

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

Hochgebirgsflüsse

[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. Abflussmengen 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 weitaus 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 Verhältnis 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.

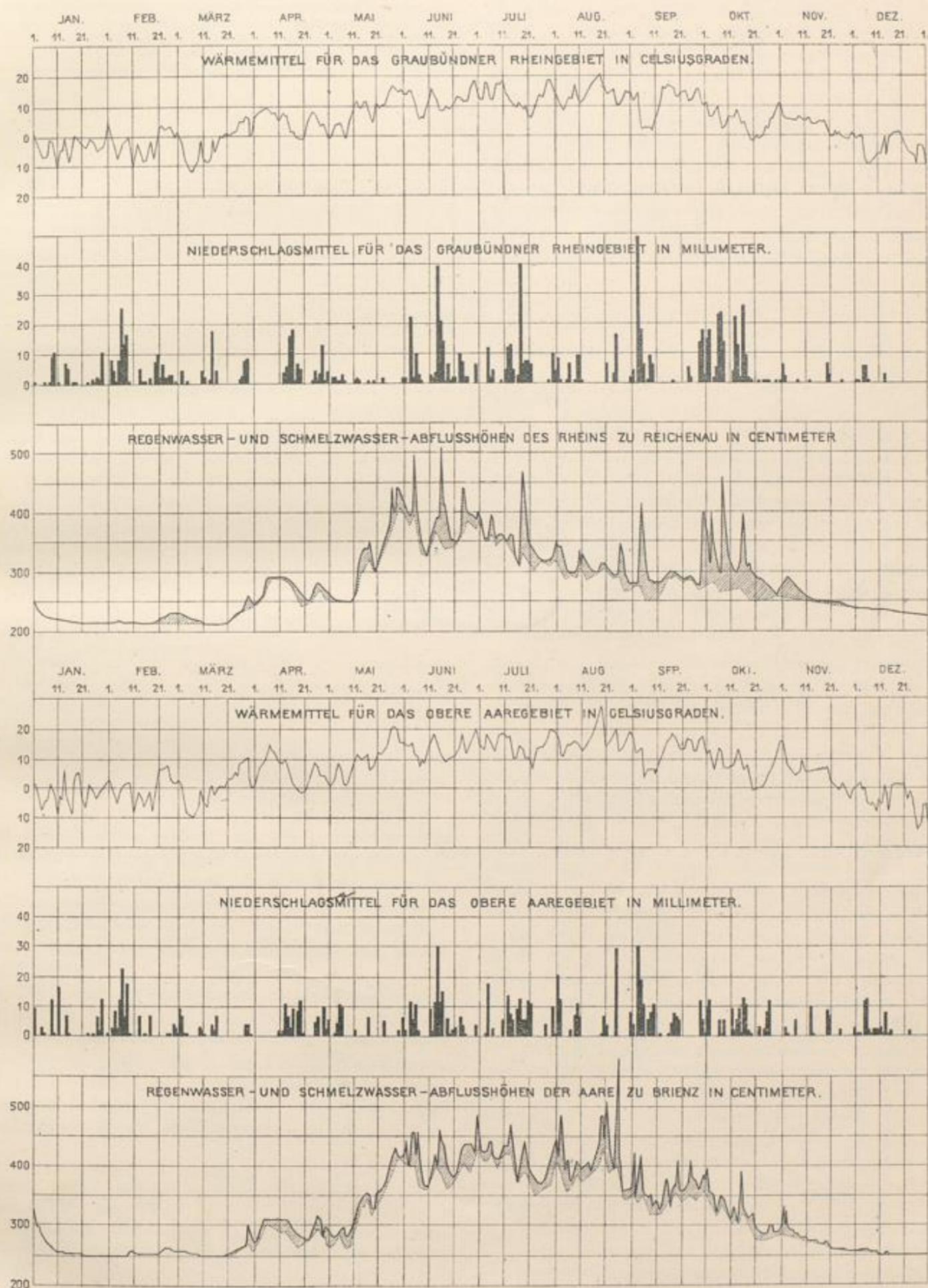
*) Nach Heim, Gletscherkunde S. 85.

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 Wasserstands-bewegung, 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.

Landesbibliothek
Karlsruhe

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 Abflubewegung 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 langgedauernde 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 ausgedehnteren 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.

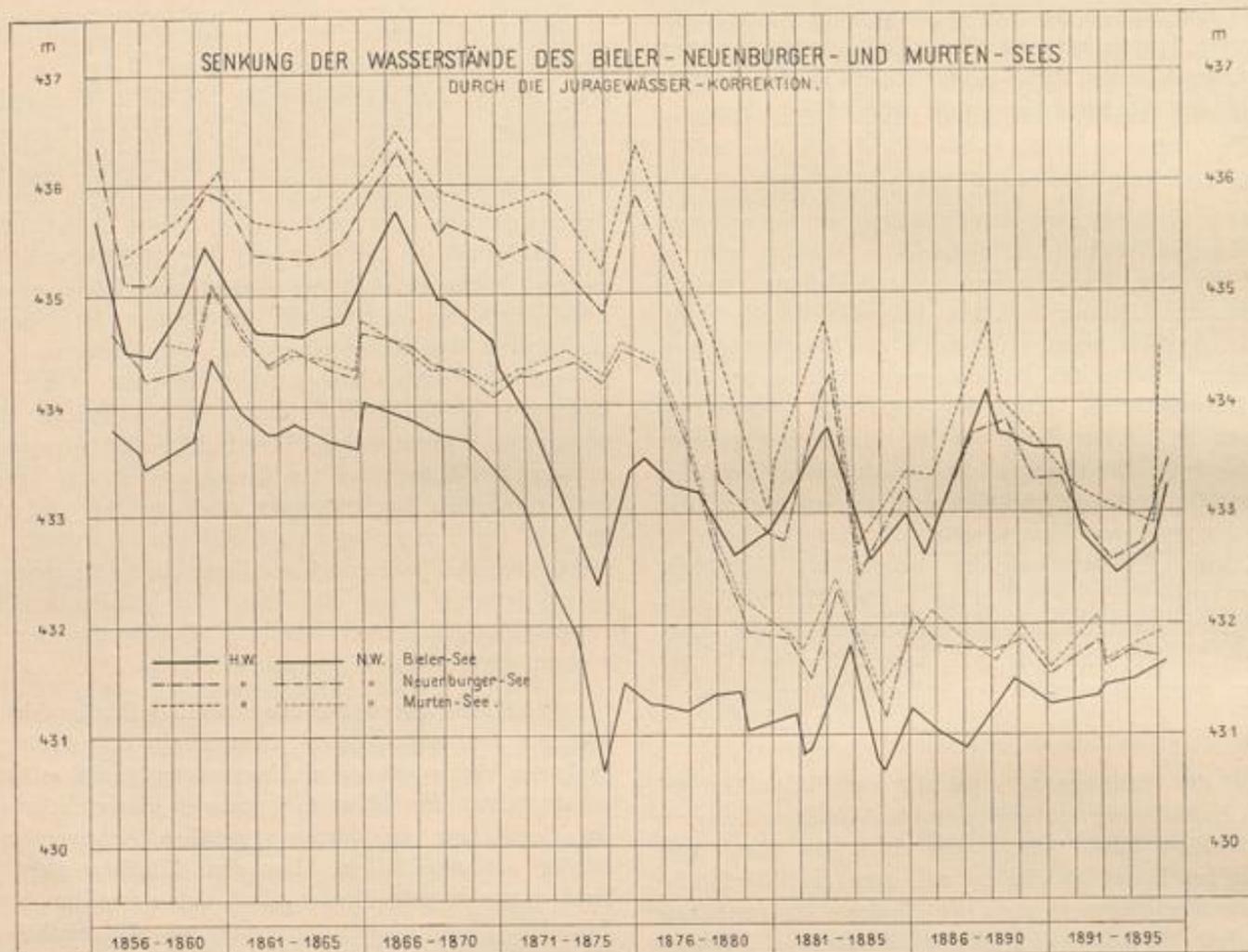
Die bemerkenswerteren Anschwellungen des Rheins zwischen Bodensee und Aaremündung, wie jene von

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-

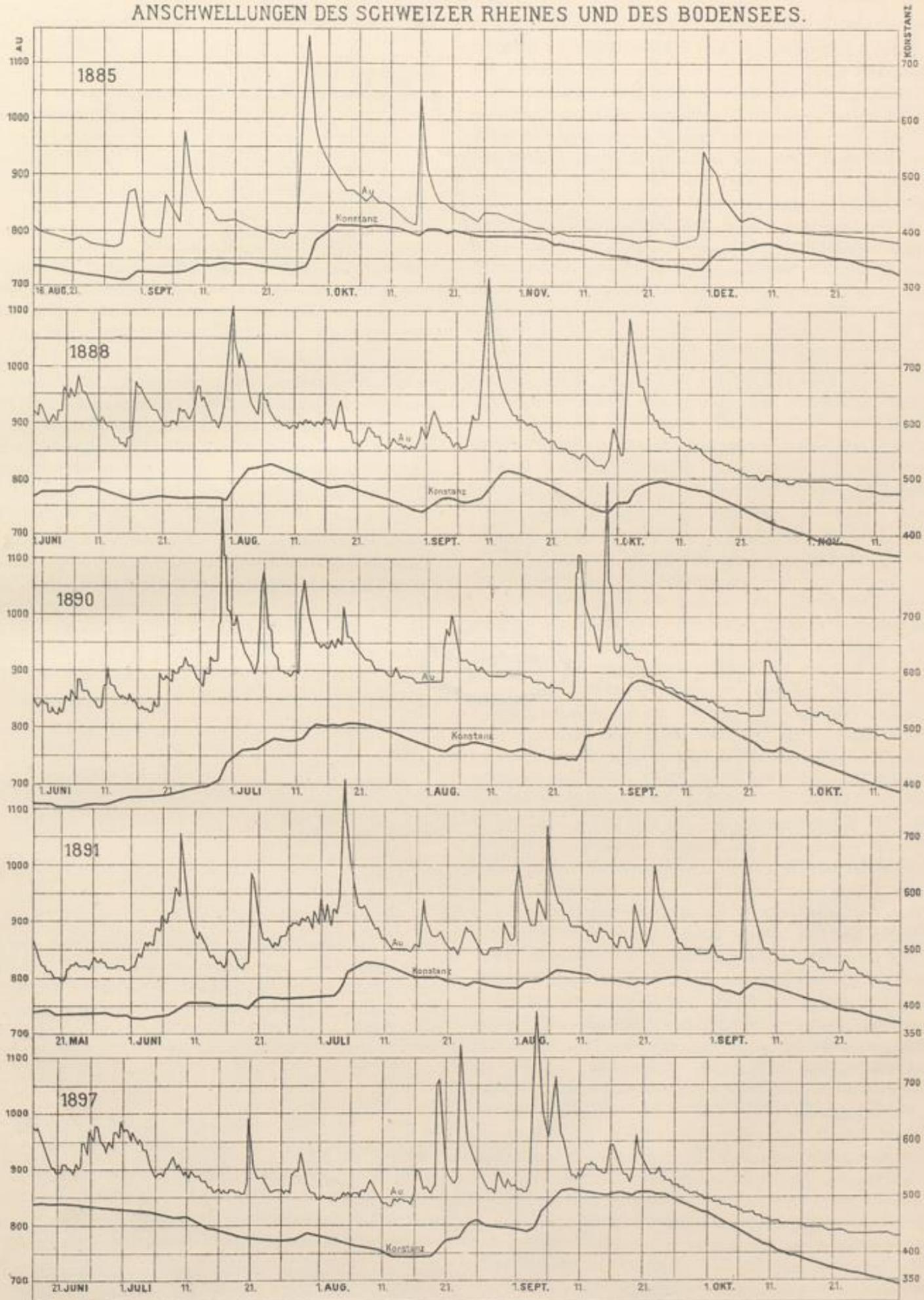


wiegend Abflüsse aus den niederschlagsreichen Diablerets und aus ihrem Vorlande der Aare zuführen, wird die Bewegung schroffer und die Wasserführung reichlicher — mit Schwankungen bis zu 500 cm bei Aarberg. Die Hochwasserwellen werden indes hier durch künstliche Ableitung nach den großen Juraseen aufs 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-