

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

Anschwellungen des Rheins

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

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	»

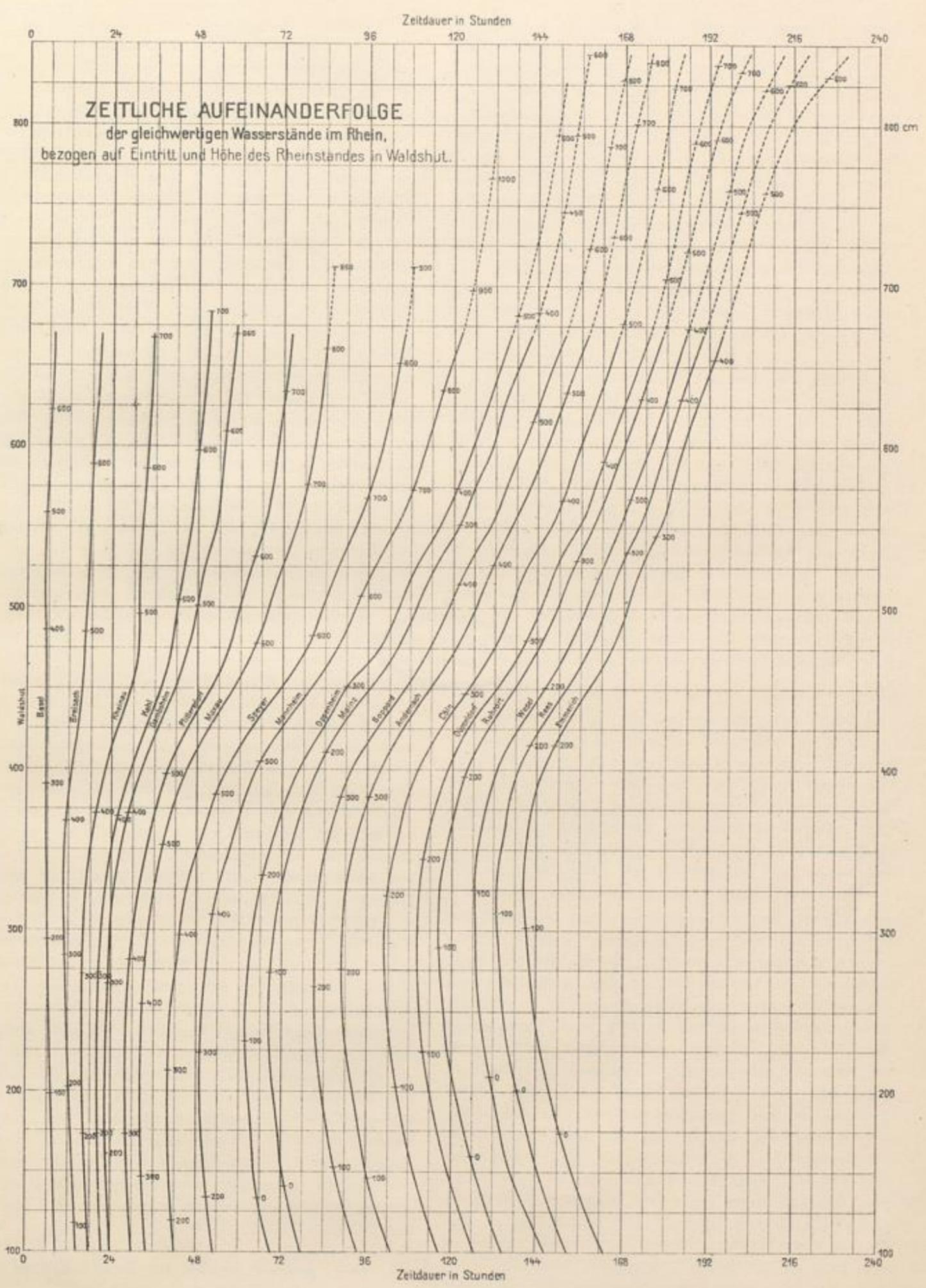
ergeben, die Fortpflanzungsdauer zwischen Basel und Mannheim bei den höheren Rheinständen nicht wesentlich von der gegenwärtigen verschieden gewesen; sie hat ebenfalls beiläufig 4 bis 5 Tage umfaßt. Die Hochwasserwelle ist schon ehemals, wie leicht erklärlich, nur dem Haupttalwege zwischen den verschiedenen 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.

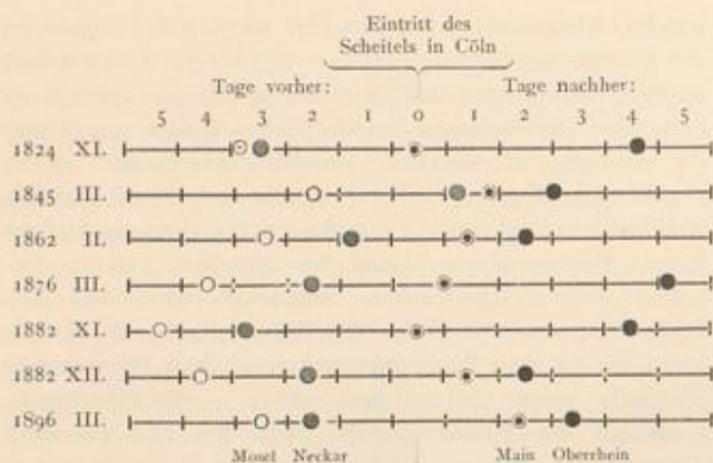
Durch die Ergebnisse der früheren Untersuchungen über die Fortpflanzung der Anschwellungen im Rhein unter der Mitwirkung der Nebenflüsse*) ist im allgemeinen das Verfahren bezeichnet worden, wie ohne die Kennt-

*) 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 Kinzigscheitels 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,