

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

Der Abflußvorgang im Rhein

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

Der Abflußvorgang im Rhein.

Allgemeine Umgestaltung des Abflußvorganges. Die in den oberen Abschnitten des Rheingebietes unter der vorherrschenden Einwirkung der Wasserlieferung des Hochgebirges und seiner Vorstufen beobachtete Abflußbewegung im Rhein mit ihren niedrigen Ständen in der kälteren Jahreszeit, dem allmählichen Anwachsen im Frühling, dem Höchststande um die Jahresmitte und der Wiederabnahme bis zum Winter, erfährt durch die Nebenflüsse aus den Mittelgebirgslandschaften mit nahezu entgegengesetztem Verhalten eine Umgestaltung in dem Sinne, daß die Niederwasserstände der kälteren Jahreszeit mehr und mehr gehoben werden, während die höheren Sommerstände eine wesentlich geringere Vergrößerung erfahren und stromabwärts sich über jene immer weniger erheben, um schließlich darunter zurückzubleiben. Die Umgestaltung wird durch die Schwarzwald-Vogesenflüsse eingeleitet, tritt nach der Aufnahme der großen Nebengewässer Neckar und Main deutlicher hervor und wird durch die Nahe, Lahn und Mosel vollendet; sie führt zu einem annähernden Ausgleich der Gegensätze zwischen der sommerlichen und winterlichen Wasserführung der Hauptabschnitte des Rheins und bildet die Ursache, daß im unteren Stromlaufe während der längsten Zeit des Jahres verhältnismäßig günstige Wasserstände herrschen — selbst dann, wenn die Nachbargebiete des Rheinstromes unter Wassermangel zu leiden haben. Hierbei folgen die niedrigen Wasserstände hauptsächlich der alpinen Wasserlieferung mit ihrer Stetigkeit und Nachhaltigkeit und werden durch diese beeinflusst, während in den hohen die gelegentlichen kurzdauernden Anschwellungen der Nebenflüsse des Mittelgebirges vorzugsweise zur Geltung kommen.

Der Abfluß an der Vereinigungsstelle der Hochgebirgsflüsse des Rheins — bei Waldshut — zeigt die Eigenarten jener Zuflüsse: verhältnismäßig großen Wasserreichtum in der wärmeren Jahreszeit verbunden mit Stetigkeit und Nachhaltigkeit in der Wasserlieferung; sie sind bekanntlich auf den bedeutenden oberirdischen Regenabfluß im Hochgebirge und in seinen Vorbergen, sodann aber auf die vorübergehende Wasserzurückhaltung durch die Gletscher

und Seen zurückzuführen. Die alljährlich auf das Einzugsgebiet des Rheins oberhalb Waldshut herabgehende Niederschlagsmenge darf im Mittel der Jahre 1891—1900 zu 39,2 Milliarden Kubikmeter*) angenommen werden. Die entsprechende mittlere jährliche Abflußmenge ist zu 27,0 Milliarden Kubikmeter berechnet; von der Niederschlagsmenge sind daher durchschnittlich 69% abgelaufen. Selbstverständlich ist aber der verhältnismäßige Abfluß von den Hochgebirgsflächen und namentlich von den Gletschern und Schneefeldern ein größerer, so daß von den übrigen Teilen des Einzugsgebietes, die den Vorbergen und Hochebenen zuzurechnen sind, sicher weniger als die Hälfte des Niederschlages oberirdisch abläuft.

An der Gesamtabflußmenge sind der Regenabfluß und der Gletscherabfluß wie folgt beteiligt:

	In Millionen Kubikmeter**)			Gletscherabfluß in Hundertteilen des Gesamt- abflusses
	Regen- abfluß	Gletscher- abfluß	Gesamt- abfluß	
Januar	1 286,6	24,4	1 311,0	2,1— 1,4
Februar	1 308,7	10,1	1 318,8	1,0— 0,4
März	1 710,6	16,2	1 726,8	0,4— 1,5
April	2 137,8	113,3	2 251,1	2,0— 7,2
Mai	2 537,0	423,5	2 960,5	8,4—17,6
Juni	2 400,5	1 039,1	3 439,6	23,4—35,0
Juli	2 184,9	1 230,9	3 415,8	39,3—35,8
August	2 146,5	880,9	3 027,4	32,2—27,6
September	1 954,9	597,7	2 552,6	26,3—17,8
Oktober	1 819,3	283,7	2 103,0	16,3— 8,0
November	1 436,7	114,1	1 550,8	7,7— 5,7
Dezember	1 308,0	50,5	1 358,5	5,2— 2,8

Bei der Bestimmung des Gletscherabflusses, der für die Gebiete des Graubündner Rheins, der oberen Aare, der oberen Reuß und der Linth im einzelnen schon berechnet und in der Zahlentafel 1 nach 5tägigen Mittelwerten zusammengestellt ist, war hier vor der Zusammenfassung

*) Der Betrag ist um 5,5% kleiner als das Mittel aus den 40 Jahren 1864 bis einschl. 1903.

***) Mittelwerte aus 1891—1900.

zu berücksichtigen, daß der Abfluß durch die größeren Seebecken im Zuge der genannten Gewässer eine Verzögerung durch vorübergehende Zurückhaltung erfährt; der Berechnung dieser Einwirkung auf den Abfluß sind die schon früher ermittelten Zeit- und Mengenverhältnisse zugrunde gelegt worden. Insgesamt sind im Jahresdurchschnitt 22,2 Milliarden Kubikmeter oder 83% dem Regenabflusse und nur 4,8 Milliarden Kubikmeter oder 17% den Abflüssen der Firne und Schneefelder zuzurechnen. Der Regenabfluß wächst von Januar ab rasch an, erreicht schon im Mai den Höchstbetrag und nimmt bis zum Winter wieder ab. Der Schmelzwasserabfluß dagegen, der im Februar nahezu auf Null herabgegangen und noch im April ziemlich geringfügig ist, wächst erst vom Mai ab, dann jedoch schnell an und erreicht das Höchstmaß im Juli, also zu einer Zeit, wann der Regenabfluß im Abnehmen begriffen ist. Die Zuflüsse aus den Gletschergebieten decken indes um jene Zeit den Ausfall an Regenabfluß, so daß im Juni und Juli der Rhein gleichwohl auf fast gleicher Höhe verbleibt.

Der Abfluß zu Waldshut erreicht den kleinsten Betrag im Januar mit 1311 Millionen Kubikmeter, den größten im Juni mit 3440 Millionen Kubikmeter. Als Monate geringen Abflusses mit fast übereinstimmenden Beträgen erscheinen Dezember, Januar und Februar, als solche bedeutenden Abflusses Juni und Juli, während Mai und August wieder etwas geringere, unter sich nahezu gleiche Mengen aufweisen. In den Monaten Mai bis August führt der Rhein bei Waldshut nahezu die Hälfte seiner jährlichen Wassermenge ab. Die Zunahme vom Winterminimum zum Sommermaximum und die Abnahme zum Winter erfolgen mit großer Regelmäßigkeit.

Die Umgestaltung der durch die Gewässer des Alpenlandes gekennzeichneten Abflußbewegung im Rhein beginnt zwar im allgemeinen mit der Aufnahme der Schwarzwald-Vogesenflüsse, doch zeigen, wie aus dem Vergleiche der monatlichen Abflußmengen zu Waldshut, Basel und Mannheim (Seite 10) folgt, die von den Südabhängen des Schwarzwaldes und von der gegenüberliegenden Schweizer Hochebene dem Rhein zufließenden Gewässer noch erkennbar das Verhalten der Nebenflüsse des Alpenlandes. Erst die Abflüsse der Westabdachung des Schwarzwaldes und der Ostabhänge der Vogesen führen in den Winter- und Frühlingsmonaten erhöhte Wassermengen zum Rhein, die geringsten dagegen im August oder September, und ähnlich verhalten sich der Neckar sowohl wie die weiter rheinabwärts zufließenden größeren Gewässer der deutschen Mittelgebirge.

Die Bedeutung der einzelnen wichtigeren Abschnitte des Rheingebietes sowohl für die Wasserführung des Stromes an sich als auch für die allmähliche Umgestaltung seiner Wasserstandsbeziehung soll in der nebenstehenden Tafel durch die fünftägigen Durchschnittswerte der Rheinabflußmengen zu Stein, Waldshut, Mannheim, Mainz *)

*) Für Mainz liegen erst vereinzelte Wassermengenmessungen vor; die angegebenen Werte mögen für die höheren Wasserstände wohl etwas zu groß sein.

und Cöln aus 1891—1900 dargestellt werden. Für Waldshut sind — durch eine punktierte Linie getrennt — die auf den Regenabfluß (unterer Abschnitt) und den Schnee- und Gletscherabfluß (oberer Abschnitt) treffenden Anteile gesondert dargestellt worden.

Die Diagramme zeigen vor allem den bedeutenden Einfluß der Wasserlieferung der im Oberrhein bei Waldshut vereinigten Hochgebirgsflüsse auf die gesamten Abflußverhältnisse des Stromes. Die aus jenen oberen Abschnitten des Rheingebietes herabkommenden Wassermassen sind am Gesamtabflusse zu Mannheim mit etwa 64% an jenem zu Mainz mit 55% und zu Cöln mit 46% beteiligt; indes wechselt, wie leicht verständlich, die Beteiligung im Laufe des Jahres ganz erheblich; sie erreicht beispielsweise zu Cöln im Hochsommer bis zu 62%, nimmt aber in den Wintermonaten bis auf 28% ab. Zum Wasserabflusse in Mannheim liefern die Zuflüsse des Rheins aus der Schweiz den höchsten Beitrag zwischen Juni und August mit 75% seiner Gesamtwasserführung, den geringsten im Januar mit kaum 43%.

Die Beteiligung der Nebenflüsse des Rheins aus den deutschen Mittelgebirgen an der allmählichen Umgestaltung der Oberrheinwelle geht zwar im allgemeinen aus der Gestaltsänderung der aufeinanderfolgenden Abflußkurven des Rheins hervor; doch kommen neben dem oberirdischen Zuflusse ein zeitweise nicht unbedeutender Sicker- und Grundwasserzufluß und jedenfalls auch Wasserverluste mit in Betracht. An dem Abflusse zu Mannheim nehmen die Schwarzwald- und Vogesenflüsse durchschnittlich mit 22%, der Neckar mit 14% teil; der Zufluß durch den Neckar wechselt zwischen einem Höchstwert von 23% im Februar und einem Mindestbetrage von 7 bis 8% im Hochsommer. Die Abflußmenge zu Cöln wird im Jahresdurchschnitt durch den Neckar um nicht ganz 8%, durch den Main um etwa 9% vermehrt. Die Beteiligung der Mosel darf zu 15%, mit einem Höchstbetrage von 27% im Januar, einem Mindestbetrage von 6% im Juli und August angenommen werden. In dem Maße, wie die Gesamtabflußmenge von Waldshut gegen Cöln hin zunimmt, vermindert sich die verhältnismäßige Beteiligung der einzelnen Glieder des Stromgebietes an dieser Menge. Die schließliche Abflußbewegung zu Cöln erreicht vorwiegend unter dem Einflusse der großen Mittelgebirgsflüsse ihre Höchstmenge im Februar-März, zu einer Zeit, wann die Zuflüsse aus der Schweiz auf das geringste Maß zurückgegangen sind, ihren Mindestbetrage dagegen im Spätherbst. Die sommerliche Anschwellung des Oberrheins macht sich in Cöln nur mehr als sekundäres Maximum, das jedoch der Hauptidehebung nicht viel zurücksteht, geltend.

Während bei Waldshut, wie gezeigt, die mittlere sekundliche Wasserführung des Rheins von rd. 500 cbm in den Wintermonaten auf 1500 cbm um die Jahresmitte anschwillt, bei Mannheim zwischen 900 in den Monaten Dezember-Januar und 1900 cbm im Juni sich bewegt, vollzieht sich die jährliche Schwankung bei Mainz innerhalb der gleichen Zeit zwischen dem Mindestbetrage von 1000 cbm und dem Höchstwerte von 2000 cbm. Zu Cöln ist eine mittlere kleinste Abflußmenge von 1200 cbm im

Dezember, eine größte von 2400 cbm im März zu beobachten. Die Abflußmenge erreicht hier im Juni gegen 2200 cbm. Im Oberrhein und bis herab gegen Cöln nimmt demnach die Wasserführung des Stromes vom Winter zum Sommer durchschnittlich um rd. 1000 cbm zu; bei Cöln dagegen fällt gewöhnlich der Meistabfluß in den Vorfrühling, so daß hier unter der Mitwirkung der großen Nebenflüsse des Mittelrheins die größte Schwankung sich um diese Zeit vollzieht und die bedeutendste Wasserführung schon zu beobachten ist, wenn der Oberrhein erst zu steigen beginnt.

Die mittlere jährliche Gesamtabflußmenge des Rheinstromes nimmt von 27 Milliarden Kubikmeter bei Waldshut auf 42 bei Mannheim, 49 bei Mainz zu und erreicht zu Cöln 58 Milliarden Kubikmeter.

Der Abfluß von den Schnee- und Firnflächen des Schweizer Rheingebietes umfaßt bei Mannheim nur mehr 11,4%, bei Cöln 8,3% der an diesen Stromorten überhaupt abfließenden Wassermenge; er ist hierwegen im Hinblick auf die Wasserführung des Rheins nicht erheblich, gewinnt aber wesentlich an Bedeutung für die unteren Stromabschnitte, weil er in der Hauptsache gerade dann am meisten zur Geltung kommt, wann der Mittel- und Niederrhein durch seine großen Nebenflüsse aus den Mittelgebirgen verhältnismäßig geringen Zufluß erhält.

Im Wasserhaushalte des Gesamtstromgebietes spielt der Oberrhein*) wegen seiner Wasserfülle und der Stetigkeit der Wasserlieferung entschieden die wichtigste Rolle; er bleibt während der längsten Zeit des Jahres maßgebend für den Wasserabfluß auch in den unteren Abschnitten des Rheins, zu welchem er in der wärmeren Jahreszeit 70 bis 80% beisteuert. Nur in den Wintermonaten und im Vorfrühling wird zeitweise — doch nicht immer gleichzeitig — der Abfluß aus den Nebengewässern der Mittelgebirge so bedeutend, daß dieser den wesentlicheren Teil der Wasserführung des Niederrheins ausmacht; aber auch dann geht der Anteil des Oberrheins an der Gesamtwasserführung des Stromes nur selten auf kurze Zeit unter 40% herab.

Die mittleren jahreszeitlichen Schwankungen in der Wasserführung des Rheins nehmen im allgemeinen mit dem allmählichen Anwachsen des Stromes zu, so daß die

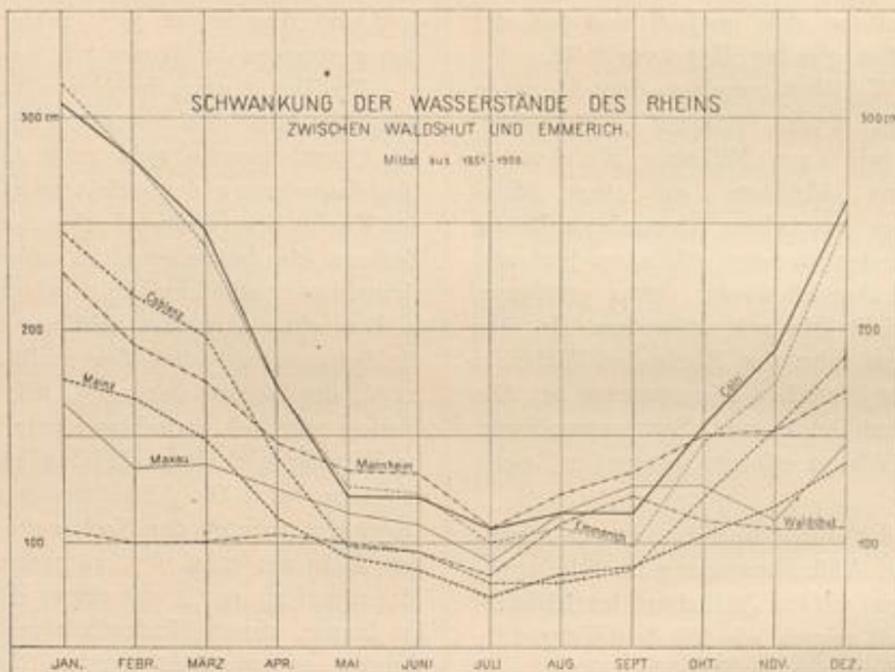
*) Hier in der allgemein üblichen Weise bis zur Neckarmündung gerechnet.

Unterschiede zwischen den Höchst- und Tiefständen in den oberen Stromabschnitten kleiner sind, als in den mittleren und unteren. Insbesondere sind die Schwankungen am größten in der kühleren Jahreszeit, dagegen mehr gleichartig zwischen Mai und September. Die als Mittelwerte der 50jährigen Beobachtungsreihe 1851—1900 abgeleiteten Unterschiede des höchsten und niedrigsten Rheinstandes erscheinen, wie aus der nebenstehenden Figur hervorgeht, zwischen Waldshut und Kehl ziemlich gleichbleibend im Laufe des ganzen Jahres; im Winter liegen sowohl die kleinsten wie die höchsten Monatswasserstände wegen der Wasserzurückhaltung in den obersten Gebietsabschnitten meistens niedrig, in den Sommermonaten wegen der gleichförmigen Speisung durch die Gewässer der Alpen und des Alpenvorlandes verhältnismäßig hoch. Mit der Aufnahme der großen Mittelgebirgsflüsse — insbesondere zwischen

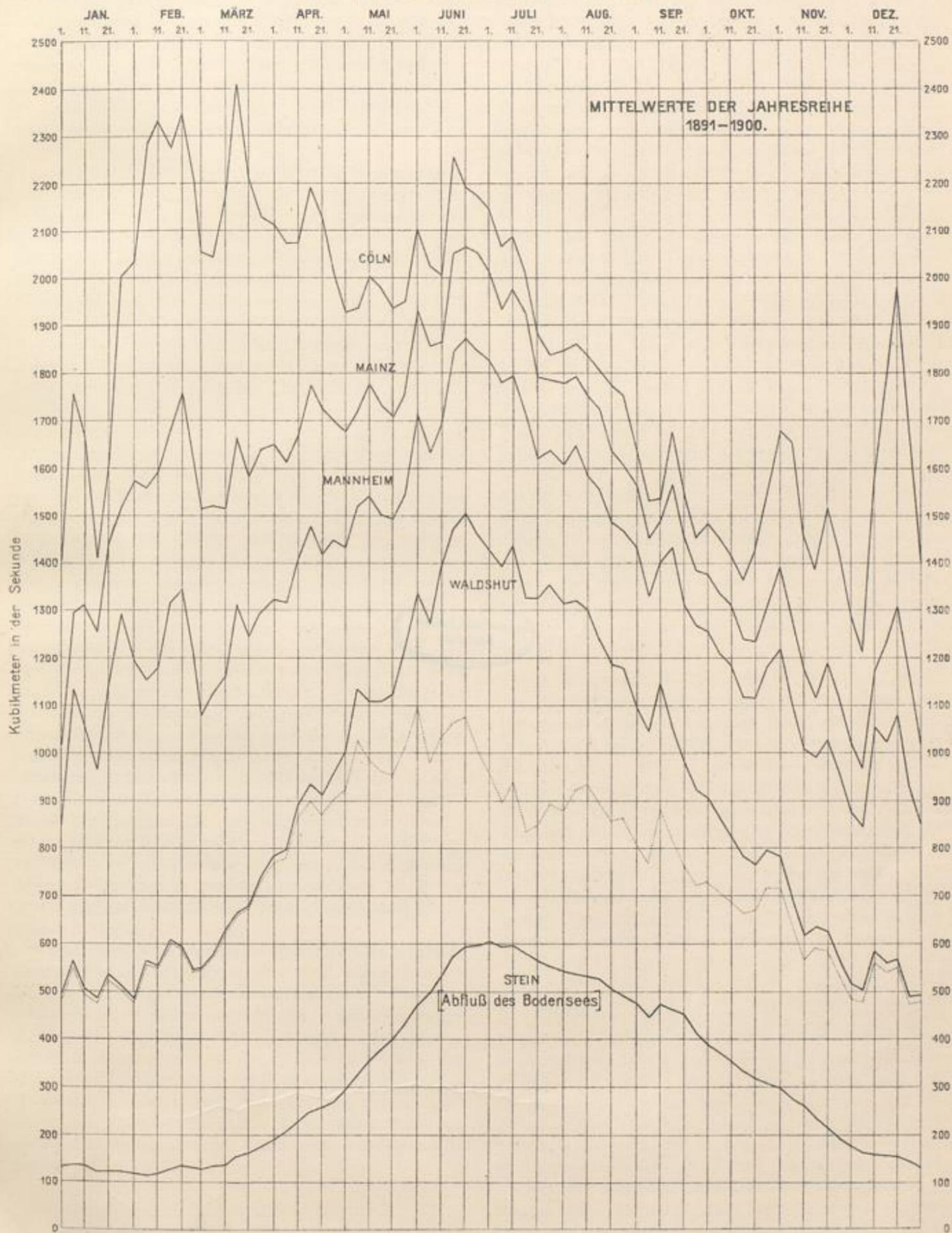
Mannheim und Coblenz — nehmen sodann die Unterschiede der Höchst- und Tiefstände in der kälteren Jahreszeit viel mehr zu, als in der wärmeren; die größten Verschiedenheiten bestehen für die Stromorte des Niederrheins.

Außer dem vorerwähnten jahreszeitlichen Wechsel unterliegt die Wasserführung des Rheins auch einer mehr allgemeinen Änderung mit wesentlich größerer Amplitude, die man als »sekulare Schwankung« im Abflusse zu bezeichnen und auf ebensolche Wechsel vorherrschend niederschlagsreicher und niederschlagsarmer Zeiträume zurückzuführen pflegt. Namentlich kommen diese, von allgemein nasser oder trockener Witterung herrührenden Hebungen und Senkungen des Wasserstandes in den niedrigen Rheinständen, welche dafür, wie leicht erklärlich am empfindlichsten sind, zur Geltung; doch zeigen auch die mittleren Wasserstände noch deutlich einen solchen Einfluß, wofern man sie von den zufälligen, durch die Bewegungen der Stromsohle veranlaßten Unregelmäßigkeiten befreit. Als besonders nasse Zeiträume im Rheingebiete erscheinen die Jahre zwischen 1806 und 1810, zwischen 1836 und 1855 und 1870 bis 1885. Bemerkenswerte Trockenzeiten bestanden zwischen 1826 und 1835, 1856 und 1870 und seit 1891. Die letzte Periode dauert noch bis zur Gegenwart an, scheint sich jetzt aber ihrem Abschlusse zu nähern; denn in dem Wechsel nasser und trockener Zeiten läßt sich unschwer die 1890 von Brückner nachgewiesene, etwa 35jährige Periode erkennen*). Im

*) Brückner E., Klimaschwankungen seit 1700. Wien 1890.



FÜNFTÄGIGE MITTEL DER SEKUNDLICHEN ABFLUSSMENGEN DES RHEINS
ZU STEIN, WALDSHUT, MANNHEIM, MAINZ UND CÖLN.



Landesbibliothek
Karlsruhe

allgemeinen kommen regenreiche Sommer wie 1875, 1879 und insbesondere 1882 und 1888 in der Wasserführung des Rheins weniger zur Geltung, als nasse Winter, unter denen in den letzten fünfzig Jahren namentlich jene von 1860, 1867, 1877, 1879, 1888, 1892 und 1900 hervorzuheben wären. Außergewöhnlich nasse Sommermonate haben indes zweifellos höhere Oberrheinstände zur Folge.

Der in der Wasserführung des Rheins beobachtete Gegensatz in dem Verhalten der oberen und unteren Abschnitte des Stromes besteht nicht allein im großen ganzen der Abflußbewegung; er ist in den meisten Einzelercheinungen zu bemerken und erklärt die Seltenheit der Entstehung ungewöhnlich niedriger und hoher Stände, die sich über das Gesamtstromgebiet ausbreiten. In den oberen Abschnitten — soweit der unmittelbare Einfluß der Wasserlieferung des Hochgebirges reicht — gehören, wie schon erwähnt, niedrige Wasserstände meist der kälteren Jahreszeit an während andererseits die großen Nebenflüsse aus den deutschen Mittelgebirgen die niedrigen Stände im Sommer und Herbste zeigen. Allgemeine Niederwasserstände im Rhein können daher nur in jenen selteneren Fällen eintreten, wann zur Winterzeit oder im Vorfrühling unter der Einwirkung andauernd trockener und kalter Witterung der oberflächliche Abfluß auch in den Nebenflüssen des mittleren und unteren Rheins auf ein geringes Maß herabgeht oder wenn bei sehr regenarmer Herbstwitterung in den Mittelgebirgslandschaften oder bei schon begonnenen Schneefällen in den höheren Lagen des Sammelgebietes diese Nebenflüsse ungewöhnlich wasserarm werden. Immerhin sind sehr niedrige Wasserstände im Rhein schon ihrer Natur nach zugleich ausgebreitete Erscheinungen, die jeweils einen größeren Teil des Stromgebietes gleichzeitig umfassen — um so mehr, als die sie veranlassenden Frost- oder Trockenperioden selbst in der Regel weiter ausgedehnte Gebiete gleichzeitig beherrschen. Hohe Rheinstände sind zu allen Jahreszeiten beobachtet worden, gleichwohl sind die natürlichen Bedingungen für das Auftreten höherer Wasserstände im Oberrhein günstig nur im Sommer und Herbste, im Mittel- und Niederrhein im Winter und Frühjahr. Die Ungleichzeitigkeit bewirkt auch in diesem Falle, daß große, über das gesamte Rheingebiet ausgebreitete Hochwasser selten sind.

Gleichbleibender Abfluß ist also im Rhein immerhin eine nicht häufige Erscheinung; er tritt im allgemeinen nur bei niedrigen Wasserständen ein und kann sich höchstensfalls im Oberrhein mit seinen ausgedehnten Retentionsgebieten auch noch bei höheren Ständen erhalten. Im übrigen entspricht es aber durchaus dem Wesen der Entwicklung bedeutender Abflußmassen, daß diese einem fortwährenden Wechsel unterworfen sind. Die bei weitem häufigste Form des Abflusses im Rhein bildet daher immerhin die in mäßigen Grenzen sich vollziehende Anschwellungsbewegung.

Gleichbleibender Abfluß — Beharrungszustand — stellt sich im Rhein, wie bemerkt, in der Regel nur bei

verhältnismäßig niedrigen Wasserständen ein, wenn der seiner Natur nach leichter veränderliche oberirdische Zufluß mehr und mehr versiegt und das Gewässer vorwiegend aus dem Grundwasservorrat seines Einzugsgebietes gespeist wird, also auch die Nebenflüsse niedrige Wasserstände erreicht haben. Nur die Abflüsse aus dem Hochgebirge und insbesondere aus den Alpenrandseen bilden eine Ausnahme. Die Schneefelder und Firnflächen sowohl, wie die großen Seebecken wirken ähnlich ausgleichend und verzögernd auf den Abflußvorgang im Rhein, wie die großen unterirdischen Wasseradern, welche den Strom auf seinem Laufe durch die ober- und niederrheinische Tiefebene begleiten. Daher kommt es, daß insbesondere im Oberrhein in den Sommermonaten Beharrungsstände von mehrtägiger Dauer noch bei kräftigem Mittelwasser eintreten und häufig selbst noch durch den Mittel- und Niederrhein verfolgt werden können, wo zu dieser Zeit der seitliche Zufluß in der Regel ebenfalls, jedoch auf niedrigem Stande beharrt. Am häufigsten werden im übrigen länger beharrende Wasserstände im Rhein, wie schon erwähnt, dann beobachtet, wenn im Winter, namentlich im Februar, der oberirdische Zufluß gering oder durch Frost nahezu vollständig aufgehoben ist, so daß nur die sehr gleichmäßige Speisung der Schweizer Seen und der unterirdische Grundwasserzufluß erübrigt. Dann verbleibt oft mehrere Wochen lang der Rhein auf nahezu gleicher Höhe. Die seither festgestellten Beharrungszustände im Rhein zwischen Waldshut und Emmerich finden sich in bezug auf Eintritt, Dauer und Ausbreitung in der Zahlentafel 9 zusammengestellt.

In selteneren Fällen kann der Beharrungszustand im Rhein auch dadurch erhalten bleiben, daß die unter anderen Umständen erfolgende langsame Abnahme der Abflußmenge durch geringe Regenfälle wieder aufgehoben wird. Die Einzeluntersuchungen für das Maingebiet wie für das Einzugsgebiet der Mosel haben festgestellt, daß bei niedrigen Wasserständen in der kälteren Jahreszeit 1 mm täglicher Regenschnee, in der wärmeren 2,5 bis 3 mm ausreichen, um die Abflußmenge andauernd auf der gleichen Höhe zu erhalten. Ähnliche Regenmengen werden daher auch für den übrigen außeralpinen Teil des Rheingebietes wohl genügen, den täglichen Wasserverlust zu decken und den Strom auf gleicher Höhe zu erhalten.

Allgemeine Beharrungszustände im Rhein treffen, wie aus der Zahlentafel 9 hervorgeht, in den meisten Fällen in die wärmere Jahreszeit, sobald der mehr gleichmäßige Zufluß zum Rhein aus dem Hochgebirge vorherrscht und der stärker wechselnde der Mittelgebirgsflüsse auf ein geringes Maß zurückgegangen ist; indes dürfen auch dann die Grenzen für die noch zulässig erachteten Wasserstandsschwankungen nicht zu enge gezogen werden; bei den hier ausgewählten Beharrungsständen wurden 5 bis 6 cm Höhenwechsel innerhalb einer mindestens 7tägigen Dauer noch zugelassen. Am Oberrhein erreichen die Beharrungszustände im Abflußvorgange des Rheins selten

eine größere Höhe als Mittelwasser, am Unterrhein wird die Niederwasserhöhe in der Regel nicht überschritten.

Zur Ermittlung der Bedeutung des Grundwasserzuflusses für die Beharrungsstände in den sehr durchlässigen Stromstrecken des Oberrheins wurden für zahlreiche, der Zahlentafel 9 entnommene längerdauernde Beharrungsstände von Höhen zwischen 100 und 340 cm Wht. die zugehörigen Abflüßmengen zu Waldshut und Maxau festgestellt; sie ergeben für den unteren Stromort einen Mengenüberschuß, der, wie aus der nachstehenden Übersicht hervorgeht, bei den kleinsten Beharrungsständen von 100 cm Wht. zu 146 cbm, bei den größten von 340 cm Wht. zu 79 cbm ermittelt ist; dieser

Waldshut:		Maxau:		Mengenüberschuß für Maxau:
100 cm	200 cbm	254 cm	346 cbm	146 cbm
124 >	300 >	275 >	428 >	128 >
147 >	400 >	293 >	509 >	109 >
176 >	500 >	314 >	600 >	100 >
192 >	600 >	334 >	692 >	92 >
213 >	700 >	355 >	788 >	88 >
234 >	800 >	374 >	886 >	86 >
253 >	900 >	393 >	983 >	83 >
272 >	1000 >	413 >	1082 >	82 >
290 >	1100 >	432 >	1181 >	81 >
308 >	1200 >	450 >	1280 >	80 >
324 >	1300 >	467 >	1380 >	80 >
340 >	1400 >	484 >	1479 >	79 >

Mengenüberschuß rührt teils von den Nebenflüssen des Rheins in der genannten Stromstrecke, teils von dem Grundwasserzuflusse her; er wird in Wirklichkeit wegen des Verlustes durch Verdunstung wohl etwas größer sein. Der oberirdische Zufluß muß sich während der Dauer der Beharrungsstände des Rheins notwendig selbst in einem Beharrungsstande befinden; dieser kann aber bei den Schwarzwald-Vogesenflüssen nur zur Zeit von Niederwasserständen eintreten. Als Wasserzufluß während solcher niedriger Beharrungsstände werden angegeben für das rechtseitige Abflußgebiet^{*)} zwischen Aare und Wiese 3,9 cbm, für die Wiese 4,0 cbm, für das Gebiet zwischen Wiese und Elz 2,1 cbm, für die Elz und das durch den Leopoldskanal entwässernde Gebiet 7,6 cbm, für die Kinzig 7,9 cbm, für das Abflußgebiet zwischen der Kinzig und Alb (ohne Murg) 7,4 cbm, schließlich für die Murg 6,0 cbm, zusammen 38,9 cbm; für das linksseitige Gebiet^{**)} und zwar insoweit dasselbe durch die Ill entwässert wird, 15 cbm und für die Restfläche 18,3 cbm, zusammen 33,3 cbm. Bei niedrigen Beharrungsständen können also von den Nebenflüssen des Rheins insgesamt nur gegen 70 cbm zu dem Mengenüberschuß in Maxau geliefert werden. Bei den sehr niedrigen Wasserständen von etwa 100 cm Wht. empfängt der Rhein daher 70 bis 80 cbm aus dem Grundwasserstrom; bei höheren Rheinständen aber wird unter sonst gleichen Ver-

hältnissen dieser Zufluß geringer. Der Strom staut dann das Grundwasser zurück, das nur langsam dem Rhein wieder zufließt. Schließlich bei Wasserständen über der mittleren Sommerhöhe, die vom Grundwasserstand nicht mehr erreicht wird, gibt der Rhein wohl Wasser an seine durchlässigen Ufer ab. Das angegebene Höhen- und Mengen-Verhältnis besteht nur für den in keiner Hinsicht ungewöhnlichen Abfluß. Vorausgegangene stärkere Niederschläge von längerer Dauer veranlassen in Maxau einen höheren, anhaltend trockene Witterung oder starker Frost einen niedrigeren zugehörigen Beharrungsstand. Im ersten Falle wird der oberirdische Zufluß reichlicher als bei niedrigen Beharrungsständen; es wächst auch der Sicker- und Grundwasserzufluß zum Rhein. Im anderen Falle treten Wasserklemmen im oberirdischen Zuflusse ein oder es bleibt überhaupt nur die mäßige Grundwasserspeisung bestehen.

Im Unterrhein werden bei niedrigen Wasserständen 175 cbm mehr abgeführt, als durch den Rhein unterhalb der Moselmündung zufließen; von dieser Mehrung treffen auf die Nebenflüsse in der Zwischenstrecke nur 35 cbm, so daß etwa 140 cbm unterirdisch zufließen^{*)}.

Gleichhohe Beharrungsstände an einem bestimmten Stromorte aus verschiedenen Zeitabschnitten zeigen fast nie völlig übereinstimmende Höhen an den Folgestationen, namentlich wegen des wechselnden Wasserreichtums des Bodens in den verschiedenen Jahreszeiten sowie infolge der Umgestaltung der teilweise beweglichen Stromsohle des Rheins, die sich bei den niedrigen Beharrungsständen natürlich mehr geltend machen muß, als bei den mittleren und großen Rheinhöhen. Wie durch gelegentliche frühere Untersuchungen im Maingebiet^{**)} festgestellt wurde und wie auch für andere Einzugsgebiete nachgewiesen ist, ändert sich im Laufe des Jahres der Feuchtigkeitszustand des Bodens von der wärmeren zur kälteren Jahreszeit ganz bedeutend. Die oft ausgiebigen Niederschläge im Herbst haben einen verhältnismäßig geringen oberflächlichen Abfluß zur Folge; ein größerer Teil des Regenwassers wird in dem, während der Sommermonate mehr oder minder ausgetrockneten Boden aufgenommen, vorübergehend zurückgehalten und nur langsam wieder abgegeben. Der Grundwasserstand beginnt dann im allgemeinen zuzunehmen und erreicht sein Höchstmaß meist mit dem Eintritt des Frühlings. Gewässer im leichter durchlässigen Gelände, wie der Oberrhein zwischen Basel und Bingen und der Niederrhein zwischen Bonn und Emmerich, welche, wie oben ausgeführt, an dem Grundwasserabfluß teilnehmen, erhalten, wenn sonst die Bedingungen dazu gegeben sind, in der Zeit des vermehrten Grundwassers mehr aus diesem Vorrate, so daß längerdauernde Beharrungsstände in der kühleren, jedoch frostfreien Jahreszeit an den unteren Stromorten immer größere Höhen erreichen, als gleiche Beharrungsstände in den Sommer- oder den ersten Herbstmonaten.

^{*)} Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden. VIII. Heft. Karlsruhe.

^{**)} Nach dem Rheinstromwerk auf Grund der Darstellung der hydrographischen Verhältnisse des Ill-Rheingebiets in Elsass-Lothringen.

^{*)} Nach den Feststellungen der lgl. Rheinstrombauverwaltung zu Coblenz.

^{**)} Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. VI. Heft. Berlin 1901.

Gleichwie aber die einzelnen Jahreszeiten schon eine erkennbare Wirkung auf das Abflußverhältnis bei den gerade hierfür empfindlichen Beharrungszuständen auszuüben vermögen, so macht sich der Einfluß trockener und nasser Jahrgänge oder ganzer Reihen von Jahren noch weit mehr geltend. Es genügt hier, auf die Häufung ungewöhnlich niedriger Beharrungszustände in den Zeiträumen zwischen 1855 und 1870 sowie 1890—1905 hinzuweisen, welche als ausgezeichnete Trockenzeiten im Rheingebiete während des letzten Jahrhunderts bekannt geworden sind.

Wesentlich, besonders für die Höhenbeziehungen der niedrigen beharrenden Rheinstände ist namentlich auch der Wechsel in der Höhenlage der Stromsohle, welcher in einzelnen Abschnitten des Rheines bedeutende Beträge erreicht hat und bei einem Vergleiche der Rheinhöhen aus früherer und neuerer Zeit wohl zu berücksichtigen ist.

Die Höhenänderung der Stromsohle des Rheins läßt sich für weiter zurückliegende Zeitabschnitte mangels gleichzeitiger Längen- und Querschnittsaufnahmen sowie Wassermengenmessungen nur mittelbar, aus dem Verhalten der Wasserstände, erkennen; in diesem Verhalten kommt aber zugleich der Einfluß des mehr und minder großen Wasserreichthums des betrachteten Zeitabschnittes zum Ausdruck; der letztere ist daher möglichst auszuschalten, wenn die Einwirkung der Höhenänderung der Stromsohle allein ersichtlich werden soll. Es waren somit zunächst Zeitabschnitte (Regelzeiten) festzustellen, die weder als ungewöhnlich naß noch als trocken zu betrachten sind, und sodann die Höhenänderungen der Rheinstände in solchen Abschnitten zu ermitteln. Ein bestimmter Zeitraum ist bekanntlich dann als Regelzeit aufzufassen, wenn er sich nicht oder nur wenig von dem langjährigen Mittel des Niederschlags entfernt. Nach den Untersuchungen von Hellmann^{*)} liefern erst Beobachtungsreihen von 40jähriger und längerer Dauer genügend sichere Vergleichswerte. Auf solche beschränkt, verbleiben für das Rheingebiet die Beobachtungen von 20 Orten, die über das ganze Stromgebiet verteilt liegen und in der Zahlentafel 10 genannt werden. Die Niederschlagsmittelzahlen von je 5 aufeinander folgenden Jahren^{**)} jeden Beobachtungsortes wurden hierauf in Hundertteilen des langjährigen Mittels ausgedrückt, aus den erhaltenen Prozentwerten Durchschnittszahlen für das ganze Rheingebiet gebildet und die Ergebnisse in den nebenstehenden Figuren graphisch dargestellt, wobei 100% die Nulllinie bezeichnen, während die größeren Verhältniszahlen zu nassen, die kleineren zu trockenen Zeiträumen entsprechen. Die Niederschlagsverteilung kann auf Grund der wenigen Stationen nur qualitativ dargestellt werden; doch genügt dies für den vorliegenden Zweck. Die einzelnen Gebiets- teile sind annähernd im Verhältnisse ihrer Größenanteile

^{*)} Hellmann G. Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten. Berlin 1906.

^{**)} Durch die fünfjährigen Mittelzahlen sollen Unstimmigkeiten, welche einzelnen Jahren etwa anhaften, wieder ausgeglichen werden.

durch Stationen vertreten, so daß das arithmetische Mittel der Beobachtungen jener Stationen annähernd dem Durchschnittswerte für das Rheingebiet entsprechen kann; nur für das Jahrzehnt 1881—1885 dürfte, wegen der eigentümlichen Niederschlagsverteilung im Jahre 1882, diese Voraussetzung nicht in gleicher Art zutreffen. Den Übergang zwischen jeder Nässe- und Trockenperiode bilden natürlich Zeiträume, welche nach keiner Richtung ein ungewöhnliches Verhalten zeigen; diese sind daher auch in bezug auf den Wasserabfluß als Regelzeiten aufzufassen, die weder zu hohe noch zu niedrige Wasserstände veranlassen können. Als solche Regelzeiten sind die in den Diagrammen mit kleinen Ringen bezeichneten Zeitpunkte zu betrachten; Wechsel in den Wasserstandsverhältnissen zu diesen Zeiten sind daher nur auf Höhenänderungen der Stromsohle zurückzuführen.

Am zuverlässigsten könnte der Wechsel in dem Wasserfangungsvermögen bestimmter Stromquerschnitte zu verschiedenen Zeiten bekanntlich durch den Vergleich der Höhen in lange dauernden Beharrungszuständen nachgewiesen werden; solche Beharrungszustände sind aber ziemlich selten, auch fallen sie meist nur in die kühle Jahreszeit zwischen Oktober und März. Gewissermaßen als Ersatz für die Beharrungsstände wurden hier die niedrigsten Monatsstände, welche selbst zu einem Teil jene Beharrungsstände bilden, gewählt; sie ermöglichen, alle Jahreszeiten gleichmäßig zu berücksichtigen. Die Gruppierung zu 5jährigen Mitteln geschah für die nämlichen Zeiträume, wie bei den Niederschlägen. Die gefundenen Wasserstandsmittel wurden in angemessenem Höhenverhältnisse dargestellt. In jedem der Diagramme wurden hierauf jene Stellen bezeichnet und unter sich verbunden, die den Regelzeiten entsprechen; die erhaltenen Verbindungslinien zeigen dann unmittelbar den Wechsel in der Höhenlage der Stromsohle. In dem Zeitraum nach 1890 liegen die Niederschlagsmittel sämtlich unter den langjährigen Durchschnittswerten. Regelzeiten sind nicht mehr eingetreten, so daß sich für die Feststellung der Sohlenbewegung Schnittpunkte nicht ergeben. Immerhin läßt sich aus dem Verhältnisse der Amplituden der Niederschlags- und Wasserstandsdiagramme in den vorausgegangenen Zeitabschnitten folgern, daß die Linie, welche die Bewegungsrichtung der Sohle nach 1890 andeuten soll, in allen Teilen über dem Diagramm der Niederwasserstände bleiben muß, in dem Jahrzehnt 1896—1900, welches der Regelzeit am nächsten kommt, sich jenen Diagrammen aber am meisten nähert. Der mutmaßliche Verlauf der Linie ist für den Zeitraum nach 1890 punktiert eingetragen. Der Verlauf der Verbindungslinie läßt auf die folgenden Änderungen der Stromsohle schließen:

Zu Waldshut ist die Rheinsohle zwischen den Jahren 1820 und 1860 um etwa 15 cm herabgegangen, steigt indes seit 1870 langsam wieder auf und hat gegenwärtig ungefähr die Höhe erreicht, welche sie anfangs des vorigen Jahrhunderts eingenommen hatte. Die Sohlen- erhöhung trifft zeitlich mit der Juragewässer- und der Aarekorrektur zusammen, bei welcher bekanntlich große

Erd- und Geröllmassen durch die Aare abgeführt werden mußten; sie sind wohl teilweise in dem Rheinbette zur Ablagerung gekommen.

Bei Basel ist die Stromsohle seit Beginn der Wasserstandszeichnungen in einer Eintiefung begriffen, die zwar nicht völlig gleichmäßig fortschreitet, jedoch im Durchschnitte gegen 0,7 cm im Jahre ausmacht; sie dauert bis zur Gegenwart an. Die Stromsohle lag im Jahre 1821 um rd. 60 cm, im Jahre 1871 um rd. 20 cm höher als 1905.

Kehl. Nach einer bei Kehl zwischen den Jahren 1820 und 1840 festgestellten kräftigen Eintiefung der Rheinsohle um 45 cm folgte eine wesentlich geringere, ziemlich gleichmäßige Sohlensenkung, die — noch weiter verlangsamt — bis in die jüngste Zeit andauert. Sie hat zwischen 1840 und 1890 rd. 80 cm betragen; die Rheinsohle liegt hier gegenwärtig 130 cm tiefer als um die Mitte der 1820er Jahre.

Zu Maxau kommt zunächst der gewaltige Eingriff in die natürlichen Stromzustände zwischen 1816 und 1830 durch ein rasches Sinken der Rheinsohle (zwischen 1816 und 1825 um fast 80 cm) zur Erscheinung. Nach 1825 erfolgt die Eintiefung mehr und mehr verlangsamt; sie ist bis 1840 insgesamt auf 110 cm, bis 1875 auf rd. 150 cm angewachsen. Seit Ende der 1870er Jahre ist die Stromsohle indes in einer langsamen Hebung begriffen, die bisher, also seit etwa 30 Jahren, gegen 25 cm erreicht hat und anscheinend noch nicht zum Abschlusse gekommen ist.

Bei Mannheim ist — abgesehen von dem Zeitraum vor 1826, für den indessen nur ungenügende Niederschlagsaufzeichnungen vorhanden sind — eine andauernde Eintiefung der Rheinsohle zu bemerken, die bis zur Mitte der 1860er Jahre verhältnismäßig langsam, von da ab bis zum Beginne der 1890er Jahre ungewöhnlich rasch fortgeschritten ist. Die Sohlensenkung hat innerhalb der 40 Jahre — von 1826 bis 1866 — rd. 30 cm umfaßt, ist in weiteren 20 Jahren — zwischen 1866 und 1885 — auf rd. 90 cm angewachsen und hat bis 1905 insgesamt 120 cm betragen. In den Zeitraum nach 1866 fallen umfangreiche Kiesentnahmen für Bauzwecke, die indes seit mehreren Jahren eingestellt sind.

Worms. Die Bewegung der Rheinsohle äußert sich hier in einer seit Beginn der Wasserstandszeichnungen vorhandenen kräftigen aber langsam abnehmenden Eintiefung, die zwischen 1865 und 1875 zum vorläufigen Abschlusse gekommen war. Von 1875 bis 1890 ist eine unbedeutende Hebung zu beobachten; seitdem geht die Stromsohle wieder, wenn auch nur wenig, herab. Die Tieferbettung hat zwischen 1820 und 1840 rd. 30 cm, bis 1860 weitere 25 cm, bis 1875 etwa 5 cm erreicht. Gegenwärtig liegt die Rheinsohle kaum 10 cm tiefer, als vor 30 Jahren.

In Mainz war die Rheinsohle seit den 1830er Jahren in einer allmählichen Erhöhung begriffen, welche bis um die Mitte der 1860er Jahre auf etwa 20 cm angewachsen war. Von jenem Zeitpunkte ab ist ein langsames Wiedereintiefen des Strombettes zu bemerken, das bis zum Beginne der 1880er Jahre nur geringe, dann jedoch schnellere Fortschritte gemacht hat und selbst noch in der Gegenwart fortbesteht. In Folge davon hat das

Rheinbett um das Jahr 1900 die Höhenlage von 1830 wieder eingenommen.

Für Bingen liegen erst seit dem Jahre 1830 Wasserstandszeichnungen vor. Die Bewegungen der Rheinsohle sind hier geringfügig; bis anfangs der 1860er Jahre ist fast keine Höhenänderung nachweisbar; bis 1865 geht die Sohle um 5 cm, bis 1870 um weitere 5 cm herab. Die Folgezeit ergibt nach einer vorübergehenden Hebung um 5 cm, die 1880 zum Abschlusse kommt, wieder eine langsame Tieferbettung des Rheins; sie hat jedoch seit 1830 den Betrag von 15 cm sicher nicht überschritten und wird hauptsächlich auf die Wirkung künstlicher Eingriffe zurückzuführen sein.

In Coblenz umfaßt der Wechsel in der Höhenlage der Stromsohle seit 1820 kaum 15 bis 20 cm.

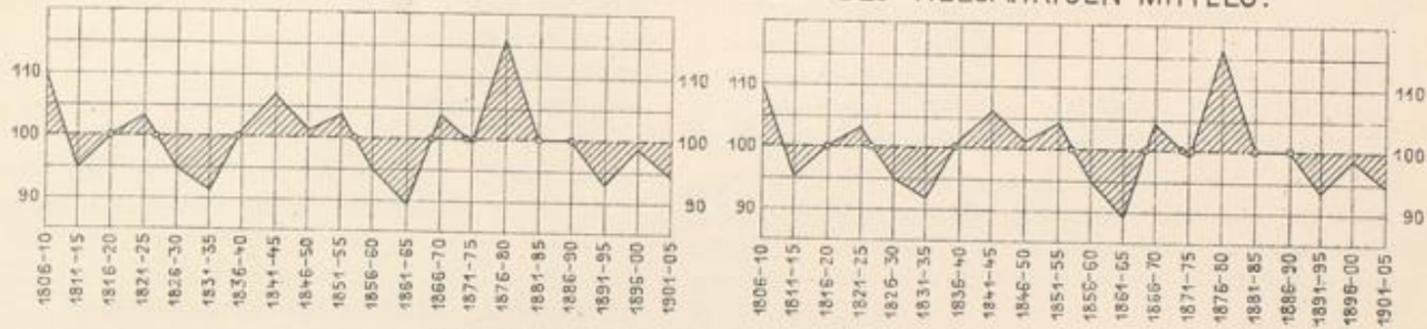
Zu Köln ist der anfänglichen, zwischen 1820 und 1840 eingetretenen Vertiefung der Rheinsohle um 5 cm in den nächsten 20 Jahren eine ungefähr ebensoviel betragende Aufhöhung gefolgt, dann bis in die Mitte der 1870er Jahre wieder eine Sohlensenkung, in den nächsten 10 Jahren eine Hebung, der bis gegen 1900 eine etwas stärkere Senkung als früher gefolgt ist. In den letzten Jahren scheint die Stromsohle bei Köln wieder in der Aufhöhung begriffen zu sein. Im Durchschnitt ist seit 1820 eine langsam fortschreitende Eintiefung, die indes bis jetzt nicht viel über 15 cm erreicht haben dürfte, zu bemerken.

Ruhrort. Zwischen 1820 und 1870 ist eine regelmäßig fortschreitende Senkung der Rheinsohle von zusammen 60 cm festgestellt; von der Mitte der 1870er Jahre ab vollzieht sich diese Bewegung viel langsamer; sie hat von 1875 bis in die neueste Zeit weitere 10 cm betragen. Das Strombett ist unterhalb Ruhrort in seinen oberen Schichten in leicht bewegliches Gelände eingeschnitten, so daß die abschwemmende Tätigkeit des fließenden Wassers hier mit Erfolg zur Wirkung kommen konnte.

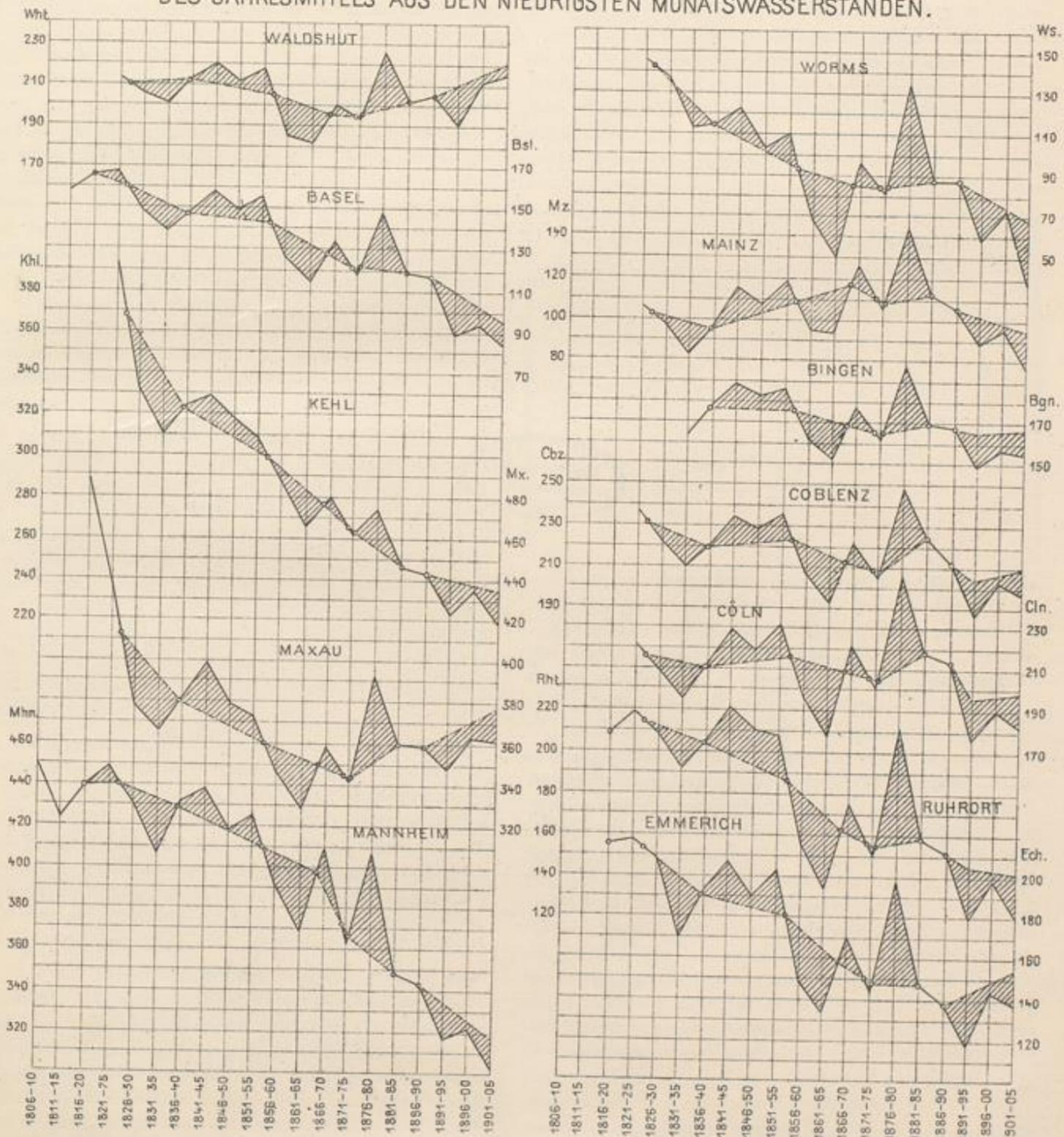
In Emmerich zeigt die Stromsohle eine ähnliche Bewegung, wie bei Ruhrort. Die Eintiefung ist von 1820 bis 1875 auf rd. 70 cm angewachsen; seitdem sind die Höhenänderungen geringfügig und deuten gegenwärtig eher auf eine Hebung als auf eine weitere Senkung des Rheinbettes hin.

Die vorerwähnten Einzelercheinungen in der Bewegung der Rheinsohle zusammenfassend kann gefolgert werden, daß seit Beginn der verlässlichen Wasserstandszeichnungen der Strom zwischen Waldshut und Emmerich im allgemeinen in einer langsam fortschreitenden natürlichen Eintiefung begriffen ist, die je nach der Beschaffenheit des Bettes und des Stromgefälles verschieden groß gewesen ist, in der Gegend von Basel etwa 30 cm, bei Mainz 10 cm, bei Köln 10 bis 15 cm kaum überschritten hat. Neben der natürlichen Eintiefung haben indes durch künstliche Eingriffe in die Stromzustände veranlaßt, stellenweise bedeutende Bewegungen der Rheinsohle stattgefunden, wodurch die natürliche Eintiefung zeitweilig oder andauernd verstärkt, aufgehoben oder selbst in eine Hebung übergeführt wurde. So läßt sich wie bemerkt, bei Waldshut die Wirkung der

FÜNFJÄHRIGE DURCHSCHNITTSWERTE
DES NIEDERSCHLAGES IN HUNDERTTEILEN DES VIELJÄHRIGEN MITTELS.



FÜNFJÄHRIGE DURCHSCHNITTSWERTE
DES JAHRESMITTELS AUS DEN NIEDRIGSTEN MONATSWASSERSTÄNDEN.



Landesbibliothek
Karlsruhe

Geschiebeablagerung durch die Aare infolge der Juragewässerkorrektur vom Beginn der 1870er Jahre an erkennen. In dem Rheinlaufe zwischen Basel und Mannheim ist der zu verschiedener Zeit einsetzende Eingriff durch die Oberrheinkorrektur bemerkbar. Bei Basel selbst scheint die natürliche Eintiefung — durch Gefällsteigerung infolge rückschreitender Erosion in der unterhalb anschließenden Stromstrecke — seither noch eine Verstärkung erfahren zu haben. Stromabwärts zeigt sich Erosionswirkung indes nur bis unweit des Kaiserstuhles; denn bei Altbreisach ist weit eher eine Abschwächung als eine Vermehrung der natürlichen Sohlensenkung feststellbar. Unterhalb des Kaiserstuhles, bei Rheinau, ist auf die seit den 1840er Jahren erfolgte rasche Eintiefung mit Beginn der 1870er Jahre eine ebenso kräftige Hebung des Strombettes eingetreten, die in der Gegenwart noch andauert und auf das Vorrücken von Kiesmassen aus den oberhalb gelegenen Stromabschnitten hindeutet. Zwischen Plittersdorf und Philippsburg läßt sich jeweils nach dem Abschlusse der im Gefolge der Stromkorrektur eingetretenen mehr und minder starken Sohlensenkung eine längere Zeit andauernde Ruhelage der mittleren Rheinsohle erkennen; seit Mitte der 1880er Jahre jedoch ist die Sohle — zunächst zwischen Plittersdorf und Maxau — in einer deutlich merkbaren Hebung begriffen. Bei Philippsburg dauert der Ruhezustand auch gegenwärtig noch an, ebenso bei Speyer, wo indes die Senkungsbebewegungen viel später, nämlich erst gegen Ende der 1880er Jahre zu einem Stillstande gekommen sind.

In der Rheinstrecke zwischen der Neckar- und Mainmündung waren die Wechsel in der Höhenlage der Stromsohle nur geringfügig; die höchste Lage hat hier das Rheinbett um die Mitte der 1850er Jahre erreicht, seitdem findet eine schwache Eintiefung statt. Die gleiche Bewegung wiederholt sich — etwas kräftiger — bei Mainz selbst, wo der Höchststand aber später, nämlich zwischen 1865 und 1870 festgestellt ist. Seit 1886 findet ein allmähliches Herabgehen der Stromsohle auch bei Mainz statt; die mittlere Gesamtbewegung in der rheinhessischen und in der Rheingau-Strecke hat indes 20 cm kaum betragen.

Bei Bingen sowohl als in dem ganzen Stromabschnitte innerhalb des rheinischen Schiefergebirges sind die festgestellten, im einzelnen nicht erheblichen Sohlenänderungen durch künstliche Eintiefung entstanden. Selbst noch bei Cöln ist die Rheinsohle in einer nur geringen — seit 1890 etwas kräftigeren — Senkungsbebewegung begriffen; die stärkere Bewegung in den letzten Jahren ist ebenfalls wohl nur auf künstliche Einwirkung innerhalb der Stromstrecke zwischen Cöln und Düsseldorf zurückzuführen.

In der Niederrheinstrecke zwischen Ruhrort und Emmerich hat sich die Stromsohle, seit Beobachtungen über die Abflußerscheinungen vorliegen, in einem allmählich und äußerst regelmäßig fortschreitenden Eintiefungsprozeß befunden, der aber mit Beginn der 1890er Jahre zu einem Stillstande gekommen sein dürfte. Bei Ruhrort und Wesel sind seit 1890 größere Höhenänderungen der Sohle kaum eingetreten, bei Emmerich ist

jedoch eine langsame Hebung des Strombettes in der neuesten Zeit wahrscheinlich.

Um die Ergebnisse der obigen Feststellungen für die Vergleichung niedriger Beharrungsstände weiter auseinanderliegender Zeiträume leichter benützlich zu machen, wurden die Abweichungen der verschiedenen Höhenlagen der Stromsohle von der mittleren Höhe des Jahrfünfts 1856—1860 berechnet und in der Zahlentafel 11 zusammengestellt, wobei mit + die Hebungen, mit — die Senkungen bezeichnet sind.

Auf höhere Wasserstände sind die Verbesserungen natürlich nicht ohne weiteres übertragbar, da, wie leicht erklärlich, der Einfluß der Sohlenverschiebung mit dem wachsenden Wasserstande erheblich geringer wird. Bei Basel, wo die seitliche Begrenzung des Abflußprofils des Rheins im Laufe des vorigen Jahrhunderts nur unwesentliche Änderungen und die Sohle nur Vertiefungen erlitten haben konnte, sind die nachstehenden Reduktionswerte gefunden. Gegenüber dem Zustande von 1816 beträgt die

Senkung bei:	100 cm	200 cm	300 cm	400 cm	500 cm	600 cm Basel
zwischen:						
1821—1825	5 cm	3 cm	3 cm	2 cm	2 cm	2 cm
1831—1835	14 "	9 "	7 "	6 "	4 "	4 "
1841—1845	22 "	15 "	12 "	10 "	7 "	6 "
1851—1855	30 "	20 "	16 "	13 "	10 "	8 "
1861—1865	38 "	26 "	20 "	16 "	12 "	10 "
1871—1875	46 "	32 "	25 "	20 "	15 "	13 "
1881—1885	53 "	35 "	28 "	22 "	17 "	14 "
1891—1895	63 "	43 "	34 "	27 "	20 "	17 "
1901—1905	71 "	48 "	38 "	30 "	23 "	20 "

Von dem Hochwasserstand von 1852 zu Basel, welcher über 600 cm erreicht hatte, sind daher, wenn er mit Wasserständen der jüngsten Zeit verglichen werden soll, nach der obigen Zusammenstellung $20 - 8 = 12$ cm in Abzug zu bringen, um der Einwirkung der Sohlensenkung in der Zwischenzeit Rechnung zu tragen.

Im allgemeinen ist aus den vorstehend für Basel gewonnenen Werten zu entnehmen, daß bei mittleren Rheinständen kaum $\frac{2}{3}$ des Betrages der Sohlensenkung als Wasserstandsänderung in Rechnung kommen kann. Gleichwohl sind selbst diese verminderten Werte in den Stromstrecken mit sehr bewegter Sohle noch zu groß, um vernachlässigt werden zu dürfen. In der Zahlentafel 12 wurden daher für die wichtigeren Stromorte und für die 50jährige Reihe 1851—1900 jene Mittelhöhen sowie die an denselben anzubringenden Korrekturwerte jeweils für fünfjährige Gruppen zusammengestellt und die verbesserten Mittelzahlen berechnet. Da bei der Ableitung der Korrekturwerte eine bestimmte Lage der Rheinsohle vorausgesetzt werden mußte, so wurde im vorliegenden Falle auf den Zustand des Strombettes zwischen 1886 und 1890 Bezug genommen, weil dieses Jahrfünft einen weder ungewöhnlich nassen noch trockenen Zeitraum umfaßt.

Die **Anschwellungen des Rheins**, zu deren Entstehung die Bedingungen weit häufiger als für den gleichbleibenden Abfluß gegeben erscheinen, sind, je nach ihrer Herkunft, entweder auf Anschwellungen der Hochgebirgsflüsse oder der Mittelgebirgsflüsse zurückzuführen oder es sind — in seltenen Fällen — alle oder doch die meisten Gewässer des Stromgebietes gleichzeitig beteiligt.

Unter den Anschwellungen aus den Hochgebirgsflüssen verdient das besondere Interesse die fast alljährlich auftretende, als »Sommeranschwellung des Oberrheins« bekannte Erscheinung. Die in den Hochgebirgsflüssen während der wärmeren Jahreszeit nahezu gleichzeitig zunehmende Wasserführung veranlaßt auch im Oberrhein eine mehr und minder mächtige steigende Bewegung, die meist im April einsetzt, um die Jahresmitte den Höhepunkt erreicht und sodann gegen den Herbst zu allmählich abnimmt. Die Amplitude der Gesamtbewegung beträgt zu Waldshut selten über 1000 cbm, dagegen kann die Dauer der Anschwellung bis zu 9 Monate umfassen. In der Hauptsache wird das Sommerhochwasser hervorgerufen durch die gesteigerte Überregnung der obersten Abschnitte des Rheingebietes in der wärmeren Jahreszeit. Der Schnee- und Gletscherabfluß nehmen nach den Untersuchungsergebnissen auf S. 18 im Juli mit 37 % im Juni und August mit 30 % daran teil; Schweizer Rhein und Aare liefern annähernd gleiche Maximalmengen, der Rhein nur kurze Zeit um die Mitte des Jahres, die Aare dagegen in ziemlich unveränderter Stärke während des ganzen Monats Juli. Der Abgang der Schnee- und Eismassen ist hiernach nicht ausschlaggebend, ja nicht einmal hervorragend an der Entstehung der Sommeranschwellung des Oberrheins beteiligt. Wesentlich für die mehr und minder lange Dauer des Hochstandes ist dagegen die Wirksamkeit der großen Alpenrandseen, vor allen des Bodensees. Die periodische Oberrheinanschwellung überschreitet nur ausnahmsweise die Höhe der bebauten Ufergelände und wird als mäßige Erhebung auch im Mittel- und Niederrhein noch beobachtet.

Neben der regelmäßigen Sommeranschwellung können auch die in den Hochgebirgsflüssen zeitweise auftretenden außergewöhnlichen Anschwellungserscheinungen noch als solche im Rhein unterhalb Waldshut sich geltend machen, erreichen aber hier nur selten, unter besonders ungünstigen Umständen eine wesentliche Bedeutung. Wie früher bemerkt, entstehen diese außergewöhnlichen Anschwellungen der Hochgebirgsflüsse meist im Sommer oder gegen den Herbstbeginn durch andauernd starke Überregnung der Alpenlandschaften; sie werden aber in ihrem weiteren Verlaufe durch Wasserzurückhaltung in den Alpenrandseen stark abgeschwächt und erreichen den Oberrhein meist als durchaus geringfügige Wellen. Befindet sich aber der Rhein, wie gewöhnlich um jene Jahreszeit, wegen des Ablaufes der regelmäßigen Sommeranschwellung schon auf größerer Höhe, so kann auch eine an sich nicht erhebliche weitere Höhenzunahme veranlassen, daß er die Hochwassergrenze überschreitet. Zuweilen werden mit dem eigentlichen Hochgebirge zugleich das Alpenvorland und vielleicht ein Teil der Schweizer Hochebene äußerst stark überregnet; dann treten auch in den Ab-

flüssen der Thuralpen, der Emmentaler Alpen und der außeralpinen Zuflüsse des Schweizer Rheins und der Aare größere Anschwellungen auf, welche durch keine zwischenliegenden Seebecken abgeschwächt, dem Hauptstrome nahezu gleichzeitig bedeutende Wassermassen zuführen können; in solchen Fällen kann hier die Hochwassererscheinung auf beträchtliche Höhen anwachsen. Die großen Sommerhochwasser des Oberrheins nehmen schon im Mittelrhein wesentlich an Mächtigkeit ab und erreichen im Niederrhein gewöhnlich überhaupt nicht mehr die Hochwassergrenze; sie verlieren durch ausgedehnte Überflutung der Ufergelände an Höhe und erhalten durch die Nebenflüsse des Mittel- und Niederrheins in der wärmeren Jahreszeit nur selten eine namhafte Verstärkung.

Im Oberrhein treten größere Anschwellungen vereinzelt auch in der kälteren Jahreszeit, namentlich im Winter und Vorfrühling auf; an solchen Erscheinungen sind die eigentlichen Hochgebirgsflüsse kaum beteiligt. Das Entstehungsgebiet der Winteranschwellungen umfaßt nur das Alpenvorland und die Schweizer Hochebene, deren Abflüsse infolge von raschem Schneeabgang bei warmen Regen über gefrorenem oder wasserdurchtränktem Boden für sich schon im Oberrhein ansehnliche Anschwellungen veranlassen können. Da der starken Überregnung jedoch erfahrungsgemäß sehr häufig Schneefälle nachfolgen und der nachhaltige Abfluß aus den Randseen nur wenig in Betracht kommen kann, so sind die Winteranschwellungen des Oberrheins aus den Schweizer Gewässern meist von kurzer Dauer.

Anschwellungen des Rheins, veranlaßt durch solche der Nebenflüsse aus den Mittelgebirgslandschaften, können wie diese Nebenflußwellen selbst, zu allen Jahreszeiten entstehen. Am häufigsten treten sie in der kühleren Jahreshälfte ein, da dann, wie früher dargelegt, die natürlichen Bedingungen zu einer gesteigerten Wasserführung in den Mittelgebirgsflüssen die günstigsten sind. Die allgemeine und in der Regel auch ziemlich gleichzeitige Zunahme der Abflußmenge der Mittelgebirgsflüsse im Winter und Frühjahr veranlaßt auch im Mittel- und Niederrhein Anschwellungen, die wohl zu den periodisch wiederkehrenden Erscheinungen gezählt werden dürfen, wenn sie sich auch nicht mit der gleichen Regelmäßigkeit einstellen, wie etwa die Sommerwelle des Oberrheins; sie verlaufen weniger stetig wie jene, zuweilen sogar schroff und — mangels ausgedehnter wasserzurückhaltender Flächen — selten nachhaltig.

Mit der erwähnten periodischen Abflußsteigerung in den Mittelgebirgsflüssen, welche gewöhnlich nur eine kräftige Wasserführung ohne eigentliche Hochwassererscheinungen in den mittleren und unteren Stromabschnitten während der kühleren Jahreszeit veranlaßt, können indes außergewöhnliche Anschwellungen in einzelnen oder gleichzeitig in den meisten Nebenflüssen des Mittelgebirges zusammentreffen und je nachdem eine mehr oder minder mächtige Flutbewegung im Rhein herbeiführen. Solche Hochwassererscheinungen werden in der Regel durch andauernde starke Regenfälle auf schon

mit Wasser durchtränktem Boden wohl auch durch raschen Abgang von größeren über gefrorenem Boden lagernden Schneemassen unter der Mitwirkung warmer, auflösender Regen herbeigeführt. War der Abfluß im Rhein bei Beginn der stärkeren Überregnung schon ungewöhnlich groß, so können außerordentliche Flutwellen entstehen. Wesentlich für die Höhe und Dauer der Rheinanschwellung bleibt auch dann neben der Mächtigkeit der Zuflußwellen die zeitliche Aufeinanderfolge, in welcher diese zum Rhein gelangen und sich gegenseitig verstärken.

Anschwellungen in den Nebenflüssen des Mittelgebirges in der wärmeren Jahreszeit — meist im Gefolge von Gewittererscheinungen — führen, da sie wegen des verhältnismäßig geringen Abflusses im Sommer bedeutendere Höhen in der Regel nicht erreichen, auch nur selten mehrere der großen Nebenflußgebiete gleichzeitig umfassen, nur ausnahmsweise zu Hochwasser im Mittel- und Niederrhein. In solchen Fällen kommt es dann wohl auf das gleichzeitige Verhalten des Oberrheins an, namentlich darauf, wie die hier sich entwickelnde Fluterscheinung zeitlich mit den Wellen aus den großen Mittelgebirgsflüssen zusammentrifft.

Bei der Mannigfaltigkeit der Entstehungsursachen von Rheinanschwellungen sind diese natürlich keine seltenen Vorkommnisse, wenn auch das Zusammentreffen von Umständen, welche die Entwicklung großer Hochwasser begünstigen, nicht allzu häufig ist. Zur Feststellung der Häufigkeit der Anschwellungen in bezug auf Herkunft, Höhe und jahreszeitliche Verteilung waren bestimmte Annahmen wegen der Auswahl der zu berücksichtigenden Erscheinungen zu machen; es sollten nur Rheinanschwellungen in Betracht kommen, durch welche — sei es im oberen, mittleren oder im unteren Stromlaufe — jene Höhengrenzen erreicht oder überschritten worden waren, die den Beginn der allgemeinen Überflutung des Ufergeländes bezeichnen. Als maßgebend wurden angenommen die Höhen von 400 cm zu Basel für den Oberrhein, von 800 cm in früherer und 700 cm in jüngster Zeit zu Mannheim sowie 350 cm zu Mainz für den mittleren Rhein und von 600 cm zu Köln für den Stromlauf unterhalb der Moselmündung. Zeitlich nahe aufeinanderfolgende Anschwellungen sollten nur dann als selbständige Erscheinungen betrachtet werden, wenn der Rheinstand zwischen den einzelnen Erhebungen bis auf die Hochwassergrenze oder unter diese herabgegangen war. Bei mehreren aufeinanderfolgenden Wellen, die ein und derselben Anschwellung angehören, war möglichst der höchste Wellenzug in Betracht zu ziehen. Solche Festsetzungen bleiben natürlich mehr und minder willkürlich; sie kommen indessen im vorliegenden Falle der Kennzeichnung der Häufigkeit der Hochwassererscheinungen doch möglichst nahe.

Das verfügbare Beobachtungsmaterial, welches sich über einen Zeitraum von nahezu einem Jahrhundert erstreckt und in der Zahlentafel 13 zusammengestellt ist, wobei die den Höhenzahlen (in cm) beigefügten Indices den Tag der Scheitelbildung bezeichnen, hat ergeben, daß insgesamt in 90 Beobachtungsjahren 72 Oberrhein-Anschwel-

lungen und in 85 Beobachtungsjahren 104 Anschwellungen des Niederrheins stattgefunden haben. Nur in 14 Fällen handelt es sich um allgemeine Hochwasser im ganzen Rheinlaufe. Unter den genannten Hochwassererscheinungen befinden sich etwa 6 von außergewöhnlicher Bedeutung. An keiner der Oberrhein-Anschwellungen hatten die eigentlichen Hochgebirgsflüsse einen bemerkenswerten Anteil; andererseits wird im mittleren und unteren Stromlaufe die Entwicklung einer Rheinanschwellung zum Hochwasser weit eher durch das Zusammentreffen der Scheitel von im einzelnen keineswegs belangreichen Anschwellungen der Nebenflüsse als durch hohe Wellen eines oder mehrerer dieser Gewässer, die sich nicht mit den Hochständen begegnen, bedingt.

Der Oberrhein hatte — sofern man die Senkung der Stromsohle und die damit verknüpfte Verschiebung der Hochwassergrenze berücksichtigt — zu Basel innerhalb des hundertjährigen Zeitraumes (1808—1907) nach Zahlentafel 15 132 mal hohen Wasserstand und befand sich an 327 Tagen über der Hochwassergrenze; auf jedes Jahr der Gesamtperiode treffen somit durchschnittlich 1,32 Anschwellungen. Die große Häufigkeit erklärt sich durch den infolge der regelmäßigen Sommeranschwellung ohnehin verhältnismäßig hohen Stand des Rheins, von dem aus selbst an sich nicht bedeutende Wellen die Hochwassergrenze überschreiten können. 70% aller Anschwellungen mit zusammen 249 Hochwassertagen fallen in die wärmere Jahreszeit Juni bis September; Mai, November und Dezember sind mit je 7% beteiligt, März und Oktober mit 4%; auf April, Februar und Januar treffen nur 2 bis 3%. Die Verteilung der Anschwellungen und der Hochwassertage auf die einzelnen Monate gestaltet sich wie folgt:

	Fälle	Tage		Fälle	Tage
Januar . . .	4	6	Juli	29	78
Februar . . .	3	5	August	18	50
März	6	9	September . . .	18	50
April	2	3	Oktober	5	14
Mai	7	11	November . . .	7	16
Juni	26	71	Dezember	7	14

Die Häufigkeit der Oberrheinanschwellungen nimmt mit wachsenden Höhen sehr schnell ab; für den oben bezeichneten Zeitraum fanden sich Hochwasser von 400 bis 440 cm Höhe in 85 Fällen, solche von 440 bis 470 cm in 21 Fällen. Anschwellungen über 470 cm Basel sind — insgesamt in 21 Fällen — über 550 cm in nur 5 Fällen verzeichnet.

Mit dem Vorrücken der Oberrheinwelle aus dem oberen Stromabschnitte in die unteren und mit der Aufnahme neuen Zuflusses aus den Mittelgebirgen wird das Verhältnis der Zahl der Sommeranschwellungen (rd. 70%) zu jener der Winteranschwellungen (rd. 30%) mehr und mehr geändert. Schon oberhalb der Neckarmündung — unter dem Einflusse der Schwarzwald-Vogesenflüsse treten ebensohäufig Winter- als Sommer-Hochstände ein; an der Mainmündung umfassen die Winterhochwasser 70% aller Erscheinungen und im Niederrhein — unterhalb Ruhrort — sind kaum andere, als Hochwasser aus der kälteren Jahreszeit festgestellt.

Der Niederrhein ist in dem 90-jährigen Zeitraum zwischen 1817 und 1906 108 mal über der Hochwassergrenze von 600 cm Cöln gestanden^{*)}. Auf jedes Jahr des Beobachtungszeitraumes treffen somit hier durchschnittlich nur 1.2 Erhebungen oder eine Anschwellung auf je 10 Monate. Im Niederrhein sind daher die Anstiege über die allgemeine Überflutungsgrenze seltener oder diese Grenze liegt verhältnismäßig höher als jene des Oberrheins bei Basel; wahrscheinlicher ist indes die erstere Ursache; denn am Oberrhein wird, wie schon erwähnt, wegen der Sommeranschwellung leichter die Hochwassergrenze überschritten als am Niederrhein. Von der Gesamtzahl der Fälle treffen 87% auf die kühlere Jahreszeit Oktober bis März, 60% allein auf die 3 Monate Januar bis März. Insgesamt ist zwischen 1817 und 1906 der Rhein zu Cöln an 761 Tagen über der Hochwasserhöhe gestanden, so daß sich als durchschnittliche Dauer einer Anschwellung etwa 8 Tage ergeben. Am häufigsten treten Hochwasser von 4, 5 und 8 Tagen Dauer ein, doch sind auch vier Fälle von 30 bis 35 tägiger Dauer festgestellt. Im Januar stand der Rhein zu Cöln während 139 Tagen, im August überhaupt nicht über der Flutgrenze. Anschwellungen zwischen 600 und 700 cm umfassen 65% aller Erscheinungen; jene zwischen 700 und 800 cm etwa 21%, während die großen Hochwasser zwischen 800 und 900 cm ungefähr 11% ausmachen. In etwa 3% der 108 Fluterscheinungen ist der Rhein über 900 cm gestanden.

Die zu Waldshut aus dem Zusammentreffen der Rhein- und Aarewellen entstehende Oberrheinanschwellung zeigt je nach der Beteiligung der Zuflüsse aus dem Hochgebirge und dem Alpenvorlande verschiedenes Gepräge. Die Anschwellungen aus den Hochgebirgsflüssen werden, wie ausgeführt, durch die Alpenrandseen, die Abflüsse aus dem Schweizer Jura zur Aare durch die großen Juraseen mehr und minder stark abgeflacht und bilden daher in der Regel langsam steigende, mäßig hohe aber längerdauernde Wellen; sie haben wegen der verhältnismäßig großen Lauflänge der Gewässer zugleich bedeutende Wege zurückzulegen und erreichen Waldshut zu einem Zeitpunkte, da hier die gleichzeitig entstandenen Anschwellungen der Flüsse des Alpenvorlandes und der Schweizer Hochebene schon den Höhepunkt ihrer Entwicklung überschritten haben. Die Fluterscheinungen der letztgenannten Gewässer steigen in der Regel schroff an und besitzen, da die Zuflüsse meist nicht nachhaltig sind, kurze Dauer. Die Anschwellungen können aber schon nach wenigen Stunden den Rhein erreichen und sich bei ziemlich übereinstimmender Lauflänge mit den Höchstständen begegnen. Der Scheitel der Rheinwelle zu Waldshut erscheint fast ebenso häufig als unmittelbare Folge der von Kadelburg

^{*)} Die abweichenden Angaben des Rheinstromwerkes (S. 214), in welches die Häufigkeitszahlen aus der preußischen »Denkschrift über die Ströme Memel, Weichsel, Oder, Elbe, Weser und Rhein«, Berlin 1888, übernommen sind, rühren von der dort und hier verschiedenen Zählweise der einzelnen Hochwassererscheinungen her.

her vorrückenden Schweizer Rheinwelle wie der bei Döttingen beobachteten Aareanschwellung. In einigen Fällen, die auf Grund der bekannten Abflußmengen eingehender verfolgt sind, ist der Scheitel zu Waldshut durch das Fallen des einen und das Steigen des anderen Gewässers entstanden.

In den bei weitem meisten Fällen wird hiernach Ansteigen und Scheitelbildung der Anschwellungen zu Waldshut vorherrschend durch die Nebenflüsse des Alpenvorlandes, das langsame Fallen durch die Abflüsse der Randseen bedingt. In keinem Falle eines bedeutenden Oberrheinhochwassers haben gleichzeitig die Randseen ihre Höchststände erreicht, so daß die Seeabflüsse an dem Zustandekommen der größten Höhen im Rhein jedenfalls nur in geringerem Grade beteiligt sind.

Die seither aufgetretenen großen Anschwellungen des Rheins haben zu Waldshut Höhen bis zu 667 cm und in der Überflutungshöhe von 500 cm eine mittlere Dauer von nahezu 36 Stunden erreicht. Die Dauer wechselt mit der Jahreszeit. Die Winteranschwellungen verbleiben durchschnittlich kaum 24 Stunden, die Sommerwellen dagegen infolge der Wasserzurückhaltung in den Seen rd. 40 Stunden über der Hochwassergrenze.

Die Beteiligung von Rhein und Aare an dem Abflußvorgänge zu Waldshut — verschieden bei den einzelnen Anschwellungen und innerhalb dieser wieder verschieden mit der wechselnden Wasserführung der beiden Flüsse — wurde für die größeren Hochwasserwellen durch Teilung mit Hilfe der gleichwertigen Höhen Kadelburg-Waldshut ermittelt. Die Anteile an der Rheinhöhe zu Waldshut wurden durch die entsprechenden Abflußmengen ersetzt und die Ergebnisse in Hundertteilen der Gesamtabflußmenge Waldshut in der Zahlentafel 4 verzeichnet. Im allgemeinen ist bei den Sommerhochwassern des Oberrheins aus der früheren Zeit die Beteiligung der Aare nicht unwesentlich größer, als jene des Schweizer Rheins und seiner Nebenflüsse, wenn auch mit einzelnen Ausnahmen, die, wie das Hochwasser vom August 1824 oder jenes vom Juni 1876 auf starke Überregnung der östlichen Schweiz und insbesondere der Einzugsgebiete der Thur, Töb und Glatt zurückzuführen sind. Seit Beginn der 1880er Jahre dagegen ist bei den Rheinanschwellungen zu Waldshut aus der wärmeren Jahreszeit eine geringere Beteiligung der Aare zu erkennen, die wohl auf die Wasserzurückhaltung in den Seengebieten der Westschweiz zurückgeführt werden darf. Bei den Winteranschwellungen kommt, wegen des verminderten Anteils der Hochgebirgsflüsse um jene Zeit die Wirksamkeit der Seen überhaupt wenig zur Geltung.

Die Anschwellungserscheinungen rücken im Rhein zwischen Waldshut und Emmerich mit einer den wechselnden Gefälls- und Querschnittsverhältnissen entsprechenden Fortpflanzungsgeschwindigkeit vor, die, wie schon seither bekannt war und durch die Ergebnisse der früheren Untersuchungen über diesen Gegenstand^{*)} bestätigt worden ist, im wesentlichen von der

^{*)} Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. III. Heft. Berlin 1897.

mit dem Wasserstande veränderlichen Stromgeschwindigkeit und von der mittleren Tiefe des Abflußquerschnitts abhängt.

Die früheren Untersuchungen umfaßten in der Hauptsache nur die Stromstrecke zwischen der Aare- und der Neckarmündung, für welche die Aufzeichnungen der selbstschreibenden Pegel zu Waldshut, Kehl, Maxau und Mannheim aus dem Zeitraum von wenigen Jahren benutzt werden konnten. Seitdem sind, zumeist auf Anregung des Zentralbureaus, längs des ganzen Rheinstromes zwischen Waldshut und Emmerich selbstschreibende Pegelstellen in größerer Zahl eingerichtet worden⁷⁾, so daß es möglich war, die Zeitfolgeverhältnisse nunmehr für den ganzen Rhein zwischen den genannten Orten genauer zu untersuchen. Insbesondere konnte die Fortpflanzungsdauer auch von verhältnismäßig niedrigen Rheinständen, für die vordem keine oder doch nur ungenaue Beobachtungen vorhanden waren, mit einer für die meisten Fälle der Anwendung genügenden Sicherheit festgestellt werden. Für alle Erscheinungen im Verlaufe der Wasserstandsbewegung des Rheins, welche je nach Umständen an den aufeinanderfolgenden Stromorten oder auf eine größere Rheinstrecke hin als zusammengehörig und durch die inzwischen zufließenden Nebengewässer nicht oder nur unwesentlich beeinflusst betrachtet werden durften, worüber in zweifelhaften Fällen besondere Untersuchungen notwendig waren, wurde der zeitliche Eintritt so genau, als dies die Aufzeichnungen ermöglicht haben, festgestellt. Die erhaltenen Zeitunterschiede für die einzelnen Stromstrecken wurden dann als Ordinaten zu der Höhe des Rheinstandes an der oberen Stromstation aufgetragen und die meist zahlreichen und gut übereinstimmenden Einzelbeobachtungen durch eine vermittelnde Linie ersetzt. Schließlich wurden die Fortpflanzungszeiten in den Einzelstrecken nach Maßgabe der gleichwertigen Rheinstände zusammengesetzt und dadurch die Gesamtdauer, bezogen auf die Höhe des Wasserstandes am Pegel zu Waldshut als Ausgangsstelle gewonnen, wie aus der beigegebenen Darstellung entnommen werden kann.

In der Darstellung gibt die Teilung der linksseitigen senkrechten Begrenzungslinie den Rheinstand zu Waldshut an; die ihm gleichwertigen Wasserstände an den Folgestationen werden durch die Wagrechten bezeichnet. Die Fortpflanzungsdauer einer Rheinwelle von bekannter Höhe zu Waldshut zwischen Waldshut und einer beliebigen Folgestation wird somit durch den Abschnitt bestimmt, welcher zwischen der linksseitigen Begrenzungslinie und der, der Folgestation zugehörigen Zeitdauerlinie auf jener Wagrechten verbleibt, die der Anschwellungshöhe Waldshut entspricht. Mittels der Darstellung kann übrigens auch die Fortpflanzungsdauer einer Anschwellung zwischen beliebigen Rheinstationen unmittelbar angegeben werden, da jeder einer Folgestation zugehörigen Zeitdauerlinie so viele auf den Pegelnullpunkt der Station sich beziehen-

⁷⁾ Selbstschreibende Pegelstellen am Rhein sind gegenwärtig im Gange zu Waldshut, Basel, Hüningen, Altbreisach, Rheinau, Marlen (Kehl), Gamsheim, Plittersdorf, Lauterburg, Maxau, Speyer, Mannheim, Frankenthal, Oppenheim, Mainz, Bingen, Kaub, Boppard, Coblenz, Andernach, Ariendorf (Linz), Köln, Düsseldorf, Ruhrort, Rees.

den Rheinhöhen beige beschrieben sind, daß Zwischenschaltungen ohne weiteres vorgenommen werden können. So pflanzt sich beispielsweise eine Rheinwelle von 300 cm Höhe in Oppenheim (gleichwertig mit 360 cm Wht.) bis Wesel, wo ihr eine Wellenhöhe von 200 cm entspricht, in $146 - 90 = 56$ Stunden fort.

Der höchste seither in Waldshut festgestellte Rheinstand von 670 cm entspricht im gleichwertigen Höhenverhältnisse in Mannheim dem bedeutenden Hochwasserstande von 860 cm, in Mainz dem mäßigen Hochwasser von nicht ganz 400 cm; er erreicht in Köln aber bei weitem nicht mehr die Überflutungsgrenze. Um die Darstellung gleichwohl für die mittleren und unteren Stromabschnitte vollständiger zu gestalten, waren zu den Höhen über 860 cm Mhm. und 400 cm Mz. die bisher zwar nicht beobachteten aber auf Grund des Verhältnisses der Abflußgeschwindigkeiten und der Abflußquerschnitte in bekannter Art annähernd bestimmbar gleichwertigen Höhen für Waldshut rückschließend festzustellen; damit war es möglich, die Fortpflanzungsdauer auch noch von Rheinwellen, die eine Wasserhöhe von 600 cm in Mainz und dementsprechend 700 cm in Köln erreichen, mit zur Darstellung zu bringen.

Die Rheinwelle schreitet bei den ungewöhnlich niedrigen Ständen (100 bis 150 cm Wht.) von der Aarmündung aus bis zum Neckar in 52 Stunden, bis zur Mainmündung in 75 Stunden, bis zur Moselmündung in 100 Stunden fort; sie erreicht Köln nach Umfluß von 117 Stunden, Emmerich nach 158 Stunden. Die Fortpflanzungsdauer wird dann mit steigendem Strome zunächst kleiner, die Wellengeschwindigkeit nimmt demnach zu. Der Höchstwert tritt ein für den Rhein bis Mainz bei 250 cm Wht., also schon bei mittleren Wasserständen, sobald eine völlige Ueberflutung der Kiesbänke erfolgt, bis Köln bei 300 cm Wht., bis Emmerich bei 320 cm Wht.; bei den genannten Höhen legt die Rheinwelle die Gesamtstromstrecke von 742 km in 141 Stunden, durchschnittlich also 5,3 km in der Stunde zurück. Bei weiter wachsendem Rhein vergrößert sich die Ablaufdauer wieder, anfänglich langsam, bis die Uferhöhe erreicht ist, was bekanntlich nicht überall gleichzeitig erfolgt. Erst die allgemeine Überflutung der Ufergelände kommt durch eine bedeutende Zunahme der Ablaufdauer zur Geltung.

In den oberen Stromabschnitten beginnt die Überflutung bei Rheinständen zwischen 400 und 500 cm zu Hüningen, in der Strecke Rheinau und Maxau zwischen 420 und 520 cm zu Rheinau, in der Gesamtstrecke Waldshut-Maxau zwischen 400 und 550 cm Waldshut; die Fortpflanzungsdauer wächst innerhalb dieses Stromabschnittes und Höhenunterschiedes von 43 bis 77 Stunden an. Unterhalb der Neckarmündung macht sich die Ausbreitung der Anschwellungen erst von etwa 750 cm zu Mannheim, im Rheingau von rd. 400 cm Mainz an geltend; doch beträgt die Zunahme der Zeitdauer infolge der Überflutung des Ufergeländes nur wenige Stunden. In der Rheinstrecke Bingen-Bonn ist weit eher eine Abnahme der Zeitdauer als eine Vergrößerung bei dem die Uferhöhe überschreitenden Strome zu bemerken; die

zweifellos vorhandene geringe Zunahme infolge der meist unbedeutenden Überflutungen wird offenbar durch das Anwachsen der Stromgeschwindigkeit bei Hochwasser wieder ausgeglichen. Unterhalb Bonn setzt die Überflutung bei Rheinständen zwischen 550 und 600 cm zu Köln an den verschiedenen Stromorten ein; die Fortpflanzungsdauer nimmt dann für diese größeren Höhen stellenweise erheblich zu, bis bei 800 cm zu Köln etwa das Maximum erreicht ist.

Die größte seither entstandene Oberrheinwelle von rd. 670 cm Waldshut hat den Strom bis Mannheim in 122 Stunden — von Basel bis Mannheim in 115 Stunden — bis Köln in 167, bis Emmerich in 196 Stunden durchlaufen. Am Anfange des vorigen Jahrhunderts — vor der Ausführung der Korrektur des Oberrheins — ist, wie die nachstehenden, den Wasserstandsaufzeichnungen zu Basel und Mannheim entnommenen Eintrittszeiten der korrespondierenden Höchststände der vier größten Anschwellungen jener Zeit, nämlich

1801 XII. 31.	—	654 cm Bsl.	—	1802 I. 5.	—	820 cm Mhm.
1812 II. 17 abds.	489	»	»	1812 II. 22. mgs.	754	»
1812 XI. 15. mttgs.	477	»	»	1812 XI. 19—20 mgs.	736	»
1813 VII. 12. abds.	516	»	»	1813 VII. 17.	781	»

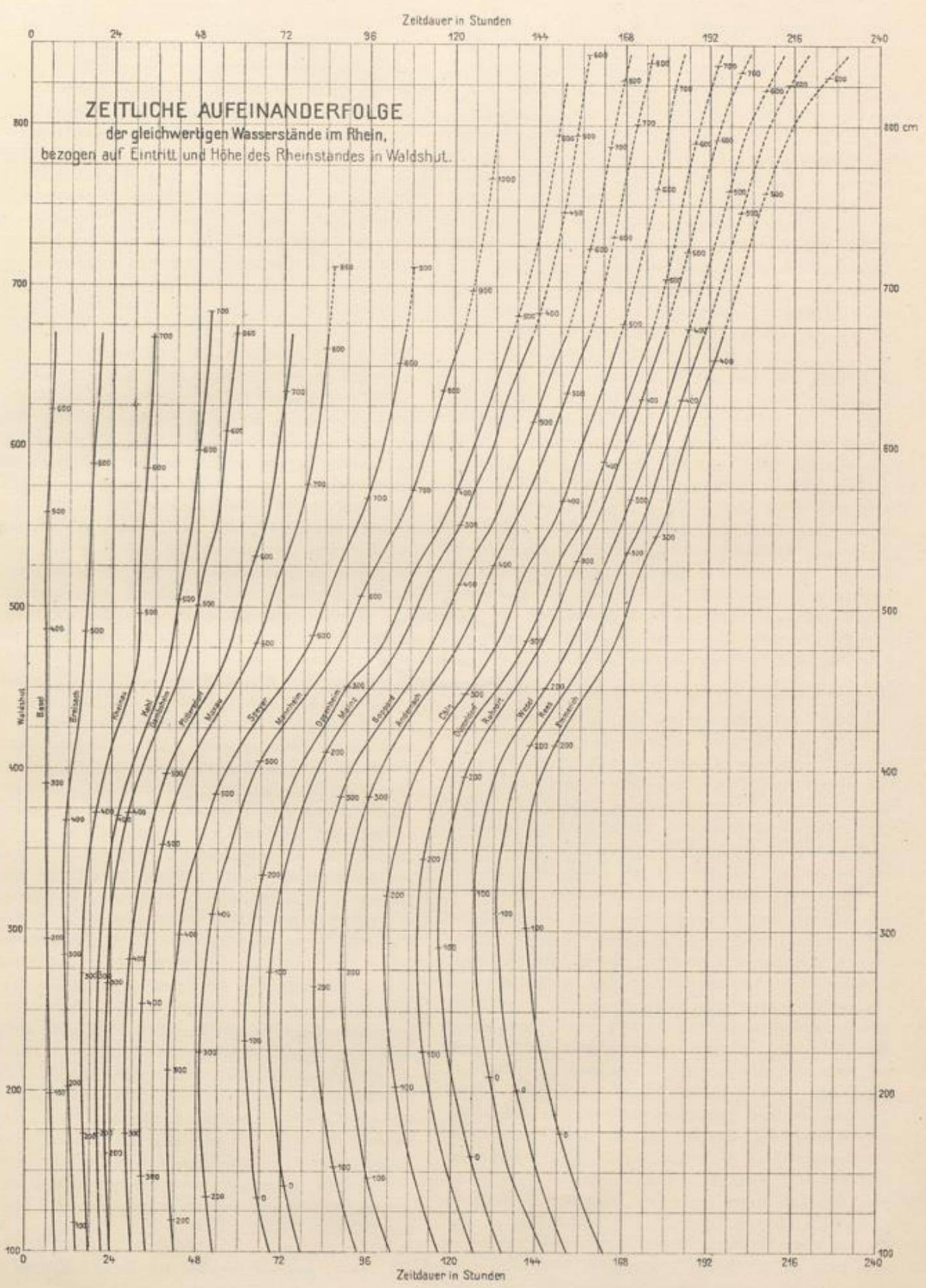
ergeben, die Fortpflanzungsdauer zwischen Basel und Mannheim bei den höheren Rheinständen nicht wesentlich von der gegenwärtigen verschieden gewesen; sie hat ebenfalls beiläufig 4 bis 5 Tage umfaßt. Die Hochwasserwelle ist schon ehemals, wie leicht erklärlich, nur dem Haupttalwege zwischen den verschiedenen Gießen und Rinnen des Wildstromes gefolgt und dieser Talweg entspricht annähernd der gegenwärtigen gekürzten Strombahn. Die hohe Oberrheinwelle trifft also auch heute nicht früher als vor hundert Jahren an der Neckarmündung ein. Erheblich weniger Zeit als ehemals bedürfen indes die mittleren Anschwellungen, deren Weg um mehr als 80 km gekürzt erscheint, während die niedrigen Wellen wieder eine längere gewundene Bahn zwischen den Kiesbänken des geregelten Mittelwasserbettes zurückzulegen haben.

Die festgestellten Zeitbeträge für das Vorrücken der Anschwellungserscheinungen im Rhein in den einzelnen Stromabschnitten sind in die Zahlentafel 14 aufgenommen. Aus der gefundenen Fortpflanzungsdauer für die höheren Anschwellungen im Rhein geht hervor, daß in der Stromstrecke Waldshut—Basel, welche von dem Scheitel der Wasserwelle in etwa 5 Stunden zurückgelegt wird, die mittlere sekundliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit gegen 4 m erreichen muß, während die durchschnittliche Oberflächengeschwindigkeit bei den hohen Wasserständen 3,5 m kaum überschreitet; die Scheitel der Anschwellungen eilen daher in dieser Rheinstrecke dem Strome voraus. Unterhalb Basel, mit dem Eintritt des Rheins in das breite Stromtal, bleibt dagegen der hohe Wellenscheitel mehr und mehr gegenüber der Oberflächengeschwindigkeit, welche zwar selbst nicht unbedeutend kleiner wird, zurück. Die Verspätung erreicht für Mannheim über 3 Tage, für die ganze Rheinstrecke Basel—Bingen aber etwa 5 Tage, bei gleichzeitig hohen Wasserständen im Niederrhein (über 700 cm zu Köln)

zwischen Köln und Emmerich 1 bis 2 Tage. Die hier erwähnte Erscheinung ist den Rheinschiffen wohlbekannt; das mit der Oberflächengeschwindigkeit zu Tal treibende Boot kommt wesentlich früher in der unteren Stromgegend an, als die Hochwasserwelle.

Die genauere Prüfung der Zeitunterschiede hat weiter ergeben, daß auch die Mächtigkeit der Fluterscheinung einen bestimmenden Einfluß auf die Fortpflanzungsdauer besitzt. Kurzdauernde Anschwellungen von größerer Höhe rücken schneller vor als längerdauernde von anfänglich der gleichen Höhe und zwar namentlich in den Stromstrecken mit bedeutenden Überflutungsgebieten. Die kurzdauernde Welle mit geringerer Wassermasse wird durch Abströmen über die Vorländer verhältnismäßig mehr gesenkt, als Fluterscheinungen von längerer Dauer, welche nachhaltiger in ihrer Wasserfülle sind. Hierwegen erreicht die erste Welle schon nach kürzerem Verlaufe jene geringeren Höhen, bei welchen sie nach den obigen Untersuchungsergebnissen rascher vorrückt als die zweite. In Stromstrecken ohne namhafte Überflutungsgebiete fällt zwar der seitliche Wasserverlust der Anschwellungen weg, dagegen bleibt die durch Bewegungshindernisse veranlaßte Verflachung bestehen und es können daher auch in solchen Fällen kleinere Unterschiede in der zeitlichen Fortpflanzung kürzer- und längerdauernder Wellen von anfänglich gleicher Höhe eintreten. Die erwähnte Erscheinung kann bis jetzt zwar nur durch vereinzelte tatsächliche Beobachtungen belegt werden, da unter den vorhandenen Wasserstandsaufzeichnungen erst wenige über Anschwellungen von ursprünglich übereinstimmender Höhe aber ungleicher Mächtigkeit sich befinden und bei der Mehrzahl dieser höhere Nebenflußstände den zeitlichen Verlauf der Rheinwellen beeinträchtigt haben. Immerhin genügt auch schon die geringe Zahl von Fällen zur Erklärung der Erscheinung, daß die Fortpflanzungsdauer gleichwertiger Rheinwellen, namentlich wenn ihr Ablauf mit Überflutungen verbunden ist, nicht eindeutig von der Anschwellungshöhe abhängt, sondern daß auch die Mächtigkeit oder Nachhaltigkeit der Welle mitbestimmend einwirkt. Die abgeleiteten Zeitfolgebeträge sind also immerhin nur als Mittelzahlen aufzufassen; die genauere Feststellung ihrer Abhängigkeit von den Umständen des Ablaufes kann jedoch erst auf der Grundlage vermehrter Beobachtungen erfolgen.

Die im Rhein von Waldshut her vorrückenden Anschwellungen erleiden, wie dies in der Natur solcher Erscheinungen liegt, Umgestaltungen teils durch das wechselnde Fassungsvermögen des eigentlichen Stromgerinnes und bei höheren Wellen wohl auch durch die verschiedenartige Begrenzung der zur Ausbreitung des Hochwassers vorhandenen Vorländer, teils durch die Änderung der Abflußmenge selbst, indem entweder in den oberen Überflutungsgebieten ein Teil der ursprünglichen Hochwassermasse vorübergehend zurückgehalten wird, oder indem sich Anschwellungen der Nebenflüsse mit jener des Rheins vereinigen und dadurch deren Abflußmassen vergrößern. Das eigentliche Stromgerinne kommt für den



Landesbibliothek
Karlsruhe

Rhein zwischen Basel und Bingen und zwischen Bonn und Emmerich bekanntlich nur bei niedrigen und mittleren Anschwellungserscheinungen in Betracht; bei vermehrtem Abflusse übersteigt der Strom seine Ufer und breitet sich über den Vorländern aus — entweder bis zu der durch die natürlich hohe Lage des Geländes gezogenen Grenze oder bis zur künstlichen Eindeichung. Beide Begrenzungen sind, wie die Darstellungen des Rheinstromwerkes^{*)} ergeben, äußerst unregelmäßig gestaltet. Zwischen Waldshut und Basel und zwischen Bingen und Bonn ist der Rhein dagegen mit nur geringen Ausnahmen von hochwasserfreien Ufern bis zu bedeutenden Höhen umschlossen, so daß innerhalb dieser Stromstrecke jedenfalls keine größeren Wassermengen überfluten können und zurückgehalten werden.

Die Änderungen im Verlaufe der die Ufer nicht überschreitenden Anschwellungen werden — insoweit weit sie durch den Wechsel in der Gestalt des Nieder- oder Mittelwasserbettes veranlaßt sind — wie dieser selbst äußerst mannigfaltig sein. So bewirkt, um hier auf bekannte Erscheinungen hinzuweisen, die Einschränkung des Mittelwasserbettes des Rheins an der Lautermündung von 250 m Breite ein höheres Anschwellen des bordvollen Stromes um etwa 20 cm, der Übergang der Rheinwelle aus dem 300 m breiten Mittelwasserbette unterhalb der Neckarmündung in den ausgedehnten Stromquerschnitt im Rheingau eine Minderung der Anschwellungshöhe um mehr als 40% der ursprünglichen, dagegen der Eintritt in das enge Strombett bei Kaub eine Vergrößerung der Wellenhöhe zu Bingen um etwa 25%. Die gedachten Umgestaltungen sind freilich zum Teil mitveranlaßt — je nach den Umständen auch eingeschränkt — durch die Wirkung der Gefällsabnahme des Rheins von Basel bis zur Mainmündung, dann aber durch die nicht unwesentliche Gefällszunahme unterhalb Bingen. Insgesamt aber bewirken alle diese bald größeren, bald geringeren Hemmungen im Wasserabflusse einen Verlust an bewegender Kraft, der sich darin äußert, daß die ursprüngliche Welle im Fortschreiten mehr und mehr an Höhe verliert, während ihre Dauer anwächst; hierbei stehen Höhe und Dauer der Rheinwellen an den aufeinanderfolgenden Stromorten in einem solchen Verhältnisse, daß die Gesamtabflußmenge der Anschwellung an jeder Stelle doch annähernd die gleiche bleibt.

Als gestaltändernd wirkt auf die Rheinwelle neben dem Querschnitts- und Gefällswechsel des Strombettes vor allem auch die ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Rheinstände verschiedener Höhe; sie verursacht eine Verschiebung der höheren Teile der Rheinwelle gegen die niedrigeren in dem Sinne, daß die ursprüngliche Wasserstandszunahme (für die Zeiteinheit ermittelt) bei dem Fortschreiten der Welle im Steigen abnimmt, die Wasserstandsabnahme im Fallen wächst. Für die Stromstrecke Waldshut—Maxau hat sich aus einer größeren Zahl von Beobachtungen an Anschwellungen,

die natürlich durch seitlichen Wasserzufluß keine erhebliche Änderung erfahren haben durften, ergeben, daß einem größten Steigen des Rheins zu Waldshut von 3, 4 u. s. f. bis 11 cm in der Stunde — nach Umfluß der Zulaufszeit Waldshut—Maxau — in Maxau ein größtes Steigen von 1,5, 2,5, 3,0, 3,5, 4,5, 5,0, 6,0, 7,0 und 8,0 cm in der Stunde entspricht. In den Stromstrecken mit wasserreichen Nebenflüssen, also unterhalb der Neckarmündung, ist die Einwirkung dieser Gewässer fast immer so bedeutend, daß die regelmäßige Abflachung der Rheinwelle zum Teil verwischt wird; erst unterhalb der Moselmündung — zwischen Andernach und Emmerich — läßt sie sich wieder deutlich erkennen. Einem stärksten Anschwellen von 1, 3, 5, 7, 9 cm in der Stunde zu Andernach entspricht ein solches von 0,8, 2,4, 3,8, 5,0, und 6,2 cm in der Stunde bei Emmerich.

In ähnlicher Richtung wie die natürliche Abflachung der Wellen macht sich die Einwirkung des Grundwasserzuflusses und der Einfluß der zahlreichen kleinen oberirdischen Gerinne geltend, welche im einzelnen nicht in Betracht gezogen werden können. Der Grundwasserzufluß erhöht, wie schon festgestellt worden ist, vorzugsweise nur die niedrigen Wasserstände; die kleinen oberirdischen Zuflüsse zwar ebensowohl die höheren wie die niedrigen Rheinstände; sie kommen indes vorwiegend nur bei den letzteren zur Geltung. Dadurch tritt eine Umgestaltung der vorrückenden Rheinwelle in dem Sinne ein, daß die niedrigen Wasserstände an dem unteren Stromorte gegenüber den hohen mehr gehoben erscheinen, die Gesamtanschwellungshöhe also ebenfalls kleiner wird.

Sobald der Rhein die Uferhöhe erreicht hat und noch weiter ansteigt, tritt zu den schon erwähnten Einwirkungen auf den Wasserabfluß bekanntlich die Wasserzurückhaltung der Vorländer, also eine Änderung der Abflußmenge. Die der Überflutung ausgesetzten Gelände beginnen in bemerkenswerter Ausdehnung unterhalb Basel, erstrecken sich in vielfach wechselnder Breite bis zum Durchbruchstale im rheinischen Schiefergebirge und setzen sich dann erst abwärts von Bonn wieder fort.

An der Wasserzurückhaltung nimmt selbstverständlich nicht das ganze zwischen Ufer und Überflutungsgrenze liegende Gebiet in seiner Gesamtbreite teil; denn über den das Stromgerinne unmittelbar begrenzenden Abschnitten der Vorländer befindet sich das Wasser ebenfalls, wenn auch abgeschwächt — selbst bei geringer Überstauung — in stromab gerichteter Bewegung; die Breite dieser Abschnitte wechselt mit der natürlichen Beschaffenheit und der Begrenzung der Vorländer; sie konnte indes unter Berücksichtigung der vorhandenen Stromengen und der Stromübergänge annähernd bestimmt werden und kam an der ganzen Vorlandsbreite in Abrechnung. Im übrigen wurde im Einklange mit den tatsächlichen Verhältnissen vorausgesetzt, daß bei dem Übertritt des Wassers über die Ufer die Vorländer alsbald in ihrer Gesamtbreite überflutet werden; die Höhenlage dieser allgemeinen Überschwemmungsgrenze ist durch jenen Rheinstand bezeichnet, bei welchem die rasche Zunahme der Fortpflanzungsdauer beginnt.

^{*)} Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse. Berlin 1889. S. 67 u. ff.

Weiters ist an der Wasserzurückhaltung das Überflutungsgebiet keineswegs immer in seiner Gesamtlänge beteiligt. Sobald die Dauer der Hochwasserwelle in der Überflutungshöhe die Fortpflanzungsdauer nicht erreicht, so wird der stromaufwärts gelegene Teil der überschwemmten Flächen schon wieder in der Entleerung begriffen sein, wenn der untere sich erst zu füllen beginnt. Je länger die Anschwellung über der Uferhöhe verbleibt, ein umso größerer Teil des Überflutungsgebietes wird gleichzeitig unter Wasser gesetzt werden. Der für die Wasserzurückhaltung wirksame Abschnitt und die zurückgehaltene Menge selbst sind daher veränderlich mit der Wellenlänge in der Überflutungshöhe und mit der Wellenhöhe, wobei in gegebenen Fällen zur einfacheren Berechnung der zurückgehaltenen Wassermenge zweckmäßig an Stelle der fortwährend wechselnden Wellenhöhe eine gleichbleibende mittlere Höhe von annähernd $\frac{2}{3}$ der höchsten Erhebung gesetzt werden kann.

Als zurückgehaltene Gesamtmengen (in Millionen Kubikmeter) sind ermittelt für die Stromstrecke Waldshut-Mannheim:

Bei einer Wellenlänge in der Überflutungshöhe von	und einer mittleren Überstauungshöhe der Vorländer von						
	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	120 cm	140 cm
5 Stunden	—	—	—	—	—	—	—
12 "	4.9	9.8	14.7	19.6	24.5	29.4	34.3
17 "	13.2	26.4	39.6	52.8	66.0	79.2	92.4
31 "	25.9	51.9	77.7	103.8	129.7	155.6	181.6
35 "	33.5	67.0	100.6	134.0	167.6	201.1	234.6
38 "	37.1	74.2	111.2	148.4	185.4	222.5	259.6
40 "	38.2	76.4	114.5	158.7	190.9	230.0	267.0
43 "	41.9	83.8	125.8	167.7	209.6	251.5	293.4
47 "	46.2	92.3	138.5	184.6	230.8	277.0	323.1
51 "	47.2	94.4	141.6	188.8	236.0	283.2	339.4
56 "	52.1	104.2	156.4	208.5	260.6	312.7	364.8
57 "	54.1	108.2	162.2	216.3	270.4	324.5	378.6
59 "	55.3	110.7	166.0	221.4	276.7	332.0	387.4
65 "	58.8	117.6	176.4	235.2	294.0	352.8	411.6

Hat hiernach eine Hochwasserwelle des Rheins im Scheitel die allgemeine Überflutungshöhe, welche bei 400 cm Basel oder 500 cm Waldshut anzunehmen ist, beispielsweise um 150 cm überschritten und bleibt in Waldshut 26 Stunden über der Uferhöhe, so beträgt die überflutende Wassermenge 960 cbm sekundlich oder insgesamt rd. 90 Millionen Kubikmeter. Die mittlere Überstauung dieser Anschwellung erreicht demnach anfänglich 100 cm in Waldshut. Nach Umfluß von 12 Stunden ist die Hochwasserwelle bis gegen Neuenburg vorgerückt und hat in der Zwischenstrecke (auf Grund der vorstehenden Tabelle) 24,5 Millionen Kubikmeter an die beiderseitigen Überschwemmungsgebiete verloren, so daß im Rhein selbst als überflutende Menge noch 65 Millionen Kubikmeter fortbewegt werden. Die Über-

stauungshöhe hat sich hierwegen von 100 cm auf rd. 80 cm ermäßigt. Nach weiteren 5 Stunden ihres zeitlichen Verlaufes, nämlich bis Breisach hat sodann die Anschwellung bei der verminderten Überstauungshöhe der Vorländer (nach der Tabelle) $52.8 - 19.6 = 33.2$ Millionen Kubikmeter an die Überflutungsgebiete abgegeben; sie selbst führt daher über Vorlandshöhe nur mehr 32 Millionen Kubikmeter. Die mittlere Wellenhöhe sinkt wegen der neuen Wasserabgabe von 80 auf 40 cm, so daß die Überstauung der Vorländer nur mehr 40 cm beträgt. Während die Hochwassererscheinung nun von Altbreisach nach Rheinau sich fortbewegt, verliert der Rhein im Laufe von etwa 14 Stunden durch Überflutung abermals $51.9 - 26.4 = 25.5$ Millionen Kubikmeter. Im Strome selbst verbleiben hierwegen nur mehr gegen 6 Millionen Kubikmeter überflutende Menge, so daß in dem unterhalb folgenden Abschnitte, zwischen Rheinau und Kehl eine bemerkenswerte Überstauung der Vorländer nicht mehr eintreten kann. Durch die Wasserzurückhaltung in den oberen Stromabschnitten wird demgemäß die Anschwellungserscheinung für die unterhalb folgenden Strecken mehr und minder abgeschwächt; sie erreicht, wenn sie, wie in dem oben besprochenen Falle, schon ursprünglich nicht sehr mächtig war und durch seitlichen Zufluß nicht neue Unterstützung gefunden hat, im unteren Stromlaufe überhaupt nicht mehr die Uferhöhe.

Während der größten seither abgelaufenen Oberrhein-Hochwasser von 1852 IX., 1876 VI. und 1881 IX. haben die bei Basel in die oberrheinische Tiefebene eintretenden und die Vorländer überflutenden Wassermassen der Reihe nach 300, 380 und 220 Millionen Kubikmeter betragen. Die mächtigste unter den genannten Erscheinungen war das Junihochwasser von 1876. In der Gegend von Hünningen war das Gelände zu beiden Seiten des Stromes um rd. 200 cm überstaut und die in der Stromstrecke Hünningen—Neuenburg zurückgelassenen Wassermengen haben gegen 50 und zwischen Neuenburg und Altbreisach weitere 60 Millionen Kubikmeter betragen. Aus der Dauer der Hochwassererscheinung und aus den überstauten Flächen folgt nun, daß schon bei Plittersdorf die Rheinwelle wegen der seitlichen Wasserverluste bis auf Vorlandhöhe gesenkt worden sein mußte. Haben auch bedeutendere Zuflüsse aus Schwarzwald und Vogesen den seitlichen Verlust teilweise wieder gedeckt, so läßt sich doch daraus nicht erklären, daß noch bei Maxau, wie es tatsächlich der Fall war, die Überstauung des Ufergeländes durchschnittlich gegen 150 cm erreicht hat. Bei den Überflutungen durch hohe Rheinwellen ist eben anzunehmen, daß die gesamte, also auch die über die Vorländer eingeströmte Wassermasse sowohl wegen des unter solchen Umständen bedeutenden Wasserspiegelgefälles als wegen der geringeren Reibung in stromab gerichteter Bewegung sich befindet; die Bewegung dieser Seitenströmung wird zwar weit hinter jener des Rheins zurückbleiben aber immerhin genügen, in Verbindung mit den Nebenflüssen der Verminderung der Überstauungshöhe entgegenzuwirken. Die Gesamtmasse des während der Fluterscheinung des Rheins im Jahre

1876 von Basel aus stromabwärts bewegten Wassers — vom vorausgegangenen Mittelwasserstande aus und bis zur Rückkehr zu diesem gerechnet — hat 2745 Millionen Kubikmeter erreicht; der überflutende Teil hat demnach kaum 14% der ganzen Anschwellungsmasse betragen.

Der Fassungsraum der gegenwärtig noch vorhandenen Altarme des Rheins kommt für die vorübergehende Wasserzurückhaltung kaum in Frage; dieser Raum ist längst gefüllt, wenn eine Hochwassererscheinung eintritt; er ist bei höheren Rheinständen also überhaupt nicht mehr wirksam.

Die aus den Überschwemmungsgebieten nur allmählich wieder nach dem Rhein zurückströmenden Wassermassen wirken auf den Abflußvorgang in den unteren Stromabschnitten naturgemäß verzögernd ein, so zwar, daß im Fallen eine längere als die für gleichwertige Rheinstände abgeleitete Zeitdauer verstreichen muß, bis sich jenes Höhenverhältnis wieder einstellt, welches im Beharrungszustand als »gleichwertig« bezeichnet wird. Da aber wegen der Stetigkeit des Abflußvorganges die Fortpflanzungsdauer für ein und dieselbe Rheinhöhe — im Steigen, im Fallen oder im Beharrungszustand — annähernd gleich groß angenommen werden muß, so folgt notwendig, daß das Höhenverhältnis verschieden sein muß: einem Rheinstand von bestimmter Höhe an dem oberen Stromorte entspricht im Fallen ein höherer Wasserstand am unteren Stromorte, als sich im Beharrungszustand oder dann einstellen würde, wenn keine Überflutung in der Zwischenstrecke erfolgt wäre. Entsprechend muß, wie leicht erklärlich, im Steigen einer Anschwellung und zwar von dem Zeitpunkte der Überschreitung der Ufer ab, wegen der andauernden Wasserabgabe an die Vorlandsflächen, der Rheinstand am unteren Stromorte verhältnismäßig zu niedrig werden. Die Unterschiede gegenüber dem gleichwertigen Höhenverhältnisse sind indes nicht bedeutend; bei sehr schnellem Wasserstandswechsel werden höchstensfalls 10 cm Mehr- oder Minderhöhe gefunden.

Die bedeutendste Umgestaltung erfährt die Rheinwelle durch die Einwirkung der Nebenflüsse und hier insbesondere durch die großen und wasserreichen Flüsse des Mittelgebirges. Die Vergrößerung der Wasserführung veranlaßt immer eine Erhöhung des Wasserstandes; sie wirkt daher den vorerwähnten Einflüssen der Verflachung der Anschwellungen durch Bewegungsverluste sowie durch Überströmen der Vorländer entgegen und kann diese, sobald der seitliche Wasserzufluß nur genügend stark ist, völlig ausgleichen und selbst übertreffen.

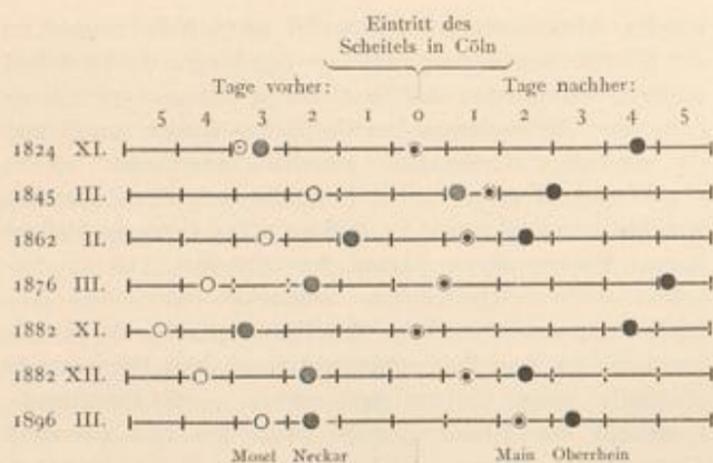
Durch die Ergebnisse der früheren Untersuchungen über die Fortpflanzung der Anschwellungen im Rhein unter der Mitwirkung der Nebenflüsse*) ist im allgemeinen das Verfahren bezeichnet worden, wie ohne die Kennt-

*) Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet, III. Heft, Berlin.

nis der Abflußmengen der Anteil eines Nebenflusses an der Rheinbewegung gefunden werden kann. Es ist darauf hingewiesen worden, daß bestimmten Rheinständen oberhalb eines Nebenflusses jeweils immer wieder annähernd die nämlichen Rheinstände unterhalb entsprechen, sofern der Wasserzufluß durch die Nebenflüsse in der Zwischenstrecke so unbedeutend ist, daß er außer Betracht bleiben kann. Ebenso ist die Dauer der zeitlichen Aufeinanderfolge solcher Rheinstände abgeleitet und ihre Abhängigkeit von der Höhe des Wasserstandes dargestellt worden. Es war also ermöglicht, aus dem Rheinstand oberhalb eines Nebenflusses seinen »gleichwertigen« unterhalb der Mündungsstelle abzuleiten und aus dem Unterschiede dieses gleichwertigen und des hier tatsächlich beobachteten Standes die Zunahme des Rheinstandes durch den Nebenfluß zu entnehmen.

Seit der Veröffentlichung jener Untersuchungsergebnisse sind die Grundlagen für die Feststellung der gleichwertigen Rheinstände weiter verbessert worden. Zwar sind inzwischen auch zahlreiche Wassermessungen ausgeführt worden, welche über die tatsächlichen Abflußmengen bei niedrigen und mittleren Ständen des Rheins und seiner größeren Nebenflüsse Aufschluß geben, allein für die hohen Rheinstände beruhen die derzeit bekannten Mengenangaben meistens auch jetzt noch auf Schätzung; sie reichen daher für die Untersuchung der Einwirkung der Nebenflüsse auf die Hochwassererscheinungen des Rheins nicht aus. Die früher ermittelten gleichwertigen Höhenverhältnisse haben gegenüber den derzeit gültigen nur in den Stromstrecken mit beweglicher Sohle, wo die fortwährende Umbildung der Gestalt des Strombettes sich merkbar in den niedrigen und auch noch in den mittleren Wasserständen geltend macht, geringe Änderungen erfahren. Bei ihrer Verwendung wurden im allgemeinen die Höhenverhältnisse des weder ungewöhnlich nassen noch trockenen Zeitraumes 1886—1890 zugrunde gelegt und bei den Rheinständen aus einer früheren oder späteren Zeit der Betrag der Bewegung der Stromsohle berücksichtigt. Die Fortpflanzungsdauer der gleichwertigen Rheinstände kann jetzt für die meisten Stromorte genügend genau angegeben werden.

Der Anteil der Nebenflüsse an der Rheinbewegung ist natürlich je nach den Abflußverhältnissen des einzelnen Gewässers und je nach dem Verlaufe der Anschwellungen im allgemeinen innerhalb weiter Grenzen veränderlich; er wurde für die größeren Nebenflüsse Neckar, Main, Mosel und für den Oberrhein — diesen bis zur Neckarmündung gerechnet — sowie für die wichtigsten Hochwassererscheinungen untersucht. Die Höchsterhöhung des Rheinstandes durch die Zuflüsse, welche nicht immer mit dem Eintreffen der Scheitel der Nebenflußwellen zeitlich völlig übereinstimmt, wurde — von dem Eintritt des Rheinscheitels in Köln aus betrachtet — für Köln festgestellt und in der nachstehenden Figur schematisch wiedergegeben, wobei der Zeitpunkt der stärksten Hebung für jeden der Nebenflüsse durch ein besonderes Zeichen kenntlich gemacht wurde.



Mosel und Neckar kommen im allgemeinen vor, Main und Oberrhein nach der Scheitelbildung in Cöln zur größten Geltung; nur 1824 XI. ist die bedeutendste Erhöhung des Rheinstandes durch den Main schon kurze Zeit vor Eintritt des Rheinscheitels und 1845 III. die stärkste Einwirkung des Neckars erst einen Tag nach dem Höchststand in Cöln festgestellt worden. Die Maximalerhöhung im Verlaufe der genannten Hochwassererscheinungen durch die Mosel hat jeweils zwischen dem 5. und 2. Tage vor der Scheitelbildung in Cöln stattgefunden. Bei dem Neckar fällt das Maximum der Erhöhung im allgemeinen — mit der oben erwähnten Ausnahme — in den Zeitraum zwischen den 3. und 1. Tag vor jener Scheitelbildung. Der Main hatte in 3 Fällen die stärkste Erhöhung am Tage der Kulmination selbst, in weiteren 3 Fällen am ersten Tage und in einem Falle am 2. Tage nachher veranlaßt. Der Oberrhein kommt zwischen dem 2. und 4. Tage, im März 1876 erst mit Beginn des 5. Tages nach dem Eintritt des Scheitels in Cöln zur Höchstwirkung. Im Verlaufe des Hochwassers vom November 1824 sind Mosel und Neckar, im März 1845 Neckar und Main sich sehr nahe gekommen; doch bleibt die Reihenfolge für den Eintritt der stärksten Einwirkung in allen Fällen die gleiche: Mosel, Neckar, Main und Oberrhein.

Da die Vergrößerung des Rheinstandes durch einen Nebenfluß bekanntlich im allgemeinen mit der Nebenflußhöhe wächst, mit wachsender Rheinhöhe aber abnimmt, so tritt das Höchstmaß des Einflusses der einer Rheinanschwellung vorausgehenden Nebenflußwelle schon früher ein, als der Scheitel an der Mündung ankommt; das Höchstmaß des Einflusses der dem Rhein nachfolgenden Nebenflußwelle dagegen später. Die größte Gesamteinwirkung muß daher eintreten, wenn die Höchsterhebungen — wie es aber wohl in nur seltenen Fällen zutreffen wird — nach Maßgabe der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten sich summieren können.

Die Schwarzwaldflüsse führen ihre größten Abflüßmengen zumeist dann dem Rhein zu, wenn die von Waldshut aus vorrückende Welle erst in der Entwicklung begriffen ist; der verstärkte Zufluß durch die Schwarzwaldgewässer beschleunigt dann das Anschwellen des Rheins. Nicht selten beginnt das Steigen längs des ganzen Stromlaufes zwischen der Wiese- und Lauter-

mündung innerhalb eines Tages — scheinbar mit bedeutender Geschwindigkeit sich fortplanzend. Indes wird doch auch eine äußerst rasche Übertragung der Anschwellungsbewegung der Oberrheinwelle bei niedrigem Stande der Schwarzwaldflüsse beobachtet, sobald der Rhein zu Waldshut ungewöhnlich rasch steigt. Dann pflanzt sich der Antrieb zum Steigen weit schneller fort, als es die Fortschrittsgeschwindigkeit der Rheinwelle bedingt. In solchem Falle wirkt wohl auch der hydrostatische Druck der oberen Wassermassen auf die unteren mit, um diese vorzeitig zu heben. Die Scheitel der Anschwellungen der Schwarzwaldflüsse erreichen den Rhein in der Regel schon, während dieser im Steigen begriffen ist, wobei die Rheinwelle bei dem Eintreffen des Elz- und Kinzigsscheitels näher dem Höhepunkte ihrer Entwicklung sein wird, als bei dem Einlaufen der Rench- und Murgwelle. Die in der Elsässer Ill gesammelten Anschwellungen der Vogesenflüsse begegnen dem Rhein im allgemeinen später, wegen des geringen Gefälles und des ausgedehnten Überflutungsgebietes zwischen Kogenheim und Straßburg; nur ein Teil der Hochwassermenge der Ill (rd. 200 cbm) gelangt schon zwischen Rheinau und Kehl durch den Hochwasserkanal in den Rhein. Bei den großen Fluterscheinungen des Oberrheins ist die von Waldshut herabkommende Wassermasse so übermächtig, daß selbständige Scheitelbildungen durch die Schwarzwaldflüsse im Rhein nur selten veranlaßt werden; der seitliche Zufluß bewirkt in solchem Falle nur ein rascheres Anschwellen; der Höchststand im Rhein wird aber fast immer durch den vorrückenden Scheitel der Oberrheinwelle bedingt. Scheitelbildungen im Rhein erzeugt zuweilen die Murg, da ihr Höchststand schon im Strome eintritt, wann sich dieser noch auf verhältnismäßig niedrigem Stande befindet.

Die Hochwasserwellen des Neckars erreichen wegen ihrer weit kürzeren Zulaufszeit den Rhein in den meisten Fällen in einem Zeitpunkt, wann die Oberrheinanschwellung an der Neckarmündung noch im Entstehen begriffen ist. Hierwegen steht gewöhnlich anfangs die Wasserstandsbewegung an der Zusammenflußstelle unter dem vorwiegenden Einfluß des Neckars, der hier die Schnelligkeit des Ansteigens bestimmt und nicht selten die Scheitelbildung unmittelbar veranlaßt. Bei minder starken Neckarwellen wird der Höchststand im Rhein erst bei abnehmendem Neckar und zunehmendem Strome als Kombinationsscheitel erzeugt; er tritt später als der Neckarhochstand und früher als der Oberrheinscheitel ein. Die zeitliche Verschiebung kann aus dem Stärkeverhältnis von Oberrhein und Neckar im voraus bestimmt werden. Jedem Centimeter Höhenzunahme im Rhein zu Speyer sowie im Neckar zu Heidelberg entspricht eine Mengenzunahme

bei einem Rheinstand zu Speyer von 210—280 cm um 3,5 cbm	und Neckarstand zu Heidelberg von 121—140 cm um 1,25 cbm
* 281—335 * * 4 *	* 141—160 * * 1,5 *
* 336—382 * * 4,5 *	* 161—182 * * 1,75 *
* 383—425 * * 5 *	* 183—205 * * 2 *
* 426—462 * * 5,5 *	* 206—227 * * 2,25 *
* 463—495 * * 6 *	* 228—252 * * 2,5 *

bei einem Rheinstand zu Speyer von 496—525 cm um 6,5 cbm	und Neckarstand zu Heidelberg von 253—277 cm um 2,75 cbm
* 526—552 * * 7 *	* 278—305 * * 3 *
* 553—577 * * 7,5 *	* 306—335 * * 3,25 *
* 578—600 * * 8 *	* 336—360 * * 3,5 *
* 601—617 * * 8,5 *	* 361—380 * * 3,75 *
* 618—632 * * 9 *	* 381—400 * * 4 *
* 633—645 * * 9,5 *	* 401—417 * * 4,25 *
* 646—660 * * 10 *	* 418—432 * * 4,5 *
* 661—670 * * 10,5 *	* 433—447 * * 4,75 *
	* 448—462 * * 5 *
	* 463—477 * * 5,25 *

Die Scheitelbildung tritt ein, sobald die Wassermengenzunahme des einen Gewässers die entsprechende Abnahme des andern an der Vereinigungsstelle gerade ausgleicht. Die stärkste Einwirkung des Neckars auf den Oberrhein erfolgt regelmäßig im Zeitpunkte der ersten Entwicklung der Hochwassererscheinung; die größten Hebungen der Rheinstände durch den Neckar fallen daher auch in diesen Zeitraum. Dazu kommt, daß die Neckaranschwellung in der Regel von kurzer Dauer und nur bei außergewöhnlichen Höhen wegen der dann erfolgten Überflutung nachhaltiger im Abflusse ist; die stärkste Einwirkung kann daher nur in dem Zeitraume weniger Stunden zur Geltung kommen. Unter den großen Hochwassererscheinungen des vorigen Jahrhunderts sind es insbesondere jene von 1824 X., 1845 III., 1876 II. und 1882 XII., bei welchen der Neckar Erhöhungen von 200 bis 300 cm der gleichzeitigen Rheinstände zu Mannheim veranlaßt hat. Bei sehr bedeutenden Anschwellungen des Neckars lassen sich die zeitlich nachfolgenden Hochwasserwellen des Oberrheins nicht über die Mündungsstelle hinaus verfolgen; die Scheitelbildung der Rheinwelle zwischen Mannheim und Mainz erscheint dann als eine Folge der Neckarwelle. Die später einlaufende Oberrheinanschwellung erzeugt je nach ihrer Stärke entweder einen Beharrungszustand im Rhein oder der Strom fällt mehr und minder stetig weiter.

Durch den Umstand, daß die hohe Mainwelle gewöhnlich aus zwei getrennten Fluterscheinungen besteht, von welchen die eine, aus den vermehrten Abflüssen des unteren Maingebietes hervorgegangen, schon nach 24 Stunden den Rhein erreicht, während die meist höhere Welle aus Obermain und Regnitz an der Mündung erst 48 bis 60 Stunden später eintrifft, wird die stärkere Einwirkung des Mains auf den Rhein auf einen längeren Zeitraum verteilt; sie tritt darum auch nur selten durch eine außerordentliche Hebung des Rheinstandes hervor und ist dann wohl immer der aus dem Obermain und der Regnitz herabkommenden Hochwasserwelle zuzuschreiben. Das Einlaufen des größeren Mainscheitels in den Rhein erfolgt in der Regel in einem Zeitpunkte, wann hier der von Waldshut her vorrückende Oberrheinscheitel eintrifft, während die Hochwasserwelle aus dem Neckar, selbst die vom oberen Neckar ausgehende, schon in der Abnahme begriffen ist. Der Höhepunkt der Mainanschwellung fällt hierwegen meistens mit verhältnismäßig hohen Rheinständen zusammen. Ist die Mainanschwellung genügend mächtig, um die Wirkung des fallenden Neckars auf den Rhein auszugleichen, so

ist ein langedauernder höherer Rheinstand in Mainz die Folge. Die größten seither durch den Main bewirkten Hebungen des Rheinstandes haben 1845 III und 1882 XI stattgefunden, in beiden Fällen aber 150 cm kaum überstiegen.

Die Nahe tritt nicht selten bemerkenswert in der Anschwellungsbewegung des Rheins hervor, da ihre Wasserführung zeitweise bedeutend werden kann und ihre Anschwellungen dann meistens zugleich einen stürmischen Verlauf nehmen. Dazu kommt, daß die Hochwasser der Nahe bei ihrem verhältnismäßig kurzen Wege schon sehr zeitig den Rhein erreichen, wann dieser selbst in Bingen noch auf einem niedrigen Stande befindlich erst im Anschwellen begriffen ist. Die im Rhein veranlaßte Erhöhung wird gleichwohl wegen der geringen Nachhaltigkeit der Wasserlieferung nur auf kurze Zeit bemerkt und die etwa im Rhein in seltenen Fällen entstehenden Scheitelbildungen sind kaum über die Lahn-Moselmündung hinaus zu verfolgen. Die stärkste Hebung des Rheinstandes durch die Nahe fand im Januar 1890 statt; sie hat 130 cm erreicht.

Die großen Anschwellungen aus der Lahn und namentlich aus der Mosel treffen, wie schon erwähnt, in den meisten Fällen frühzeitiger in Coblenz ein, als hier die vereinigten Wellen aus dem Oberrhein und Main ankommen. Da die Anschwellungen der Mosel je nach dem Zusammentreffen der Wellen aus der oberen Mosel und Saar gewöhnlich eine Dauer von 3 bis 6 Tagen über Hochwasserhöhe erreichen, so erstreckt sich die stärkere Einwirkung der Mosel fast immer auf den ganzen Zeitraum des Anwachsens und der Scheitelbildung der Rheinwelle; sie hat seither schon Beträge von 300 cm überschritten, trifft indes meist noch mit verhältnismäßig niedrigen Rheinständen zusammen. Bei der ansehnlichen Wasserfülle der Mosel während ihrer Hochwassererscheinungen bildet der durch sie im Rhein veranlaßte Wellenscheitel für den Niederrhein nicht selten die Haupterhebung, dem die vom Oberrhein her vorrückende Welle erst nach Umfluß von 4 bis 7 Tagen folgt; dadurch entstehen, namentlich sofern auch Neckar und Main größere Wassermengen bringen, innerhalb des ganzen Zeitraumes zwischen dem Eintreffen der Mosel- und der Oberrheinanschwellung hohe Wasserstände unterhalb Coblenz; die Fluterscheinung im Rhein erhebt sich dann als ein breiter Wellenberg von mehrtägiger Dauer über der Hochwassergrenze.

Außergewöhnlich geringer oder bedeutender Abfluß.

Wie bei allen natürlichen Gewässern, so vollziehen sich auch im Rhein die Schwankungen im Abflußvorgange innerhalb bestimmter Grenzwerte, die selbstverständlich nicht völlig festliegen; sie gehen mit der Länge der Beobachtungsreihen im allgemeinen weiter auseinander.

Als außergewöhnlich niedrige Stände kommen am Rhein im allgemeinen jene von 1858 I—II, 1882 II,

1884 IX und 1894 I, an einigen Stromorten auch Niederstände aus anderen Jahren in Betracht. Berücksichtigt man die Wechsel in der Gestalt der Stromsohle während der zwischenliegenden Zeit und bezieht die sämtlichen Niedrigstände auf ein und denselben Zustand, so stellen keineswegs die zahlenmäßig kleinsten Wasserstände auch in allen Fällen die tatsächlichen Tiefstände dar. Bei Rheinau bezeichnet nicht das Niederwasser von 1874 XI mit 84 cm sondern jenes von 1854 I mit 102 cm den niedrigsten Stand; denn letzteres wäre unter Berücksichtigung der inzwischen erfolgten Sohlensenkung von 38 cm im Jahre 1874 nur 64 cm hoch gestanden. In Kehl haben die beiden Niederwasser von 1848 I—II und 1894 I augenscheinlich gleiche Höhen erreicht; tatsächlich war jedoch der Niederstand von 1894 um 69 cm und jener von 1858 II um 36 cm höher als der erwähnte Tiefstand von 1848. Für Mannheim ergibt der Vergleich, daß der zahlenmäßig niedrigste Stand von 1885 I über dem Tiefstande von 1858 liegt; zu Bonn und Cöln bleibt das Niederwasser von 1853 I unter jenem von 1858, dieses aber unter dem Tiefstand von 1894. Der für Ruhrort angegebene tiefste Rheinstand von 1874 I war um 4 cm höher als das Niederwasser von 1858 an dieser Stelle. Bei den erwähnten Feststellungen ist angenommen, daß sich der Wechsel in der Höhenlage der Stromsohle unverändert auf die Niederstände überträgt, was im großen ganzen wohl zutreffen wird.

Die niedrigsten Rheinstände werden hierwegen nach den seither vorliegenden Beobachtungen im allgemeinen in der ganzen Ausdehnung des Stromes bis zur Moselmündung durch den außerordentlichen Niederstand von 1858 I—II bezeichnet; nur zwischen Rheinau und Kehl sind Tiefstände aus anderen Jahren festgestellt, die indes weder an den oberhalb noch unterhalb gelegenen Stromorten als solche wiederkehren und hierwegen nur durch örtliche Einflüsse bedingt sein konnten. Im Rheinlaufe unterhalb der Mosel bezeichnet — selbst unter Berücksichtigung der Bewegung der Stromsohle — das Niederwasser von 1894 I die untere Grenze der Wasserstände. Ausnahmen bildet in Bonn und Cöln der Niederstand von 1853 XII, der aber zur Zeit von Eisversetzungen in der oberhalb gelegenen Stromstrecke eingetreten ist und daher wohl außer Betracht bleiben muß. Wie demnach oberhalb der Moselmündung der Tiefstand von 1858, so stellt unterhalb jener von 1894 im allgemeinen den bisher ermittelten Mindestabfluß im Rhein dar; im Niederrhein war der Tiefstand von 1858 wahrscheinlich durch die Mosel und vielleicht auch durch das Grundwasser reichlicher und nachhaltiger gespeist, als das Niederwasser von 1894, welches der großen Dürreperiode von 1893 gefolgt ist.

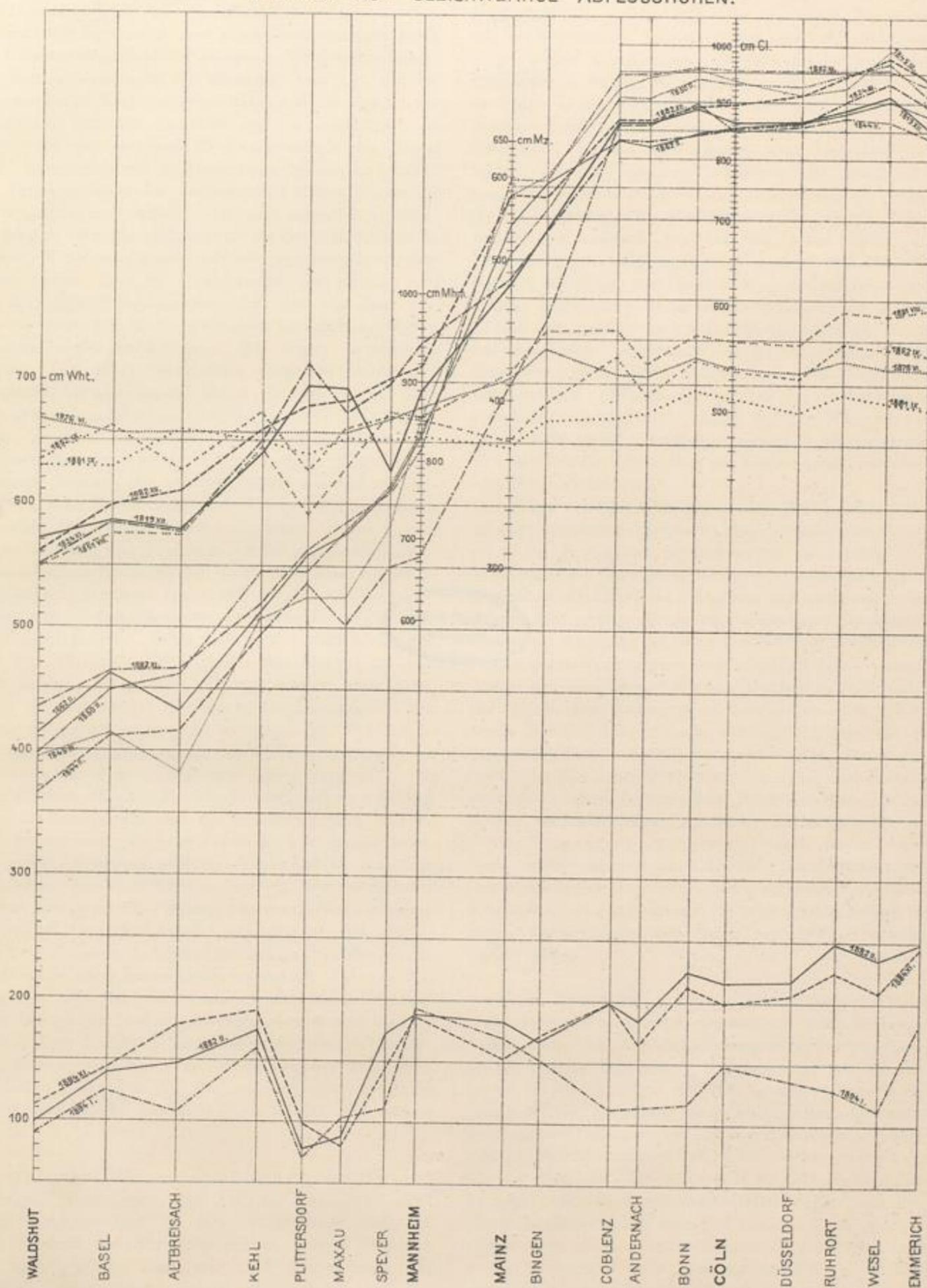
Bei den Höchstständen des Rheins aus dem letzten Jahrhundert läßt sich die Einwirkung der wechselnden Gestalt des Strombettes und der sonstigen veränderlichen Abflußverhältnisse nicht ebenso wie bei den Tiefständen in Rechnung ziehen, da der Hochwasserstand bekanntlich sowohl von den Durchflußverhältnissen an der Pegelstelle selbst, als von der Wasserzurückhaltung in der ganzen

oberhalb gelegenen Stromstrecke abhängt und in einzelnen Fällen auch durch Deichbrüche beeinflusst war. Besondere Untersuchungen für den Rhein zu Basel, wo — abgesehen von der Sohlensenkung — größere Änderungen in den Hochwasserabflußverhältnissen sowohl am Orte selbst, als auch in der oberhalb anschließenden Stromstrecke bis jetzt nicht eingetreten sind, haben aber ergeben, daß sogar bedeutende Wechsel in der Höhenlage der Stromsohle auf die Höchststände einen nur mehr geringen Einfluß äußern können, der gegenüber anderen Einwirkungen wohl außer Betracht bleiben kann. Die gewaltigen Einbrüche des Stromes in sein künstlich begrenztes Überschwemmungsgebiet haben, wie sich in einigen Fällen nachweisen läßt, namhaftere Höhenänderungen der Rheinstände zur Folge gehabt.

Die höchsten Wasserstände sind bezeichnet im Oberrhein bis herab zur Kinzigmündung durch die großen Hochwasser von 1852 IX, 1876 VI und 1881 IX, welche ihr Entstehungsgebiet im Alpenvorlande und auf der Schweizer Hochebene haben. Unter jenen drei Fluterscheinungen hat im allgemeinen das Junihochwasser von 1876 im oberen Teile, die beiden anderen in dem unteren Abschnitte die größeren Höhen erreicht, wiewohl zahlreiche Deichbrüche in den Jahren 1852 und 1876 im einzelnen geringe Abweichungen veranlaßt haben. Im übrigen ist von der Kinzigmündung bis zur Mainmündung das durch die Schwarzwald- Vogesenflüsse und den Neckar verstärkte Oberrheinhochwasser von 1882 XII für den höchsten Rheinstand maßgebend, obschon auch hier wieder an einzelnen Orten, namentlich wegen der Abschwächung durch gewaltige Deichbrüche oberhalb Plittersdorf, bei Neuburgweier und Maxau, zwischen Leopoldshafen und Philippsburg, bei Mannheim und zwischen Erfelden und Oppenheim die weniger mächtigen Hochwasser von 1817 VII bei Maxau (Knielingen) und 1824 XI (bei Mannheim) überragend erscheinen. Vielleicht ist auch die Änderung des Abflußquerschnittes des Rheins bei Mannheim zwischen 1824 und 1882 nicht ganz ohne Belang auf die höchsten Wasserstände geblieben. Wahrscheinlich schon von Mainz, jedenfalls aber von Coblenz ab ist schließlich die Hochwassererscheinung von 1882 XI die bedeutendste am Rhein und für die Höchststände bei eisfreiem Strome die maßgebende des Jahrhunderts; denn die bei Bingen, Bacharach, Bonn und Wesel beobachteten größeren Höhen von 1845 III rühren, da gerade an den Orten der wesentlichen Änderung der Wasserführung des Rheins, nämlich in Mainz, Coblenz und Andernach, die größeren Höhen im Jahre 1882 erreicht worden sind, wieder nur von örtlichen Einflüssen auf den Hochwasserabfluß her.

Die ausgezeichneten Niederwasser- und Hochwassererscheinungen wurden in bezug auf ihre Höhenentwicklung an den wichtigsten Stromorten auf nebenstehender Tafel vergleichend dargestellt. Ausgehend von Waldshut, dessen Rheinhöhen durch die Teilung der linksseitigen Begrenzungslinie bezeichnet sein sollen, wurden die übrigen Stationen durch gleichlaufende senkrechte Linien in Entfernungen dargestellt, die den zwischen-

AUSSERGEWÖHNLICHE NIEDER- UND HOCHSTÄNDE DES RHEINS
 BEZOGEN AUF GLEICHWERTIGE ABFLUSSHÖHEN.



Landesbibliothek
Karlsruhe

liegenden Stromlängen entsprechen. Weiter wurde angenommen, daß die zu den Höhen Waldshut an den Folgestationen gleichwertigen Wasserstände auf den durch die Höhenteilung Waldshut gezogenen Wagrechten liegen. Da dem Höchststande in Waldshut von 670 cm im gleichwertigen Verhältnisse in Mannheim rd. 860 cm, in Mainz 400 cm und in Cöln 500 cm zugehören, so waren, um die größeren Hochwasserstände des Mittel- und Niederrheins mit zur Darstellung bringen zu können, die Teilungen über die vorgenannten Höhen hinaus zu verlängern; dies geschah auf Grund besonderer Untersuchungen über das Höhenverhältnis der Rheinstände zu Maxau, Mannheim, Mainz und Cöln, welches sich ergeben würde, wenn unter den bestehenden Querschnitts- und Geschwindigkeitsverhältnissen eine über das Maß von 670 cm Wht. den Rhein anfüllende und sich annähernd gleichbleibende Abflußmenge den Strom durchlaufen würde. Die derart berechneten Teilungen wurden bei Mannheim bis 950 cm, bei Mainz bis 600 cm, bei Cöln bis 960 cm fortgeführt und die Höhen an den mit Mannheim, Mainz und Cöln benachbarten Stromorten jeweils im Verhältnisse der gleichwertigen Wasserstände eingeschaltet. Hiernach konnten die größten Höhen der Hochwassererscheinungen eingetragen werden; sie wurden dann durch besonders bezeichnete Linien verbunden.

Die Erhöhung der Hochwasserwellen durch die Nebenflüsse unterhalb Waldshut geht unmittelbar aus der Darstellung hervor; in dieser lassen sich deutlich die folgenden Arten von Fluterscheinungen unterscheiden: die Oberrheinhochwasser, durch punktierte Linien bezeichnet, von 1851 VIII, 1852 IX, 1876 VI, 1881 IX; sie erreichen in Waldshut die größten Höhen, nehmen aber dann, durch die Nebenflüsse der Mittelgebirgslandschaften nur wenig unterstützt, nicht mehr wesentlich zu. Die Hochwasser, hauptsächlich durch die Mittelgebirgsflüsse veranlaßt, durch strichpunktierte Linien dargestellt, von 1844 II, 1845 III, 1850 II, 1862 II, 1882 XI; sie erreichen an den Oberrheinstationen die kleinsten Höhen, werden aber im weiteren Verlaufe durch die Mittelgebirgsflüsse bedeutend erhöht und gehören im Niederrhein — manche auch schon im Mittelrhein — mit zu den mächtigsten Fluterscheinungen des Rheins. Die durch Vereinigung größerer Oberrheinanschwellungen mit ebensolchen Nebenflußanschwellungen entstandenen Hochwasser, durch ganze Linien bezeichnet, wie 1819 XII, 1824 XI, 1882 XII; sie kommen meist schon im Oberrhein den großen Hochwassererscheinungen nahe und erreichen dann im Mittel- und Niederrhein ähnliche Höhen, wie die vorgenannten. Zur Darstellung der niedrigsten Rheinstände wurden nur die neueren, ausgezeichneten Niederwasserstände von 1882 II, 1884 XI und 1894 I benützt.

Die größte Wasserstandsschwankung an den verschiedenen Rheinorten kann bei der Ungleichzeitigkeit der niedrigsten und höchsten Rheinstände und bei dem Wechsel der Abflußverhältnisse in der Zwischenzeit natürlich nur dann aus dem Unterschiede der Grenzwerte abgeleitet werden, wenn beide auf den

gleichen Zeitpunkt bezogen sind, oder vielmehr, wenn festgestellt ist, welche Höhe der niedrigste Stand an einem bestimmten Stromorte zur Zeit des höchsten eingenommen haben würde. Die auf den Zeitpunkt der Höchststände bezogenen niedrigsten Stände finden sich in Spalte 6 der Zahlentafel 16; die damit berechneten größten Wasserstandsschwankungen in Spalte 10. Der Spielraum zwischen dem Höchst- und Tiefststand des Rheins erreicht zwischen Waldshut und Basel über 600 cm, nimmt dann bis Rheinau-Kehl in Folge der Abflachung der Hochwasserwellen durch Überflutung auf nahezu 500 cm ab, steigt unter der Einwirkung der Schwarzwald-Vogesenflüsse und des Neckars sowie der Gefällsabnahme — ungeachtet ausgehnter Überflutung — bis auf rd. 700 cm wieder an, vermindert sich im Rheingau abermals, nun auf etwa 600 cm, um dann bei dem Eintritte in das enge Stromtal zwischen Bingen und Bonn wieder anzuwachsen. Die gleichzeitige Zunahme der Abflußmenge bei Coblenz erzeugt dann zwischen Andernach und Cöln die größten Wasserstandsunterschiede im Rhein unterhalb Basel von 900—1000 cm. Erst abwärts von Cöln nimmt der Wasserstandsunterschied aufs Neue allmählich ab.

Wenn vorstehend die unteren und oberen Grenzen der Wasserstandsschwankungen an den verschiedenen Rheinorten auf Grund der Beobachtungen aus einem etwa hundertjährigen Zeitraume gezogen worden sind, so ist gleichwohl die Möglichkeit gegeben, daß insbesondere die oberen Grenzwerte durch ein ungünstiges Zusammentreffen der Einflüsse auf die Scheitelbildung der größeren Hochwassererscheinungen noch erheblich höher gerückt werden können. Abgesehen von wesentlichen Aenderungen der klimatischen Bedingungen, welche hier nicht in Betracht kommen, sind es mehr zufällige Einflüsse, wie die Regenverteilung, wodurch ein ungünstigeres Zusammentreffen der Rhein- und Nebenflußwellen möglich erscheint, so daß — ohne bedeutendere Einzelabflußmengen, als seither beobachtet sind, annehmen zu müssen — die Gesamtflutbewegung im Rhein verschärft werden kann. Nicht minder können die Umstände des Abflusses, wie insbesondere eine verminderte Wasserzurückhaltung durch Überflutung in den oberen Rheingebietsabschnitten zu einer Überschreitung der bisher festgestellten Höchststände führen.

Der Entstehung außerordentlicher Hochwasserstände im Rheinstrome sind, wie schon hervorgehoben, die natürlichen Verhältnisse seines Einzugsgebietes im allgemeinen nicht günstig. Das entgegengesetzte Verhalten der Hochgebirgs- und Mittelgebirgszuflüsse in der jahreszeitlichen Verteilung ihrer Abflußmassen in Verbindung mit dem Umstande, daß starke und andauernde Niederschläge, welche außerordentliche Hochstände veranlassen können, doch nur selten eine weitere Ausbreitung erreichen, bewirkt, wie die Hochwasseraufzeichnungen aus dem letzten Jahrhundert beweisen, daß tatsächlich auch nur vereinzelt bedeutende Anschwellungen in allen oder doch in den wichtigsten Teilen des Stromgebietes gleichzeitig entstehen. Indes selbst gegebenen Falles treffen wegen

der ungemein verschiedenen Lauflängen und der ungleichen Zulaufzeiten die Einzelwellen nur selten so nahe mit ihren Höchstständen zusammen, daß es zur Bildung außergewöhnlicher Phänomene kommt. Insbesondere bei den Hochgebirgsflüssen darf angenommen werden, daß die seither abgelaufenen Hochwassererscheinungen wegen der inzwischen wesentlich verbesserten Abflußverhältnisse nicht mehr viel überschritten werden, zumal hier auch die Wahrscheinlichkeit eines noch ungünstigeren Zusammentreffens der Einzelwellen, wie bisher, nicht anzunehmen ist.

»Daß der Schweizer Rhein und die sämtlichen übrigen Zuflüsse zum Bodensee ihre Maximalwassermengen führen und noch dazu ein Niederschlagsmaximum auf die Seefläche fällt, ist bisher nicht beobachtet; bedeutende Niederschläge haben entweder im Quellgebiete des Rheins oder im Bodenseegebiet stattgefunden; doch könnte während eines außerordentlichen Hochwassers des Rheins das Seegebiet selbst mäßig überregnet sein«^{*)}. Unter allen Verhältnissen aber bildet die ausgedehnte Seefläche einen wirksamen Regler für die Abflußmassen, welche auch bei dem bisher höchsten Seestande 1200 cbm in der Sekunde nicht überschreiten dürften; sie verhindert, daß der Schweizer Rhein für sich hohe Wasserstände in Waldshut zu erzeugen vermag. Ähnlich werden die Wellen aus der oberen Aare, der Reuß und Linth durch die Wasserzurückhaltung in den Seebecken, welche sie durchfließen, namhaft abgemindert. Insbesondere die Juragewässerkorrektion bedeutet einen so wesentlichen Eingriff in die natürlichen Stromzustände des Rheins, daß die Abflußmenge aus dem Bielersee 1000 cbm kaum mehr erreichen wird. Außergewöhnlich hohe Anschwellungen des Oberrheins sind daher seitens der Hochgebirgsflüsse nicht zu befürchten; wohl aber werden sie in jenen nicht häufigen Fällen zu erwarten sein, wenn die Schweizer Hochebene und die sie begrenzenden Vorberge — wie 1852 IX und 1881 IX — von einer mehr allgemeinen starken Überregnung, vielleicht auch verbunden mit dem Abgange von Neuschnee in den Vorbergen betroffen werden oder wann — wie 1876 VI — nur ein Teil jenes Gebietes räumlich zwar enger begrenzte, aber äußerst ergiebige Regenfälle empfängt. Die seither aufgezeichneten höchsten Anschwellungen im Oberrhein sind eingetreten:

1726 . bei 603 cm Basel	1801 XII bei 651 cm Basel
1740 XII » 600 » »	1817 VII » 609 » »
1758 VIII » 600 » »	1852 IX » 666 » » ^{**)}
1764 . » 621 » »	1876 VI » 657 » »
	1881 IX » 612 » »

Die Abflußmenge des Rheins bei rd. 660 cm Basel wird mit 5400 cbm — wohl etwas zu groß — angegeben. Der Scheitel einer solchen Hochwasserwelle legt die Stromstrecke bis Mannheim in etwa 5 Tagen zurück und erreicht eine Höhe von 850 cm Speyer oder 860 cm

^{*)} Honsell M., der Bodensee und die Tieferlegung seiner Hochwasserstände. Stuttgart 1879.

^{**)} Höchster Stand zu Basel, auch im Falle die Sohlensenkung des Rheins berücksichtigt wird.

Mannheim, wobei hier 5200 cbm zum Abflusse gelangen^{*)}. Während der Dauer einer solchen Anschwellung werden daher, falls gleichzeitig die Schwarzwald-Vogesenflüsse ihre mittlere Wasserführung nicht überschreiten, sekundlich gegen 350 cbm durch die Überschwemmungsgebiete des Oberrheins zurückgehalten.

Während in den Alpen Föhn herrscht und hier zu bedeutenden Überregnungen, oft vereinigt mit raschem Abgang von Neuschnee führt, besteht im Schwarzwald und in den Vogesen meistens Regenwetter; doch sind außergewöhnlich hohe Oberrheinwellen bisher noch nicht mit ebensolchen Höchstständen der Schwarzwald-Vogesenflüsse zusammengetroffen. Von der zeitlichen Niederschlagsverteilung hängt es aber ab, ob der Höchstabfluß jener Nebengewässer mehr oder minder nahe an die größte Erhebung im Rhein heranrückt. Namentlich bei mehrtägiger, allmählich zunehmender und ungewöhnlich starker Überregnung (wie 1882 XII, auch 1896 III) wird immer eine Verspätung im Eintritte des Höchstabflusses der Schwarzwaldgewässer und damit eine größere Erhöhung der Rheinwelle zu gewärtigen sein. An der Kinzigmündung, wo das Maximum des Rheinstandes 1882 XII die Höhe von 640 cm zu Ruprechtsau erreicht hat, würde die bis jetzt festgestellte größte Kinzigwelle ebenfalls von 1882 XII mit 515 cm Höhe zu Schwaibach, die dem Scheitel der Oberrheinwelle damals um 48 Stunden vorauslief, beim Zusammentreffen eine Hebung des Rheinstandes um 90 cm veranlaßt haben, so daß der höchste Stand des Rheins an der Kinzigmündung unter solchen ungünstigen Umständen auf 730 cm Ruprechtsau anwachsen könnte.

An der Neckarmündung treten wegen des größeren Fassungsvermögens des Strombettes außergewöhnliche Hochwassererscheinungen nur ein, wenn sowohl Oberrhein wie Neckar gleichzeitig hohe Anschwellungen zeigen und die Scheitel der Wellen beider nahe zusammentreffen. Da die hohe Oberrheinwelle, für sich betrachtet, 100 bis 120 Stunden Zeit nötig hat, um von Basel bis Mannheim vorzurücken, dagegen bei starkem Zuflusse aus dem Schwarzwald und den Vogesen schon 60 bis 72 Stunden nach der Scheitelbildung zu Basel in Mannheim kulminiert, und da ferner die Scheitel der größten bisher aufgezeichneten Neckarwellen 48 bis 72 Stunden nach Eintritt der stärksten Überregnung des Gebietes in Mannheim eingetroffen sind, so ist ein außerordentlicher Rheinstand an der Neckarmündung zu erwarten, sobald das Einzugsgebiet des Oberrheins in der Schweiz etwa 3 Tage früher als das Schwarzwald- und Neckargebiet oder mindestens 4 bis 5 Tage früher als das Neckargebiet für sich nach längerdauernden vorausgegangenen Regen nun ungemein stark überregnet wird. In beiden Fällen können die abfließenden Hochwasserwellen sich mit den Scheiteln nahe begegnen. Daß solche Fälle gleichwohl nur selten eintreten erscheint erklärlich, weil ungewöhnlich hohe Neckarwellen meist der kälteren Jahreszeit angehören, in der bedeutende Oberrheinanschwellungen nur ausnahmsweise entstehen;

^{*)} Bestimmt nach den Abflußverhältnissen bei einem Rheinstande von 550 cm Speyer.

ebenso wird eine Regenverteilung, wie sie oben vorausgesetzt ist, nur vereinzelt bemerkt werden. Unter den großen Hochwassererscheinungen des XIX. Jahrhunderts ist es nur jene von 1845 III, bei der die Neckarwelle verhältnismäßig nahe an den Scheitel der Oberrheinwelle kam; indes hatte diese Rheinanschwellung zu Mannheim keine außergewöhnliche Höhe erreicht, auch der Neckar ist wesentlich unter den früher oder später verzeichneten Hochständen geblieben.

Der höchste Stand des eisfreien Rheins, wie er durch das Zusammentreffen der größten, seither festgestellten Oberrheinwelle von 1882 XII = rd. 890 cm zu Speyer mit dem Maximum der gewaltigen Neckarwelle von 1824 XI = 1074 cm zu Diedesheim, welches als eisfreier Höchststand betrachtet wird, entstehen müßte, wurde zu 980 cm am Pegel zu Mannheim gefunden^{*)}. Der Neckar würde in einem solchen Falle die Rheinwelle im Scheitel um rd. 70 cm erhöhen. Für Mannheim und die zunächst unterhalb folgenden Rheinorte darf daher ein Rheinstand von 980 cm als die durch ungünstiges Zusammentreffen der Höchststände im Rhein und Neckar gebildete Maximalhöhe betrachtet werden. Indes bleibt zu berücksichtigen, daß insbesondere die Hochwasserwelle des Rheins von 1882 XII durch zahlreiche Deichbrüche gesenkt war, also bei einem Standhalten der künstlichen Begrenzung des Überflutungsgebietes noch größere Höhen erreicht haben würde. Andererseits hat die Vertiefung der Stromsohle des Rheins gerade in der Umgebung der Neckarmündung das Fassungsvermögen des Rheinbettes seit 1882 um etwa 250 cbm sekundlicher Abflußmenge vergrößert. Die durch Deichbrüche im Dezember 1882 überfluteten Flächen umfassen, soweit sie für die Rheinstände zu Mannheim in Betracht kommen können, 205 qkm mit einer Überflutungstiefe, welche — wie Einzeluntersuchungen ergeben haben — in den oberen Stromabschnitten bis gegen Maxau im Mittel 1,5 m, zwischen Maxau und Speyer 2,0 m und im unteren Teile 2,5 m erreicht hatte. Die Gesamtwassermenge, welche durch jene Deichbrüche nach und nach der im Rhein abfließenden Hochwassermenge entzogen worden ist, hat somit gegen 430 Millionen Kubikmeter innerhalb des Zeitraumes vom 28. bis 31. Dezember betragen, die sekundliche Minderung daher im Durchschnitte 1200 cbm — zeitweise mehr, dann wieder weniger, je nach der Anfüllung der erschlossenen Polder. Der Rhein hätte demnach bei einem Widerstehen der Deiche sekundlich über 1000 cbm mehr abführen, zu Mannheim also nahezu 100 cm höher ansteigen müssen^{**)}.

Nicht so selten, wie die Scheitel der hohen Oberrhein- und Neckarwellen zusammentreffen, begegnen die Höchststände des Rheins jenen des Mains. Die bedeu-

^{*)} Der tatsächliche Höchststand in Mannheim im Jahre 1824 war jedoch 943 cm, da die Oberrheinanschwellung zur Zeit des Eintreffens der außerordentlichen Neckarwelle in Mannheim erst gegen 840 cm Höhe erreicht haben konnte.

^{**)} Bei der Berechnung der Wasserzurückhaltung infolge der Deichbrüche wurde vorausgesetzt, daß die Wiederentleerung durch die meist schmale Einbruchsstelle nicht so schnell erfolgen kann, als das Zurückfließen des Wassers aus den offenen Überflutungsgebieten nach dem Rhein.

tende Längenentwicklung des Mainlaufes und das durch geringes Gefälle und größere Überflutungsgebiete im Mittellaufe bedingte verhältnismäßig langsame Vorrücken der höheren Anschwellungen bewirken fast immer eine solche Annäherung an den Scheitel der Rhein-Neckarwelle. Für den Verlauf der Anschwellungen des Mains und insbesondere die Entstehung seines Höchststandes ist nach den Ergebnissen der früheren Untersuchungen über diesen Gegenstand^{*)} entscheidend, ob die Gebiete des Obermains und der Regnitz oder jene der Saale und Tauber frühzeitiger und stärker überregnet sind und ob sich die größten Abflußmengen mehr und minder nahe begegnen. Unter besonders ungünstigen Umständen erscheint das als Höchststand des Mains bei eisfreiem Abflusse bekannte Hochwasser von 1845 III entstanden zu sein; denn die Wellenscheitel vom Obermain her sind offenbar dem Saale-Tauber-Scheitel damals sehr nahe gekommen. Der zu Miltenberg verzeichnete Höchststand hat 727 cm erreicht und ist mit dem Scheitel der vom Oberrhein vorrückenden Flutwelle nahezu zusammengetroffen. Eine Begegnung jener Mainwelle von 1845 III mit der Oberrheinanschwellung von 1882 XI hätte in Mainz einen Rheinstand von 630 cm erzeugt, — nur etwa 30 cm über dem im November 1882 tatsächlich eingetretenen Maximum — wobei der Rheinspiegel durch die außerordentliche Mainwelle um 175 cm gehoben worden wäre. Während der Hochwassererscheinung von 1882 XI ist demnach bei Mainz der ungünstigste Fall des Zusammentreffens der seither im Rhein und Main festgestellten Höchststände annähernd verwirklicht worden. Eine weitere erhebliche Steigerung des Rheinstandes zu Mainz wäre daher nur mehr dann zu erwarten, wenn im Oberrhein nicht abermals so bedeutende Wassermassen durch die gewaltigen Einbrüche des Stromes in sein umdeichtes Vorland zurückgehalten würden, wie es 1882 geschehen ist.

Für den im Niederrhein in der Umgebung von Köln zu erwartenden Höchststand wird es wohl immer darauf ankommen, wie nahe sich die Anschwellungen aus dem Oberrhein und Neckar und dann wieder jene aus dem Mittelrhein und der Mosel mit ihren Höchsterhebungen begegnen; er wird daher durch eine Vereinigung des außerordentlichen Rheinstandes von 1882 XI, der auch hier, wie bei Mainz als größter, eisfreier Hochwasserstand zu betrachten ist, mit den in der Nahe, Lahn und Mosel abgelaufenen höchsten Wellen entstehen müssen. Als bedeutendste Fluterscheinungen kommen für die Nahe in Betracht das Hochwasser von 1890 I mit 698 cm zu Kreuznach, bei der Lahn das Novemberhochwasser von 1882 mit 678 cm zu Diez und bei der Mosel die Februarflut von 1844 mit 895 cm zu Cochem. Unter Berücksichtigung der Zulaufzeiten dieser Nebenflußwellen berechnen sich für jene außerordentlichen Hochwasser Erhöhungen des Rheinstandes zu Köln von zusammen 256 cm und eine Gesamtfluthöhe von rd. 1020 cm — ohne Berücksichtigung der Sieg, deren Wellenscheitel übrigens kaum in einem gegebenen Falle dem Maximum des Rheinstandes begegnen dürfte. Der 1882 XI zu Köln fest-

^{*)} Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet. VI. Heft. Das Maingebiet. Berlin 1901.

gestellte Höchststand hatte 952 cm erreicht, ist also nur etwa 70 cm unter dem berechneten Maximum zurückgeblieben und es darf angenommen werden, daß im Hinblick auf die noch mögliche Steigerung der Oberrheinflutwelle zu Mannheim und Mainz der höchste eisfreie Rheinstand für Cöln zwischen 1050 und 1100 cm gelegen ist, solange die gegenwärtigen Abflußverhältnisse keine wesentliche Änderung erfahren.

Für die Entstehung der Höchststände im Rhein unterhalb der Neckarmündung, dann in dem engen Stromtale zwischen Bingen und Bonn und besonders in der Tieflandstrecke abwärts von Cöln sind die gelegentlich im Gefolge von Eisstauungen aufgetretenen, oftmals ungeheuerlichen Fluthöhen weit wichtiger, als die eigentlichen Hochwasserwellen, namentlich, weil solche Vorkommnisse in jenen Abschnitten des Stromlaufes keineswegs zu den seltenen Erscheinungen zählen. Die in solchen Fällen unter Umständen zustande kommenden Rheinhöhen entziehen sich jedoch der Voraussicht; sie haben nach den bis jetzt vorliegenden verlässlichen Nachrichten den bei eisfreiem Strome eingetretenen Höchststand zu Mainz noch um 50 cm, jenen bei Cöln um rd. 310 cm Höhe überschritten.

Bei den vorstehenden Untersuchungen über die Entstehung außergewöhnlich hoher Rheinanschwellungen wurde von seither wirklich beobachteten Wasserständen ausgegangen und nur ein Zusammentreffen jener nicht überall gleichzeitig eingetretener Höchststände des Rheins und seiner Nebenflüsse vorausgesetzt. Ein Zustandekommen solcher außerordentlicher Verhältnisse liegt keineswegs außer dem Bereiche des Möglichen, wenn auch die Bedingungen hierfür nur äußerst selten gegeben sein werden. Jedenfalls stellen aber die berechneten Wasserstände die größten Höhen im Rhein dar, welche auf Grund seither tatsächlich festgestellter Höchststände der Nebenflüsse erwartet werden könnten. Über jene Höchststände noch hinauszugehen und mit Zuständen zu rechnen, die bisher noch nicht beobachtet sind, kann hier nicht in Betracht kommen. »Was im Gebiete der Naturerscheinungen nach Menschen Gedenken und Wissen zu keiner Zeit dagewesen ist, mit dem darf auch nicht gerechnet werden, wenigstens hat dies da keinen Zweck, wo es sich um praktische Folgerungen handelt«. (Honsell.)