aare in den Bieler See, die Mitbenützung des Neuenburger Sees zur Hochwasserzurückhaltung und die Regelung des Abflusses der beiden genannten Seebecken und des Murtensees nach der unteren Aare. Die früher so häufigen und wegen der wachsenden Aufschüttung des Flußbettes immer bedrohlicher werdenden Anschwellungen der Aare haben eine so starke Abschwächung erfahren, daß große Hochwassererscheinungen nun zu den Seltenheiten zählen und seit 1881 überhaupt nicht mehr eingetreten sind. Die Senkung der Höchst- und Tiefstände

ANSCHWELLUNGEN DES SCHWEIZER RHEINES UND DES BODENSEES.



Landesbibliothek
Karlsruhe

der drei Seen lassen sich aus der vorausgehenden Abbildung ersehen^{*)}).

In der unteren Aare (am Pegel zu Döttingen) sind bemerkenswerte Anschwellungen im Laufe der neueren Zeit beobachtet:

1852 IX. 18. 470 cm	1888 X. 4. 375 cm
1874 VII. 31. 405 "	1896 III. 10. 395 "
1876 VI. 12. 450 "	1896 VIII. 13. 370 "
1878 VI. 5. 420 "	1897 IX. 7. 392 "
1881 IX. 2. 444 "	1901 IV. 10. 400 "

Die meisten treffen zeitlich mit solchen des Schweizer Rheins zusammen; es sind mit wenigen Ausnahmen Anschwellungen aus der wärmeren Jahreszeit.

Die Zulaufzeiten der Hochwasserwellen der oberen Aare von Bern bis zur Mündung erreichen durchschnittlich gegen 10 Stunden; die Scheitelbildung im Unterlaufe des Flusses wird aber in den meisten Fällen durch die schon 6 Stunden früher hier eintreffenden Wellen aus der Reuß und Limmat und zuweilen durch jene der Großen Emme bedingt. Hierwegen tritt der Höhepunkt der Flutbewegung in der Aare bei Döttingen, ungeachtet aller verzögernden Umstände, fast gleichzeitig mit jener des Rheins bei Kadelburg ein.

Das Stärkeverhältnis der beiden großen Hochgebirgsflüsse kann in jedem einzelnen Falle mit Hilfe der nachstehend für je einen Centimeter Wasserstandszunahme ermittelten Vergrößerung der Abflußmenge gefunden werden. Da die Zunahme natürlich selbst wieder mit dem Wasserstande wächst, so sind die Beträge für entsprechende Höhenstufen abgeleitet. Es erreicht:

im Rhein zu Kadelburg zw. 110—150 cm die Zunahme 2 cbm,	in der Aare zu Döttingen zw. 100—120 cm d. Z. 2 cbm
151—180 " " " 2,5 "	121—140 " " " 2,5 "
181—220 " " " 3 "	141—160 " " " 3 "
221—250 " " " 3,5 "	161—180 " " " 3,5 "
251—280 " " " 4 "	181—215 " " " 4 "
281—330 " " " 4,5 "	216—245 " " " 4,5 "
331—370 " " " 5 "	246—290 " " " 5 "
371—410 " " " 5,5 "	291—330 " " " 5,5 "
411—450 " " " 6 "	331—370 " " " 6 "
451—490 " " " 6,5 "	371—410 " " " 6,5 "
491—530 " " " 7 "	411—450 " " " 7 "

Hieraus läßt sich gegebenen Falles feststellen, welche Wirkung das Steigen des einen und das gleichzeitige Fallen des anderen Gewässers oder die gleichartige Bewegung der beiden auf die Abflußmenge und damit auf den Wasserstand an ihrer Vereinigungsstelle ausüben muß.

Mittelgebirgsflüsse. Nach der Vereinigung von Rhein und Aare bei Waldshut fließen dem Rhein in wachsendem Maße Gewässer zu, deren Einzugsgebiete Abflußbedingungen unterliegen, die von jenen des Hochgebirges oder der diesem vorgelagerten Vorberge und Hochebenen wesentlich verschieden sind. Anfänglich sind es freilich

^{*)} Unter Benützung der »Hauptergebnisse der Schweizerischen hydro-metrischen Beobachtungen für das Jahr 1890. Bern 1897« zusammengestellt.

— zunächst infolge der Einschnürung des Stromgebietes zwischen den Quellen der Donau und des nach der Rhone abströmenden Doubs und dann wegen der verhältnismäßig nahe der Rinne des Rheins auf den beiderseitigen Randgebirgen der oberrheinischen Tiefebene verlaufenden Wasserscheiden gegen Neckar und Mosel — nur kleine Gewässer, namentlich von den Süd- und Westabhängen des Schwarzwaldes und dem Ostabhänge der Vogesen, wobei die Zuflüsse auf der linken Stromseite, größtenteils durch die Ill gesammelt, dem Rhein zugeführt werden; doch gleicht hier der ungewöhnliche Wasserreichtum, insbesondere der rechtsseitigen Gebietsabschnitte, die geringe Flächenzunahme teilweise aus. Unweit des Nordendes vom Schwarzwald mündet sodann der Neckar, als erster größerer Mittelgebirgsfluß; er reicht mit seinen Quellgebieten wieder weit nach Süden, nahe an das Alpenvorland heran. In verhältnismäßig schneller Folge ergießen sich hierauf die bedeutenden Nebenflüsse Main, Nahe, Lahn und Mosel in den Rhein, diesem die Abflüsse der weitläufigen Gebirgslandschaften zwischen dem Fichtelgebirge und Frankenjura im Osten und dem lothringischen Stufenlande sowie den Ardennen im Westen zuführend. Auch unterhalb der Mosel empfängt der Rhein noch einige größere Gewässer, wie namentlich die Sieg und die Ruhr aus den Mittelgebirgen; die Lippe gehört schon dem niederdeutschen Tieflande an.

Die Hauptregenzeit fällt in den Mittelgebirgslandschaften entweder wie in den Alpen in die Sommermonate Juni bis August oder die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge zeigt, namentlich in den schon vom Seeklima beeinflussten Gebietsteilen, mehrere Maxima mit einem Höchstbetrage im Oktober, gegen den das sommerliche Maximum aber meist nicht viel zurückbleibt; auch steht, wie aus der beigegebenen Übersichtskarte der Niederschlagsverteilung im Rheingebiete hervorgeht, die Regenmenge in einzelnen Abschnitten — besonders auf der Westseite der Vogesen und des Schwarzwaldes — jener der Alpenlandschaften kaum nach. Allein von den oft massenhaften Niederschlägen geht in der wärmeren Jahreszeit ein erheblicher Teil wieder unmittelbar oder durch Vermittlung der Pflanzen an die Lufthülle zurück, ein anderer Teil dringt in den Boden ein und gelangt meist viel später durch Grundwasser und Quellen nach den offenen Gerinnen, wird auch dauernd im Boden gebunden, so daß für den oberirdischen Abfluß, namentlich im Hochsommer, nur ein verhältnismäßig geringer Betrag erübrigt. Hierwegen treffen in den genannten Gebieten gerade in die Periode bedeutender Regenfälle mäßige Abflußmengen, in die kühlere Jahreszeit mit ihren meist geringen Niederschlägen aber höhere Wasserstände, insbesondere bei teilweisem oder völligem Schneeabgang. In den Mittelgebirgslandschaften findet der Schneeabgang gewöhnlich im Vorfrühling statt, zumeist begleitet von warmen Regen bei andauernden westlichen oder südwestlichen Winden; er veranlaßt die fast regelmäßig wiederkehrenden rasch verlaufenden Frühjahrsanschwellungen. Auch während des Winters geht der Schnee — oft wiederholt — teilweise oder völlig ab. Hiedurch, sowie wegen der in der kühleren Jahreszeit geringen Verdunstung, wegen des zuweilen ge-

frorenen Bodens und der unbedeutenden Wasseraufnahme durch die Pflanzen führen selbst nicht erhebliche Regenfälle Anschwellungen herbei, wodurch die Gewässer des Mittelgebirgs eine unruhige Bewegung und einen im allgemeinen höheren Wasserstand einnehmen zu einer Zeit, in der sich die Abflüsse der Hochgebirgsgebiete fast andauernd im Beharrungszustande befinden.

Einer der niederschlagsreichsten Abschnitte des außeralpinen Rheingebietes ist das Einzugsgebiet der Schwarzwald-Vogesenflüsse. Gemeint sind hier in der Hauptsache nur jene Gewässer, die vom Süd- und Westabhange des Schwarzwaldes und vom Ostabhange der Vogesen sowie von den nördlichen Ausläufern dieser Gebirge dem Rhein zufließen. In dem umschriebenen Gebiete trifft die Hauptregenzeit in den Juni oder Juli; größere Regenmengen fallen im März und Oktober, wobei diese an das Hauptmaximum heranreichen können. In den Vogesen wie in den höheren Lagen des Schwarzwaldes bleiben fast überall die Sommerregen hinter den Niederschlagsmengen des Frühjahrs und Herbstes zurück. Als mittlere Niederschlagshöhen haben sich aus den Beobachtungen von 40 Stationen des ganzen betrachteten Gebietes ergeben:

im Januar . . . 85 mm	im Juli . . . 128 mm
> Februar . . . 85 >	> August . . . 84 >
> März . . . 93 >	> September . . . 98 >
> April . . . 91 >	> Oktober . . . 118 >
> Mai . . . 89 >	> November . . . 75 >
> Juni . . . 112 >	> Dezember . . . 111 >

Die täglichen Regenhöhen können gegen 100 mm erreichen; in außerordentlichen Fällen, wie 1896 III weit mehr, wenn auch auf enger umgrenzter Fläche. In den drei Tagen stärkster Überregnung, am 7., 8. und 9. März 1896 sind in den hochgelegenen Quellgebieten der Wehra, Wiese und Dreisam sowie der Kinzig, Rench und Murg Regensummen von 250 mm und darüber festgestellt worden; in den Vogesen haben sie ebenfalls an einigen Stellen 200 mm überschritten. Auf den nach Westen gerichteten Seiten der oberrheinischen Randgebirge nehmen die Niederschläge von der Höhe zur Tiefe rasch ab; in der Rheinebene fallen durchschnittlich nur 50 bis 70 % der Regenmenge der Hochfläche.

Die jährliche Niederschlagsmenge in den Einzugsgebieten der Schwarzwald- und der Vogesengewässer erreicht gegen 20 Milliarden Kubikmeter; hieran sind der Juli mit nahezu 11 %, Oktober mit 10 %, Juni und Dezember mit 9 % beteiligt, während auf November etwa 6 % entfallen. Entsprechend der physischen Beschaffenheit ihrer Einzugsflächen, die zu den bestbewaldeten des Rheingebietes gezählt werden, ist die Durchfeuchtung des Bodens fast immer reichlich und demnach der abfließende Teil des Niederschlages meist bedeutend; nur bei strengem Frost oder längere Zeit anhaltender hoher Wärme wird der Abfluß gering. Die abfließende Menge hat im Mittel der Jahre 1891 bis 1900 in der kälteren Jahreszeit bis zu 90 % des Niederschlages er-

reicht, wobei übrigens wegen der beträchtlichen Schneeanhäufungen ein genauer Vergleich des Wasserzuges und -abganges schwierig wird; im Hochsommer sind etwa 42 bis 43 % der Regenmenge abgelaufen; diese Verhältniszahlen bleiben hinter den für die Zuflüsse des Rheins aus dem Alpenvorlande gefundenen kaum zurück. Wie hiernach leicht verständlich, müssen insbesondere die aus den Gebieten der Schwarzwaldgewässer dem Rhein zufließenden Wassermassen in der Regel ansehnlich sein. Da tatsächliche Messungen der Wassermengen nur für kleine und mittlere Wasserstände vorhanden sind, wurde versucht, die Wassermengen, welche dem Rhein zwischen der Aare und dem Neckar beiderseits zufließen, aus dem Unterschiede der Rheinabflüßmengen von Waldshut—Basel und Basel—Mannheim herzuleiten, wobei der Grundwasserzufluß freilich nicht besonders ausgeschieden wurde. Nach dem Durchschnitte der Jahre 1891 bis 1900 haben sich dementsprechend als sekundliche Zuflußmengen zum Rhein (in abgerundeten Zahlen) ergeben:

	zwischen Waldshut und Basel	zwischen Basel und Mannheim		zwischen Waldshut und Basel	zwischen Basel und Mannheim
im Januar . . .	30 cbm	420 cbm	im Juli . . .	90 cbm	170 cbm
> Februar . . .	30 >	410 >	> August . . .	60 >	190 >
> März . . .	30 >	350 >	> September . . .	20 >	230 >
> April . . .	40 >	310 >	> Oktober . . .	20 >	270 >
> Mai . . .	60 >	200 >	> November . . .	10 >	300 >
> Juni . . .	100 >	170 >	> Dezember . . .	30 >	290 >

Die Abflüsse des südlichen Schwarzwaldes nehmen hiernach noch erkennbar an dem sommerlichen Maximum der Nebenflüsse des Rheins aus der Schweiz teil, während der Abfluß von den Westabhängen des Schwarzwaldes und den Ostabhängen der Vogesen den Höchstbetrag im Januar und den kleinsten Wert im Juli erreicht, demnach sich den Abflußverhältnissen der übrigen Mittelgebirgsflüsse nähert. Bei mittleren Wasserständen führen Wiese 7 cbm, Elz und Dreisam 15 cbm, Kinzig 14 cbm, Rench 4 cbm, Murg 9 cbm, Ill 23 cbm und die Moder 7 cbm in der Sekunde.

Im Einzugsgebiete des Neckars erscheint der November als der niederschlagsärmste Monat; die größten Regenmengen fallen im Juni; die jahreszeitlichen Unterschiede sind indes nicht erheblich; auf die Wintermonate entfallen 22 %, auf die Sommermonate 30 % der Niederschlagsmenge des Jahres; Frühjahr und Herbst erhalten fast gleichviel. Die mittlere Niederschlagshöhe des Gebietes erreicht rd. 720 mm; ihr entspricht eine Regenmenge von etwa 12 Milliarden Kubikmeter, davon auf Juni und Juli allein 2660 Millionen treffen. Die bedeutendsten Regenfälle gehören der wärmeren Jahreszeit an; die größten innerhalb 24 Stunden gefallenen Regen haben gegen 100 mm Höhe erreicht. Die dem höheren Gebirge, namentlich der Ostabdachung des Schwarzwaldes und der Rauhen Alb zugehörigen Abschnitte des Neckargebietes sind meist stärker überregnet als das schwäbische Becken im Mittellaufe des Neckars und im Kocher-Jagstgebiete. Im Schwarzwalde steigen die mittleren jährlichen Regenhöhen bis gegen 1600 mm, in der Alb sowie in den Waldgebieten zwischen Kocher und Jagst auf

900 mm an; es sind dies die auch nach der Oberflächen-gestalt und -Beschaffenheit bemerkenswerten Bestandteile des Neckarsgebietes mit stärkstem Abflusse. Von der Gesamtniederschlagsmenge des Neckargebietes fließen bei Heidelberg im Jahresdurchschnitt 31 % ab, verhältnismäßig am meisten, fast 67 %, im Februar zur Zeit nicht bedeutender Niederschläge, am wenigsten — etwa 14 % — im Juli. Im Januar, Februar und März fließen im Mittel 59 %, im Juli, August und September nur 15 % ab; vom Juni bis Oktober bleibt die abfließende Menge unter 20 % der Niederschlagsmenge^{*)}. Im Einklange mit der hohen Abflußzahl ist auch die tatsächliche Abflußmenge im Februar am größten; sie erreicht 513 Millionen Kubikmeter; dagegen führt der Neckar am wenigsten Wasser im August (148 Millionen Kubikmeter); ein kleineres Maximum tritt im Oktober infolge der erheblichen Zunahme der Niederschläge in jenem Monate ein. Die mittlere jährliche Abflußmenge ist zu 3620 Millionen Kubikmeter ermittelt.

Die Abflußmenge des Neckars, entsprechend dem aus langjährigen Beobachtungen abgeleiteten Mittelwasser zu Diedesheim wird zu 110 cbm in der Sekunde angegeben; doch bewegt sich die Wasserführung des Flusses, selbst in seinem Unterlaufe, innerhalb ziemlich weiter Grenzen; sie geht bei niedrigen Beharrungsständen auf etwa 40 cbm herab und wird andererseits für die großen Hochwasserstände auf etwa 3000 cbm angegeben. Die für die außerordentlichen Hochwasserhöhen von 1824 X. berechnete Höchstabflußmenge von 4800 cbm ist zweifellos zu groß; sie steht mit den Abflußverhältnissen des Neckargebietes kaum mehr im Einklange.

Das Maingebiet empfängt die geringsten Niederschlagsmengen im Februar, in seinem unteren nordwestlichen Teile erst im April, die größten Regenmengen in der südlichen Hälfte im Juni, in der nördlichen im Juli. Die Monate Oktober, Dezember und März zeigen sekundäre Maxima des Niederschlages. Von der Niederschlagsmenge des Jahres fallen 20 % im Winter als geringster und 34 % im Sommer als höchster Betrag. Auf das Maingebiet oberhalb Miltenberg treffen jährlich im Mittel etwa 13,7 Milliarden Kubikmeter; die durchschnittliche Regenhöhe des Flußgebietes ist zu 660 mm ermittelt. Die stärksten Regenfälle treten fast ausschließlich im Gefolge von Gewittererscheinungen ein; als Höchstbeträge gelten, von ungewöhnlichen Verhältnissen abgesehen, 60 bis 70 mm Regenhöhe in 24 Stunden.

Von der großen Regenmenge im Juli fließen nur 13 % ab, selbst im Oktober erst 20 %; dann nimmt der Abfluß stärker zu. Zwischen Januar und März liegt die abflußreichste Zeit mit durchschnittlich 58 %; im März allein fließen 64 % der Niederschlagsmenge ab; in diesen Zeitraum fallen die großen Mainanschwellungen. Zwischen April und Mai findet rascher Rückgang der Abflußmenge statt, die im Mai nur mehr 23 % des Niederschlages beträgt.

^{*)} Auf Grund neuer Feststellungen nach den Beobachtungen von 1891 bis einschl. 1900.

Der zu Miltenberg beobachteten größten sekundlichen Abflußmenge — Mittelwert aus 1886–1897 — im März von 244 cbm steht eine geringste von 72 cbm im August und September gegenüber; doch geht die Wasserführung des Mains bei sehr niedrigen Mainständen bis auf 50 cbm herab, erreicht bei beginnender Überflutung 850 bis 900 cbm und bei den großen Hochwassern 2500 cbm, in ganz seltenen Fällen wohl auch 3000 cbm. Die mittlere Abflußhöhe liegt im Main zu Miltenberg bei etwa 150 cm; die diesem Wasserstand entsprechende Abflußmenge erreicht 120 bis 130 cbm.

In den zur Nahe entwässernden Gebietsabschnitten fällt am meisten Regen im Juli, am wenigsten gewöhnlich im April, auch Februar und November sind als niederschlagsarm zu betrachten. Im Hunsrück steigt die Jahressumme des Niederschlages bis 900 mm, stellenweise selbst bis 1000 mm an. Der tiefer liegende nordöstliche Teil des Flußgebietes fällt in das regenarme rheinhessische Hügelland und das Mainzer Becken, in welchen die Jahresmenge unter 500 mm zurückbleibt. Die Gebiete der südwärts aus der Pfalz zufließenden Gewässer empfangen durchschnittlich 600 bis 700 mm Regen im Jahre. Die Höchstwerte des täglichen Regenfalles treffen auf die Monate Juli, August und Dezember; sie haben in Birkenfeld 60 mm überschritten.

Im jahreszeitlichen Verlaufe des Abflusses zeigt die Nahe vollkommen das Verhalten der Mittelgebirgsflüsse: niedrige Stände in der wärmeren, höhere in der kälteren Jahreshälfte; am meisten fließt im Januar ab, die Zeit der Niederstände fällt in den Hochsommer. Vom Minimum im September steigt der Wasserstand verhältnismäßig rasch an, erreicht im Februar das Höchstmaß und geht im Laufe des Frühlings wieder ziemlich schnell zurück. Der mittlere Stand liegt bei etwa 330 cm Kreuznach, der durchschnittlich niedrigste bei 280 cm, während als Hochwasserbeginn ein Wasserstand von 530 cm gilt. Die seither beobachteten Grenzen der Wasserstandsbe-
wegung sind zwischen 251 cm als niedrigstem (1876 VIII) und 690 cm als höchstem (1882 XI) eingeschlossen; die Schwankung umfaßt hierwegen rd. 440 cm. Die Wassermengen, welche die Nahe dem Rhein zuführt, werden für die niedrigen Wasserstände auf 20 cbm, für die mittleren auf rd. 50 cbm angegeben. Die größte sekundliche Hochwassermenge soll 1260 cbm betragen haben; sie würde einem Abflusse von 0,30 cbm von jedem Quadratkilometer des Einzugsgebietes entsprechen.

Im Lahngebiete trifft von der jährlichen Gesamtmenge des Niederschlages der Höchstbetrag von etwa 12 % auf den Juli, der kleinste Wert von kaum 6 % auf April. In den Sommer- und ersten Herbstmonaten fallen gegen $\frac{2}{3}$ der ganzen Regenmenge des Jahres. Die bedeutendsten Niederschlagsmassen empfängt der Südosten und Nordwesten des Gebietes, wo im Taunus und Westerwald die Jahressumme bis zu 800 mm ansteigt; der größere, mittlere Teil des Gebietes erhält nicht über 650 mm. Das obere Flußtal zwischen Marburg und Gießen liegt größtenteils im Regenschatten des

Taunus und erhält nur gegen 600 mm. Die höchsten Tagesmaxima haben zu Marburg im Hochsommer rd. 50 mm erreicht.

Die jahreszeitliche Bewegung des Wasserstandes zeigt niedrige Stände zwischen Mai und Oktober mit einem Minimum im September; dann Zunahme bis zum Dezember, Maximum im Februar und rasche Abnahme vom März zum Mai. Die häufigen Sommeranschwellungen veranlassen in den Durchschnittswerten der höchsten Monatsstände und zwar in dem regenreichen Juni ein zweites Maximum, das aber wegen des geringen sommerlichen Abflusses sogar unter den entsprechenden Wasserständen des niederschlagsarmen April zurückbleibt. Der mittlere Lahnstand liegt zwischen 140 und 150 cm am Pegel zu Gießen oder Diez, der durchschnittliche Niedrigwasserstand zwischen 70 und 80 cm, die Hochwassergrenze bei etwa 450 cm. Als niedrigste Stände gelten 58 cm Gießen (1859 VIII und 1883 IX) sowie 60 cm Diez (1874 IX), als höchste 525 cm Gießen (1879 I) und 678 cm Diez (1882 XI). Dem mittleren niedrigsten Jahresstand entspricht eine sekundliche Wasserführung der Lahn von nur etwa 8 cbm, dem Mittelwasser (140 bis 150 cm) etwa 40 cbm. Die Abflußmenge bei dem außerordentlichen Hochwasser vom März 1845 bei 711 cm Diez ist zu 750 cbm bestimmt worden; ihr würde ein gleichmäßiger sekundlicher Abfluß von 0,14 cbm von jedem Quadratkilometer des Einzugsgebietes entsprechen.

Im Moselgebiete erscheinen als regenreichste Jahreszeiten für den oberen Abschnitt der Herbst, für den mittleren und unteren der Sommer, was bei der verhältnismäßig geringen Flächenausdehnung wohl auf den Einfluß der Bodenerhebung zurückzuführen ist. Das Gesamtgebiet empfängt eine mittlere jährliche Niederschlagsmenge von 21,5 Milliarden Kubikmeter — bis Trier 18,5 Milliarden — mit 2170 Millionen Kubikmeter größter Menge im Oktober und 1150 Millionen Kubikmeter kleinster Menge im April; nur im untersten Abschnitte des Moselgebietes fällt am meisten Regen im Juli, am wenigsten im Februar und November. Abgesehen von einzelnen Hochstationen in den Vogesen übersteigt die größte tägliche Höhe des Niederschlages in den gebirgigen Teilen des Gebietes selten 100 mm, in den westlichen Abschnitten der Stufenlandschaften 50 bis 60 mm, in den östlichen 70 bis 80 mm und im rheinischen Schiefergebirge gegen 60 mm.

Der verhältnismäßige Abfluß erreicht im Moselgebiete (bis Trier) den Höchstbetrag im Januar mit 83 % der Niederschlagsmenge; er nimmt sodann anfänglich langsam, zwischen März und Mai rasch ab bis zum Mindestbetrage im Juli von 12 %. Die geringe Wasserführung dauert bis September; erst mit Herbstbeginn wächst der Abfluß wieder. Die Abflußmenge im Januar verhält sich zu jener im Juli wie 5,2 : 1. Den genannten Verhältnissen entsprechend, zeigt die Mosel in der wärmeren Jahreszeit meist niedrige Wasserstände, selten durch Anschwellungen unterbrochen, im Winter und Frühjahr vorherrschend stärkere Wasserführung, den

niedrigsten Wasserstand im August, vom September bis zum Dezember rasches Steigen, das Maximum im Januar, ein wesentliches Fallen des Wasserstandes aber erst vom März an. Die Sommerhochwasser kommen in den langjährigen Mittelwerten der höchsten Wasserstände fast nicht mehr zur Geltung. Die mittlere jährliche Abflußmenge erreicht (bei Trier) 6960 Millionen Kubikmeter; davon kommt in den Wintermonaten reichlich $\frac{1}{3}$, in der Sommerzeit nahezu die Hälfte aus der Saar. Dem mittleren Wasserstände der Mosel zu Trier von 110 cm entspricht die Abflußmenge von rd. 220 cbm in der Sekunde, dem niedrigsten Stande die Menge von etwa 90 cbm; bei dem höchsten seither beobachteten eisfreien Hochwasser der Mosel sind zu Trier annähernd 4500 cbm (0,166 cbm von jedem Quadratkilometer der Einzugsfläche) abgeflossen.

Die größeren Gewässer, welche der Rhein unterhalb der Mosel noch empfängt, erhalten ihre Zuflüsse teils aus den regenreichen Abschnitten des Sauerlandes, wo die jährliche Niederschlagshöhe bis auf 1200 mm anwächst, teils aus der niederschlagsarmen Kölner Tieflandbucht und dem Becken von Münster mit 600 bis 700 mm Regenhöhe im Jahre. Von der Gesamtregenmenge treffen als Höchstbetrag 11 bis 12 % auf die Sommermonate Juni und Juli und nicht ganz 5 % auf April als Minimum. Etwa $\frac{1}{3}$ der Regenmenge des Jahres fällt im Sommer; Herbst, Winter und Frühling nehmen der Reihe nach in geringerem Maße teil; der Niederschlag im Frühjahr erreicht kaum mehr $\frac{1}{5}$ der Jahressumme. Als Höchstwerte des täglichen Regenfalles sind an einzelnen Orten 60 bis 70 mm festgestellt. Die ungewöhnlich hohen Beträge fallen meist in die wärmere Jahreszeit; während sie aber dann zu größeren Hochständen gewöhnlich nicht führen, waren sie im November 1890 Veranlassung zu außerordentlichen Fluterscheinungen in der Sieg, Ruhr und Lippe geworden.

Der jahreszeitliche Gang der mittleren Abflußbewegung zeigt ein Minimum der Wasserstände im August und September und einen Höchstbetrag im Februar; ähnlich verhalten sich auch die niedrigsten Wasserstände. Die mittleren monatlichen Höchstwerte erreichen unter dem Einflusse der nicht seltenen winterlichen Anschwellungen ihr Maximum schon im Dezember oder Januar. Die Zunahme der Wasserstände vom Herbst zum Winter erfolgt wesentlich schneller, als die Wiederabnahme im Frühjahr zu den Niederständen der wärmeren Jahreszeit. Äußerst niedrige Wasserstände sind namentlich in der Ruhr und Lippe während der Jahre 1857, 1858, 1868 und 1885 eingetreten; anderseits sind durch die schon erwähnten Hochwassererscheinungen im November 1890 die bis dahin festgestellten Höchststände übertroffen worden.

Die Wasserführung der Gewässer unterhalb der Moselmündung ist nur zeitweise belangreich. Die Sieg soll bei gewöhnlichen Hochwasserständen etwa 400 cbm, bei dem außerordentlichen Hochwasser von 1890 XI gegen 1000 cbm abgeführt haben; bei der Ruhr wird die Höchstmenge der Fluterscheinung von 1808 IV auf

1650 cbm angegeben; hier fließen durchschnittlich von dem Quadratkilometer 0,37 cbm ab.

Bei den drei bedeutendsten Mittelgebirgszuflüssen des Rheins zeigt sich, wie aus der folgenden Gegenüberstellung der Monatsabflußzahlen hervorgeht, große Übereinstimmung in dem verhältnismäßigen Abflusse. Von je 100 cbm Regenmenge sind abgelaufen^{*)} im

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
im Neckar (zu Heidelberg)	51	67	59	42	31	20	14	15	16	19	27	30
im Main (zu Miltenberg)	54	55	64	45	23	15	13	15	17	20	30	33
in der Mosel (zu Trier)	83	73	63	44	31	17	12	15	18	25	48	53

Nur in den Wintermonaten ergeben sich größere Unterschiede. Aus dem Einzugsgebiete der Mosel fließt in der kälteren Jahreszeit wesentlich mehr ab, als aus den beiden rechtsrheinischen Gebieten, während in den Frühlings- und Sommermonaten wieder mehr gleichartige Verhältnisse bestehen. Insgesamt ist, wie der Jahresdurchschnitt ergibt, das Moselgebiet wesentlich abflußreicher, als das Neckar- und Maingebiet, da die mittlere jährliche Regenhöhe im Neckargebiete 717 mm, im Maingebiete 658 mm und im Moselgebiete 761 mm erreicht und der größeren Regenhöhe der größere verhältnismäßige Abfluß entspricht.

Bei den Mittelgebirgsflüssen werden länger dauernde Beharrungszustände im Abflusse nur bei niedrigen Wasserständen beobachtet. Die meist geringe Beständigkeit der oberirdischen Speisung und der Mangel an natürlichen Sammelbecken, welche den Abfluß regeln könnten, beschränken die Möglichkeit des Bestehens von Beharrungszuständen im Abflusse fast ausschließlich auf jene Zeiträume, innerhalb welcher die Wasserläufe aus dem Grundwasservorrat gespeist werden.

Für die Schwarzwald-Vogesenflüsse ist der Hochsommer die Zeit des beharrenden Wasserstandes. Der sekundliche Abfluß bei solchen Wasserständen erreicht:

in der Wiese	4,0 cbm
» » Elz und Dreisam	7,6 cbm
» » Kinzig	7,9 cbm
» » Rench	1,5 cbm
» » Murg	6,0 cbm
» » Ill	15,0 cbm.

Die sämtlichen Gewässer zwischen Waldshut und Maxau führen bei sehr niedrigen Wasserständen links 33 cbm, rechts 39 cbm, zusammen 72 cbm dem Rhein zu.

Im Neckar treten Beharrungszustände gewöhnlich im September und Oktober ein, zuweilen auch während der Sommermonate; sie haben in der kühleren Jahreszeit

^{*)} Für das Neckargebiet auf Grund neuer Feststellungen mit Hilfe der 10jährigen Beobachtungen von 1891 bis 1900; für das Main- und Moselgebiet nach den Untersuchungsergebnissen im VI. und VII. Hefte der gegenwärtigen Veröffentlichungen.

eine größere Beständigkeit und können dann eine Dauer von 3 bis 4 Monaten erreichen. Indes zeigt auch im Hochsommer und Herbst der Neckar zuweilen wochenlang annähernd gleichbleibende Höhen. Die bemerkenswertesten seither beobachteten niedrigsten Beharrungszustände waren zu Diedesheim:

1858 I	60 cm	1874 XI	54 cm
1864 XII	42 »	1882 II	68 »
1865 X	45 »	1884 VIII	55 »
1868 IX	54 »	1885 IX	56 »
1871 XII	51 »		

Der Neckar führt in solchen Fällen zu Diedesheim durchschnittlich 30 bis 35 cbm Wasser, zu welchem unter gewöhnlichen Umständen der obere Neckar gegen 40%, die Enz 30%, der Kocher 20% und die Jagst rd. 10% beisteuern. In der angegebenen Verteilung erscheint neben der Gebietsgröße vorzugsweise der Wasserreichtum der einzelnen Abschnitte; er ist bei dem oberen Neckar und bei der Enz in der Regel wesentlich bedeutender als bei dem Kocher und bei der Jagst.

Im Main treten beharrende Wasserstände auf, sobald der oberirdische Abfluß eingeschränkt ist, die meisten der kleinen Gerinne mit sehr wechselndem Abflusse trocken liegen und der Fluß vorwiegend aus dem Grundwasser seines Einzugsgebietes gespeist wird. Der Main steht dann in seinem oberen Laufe auf etwa 20 cm Höhe zu Lichtenfels, im unteren auf 80 bis 90 cm zu Miltenberg, während die Regnitz 20 bis 25 cm zu Bamberg aufweist. Die Unterhaltung eines solchen Beharrungszustandes im Abflusse erfordert in der wärmeren Jahreszeit täglich 2 bis 2,5 mm, im Winter nicht viel mehr als 1 mm Regen; es findet dann ein regelmäßiger Ausgleich von Wasserzugang und Wasserabgang statt. Derart niedrige Beharrungszustände treten im Main fast in jedem Jahre, zuweilen sogar mehrmals in einem Jahre, am häufigsten im Hochsommer Juli und August ein, nicht selten auch in der kühlen Jahreszeit Januar und Februar, dann aber in der Regel nur, wenn der oberirdische Abfluß durch Frostwetter größtenteils aufgehoben ist. Eine ungewöhnliche Häufung sehr niedriger Beharrungszustände zeigen insbesondere die beiden Jahrzehnte zwischen 1850 und 1860 sowie 1890 und 1900. Die Wassermengen, welche der Main bei den niedrigen Beharrungszuständen zum Rhein liefert, betragen oft wochenlang nur 40 bis 50 cbm.

In der Nahe bestehen beharrende Wasserstände gewöhnlich zwischen Juli und Oktober; sie halten sich meistens in den Grenzen von 250 cm Höhe zu Kreuznach in den wärmeren und 280 cm in den kühleren Monaten; solche von größerer Höhe als 290 cm sind seither nicht beobachtet. Im allgemeinen führt die Nahe dem Rhein während der Beharrungszustände kaum mehr als 18—20 cbm Wasser zu.

Bei der Lahn treten Beharrungszustände im Abflusse von längerer Dauer ähnlich wie bei dem Main vorwiegend im Spätsommer und Herbst ein. In der oberen Lahn zu Gießen sind 60 cm in der wärmeren, 65—70 cm in der

kälteren Jahreszeit, in der unteren Lahnstrecke bei Diez 60—65 cm in der wärmeren und 80—90 cm in der kälteren Jahreszeit als ein Abflußzustand zu beobachten, der sich längere Zeit erhalten kann. Die entsprechenden Abflußmengen erreichen nach den neueren Messungen — unterhalb Diez — zwischen 12 und 20 cbm in der Sekunde.

Gleichbleibender Abfluß von längerer Dauer kann auch in der Mosel nur bei verhältnismäßig geringen Wassermengen, die bei Trier zwischen 60 und 80 cbm in der Sekunde sich bewegen, bestehen. Die Höhe des durch seine Stetigkeit deutlich gekennzeichneten Niederstandes, nämlich 30 bis 40 cm Trier in der wärmeren und rd. 80 cm in der kühleren Jahreszeit, hängt hierbei von dem augenblicklichen Wasservorrat des Bodens ab, der im Winter und Frühjahr bedeutender als im Sommer und Herbst ist. Von den Beharrungsständen in der Mosel treffen 91 % auf die wärmere Jahreshälfte Mai bis Oktober, wiewohl in diesen Zeitabschnitt gerade die größten Regenmengen fallen; solche Beharrungsstände können mehrere Wochen bestehen; sie werden im Winter schon durch eine mittlere tägliche Regenhöhe von 1 mm, im Sommer von 2—3 mm unterhalten.

Die Nebenflüsse des Rheins nach seinem Eintritt in das Tiefland zeigen in den Sommer- und Herbstmonaten, dann aber oft viele Wochen lang, beharrende Wasserstände bei geringen Abflußmengen, welche in der Sieg nicht über 10 cbm betragen, in der Ruhr gewöhnlich zwischen 15 und 25 cbm und in der Lippe zwischen 10 und 15 cbm schwanken.

Die größeren, nicht periodischen Anschwellungen in den Nebenflüssen des Rheins aus den Mittelgebirgen entstehen fast immer infolge von raschem, durch warme Regen beschleunigten Schneeabgang über gefrorenem oder stark durchtränktem Boden, selten durch längere Zeit andauernde bedeutende Regenfälle, die aber nur ausnahmsweise ein größeres Gebiet gleichzeitig betreffen. Gleichwohl haben, wie die Entstehung der ungeheueren Flutwellen im Neckar und in der Mosel von 1824 X—XI beweisen, auch gewaltige Regenfälle ohne bemerkenswerten Schneeabgang, wenn sie in der kühleren, also abflußreicheren Jahreszeit aufgetreten sind, zu außergewöhnlich hohen Wasserständen geführt. Im Neckar treffen noch etwa $\frac{1}{5}$ aller größeren Anschwellungen auf die wärmere Jahreshälfte; in den nördlicher und westlicher liegenden Gebieten werden mit der Annäherung an die See die Anschwellungen im Sommer immer seltener; in den Nebenflüssen des Rheins aus dem niederdeutschen Tieflande kommen nur mehr Winterhochwasser vor. Der verhältnismäßige Abfluß im Verlaufe der Anschwellungserscheinungen ist natürlich äußerst wechselnd, nimmt, wie leicht erklärlich, mit dem Anwachsen der Stärke der Überregnung selbst zu, so daß, da dann auch die Luft meist sehr feucht und die Verdunstung gering wird, bei längerdauernder starker Überregnung nahezu die Gesamtregenmenge oberirdisch abfließt.

In den Nebenflüssen des Rheins aus dem Schwarzwald und den Vogesen entstehen Anschwellungen meist infolge der fast regelmäßigen Spätjahrsregen; sie sind jedoch selten belangreich; größere Hochwassererscheinungen treten gewöhnlich nur dann auf, wenn — wie in den Jahren 1833—34, 1836, 1849, 1850, 1862, 1867, 1877, 1882 — über gesättigtem oder hartgefrorenem Boden bei plötzlich einfallendem Tauwetter mit stärkerem, anhaltenden Regen eine namhafte Schneelage abgeht, ausnahmsweise auch, wie 1896, durch 3 bis 4 Tage andauernde, äußerst starke Überregnung.

Das Steigen beginnt bei der geringen Durchlässigkeit des Gebietes und der ansehnlichen Geländeneigung gewöhnlich bald nach Regenbeginn; im Sommer dagegen oder bei mächtiger Schneelage können die ersten, selbst ausgiebigen Regenfälle ohne namhafte Wirkung auf den Abfluß bleiben. Der Verlauf der Anschwellungen ist meistens außerordentlich rasch; der höchste Stand tritt im Unterlaufe der Flüsse innerhalb der ersten 24 Stunden des Ansteigens, selten schon nach wenigen Stunden oder später als nach zwei Tagen ein. Bemerkenswert sind in dieser Hinsicht insbesondere die Abflußverhältnisse bei der Rench, wo die oft sehr ausgiebigen Regenfälle im Ursprungsgebiete (Kniebis) schon nach wenigen Stunden raschen Anschwellens einen Hochwasserstand veranlassen können. Bei der Ill tritt der Hochstand gewöhnlich erst 2 bis 2 $\frac{1}{2}$ Tage nach Beginn des Steigens in Straßburg ein; da die ungemein lebhaften Anschwellungen der Breusch bis dahin meistens abgelaufen sind, erreichen die Illhochwasser selten schädliche Höhen. Überdies werden schon bei Erstein gegen 200 cbm der Hochwassermenge durch den Kraftkanal dem Rhein zugeführt.

Als bedeutendste Hochwasser der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts erscheinen fast ausnahmslos nur solche aus der kühleren Jahreszeit — namentlich aus den Monaten Dezember bis März. Die dabei bisher bekannt gewordenen größten Abflußmengen werden in runden Zahlen angegeben*):

bei der Wiese	zu 500 cbm	
» » Elz	» 550 »	
» » Dreisam	» 260 »	
» » Kinzig	» 1200 »	
» » Rench	» 300 »	
» » Murg	» 700 »	
» » Ill	» 450 »	(oberhalb des Ill-Hochwasserkanales).

Die genannten Höchstmengen sind jedoch bisher keineswegs gleichzeitig zur Geltung gekommen — selbst nicht 1896 Ill, als in den meisten der Schwarzwaldflüsse der bis dahin bekannte Höchstabfluß überschritten worden ist; namentlich bei den Anschwellungen der wärmeren Jahreszeit bleiben die Höchstabflußmengen gewöhnlich wesentlich hinter den angegebenen zurück.

Der Rückgang der Anschwellungserscheinungen geht rasch von statten, so daß die Hochwasserdauer an einer

*) Beiträge zur Hydrographie des Gr. Baden. VIII. Heft. Karlsruhe 1893.

Stelle des unteren Laufes nur 1 bis 4 Tage, längs des ganzen Flußlaufes selten über 8 Tage umfaßt. Insbesondere in der Kinzig treten die Anschwellungen nicht immer im ganzen Flusse gleichzeitig und mit gleicher Stärke auf.

Die Zulaufzeiten der Schwarzwald-Vogesenflüsse können nach den genaueren Aufzeichnungen, welche seit 1886 über deren Verlauf gesammelt worden sind, für die Flußstrecken zwischen den angegebenen Beobachtungsstellen und der Mündung in den Rhein angenommen werden:

bei der Kinzig zwischen Schwaibach und der Mündung 6—12 Stunden
 „ „ Ill „ Kogenheim „ „ 12—30 „
 „ „ Murg „ Weisenbach „ „ 6 „

Im allgemeinen trifft bei annähernd gleichzeitig erfolgtem Anstoße zur Anschwellungsbewegung der Wellenscheitel der Wiese 2 bis 3 Stunden vor jenem der Murg und 5 bis 6 Stunden vor dem Kinzigscheitel an der Mündung ein. Die Murgwelle erreicht den Rhein etwa 3 Stunden vor der Kinzig.

Im Neckar erscheinen entweder oberer Neckar und Enz-Nagold für sich oder in Verbindung mit den Gewässern des schwäbischen Beckens, dem Kocher und der Jagst, an den Anschwellungsbewegungen vorwiegend beteiligt. Bei Anschwellungen im Gefolge allgemeiner Überregnungen, durch welche natürlich die niederschlagsreicheren Abschnitte des Neckargebietes im Schwarzwald und auf der Alb hauptsächlich betroffen werden, während die in das schwäbische Becken fallenden, größtenteils im Regenschatten des Schwarzwaldes befindlichen Gebietsabschnitte weniger Wasserzugang erhalten, werden die Abflußmassen aus dem Oberlaufe des Neckar in der Regel vorherrschen. Bei den Hochwassererscheinungen, veranlaßt durch Witterungsumschlag mit Tauwetter und Schneeabgang dagegen können recht wohl auch Kocher und Jagst gleichzeitig hervorragend mitbeteiligt sein; in solchen Fällen ist die Flutbewegung dann eine mehr allgemeine, wenn auch wegen des meist ungleichzeitigen Zusammentreffens der Einzelwellen, die Hochwassererscheinung im Unterlaufe des Flusses keineswegs notwendig mächtiger wird, als bei den starken Überregnungen.

Die Abflußverhältnisse im oberen Neckar bedingen, daß die Anschwellung in der Regel am gleichen Tage, wie die Überregnung einsetzt und daß das Steigen fast gleichzeitig längs des ganzen Neckarlaufes bis herab nach Plochingen beginnt. Der Höchststand kommt meist erst 24 Stunden nach den stärksten Niederschlägen, dann aber ebenfalls fast gleichzeitig zustande. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Enz und Nagold, dem Kocher und der Jagst. Hierwegen ist ein tatsächliches Vorrücken der Anschwellungen nur selten zu bemerken. Die Scheitelbildung tritt im Unterlaufe der Gewässer häufig schon ein, während die Welle aus dem oberen Flußabschnitte erst im Anwachsen begriffen ist. Die aus einigen genau beobachteten Anschwellungserscheinungen, bei welchen nach Lage der Umstände eine wirkliche Fortschrittsdauer festzustellen war, abgeleiteten mittleren Zulaufzeiten sind:

für den Neckar:		für die Enz:	
Oberndorf—Horb . . .	3,0 Stdn.	Pforzheim—Enzweihingen	6,0 Stdn.
Horb—Tübingen . . .	3,5 „	Enzweihingen—Besigheim	4,0 „
Tübingen—Plochingen .	3,5 „	Besigheim—Diedesheim	5,5 „
Plochingen—Besigheim .	6,0 „	für den Kocher:	
Besigheim—Heilbronn .	7,5 „	Gaiddorf—Neuenstadt	10,0 „
Heilbronn—Diedesheim .	3,0 „	Neuenstadt—Mündung	1,5 „
		Mündung—Diedesheim	2,5 „
Diedesheim—	350 cm 12 Stdn.	für die Jagst:	
Neckarmündg.	400 „ 11 „	Crailsheim—Möckmühl	11,0 „
bei Wasserstdn.	700 „ 10 „	Möckmühl—Mündung	2,5 „
zu Diedesheim	800 „ 12 „	Mündung—Diedesheim	2,0 „
bis zu	850 „ 14 „		

Die Neckarwelle schreitet hiernach von Plochingen bis Diedesheim durchschnittlich in 11,5 bis 12 Stunden, die Enzwelle von Pforzheim bis Diedesheim in 15 Stunden, die Kocherwelle in 14 Stunden, die Jagstwelle in 15 Stunden bis Diedesheim vor. Neckaranschwellungen unter der Überflutungshöhe legen in der unteren Flußstrecke — von Diedesheim bis zur Mündung — durchschnittlich 8,3 km in der Stunde, hohe, überflutende Neckarwellen 5,5 km in der Stunde zurück.

Als bedeutende Anschwellungen mit Eintritt einer allgemeinen Überflutung sind solche von 450 cm bei Heilbronn zu betrachten. Überschwemmungsgebiete in größerer Ausdehnung bestehen zwischen Rottenburg und Tübingen, Plochingen und Cannstatt, Heilbronn und Jagstfeld; auch im Kocher- und Jagstgebiete. Die Überflutungshöhe liegt für den oberen Neckar bei 330 cm Plochingen, für die Enz bei 190 cm Pforzheim, für den Kocher bei 250 cm Gaiddorf und für die Jagst bei 200 cm Crailsheim. Die bei bordvollem Gerinne abgeführten Wassermassen wurden ermittelt zu 290 cbm im oberen Neckargebiete, 150 cbm im Enzgebiete, 170 cbm im Kocher- und 80 cbm im Jagstgebiete.

Die Gleichzeitigkeit der Entstehung der Anschwellungen in den einzelnen Gebietsabschnitten bewirkt, daß die im oberen Neckar sich bildenden Wellen in der Regel vom Niederstande aus ziemlich stetig anwachsen und nach kurzdauernder Scheitelbildung in gleicher Art abnehmen. Ähnlich entstehen auch in der Enz, im Kocher und in der Jagst nach einmaliger stärkerer Überregnung meistens Anschwellungen mit einem Scheitel. Die Vereinigung aller dieser Wellen im Neckar erfolgt indes nur zeitweise derart, daß auch hier eine Scheitelbildung hervorgeht. Bei Annahme eines gleichgroßen Abflusses von der Flächeneinheit ergibt sich zwar für die Hauptmasse des abfließenden Wassers, die namentlich aus dem oberen Neckar und der Enz herabkommt und um die 16. Stunde nach dem stärksten Regenfalle in Diedesheim eintreffen müßte, nur ein Scheitel; allein die Regenverteilung bewirkt nicht selten, daß namentlich die fast 6 Stunden früher aus dem Kocher und der Jagst und noch teilweise aus dem unteren Enzgebiet gelieferte Wassermenge dem späteren Abflusse gleichkommen oder ihn sogar überreffen kann, daß somit entweder ein Doppelscheitel entsteht oder das Anschwellungsmaximum im unteren Neckar schon etwa 12 Stunden nach der Hauptüberregnung eintritt. Unterhalb der Jagstmündung verlaufen die Anschwellungen ohne bemerkenswerte Unterbrechung bis Mannheim; hier wird indes das Eintreffen der Neckar-

scheitel an der Mündung durch das gleichzeitige Verhalten des Rheinstandes mit bedingt und der genaue zeitliche Verlauf der Anschwellungen nur durch besondere Untersuchung des Zeitpunktes gefunden, wann die stärkste Erhöhung der Rheinwelle durch den Neckar stattfindet.

Im Main entstehen die Anschwellungen in den oberen und unteren Gebietsabschnitten fast gleichzeitig, da Witterungsumschlag und Überregnung sich meist von Süden und Südwesten her über das ganze Einzugsgebiet von der Tauber bis zum Obermain verbreiten. Der Eintritt der Anschwellungsbewegung erfolgt schon bald nach Regenbeginn; doch verstreichen gewöhnlich 1 bis 2 Tage nach der stärksten Überregnung, bis der Höhepunkt im Wasserstande eintritt. Zur Entstehung größerer, die Hochwassergrenze überschreitender Anschwellungen sind Regenfälle erforderlich, die im Winter durchschnittlich 10 bis 15 mm, im Sommer 25 bis 30 mm täglichen Niederschlag liefern. Bei gefrorenem Boden oder bei gleichzeitigem Schneeabgang haben schon 5 mm mittlerer Regenhöhe bedeutende Anschwellungen veranlaßt. Zuzufolge der Gliederung des Flußsystems in zwei Gruppen von größeren Nebenflüssen — getrennt durch eine verhältnismäßig lange Strecke ohne wesentlichen Wasserzugang — entstehen daher im oberen und unteren Mainlaufe zu annähernd der nämlichen Zeit in den meisten Fällen zwei Anschwellungen, von denen die erste, aus Saale und Tauber hervorgegangen, oft schon an der Mainmündung ankommt, während die Flutwelle vom Obermain und der Regnitz noch weit oben unterwegs ist und etwa 48 bis 60 Stunden später in Mainz eintrifft. Die Hochwassererscheinungen treten demzufolge im Main fast immer in der ganzen Länge des Flusses gleichzeitig auf und die Einwirkung der Nebenflüsse macht sich gewöhnlich nur in einer zeitlichen Verschiebung des Höchststandes geltend. Sehr häufig veranlaßt die vom Obermain und der Regnitz herabkommende Welle die Haupterhebung, während die vorausgehenden Anschwellungen aus der Saale und Tauber entweder selbständige Scheitel bilden oder mit dem Obermainscheitel zusammentreffen. Je nach der Regenverteilung wird die eine oder andere Art des Zusammentreffens gegeben sein; nur in seltenen Fällen, wenn die Einzugsgebiete von Saale und Tauber etwa 2 Tage später als die oberen Abschnitte des Maingebietes überregnet werden, ist eine wesentliche Erhöhung des Obermainscheitels durch die unteren Nebenflüsse zu erwarten. Die Zulaufzeiten der Mainanschwellungen sind eingehend ermittelt worden; sie betragen für die Obermainwellen von ihrer Vereinigung mit der Regnitz bis Würzburg gegen 35 Stunden, bis zur Taubermündung 54 Stunden und bis zur Mainmündung 87 Stunden.^{*)} Die Anschwellungserscheinungen entfallen im Main zumeist (90 %) auf die kältere Jahreszeit — 13 % sind im Dezember, 21 % im Januar, 28 % im Februar und 20 % im März abgelaufen. Während der eigentlichen Sommermonate

^{*)} Genauere Angaben finden sich im VI. Hefte der Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. Berlin 1901.

sind seit Beginn der regelmäßigen Aufzeichnungen nur 2 größere Anschwellungen eingetreten. Die Dauer der Überflutung erreicht im oberen Maingebiete 2 bis 6 Tage, in der Maiebene unterhalb Aschaffenburg dagegen 6 bis 12 Tage. Als höchste eisfreie Anschwellungen des Mains im letzten Jahrhundert werden die beiden Fluterscheinungen von 1845 III und 1882 XI bezeichnet; die größte sekundliche Abflußmenge, welche der Fluß bei diesen Hochwassererscheinungen geführt hat, sind bei Frankfurt zu rund 2600 cbm ermittelt worden. Bei gewöhnlichen Hochwasserständen (etwa 550 cm Miltenberg) überschreitet die Abflußmenge des Mains dagegen selten 1800 cbm.

Anschwellungen treten in der Nahe wie in den übrigen Mittelgebirgsflüssen vorwiegend in der kälteren Jahreszeit, namentlich in den eigentlichen Wintermonaten ein, gleichwohl sind außergewöhnliche Hochwasser schon inmitten des Sommers abgelaufen. Starke Regenfälle oder rascher Abgang der im gebirgigen Teile des Einzugsgebietes zeitweise lagernden ungewöhnlich großen Schneemassen führen oft in wenigen Stunden gewaltige Flutwellen herbei. Das bedeutendste bisher festgestellte Hochwasser ist am 23. Januar 1890 mit einem Höchststande von 695 cm zu Kreuznach eingetreten. Der gleichzeitige Höchstabfluß kann zu rund 1300 cbm angenommen werden; indes hatte der Hochstand im November 1882 eine fast gleiche Höhe (690 cm) erreicht. Bei dem starken Gefälle des Flusses und dem meist hohen Ufergelände, welches ausgedehnte Überflutungen nicht zuläßt, ist der Gesamtverlauf der Anschwellungen gewöhnlich äußerst kurz; die Dauer der hohen Wasserstände hat seither selten über 24 Stunden betragen. Die größeren Naheanschwellungen legen die Flußstrecke von Kreuznach bis zur Mündung in 5 bis 6 Stunden zurück.

In der Lahn stellen sich die höheren Anschwellungserscheinungen nach den bisher vorliegenden Aufzeichnungen fast nur in der kälteren Jahreszeit ein; die gewöhnliche Veranlassung ist dann auch hier rascher Abgang einer mehr und minder mächtigen Schneedecke über gefrorenem oder durchtränktem Boden. Der Eintritt des Hochstandes erfolgt in den bei weitem meisten Fällen in der unteren Flußstrecke — unter der Einwirkung der Dill — fast gleichzeitig und wohl selbst früher, als in der oberen; im allgemeinen kann angenommen werden, daß der höchste Wasserstand hier 24 bis 36 Stunden nach dem Eintreten der starken Überregnung erreicht wird. Die größten, bisher aufgezeichneten Hochwassererscheinungen in der Lahn sind in der oberen Flußstrecke im Januar 1879, in der unteren im Januar 1841 aufgetreten. Die gleichzeitigen Höchststände haben in Gießen 470 cm, in Diez über 700 cm erreicht. Die größte Abflußmenge — bei einem Lahnstand, der etwa 50 cm unter dem Hochwasser von 1841 geblieben ist —, hat 750 cbm betragen. Die Abflußmenge bei den größten Fluterscheinungen bleibt daher in der Lahn — ungeachtet des ausgedehnten Einzugsgebietes — nicht unerheblich hinter dem Höchstabflusse der Nahe zurück. Die umfangreichen Überflutungsgebiete im Oberlaufe der

Lahn ermöglichen, daß hier größere Wassermengen auf längere Zeit zurückgehalten werden können; ebenso trägt das meist ungleichzeitige Eintreffen der Lahn- und Dillhochwasser wesentlich zur Abschwächung der Anschwellungen in der unteren Lahn bei.

Die Anschwellungen in der Mosel sind meistens — in 90% aller seither beobachteten Fälle — Hochwasser der kälteren Jahreszeit und auf den Abgang größerer Schneemassen bei Überregnungen zurückzuführen; durch Regenfälle ohne Schneeabgang sind nach den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen nur ausnahmsweise Hochwasser in der Mosel entstanden. Von den größeren Anschwellungen treffen mehr als 25% in den Januar, im August dagegen hatte die Mosel in keinem Falle einen höheren Wasserstand. Namentlich die obere Mosel und die Meurthe sowie die Saar zeigen häufige Anschwellungen. Bei der Nachbarschaft der Ursprungsgebiete jener Gewässer erfolgt der Anstoß zur Anschwellungsbewegung fast immer gleichzeitig, wenn auch in wechselnder Stärke. Das Anschwellen beginnt in der oberen Mosel und Meurthe etwa einen Tag nach den ersten kräftigen Regenfällen, der Höchststand tritt 1 bis 2 Tage nach der stärksten Überregnung ein; ähnlich entsteht auch der Scheitel der Saaranschwellung zu Saargemünd 1 bis 2 Tage nach dem Regenmaximum.

Die Anschwellungen aus der oberen Mosel und Meurthe erreichen die Sauer-Saarmündung nach durchschnittlich 36 Stunden; die Saarwelle gelangt von Saargemünd aus schon nach 16 Stunden dahin. Die zeitliche Aufeinanderfolge im Eintreffen der Anschwellungen aus Mosel und Saar ist zwar im allgemeinen nur wenig verschieden, dagegen sind die Wellenhöhen je nach der Regenverteilung einem großen Wechsel unterworfen; entweder bildet die gewöhnlich vorseilende Saarwelle oder die nachfolgende Moselwelle die Hauptherhebung. In selteneren Fällen sind beide gleich mächtig; es entsteht ein mehrfacher Scheitel oder es wird durch das Fallen der vorausgehenden und das Steigen der nachfolgenden Welle ein oft 36 bis 48 Stunden über Hochwasserhöhe — 450 bis 500 cm bei Trier, 500 bis 550 cm bei Cochem — verbleibender Wellenberg gebildet.

Bei der meist hohen Lage der Ufer in der unteren Mosel treten Überflutungen hier in kaum bemerkenswerter Ausdehnung auf; dagegen bilden die breiten und tiefliegenden Flußtäler an der mittleren Mosel, an der Meurthe, Seille und Orne stellenweise größere Überschwemmungsgebiete, die eine namhafte Wasserzurückhaltung und merkbare Abschwächung der Hochwasserwellen bewirken. An der Anschwellungshöhe der unteren Mosel ist die Saar in den meisten Fällen wesentlich beteiligt. Durch besondere Untersuchungen ist fest-

gestellt, daß ein Steigen der Saar (bei Saarburg im Rhld.) um 100 cm eine Hebung der Mosel zu Trier um 50 bis 60 cm veranlaßt, falls der Moselstand unter 200 cm Trier bleibt, dagegen um 40 bis 50 cm bei Moselhöhen zwischen 200 und 400 cm Trier*).

Die Fortpflanzung der Moselwellen von der Saarmündung zum Rhein erfolgt regelmäßig, nur hier und da durch gleichzeitig entstehende und darum meist vorseilende Anschwellungen der wasserreichen Bäche aus dem Hunsrück und der Eifel verstärkt. Im Durchschnitte legt der Scheitel der Moselwelle den Weg von Trier bis zur Mündung bei Moselständen von

300 bis 335 cm	in 22 Stunden
335 > 375	> > 21 >
375 > 425	> > 20 >
425 > 550	> > 19 >
550 > 590	> > 20 > zurück.

Die Mosel führt schon bei Anschwellungen, welche die Uferhöhe gerade erreichen, eine sekundliche Abflußmenge von etwa 2200 cbm dem Rhein zu. Bei der Hochwassererscheinung vom Oktober 1824, die ungefähr den Höhepunkt der durch Überregnung des Gesamtgebietes hervorgerufenen Abflußbewegung darstellt, ist eine sekundliche Höchstmenge von 3800 bis 4000 cbm ermittelt.

In den größeren Nebenflüssen des Rheins nach seinem Austritte in das niederdeutsche Tiefland treten Anschwellungserscheinungen fast ausschließlich in der kälteren Jahreszeit und zwar meistens unvermittelt auf und nehmen bei der Sieg und Ruhr in der Regel einen raschen Verlauf. Die Hochwasserwelle legt bei der Sieg 6 km, bei der Ruhr 7 bis 8 km in der Stunde zurück. Bei der Lippe ist des wesentlich geringeren Gefälles und der bedeutenden Ausbreitung der Anschwellungen wegen der Ablauf langsamer; der Scheitel der Lippehochwasser rückt nur wenig mehr als 3 km in der Stunde vor. Die höchste seither festgestellte Sieganschwellung ist am 24. November 1894 in Buisdorf eingetreten, hat 380 cm Höhe erreicht und eine sekundliche Höchstmenge von etwa 1000 cbm ergeben. Um jene Zeit sind auch in der Ruhr und Lippe die größten Anschwellungen seit verlässliche Aufzeichnungen vorliegen eingetreten. Eine mächtige Flutwelle hat die Ruhr am 25. November in Mülheim auf 669 cm Höhe, eine ebenfalls außerordentliche Anschwellung am nämlichen Tage auch die Lippe auf 680 cm in Dorsten gehoben.

*) VII. Heft der Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. Berlin 1905.