

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000301545

Die

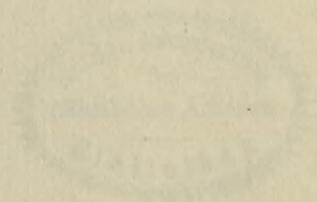
Niedrigwassererscheinungen

deutscher Ströme.

Veröffentlicht durch die Reichshydrographische Anstalt zu Kaiser
Wilhelmshaven 1902. Preis 1,50 Mark. (Inhalt 1. Teil 1. Heft 1. Lieferung)

Herausgegeben von

Handwritten signature



Verlag von Neumann, Neudamm, Coschütz

X
1.351

Die
Hochwassererscheinungen

in den
deutschen Strömen.

Ein bei der Naturforscherversammlung zu Kassel
am 22. September 1903 gehaltener Vortrag nebst erläuternden
und begründenden Anmerkungen

von

Hermann Keller,

Geheimer Baurat, Leiter der preussischen Landesanstalt für Gewässerkunde.

F. M. 25677



Verlagsbuchhandlung von Hermann Costenoble
Jena 1904.

Alle Rechte nach dem Gesetze über das
deutsche Urheber- und Verlagsrecht vom 19. Juni 1901
vorbehalten.



III 16452

Akc. Nr. 2971 50

Vorwort.

Seitdem nach längerer Ruhezeit unsere deutschen Ströme in den siebziger bis neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts häufig bedeutende Hochfluten gebracht und verderbliche Ueberschwemmungen verursacht haben, war die öffentliche Meinung wiederholt mit den Fragen beschäftigt, auf welchen Ursachen diese Hochwassererscheinungen beruhen und wie ihren Gefahren vorzubeugen ist. Für Preußen wurde durch den Allerhöchsten Erlaß vom 28. Februar 1892 ein besonderer Ausschuß von 32 Mitgliedern, die durch Beruf und Neigung als sachkundig zu erachten waren, zur eingehenden Prüfung jener beiden Fragen eingesetzt. Die Ergebnisse der sorgfältigen Untersuchungen dieses „Wasserausschusses“ liegen in einer Reihe von Gutachten vor, die von 1896 bis 1901 erstattet und veröffentlicht worden sind. Als Grundlage dieser gutachtlichen Tätigkeit dienten die im Bureau des Wasserausschusses bearbeiteten Werke über die einzelnen Ströme, deren Hochwasserhältnisse zu beurteilen waren.¹⁾

Wenn auch durch den genannten Zweck in erster Linie Inhalt und Form der hydrographisch-wasserwirtschaftlichen Darstellungen unserer norddeutschen Ströme und Stromgebiete bedingt wurden, so hat bei ihrer Bearbeitung doch stets das Bestreben obgewaltet, diese umfangreichen Beiträge zur Gewässerkunde Deutschlands gleichzeitig nutzbar zu machen für die wissenschaftliche Erforschung der Gesetze, die den Abflußvorgang regeln. Die Ergründung des ursächlichen Zusammenhanges der hierbei

¹⁾ Die im Verlage von D. Reimer (Berlin) erschienenen Werke werden der Kürze halber in den Anmerkungen als Oderwerk (veröffentlicht 1896), Elbwerk (veröffentlicht 1898), Memel-Pregel-Weichsel-Werk (veröffentlicht 1899) und Weser-Ems-Werk (veröffentlicht 1901) bezeichnet. Die Herausgabe des Elbwerkes ist unter Beteiligung des Wasserausschusses im Auftrage der deutschen Elbuferstaaten von der preußischen Elbstrombauverwaltung erfolgt. Die übrigen Werke sind im Auftrage des Wasserausschusses vom Verfasser dieser Druckschrift herausgegeben worden.

in Betracht kommenden Erscheinungen galt bei den Arbeiten jenes nunmehr zur Landesanstalt für Gewässerkunde umgewandelten Bureaus als hohes Ziel, dem nur schrittweise näher gekommen werden konnte und kann. Der Hinblick darauf bildete aber die Richtschnur bei der Sammlung und Ordnung einer großen Fülle von Beobachtungen und Ermittlungen aller Art, die zusammengetragen, neu veranstaltet, gesichtet und wissenschaftlich verwertet werden mußten, um den tatsächlichen Verlauf der Erscheinungen festzustellen, die beim Abflußvorgange wahrnehmbar sind oder auf ihn bedingend einwirken.

Hierzu gehört als wesentlicher Teil der großen Aufgabe die Erforschung des Auftretens der Hochwassererscheinungen, sowohl der Bedingungen ihres Entstehens, als auch der Gesetze, nach denen sich ihr Verlauf vollzieht. Schon bei Bearbeitung der einzelnen Werke drängte die Wahrnehmung erheblicher Aenderungen, die sich im Verhalten der Hochfluten von den oberen nach den unteren Strecken mancher Ströme vollziehen, zur vergleichenden Betrachtung. Noch mehr ist dies jetzt der Fall, nachdem eine vollständige Naturgeschichte der Hochwassererscheinungen in den an unseren deutschen Küsten mündenden Strömen und in ihren wichtigsten Nebenflüssen durch die oben bezeichneten Werke zur Verfügung steht. Für den Rhein und seine deutschen Nebenflüsse bildet das vom badischen Zentralbureau für Hydrographie und Meteorologie schon früher bearbeitete, inzwischen durch Bekanntgabe der Ergebnisse neuerer Untersuchungen über die Hochwasserhältnisse des Rheingebiets ergänzte Rheinwerk eine wertvolle Fundgrube. Für die Donau fehlt einstweilen noch eine solche zusammenfassende Darstellung, abgesehen von einer guten übersichtlichen Skizze, die A. Penck in seinem Vortrage über „die Donau“ („Vorträge d. Ver. z. Verbr. naturwissenschaftl. Kenntnisse“, Wien 1891) gegeben hat. Jedoch liefern auch für diesen Strom die amtlichen Mitteilungen der zur Pflege der Gewässerkunde in Württemberg, Bayern und Oesterreich errichteten Anstalten schätzenswerte Angaben. Ueber die österreichisch-ungarische Grenze hinaus erstreckt sich bei der Donau unsere vergleichende Betrachtung nicht.

Den äußeren Anlaß zu dieser Betrachtung bot eine Einladung, bei der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte, die im September dieses Jahres zu Kassel stattgefunden hat, vor den vereinigten Abteilungen für Geographie, Hydrographie, Geophysik und Meteorologie einen Vortrag aus dem Bereiche der Gewässerkunde zu halten. Dieser Vortrag verfolgte den Zweck, einen Beitrag zur Erforschung der Gesetze, die Ursprung und Entwicklung der Hochwassererscheinungen in den deutschen Strömen regeln, an berufener Stelle mitzuteilen, um die Beachtung auf diese wissenschaftlich und praktisch bedeutsame Frage hinzulenken. Der knappe Rahmen, in dem sich ein Vortrag halten muß, gewährte vielfach keinen Raum zur Begründung der Mitteilungen und zur Er-

wählung von Sonderfällen, die das Mitgeteilte allseitiger beleuchten. Andererseits war es geboten, die zur Erläuterung der erwähnten Tatsachen erforderlichen Zahlenangaben auf das geringste Maß zu beschränken, um die Zuhörer nicht zu ermüden. In beiden Beziehungen sollen die dem Vortrage beigefügten Anmerkungen eine Ergänzung liefern, die dem Leser hoffentlich mehr willkommen sein wird, als sie dem Hörer gewesen wäre. Um die Uebersicht zu erleichtern und die gewünschte Auskunft rasch finden zu können, ist der Schrift eine ausführliche Inhaltsangabe und ein Sachverzeichnis beigefügt. Die zu letzterem gehörige Schluß-tabelle teilt die Seitenzahlen mit, auf denen die wichtigsten hier in Betracht kommenden Angaben über unsere großen Ströme enthalten sind.

Die Verlagsbuchhandlung, die schon früher ein Werk über die Hochwassererscheinungen in den deutschen Strömen angeregt hatte, war gerne bereit, den durch die Anmerkungen bedeutend erweiterten Vortrag als besondere Druckschrift an die Oeffentlichkeit zu bringen. Um dem ursprünglichen Wunsche zu entsprechen, soweit dies in wenigen Wochen möglich war, sind die Anmerkungen meistens eingehender gehalten, als zur Begründung und Erläuterung der Mitteilungen im Vortrage selbst vielleicht notwendig sein würde. Manche von ihnen bilden gewissermaßen Skizzen zu den Abschnitten des in Anregung gebrachten Werkes. Auf eine erschöpfende Behandlung der Aufgabe macht indessen unsere Schrift keinen Anspruch. Sie will und kann nichts anderes sein als ein Beitrag zur Lösung dieser Aufgabe, zur Klarlegung der Naturgesetze, die unsere Ströme in gewaltsame Erregung geraten lassen und beim Verlaufe der Hochfluten zum Ausdruck kommen.

Berlin, im November 1903.

H. Keller.

Inhaltsangabe.

Vortrag vom 22. September 1903.

	Seite
I. Einleitung. Hochwassererscheinung vom Juli 1903	1
II. Verlauf der Flutwellen	2
A. Allgemeines (S. 2). B. Beispiel der Oder (S. 2). C. Beispiel der Weichsel. Sommer- und Winterfluten (S. 3). D. Fortschrittsgeschwindigkeit (S. 3). E. Rückblick (S. 4).	
III. Gegensatz zwischen Gebirgs- und Flachlandflüssen	4
A. Sommer- und Winterfluten. Regen- und Schmelzfluten (S. 4). B. Hochwassererscheinungen im östlichen Gebirgslande (S. 5). C. Hochwassererscheinungen im östlichen Flachlande (S. 6).	
IV. Jahreszeitliche Verteilung der Hochwassererscheinungen	7
A. Nordöstliche Ströme (S. 7). B. Oder und Elbe (S. 7). C. Nordwestliche Ströme (S. 8).	
V. Einwirkung der Meeresnähe und der kontinentalen Lage	8
A. Flachlandflüsse. Ems und Memelstrom (S. 8). B. Gebirgsflüsse. Verhalten im Winter und Sommer (S. 9).	
VI. Wasserstandsbewegung im Kreislaufe des Jahres. Einwirkung des Hochgebirges	11
VII. Jahreszeitliche Verteilung der Hochwassererscheinungen	12
A. Rhein (S. 12). B. Donau (S. 13).	
VIII. Gleichzeitiges Auftreten von Hochwassererscheinungen in mehreren Strömen	14
IX. Verteilung der Hochfluten nach Jahresreihen	15
X. Eisverhältnisse	16
XI. Bekämpfung der Hochwassergefahren	17
A. Eindeichungen. Freilegung des Hochwasserbettes (S. 17). B. Anlage von Sammelbecken (S. 18.)	

Erläuternde und begründende Anmerkungen.

1. Die Hochflut vom Juli 1903 in der Oder	20
a) Niederschlagserscheinung vom Juli 1903 (S. 20). b) Ausbildung und Verlauf der Flutwelle in der oberen Oder (S. 21). c) Verlauf der Flutwelle	

- in der mittleren und unteren Oder (S. 24). d) Hochwassererscheinungen in den benachbarten Stromgebieten (S. 25). e) Vergleich mit den außerordentlichen Hochfluten von 1813 und 1854 (S. 25). f) Vergleich mit den weniger großen Sommerfluten (S. 26).
2. Verflachung und Dehnung der Flutwelle 27
 Verflachung ohne, Dehnung mit Zunahme der Gesamtmasse (S. 27). Aenderung der Höhe und Länge der Flutwelle (S. 28). Ueberschwemmungstiefe und Ueberschwemmungsdauer (S. 29). Scheitelhöhe und Anschwellungsdauer (S. 31). Größte Scheitelhöhe und durchschnittliche Ueberschwemmungsdauer in den deutschen Strömen (S. 31).
3. Abnahme der sekundlichen Größtmenge der Elbe durch Einströmung in das Havelbecken 32
4. Zunahme der sekundlichen Größtmenge von den oberen nach den unteren Strecken. Abnahme der zugehörigen Abflußzahl . . . 33
 Sekundliche Größtmenge und zugehörige Abflußzahlen bei den deutschen Strömen (S. 33). Einwirkung der Gestalt des Gewässernetzes (S. 35).
5. Fortschrittsgeschwindigkeit des Scheitels der Flutwellen . . . 36
 Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Flutwellen (S. 36). Oestliche Ströme bis zur Oder (S. 37). Elbe und Weser (S. 38). Ems und Rhein (S. 39). Verzögerungsursachen (S. 40). Einwirkung der Nebenflüsse (S. 40).
6. Jahreszeitliche Verteilung der Hochfluten in der Weichsel . . 42
7. Außergewöhnliche Sommerfluten in Flachlandflüssen. Steigerung der Winterfluten in den Flachlandstrecken der Gebirgsflüsse . 43
 Sommerfluten in der Warte (S. 44). Desgl. in den übrigen Flachlandflüssen des Oderstromgebiets (S. 45). Desgl. in der Spree (S. 45). Steigerung der Winterfluten in den Flachlandstrecken der östlichen Gebirgsflüsse (S. 46).
8. Jahreszeitliche Verteilung der Hochwassererscheinungen in den deutschen Strömen 46
 Verteilung nach Monaten und Halbjahren (S. 46). Häufigkeit der winterlichen und sommerlichen Hochfluten (S. 48).
9. Aenderung der jahreszeitlichen Verteilung von den oberen nach den unteren Strecken 49
 Lage des mittleren Hochwassers der beiden Jahreshälften im hundertteiligen Maßstabe (S. 49). Vergleich der Oder und Weichsel (S. 50). Jahreszeitliche Verteilung der Jahreshöchststände in den deutschen Strömen (S. 52).
10. Verhältnis zwischen Abfluß und Niederschlag 53
 a) Abflußverhältnis in den Stromgebieten Norddeutschlands (S. 53). b) Ableitung der Beziehungen zwischen Abfluß und allen auf ihn einwirkenden Umständen aus den Wasserstandsbeobachtungen (S. 55). c) Ableitung der Beziehungen zwischen Abfluß und Niederschlag aus Wasserstandsbeobachtungen, Wassermengen- und Niederschlagsmessungen (S. 56). d) Ermittlung des Abflußverhältnisses für Abschnitte des Jahres (S. 57). e) Zeitliche und örtliche Verschiebungen des Abflusses (S. 59). f) Ueberschätzung der Einwirkung der jährlichen Niederschlagshöhe auf die Größe des Abflußverhältnisses (S. 60). g) Beziehungen zwischen Abfluß- und Niederschlag bei Hochwassererscheinungen (S. 60).

	Seite
11. Jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge	62
Zunahme mit der Höhenlage und jährlicher Verlauf des Niederschlags in den nordöstlichen Stromgebieten (S. 62). Desgl. in Nordwestdeutschland (S. 62). Desgl. in Südwestdeutschland (S. 63). Verteilung des Niederschlags auf die Jahreshälften in den Gebirgen (S. 64). Unterschiede zwischen den Winter- und Sommer-Prozentzahlen (S. 65). Aenderung der Jahres- und Halbjahrs-summen von Osten nach Westen (S. 65). Temperaturverhältnisse (S. 66).	
12. Wasserstandsbewegung im Kreislaufe des Jahres	66
Jährliche Bewegung der Mittelwasserstände in den deutschen Strömen (S. 66). Flachland-, Mittelgebirgs-, Hochgebirgsflüsse (S. 67). Uebergang des Rheins aus einem Hochgebirgs- in einen Mittelgebirgsfluß, erläutert aus der jahreszeitlichen Bewegung des mittleren Hochwassers (S. 69).	
13. Gleichzeitiges Auftreten von Hochwassererscheinungen in mehreren Strömen	70
Größte Tagesniederschläge in den östlichen Stromgebieten (S. 70). Desgl. in den westlichen Stromgebieten (S. 71). Verhältnisse der Luftdruckverteilung (S. 72). Regen- und Schmelzfluten in beiden Jahreshälften (S. 72). Gleichzeitige Hochfluten in mehreren Strömen im Sommer (S. 73). Desgl. im Winter (S. 74).	
14. Außerordentliche Hochfluten früherer Jahrhunderte	75
Geschichtliche Nachrichten, Hochwassermarken, Hochwasserschäden (S. 75). Keine Aenderung der Bedingungen des Entstehens einer Hochflut (S. 76). Regelwidrige Ausnahmen gegen die Erfahrungen seit Vornahme von Wasserstandsbeobachtungen (S. 76). Beispiele von der Weser und vom Main (S. 77).	
15. Verteilung der Hochfluten nach Jahresreihen	78
Im Zeitraum 1836/95 Einschaltung eines hochwasserärmeren Doppeljahrzehntes zwischen zwei hochwasserreicheren (S. 78). Kleinere Anschwellungen im Sommerhalbjahre und Wasserklemmen (S. 79). Ausnahmen vom vorwiegen-den Verhalten der betreffenden Gruppe (S. 79). Verhalten des Doppeljahrzehntes 1816/35 (S. 80).	
16. Ueberblick über die Eisverhältnisse in den deutschen Strömen. Ihre Verbesserung durch den planmäßigen Ausbau der Ströme .	81
Allgemeine Darstellung für die nordöstlichen Ströme (S. 81). Eisverhältnisse beim Memelstrome (S. 82). Desgl. beim Pregel (S. 83). Desgl. bei der Weichsel (S. 83). Desgl. bei der Oder (S. 84). Desgl. bei der Elbe (S. 85). Desgl. bei der Weser und Ems (S. 86). Desgl. beim Rhein (S. 87). Desgl. bei der Donau (S. 88). Näherer Nachweis der Verbesserung der Eisverhältnisse in der Weser (S. 89).	
17. Gesamtmasse einer Flutwelle. Ihr Verhältnis zur Jahresabflußmasse und zur Gesamtmasse der Niederschläge	91
Wirksamkeit der Zurückhaltung von Hochwasser am Ursprungsorte (S. 91). Grenze der Leistungsfähigkeit der natürlichen Sammelbecken im Alpenlande (S. 92). Verhältnis der Gesamtmasse einer Flutwelle zur Jahresabflußmasse (S. 93). Sekundliche Abflußzahlen im Jahresdurchschnitt (S. 95). Abflußverhältnis bei Hochgebirgsflüssen (S. 95). Verhältnis der Gesamtmasse einer Flutwelle zur Gesamtmasse der sie verursachenden Niederschläge (S. 96). Vergleich der Abflußverhältniszahlen der Donauhochfluten von 1897 und 1899 (S. 98). Desgl. der Elbehochfluten von 1890 und 1897 (S. 98). Einwirkung der Bodendurchlässigkeit auf das Abflußverhältnis (S. 99). Gesamtmassen bei der Oder- und Warthehochflut vom Juli 1903 (S. 100).	

Vortrag vom 22. September 1903.

Meine Herren!

Als im vergangenen Juni die ehrenvolle Einladung an mich erging, heute einen Vortrag vor Ihnen zu halten, wählte ich die Frage über die Hochwassererscheinungen in den deutschen Strömen, ohne zu ahnen, wie besonders zeitgemäß sie bald werden sollte. Kurz danach trat eine bedeutende Hochwassererscheinung ein, die namentlich an der Oder und einigen ihrer Nebenflüsse, aber auch in geringerem Maße an mehreren Gewässern der benachbarten Stromgebiete Millionen von Werten aller Art vernichtet hat. Denn gleichzeitig mit der Oder gerieten die neben ihren Quellflüssen entspringenden Wasserläufe des Donau- und Weichselgebiets in gewaltige Erregung, besonders der Quellfluß des Weichselstromes selbst und eine Anzahl seiner Nebenflüsse, die weiter östlich in den Beskiden entspringen. So mächtig noch bei Krakau und längs der galizisch-russischen Grenze die Weichselhochflut auftrat, gelangte sie an die deutsche Grenze oberhalb Thorn doch nur als ein Hochwasser mittlerer Größe, das zwar vielen Schaden an den Feldfrüchten anrichtete, den hohen Deichen der Weichselniederungen aber nicht gefährlich werden konnte. Die Oderhochflut verursachte dagegen nicht nur an den sogenannten Sommerdeichen bis in die Provinz Brandenburg hinein viele Deichbrüche, sondern brach auch zahlreiche Winterdeiche und bedrohte andere, die gegen höchstes Hochwasser schützen sollten, aufs ernstlichste mit Ueberflutung und Zerstörung. Bis weit unterhalb Breslau überschritten die Scheitelhöhen ihrer Flutwelle teilweise die größten bisher bekannten Wasserstände, weil die aus den Quellflüssen stammende Welle an sich sehr mächtig war und erheblich verstärkt wurde durch die Flutwellen der oberen Nebenflüsse, besonders der Glatzer Neisse. Von Breslau ab blieb solche starke Speisung aus, und die Hauptstromwelle verflachte allmählich. Selbst die diesmal sehr hoch angeschwollene Warthe brachte keine neue Hebung des Scheitels hervor, dehnte aber die Flutwelle aus und verlängerte die Uberschwemmungsdauer an der unteren Oder beträchtlich.

I. Hochwasser-
erscheinung v.
Juli 1903.
Anmerkung 1.
S. 20/27.

II. Verlauf der Flutwellen.

A. Allgemeines.

Diese Verflachung und Dehnung der Flutwellen bei ihrem Fortschreiten von oben nach unten, die sich mehr oder weniger bei allen Strömen zeigt, rührt hauptsächlich von den Ausuferungen her (die Verflachung), und davon, daß die Nebenflüsse ihre Wellenscheitel früher oder später nach den Mündungen bringen, als der Scheitel der Hauptstromwelle dort eintrifft (die Dehnung). Je breiter die von den ausufernden Wassermassen aufgefüllten Flächen des Ueberschwemmungsgebiets sind, um so mehr ermäßigt sich die Scheitelhöhe der Flutwelle und vermehrt sich ihre Länge, also auch die Ueberschwemmungsdauer, weil das ausgeferte Wasser mit Verspätung zurückfließt. Dabei kann die dem Wellenscheitel entsprechende größte sekundliche Abflußmenge wesentlich vermindert werden, z. B. an der Elbe durch Einströmung des Hochwassers in das Havel-Mündungsbecken von 4350 auf 3230 cbm. Meistens gleichen aber die von den Nebenflüssen hinzugebrachten Wassermassen die durch Abströmung in das Ueberschwemmungsgebiet entstehenden Verluste aus und bewirken sogar eine, manchmal bedeutende Zunahme der sekundlichen Größtmenge, wenn sie gleichfalls Hochwasser führen. Diese Zunahme fällt am größten aus, wenn die beiden Scheitel der Flutwellen des Hauptstromes und Nebenflusses zusammentreffen, was indessen selten vorkommt. Gewöhnlich steuern nur einige wenige Seitengewässer zur Vergrößerung der Scheitelhöhe und Zunahme der Größtmenge wesentlich bei, dagegen die meisten nur mit geringen Beträgen, weil ihre Flutwellen schon vorher in den Hauptstrom übergegangen sind oder erst später nachfolgen. In beiden Fällen tragen die Hochwassermassen der Nebenflüsse, ohne die Scheitelhöhe viel zu vergrößern, zur Verlängerung der Welle bei und helfen deshalb ihr eine flacher gedehnte Form zu geben. Wir bezeichnen diese Erscheinung als Dehnung im Gegensatze zu der durch seitliche Ausbreitung des Hochwassers verursachten Verflachung, bei der die Scheitelhöhe verkleinert wird.

Anmerkung 2.
S. 27/32.

Anmerkung 3.
S. 32/33.

B. Beispiel der Oder.

In der Oder bei Breslau haben die großen Flutwellen 5 bis 6 m Scheitelhöhe, bis zu 2100 cbm sekundliche Größtmenge und 9 bis 14 Tage Ueberschwemmungsdauer, dagegen am Beginn der Mündungsstrecke 1,5 bis 2,5 m Scheitelhöhe, bis zu 3200 cbm sekundliche Größtmenge, aber bis zu 60 Tagen Ueberschwemmungsdauer. Die Hochfluten sind also in der Mündungsstrecke nicht mehr durch ihre Höhe und ihr Ungestüm für Leib und Leben der Stromanwohner gefährlich, schädigen aber gründlich deren Hab und Gut, wenn die lang anhaltenden Ausuferungen in die Zeit des Graswuchses fallen, dessen Entwicklung und Verwertung dann oft verhindert wird. Diese Verlängerung der Ueberschwemmungsdauer ist übrigens bei der Oder größer als bei unseren übrigen Strömen, weil ihre Ufer, namentlich in dem als landfest gewordener See anzusehenden Mündungsgebiete, sehr niedrig sind.

Beispielsweise nimmt die durchschnittliche Dauer der Ausuferungen bei der Weichsel von 4 Tagen an der Sanmündung nur auf 9,4 Tage oberhalb des Deltas zu. Hieran sind jedoch nicht allein die höheren Ufer schuld, sondern auch die gesamten Hochwasserverhältnisse, die den Flutwellen der Weichsel einen anderen Verlauf vorschreiben. Bei den Sommerfluten findet in der russischen Strecke des Stromes eine bedeutende Verflachung der Flutwellen statt, weil das verwilderte Bett sehr breit ist, weite Flächen durch Einströmung des Hochwassers in die Nebenflußmündungen überschwemmt werden und die russischen Nebenflüsse zur Speisung der aus Galizien kommenden Flutwellen verhältnismäßig wenig beitragen. Völlig anders verhalten sich dagegen die Winterfluten, die aus den Nebenflüssen Russisch-Polens, besonders bei rasch eintretender Schneeschmelze, so große Wassermassen zugeführt erhalten, daß die Scheitelhöhe der Flutwellen von 4 m an der Sanmündung auf 7 m bei Pieckel am Beginne des Deltas zunimmt; die sekundliche Größtmenge wächst hierbei bis zu 10440 cbm an. Im Gegensatze zur Oder, an deren Mündungsstrecke die sommerlichen Uberschwemmungen trotz ihrer geringen Höhe wegen der langen Dauer erhebliche Schäden verursachen, rufen an der preußischen Weichsel die winterlichen Hochfluten trotz ihrer kurzen Dauer wegen der großen Höhe Gefahren hervor, die durch ungünstige Eisverhältnisse für die bedeckten Niederungen oft verhängnisvoll geworden, aber seit Anwendung des künstlichen Eisaufbruchs mit Eisbrechdampfern, seit Verlegung der Mündung und Beginn der Hochwasserregulierung bedeutend vermindert sind.¹⁾

C. Beispiel der Weichsel. Sommer- und Winterfluten.

Anmerkung 4.
S. 33/36.

Die große Scheitelhöhe der Flutwellen in der preußischen Weichsel wird teilweise verursacht durch die Einschränkung des Uberschwemmungsgebiets mit hohen Deichen, ohne deren Vorhandensein die fruchtbaren Niederungen unbewohnbar wären. Ebenso befördert diese Einschränkung die Fortschrittsgeschwindigkeit des Wellenscheitels, die in der preußischen Strecke 5,4 km in der Stunde beträgt, wogegen in der russischen Weichselstrecke der Scheitel der Flutwellen mit 3 bis 5 km stündlicher Geschwindigkeit vorwärts schreitet. Stellen wir abermals einen Vergleich mit der Oder an, bei der die großen Flutwellen von Ratibor bis Schwedt durchschnittlich nur 2,1 km in der Stunde zurücklegen, so läßt sich das bedeutend größere Maß der Scheitelgeschwindigkeit in der Weichsel nicht etwa durch stärkeres Stromgefälle erklären, sondern durch die für den schnellen Verlauf günstigeren Querschnittsverhältnisse. Die Hochwassermassen der russischen Weichsel finden zum großen Teile in ihrem übermäßig breiten Bette Platz, während diejenigen der Oder sich größtenteils auf den mit Abflußhindernissen verschiedenster Art besetzten Vorländern bewegen müssen. Nun lehren aber

D. Fortschrittsgeschwindigkeit.

Anmerkung 5.
S. 36/42.

¹⁾ Vergleiche Anmerkung 16 (S. 84).

die für die Flutwellen der Weser sorgsam durchgeführten Untersuchungen, daß der Wellenscheitel am raschesten fortschreitet, wenn die Flutwelle eben die Uferbordhöhe erreicht, daß er dagegen langsamer zu werden beginnt, sobald größere Flächen des Ueberschwemmungsgebiets unter Wasser kommen. Eine Vergrößerung der Fortschrittsgeschwindigkeit findet dann wieder statt, wenn das bis zum Fuße der Deiche oder steilen Talwände ausgeuferte Hochwasser weiterzusteigen fortfährt. Je nach der Ausbreitung oder Einengung des Hochwasserbettes wechselt daher die Fortschrittsgeschwindigkeit. Sie nimmt ab in Talerweiterungen und wieder zu in Tal- oder Deichengen. Vermindert wird sie ferner durch Versickerung des ausufernden Wassers im durchlässigen Boden des Ueberschwemmungsgebiets und durch die Stauwirkung der Abflußhindernisse im Ueberschwemmungsgebiet (Pflanzendecke, Weidenwerder, Gesträuch, lebende Hecken, Wald, Bodenerhebungen, Dämme usw.). In der Weser beträgt die stündliche Fortschrittsgeschwindigkeit von Münden bis zur Tidegrenze bei Dreye je nach der Scheitelhöhe 2,8 bis 5,7 km. Auch in den meisten anderen Strömen ist sie größer als in der Oder, kleiner (nämlich 1,6 bis 1,7 km) nur in den Flachlandflüssen Warthe, Ems und Pregel, deren Hochfluten weite Ausuferungen verursachen.

E. Rückblick.

Unser Vergleich zwischen Oder und Weichsel hat bisher Gelegenheit geboten, die wichtigsten Gesichtspunkte kurz zu erwähnen, die für den Verlauf der Flutwellen maßgebend sind. Wir haben die Dehnung und Verflachung von den oberen nach den unteren Strecken nebst den Veränderungen der Scheitelhöhe, der sekundlichen größten Abflußmenge, der Ueberschwemmungsdauer und der Fortschrittsgeschwindigkeit des Wellenscheitels flüchtig betrachtet. Dabei haben wir gesehen, daß alle diese Aenderungen hauptsächlich durch die seitliche Ausbreitung des Hochwassers und durch die Einwirkung der Nebenflüsse bewirkt werden. Auf letzteren Punkt und die Form der Nebenflußwellen müssen wir aber noch etwas näher eingehen.

III. Gegensatz
zwischen
Gebirgs- und
Flachland-
flüssen.

Besonders auffallend zeigt das Beispiel der Weichsel die Aenderung, die sich durch verschiedenartige Herkunft der Nebenflüsse aus dem Gebirge oder Flachlande in den Hochwassererscheinungen des Hauptstromes vollzieht. Denn Sie erinnern sich, daß eine bedeutende Sommerflut der oberen Weichsel, die vorzugsweise von Gebirgsflüssen gespeist wird, in der unteren Weichsel verflacht ankam, weil die russischen Flachlandflüsse wenig hinzu brachten, wogegen die Winterfluten durch die Zufuhr aus diesen Flachlandflüssen große Mächtigkeit zu erhalten pflegen. Man könnte hieraus folgern, daß die Herkunft aus dem Gebirge zur Steigerung der Sommerfluten, die Herkunft aus dem Flachlande zur Steigerung der Winterfluten des Hauptstromes

A. Sommer- u.
Winterfluten.
Regen- und
Schmelzfluten.

Anlaß gibt. In der Tat sind von den großen Hochfluten der oberen Weichsel 59% in der sommerlichen Jahreshälfte und nur 41% in der winterlichen Jahreshälfte eingetreten, dagegen von den großen Hochfluten der unteren Weichsel nur 11% im Halbjahre Mai/Oktober und 89% im Halbjahre November/April. Die Hochwassererscheinungen des Sommers waren ausschließlich Regenfluten, da die geringen Schneemassen der Hohen Tatra, die noch im Mai oder schon im Oktober abschmelzen, kein Hochwasser in der Weichsel veranlassen können. Auch sind es nicht diese beiden Monate, die am häufigsten von Hochfluten betroffen werden, sondern Juli und August, denen der Juni bezüglich der Häufigkeit nahe steht, während September/Oktober arm an solchen Erscheinungen bleiben. In der winterlichen Jahreshälfte treten dagegen vorwiegend Schmelzfluten ein, die meisten im März und seinen beiden Nachbarmonaten, die wenigsten im November. Wenn auch bei den rasch vorübergehenden Erwärmungen in den Wintermonaten ein Teil der Niederschläge als Regen fällt und unmittelbar abfließt, so rühren doch sicherlich die größten Wassermassen der winterlichen Hochfluten vom Abschmelzen des Schnees her. Für das Weichselgebiet und für die übrigen Stromgebiete des Ostens bis zur Elbe hin sind die Begriffe Sommerfluten und Regenfluten, Winterfluten und Schmelzfluten mit seltenen Ausnahmen nahezu gleichsinnig.

Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge in diesen östlichen Stromgebieten (größere Niederschläge in der sommerlichen, kleinere in der winterlichen Jahreshälfte) kommt am schärfsten im Gebirge zum Ausdruck. Beispielsweise fallen am Nordhange der Hohen Tatra 70,8% aller Niederschläge im Sommer, bloß 29,2% im Winter.¹⁾ Wesentlich trägt hierzu bei, daß in der sommerlichen Jahreshälfte zuweilen außerordentlich große Regenmassen binnen wenigen Tagen fallen, und zwar meistens annähernd gleichzeitig auf ausgedehnten Flächen der westöstlich streichenden Gebirgszüge und ihres hügeligen Vorlandes. Außer den Karpathen, Beskiden und Sudeten kommen hier namentlich auch die Ostalpen und bis zu gewissem Grade das südböhmische Bergland in Betracht. Die Vorbedingungen einer großen Hochflut sind bei solchen Regengüssen besonders dann gegeben, wenn schon vorher der Boden durch lang anhaltende Dauerregen gesättigt war. Beispielsweise betrug aus diesem Grunde das Verhältnis zwischen Abfluß- und Niederschlagsmenge in Böhmen bei der Hochflut vom September 1890 etwa 53%, dagegen bei der Hochwassererscheinung vom Juli/August 1897 nur 26%, weil bei der letztgenannten Erscheinung große Wassermassen in dem während des trockenen Julimonats aufnahmefähig gemachten Boden zurückgehalten wurden.²⁾ Die steilen Berghänge und das starke Gefälle

Anmerkung 6.
S. 42/43.

B. Hochwasser-
erscheinungen
im östlichen
Gebirgslande.

¹⁾ Vergleiche Anmerkung 11 (S. 64).

²⁾ Vergleiche Anmerkung 17 (S. 99).

der Bäche begünstigen den raschen Abfluß des plötzlich in ungewöhnlicher Menge fallenden Regens, zumal die Verdunstung wegen des großen Feuchtigkeitsgehaltes der abgekühlten Luft gering ist. Solche starken Tagesniederschläge bis mehr als 300 mm kommen aber nur in den Sommermonaten bis zum Oktober vor.¹⁾ Die winterlichen Niederschläge sind an Menge und Intensität geringer. Größtenteils fallen sie als Schnee, namentlich in den höheren Lagen des Gebirges, manchmal noch gleichzeitig mit dem Auftreten der Schneeschmelze in den Talbecken. Häufig ist dann bei andauerndem Tauwetter die Schneedecke der Täler bereits verschwunden, wenn allmählich der Abfluß des Schmelzwassers aus den höheren Lagen beginnt, auch hier noch oft verzögert durch Nachtfrost und die schützende Einwirkung der Bergwälder. Daher zeigen die Gebirgs Gewässer zur Zeit der Schneeschmelze weniger hohe, aber länger anhaltende Anschwellungen als nach heftigen Regengüssen, die ihrerseits rasch zu großer Höhe ansteigendes und schnell verlaufendes Hochwasser hervorrufen. In den Gebirgsflüssen haben deshalb die im Winter entstehenden Schmelzfluten niedrige und lange, also flach geformte Flutwellen. Bei den Regenfluten des Sommers sind dagegen die Flutwellen höher und kürzer, also spitz geformt.

C. Hochwassererscheinungen im östlichen Flachlande.

Gerade umgekehrt verhalten sich in den östlichen Stromgebieten die aus dem Flachlande stammenden Gewässer, bei denen solche spitzen Flutwellen auch im Sommer nicht vorkommen. Gewöhnlich verursacht im Flachlande dieselbe Wetterlage, die das Gebirge mit Regen überschüttet, minder starke Niederschläge, deren Abfluß durch die schwache Bodenneigung und das geringe Bachgefälle verzögert wird. Verdunstung, Versickerung und der Bedarf des Pflanzenlebens entziehen daher den größten Teil des Regenwassers den Wasserläufen, zumal der ungehindert über das Flachland streichende Wind den frisch entwickelten Wasserdampf vom Ursprungsorte wegführt und das Maß der Verdunstung erhöht. Sommerliche Anschwellungen von Bedeutung finden deshalb in den Flachlandflüssen gewöhnlich nur an Stellen mit mangelhafter Vorflut statt. Eine sorgfältige Räumung und Beseitigung des Krautwuchses verhütet dann meist die Entstehung von Regenhochwasser. Dagegen reichen die einfachen Räumungsarbeiten oft nicht aus, um die großen Wassermassen rechtzeitig abzuleiten, die bei der Schneeschmelze gegen Ende des Winters zusammenfließen. Während der winterlichen Jahreshälfte ruht der Verbrauch von Wasser durch den Pflanzenwuchs, ist die Verdunstung gering und die Versickerung häufig durch Bodenfrost unterbrochen. Vorzeitige Erwärmungen nehmen in den östlichen Stromgebieten meistens nur kleinere Teile der Schneedecke weg, in der sogar die als Regen gefallenen Niederschläge gebunden werden, wenn ein

Anmerkung 7.
S. 43/46.

¹⁾ Vergleiche Anmerkung 13 (S. 70/71).

Kälterückfall das Tauwetter bald wieder beendet. Setzt dann die endgültige Schneeschmelze ein, so dehnt sie sich schneller als im Gebirge über große Flächen aus und bringt gewaltige Wassermassen in Bewegung, die in den Flachlandflüssen Flutwellen von großer Höhe und langer Dauer mit flach geformtem Scheitel erzeugen.

Sie haben vorhin gehört, daß von sämtlichen größeren Hochwassererscheinungen auf die sommerlichen Regenfluten in der oberen Weichsel 59%, in der unteren Weichsel nur 11%, dagegen auf die winterlichen Schmelzfluten in der oberen Weichsel 41%, in der unteren Weichsel aber 89% entfallen. Wenn hierin zum Ausdruck kommt, daß die obere Weichsel größtenteils aus dem Gebirge, die untere Weichsel aber vorwiegend aus dem Flachlande gespeist wird, dem ja alle Nebenflüsse der mittleren Weichsel angehören, so müssen sich bei den östlichen Nachbarströmen, deren Niederschlagsgebiete vollständig im Flachlande und niedrigen Hügellande liegen, ähnliche Verhältnisse zwischen Sommer- und Winterfluten wie bei der unteren Weichsel finden. Dies ist auch der Fall. Beim Pregel kommen auf die Sommerfluten nur 7%, beim Memelstrome nur 2% der Hochwassererscheinungen, dagegen auf die Winterfluten beim Pregel 93%, beim Memelstrome sogar 98%. In dem großen Stromgebiete des Njemen, der in Ostpreußen als Memelstrom mündet, erzeugen die manchmal recht starken Regengüsse der Sommermonate zwar zuweilen kräftige Anschwellungen einzelner Nebenflüsse, vermögen aber nur äußerst selten eine so hohe Anschwellung im Hauptstrome hervorzubringen, daß die Flutwelle am Unterlaufe die Hochwassergrenze überschreitet. Etwas weniger selten treten sommerliche Hochfluten im Pregel ein, dessen kleines Stromgebiet größtenteils aus Hügelland mit undurchlässigem Boden besteht.

Wandern wir nun von der Weichsel gegen Westen, so zeigt die Oder unter den von Ratibor bis Krossen durchlaufenden Flutwellen 46% sommerliche und 54% winterliche Hochfluten, ähnelt mithin einigermaßen der oberen Weichsel. Dabei macht sich geltend, daß der Abflußvorgang des Oderstroms bis zur Warthemündung vorwiegend von den Gebirgsflüssen aus den Sudeten und Beskiden beherrscht wird. Das Flachland kommt erst nach Aufnahme der Warthe, an deren Mündung die Gebietsfläche sich verdoppelt, zu seinem Rechte. Unterhalb der Warthemündung bei Schwedt entfallen daher nur 26% aller Ausuferungstage auf die Sommermonate, dagegen 74% auf die Wintermonate. Daß die Oder ihre Eigenschaft als ein im Flachlande verlaufender Gebirgsfluß nicht im gleichen Maße wie die Weichsel ändert, erklärt sich leicht durch einen Blick auf die Landkarte. Denn bis zur Lausitzer Neisse fließt die obere und mittlere Oder nahezu parallel mit dem Gebirgszuge der Sudeten und bildet die gemeinsame Sammelrinne der dort

IV. Jahreszeitliche Verteilung d. Hochwassererscheinungen.
A. Nordöstliche Ströme.

Anmerkung 8.
S. 46/49.

B. Oder u. Elbe.

Anmerkung 9.
S. 49/53.

entspringenden Flüsse. Aehnlich verhält sich die obere Weichsel zu den Beskiden und Karpathen. Aber schon beim Ueberschreiten der russischen Grenze tritt der Strom in ein Flachlandsgebiet mit reich entwickeltem Gewässernetz, das nirgends im Gebirge wurzelt.

Bei der Elbe gehören nur noch 18 % aller Hochfluten, die von der Saalemündung bis zur Tidegrenze durchlaufende Flutwellen bilden, der sommerlichen Jahreshälfte an, 82 % der winterlichen Jahreshälfte. Die Verhältniszahl der Sommerfluten ist mithin zwar größer als bei der unteren Weichsel, aber viel kleiner als bei der oberen Weichsel und Oder, obgleich ein recht großer Anteil des Stromgebiets zum Mittelgebirge gehört. Schon hier muß man zur Vermutung kommen, daß außer dem Gegensatze zwischen Gebirgs- und Flachland noch eine andere Ursache auf die jahreszeitliche Verteilung der Hochwassererscheinungen einwirkt.

C. Nordwestliche Ströme.

Deutlicher tritt dies ans Licht bei der Weser, deren Stromgebiet größtenteils aus Gebirgs- und starkwelligem Hügellande besteht. Dennoch sind von ihren allgemein aufgetretenen Hochfluten nur 5 % im Sommer und 95 % im Winter verlaufen. Daß bei der Ems sogar nur 3 % in den Sommer und 97 % in den Winter fallen, würde sich aus ihrer Eigenschaft als Flachlandsfluß erklären lassen, weil der Memelstrom fast genau dasselbe Verhältnis zeigt. Tatsächlich beruht es aber auf anderen Gründen, da eine solche gegensätzliche Einwirkung des Flachlandes und Gebirges auf die Hochfluten, wie wir sie im Osten kennen gelernt haben, bei den westdeutschen Flüssen nicht vorhanden ist. Von den Nebenflüssen des Rheinstroms zeigt der Main nahezu gleiche Verhältniszahlen wie die Weser, wogegen bei dem südwestdeutschen Neckar eine Verschiebung zugunsten der Sommerfluten durch das häufigere Auftreten von Hochwasser im Mai und in den Herbstmonaten stattfindet. Auch in der Mosel, Lahn und den niederrheinischen Nebenflüssen treten die Hochfluten fast ausschließlich im Winter ein. Ob die Niederschlagsgebiete dieser westlichen Flüsse fast ganz aus Flachland bestehen, wie bei der Ems, oder fast ganz aus Gebirge, wie beim Main, spielt für die jahreszeitliche Verteilung der Hochfluten keine Rolle.

V. Einwirkung der Meeresnähe und der kontinentalen Lage.
A. Flachlandflüsse. Ems u. Memelstrom.

Die Ursache des andersartigen Verhaltens der westlichen Flüsse ist darin zu suchen, daß besonders in Nordwestdeutschland die Einwirkung der Meeresnähe in ausgeprägter Weise fühlbar wird, und zwar nicht nur in den zunächst der Nordsee gelegenen Niederungen, sondern auch in den Mittelgebirgen, aus denen das Gewässernetz vorzugsweise gespeist wird. Durch den wärmeren Winter, den kühleren Sommer und den früheren Einzug des Frühjahrs, sowie durch größere Niederschläge, die aber weniger ungleichmäßig auf die Jahreszeiten ver-

teilt sind und hauptsächlich als Regen fallen, unterscheidet sich beispielsweise das Emsgebiet ganz erheblich von dem Memelstromgebiete. Beide Gebiete gehören dem Flachlande an; aber die Ems entwässert den zunächst am Meere gelegenen Teil der norddeutschen Tiefebene, wogegen die vom Njemen entwässerten litauischen Landschaften eine kontinentale Lage haben. Das im winterwärmsten Teile Deutschlands liegende Emsgebiet hat durchaus Seeklima, das weit nach Rußland eingreifende Memelstromgebiet vorherrschend Kontinentalklima. Was dem Emsgebiet durch seine Winterregen an Niederschlägen mehr zukommt, gleicht sich größtenteils aus gegen den mächtigen Vorrat, der beim Memelstromgebiete in der lange beharrenden Schneedecke aufgespeichert wird und bei der spät eintretenden Schneeschmelze abfließt. Durch reichliche Winterregen werden im Emsgebiete Regenfluten im Winter erzeugt, die den Schmelzfluten zu Hilfe kommen, um die Verhältniszahl der winterlichen Hochwassererscheinungen zu erhöhen und einen ungewöhnlich großen Teil der gesamten Niederschläge des Winters (65,6 %) zum Abflusse zu bringen. Im Memelstromgebiete, wo während dieser Jahreszeit ausschließlich Schmelzfluten vorkommen, meistens erst im März oder April, ist aber das Verhältnis zwischen Abfluß und Niederschlag gleichfalls sehr groß (56,2 %). Sommerliche Regengüsse, die im Emsgebiete nicht so heftig wie im Memelstromgebiete auftreten, sondern größtenteils lange anhaltende Landregen sind, geben im westlichen wie im östlichen Flachlande nur ausnahmsweise zu Hochfluten Anlaß. Welche Gründe den Abfluß der sommerlichen Niederschläge im Flachlande verzögern und das Abflußverhältnis verringern, wurde bereits erwähnt. Für die Winterregen haben sie keine Gültigkeit. Wenn auch die Erwärmung im Winter derart vorgeschritten ist, daß der Niederschlag als Regen fällt, so bleibt die Verdunstung doch noch gering, der Boden wegen seiner Sättigung mit Feuchtigkeit oder seines Frostes nicht aufnahmefähig, und der Wasserverbrauch des Pflanzenlebens ruht während des Winterschlafs. So versteht man leicht, daß die als Regen fallenden Niederschläge zur Winterszeit mit geringeren Verlusten abfließen als zur Sommerszeit. Während im östlichen Flachlande Regenfluten höchst selten entstehen, sind sie im westlichen Flachlande keine solche Seltenheit, treffen aber fast immer in die winterliche Jahreshälfte.

In den Mittelgebirgen Westdeutschlands findet der schleunige Abfluß während der winterlichen Jahreshälfte günstigere Vorbedingungen als in den östlichen Gebirgen. Häufiger als dort muß die Schneelage im Laufe des Winters wiederholtem Tauwetter weichen, das oft mit starkem Regenfall verbunden ist. Vielfach war vor Ausbreitung der Schneedecke der Boden gefroren und undurchlässig gemacht, wodurch den winterlichen Niederschlägen die Versickerung er-

Anmerkung 10.
S. 53/61.

B. Gebirgsflüsse. Verhalten im Winter und Sommer.

schwert und der zum Abfluß gelangende Anteil vergrößert wird. Fallen sie als Regen, so entstehen sofort spitze Flutwellen von kurzer Dauer. Aber auch die als Schnee gefallenen Niederschläge fließen während der winterlichen Jahreshälfte bei vorzeitigem Tauwetter oder beim Einzuge des Frühling mit geringen Verlusten in massigen Flutwellen ab. Dies zeigt sich zuweilen durch baldiges Versiegen der Quellen in dem darauf folgenden Sommer, so daß die im Weserstromgebiete manchmal sehr lästigen sommerlichen Wasserklemmen meist nach einem Winter entstehen, der zu Beginn harten Frost ohne Schneefall gebracht hat.¹⁾ Die Schneevorräte werden früher aufgezehrt und sind überhaupt nicht so groß wie in den östlichen Gebirgen, bei deren Winterkälte die Niederschläge hauptsächlich in fester Form fallen, wogegen im winterwärmeren Westen Winterregen sehr häufig stattfinden. Auch die jahreszeitliche Verteilung des Niederschlages ist in den östlichen Gebirgen, die unter Herrschaft des Kontinentalklimas stehen, für die Häufung von Winterfluten weniger günstig als in den vom Seeklima beherrschten westlichen Gebirgen. Während an der Hohen Tatra nur 29,2 % der jährlichen Niederschlagsmenge auf die Wintermonate November/April kommen, steigert sich ihr Anteil im Harz auf 50,2 %.

Anmerkung 11.
S. 62/66.

Wir wissen, meine Herren, daß die großen Hochfluten bei den aus unseren östlichen Gebirgen stammenden Flüssen in der sommerlichen Jahreshälfte durch starke Regengüsse mit weiter Verbreitung erzeugt werden. Sie entstehen bei Wetterlagen, die eine lebhaft^e Zufuhr wasserdampfreicher Luft aus nördlicher bis nordwestlicher Richtung nach den quer vorgelagerten Gebirgswällen veranlassen. Die hier zum Aufstiege, also auch zur Ausdehnung und Abkühlung gezwungenen Luftmassen schlagen schnell einen großen Teil des von der See herbeigetragenen Wassers nieder. Aehnliche Erscheinungen kommen im westlichen Berglande nur ausnahmsweise vor, besonders fast nie im Sommer. Sommerliche Niederschläge, deren Tagesmengen äußerstenfalls wenig über 150 mm angewachsen sind²⁾, fallen meist in Begleitung von Gewittern, die mehr örtlich auftreten, selten in breiter Flucht große Landesteile überziehen. Daher werden in den Mittelgebirgen Westdeutschlands fast immer nur einzelne Bezirke, manchmal freilich recht schwer, von den gleichzeitig niedergehenden Wassermassen heimgesucht. Die von solchen Gewitterregen im Sommer erzeugten Anschwellungen der Bäche und kleineren Flüsse sind oft sehr hoch, aber von kurzer Dauer. Ihre sich nicht gegenseitig verstärkenden, sondern nacheinander eintreffenden Flutwellen dehnen sich schon in den größeren

¹⁾ Vergleiche Anmerkung 10 (S. 59/60). Die Verteilung der Wasserklemmen in der Weser nach Jahresreihen ist in Anmerkung 15 (S. 79/80) erwähnt.

²⁾ Vergleiche Anmerkung 13 (S. 71).

Flüssen, mehr noch im Hauptstrome zu einer flachen Anschwellung aus, die selten bis zur Uferbordhöhe oder darüber hinaus wächst.

Die östlichen Gebirge in kontinentaler Lage sind demnach die Ursprungsstätten sommerlicher Regenfluten, dagegen die am weitesten gegen das Weltmeer geschobenen westlichen Vorposten unserer Mittelgebirge die Heimat winterlicher Regenfluten, die freilich in den meisten Fällen von gleichzeitig eintretender Schneeschmelze gespeist werden. Die östlichen Ströme Norddeutschlands haben Regenfluten im Sommer, Schmelzfluten im Winter. Die westlichen Ströme haben Regen- und Schmelzfluten im Winter, aber nur ausnahmsweise große Anschwellungen über die Hochwassergrenze hinaus im Sommer.

Alle bisher betrachteten Ströme und Flüsse ähneln einander, so verschieden auch ihre Hochwasserverhältnisse sein mögen, bei der Wasserstandsbewegung im Kreislaufe des Jahres. Ihre mittleren Monatswasserstände sind in der winterlichen Jahreshälfte durchschnittlich höher als in der sommerlichen, am höchsten im März oder in einem seiner Nachbarmonate, am niedrigsten im Hochsommer oder Herbst. Bei den westlichen Strömen fällt die Anhebung des monatlichen Mittelwassers, dessen hohe Lage hauptsächlich von der Schneeschmelze herrührt, naturgemäß zeitlich früher als bei den östlichen, z. B. das Maximum in der Weser unterhalb Minden und in der Ems auf Februar, im Memelstrome auf April.

Diesen östlichsten Flachlandstrom übertreffen bei der Verspätung des Schmelzwasser-Abflusses noch die aus dem Hochgebirge gespeisten Ströme. Am nächsten kommt ihm die bayrische Donau, die ihr höchstes Mittelwasser im Mai hat, während es bei der österreichischen Donau im Juni liegt, ebenso im Rhein bis jenseits der Moselmündung. Erst oberhalb Bonn geht das Maximum des Mittelwassers auf den März und bei Ruhrort auf den Februar zurück. Offensichtlich rührt diese Verschiebung von den Nebenflüssen aus dem Mittelgebirge her, die sämtlich im März oder Februar am meisten Wasser abführen. Auch die württembergische Donau und die linksseitigen Nebenflüsse in Bayern bringen im März die größten Abflußmassen, wogegen die rechtsseitigen Zuflüsse aus den Alpen im Juni das Maximum des monatlichen Mittelwassers aufweisen.

Der Rhein steht sonach anfangs ganz unter der Einwirkung des Hochgebirges, dessen im langen Winter aufgesammelte Schnee- und Eismassen zur Sommerszeit durch Schnee- und Gletscherschmelze die Alpenflüsse nachhaltig speisen und dem Hauptstrome so bedeutende Wassermassen zuführen, daß die im Winter reichlichere Wasserführung der Mittelgebirgsflüsse erst nach Aufnahme der Lahn und Mosel den Vorrang gewinnt. Bei der Donau verhält sich die Sache umgekehrt. Ihr

VI. Wasserstandsbe-
wegung im
Kreislaufe des
Jahres. Ein-
wirkung des
Hochgebirges.

Anmerkung 12.
S. 66/70.

württembergischer Oberlauf ist ein Mittelgebirgsfluß, dessen Eigenart auf dem Wege durch Bayern allmählich verwischt wird durch die Zufuhr aus den im Hochgebirge entspringenden rechtsseitigen Nebenflüssen. Nach Aufnahme des Inn, des größten Alpenflusses, weist die Donau in Oesterreich vorwiegend den Abflußvorgang der Hochgebirgsgewässer auf.

VII. Jahreszeitliche Verteilung der Hochwassererscheinungen.
A. Rhein.

Wenden wir uns nun zur Betrachtung der Hochwassererscheinungen in diesen beiden deutschen Strömen, die aus dem Hochgebirge und Mittelgebirge gespeist werden. Im Rhein stammen sie selten aus beiden zugleich, sondern gewöhnlich entweder aus den Alpen und ihrem Schweizer Vorlande oder aus dem Mittelgebirge. Während im Oberrhein bis zum Eintritt in die Pfalz die höchsten Wasserstände von Sommerfluten aus den Alpen hervorgerufen sind, haben sie weiter unterhalb bei Winterfluten stattgefunden, die ganz oder größtenteils in den Mittelgebirgen ihren Ursprung hatten. Von 14 großen Hochfluten des Oberrheins sind 6 in den Alpen und ihrem Vorlande, 6 in den Mittelgebirgen und 2 in beiden gleichzeitig erregt worden.

Beim Mittel- und Niederrhein wird das Auftreten der großen Hochwassererscheinungen lediglich durch die Hochfluten der Mittelgebirgsflüsse Neckar, Main, Nahe, Lahn, Mosel u. s. w. bedingt. Selbst außergewöhnliche Hochfluten der Alpenflüsse erzeugen im Rhein unterhalb Koblenz nur mäßige Anschwellungen. Da aber jene westdeutschen Flüsse, ebenso wie die Weser, ihre Hochfluten fast nur im Winter abführen, hat auch der Mittel- und Niederrhein seine großen Hochwassererscheinungen ausschließlich in der winterlichen Jahreshälfte. Kleinere Sommerfluten der Nebenflüsse werden im Hauptstrome von seiner kräftigen Speisung aus den Alpen erheblich verstärkt. Hierdurch und durch jene verflachten Flutwellen der oberrheinischen Sommerfluten wird die Verhältniszahl für die Sommermonate bei den mittelgroßen Hochwassererscheinungen im Niederrhein auf 8 % gebracht.

Je weiter wir uns vom Meere entfernen zum Oberrhein und Hochgebirge hin, um so mehr ändert sich das Seeklima in ein dem kontinentalen ähnelndes Klima um. So fallen im Quellgebiete des Rheins wiederum 65 % der jährlichen Niederschlagsmenge in der sommerlichen und nur 35 % in der winterlichen Jahreshälfte — dies ist nahezu dieselbe jahreszeitliche Verteilung wie an der Nordseite der Karpathen.¹⁾ Schon beim Neckar gewinnen daher die Sommerfluten etwas größere Bedeutung, und die freilich noch weitaus vorherrschenden Winterfluten werden durch die Schneeschmelze in höherem Maße als durch Ueberregnung ausgedehnter Landflächen verursacht. Rasch einfallendes, von stärkerem Regen begleitetes Tauwetter, das sich auch in

¹⁾ Vergleiche Anmerkung 11 (S. 64/65).

abgeschwächtem Maße auf das Alpenvorland erstreckt, ist in den Schwarzwald- und Vogesenflüssen die Ursache der kräftigsten Anschwellungen. Seltener betreffen derartige Erscheinungen das Mittelgebirge und Hochgebirge zu derselben Zeit, z. B. bei der größten Rheinhochflut der letzten Jahrzehnte im Dezember/Januar 1882/1883. Den Vorrang erhalten die Sommerfluten jedoch erst bei den Alpenflüssen, deren Hochwassererscheinungen gewöhnlich durch starke Regengüsse im Hochgebirge und Alpenvorlande, zuweilen nach Vorangang von Föhnstürmen und plötzlicher Schneeschmelze, verursacht werden. Alle im Oberrhein während der Sommermonate Juni/September aufgetretenen Hochfluten waren Regen- und Schmelzfluten der Alpenflüsse, die aus den zunächst gelegenen Mittelgebirgen noch einige Zufuhr erhielten, aber schon in den letzten Strecken des Oberrheins zu verflachen begannen.

Man beachte, daß bei den Hochwassererscheinungen im Rhein das Hochgebirge sich ähnlich zum Mittelgebirge verhält, wie bei denjenigen in der Weichsel und Oder das Mittelgebirge zum Flachlande.

In der Donau sind die größten Sommerfluten unter gleichartigen Verhältnissen der Luftdruckverteilung entstanden, teilweise sogar in denselben Tagen, wie die Sommerfluten der Weichsel, Oder und Elbe. Dem Anscheine nach handelt es sich um Regenfluten, bei denen die Schnee- und Gletscherschmelze im Alpenlande meist wenig beteiligt ist. Beispielsweise hat die gefährliche Hochflut vom September 1899 bedeutend an ihrer Wucht verloren, weil die Niederschläge in den Hochlagen der Alpen als Neuschnee fielen und nicht zum sofortigen Abflusse gelangten.¹⁾ Das Zusammenfließen der von sehr heftigen Regengüssen stammenden Abflußmassen erzeugt in der gemeinsamen Sammelrinne schnell große Hochfluten, weil die Donau von der Iller bis Wien parallel mit dem Zuge der Alpen läuft, also eine ähnliche Lage zu ihnen hat wie die obere Weichsel zu den Karpathen und die Oder zu den Sudeten. Von geringerem Belang ist dies für die mittelgroßen Sommerfluten der Donau, die durch verstärkte Schneeschmelze im Hochgebirge und sommerliche Regenfälle von minder großer Verbreitung entstehen, weil bei solchen Erscheinungen nicht alle, sondern meistens nur einige benachbarte Alpenflüsse in kräftigere Erregung kommen. Häufig wirken Winterregen und Schneeschmelze zusammen, bei Föhnlage zuweilen auch im Hochgebirge, um sämtliche rechts- und linksseitigen Nebenflüsse der Donau mehr oder weniger stark zu erregen und im Hauptstrome bedeutende Winterfluten hervorzurufen, die öfters mit schweren Eisgängen verbunden sind. In der bayrischen Donaustrecke überwiegen diese Winterfluten, in der österreichischen jene Sommerfluten, da erst von

B. Donau.

¹⁾ Vergleiche Anmerkung 17, wo die mit einander nicht ganz übereinstimmenden Angaben aus Bayern und Oesterreich mitgeteilt sind (S. 98).

Passau ab das Alpenland einen größeren Teil der Stromgebietsfläche einnimmt als das Mittelgebirge, Hügelland und die schwäbisch-bayrische Hochebene.

VIII. Gleichzeitiges Auftreten von Hochwassererscheinungen in mehreren Strömen.

Die Betrachtung der Hochwassererscheinungen in der Donau führte uns wiederum zur Erwähnung jener verhängnisvollen Wetterlage, die weit ausgedehnte Regengüsse in unseren östlichen Grenzmarken gegen Ungarn und Polen zu erzeugen pflegt, bald hier, bald da mit solcher Stärke, daß hohe Sommerfluten entstehen. Wir haben gesehen, daß das häufige Auftreten der sommerlichen Hochwassererscheinungen in den östlichen Strömen (auch in der österreichischen Donau) hauptsächlich durch die große Ausbreitung dieser starken Niederschläge zu erklären ist, wogegen in den westlichen Stromgebieten so ausgebreitete Regenfälle sehr selten im Sommer, etwas häufiger im Winter vorkommen. Man kann dies deutlich erkennen, wenn das gleichzeitige Auftreten von Hochwassererscheinungen in mehreren Strömen untersucht wird. Dies ist geschehen durch Zusammenstellung aller Erscheinungen des letzten Jahrhunderts, bei denen in mindestens zwei deutschen Strömen gleichzeitig Hochfluten aufgetreten sind. Von 30 sommerlichen Hochwassererscheinungen, bei denen dies der Fall war, entsprechen 25 der erwähnten Wetterlage. Bei allen 25 ist die Oder in Mitleidenschaft gezogen worden, gleichzeitig mit der Weichsel, Donau oder Elbe, öfters auch mit zweien dieser Ströme zu gleicher Zeit. Auf die Einwirkung der durch andere Ursachen in Erregung gebrachten Alpenflüsse ist das gleichzeitige Auftreten von 4 sommerlichen Hochfluten in der Donau und im Oberrhein zurückzuführen. Dagegen war im westdeutschen Mittelgebirge nur ein einzigesmal, nämlich im Juni/Juli 1871, eine ähnliche Erscheinung so weit verbreitet, daß gleichzeitig in der Weser, Elbe, und im Rhein nicht besonders große Hochfluten entstanden sind. Eine noch größere Ausbreitung scheint übrigens die außerordentliche Hochwassererscheinung vom Juli 1342 besessen zu haben, deren Verheerungen von den Chronisten beredt geschildert werden. Zuverlässige Hochwassermarken bezeugen, daß diese Sommerflut in der Weser und im Main bedeutend höher angestiegen ist als alle späteren Winterfluten. Man sieht, daß es keine Regel ohne Ausnahmen gibt.

Umfassender ist im allgemeinen die Ausdehnung der größtenteils durch die Schneeschmelze verursachten winterlichen Hochwassererscheinungen, von denen 46 im letzten Jahrhundert zwei oder mehr Ströme gleichzeitig betroffen haben. Besonders häufig sind dabei die Ströme im westlichen und mittleren Norddeutschland vertreten, am meisten die Weser, die Ems und der Unterrhein, nächst ihnen die Elbe und die Oder. Diese weit verbreiteten Hochwassererscheinungen berühren also mit Vorliebe die Gewässernetze jener Landschaften, die

Anmerkung 13.
S. 70/75.

Anmerkung 14.
S. 75/77.

am meisten vom Seeklima beherrscht werden, in zweiter Linie die Wasserläufe derjenigen Gebiete, in denen sich der Uebergang zum Kontinentalklima vollzieht. Eine selbständigere Stellung nehmen die nordöstlichen Ströme ein, die meistens länger dem strengen Frostwetter ausgesetzt sind, sowie die aus den Alpenflüssen gespeisten Ströme, Donau und Oberrhein. Bei 6 Hochwassererscheinungen gerieten fast alle Ströme annähernd zu derselben Zeit in Erregung und führten teilweise große Hochfluten ab. Die nach Ausdehnung und Stärke bemerkenswertesten Erscheinungen dieser Art fanden statt im März/April 1845 und im Februar/März 1876. Erstere ist durch plötzliches Tauwetter nach sehr grosser Kälte und bedeutendem Schneefall entstanden, letztere durch ungewöhnlich lange Dauer ausgezeichnet.

Wenn man die bei unserer letzten Betrachtung berücksichtigten 76 Hochwassererscheinungen nach der Zeit ihres Auftretens im Laufe des Jahrhunderts ordnet, so zeigt sich eine Häufung in manchen Jahrfünften, wogegen andere fast leer ausgehen. Dabei folgen gruppenweise stets mehrere gleichartige Jahrfünfte mit vielen oder wenigen Hochfluten auf einander, so daß man wohl von einem Wechsel hochwasserreicher und hochwasserarmer Jahresreihen sprechen kann. Nun umfassen aber die miteinander verglichenen Hochwassererscheinungen nicht alle Hochfluten, da namentlich in den östlichen Strömen viele Winterfluten vorgekommen sind, denen keine solchen in den Nachbarströmen entsprochen haben. Um die Verteilung der Hochfluten nach Jahresreihen genauer festzustellen, muß man daher jeden Strom für sich betrachten und alle seine Hochfluten berücksichtigen. Dies ließ sich, soweit überhaupt genügende Angaben zu beschaffen waren, bei dem Memelstrom, der Weichsel und der Weser für 80 Jahre von 1816 bis 1895 durchführen, bei der Oder, Elbe, Ems und beim Main für 60 Jahre von 1836 bis 1895. Uebereinstimmend zeigten alle Ströme eine Häufung von Hochfluten in den Doppeljahrzehnten 1836/55 und 1876/95, in denen je etwa 1,9 mal mehr Hochwassererscheinungen vorgekommen sind, als im zwischenliegenden Doppeljahrzehnt 1856/75. Letztere Jahresreihe umfaßt aber viele Jahre, die als heiß und trocken bekannt sind, freilich auch einige kühle und nasse Jahre. Ebenso haben im Doppeljahrzehnt 1816/35 bei den drei untersuchten Strömen bedeutend weniger Hochfluten stattgefunden als in jenen beiden gar zu reich bedachten Doppeljahrzehnten.

Gerade die Frage, ob die Zahl der Hochfluten größer geworden ist, oder ob ihre Häufigkeit langjährigen Schwankungen unterliegt, hat die Aufmerksamkeit schon frühe wachgerufen und zu vielerlei Vermutungen Anlaß gegeben, die oft mit größerer Bestimmtheit auftraten, als die geringe Zuverlässigkeit ihrer Grundlagen rechtfertigen konnte.

IX. Verteilung
der Hochfluten
nach Jahres-
reihen.

Anmerkung 15.
S. 78/81.

Wiewohl die Grundlagen meiner Mitteilung über die Aufeinanderfolge von je zwei hochwasserarmen und hochwasserreichen Doppeljahrzehnten zuverlässig sind, möchte ich doch keine Vermutung darüber aussprechen, ob hierbei eine langjährige Schwankung zum Ausdruck kommt. Die jüngsten Erfahrungen würden dies noch nicht widerlegen, da wir seit 1896 zwar in der Oder und Donau einige recht kräftige Sommerfluten, aber in den übrigen Strömen wenige Hochwassererscheinungen und fast durchweg nur sehr mäßige Winterfluten hatten. Indessen will ich nichts behaupten und den Teufel nicht an die Wand malen, sondern begnüge mich damit, eine Tatsache festzustellen. Sie erklärt, weshalb nach dem an Hochfluten armen Doppeljahrzehnt 1856/75 die in den siebziger bis neunziger Jahren eingetretene Häufung von Hochwassererscheinungen sehr bald Befürchtungen und Beschuldigungen schwerster Art hervorrief. Eine Steigerung der Hochwassergefahren und Ueberschwemmungsschäden ließ sich nicht verkennen. Längst aber war in Vergessenheit geraten, daß 1836/55 ebenso viele und teilweise noch schlimmere Hochfluten stattgefunden hatten, wie 1876/95 vorgekommen sind.

X. Eisverhältnisse.

Meine Herren! Die Zeit gestattet nicht, auf die für den Verlauf der Winterfluten oft so wichtigen Eisverhältnisse näher einzugehen. Namentlich bei den zu Beginn des Frühjahrs entstehenden Schmelzfluten handelt es sich nicht nur um die augenblickliche Wetterlage, die das letzte Abschmelzen des Schnees veranlaßt, sondern auch um das gesamte Verhalten des vorhergegangenen Winters. Für die Beurteilung der zu erwartenden Hochwasserstände muß man wissen, ob große Schneemassen aufgehäuft oder bereits durch vorzeitiges Tauwetter abgeschmolzen sind, ob der Frost tief in den Boden eingedrungen ist, ob die Eisdecke große Stärke erlangt hat, wo sie noch steht und wie ihr Abgang verlief, ob sich dabei Versetzungen gebildet haben, die für den endgültigen Eisgang gefährlich werden könnten. Denn sobald dieser Eisgang, dem die Flutwelle der Schmelzflut nachfolgt, zu stocken beginnt und eine vollständige Eisstopfung hervorruft, kann das Fortschreiten der Flutwellen zeitweise gehemmt und das Hochwasser zu verderblicher Höhe aufgestaut werden, bis dann schließlich die Stopfung dem wachsenden Drucke des Wassers nachgibt und der Eisgang seine Fortsetzung nimmt.

Anmerkung 16.
S. 81/91.

Durch den planmäßigen Ausbau des Mittelwasserbettes unserer Ströme sind die Eisgefahren erheblich vermindert worden. Die Schaffung eines einheitlichen Stromschlauchs von genügender Tiefe hat die Bildung einer festen Eisdecke, und die Entstehung von Versetzungen bedeutend erschwert den glatten Verlauf des Eisganges also erleichtert. Von den schlimmen „Eisfahrten“ der Weser, die nach den Berichten

aus älterer Zeit weit mehr gefürchtet wurden und mehr Schäden angerichtet haben als die eisfreien Hochfluten, lassen sich kaum noch schwache Spuren erkennen. Gleiches gilt mehr oder minder von den übrigen Strömen und größeren Flüssen Westdeutschlands. Bei den östlichen Strömen liegen die Verhältnisse besonders ungünstig, wenn der Einzug des Frühlings von Süden oder Südwesten her, also von den Quellen nach der Mündung hin ungewöhnlich rasch erfolgt, während die unteren Strecken der Ströme noch der Winterkälte ausgesetzt bleiben. Durch Eissprengungen und künstlichen Aufbruch mit Eisbrechdampfern versucht man daher rechtzeitig die feste Decke des Eises im Unterlaufe zu lösen und eine breite Rinne freizuhalten, die das Abschwimmen der von oben herabtreibenden Eismassen gestattet. Die besonders in der Elbe und Weichsel erfolgreiche Tätigkeit der Eisbrechdampfer hat sich aber erst ermöglichen lassen, nachdem das Mittelwasserbett genügend ausgebaut war.

Gestatten Sie mir zum Schlusse, meine Herren, noch einige wenige Worte über die Bekämpfung der übrigen Hochwassergefahren. Von jeher waren die Bewohner unserer Stromniederungen bestrebt, ihre Heimstätten und Fluren durch die Anlage von Deichen gegen Ueberschwemmungen und die Gewalt der Strömung zu schützen. Wir können auf die Frage, ob hierbei vielleicht des Guten zuviel geschah, nicht eingehen. Nur sei erwähnt, daß gerade die ehemals planlose Anlage der ohne Rücksichtnahme auf den Hochwasserabfluß hergestellten Eindeichungen öfters zu gefährlichen Aufstauungen der Flutwellen Anlaß gibt und die Hochwassergefahren auch für die Unterlieger vergrößert hat. Man ist deshalb bemüht, bei den arg bedrohten Stellen durch Aenderungen an den Deichverhältnissen Abhilfe zu schaffen, die größere Ausbreitung des zu hoch aufgestauten Hochwassers zu ermöglichen und eine weitere Einschränkung des noch verbliebenen Ueberschwemmungsgebiets zu verhüten. Im übrigen wird sich die Verbesserung des Hochwasserabflusses darauf beschränken müssen, den Verlauf der Flutwellen durch Beseitigung nachteiliger Abflußhindernisse auf den Vorländern der nun einmal vorhandenen Deiche, also durch Freilegung des Hochwasserbettes zu erleichtern. Gegen die Ueberschwemmung dieser Vorländer, die naturgemäß einen wichtigen Teil jenes Hochwasserbettes bilden, gibt es kein Hilfsmittel. Werden sie als Grasland benutzt, so bringen die Hochfluten ihnen oft mehr Vorteil als Nachteil, und die befruchtende Wirkung des schlickreichen Hochwassers mag kein verständiger Landwirt entbehren, wenn die Entwicklung des Graswuchses und seine Ernte durch die Ueberschwemmung nicht geschädigt wird. Bei Winterfluten geschieht dies nur, falls ihre Ausuferungen bis in das späte Frühjahr hinein andauern, viel häufiger bei Sommerfluten.

**XI. Bekämpfung
der Hochwasser-
gefahren.**
A. Ein-
deichungen.
Freilegung des
Hochwasser-
bettes.

B. Anlage von
Sammel-
becken.

Wäre es möglich, die gewaltigen Wassermassen einer Hochflut in Sammelbecken aufzuspeichern und ihren Abfluß künstlich zu regeln, was gerade in jüngster Zeit wiederum vielfach empfohlen worden ist, so würde doch eine Verbesserung der jetzigen Zustände des Hochwasserbettes nicht entbehrlich gemacht. Denn die winterlichen Hochfluten, die bei den östlichen Strömen vorwiegend aus dem Flachlande stammen, lassen sich mit den im Gebirge anzulegenden Sammelbecken nicht regeln, bedürfen aber dringend der Freilegung und Freihaltung des Hochwasserbettes, zumal sie gewöhnlich mit Eisgängen verbunden sind. Um die nachteiligen Ueberschwemmungen in der sommerlichen Jahreshälfte zu beseitigen, würde der größte Teil der Wassermassen einer Sommerflut zurückzuhalten sein, da im bordvollen Strome nur mäßig große Abflußmengen abgeführt werden können. Denkbar wäre eine gründliche Hilfe allenfalls bei Strömen, die im Sommer von großen Hochfluten verschont zu bleiben pflegen, z. B. bei der Weser, für welche die Anlage eines Sammelbeckens mit 170 Millionen cbm Fassungsvermögen an ihrem schlimmsten Hochwasserfluß (an der Eder) in Erwägung gezogen ist. Auch bei einigen Nebenflüssen unserer östlichen Stromgebiete (des Odergebiets in Schlesien und des Elbegebiets in Sachsen) will und wird man die Zurückhaltung des Schadenhochwassers ohne allzu großen Kostenaufwand erreichen, obgleich diese Flüsse ihre gefährlichen Hochfluten im Sommer abführen und die Verhältnisse weniger günstig liegen als im Weserstromgebiete.

Um eine Herrschaft über die sommerlichen Hochwassererscheinungen zu gewinnen bei einem bedeutenden Strome, der großen Sommerfluten unterworfen ist, z. B. bei der Oder, würde ein ausgedehntes Netz von zahlreichen Sammelbecken nötig sein, das unverhältnismäßig hohe Geldsummen kosten müßte. Wie die bisherigen Untersuchungen im Oderstromgebiete dargetan haben, kann man aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen die Becken meistens nicht dort anlegen, wo ihre Anlage mit

Anmerkung 17.
S. 91/100.

Rücksicht auf die Abflußverhältnisse erforderlich wäre. Welche Wassermassen dabei in Betracht kommen, wird gewöhnlich unterschätzt, obwohl man weiß, daß beispielsweise die Donauhochflut vom September 1899 fast 6,5 Milliarden cbm, also 6,5 Kubikkilometer Hochwasser bei Wien zum Abfluß brachte. Man möge ferner erwägen, daß der Oberrhein sehr große Hochfluten im Sommer und Winter zeigt, obgleich die Natur sein Zuflußgebiet mit einer Fülle großer Sammelbecken ausgestattet hat, die in einem einzigen Tage bis zu 415 Millionen cbm Wasser aufzuspeichern vermögen, der Bodensee allein bei der größten bekannten Ansteigerung seines Spiegels während 24 Stunden 183 Millionen cbm. Was ist hiergegen Menschenwerk!

Meine Herren! Auf eine Beherrschung der Hochwassererscheinungen in unseren großen Strömen durch Zurückhaltung des Hochwassers in Nähe seines Ursprungsortes müssen wir wohl verzichten. Verhindern können wir ihre Entstehung und Ausbildung nicht, wohl aber ihren Verlauf einigermaßen erleichtern und ihren Verheerungen mildernd entgegenwirken. Namentlich kann dies geschehen durch Verbesserung der Deichverhältnisse, wobei tunlichst für größere Ausbreitung des Hochwassers, Abflachung der Flutwelle und Verminderung ihrer Fortschrittsgeschwindigkeit zu sorgen ist, durch Erhaltung des noch vorhandenen Ueberschwemmungsgebiets und an gefährdeten Stellen durch Freilegung des Hochwasserbettes. Ferner wird die Weiterführung des Ausbaues der nichtschiffbaren Hochwasserflüsse, auch wenn sich eine Zurückhaltung des Schadenhochwassers nicht erreichen läßt, vorzunehmen sein nach den Grundsätzen, die sich bei unseren schiffbaren Strömen gut bewährt und einen Teil der Gefahren des Hochwassers, besonders die Eisgefahren schon erheblich abgeschwächt haben.



Erläuternde und begründende Anmerkungen.

1. Die Hochflut vom Juli 1903 in der Oder.

Nachfolgende Darstellung ist einem am 26. Oktober 1903 im Berliner Architektenverein gehaltenen Vortrage des Verfassers entnommen. Ein ausführlicher Auszug aus dem Vortrage, der sich auch auf die Maßnahmen zur Abwehr der Hochwassergefahren im Oderstromgebiete erstreckt hat, findet sich in der „Deutschen Bauzeitung“ (Jahrg. 1903, Nr. 90 und 91).

a) Niederschlagserscheinung vom Juli 1903.

Die ungewöhnliche Niederschlagserscheinung, die zur außerordentlichen Hochflut in der Oder vom Juli d. J. Anlaß gab, wurde durch starke Regengüsse in den Sudeten, Beskiden und ihrem Vorlande während des 4. bis 8. Juli eingeleitet. Fast überall war der Boden bereits mit Feuchtigkeit gesättigt und undurchlässig gemacht, als die Hauptmasse des Niederschlags die Gebirge und große Teile des Hügel- und Flachlandes am 9. und 10. bis zum 11. Juli vormittags zu überschütten begann. Die für diese beiden Tage entworfene Regenkarte zeigt zwei Niederschlagsherde mit mehr als 150 mm Regenhöhe. Der größere von beiden liegt auf den südlichen Sudeten in demjenigen Teile der Altvatergebirgsgruppe, der die Quellgebiete der Oppa, Hotzenplotz und rechtseitigen Zuflüsse der Glatzer Neisse von der Landecker bis zur Freivalder Biele umfaßt. Der kleinere Herd erstreckt sich am Kamme der Beskiden entlang über die Quellgebiete der rechtseitigen Zuflüsse der Quelloder bis zur Ostrawitz und Olsa. Weit umfangreicher ist die Zone mit mehr als 100 mm Regenhöhe, namentlich eine von den südlichen Sudeten ausgehende Zunge, die weit in das Flachland hinein über Malapane- und Stobergebiet hinweg bis zum oberen Warthegebiet vorspringt, auf dessen östlicher Wasserscheide zwei größere Regeninseln mit über 100 mm Niederschlag liegen. Einige kleine Regeninseln, z. B. im Quellgebiete der Weistritz und auf dem Riesengebirge, sind wegen ihrer geringen Ausdehnung ohne wesentliche Bedeutung, wogegen die im oberen Warthegebiet nicht ganz auf 100 mm gestiegenen Nieder-

schläge ein großes Hochwasser zu erzeugen vermochten, da sie einen ausgedehnten Teil dieser Gebietsfläche umfaßten.

Bei dem Niederschlagsherde mit mehr als 150 mm Regenhöhe auf den südlichen Sudeten haben die Niederschläge durchschnittlich größere Stärke erreicht und vorwiegend den 9. Juli betroffen, bei dem auf den Beskiden lagernden Herde hauptsächlich den 10. Juli bis zum 11. vormittags. Einzelne Meßstellen in den Gebieten der Oppa, Hotzenplotz und Glatzer Neisse zeigten in 48 Stunden Niederschlagshöhen über 200 bis zu 318 mm (in Neu-Rothwasser), hiervon allein am 9. Juli bis zu 240 mm. In den Beskiden sind innerhalb 48 Stunden stellenweise über 160 bis zu 264 mm (auf der Lysagora) gefallen, hiervon am 10. Juli bis zu 192 mm. Erwägt man, daß bei unverkürztem Abflusse des Regens der Niederschlagshöhe 86,4 mm eine sekundliche Abflußmenge von 1 cbm für das Quadratkilometer entsprechen würde, und bedenkt man ferner, daß alle Voraussetzungen zur Erleichterung und Beschleunigung des Abflusses in jenen Tagen vorhanden waren, so ist ohne weiteres einzusehen, daß die Bäche und Flüsse des am 9. und 10. Juli überregneten Gebirgslandes sofort in heftige Erregung geriethen und außerordentliche Wassermengen abführen mußten, in ungewöhnlichem Maße auch die Gewässer des Hügel- und Flachlandes. Viele Wasserläufe waren bereits vorher durch die vorbereitenden Regengüsse angefüllt oder doch im Steigen begriffen. Besonders die Beskidengewässer hatten durch starken vorbereitenden Regen schon am 7. Juli Hochwasser, das vom 10. zum 11. Juli plötzlich ins Uebermaß gesteigert wurde. In den Sudetengewässern begann der ungemein rasche Wuchs am 9. Juli und währte bis zum 10., worauf nach kurzem Fallen am 11. eine nochmalige Anschwellung folgte, später am 20./21. Juli abermals eine solche von minderer Bedeutung in den Wasserläufen des Glatzer Neisse- und Hotzenplotzgebiets. Daß die überaus hohen Wasserstände in der Oppa, Freiwaldauer Biele und von ihrer Mündung abwärts in der Glatzer Neisse zwei Tage hindurch vom 10. bis 12. Juli anhielten, hat bei der diesjährigen Hochflut dort äußerst große Verheerungen veranlaßt und ist eine bei GebirgsGewässern höchst seltene Erscheinung, da ihre Flutwellen sonst gewöhnlich sehr spitz geformt sind, schnell zu großer Scheitelhöhe ansteigen und sofort wieder rasch zu fallen beginnen.

b) Ausbildung und Verlauf der Flutwelle in der oberen Oder.

Die von den Niederschlägen des 9. Juli in der Oppa, der Hotzenplotz und den rechtseitigen Nebenflüssen der Glatzer Neisse erzeugten Flutwellen eilten auf drei verschiedenen Wegen der Oder zu, um sie an der Oppamündung oberhalb Hoschialkowitz, an der weit stromabwärts gelegenen Hotzenplotzmündung bei Krappitz und schließlich an der Neisse-

mündung oberhalb Brieg zu erreichen. Die Wege aus den benachbarten Quellgebieten der Hotzenplotz und der Freiwaldauer Biele, die als gefährlichster Hochwasserfluß des Neissegebiets übel berufen ist, bis Brieg haben annähernd gleiche Länge und sind erheblich kürzer als der Weg, den die im gleichfalls benachbarten Quellgebiete der Oppa zu derselben Zeit entstandene Flutwelle bis dorthin zurücklegen muß. Da die Oppawelle bis zur Oder und in ihr bis zu den Mündungen der Ostrawitz (bei Mährisch-Ostrau) und Olsa (bei Olsau) erheblich längere Zeit gebraucht als die Flutwellen dieser gefällreichen Beskidenflüsse, so pflegt der Oppawellenscheitel meistens erheblich später dort anzukommen als die Wellenscheitel der Ostrawitz und Olsa, falls die erregende Ursache (starker Niederschlag oder Schneeschmelze) gleichzeitig die Beskiden und südlichen Sudeten betrifft.

Diesmal hatte nun aber die am 9./10. Juli ausgebildete Flutwelle der Oppa einen Vorsprung von einem Tage vor der am 10./11. Juli zu großer Höhe anwachsenden Flutwelle der Beskidengewässer, so daß die aus den rechtseitigen Zuflüssen der obersten Quelloder stammenden Hochwassermassen sich mit denjenigen der Oppa vereinigten und bei Hoschialkowitz am 11. Juli nachmittags einen gemeinsamen Wellenscheitel erzeugten, kurz nachdem die Scheitel der Ostrawitz- und Olsawellen in die Oder übergegangen waren. So verschmolzen die Flutwellen der Quellflüsse zu einer einzigen mächtigen Hauptstromwelle, die bei Ratibor am 12. vormittags den höchsten bisher bekannten Wasserstand noch um 7 cm überstieg und am 13. nachmittags bei Krappitz eine Scheitelhöhe erreichte, die um 3 cm höher als bei der außerordentlichen Hochflut vom August 1854 war. Dorthin hatte aber die Hotzenplotzwelle ihren Scheitel bereits zwei Tage vorher gebracht und bis zum 11. vormittags ein sehr rasches Ansteigen verursacht. Da wenig später der Vorderhang der Hauptstromwelle herannahte, war das Fallen bei Krappitz gleich wieder in Beharrung und am 12. in schnelles Steigen übergegangen. Auch weiter stromabwärts bewirkte die aus der Hotzenplotz herrührende Welle ein ungemein schnelles Anwachsen, ohne einen selbständigen Scheitel zu erzeugen. An der Neissemündung trug sie jedoch erheblich dazu bei, die Scheitelhöhe der durch die Glatzer Neisse im Hauptstrom erregten Welle am 12. Juli größer werden zu lassen als bei dem am 14. nachmittags eintreffenden Gipfel der Welle aus der Quelloder.

Bei Brieg wäre wohl der von Neisse und Hotzenplotz herrührende erste Scheitel voraussichtlich am 12. Juli abends eingetroffen und durch eine kräftige Einsenkung von dem am 14. abends zu erwartenden, etwas niedrigeren zweiten Scheitel (aus der Quelloder) getrennt worden. Die am 12. entstandenen Deichbrüche bewirkten indessen durch seitliches Abströmen des Hochwassers in die Polder eine vorzeitige Unterbrechung

des Anstiegs, als dem ersten Scheitel noch mindestens $\frac{1}{2}$ m bis zur vollen Höhe fehlte. Durch das Zurückfließen der Wassermassen wurde sodann die sonst jedenfalls eingetretene Absenkung größtenteils ausgeglichen, und das Ansteigen des zweiten Scheitels blieb gering, weil abermals ein Teil des Hochwassers in die an den Deichlücken offenen Polder abströmte. Die oberhalb Brieg zweigipflige Flutwelle verwandelte sich daher in eine abgestumpfte Welle, deren Scheitel $3\frac{1}{2}$ Tage lang ohne erhebliche Schwankungen auf sehr hohen Wasserständen beharrte, bis zu 84 cm höher als im August 1854. Unterhalb Brieg fand die hiermit eingeleitete Verflachung der Flutwelle schnelle Fortsetzung infolge der umfangreichen Ausuferungen in das ohnehin oberhalb Breslau sehr große, durch Deichbrüche und Ueberflutung niedriger Deiche noch bedeutend vergrößerte Ueberschwemmungsgebiet.

An der in mehrere Arme gespaltenen Stromenge bei Breslau wurde die Flutwelle dann wieder zu größerer Höhe aufgestaut und begann erst weiter stromabwärts allmählich wieder zu verflachen. Während noch bei Ohlau und Kottwitz (oberhalb Breslau) der Höchststand am vorderen, zur Neissewelle gehörigen Teile des Scheitels lag, war er bei Breslau auf den hinteren, zur Quelloderwelle gehörigen Teil des Scheitels gerückt und behielt dann diese Lage bei. Bei flachen Flutwellen tritt nämlich eine solche Höhenabnahme am vorderen Teile des Scheitels und Verlegung des Höchststandes nach rückwärts häufig ein, wenn beim Fortschreiten der Flutwelle während des Anwachsens große Ausuferungen stattfinden, da das Rückfließen mit erheblicher Verzögerung erfolgt. Demgemäß hatte bei Breslau der dem ersten Wellengipfel entsprechende Teil des Scheitels an Höhe weit mehr eingebüßt als der dem zweiten Wellengipfel entsprechende Teil, dessen Scheitelhöhe daher nunmehr überwog. Somit übernahm bei Breslau die Quelloderwelle wiederum die Führung mit einem Höchststande, der wegen jener Verschiebung erst am 15./16. Juli nachts eintrat und um 7 cm niedriger als im August 1854 blieb.

Bis nach Breslau hin lagen die Verhältnisse also recht ungünstig. Wie bereits erwähnt, hatten sich mit einer bisher in solcher Höhe noch nicht bekannten Hochflut der Oppa die gleichfalls recht hohen, aber beispielsweise im Juni/Juli 1902 übertroffenen Flutwellen der Beskidensflüsse voll vereinigt. Eine ebensolche Vereinigung hatte stattgefunden zwischen den das seit 1829 bekannte Größtmaß übersteigenden Flutwellen der Hotzenplotz und Glatzer Neisse, deren gemeinsame Welle etwa zwei Tage vor der Quelloderwelle voran eilte, aber im Ueberschwemmungsgebiet oberhalb Breslau mit ihr derart verschmolzen wurde, daß sogar die Führung weiterhin an die zweite Welle überging. Die rechtseitigen Nebenflüsse der oberen Oder (Klodnitz, Malapane und Stober) trugen auch ihrerseits zur Verstärkung der Hochflut bei, ebenso die unweit

Breslau mündenden linkseitigen Nebenflüsse (Ohle, Lohe und Weistritz), hatten aber doch nur untergeordnete Bedeutung gegenüber der mächtigen Speisung aus den erstgenannten Beskiden- und Sudetenflüssen. Ohne die Brüche und Ueberflutungen vieler Deiche wären die Scheitelhöhen an den Engpässen beträchtlich höher ausgefallen, nach meiner Schätzung bei Oppeln um etwa 90, bei Brieg und Ohlau um 50 bis 60, bei Breslau um 30 bis 40 cm.

c) Verlauf der Flutwelle in der mittleren und unteren Oder.

Zwischen Weistritz- und Warthemündung ist die Flutwelle aus den nur mäßig angeschwollenen Nebenflüssen nicht verstärkt, sondern durch Ausuferungen in stets zunehmendem Maße abgeflacht worden, zumal auch an der mittleren Oder bis hinab zur Provinz Brandenburg viele kleinere Polder überflutet oder durch Deichbrüche unter Wasser gesetzt wurden. Da es jedoch der aufmerksamen Verteidigung gelungen war, die mit Verbandsdeichen geschützten großen Polder vor Deichbrüchen und Ueberflutung zu bewahren, so blieben die überschwemmten Flächen ganz bedeutend kleiner als im August 1854. Daher stiegen die diesmaligen Scheitelhöhen zwischen Weistritz- und Bartschmündung mehrfach höher als damals an. Zwischen den Mündungen der Bartsch und Warthe nahmen die Scheitelhöhen durch Auffüllung des nach unten hin breiter werdenden Strombettes und durch die verflachende Wirkung der Ausuferungen allmählich bedeutend ab. Obgleich auch in dieser Strecke die Deichanlagen jetzt einen weit größeren Aufstau ausüben müssen als 1854, wurden die damaligen Höchststände diesmal nur bei Neusalz erreicht. Hieraus ergibt sich, daß die in der oberen Oder wohl auf ein ähnliches Maß wie 1854 angewachsene Gesamtmasse der Flutwelle von Breslau ab kleiner als in jenem Jahre war. Aus den Nebenflüssen der mittleren Oder erhielt sie keine nennenswerte Speisung und verminderte sich andererseits durch Versickerung im Ueberschwemmungsgebiet und Verdunstung.

Eine erhebliche Zufuhr bekam dagegen die Gesamtmasse der Flutwelle bei Küstrin durch Hinzutritt der massigen, alle Sommerfluten des letzten Jahrhunderts übertreffenden Flutwelle der Warthe, die sich indessen so langsam fortpflanzte, daß ihr flacher Scheitel erst am 18. Juli die deutsche Grenze bei Pogorzelice überschritt und nach langer Verzögerung durch Auffüllung des Netze-Mündungsbeckens am 27. Landsberg erreichte. Die Oderwelle brachte ihren Scheitel am 18. Juli schon nach Glogau und am 21./22. nachts nach Frankfurt, ging also an der Warthemündung über 5 Tage früher vorüber, als der Scheitel aus dem Nebenstrom dort eintraf. Das Mündungsbecken der Warthe wurde daher teilweise durch Einströmen von Oderwasser, hauptsächlich aber durch Rückstau des Warthewassers schon am 22. zu seinem Höchststande an-

gefüllt und entleerte sich alsdann stetig, ohne daß der Scheitel der Warthe eine Unterbrechung des Absinkens der Wasserstände zu bewirken vermocht hätte. Die Einwirkung der Warthewelle bestand demnach darin, die verflachte Flutwelle der Oder noch länger zu dehnen, ohne ihre Scheitelhöhe erheblich zu steigern. Für die Wiesenniederungen des Oder-Mündungsbeckens ist aber die Verlängerung der Ueberschwemmungsdauer, diesmal bis in den Herbst hinein, nachteiliger als eine Steigerung der Scheitelhöhe.

d) Hochwassererscheinungen in den benachbarten Stromgebieten.

Aehnlich wie an der Warthe verursachte auch an der preußischen Weichsel die Hochwassererscheinung vom Juli d. J. keine Deichbrüche und keine Ueberschwemmung von Ortschaften, wohl aber bedeutende Ernteschäden, da der Höchststand bei Thorn nur 0,6 bis 0,7 m niedriger blieb als bei den höchsten Sommerfluten von 1844 und 1884, deren Höchststände freilich bei den größten Winterfluten bis zu 1,3 m überstiegen wurden. Die obere Weichsel war durch starke Regengüsse in den Beskiden bis zum Dunajec hin derart angeschwollen, daß die Scheitelhöhe bei Krakau alle in den letzten 70 Jahren dort beobachteten Wasserstände überschritt. Stromabwärts verflachte die Flutwelle nicht in solchem Maße, wie dies bei den meisten sommerlichen Hochfluten geschieht, da auch in dem zum Weichselgebiete gehörigen Teile des russisch-polnischen Hügel- und Flachlandes vielfach erhebliche Niederschläge gefallen waren, ebenso wie im russisch-polnischen Warthegebiet.

Von den beiden übrigen, an das obere Odergebiet angrenzenden Stromgebieten wurde das Stromgebiet der Elbe nicht berührt, dasjenige der Donau ziemlich kräftig betroffen durch Ausdehnung der verhängnisvollen Niederschlagserscheinung auf Mähren, das benachbarte Ungarn, Ober- und Niederösterreich. In starke Erregung geriet besonders die March, deren Quellgebiet neben jenen der Glatzer Neisse und Oppa liegt, während die von der anderen Seite der Mährischen Pforte hinzutretende Bezwa neben der Ostrawitzta entspringt. Aber auch auf dem Nordhange der östlichen Alpen gingen bedeutende Regengüsse nieder, die in allen Alpenflüssen von der Salzach bis zu den Gewässern des Wiener Waldes Hochfluten hervorriefen. Eine noch weit schlimmere Hochwassererscheinung betraf die Ostalpen kurze Zeit später, im September d. J.

e) Vergleich mit den außerordentlichen Hochfluten von 1813 und 1854.

Diese schnelle Aufeinanderfolge erinnert an eines der ärgsten Hochwasserjahre, das durch den Freiheitskrieg bekannte Jahr 1813. Der in Niederösterreich von gewaltigen Zerstörungen begleiteten Donauhochflut

vom 7./12. September war eine Hochwassererscheinung gegen Ende August vorangegangen, die im Weichsel- und Odergebiet besonders gefährlich auftrat. Auch im Juli und vorher bereits im Februar 1813 hatten solche, aber nur schwächere Erscheinungen, stattgefunden. Im Odergebiete wurden von der August-Hochflut die Flachlandflüsse weniger als im Jahre 1903 betroffen, dagegen die Beskidenflüsse wohl kräftiger und die Sudetenflüsse in größerem Umfange bis zum Bober, einigermaßen auch bis zur Lausitzer Neisse. Kriegsgeschichtlich ist diese Hochflut dadurch denkwürdig, daß sie in die Schlacht an der Katzbach eingriff und unweit Löwenberg am Bober zu einer nochmaligen Niederlage der Franzosen führte; auch bei der Belagerung von Danzig spielte sie in den ersten Tagen des Septembers eine Rolle. An der oberen Oder bis zur Mündung der Glatzer Neisse übertrafen die Scheitelhöhen der Hochflut vom August 1813 alle übrigen des 19. Jahrhunderts, z. B. bei Krappitz den diesmaligen Höchststand um 31 cm. An der mittleren und besonders an der unteren Oder wurden sie diesmal und noch mehr im August 1854 überschritten, da 1813 die Speisung aus dem rechtseitigen Flachlande fehlte.

Ebenso böß war das Hochwasserjahr 1854, das im Februar, März und Juli Hochfluten in der Elbe, Oder und Weichsel brachte, sodann gegen Ende August eine abermalige Hochwassererscheinung, die zwar das Elbegebiet gar nicht und beim Weichselgebiet nur die südwestliche Ecke berührte, im Odergebiet dagegen um so kräftiger auftrat. Die von allen Quellflüssen der Oder (Olsa, Ostrawitz, Quelloder und Oppa) gemeinsam hervorgerufene Flutwelle erhielt von sämtlichen Gebirgsflüssen bis zur Lausitzer Neisse Zufuhr, aber nicht in solchem Maße wie bei manchen anderen Hochfluten, bei denen nur einzelne Teile des Gebirges außerordentlich stark mit Niederschlägen überschüttet worden sind. Ganz ungewöhnlich große Beiträge lieferten jedoch im August 1854 die Klodnitz, Malapane, Weide, Bartsch und andere Flüsse des Hügel- und Flachlandes, da nach mehrwöchentlichem Regenwetter alle Bedingungen versagten, die sonst das Abflußverhältnis im Sommer bei Flachlandflüssen auf ein sehr geringes Maß herabmindern. Auch die Warthe hatte 1854 eine beträchtliche Anschwellung, die bisher als ihr größtes Sommerhochwasser galt, im Juli 1903 aber noch überflügelt worden ist.

f) Vergleich mit den weniger großen Sommerfluten.

Abgesehen von diesen beiden außerordentlichen Hochfluten der Oder (August 1813 und August 1854), sind keine sommerlichen Hochfluten im Strome aufgetreten, bei deren Speisung in ähnlicher Weise das ganze Stromgebiet oder doch das ganze Gebirgsland mehr oder weniger beteiligt gewesen wäre. Vielmehr liefert fast immer nur ein Teil des Gebirges ungewöhnlich große Wassermengen in den Hauptstrom, während

die Flachlandflüsse in der Regel zur Sommerszeit ohne erhebliche Einwirkung auf die Hochwassererscheinungen bleiben. Man kann daher drei Gruppen von Sommerfluten unterscheiden, je nachdem vorzugsweise die Beskiden, die südlichen Sudeten oder die nördlichen Sudeten außerordentliche Niederschläge erhalten. Beispielsweise gehören unter den Sommerfluten des letzten Jahrzehnts diejenigen vom Juli/August 1894 und Juni/Juli 1902 zur ersten Gruppe; sie wurden überwiegend aus den kleinen, aber höchst gefährlichen Beskidenflüssen Olsa und Ostrawitzta gespeist. Zur zweiten Gruppe zählt die Hochflut vom Juli/August 1891, die hauptsächlich aus den südlichen Sudetenflüssen bis zur Weistritz, namentlich aus der Glatzer Neisse stammte. Zur dritten Gruppe ist die Hochflut vom Juli-August 1897 zu rechnen, bei der die in den nördlichen Sudeten entspringenden Flüsse, besonders Bober und Queis, ungemein hoch angeschwollen, weit mehr als die übrigen Sudetengewässer. Die letztjährige Sommerflut nimmt schon deshalb eine hervorragende Stellung ein und erreicht ungefähr an Bedeutung die Hochfluten vom August 1813 und August 1854, weil sie gleichzeitig zwei Gruppen entspricht, da ihr Ursprung in den Beskiden und südlichen Sudeten lag.

2. Verflachung und Dehnung der Flutwelle.

Von der durch Ausuferungen bewirkten Verflachung der Flutwelle unterscheidet sich die von den seitlichen Zuflüssen hervorgebrachte Dehnung wesentlich. Die bei Verflachung entstehenden Aenderungen der Wellenform treffen hauptsächlich den Scheitel und Rücken, endigen aber mit dem Zurücktreten des Stromes in sein Bett, wogegen die bei Dehnung entstehenden Aenderungen sich über die ganze Länge und Höhe der Flutwelle erstrecken können. Denn bei der Dehnung durch das Hinzukommen von Hochwasser aus den Nebenflüssen findet eine erhebliche Vermehrung der in Bewegung befindlichen Wassermassen, also eine Zunahme der Gesamtmasse der Flutwelle statt. Eine Verflachung tritt jedoch ein, wenn die Nebenflüsse keine nennenswerten Beiträge liefern, die Gesamtmasse also sich nicht wesentlich vermehrt.

Wenn wir die Hochwassergrenze in Ausuferungshöhe annehmen, in welchem Falle die Länge der Flutwelle gleichbedeutend mit der Ueberschwemmungsdauer ist, so kann bei der Verflachung sogar eine Abnahme des über Ausuferungshöhe liegenden Teiles der Gesamtmasse erfolgen. Denn zur bordvollen Auffüllung in den unteren Strecken sind wegen des Anwachsens der Stromquerschnitte größere Wassermassen als in den oberen Strecken nötig. Ferner tritt eine Abnahme der Gesamtmasse durch Versickerung im Ueberschwemmungsgebiete ein, weil das bei Aufhöhung des Grundwasserstandes der Niederungen zunächst verloren gegangene Wasser erst nach dem Zurücktreten des Stromes in sein Bett allmählich wieder abfließt. Letztgenannte Ursache wirkt besonders im

Sommer nach langer Trockenheit recht kräftig und versagt im Winter, wenn der Niederungsboden mit Feuchtigkeit gesättigt und gefroren ist. Beispielsweise wird die Zurückhaltung von Hochwasser über dem gewöhnlichen Grundwasserspiegel in den mit alluvialen und diluvialen Geschieben bedeckten Erweiterungen des württembergischen Donautales auf 20 Millionen cbm für jede größere Hochflut angenommen und dies als wichtigster Grund für die flache Form der Flutwellen in der Donau oberhalb Ulm angesehen. Hier wie überall verstehen wir unter Sommer die Jahreshälfte vom 1. Mai bis 31. Oktober, unter Winter die Jahreshälfte vom 1. November bis 30. April.

Auf die Aenderungen der Höhe und Länge der Flutwelle haben die Querschnittsverhältnisse um so größeren Einfluß, je geringer die Hochwasserführung der Nebenflüsse ist. Die Ausbreitung des Hochwassers des Hauptstromes über große Talflächen senkt zunächst örtlich dessen Spiegel, wirkt aber außerdem (ähnlich wie ein großes Staubecken) ausgleichend auch auf den Abfluß in engeren Querschnitten unterhalb, so daß auch dort die Scheitelhöhe sich vermindert und die Flutwelle in ihrem ganzen Verlaufe eine flachere Form behält. Beispielsweise tritt bei der oberen Weser die Verflachung hauptsächlich durch die Ausuferungen in den breiten Talstrecken unweit Höxter und Rinteln, sowie beim Uebergange von der mittleren zur unteren Weser ein, wo außerdem das Hinzutreten der flach geformten, meist verspätet eintreffenden Flutwellen der Aller eine Dehnung bewirkt. Für die von den Wasserständen im Quellgebiet ausgehende Hochwasservoraussage ist daher eine sorgfältige Ermittlung der von den Querschnittsverhältnissen und vom Verhalten der Nebenflüsse abhängigen gleichwertigen Wasserstände an den Strompegeln besonders wichtig (Weserwerk, Bd. III S. 547). Auch als Hochwassergrenze müssen gleichwertige Wasserstände, die nahe bei der allgemeinen Ausuferungshöhe der Stromes liegen, zugrunde gelegt werden. Im einzelnen bedingen die zwischen je zwei Pegelstellen wechselnden Querschnitts- und Gefällverhältnisse bedeutende örtliche Verschiedenheiten, da in Strom- und Deichengen ein Aufstau, in breiten Niederungen und bei geringer Uferhöhe eine Senkung des Hochwasserstandes erfolgt.

Sowohl durch Verflachung, als auch durch Dehnung kann die Form der Flutwellen aus einer spitzen in eine flache verwandelt werden. Je höher und spitzer geformt die Flutwelle ist, um so mehr verflacht ihr Scheitel bei Ausuferungen. Ihre Dauer, an der Hochwassergrenze gemessen, vergrößert sich am meisten, wenn das Fallen des Wassers sich bis zu dieser Grenze rasch, unterhalb derselben aber anfangs sehr langsam vollzieht. War eine spitze Flutwelle durch seitliche Abströmung in einer Strecke mit breitem Ueberschwemmungsgebiet örtlich flacher geformt, so pflegt sie an unterhalb gelegenen Orten mit engen Hochwasser-

querschnitten wieder eine mehr oder weniger spitze Form anzunehmen. Diese Senkung und Hebung des Wellenseitels ist bei Sommerfluten weniger scharf ausgeprägt, weil die durch Abflußhindernisse (namentlich durch den Pflanzenwuchs, der eine bei Grasland niedrige, bei Getreidefeldern höhere, die Stromgeschwindigkeit vermindernde Schicht bildet) verursachte Stauwirkung um so mehr zur Geltung gelangt, je größer die außerhalb des Stromschlauchs abzuführende Wassermenge und je flacher der dafür dienende Abflußquerschnitt gestaltet ist. Aehnlich kann bei Winterfluten die Ablagerung von Packeis in einer schwach durchströmten Niederung wirken, und ein solcher Eisstau äußert sich gleichmäßiger, ohne schroffe Aenderungen der Wasserstände und auf längere Strecken hin, als eine örtlich meist beschränkte Eisversetzung im Stromschlauche dies zu tun pflegt. Weit gefährlicher als diese in breiteren Stellen des Ueberschwemmungsgebiets eintretenden Stauwirkungen sind öfters diejenigen der in Deichengen befindlichen Abflußhindernisse, namentlich unregelmäßige Bodenerhöhungen, Anpflanzungen dichten Gesträuches, Einfriedigungshecken usw., die eine glatte Abführung des Hochwassers und Eisganges erschweren oder die Ausbildung schädlicher Seitenströmungen erleichtern.

Als Beispiel für die gegenseitigen Beziehungen zwischen der Scheitelhöhe und der Länge von Flutwellen wählen wir die in dieser Beziehung am besten untersuchten Flutwellen der Weser innerhalb des Zeitraumes 1871/1900 (Weserwerk, Bd. III, S. 557). In diesem 30jährigen Zeitraum sind 27 Hochfluten vorgekommen, bei denen an allen Pegelstellen die Hochwassergrenze überschritten worden ist, hiervon 25 in der winterlichen und nur 2 in der sommerlichen Jahreshälfte. Nachfolgende Tabelle teilt für je die oberste Pegelstelle der oberen, mittleren und unteren Weser (Münden, Minden und Baden) die durchschnittliche Ueberschwemmungsdauer und die zugehörige Ueberschwemmungstiefe mit. Letztere ist der Unterschied zwischen den Wasserständen bei der Scheitelhöhe und bei der Hochwassergrenze. Entsprechende Angaben für die größte Hochflut des vorigen Jahrhunderts, die im Januar 1841 eingetreten ist, bilden den Schluß der Tabelle.

Pegel- stelle	Durchschnitt 1871/00 (Tage)			Durchschnitt 1871/00 (m)			Januar 1841	
	Ueberschwemmungs- dauer			Ueberschwemmungs- tiefe			Dauer (Tage)	Tiefe (m)
	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr		
Münden	4,1	3,0	4,0	1,24	1,08	1,23	4,4	3,90
Minden	6,0	4,5	5,9	1,05	0,82	1,00	6,6	2,77
Baden	7,4	4,0	7,1	0,50	0,36	0,49	7,0	0,96

Im ganzen findet eine Zunahme der Dauer und Abnahme der Tiefe der Ueberschwemmungen von oben nach unten statt. Die Verflachung und Dehnung bleibt jedoch in mäßigen Grenzen, weil die Weser in den unteren Strecken ziemlich hohe Ufer hat oder eingedeicht ist. Bei Baden würde sich das Hinzutreten der wasserreichen Aller mehr bemerkbar machen, wenn nicht unterhalb der Allermündung eine bedeutende Vergrößerung der Stromquerschnitte einträte (bei Mittelwasser von rund 200 auf rund 410 qm), so daß zur Auffüllung des bordvollen Bettes erhebliche Wassermengen erforderlich werden. Trotzdem hätte im Januar 1841 die Dauer und Tiefe der Ueberschwemmung bei Baden größere Beträge erreicht, wenn nicht durch Deichbrüche oberhalb etwa $\frac{1}{6}$ der Gesamtmasse des Hochwassers abgeflossen wäre, ohne die Weserstrecke bei Baden zu berühren. Daß die Sommerfluten kürzere Dauer haben und sich weniger dehnen als die Winterfluten, ist aus ihrer kleineren Höhe, der allmählichen Abnahme ihrer Anschwellung infolge von Versickerung und dem Mangel an seitlichem Zuflusse zu erklären.

Aehnlich wie bei der Weser verhält sich die Zunahme der Ueberschwemmungsdauer bei der Weichsel. Denn in den oberen und mittleren Strecken dieses Stromes beträgt die durchschnittliche Dauer etwa 4 Tage, dagegen in der preußischen Strecke bei Kurzebrack oberhalb der Stromteilung 9,4 Tage. Jedoch nimmt bei der Weichsel die Ueberschwemmungsdauer der Sommerfluten von oben nach unten noch weniger als bei der Weser zu, häufig sogar ab, wogegen sie bei den Winterfluten in höherem Maße wächst. Durchschnittlich beträgt sie an der Pegelstelle Kurzebrack für Sommerfluten 3,9 Tage, für Winterfluten aber 10,6 Tage. Erstere erhalten in der mittleren Weichsel geringeren Zufluß und verflachen durch Auffüllung des äußerst breiten Strombettes und durch Einströmung in die Mündungsbecken der großen Nebenflüsse. Die Winterfluten werden dagegen nach unten hin sehr kräftig gespeist und nehmen an ihrer Gesamtmasse weit mehr als bei der Weser zu. Ihre Scheitelhöhe und Ueberschwemmungstiefe wächst daher stromabwärts beträchtlich, besonders nach vorheriger Aufnahme des Narew nebst Bug in der fast ganz eingedeichten preußischen Strecke, während die Sommerfluten von oben nach unten verflachen. Beispielsweise betrug die Ueberschwemmungstiefe für die Winterflut vom März 1891 bei Krakau rund 0,5 m, bei Warschau rund 2,1 m und bei Kurzebrack rund 3,4 m, dagegen für die Sommerflut vom Juni 1894 bei Krakau rund 1,5 m, bei Warschau rund 1,2 m und bei Kurzebrack rund 1,1 m. Nur bei den höchsten Sommerfluten macht sich in der eingedeichten preußischen Weichsel eine Wiedezunahme der Scheitelhöhe und Ueberschwemmungstiefe bemerklich, z. B. für diejenige vom Juni 1884 eine Vergrößerung der Ueberschwemmungstiefe, die von rund 2,3 m bei Krakau auf rund 2,0 m bei Warschau abgenommen hatte, auf 2,8 m bei Kurzebrack.

Die Scheitelhöhe der Flutwelle wird über dem Anfangswasserstande gemessen. Die Wellenlänge bis zu dem wegen der Verzögerung des Abflusses (S. 99) meist höheren Endwasserstande ist die Anschwellungsdauer. In der Donau belief sich die Dauer der Anschwellung für die Hochflut vom Juli/August 1897 bei Wien auf 17 Tage, die Ueberschwemmungsdauer auf $9\frac{1}{2}$ Tage, die Scheitelhöhe im Engtale unterhalb Passau bei Engelhardtszell auf 5,45 m, dagegen in dem als Hochwasserspeicher wirkenden breiten Becken unterhalb Aschach auf 3,95 m. Für je eine Pegelstelle der oberen, mittleren und unteren Oder (Ratibor, Breslau-Pöpelwitz und Schwedt) stellen wir die einander entsprechenden Zahlenwerte der Scheitelhöhe, Anschwellungsdauer, Ueberschwemmungstiefe und Ueberschwemmungsdauer für die Hochfluten vom Juni/Juli 1902 und Juli 1903 in folgender Tabelle zusammen.

Pegel- stelle	Scheitel- höhe (m)		Anschwellungs- dauer (Tage)		Ueberschwem- mungstiefe (m)		Ueberschwem- mungsdauer (Tage)	
	1902	1903	1902	1903	1902	1903	1902	1903
Ratibor	6,0	5,4	19	18	3,5	3,6	9	7,5
Breslau-P.	5,0	5,8	23	23	2,0	3,8	9	13,5
Schwedt	1,5	1,7	37	58	1,1	1,7	28	58

Um verschiedene Ströme und Stromstrecken miteinander zu vergleichen, kann man sich der Schwankungszahlen HHW-MW bedienen, d. h. die Unterschiede zwischen dem höchsten bekannten Hochwasser und dem langjährigen Mittelwasser berechnen. Die so gefundenen Zahlen entsprechen annähernd den größten Scheitelhöhen, wechseln also an Größe beträchtlich für die einzelnen Pegelstellen eines Stromes, je nachdem die Pegelstelle in einer Verengung oder Erweiterung des Ueberschwemmungsgebiets liegt. Namentlich kommt aber dabei auch die von oben nach unten stattfindende Aenderung der Wellenform in Betracht. Am Memelstrome vermindern sich die Scheitelhöhen zwischen Schmalleningken und Ruß von 5,7 auf 3,3 m, am Pregel zwischen Insterburg und Königsberg von 4,7 auf 1,6 m, an der Oder zwischen Ratibor und Schwedt von 6,0 auf 2,4 m, an der Elbe zwischen Dresden und Wittenberge von 6,0 auf 4,4 m, an der Weser zwischen Münden und Baden von 7,5 auf 3,4, an der Ems zwischen Greven und Haren von 5,4 auf 2,8 m. Dagegen vergrößern sie sich an der Weichsel zwischen Dzikuw (oberhalb der Sanmündung) und Pieckel (an der Stromteilung) von 4,1 auf 7,1 m, am Rhein zwischen Waldshut und Ruhrort von 4,3 auf 6,6 m und an der bayrischen Donau zwischen Ulm und Passau von 4,1 auf 7,3 m.

Die durchschnittliche Ueberschwemmungsdauer läßt sich ermitteln, wenn die Zahl der Ueberschwemmungstage einer längeren Jahresreihe und die Zahl der an demselben Pegel ausgeferten Hochfluten innerhalb derselben Zeit bekannt ist. Hiernach ergibt sie sich für den Memelstrom bei Schmalleningken auf rund 16 Tage, für den Pregel (Angerapp) bei Insterburg auf rund 6 Tage, für die Ems bei Lingen auf rund 23 Tage. Sie nimmt zu in der Weichsel zwischen Jagodniki (in Mitte der oberen Weichsel) und Kurzebrack (oberhalb der Stromteilung) von rund 4 auf 9,4 Tage, in der Oder zwischen Ratibor und Schwedt von 4,2 auf rund 43 Tage, in der Elbe zwischen Torgau und Wittenberge von rund 5 auf 17,6 Tage, in der Weser zwischen Münden und Baden von 4,0 auf 7,1 Tage. Für den Rhein und die Donau fehlen ausreichende Unterlagen zur vergleichenden Betrachtung der einzelnen Strecken. Bei Köln ist die durchschnittliche Ueberschwemmungsdauer für den Rhein auf 6,2 Tage, oberhalb Ulm für die württembergische Donau auf 6,4 Tage ermittelt worden. An allen Strömen fallen die meisten Ueberschwemmungstage in die winterliche Jahreshälfte. Länger anhaltenden Ueberschwemmungen zur Sommerszeit sind namentlich die Niederungen an der oberen Weichsel und der Oder, einigermaßen auch diejenigen an der unteren Weichsel, der Elbe, dem Oberrhein und der Donau ausgesetzt, am häufigsten und längsten die Niederungen an der unteren Oder.

3. Abnahme der sekundlichen Größtmenge der Elbe durch Einströmung in das Havelbecken.

Nach dem Elbwerke (Bd. III Abtlg. 1 S. 329) betrug die größte sekundliche Abflußmenge bei Hämerten 4350, die kleinste 110 cbm. Etwas weniger genau ist für Lenzen die größte sekundliche Abflußmenge auf 3230 cbm bei 6,47 m a. P., die kleinste auf 125 cbm bei 0,05 m a. P. ermittelt worden. Für die einander gleichwertigen Wasserstände 1,93 m a. P. Hämerten, und 2,07 m a. P. Lenzen ergeben sich die sekundlichen Abflußmengen zu 535 cbm bei Hämerten und 600 cbm bei Lenzen. Der Unterschied von 65 cbm/sek entspricht annähernd der Wasserführung bei Mittelwasser der zwischen beiden Pegelstellen mündenden Havel. Auch die Unterschiede der kleinsten und größten Abflußmengen dürften auf Einwirkung der Havel und Einströmung des Elbehochwassers in das Mündungsbecken dieses Nebenflusses zu rechnen sein. Jedenfalls findet eine sehr bedeutende Abnahme der sekundlichen Größtmenge zwischen Hämerten und Lenzen statt, die nach obigen Zahlen 1120 cbm betragen würde. So hoch oder doch mindestens auf reichlich 1000 cbm/sek ist die Abnahme der größten Abflußmenge der Elbe durch die Einströmung in das ausgedehnte Havelbecken zu schätzen. Die Wassermassen der Elbe werden dort aufgespeichert, und gelangen allmählich

zum Abfluß, wodurch die Dauer des Abflusses vergrößert und die sekundliche Größtmenge verkleinert wird. Unmittelbare Messungen haben die Gesamtmasse des eingeströmten Wassers im September 1890 auf 155, im März/April 1895 auf 190 Millionen cbm ergeben. Während der letztgenannten Hochflut ist der oben erwähnte Höchststand 6,47 m a. P. Lenzen bei eisfreiem Wasser eingetreten. Wenn sich die Elbewelle ausnahmsweise spät und die Havelwelle verhältnismäßig früh entwickelt, wie z. B. im April 1855, kann die Vereinigung der durch Einströmung in das Mündungsbecken gelangten Wassermassen der Elbe mit dem Hochwasser der Havel in der unteren Elbe erheblich höhere Wasserstände erzeugen, wie vorher beim Vorübergange der Hauptstromwelle stattgefunden hatten. In solchen Ausnahmefällen geht also der für die untere Elbe bedeutende Vorteil des Rückstaubeckens verloren.

4. Aenderung der sekundlichen Größtmenge von den oberen nach den unteren Strecken. Abnahme der zugehörigen Abflußzahl.

Ogleich bei den meisten Strömen die größten Scheitelhöhen von den oberen nach den unteren Strecken abnehmen, findet doch in der Regel eine Zunahme der zu diesen Scheitelhöhen gehörigen sekundlichen Größtmengen statt, weil die Querschnitte des Hochwasserbettes stromabwärts mit der Abnahme des Gefälles allmählich zu wachsen pflegen. Daß eine solche Zunahme auch bei den Strömen stattfindet, deren größte Scheitelhöhen nach unten hin zunehmen, ist ohne weiteres zu erwarten. Wegen der Verflachung und Dehnung der Flutwellen erfolgt die Zunahme jedoch nicht in demselben Verhältnis, wie sich die Fläche des Niederschlagsgebiets vergrößert, sondern in weit geringerem Maße, da die Größtmengen der Flutwellen der Nebenflüsse sich nicht mit der Größtmenge der Hauptstromwelle vereinigen. Wenn letztere an der Mündung des Nebenflusses eintrifft, ist dessen Wasserstand gewöhnlich schon im Sinken begriffen. Je spitzer seine Flutwelle und je größer ihre Voreilung oder Verspätung ist, um so kleiner ist der Anteil seiner eigenen, an die Größtmenge des Hauptstromes abgegebenen Hochwassermenge.

Außerdem führen vielfach nicht alle Nebenflüsse gleichzeitig Hochwasser ab, namentlich bei Regenfluten, deren Ursachen (starke Niederschläge) sich meistens nur auf einen Teil des Niederschlagsgebiets erstrecken. Auch bei Schmelzfluten tritt die sie hervorrufende Schneeschmelze in den Gebieten der einzelnen Nebenflüsse verschieden stark auf, zumal die Schneedecke oft auf umfangreichen Flächen geringe Höhe hat oder schon vorzeitig weggetaut war oder in höheren Lagen länger verharret. Je größer und vielgestaltiger das Niederschlagsgebiet, je weiter verzweigt das Gewässernetz wird, um so weniger summieren sich

die Abflußmengen und um so kleiner wird die der sekundlichen Größtmenge entsprechende sekundliche Abflußzahl, d. h. das Verhältnis zwischen jener Größtmenge und der zugehörigen Gebietsfläche. Einige Zahlenangaben, die mit Rücksicht auf die Unsicherheit der Ermittlungen abgerundet sind, enthält folgende Tabelle.

Strom	Ort	Größtmenge cbm/sek	Gebietsfläche qkm	Abflußzahl l/qkm	Strom	Ort	Größtmenge cbm/sek	Gebietsfläche qkm	Abflußzahl l/qkm
Memel	Tilsit	6320	91 000	69	Fulda	Mündung	1950	7000	280
Pregel	Tapiau	1150	13 600	85	Weser	Karlshafen	2350	13 100	180
Weichsel	Krakau	2140	7900	270	"	Hoya	3000	22 300	134
"	Pieckel	10 440	193 000	54	"	Baden	4600	37 900	122
Oder	Ratibor	1600	6700	240	Ems	Meppen	760	8200	92
"	Breslau	2100	22 600	93	Rhein	Basel	6000	36 400	165
"	N.-Glietzen	3200	110 000	29	"	Mannheim	5400	68 100	79
Elbe	Melnik	4300	41 800	103	"	Mainz	7300	98 400	74
"	Dresden	4600	53 100	87	"	Emmerich	9000	159 500	56
"	Hämerten	4350	97 800	45	Main	Mündung	2500	27 200	92
"	Artlenburg	3600	135 000	27	Donau	Wien	10 500	101 600	103

Die größten Abflußzahlen haben hiernach die Quellgebiete der Weser, Weichsel und Oder, in denen die Gebirgsflüsse vorherrschen, wogegen in dem wenig größeren oberen Emsgebiet, das dem Flachlande angehört, die Abflußzahl bedeutend geringer ist. Ueberhaupt zeichnet sich das vorwiegend gebirgige und niederschlagsreiche Wesergebiet durch große Abflußzahlen aus, wenn man Gebietsflächen von annähernd gleicher Größe miteinander vergleicht. Sie übertreffen erheblich jene des Pregels und Mains, aber auch der Oder und Elbe, werden jedoch ihrerseits von derjenigen des Oberrheins bei Basel übertroffen (vgl. Anm. 17, S. 92). Auch bei dem hauptsächlich aus dem Mittelgebirge gespeisten Mittel- und Niederrhein sind die Abflußzahlen größer als bei der Elbe und Oder, in welchen beiden Strömen die sekundlichen Größtmengen nach unten hin durch Verflachung der Flutwellen wenig zu- oder abnehmen. Durch das rasche Abschmelzen der im langen Winter aufgespeicherten Schneemassen erhalten die Größtmengen bei den nordöstlichen Strömen, Weichsel und Memelstrom, ähnlich hohe Abflußzahlen wie beim Mittel- und Niederrhein. Die höchste Ziffer für Stromgebiete mit mehr als 90 000 qkm Flächeninhalt hat die Donau bei Wien, wo sich die Einwirkung des Hochgebirges in ähnlicher Weise wie beim Oberrhein geltend macht. Noch weit mehr gilt dies für die sekundlichen Abflußzahlen im Jahresdurchschnitt (S. 94, 95).

Zu der verhältnismäßig großen Höhe der sekundlichen Abflußzahlen im Unterlaufe unserer nordöstlichen Ströme trägt noch ein bisher nicht erwähnter Umstand bei. Der Memelstrom empfängt bei Kowno den Zufluß eines bedeutenden, seinem russischen Ober- und Mittellaufe (Njemen) wohl vergleichbaren Nebenstromes (Wilja), dessen Flutwellen

ziemlich gleichzeitig mit den aus dem oberen Njemen kommenden Wellen an der Wiljamündung eintreffen. Die Gestalt des Gewässernetzes, insbesondere seine Zusammensetzung aus zwei selbständig ausgebildeten Flußgebieten, deren Vereinigung erst am Beginne des Unterlaufs erfolgt, verursacht hier eine Ausnahme von der oben genannten Regel, wonach den Hauptstromwellen die Nebenflußwellen voranzueilen pflegen. Aehnlich verhält sich zur oberen und mittleren Weichsel der kurz vor seiner Mündung mit dem Bug vereinigte Narew. Zwar erreicht der Scheitel der massigen Winter-Flutwelle dieses, eine gewaltige Länderfläche entwässernden Nebenstromes seine Mündung gewöhnlich erst mehrere Tage, nachdem die rascher fortschreitende Hauptstromwelle dort ihren Höchststand angenommen hatte, steigert aber doch die Größtmenge zuweilen erheblich, weil bei der sehr flach geformten Narew-Bug-Flutwelle schon einige Zeit vor und nach Eintritt des Scheitels die sekundliche Abflußmenge nicht viel kleiner als zur Zeit der Scheitelhöhe ist.

Narew und Bug stehen nun aber zur Weichsel in einem ähnlichen Verhältnis wie Warthe und Netze zur Oder, Havel und Spree zur Elbe, Aller und Leine zur Weser. Infolge der nach Osten hin stattfindenden Verbreiterung des deutschen und polnischen Flachlandes hat sich der östliche Teil des Gewässernetzes der Hauptströme selbständig entwickelt. Ein mit dem Hauptstrom nahezu gleich gerichteter, süd-nördlich fließender Wasserlauf (Bug, Warthe, Spree, Leine) vereinigt sich mit einem in ost-westlicher Richtung fließenden Wasserlaufe (Narew, Netze, Havel, Aller), der die nordwärts vorgelagerte Bodenschwelle auf ihrem Südhange entwässert. Beide fangen somit die Abflußmengen des ganzen östlichen und nordöstlichen Flachlandes auf und führen sie gemeinsam dem Hauptstrom am Beginne seines unteren Laufes zu. Ihre langsamer fortschreitenden Flutwellen treffen meistens verspätet an der Mündung ein, vergrößern aber doch wegen ihrer flachen Form die Größtmenge der Hauptstromwelle bei Winterfluten. In der Tabelle kommt dies bei der unteren Oder weniger zum Ausdruck, weil bei den oberen Strecken die Größtmengen für Sommerfluten angegeben sind. In der unteren Elbe traten im April 1855 ungewöhnlich hohe Wasserstände ein, weil sich die Flutwelle der Havel mit den in ihr Mündungsbecken kurz zuvor eingeströmten Flutmassen der Elbe vereinigte (vgl. Anm. 3, S. 33). Daß in der unteren Weser die Aller den Scheitel der gemeinsamen Flutwelle ausbildet, wie z. B. im November 1901, ist eine seltene Ausnahme, obgleich zuweilen ihr Scheitel früher als derjenige der Hauptstromwelle an ihrer Mündung ankommt. Fast immer trifft er 1 bis 3 Tage, seltener 4 bis 6 Tage später ein; jedoch befindet sich die Allerwelle beim Eintreffen des spitzen Scheitels der Weserwelle in der Regel nicht weit unter ihrer Scheitelhöhe.

Da die Havelwelle stets zu spät kommt, wird das ausgedehnte Mündungsbecken vorher mit Elbwasser angefüllt und die Größtmenge

der Hauptstromwelle vermindert; das nachträgliche Höherwachsen der Wasserstände in der unteren Elbe im April 1855 ist ein vereinzelter Fall. Auch beim Narew und bei der Warthe wirken die Niederungen an ihren untersten Strecken als derartige Rückstaubecken bei Sommerfluten der Weichsel und Oder. Dagegen steigern diese Nebenströme bei Winterfluten immer die Größtmenge der Hauptstromwelle, zuweilen sehr wesentlich. Gleiches gilt von der Aller, die übrigens auch bei den wenigen Sommerfluten der Weser eine Steigerung der Größtmenge bewirkt hat. Daß die Wilja ebenfalls eine beträchtliche Zunahme der Größtmenge im Memelstrome hervorruft, wurde oben bereits erwähnt. Abgesehen von der Havel, verursacht also die den genannten Strömen eigentümliche Gestalt des Gewässernetzes eine sprungweise Zunahme der Größtmenge am Ende des Mittellaufs. Daß dies bei der Havel nicht geschieht, beruht teilweise auf der geringeren Bedeutung der Havel im Gegensatze zur Elbe, während bei den anderen Strömen der Nebenstrom mehr gleichwertig mit dem Hauptstrome ist. Folgender Vergleich der Gebietsflächen weist dies einigermaßen nach.

Hauptstrom	Nebenstrom	Gebietsfläche beim Zusammenfluß			Verhältnis 4:3 %
		Hauptstrom qkm	Nebenstrom qkm	Zusammen qkm	
1	2	3	4	5	6
Njemen	Wilja	46 571	23 810	70 381	51
Weichsel	Narew	85 233	73 281	158 514	86
Oder	Warthe	54 088	53 710	107 798	99
Elbe	Havel	97 846	24 351	134 985	25
Weser	Aller	22 311	15 593	37 904	70

5. Fortschrittsgeschwindigkeit des Scheitels der Flutwellen.

Die im Weserwerke (Bd. III S. 615) mitgeteilte Untersuchung über den zeitlichen Verlauf der Flutwellen in der Weser beruht auf bildlichen Darstellungen der Beziehungen zwischen den Scheitelständen am oberen Pegel (als Höhen) und den Durchgangszeiten, in denen die Wellenscheitel eine bestimmte Strecke bis zum unteren Pegel durchlaufen haben (als Breiten). Nachdem die Durchgangsdauerlinien für die einzelnen Strecken dargestellt waren, konnte man leicht die Gesamtzeiten bestimmen, die eine Welle von gewisser Höhe am obersten Pegel bei Münden braucht, um zu den anderen Pegeln zu gelangen, indem man dabei für jede Einzelstrecke denjenigen Wasserstand in Rechnung stellte, der dem des obersten Pegels gleichwertig ist. Die in einer handlichen Tabelle enthaltenen Zahlenwerte bilden eine notwendige Ergänzung zu den als Grundlage der Hochwasservorausage dienenden Tabellen der gleichwertigen Wasserstände. Ihre

bildliche Darstellung besteht aus einer Reihe von Durchgangsdauerlinien für die einzelnen Pegel, sämtlich auf den Mündener Pegel bezogen, die einen raschen Ueberblick über die Veränderungen gewähren, denen die Fortschrittsgeschwindigkeit je nach Scheitelhöhe der Flutwelle bei Münden in den verschiedenen Strecken des Stromes unterworfen ist (S. 4). Weniger einfach und übersichtlich ist das für die Hochwasservoraussage am Rhein gewählte Verfahren zur Berechnung der Zeitfolge gleichwertiger Rheinwasserstände, bezogen auf den obersten Pegel bei Waldshut (Heft III der „Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet“). Für die übrigen Ströme liegen derartige zusammenfassende Darstellungen noch nicht vor, wohl aber zahlreiche Einzelangaben, namentlich für die Oder und Elbe.

Für den Memelstrom gelten folgende Durchschnittszahlen, ausgedrückt durch Kilometer in der Stunde: Stolpcy-Grodno (308 km) 2,1 km/std, Grodno-Kowno (295 km) 6,1 km/std, Kowno-Schmalleningken (97 km) 2,0 km/std, Schmalleningken-Sellen (77 km) 2,4 km/std. Die Fortschrittsgeschwindigkeit, die wegen der Eisverhältnisse nur ungenau bestimmbar ist, hat demnach in den gefällarmen Strecken mit ausgedehnten Ueberschwemmungsgebieten durchweg geringe Werte, wächst aber zu einem sehr hohen Betrag im tief eingeschnittenen, gefällreicheren Engtale zwischen Grodno und Kowno. Den kleinen Wert 1,7 km/std hat sie in der 72 km langen Strecke des Pregels von Insterburg bis Tapiau, wo jedes namhafte Hochwasser weithin ausuferet. Auf die Verhältnisse im Oberlaufe der Weichsel kommen wir später zurück; in der russischen Strecke beträgt die Fortschrittsgeschwindigkeit von der Sanmündung bis Warschau (232 km) 3 bis 5 km/std, von Warschau bis Thorn (212 km) 3 bis 4,5 km/std, in der größtenteils eingedeichten preußischen Strecke von Thorn bis Dirschau (174 km) bei einem größeren, durch Eisverhältnisse nicht beeinflussten Hochwasser 5,4 km/std. Bei der Oder beträgt die durchschnittliche Fortschrittsgeschwindigkeit von Ratibor bis Schwedt 2,5 km/std, bei der Warthe nur 1,6 km/std wegen ihres schwächeren Gefälles und der stellenweise sehr bedeutenden Breite des durch Deiche nur in den unteren Strecken eingeschränkten Ueberschwemmungsgebiets, zu dem öfters das durch Rückstau aufgefüllte Mündungsbecken der Netze gerechnet werden muß. In der Oder selbst schreiten kleinere Anschwellungen mit Scheitelhöhen von etwa 3,5 m a. P. Brieg erheblich schneller fort (2,9 km/std) als größere Hochfluten von rund 5,5 a. P. Brieg, deren Scheitel bloß 2,1 km/std im Durchschnitt zurücklegt. Für die einzelnen Strecken schwanken die Werte zwischen höchsten 3,6 und mindestens 1,4 km/std, wobei weniger die Gefällverhältnisse als die Querschnittsverhältnisse von Bedeutung sind, da die Wellengeschwindigkeit am größten in den enger eingedeichten

Strecken, am kleinsten in solchen mit niedrigen Ufern und breiten Ueberschwemmungsflächen ausfällt.

Für die Elbe hat sich aus den Beobachtungen in Böhmen ergeben, daß die Fortschrittsgeschwindigkeit der Flutwellen bei kleineren Anschwellungen bis Uferbordhöhe am größten ist, bei großen Hochfluten mit bedeutenden Ausuferungen aber wieder abnimmt. Dagegen wächst sie in Sachsen mit der Höhe des Hochwassers, weil hier das Ueberschwemmungsgebiet überall durch hochwasserfreie Ufer oder Deiche eng begrenzt ist. (Elbewerk, Bd. I S. 287.) In der preußischen Elbe haben die im Stromschlauche verlaufenden Wellen eine größere Geschwindigkeit als diejenigen, bei denen die Ausuferungshöhe nicht beträchtlich überschritten wird, während die Geschwindigkeit für sehr große Wellen wieder zunimmt. Sobald das Wasser die Uferhöhe übersteigt und das Vorland bis zum Deichfuße überflutet, erfährt der benetzte Umfang im Vergleich zum Stromschlauch eine wesentliche Vergrößerung, womit der Widerstand wächst und die auf den Fortschritt des Wellenscheitels einwirkende Wassergeschwindigkeit sich verringert. Steigt nun das Wasser so hoch, daß die Deiche das Bett begrenzen, so bleibt der benetzte Umfang nahezu unverändert und mit der zunehmenden Tiefe wächst das hydraulische Vermögen des Querschnitts. Außerdem folgt bei hohen Ueberflutungen der Stromstrich nicht mehr ausschließlich dem Stromschlauche, sondern bei scharfen Windungen dem Talgefälle, wodurch der Weg verkürzt und die Wassergeschwindigkeit etwas vergrößert wird. Beispielsweise beträgt die mittlere Geschwindigkeit des Wellenscheitels für die Strecke Barby-Tangermünde bei Anschwellungen innerhalb der Ufer 3,2, bei ausuferndem Hochwasser 1,9 und beim höchsten Hochwasser 2,8 km/std. Durchschnittlich verlaufen die Flutwellen mit folgenden Fortschrittsgeschwindigkeiten: in der Strecke Melnik-Dresden mit 7,9 bis 8,3, Dresden-Strehla mit 5,7, Torgau-Havelort mit 2,3 bis 2,2, Wittenberge-Hitzacker mit 1,1 (Rückstau in die Havelmündung), Hitzacker-Hoopte mit 1,4 km/std. Unregelmäßigkeiten im einzelnen entstehen durch die Einwirkung der Nebenflüsse, durch die verschiedenartige Wellenform, bis zu gewissem Grade auch durch den Wind, der örtliche Hebungen und Senkungen an den Pegelstellen herbeiführen kann, die den Eintritt des Höchststandes beschleunigen oder verzögern.

Für die Weser ist nachgewiesen, daß die Fortschrittsgeschwindigkeit der Flutwellen, wie bei allen Wellen, mit zunehmender Wassertiefe sich vergrößert, wobei in Querschnitten von ungleichmäßiger Sohlenhöhe nicht etwa die Tiefe der eigentlichen Stromrinne, sondern viel eher die mittlere Tiefe des ganzen Querschnitts als maßgebend für diese Geschwindigkeit anzunehmen ist. Bei Ermittlung der Durchgangsdauerlinien hat sich gezeigt, daß spitz geformte Flutwellen durchschnittlich schneller fortschreiten, als solche mit flachem Scheitel. Die durch Aus-

uferungen und durch Auffüllung des stromabwärts breiter werdenden Strombettes eintretende Verflachung der Form des Wellengipfels macht sich besonders stark am Uebergange vom Vorderhang zum Scheitel bemerklich. Je flacher nun der Wellengipfel hinter dem Scheitelpunkte von Anfang schon geformt war, um so mehr wird durch die Höhenabnahme seines vorderen Teiles der Scheitel nach rückwärts verlegt und hierdurch die zum Durchlaufen einer bestimmten Strecke erforderliche Zeit vergrößert, also die Fortschrittsgeschwindigkeit verkleinert. Die Einwirkung der flachen Scheitelform kann bei der Hochwasservoraussage, ebenso wie diejenige der Nebenflüsse, nur von Fall zu Fall schätzungsweise berücksichtigt werden durch entsprechende Aenderung der Ergebnisse, die man aus den für spitzere Wellen gültigen Durchgangsdauerlinien gewinnt. Das Verhältnis zwischen den kleinsten und größten Werten der von der Scheitelhöhe abhängigen Geschwindigkeiten wechselt von 1:1,5 im Engtale Münden-Karlshafen bis 1:3,4 in der breiten Talstrecke Hameln-Vlotho. Die überhaupt größten Geschwindigkeiten werden im engen und tiefen Stromschlauche der Strecke Münden-Karlshafen und in der größtenteils künstlich gestauten Strecke Grohnde-Hameln mit 9,2 bis 9,4 km/std erreicht, die überhaupt kleinsten Geschwindigkeiten bei ausufernden Hochfluten im ausgedehnten Ueberschwemmungsgebiete der Strecke Ritzenbergen-Dreye (Rückstau in die Niederungen der Aller, Emte und Eyter) mit 1,1 bis 1,5 km/std. Für die ganze obere Weser bis Minden (203 km) schwankt die Geschwindigkeit zwischen 8,1 und 4,1, für die ganze mittlere und untere Weser bis Dreye (153 km) zwischen 4,4 und 1,9, für den gesamten Stromlauf von Münden bis Dreye (356 km) zwischen 5,7 und 2,8 km/std. In der benachbarten Ems, die ein gefällarmer Flachlandfluß mit breitem Ueberschwemmungsgebiet ist, legen die Flutwellen von Greven bis Papenburg (204 km), wenn man die Stromlänge als maßgebend annimmt, 1,7 km/std. zurück, dagegen bei Bezugnahme auf die Tallänge 1,3 km/std.

Beim Rhein verlaufen kleine Anschwellungen von Waldshut bis Kaub (440 km) mit 9,2, größere Hochfluten über Ausuferungshöhe mit 3,4 km/std. Die Flutwelle des Hochwassers vom September 1889, die in diesem oberen Teile 3,8 km/std Fortschrittsgeschwindigkeit hatte, schritt zwischen Kaub und Emmerich (303 km) mit 7,2, im ganzen Stromlaufe (743 km) mit 4,8 km/std vorwärts, dagegen die am Oberrhein zu großen Ueberschwemmungen führende, nach unten hin bedeutend verflachte Hochflut vom Juni 1876 erheblich langsamer, nämlich mit 3,2 km/std. Im Neckar, dessen Ufer meist über dem gewöhnlichen Hochwasserspiegel liegen und nur an wenigen Stellen beträchtliche Ausuferungen zulassen, beträgt die Fortschrittsgeschwindigkeit bei großen Hochfluten 5,1 bis 5,8, bei kleineren Anschwellungen 9 bis 9,5 km/std. Am anderen Hauptflusse Württembergs, an der Donau, verursachen

die in den Talerweiterungen auch nach Anlage der Schutzdämme noch öfters eintretenden Ueberschwemmungen eine Verminderung der Wellengeschwindigkeit auf durchschnittlich 4,3 km/std. In der bayrischen Strecke geraten mehrfach große Flächen bei bedeutenden Hochfluten unter Wasser, in der österreichischen Strecke bis Wien nur die Niederungen unterhalb Aschach, unterhalb Linz, bei Melk und das Tullnerfeld, weiter stromabwärts in Ungarn sehr ausgedehnte Ueberschwemmungsgebiete. Diesen Verhältnissen entsprechen für einige neuere Hochwassererscheinungen die mittleren Geschwindigkeiten 3,4 km/std in der Strecke Ulm-Passau (360 km), 4,8 km/std in der Strecke Passau-Wien (297 km), wogegen in der ungarischen Tiefebene die größeren Flutwellen der Donau nur mit 0,6 bis 0,7 km/std fortschreiten. Dabei steigert sich die Geschwindigkeit in den Talengen auf das Doppelte oder Dreifache und ermäßigt sich in den Talerweiterungen. Beispielsweise hat sie bei der Hochflut vom Juli/August 1897 in der Strecke Passau-Aschach 8,1 bis 12,8, dagegen in der Strecke Aschach-Linz nur 3,0 km/std betragen.

Daß die Sommerfluten unter sonst gleichen Verhältnissen langsamer fortschreiten als die Winterfluten, ist an mehreren Strömen beobachtet worden und teilweise der Stauwirkung des Pflanzenwuchses, andernteils der Versickerung des ausgeferten Wassers zuzuschreiben. Bei der Hochflut vom Juni/Juli 1871 in der Weser ist z. B. aus diesen beiden Ursachen eine Verzögerung von 3,0, wie zu erwarten war, auf 2,6 km/std zwischen Münden und Dreye eingetreten. Nicht ganz so groß war sie bei der Hochflut vom Anfang Mai 1898, in welcher frühen Jahreszeit der Pflanzenwuchs noch keine erhebliche Stauwirkung ausgeübt haben kann, wogegen die Versickerung im Ueberschwemmungsgebiet nach einem schneearmen milden Winter sicherlich größer war als bei den Hochfluten der Wintermonate. Nur wenn die Eisverhältnisse eine wesentliche Rolle spielen, wird beim winterlichen Hochwasser die Fortschrittsgeschwindigkeit der Flutwellen zuweilen örtlich abgeschwächt. Andere Unregelmäßigkeiten entstehen durch Deichbrüche.

Die bisherigen Mitteilungen legen dar, daß die meist zwischen etwa 2 und 5 km/std (oder 0,6 bis 1,4 m/sek) schwankenden Fortschrittsgeschwindigkeiten des Scheitels der Flutwellen meistens, und zwar oft sehr bedeutend, geringer sind als die Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser im Strombette beim Eintritt des Scheitels fortbewegt. In weit höherem Maße als durch die bereits genannten Ursachen wird die Wellengeschwindigkeit durch Einwirkungen der Nebenflüsse abgeändert. Kommt die Hauptmasse der Nebenflußwelle später in den Hauptstrom, als dessen Wellenscheitel an der Nebenflußmündung eintrifft, so kann eine Verzögerung durch Einströmung in das Rückstaubecken

entstehen und manchmal die Führung auf die Welle des Nebenflusses übergehen. Weit häufiger erfolgt durch das Voreilen einer solchen Welle eine sprungweise Vorschiebung des Scheitels der Hauptstromwelle, also eine scheinbare Beschleunigung. Namentlich wenn die größte Abflußmenge des Nebenflusses ebenso groß oder größer ist als diejenige der oberhalb liegenden Strecke des Hauptstromes, treten derartige Aenderungen ein. Sie bewirken zuweilen, daß von einer Fortschrittsgeschwindigkeit der Flutwelle nicht die Rede sein kann, weil der Höchststand in einer unteren Strecke des Stromes zu derselben Zeit oder sogar früher eintritt als in der oberen Strecke.

Wie im Weichselwerke (Bd. I S. 297) näher nachgewiesen ist, erzeugen in der oberen Weichsel die wasserreichen Karpathenflüsse immer wieder neue Flutwellen, deren Scheitel teilweise höher sind als derjenige, der aus dem Quellgebiete hinabgetragen wird. Lange bevor dieser bis zur Przemszamündung gelangt ist, haben die Sola und Skawa ihre Wellen in die Weichsel gebracht. Vor ihnen gewinnt die weit unterhalb mündende Raba einen bedeutenden Vorsprung, beherrscht aber nur bis zur Mündung des Dunajec den Anstieg des Wassers im Hauptstrome. Ungefähr zu derselben Zeit, in der ihn die Wellenscheitel der genannten Flüsse erreichen, empfängt der Hauptstrom aus dem Dunajec eine mächtige Flutwelle, mit der sich eine solche aus der Wisloka verbindet. Oberhalb der Sanmündung erreicht infolge dieser Vorgänge, die sich in 2 bis höchstens 4 Tagen abspielen, die Weichsel ihren Höchststand annähernd gleichzeitig wie bei Krakau. Man sieht, welche erhebliche Einwirkung die Gestalt des Gewässernetzes auf die Ausbildung der Flutwellen hat.

Ebenso trifft im Rhein meistens die erste Neckarwelle bei Mannheim früher ein als die Welle des Oberrheins. Mit seltenen Ausnahmen hängt dann das Entstehen eines außergewöhnlichen Hochwasserstandes von da bis zur Mainmündung nach Zeit und Maß vom Neckar ab, und die Scheitelhöhe entwickelt sich hier früher als im Rhein oberhalb Mannheim. Auch die durch Main, Lahn und Mosel erzeugten Flutwellen eilen der oberrheinischen, stromabwärts bedeutend verflachten Welle voran, die ihrerseits auf die Höchststände ohne Einfluß ist und nur eine Verlängerung des Hinterhanges der Anschwellung bewirkt. Unterhalb der Moselmündung, sehr oft schon von Mainz ab tritt die Flutwelle im Mittelrhein bereits auf, während sich gleichzeitig eine solche im Oberrhein noch weit oberhalb Straßburg bewegt. Letztere ist gewöhnlich noch nicht über Maxau herabgerückt, wenn die Hochflut im Mittel- und Niederrhein ihren Höhepunkt schon überschritten hat. Die Fortschrittsgeschwindigkeit des Scheitels der aus den Mittelgebirgsflüssen stammenden Rheinwelle hat bei einigen neueren Hochfluten durchschnittlich betragen: auf der Strecke Koblenz-Köln 8,6, Köln-Ruhrort 6,5 und Ruhrort-

Emmerich 3,3 km/std. Zur Verlangsamung in der untersten Strecke trägt wesentlich bei, daß bei höheren Wasserständen durch Anfüllung des Ueberschwemmungsgebiets der Sommerpolder, die beim Höchststande rund 200 Millionen cbm Wasser aufnehmen, eine zeitweilige Entlastung des Stromes stattfindet (Rheinwerk, S. 216/219.)

6. Jahreszeitliche Verteilung der Hochfluten in der Weichsel.

Die auf S. 5 mitgeteilten Zahlen sind nach dem Weichselwerke berechnet, und zwar für die obere und mittlere Weichsel nach Bd. III S. 480, für die untere Weichsel nach Bd. IV S. 227. Die an letztgenannter Stelle abgedruckte Tabelle führt die im 19. Jahrhundert seit 1811 in der unteren Weichsel aufgetretenen größten Hochfluten auf, die etwa gleichwertig mit den an erstgenannter Stelle als solche erster Ordnung bezeichneten Hochfluten im Zeitraum 1831/96 sind. In denselben Zeitraum fallen von den 28 größten Hochfluten der unteren Weichsel 23, fast ebensoviel wie bei der oberen und mittleren Weichsel (24). Erstere sind fast sämtlich schon in den oberen Strecken wahrnehmbar gewesen, wenn auch meistens nicht als Hochfluten erster Ordnung, letztere fast sämtlich in der unteren Weichsel noch wahrnehmbar, wiewohl erheblich verflacht. Die Monate November/Januar bleiben von solchen großen Hochfluten verschont. Auf die übrigen Monate verteilen sie sich, wie folgende Zusammenstellung in Prozentzahlen zeigt.

Stromteil	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	Oktober	Winter	Sommer
Oberlauf	8	25	8	6	15	17	17	2	2	41	59
Unterlauf	14	54	21,5	—	3,5	—	3,5	3,5	—	89,5	10,5

Auf den März fallen also auch im Oberlaufe die meisten Hochfluten, aber doch nicht halb so viel wie im Unterlaufe. Ihm zunächst kommen in der unteren Weichsel seine beiden Nachbarmonate, während die Sommermonate Juni/September selten von großen Hochfluten betroffen werden, Mai und Oktober überhaupt nicht. In der oberen und mittleren Weichsel sind die Hochfluten des Februar und April nur halb so zahlreich wie diejenigen des Juni, Juli und August, aber zahlreicher als im Mai und September/Oktober. Bis zur Mündung des Narew überwiegen die großen sommerlichen Hochwassererscheinungen, die am häufigsten in den drei regenreichsten Monaten entstehen. Unterhalb der Mündung dieses mächtigen Flachlandstroms gewinnen die Schmelzfluten weitaus das Uebergewicht; im März/April verlaufen daher $\frac{3}{4}$ aller großen Hochfluten.

Je niedriger man die Grenze der mit einander verglichenen Hochwassererscheinungen setzt, um so weniger schroff unterscheiden sich die Jahreszeiten. Berücksichtigt man im Oberlauf alle Hochfluten erster bis dritter Ordnung und im Unterlaufe alle gleichwertigen Hochfluten

(5,5 m a. P. Kurzebrack entspricht ungefähr der unteren Grenze für Hochwasser dritter Ordnung), so fallen beim Oberlaufe 51 % in den Winter, 49 % in den Sommer, dagegen beim Unterlaufe (Bd. I S. 295) 88 % in den Winter, 12 % in den Sommer. Wird die Grenze noch tiefer gelegt, z. B. auf 4 m a. P. Kurzebrack, so nimmt die Prozentzahl der winterlichen Hochfluten auf 79 % ab, diejenige der Sommerfluten auf 21 % zu. Und genau dasselbe ergibt sich, wenn die Hochfluten der Jahresreihe 1871/95 betrachtet werden, die von Thorn bis Dirschau überall Ausuferungen verursacht, bei Kurzebrack aber 4,0 m a. P. überschritten haben (Tabellenband S. 171/181). Setzt man für letztere Betrachtung die Grenze auf 3,3 m a. P. Kurzebrack, dem Beginne der Ausuferungen entsprechend, so findet eine noch etwas weiter gehende Annäherung statt, da alsdann 75 % auf den Winter, 25 % auf den Sommer fallen.

Einigermaßen zeigt sich dieselbe Erscheinung auch bei den übrigen Strömen. Beispielsweise haben in der Weser im Zeitraum 1871/1900 nur zwei Sommerfluten am ganzen Stromlauf die Hochwassergrenze überstiegen, während zwei andere zwar in der obersten Strecke darüber hinaus gegangen sind, aber so niedrig waren, daß sie bei knappen Zuflüssen bald unter der Hochwassergrenze verschwanden. Daß jedoch neben den wenigen eigentlichen Hochfluten im Sommerhalbjahre kleinere, meist unter Bordhöhe bleibende Anschwellungen keineswegs selten sind, ist aus den mittleren Hochwasserständen des Sommers zu ersehen, die an den Weserpegeln durchschnittlich rund 1,7 m über dem entsprechenden Mittelwasser liegen. Nur in der oberen Weichsel, in der Oder bis zur Warthemündung, im Oberrhein und in der österreichischen Donau haben die höchsten bekannten Wasserstände im Sommer stattgefunden.

7. Außergewöhnliche Sommerfluten in Flachlandflüssen. Steigerung der Winterfluten in den Flachlandstrecken der Gebirgsflüsse.

Zahlreiche Beispiele für die Einwirkung der mangelhaften Vorflut auf die Entstehung hoher Wasserstände in Flachlandflüssen liefern die im Bureau des Wasserausschusses bearbeiteten Werke, freilich auch solche für das Auftreten wirklicher Sommerfluten in gefällreicheren Flachlandgewässern. Derartige nach starken Niederschlägen im Flachlande ausgebildeten Regenfluten kommen hauptsächlich bei Wasserläufen vor, deren Zuflußgebiet undurchlässigen Boden besitzt, z. B. bei der Goldap und Guber im Pregelgebiet. Wird der Boden durch lange anhaltendes Regenwetter mit Feuchtigkeit gesättigt, so können auch in sonst nicht dazu neigenden Flachlandflüssen ausnahmsweise größere Hochfluten im Sommer auftreten, ebenso wie in den östlichen Gebirgsflüssen bei plötzlicher Schneeschmelze, die sich schnell auf die

Hochlagen erstreckt, ausnahmsweise große Hochfluten gegen Ende des Winterhalbjahres entstehen können.

Beispielsweise hatte die Warthe beim Hochwasser vom Juli 1903 weit höhere Höchststände als bei den bisher näher bekannten Sommerfluten. Bei Schrimm und Schwerin kamen sie sogar den Scheitelhöhen der großen Winterflut vom März 1891 recht nahe, blieben aber allenthalben bedeutend zurück gegen diejenigen der noch größeren Winterfluten vom März/April 1855, 1888 und 1889. Zum Vergleiche mit anderen Sommerfluten ist die bisher höchste vom August/September 1854 in folgender Zusammenstellung mit aufgeführt.

Hochflut vom	Schrimm	Posen	Obornik	Birnbaum	Schwerin	Landsberg
Aug./Sept. 1854	3,37 m a. P.	4,39 m a. P.	5,18 m a. P.	3,35 m a. P.	3,14 m a. P.	2,46 m a. P.
März/April 1855	4,08 m a. P.	6,72 m a. P.	8,79 m a. P.	4,39 m a. P.	3,71 m a. P.	4,18 m a. P.
März/April 1888	3,99 m a. P.	6,66 m a. P.	9,27 m a. P.	5,30 m a. P.	3,64 m a. P.	4,89 m a. P.
März/April 1889	4,05 m a. P.	6,56 m a. P.	8,88 m a. P.	5,10 m a. P.	3,56 m a. P.	4,42 m a. P.
März 1891	3,78 m a. P.	5,95 m a. P.	7,86 m a. P.	4,65 m a. P.	3,34 m a. P.	4,18 m a. P.
Juli 1903.	3,70 m a. P.	4,92 m a. P.	6,36 m a. P.	4,06 m a. P.	3,22 m a. P.	3,15 m a. P.

Durchweg am geringsten sind die Unterschiede bei Schrimm und Schwerin wegen der breiten Ueberschwemmungsgebiete, am größten bei Obornik wegen der dortigen Stromenge. Auch die übrigen Pegel liegen an Engstellen, die höheren Aufstau der massigeren Winterfluten bewirken. Daß bei Landsberg die beiden Sommerfluten stärker als die Winterfluten verflacht sind, mag vom Rückstau in das ausgedehnte Mündungsbecken der Netze herrühren, die kein Hochwasser führte, wogegen sie zur Winterszeit ihre Flutwelle früher nach der Mündung zu bringen pflegt, als die Warthewelle dort eintrifft, und das Becken mit Netzewasser ausfüllt.

Daß unter Umständen eine Sommerflut in der Warthe noch höher als diesmal anschwellen kann, bezeugen die Hochwassermarken für die im ganzen Oderstromgebiet zu ungewöhnlicher Höhe angeschwollene Hochflut vom Juli 1736, die zwar bei Landsberg den Höchststand vom April 1888 nicht erreichte, bei Posen dagegen den Höchststand vom April 1855 um 2,6 m überstiegen haben soll. Mögen auch besondere Verhältnisse einen so außerordentlichen Aufstau im Posener Engpasse hervorgerufen haben, so dürfte es sich doch um eine mit den größten Winterfluten etwa gleichwertige Sommerflut handeln. Von 37 Ueberschwemmungen im 16. bis 18. Jahrhundert, über die für Posen Nachrichten vorliegen, sind vier in der sommerlichen Jahreshälfte eingetreten. Gewöhnlich werden die sommerlichen Anschwellungen der preussischen Warthe aufzufassen sein als verflachte Flutwellen der Hochfluten, die in der oberen Warthe und Prosna bei denselben Wetterlagen entstehen, welche auch im Gebirgslande des Oder- und Weichselgebiets Regengüsse von größerer Stärke als im polnischen Flachlande hervorrufen (Oderwerk, Bd. III S. 775).

Daß auch die übrigen Flachlandflüsse des Oderstromgebiets nach vielwöchentlichem Regenwetter und vollständiger Sättigung des Bodens außerordentliche Anschwellungen entwickeln können, ist bei Erwähnung der Hochflut vom August/September 1854 in Anm. 1 (S. 26) schon mitgeteilt. Näheres enthält die Beschreibung dieser Hochflut im Oderwerke (Tabellenband S. 89). Außer Klodnitz, Malapane, Stober, Ohle, Lohe und Weide war namentlich die Bartsch nebst Horle, Schätzke und Brande von bedeutendem Einfluß auf die Oderhochflut. Schon am 22. August hatte die Horle den höchsten Wasserstand überschritten, dessen Ablesung die Pegellatte bei Herrnsstadt gestattete (3,91 m a. P.) und fiel erst am 25. wieder niedriger ab. Die Angabe des Oderwerkes, wonach die großen Wassermassen des Bartschgebiets am 25. bei Glogau den Höchststand (5,73 m a. P.), also einen selbständigen Scheitel der Oder-Flutwelle erzeugt hätten, trifft freilich nicht ganz zu. Durch den Bruch der Fischeichdämme waren die ohnehin bereits bedeutenden Massen noch vermehrt und alle Niederungen an der Bartsch hoch überflutet worden. Vielfach wuchsen kleine Wasserläufe zu reißenden Strömen an, und selbst Gegenden ohne größere fließende Gewässer wurden überschwemmt. Die geringe Zahl der damaligen Regenmeßstellen läßt größte Tagesniederschläge von 31—81 mm am 19. oder 20. August, sowie Monatssummen für den August von 86—281 mm erkennen. Bei Zechen, dessen Niederschlagsverhältnisse für das Bartschgebiet am meisten maßgebend sein mögen, betrug die Monatssumme im August 254, im Juli 137 mm, d. h. im August $3\frac{1}{2}$ mal, im Juli 2 mal so viel wie durchschnittlich. Ferner wird der größte Tagesniederschlag für Zechen im August (am 19.) auf 61 mm, im Juli (am 1.) auf 50 mm angegeben.

Schließlich sei noch erwähnt, daß manche Flüsse, die vorwiegend im Flachlande liegen, aber ein dem Gebirgslande angehöriges Quellgebiet haben, auch in ihren Flachlandstrecken öfters sommerlichen Hochfluten unterworfen sind, z. B. die Spree im Elbegebiet, die Oker im Wesergebiet. Eine im kleinen Quellgebiete der Spree rasch verlaufende spitze Flutwelle erhält in den gefällarmen, mittleren und unteren Strecken eine äußerst flache Form mit sehr langer Ueberschwemmungsdauer, fast als wenn bei der Oder Quellgebiet und Mündungsstrecke unmittelbar aufeinander folgten. Von den linksseitigen Nebenflüssen der Oder ähnelt die Lausitzer Neisse am meisten ihrem Nachbarflusse, der Spree, da sie schon bei Görlitz das Gebirge verläßt und ganz in das Flachland eintritt, muß aber doch als Gebirgsfluß angesehen werden.

Bei ihr und den übrigen, mit großen Strecken im Flachlande gelegenen schlesischen Gebirgsflüssen zeigt sich das Gegenstück zu der bisher betrachteten Erscheinung, nämlich daß zuweilen recht hohe Winterfluten in einem östlichen Gebirgsflusse vorkommen

auch wenn keine plötzliche Schneeschmelze stattgefunden hat. Diese hohen Winterfluten sind dann aber gewöhnlich in den Flachlandstrecken bedeutender als in den Gebirgstrecken und werden manchmal vorzugsweise aus dem Flachlande gespeist. Beispielsweise ergeben sich bei der Lausitzer Neisse aus den Pegelbeobachtungen im Flachlande bei Guben zwar ähnliche Hochwasserhältnisse wie bei Görlitz; jedoch treten die Winterfluten im Verhältnis zu den Sommerfluten bei Guben mit größerer Höhe auf. Namentlich bringt der Flachlandfluß Lubst nicht selten erhebliche Schmelzwassermengen in die Lausitzer Neisse, bevor die Welle aus dem oberen Flußlaufe bei Guben eintrifft, so daß letztere das Hochwasserbett bereits gefüllt findet; im März 1888 scheint sogar die Lubstwelle die Scheitelbildung übernommen zu haben. Ebenso tritt bei den Karpathenflüssen, die gleichzeitig größere Flächen des vom Gebirgsfuße bis zur oberen Weichsel ausgedehnten Hügel- und Flachlandes entwässern, bei den Winterfluten die Einwirkung des Gebirges gegen die des Flachlandes nach der Mündung hin zurück. Manche von ihnen, z. B. die Wisloka und der San bleiben in ihren Gebirgstrecken oft nahezu ohne Erregung, während sie in ihren unteren Strecken um mehrere Meter anschwellen.

8. Jahreszeitliche Verteilung der Hochwassererscheinungen in den deutschen Strömen.

Die nachfolgende Zusammenstellung über die jahreszeitliche Verteilung der Hochwassererscheinungen beruht hauptsächlich auf den Angaben der im Bureau des Wasserausschusses bearbeiteten Werke, und zwar des Memel-Pregel-Weichsel-Werkes für den Memelstrom (Tabellenband S. 184), den Pregel (Bd. IV S. 496) und die preußische Weichsel (Tabellenband S. 171 ff.), des Oderwerkes für die obere und mittlere Oder (Bd. I S. 198), des Elbwerkes für die preußische Elbe (Bd. I S. 284), des Weser-Ems-Werkes für die Weser bis zur Tidegrenze (Bd. III S. 559) und die mittlere Ems (Bd. IV S. 501). Ergänzt sind diese Angaben für den preußischen Rhein aus dem Rheinwerke (S. 214), für den Main aus Heft VI der „Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserhältnisse im deutschen Rheingebiet“, schließlich für den Neckar aus den Begleitbemerkungen der „Wasserstandsbeobachtungen an den württembergischen Pegelstationen im Jahre 1903“.

Für den Memelstrom, den Pregel, die Weichsel, Oder, Elbe und Weser wurden die allgemeinen Hochfluten festgestellt, die innerhalb einer bestimmten Jahresreihe an allen wichtigen Pegeln einer gewissen Strecke die Hochwassergrenze überschritten haben. Beim Memelstrome (Schmalleningken-Tilsit) und bei der Weichsel (Thorn-Dirschau) bezieht sich die Untersuchung auf die Jahresreihe 1871/95, beim Pregel

(Insterburg-Tapiau) auf 1842/96, bei der Oder (Ratibor-Krossen) und Elbe (Saalemündung-Hohnstorf) auf 1836,92, bei der Weser (Münden-Baden) auf 1841/1900. Diese Zahlen sind trotz Verschiedenheit der Zeitspannen vergleichbar. Die Angaben für Ems, Rhein, Main und Neckar besagen, wie sich die in einem bestimmten Zeitraum eingetretenen Ausuferungstage, d. h. Ueberschreitungen der Hochwassergrenze an einer einzelnen Pegelstelle jahreszeitlich verteilen. Für die Ems beziehen sich die prozentischen Zahlenwerte auf den Zeitraum 1834/95 und die Hochwassergrenze 3,0 m a. P. Lingen, für den preußischen Rhein auf 1817/87 und 6,0 m a. P. Köln, für den Main auf 1824/97 und 4,3 m a. P. Miltenberg, für den Neckar auf 1827/93 und 4,5 m a. P. Heilbronn. Die Hochwassergrenzen für die Ems, den Main und den Neckar liegen im Verhältnis zu denen, die allgemeinen Hochfluten an den erstgenannten Strömen entsprechen, wohl reichlich hoch, diejenige für den preußischen Rhein vielleicht etwas zu niedrig.

Strom	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Winter	Sommer
Memel	5	9	9	7	34	34	—	—	—	—	—	2	98	2
Pregel	2	7	16	14	38	16	—	—	—	5	—	2	93	7
Weichsel	—	3	7	12	34	23	4,5	6	4,5	4,5	1,5	—	79	21
Oder	3	3	9	13	18	8	8	9	11	11	5	2	54	46
Elbe	1	9	9	23	24	16	6	6	1	3	2	—	82	18
Weser	5	15,5	15,5	28	22	9	3,5	1,5	—	—	—	—	95	5
Ems	10	26	26	22	13	—	—	—	—	—	—	3	97	3
Rhein	8	18	23	17	18	7	1,5	3	1	—	1	1,5	91	8
Main	9	11	20	30	20	6	—	4	—	—	—	—	96	4
Neckar	5	14	20	25	9	2	11	5	—	2	5	2	75	25

Die Verteilung auf beide Jahreshälften zeigt überall die bei der vergleichenden Betrachtung der Hochwassererscheinungen im Vortrag vom 22. September (S. 7/8) benutzten Zahlen, ausgenommen die Weichsel. Für sie mußten bei jener Betrachtung die den großen Hochfluten entsprechenden Zahlen gewählt werden, um den Gegensatz zwischen den oberen und unteren Strecken des Stromes klar hervorzuheben, da nur diese großen Hochfluten in der Regel den ganzen Strom durchlaufen. Will man nicht den ganzen Weichselstrom, sondern lediglich seine preußische Strecke mit den übrigen deutschen Strömen in Vergleich stellen, so muß die Hochwassergrenze tiefer gerückt werden (S. 43) auf ähnliche Höhe wie beim Memelstrome usw., wo sie der Ueberschwemmung der niedrigeren Vorländer angepaßt ist. Man kann bei letzterem Vergleich einen Ueberblick über die Häufigkeit der Hochfluten gewinnen, d. h. darüber, wie oft jährlich solche Ueberschwemmungen durchschnittlich stattfinden.

Bezeichnung des Stromes:	Memel	Pregel	Weichsel	Oder	Elbe	Weser	Ems	Rhein	Main	Neckar
Zahl der Beobachtungsjahre	25	55	25	57	57	65	62	71	74	67
Zahl der Hochfluten im ganzen	44	57	68	113	99	58	31	109	46	44
Zahl der Hochfluten im Jahre	1,76	1,04	2,72	1,98	1,74	0,89	0,50	1,54	0,62	0,66

Da die Beobachtungsjahre bei den einzelnen Strömen verschieden sind und die Hochwassergrenzen einander nicht genau entsprechen, läßt sich der Vergleich nicht streng durchführen. Namentlich würden die Zahlen für den Memelstrom und die Weichsel geringer ausfallen, wenn eine weniger hochwasserreiche Zeit zugrunde gelegt wäre. Berücksichtigt man außerdem die Angaben unserer Tabelle auf S. 47 über die Verteilung nach Halbjahren, so läßt sich schätzungsweise sagen, daß im großen Durchschnitt die Wahrscheinlichkeit einer winterlichen Ueberschwemmung am größten bei der preußischen Weichsel ist, demnächst beim Memelstrome, bei der Elbe, der Oder und beim preußischen Rhein. Ueberschwemmungen sind mehr als einmal im Winter zu erwarten bei der preußischen Weichsel, beim Memelstrome, bei der preußischen Elbe, dem Rhein und der Oder. Auch bei der Ems treten alljährlich Ausuferungen von oft geringerer Höhe ein und werden von den Anliegern sehr gewünscht.

Die Wahrscheinlichkeit einer sommerlichen Ueberschwemmung ist am größten bei der Oder, erheblich kleiner bei der preußischen Weichsel und Elbe, sodann beim Neckar, beim preußischen Rhein, noch kleiner beim Pregel, sehr gering beim Memelstrome, bei der Weser, Ems und dem Rhein. Auf sommerliche Ueberschwemmungen muß man bei der Oder fast alljährlich rechnen, bei der preußischen Weichsel alle 2 Jahre, bei der preußischen Elbe alle 3 bis 4 Jahre, beim Neckar alle 5 Jahre, beim Pregel und preußischen Rhein alle 10 Jahre, noch seltener bei den übrigen Strömen.

Die Verteilung nach Monaten im Winterhalbjahr weist auf den früheren Einzug des Frühlings in den westlichen Stromgebieten hin, wo die Schneeschmelze oft schon im Februar endigt, während sie sich im Osten häufig bis in den April verschiebt. Hierzu kommt bei den am meisten dem Seeklima unterworfenen Gebieten noch die Einwirkung der Winterregen. Die Ems hat daher ihr Hochwasser am häufigsten im Dezember/Januar, der untere Rhein im Januar, der Neckar, Main und die Weser im Februar, die weiter östlich gelegenen Ströme im März, nur der Memelstrom ebenso oft im April. Beim letztgenannten Strome treten die übrigen Wintermonate weit zurück gegen März/April, weil eine vorzeitige Schneeschmelze minder oft eintritt als weiter westlich. Einigermassen zeigt sich dies auch bei der aus dem russisch-polnischen Flachlande kräftig gespeisten unteren Weichsel. Am wenigsten

ungleichmäßig verteilen sich wegen der hauptsächlich im November/Januar eintretenden Regenfluten die Winterfluten im nordwestlichen Deutschland (Weser, Ems, Niederrhein). Was die Verteilung im Sommerhalbjahre anbelangt, so machen sich die starken Regengüsse der Hochsommermonate besonders in der Oder geltend, weniger in der preußischen Weichsel und Elbe, wogegen in den westlichen Strömen der Frühsommer und der Herbst in höherem Maße von Regenfluten betroffen werden.

Der Oberrhein und die Donau mußten von dieser Betrachtung ausgeschlossen bleiben, da für sie einstweilen noch keine hierzu brauchbaren Unterlagen veröffentlicht sind.

9. Aenderung der jahreszeitlichen Verteilung der Hochfluten von den oberen nach den unteren Strecken.

Die bei der Weichsel am schärfsten hervortretende Aenderung der jahreszeitlichen Verteilung der Hochfluten von oben nach unten zeigt sich in schwächerem Maße auch bei der Oder. Dies kommt klar zum Ausdruck, wenn einige kennzeichnende Pegelstellen der beiden Ströme miteinander in Bezug auf das mittlere Hochwasser der beiden Jahreshälften verglichen werden. Das mittlere Hochwasser (MHW), d. h. der Mittelwert aus den höchsten Wasserständen eines jeden Jahres oder Halbjahres eines bestimmten Zeitraums, bietet vergleichsweise einen Näherungsmaßstab für die Hochwasserverhältnisse, obgleich in hochwasserfreien Zeiten die höchsten Wasserstände keiner Hochflut angehören und in hochwasserreichen Zeiten mehrere Hochfluten innerhalb desselben Jahres oder Halbjahres vorkommen, deren Scheitelstände bis auf je einen unberücksichtigt bleiben.

Als mittlere Schwankung bezeichnen wir den Unterschied zwischen dem mittleren Hochwasser des Jahres und dem zugehörigen mittleren Niedrigwasser (MNW), d. h. dem Mittelwerte aus den niedrigsten Wasserständen eines jeden Jahres in demselben Zeitraum. Für eine vergleichende Betrachtung verschiedener Pegelstellen empfiehlt sich eine gedankliche Pegelteilung anzuwenden, wobei das mittlere Niedrigwasser als Nullpunkt angesehen wird und das mittlere Hochwasser den Wert 100 erhält (hundertteiliger Maßstab). In diesem Maßstab wird auch dem Mittelwasser (MW), d. h. dem Gesamtmittel aller täglich einmal zu bestimmter Stunde beobachteten Wasserstände des Jahres oder Halbjahres für denselben Zeitraum, eine je nach den Abflußverhältnissen mehr oder weniger hohe Lage zugewiesen.

Nachfolgende Zusammenstellung enthält in Spalte 1 bis 3 die Mittelwerte MNW, MW und MHW des Jahres an sechs Oderpegeln für den Zeitraum 1835/92 und an drei Weichselpegeln für den Zeitraum 1871/95. In Spalte 4 und 5 sind die entsprechenden Mittelwerte MHW der beiden

Halbjahre aufgeführt, ferner in Spalte 6 die mittleren Schwankungen des Jahres, d. h. die Unterschiede zwischen den in Spalte 3 und 1 enthaltenen Zahlen. Bezogen auf diese Unterschiede, geben die Spalten 9, 7 und 8 die Lage des Jahres-Mittelwassers (nach Spalte 2) und des mittleren Hochwassers der beiden Halbjahre (nach Spalte 4 und 5) im hundertteiligen Maßstab an. Außer diesen Vergleichszahlen sind auch die Unterschiede wichtig, die im hundertteiligen Maßstab zwischen den oberen Grenzwerten (100 %) und den Zahlenwerten für MHW des Winters, sowie zwischen letzteren Zahlenwerten und denjenigen für MHW des Sommers bestehen. Diese in den Spalten 10 und 11 angegebenen Unterschiede würden sich auch aus den Spalten 3 bis 5 unmittelbar bilden (3—4 und 4—5) und durch Bezugnahme auf Spalte 6 in den hundertteiligen Maßstab übertragen lassen. Von den ausgewählten Pegelstellen liegen Ratibor und Brieg an der oberen Oder, ferner Aufenthalt, Glogau und Krossen an der mittleren Oder, Schwedt an der unteren Oder, sodann Szczucin an der oberen, Warschau an der mittleren und Kurzebrack an der unteren Weichsel.

Pegel- stelle	MNW	MW	MHW	MHW	MHW	Mitt- lere Schwan- kungen m	Im hundertteiligen Maßstab				
	des Jahres			Win- ter	Som- mer		Wi- MHW	So- MHW	Jahres -MHW	3—4	4—5
	m a. P.	m a. P.	m a. P.	m a. P.	m a. P.		%	%	%	%	%
Spalten-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ratibor	0,67	1,45	5,08	4,78	4,38	4,41	93	84	18	7	9
Brieg	1,08	2,02	4,83	4,59	4,11	3,75	94	81	25	6	13
Aufhalt	1,38	2,36	5,03	4,83	4,08	3,65	95	75	27	5	20
Glogau	0,64	1,61	3,95	3,81	3,10	3,31	96	74	29	4	22
Krossen	0,46	1,32	3,39	3,26	2,54	2,93	96	71	29	4	25
Schwedt	0,85	1,73	3,10	3,04	2,45	2,25	97	71	39	3	26
Szczucin	-0,71	0,23	3,65	2,55	3,23	4,36	75	90	22	25	-15
Warschau	0,24	1,26	4,58	4,16	3,50	4,34	90	75	24	10	15
Kurzebr.	0,34	1,89	5,99	5,73	3,89	5,65	95	63	27	5	32

Ein Vergleich der Oder und Weichsel lehrt, was folgt: Während an dem dicht unterhalb der Mündung des Dunajec, des wichtigsten Gebirgsflusses im Weichselgebiete, gelegenen Pegel Szczucin das Winter-MHW (Spalte 7) im hundertteiligen Maßstab niedrig liegt, bei Warschau bereits bedeutend höher und bei Kurzebrack noch etwas höher, also mit Zunahme der Flachlandfläche von oben nach unten wächst, weisen die betreffenden Zahlen bei den Pegelstellen der Oder keine erhebliche Verschiedenheit auf, nehmen aber gleichfalls von oben nach unten allmählich zu. Umgekehrt verhält sich das Sommer-MHW (Spalte 8), das von oben nach unten stark abnimmt, bei der Weichsel jedoch doppelt so viel wie bei der Oder. Die Lage des Jahres-MW (Spalte 9) ist um so höher, je gleichmäßiger die Wasserstände an der Pegelstelle sind, am höchsten daher bei Schwedt, wo alle Flutwellen zu lange anhaltenden Anschwellungen mit langsam wechselnden Wasser-

ständen verflachen, dagegen am niedrigsten bei Ratibor, wo die meist spitz geformten Flutwellen sich rasch bedeutend über den vor Beginn der Hochflut herrschenden Wasserstand erheben und schnell wieder abfallen. In der oberen und mittleren Weichsel liegt das Jahres-MW ähnlich wie in der oberen Oder. Nicht viel höher ist es in der unteren Weichsel, wo die Flutwellen nicht in solchem Maße wie bei der Oder verflachen und in der winterlichen Jahreshälfte als massige Wellen auftreten, die den Mittelwasserstand anheben, ebenso wie dies die Stauwirkung des Eises tut (Weichselwerk, Bd. I S. 318 ff.). Aus der Tabelle auf S. 267 a. a. O. geht hervor, daß bei Kurzebrack die Lage des Winter-MW (36 %) im hundertteiligen Maßstab doppelt so hoch ist wie die des Sommer-MW (18 %), wogegen bei Szczucin beide wenig verschieden hoch liegen (24 und 20 %).

Der in Spalte 10 angegebene Unterschied zwischen den Jahres-MHW und Winter-MHW kennzeichnet für jede Pegelstelle die Bedeutung der winterlichen Hochfluten. Treten lediglich im Winter so hohe Anschwellungen ein, daß ihre Scheitel die Höchststände des ganzen Jahres bilden, so verschwindet der Unterschied vollständig. Je größer er ist, um so häufiger finden höhere sommerliche Anschwellungen statt. Daß durchschnittlich diese Sommeranschwellungen niedriger bleiben (obgleich in der Oder alle 40 bis 50 Jahre außerordentliche Sommerfluten zu den höchsten bekannten Scheitelhöhen angestiegen sind), ergibt sich aus Spalte 11, wonach der Unterschied zwischen dem Winter-MHW und Sommer-MHW mit einer einzigen Ausnahme überall positiv, d. h. das Winter-MHW größer als das Sommer-MHW ist. Die Bedeutung der Winteranschwellungen ändert sich in der Weichsel weit mehr als in der Oder und nimmt in beiden Strömen von oben nach unten zu, je kleiner die Zahlen der Spalte 10 werden. Ihr Vorrang über die Sommeranschwellungen wächst gleichfalls von den oberen nach den unteren Strecken, je höher die in Spalte 11 aufgeführten Zahlen sind, und zwar bei der Oder recht beträchtlich, aber in noch weit größerem Maße bei der Weichsel, da sich hier das Stärkeverhältnis geradezu umgekehrt verhält. Denn im Oberlaufe der Weichsel liegt das Sommer-MHW um ebensoviel Prozente (15 %) über dem Winter-MHW, wie es im Mittel Laufe darunter liegt, schließlich im Unterlaufe noch weitere 17 % niedriger. Am größten ist die Bedeutung der sommerlichen Anschwellungen in der oberen Weichsel, nicht ganz so groß in der oberen Oder, sodann in der mittleren Weichsel und in den übrigen Strecken der Oder von etwa gleicher Größe, aber nach unten hin abnehmend, am kleinsten in der unteren Weichsel. Innerhalb der deutschen Grenzen spielen die Sommeranschwellungen bei der Weichsel daher eine viel geringere Rolle als bei der Oder.

Ein ähnliches Bild läßt sich aus der jahreszeitlichen Verteilung der zur Berechnung des Jahres-MHW. benutzten Höchststände der einzelnen Jahre gewinnen. Da sie dann nur ihrer Zahl nach, aber nicht nach ihrer Höhe in den Vergleich gezogen werden, so kommt dabei zur Geltung, daß die im Oderstromgebiet aus größeren Gebietsteilen gespeisten Anschwellungen des Winterhalbjahrs wegen des stärkeren Zuwachses aus den Flachlandflüssen sich nach unten hin zwar dehnen, aber an Scheitelhöhe weniger verlieren als die spitzer geformten sommerlichen Anschwellungen, die meistens nur aus kleineren Gebietsteilen Zufuhr erhalten und nach unten hin verflachen. Drückt man die Verteilung auf die beiden Halbjahre in Prozenten aus, so ist ein Vergleich mit den übrigen Strömen angängig, der freilich insofern hinkt, als er sich nicht auf dieselben Jahresreihen bezieht. Für diesen Vergleich liefert auch das Rheinwerk die erforderlichen Angaben, die sich auch auf die wichtigsten Nebenflüsse erstrecken, beim Rheinstrom selbst aber nur bis Bingen reichen.

Strom	Strecke	Winter %	Sommer %	Strom	Strecke	Winter %	Sommer %
Memel	bei Tilsit	96	4	Weser	bei Münden	89	11
Weichsel	Oberlauf	50	50	"	" Minden	90	10
"	Mittellauf	65	35	"	" Dreye	92	8
"	Unterlauf	85	15	Ems	" Lingen	100	—
Oder	bei Ratibor	45	55	Rhein	" Waldshut	28	72
"	" Brieg	64	36	"	" Kehl	36	64
"	" Aufhalt	72	28	"	" Frankenth.	56	44
"	" Glogau	75	25	"	" Bingen	75	25
"	" Krossen	77	23	Neckar	" Heilbronn	67	33
"	" Schwedt	89	11	Main	" Miltenberg	92	8
Elbe	" Melnik	70	30	Lahn	" Gießen	90	10
"	" Roßlau	78	22	Mosel	" Trier	95	5
"	" Wittenbge.	80	20	Ruhr	" Mülheim	97	3
"	" Hohnstorf	83	17	Lippe	" Dorsten	100	—

Bei der Oder vollzieht sich von oben nach unten eine nicht gleichmäßige Zunahme der Prozentzahlen für das Winter- und Abnahme für das Sommerhalbjahr. Während erstere bei Ratibor geringer als letztere sind, haben sie bei Brieg schon das Uebergewicht und verstärken sich langsam in der mittleren Oder, zuletzt nach Hinzutritt des Flachlandstromes Warthe sprungweise in der unteren Oder. Aehnlich verhält sich die Weichsel. Die Elbe zeigt das gleiche Verhalten in erheblich abgeschwächtem Maße, da schon in der böhmischen Strecke bei Melnik das Winterhalbjahr ebenso großes Gewicht besitzt wie beim Oderstrom unweit Breslau (zwischen Brieg und Aufhalt). Aeüßerst gering ist die entsprechende Aenderung bei der Weser, wo bereits Münden dieselbe

Verteilung wie Schwedt an der unteren Oder zeigt. Dagegen weist der Rhein eine weit schärfer ausgesprochene Aenderung auf, die noch deutlicher hervortreten würde, wenn die Zahlenwerte für den Niederrhein vorlägen, in dem auf das Winterhalbjahr bei weitem die meisten Höchststände des Jahres kommen. Je reichlicher im Gegensatze zu den Wassermengen der Alpenflüsse die Speisung aus dem Mittelgebirge wird, um so mehr gewinnen die anfangs bedeutend zurücktretenden Höchststände im Winter das Uebergewicht über die Höchststände im Sommer. Die Verhältniszahlen in den letzten Spalten legen dar, daß im Rheingebiet die Mittelgebirgsflüsse ihre jährlichen Höchststände ganz vorwiegend im Winterhalbjahr haben. Im Neckar bei Heilbronn entfällt freilich $\frac{1}{3}$ auf das Sommerhalbjahr, aber schon bei Diedesheim im unteren Neckar nur noch rund $\frac{1}{5}$. Je mehr die westdeutschen Flüsse vom Seeklima beherrscht werden, um so größer ist der Vorrang des Winters, bis ihm zuletzt bei der Lippe und Ems alle Jahreshöchststände angehören und der Sommer ganz leer ausgeht. Beispielsweise zeigt die Mosel ein ganz ähnliches Verhältnis wie der Memelstrom, bei dem unter den östlichen Strömen am deutlichsten die Vorherrschaft der Schmelzfluten in den Flachlandgewässern ausgeprägt erscheint.

10. Verhältnis zwischen Abfluß und Niederschlag.

a) Abflußverhältnis in den Stromgebieten Norddeutschlands.

Die im Vortrage mitgeteilten Angaben über das Abflußverhältnis des Memelstromes und der Ems sind den Veröffentlichungen des Wasser Ausschusses entlehnt, aus denen die Tabelle auf S. 54 einen kurzen Auszug mit abgerundeten Zahlen bietet. Dieser erstreckt sich auch auf die übrigen norddeutschen Ströme mit Ausnahme der Oder, für die auf Grund der neuerdings in großer Zahl ausgeführten Wassermengen-Messungen demnächst eine entsprechende Ermittlung bewirkt werden soll, ebenso eine genauere Untersuchung für die Elbe. Die beiden letzten Spalten beziehen sich zwar nicht auf die hier behandelte Frage, sind aber zur Kennzeichnung der Wasserführung der Stromgebiete mit aufgenommen. Auf S. 94/95 werden diese Zahlenwerte betrachtet.

Nähere Angaben zur Begründung der Berechnung mit Hinweisen auf die zahlreichen Fehlerquellen finden sich im Memel-Pegel-Wechselwerke (Bd. I S. 311 ff.), im Elbwerke (Bd. I S. 293 ff.) und im Weser-Emswerke (Bd. I S. 303 ff.). Eine wichtige Fehlerquelle ist dadurch einigermaßen ausgemerzt, daß bei allen Strömen mit Ausnahme der Elbe Abzüge für den Eisstau gemacht sind, der die winterlichen Wasserstände zur Zeit des Eisstandes höher anhebt, als dem freien Abflusse entspricht

Stromgebiet	Größe der Gebietsfläche qkm	Ganze Abflußmasse Milliarden cbm			Ganze Niederschlagsmasse Milliarden cbm			Mittlere Abflußhöhe mm			Mittlere Niederschlagshöhe mm			Abflußverhältnis Proz.			Sekundliche Abflußmenge cbm			Sekundliche Abflußzahl l/qkm		
		Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr			
Memelstrom (Juraumflutung)	91 300	11,1	6,8	17,9	19,7	33,1	52,8	121	75	196	216	363	579	56,2	20,6	33,9	706	429	567	7,70	4,74	6,21
Weichsel (Stromteilung)	193 000	18,0	12,5	30,5	42,0	77,7	119,7	93	65	138	218	402	620	42,8	16,1	25,5	1148	789	967	5,95	4,09	5,01
Elbe (Artenburg)	134 900			22,5			81,1		167			601				27,7		712				5,28
Weser (Allerumflutung)	37 900	6,2	3,2	9,4	11,7	15,3	27,0	162	85	247	309	404	713	52,5	21,1	34,7	393	203	297	10,37	5,35	7,84
Ems (Haasemündung)	8 200	1,7	0,6	2,3	2,6	3,4	6,0	208	67	215	318	410	728	65,5	16,3	37,8	109	34	72	13,32	4,20	8,72

Einfluss des Schneeeis

Immer kein

Recht

1888/1892

Die vergleichende Betrachtung wird übrigens auch dadurch erschwert, daß aus den an jenen Stellen genannten Gründen nicht dieselben Zeiträume für die Untersuchung der einzelnen Stromgebiete benutzt werden konnten. Indessen geben die Zahlenwerte für das Abflußverhältnis im Winter, Sommer und Jahr doch einen annähernd richtigen Ueberblick. Die durchschnittliche Verhältniszahl für den jährlichen Abfluß aller an den deutschen Küsten mündenden Ströme und Flüsse kann vorläufig auf rund 29 % des Niederschlags geschätzt werden.

Im einzelnen zeigen die in der Tabelle aufgeführten Zahlenwerte für das Abflußverhältnis recht große Verschiedenheiten, was nicht zu verwundern ist, da sowohl die Niederschlagsverhältnisse der Stromgebiete, als auch alle Bedingungen, die den Abflußvorgang regeln, bei ihnen sehr verschieden sind. Am meisten ähneln die Verhältniszahlen einander bei der Weser und dem Memelstrome, obgleich die Ursachen durchaus nicht übereinstimmen, wie im Weser-Emswerke (Bd. I S. 317) mitgeteilt ist und aus dem zwischen Ems- und Memelstromgebiet im Vortrage gezogenen Vergleiche hervorgeht. Daß das Winterhalbjahr bei allen Strömen (auch nach den Abzügen für den Eisstau) weit größere Verhältniszahlen aufweist wie das Sommerhalbjahr, beruht auf Gründen, die in den Darstellungen der einzelnen Ströme und ihrer wichtigsten Nebenflüsse näher dargelegt sind, besonders bei den Betrachtungen über die jährliche Wasserstandsbeobachtung und die Häufigkeit der Wasserstände.

b) Ableitung der Beziehungen zwischen Abfluß und allen auf ihn einwirkenden Umständen aus den Wasserstandsbeobachtungen.

Jene Betrachtungen erstrecken sich bei den im Bureau des Wasser Ausschusses bearbeiteten Werken sehr eingehend auf die Beziehungen zwischen dem Abfluß, für den die Wasserstände einen Maßstab liefern, und allen auf ihn einwirkenden Umständen. Hierbei wurden außer der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe auch die Art des Auftretens der Niederschläge, ferner von den übrigen meteorologischen Erscheinungen namentlich die Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Verdunstung, sodann die Bodengestalt und Bodenbeschaffenheit, die Gestalt des Gewässernetzes, die Bodenbenutzung und Bewaldung des Niederschlagsgebiets berücksichtigt.

Eine wichtige Ergänzung finden in jenen Werken die aus den langjährigen Mittelwerten und Häufigkeitszahlen der Wasserstandsbeobachtungen abgeleiteten Schlußfolgerungen über den Abflußvorgang durch sorgfältige Ermittlungen über die Hochwasser- und Eisverhältnisse, wobei stets deren ursächlicher Zusammenhang mit den meteorologischen Vorbedingungen im Auge behalten blieb und zur Richtschnur der Untersuchungen diente. Gerade in Zeiten der gewaltigen Erregung verrät

sich die Eigenart unserer Ströme und Flüsse oft unverhüllter und klarer, als sie im gewöhnlichen Laufe der Dinge zu erkennen ist. Daher gibt die Betrachtung der Hochwassererscheinungen besonders wertvolle Aufschlüsse über das gegenseitige Verhalten der einzelnen Gewässer und über deren Bedeutung im Kreislaufe des Wassers. Nicht nur wegen ihrer wirtschaftlichen Folgen und zur Gewinnung von Unterlagen für die Vorbeugung der Wassernot sind die Hochfluten und Eisverhältnisse näher untersucht worden, sondern auch aus rein wissenschaftlichen Beweggründen, weil diese mächtigen Erscheinungen vielerlei Fingerzeige bieten für die Erkenntnis der Arbeit des fließenden Wassers und der Gestaltung seiner Gerinne, worauf wir nicht eingehen, namentlich aber für den inneren Zusammenhang, der zwischen dem Abflußvorgange und den übrigen, auf ihn einwirkenden Naturerscheinungen besteht.

c) Ableitung der Beziehungen zwischen Abfluß und Niederschlag aus Wasserstandsbeobachtungen, Wassermengen- und Niederschlagsmessungen.

Die in den Darstellungen der einzelnen Ströme enthaltenen Angaben über die Wassermengen konnten nur teilweise unmittelbar für die vorgenannten Untersuchungen verwertet werden, da sie in verhältnismäßig wenigen Fällen vollständig genug sind, um derart sichere Beziehungen zwischen Wasserstand und Abflußmenge nachzuweisen, daß statt der tatsächlich gemachten Wasserstandsbeobachtungen die aus ihnen abgeleiteten Abflußmengen zu benutzen waren. In mancherlei Hinsicht würde sich hieraus ein noch besseres Bild ergeben, wie es ohne diesen Ersatz erhalten wurde. Bei umsichtiger und allseitiger Verwertung der Wasserstandsbeobachtungen kann man aber doch die erforderliche Auskunft aus ihnen in den meisten Fällen erzielen, wie beispielsweise die Untersuchungen im Weserwerke über die Senkungserscheinungen und die Quellenspeisung bei Niedrigwasser dartun. Durch Heranziehung der Abflußmengen sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen nicht wesentlich geändert, sondern in fast allen Einzelheiten bestätigt worden.

Jedenfalls erschien es vorsichtiger, sich mit dem näherungsweise richtigen Bilde über den Abflußvorgang zu begnügen, wie es aus den Wasserstandsbeobachtungen zu gewinnen war, als an Stelle der sicheren Beobachtungen unsichere Zahlen zu setzen und auf ihnen weittragende Schlüsse aufzubauen, denen eine feste Grundlage fehlt. Dies ist sonst leider öfters geschehen, indem aus wenigen vereinzelt Messungen von Abflußmengen eine über die ganze Pegelhöhe reichende Wassermengenlinie entworfen wurde, deren Form voraussichtlich erheblich zu ändern wäre, wenn Messungen in genügender Zahl vorlägen.

Noch weniger genau sind vielfach die Unterlagen für die Beurteilung der Niederschlagsmenge, da in den meisten Teilen unserer Stromgebiete

ein einigermaßen ausreichend engmaschiges Netz von Regenmeßstellen erst seit kurzer Zeit besteht. Die Frage, wieviel Regen oder Schnee innerhalb eines Monats auf einer bestimmten Fläche gefallen ist, kann oft noch weniger zuverlässig beantwortet werden als die Frage, wie groß die Abflußmenge in dem diese Fläche entwässernden Flusse war. „Die Kenntnis der normalen Verteilung der Niederschläge auf die einzelnen Monate des Jahres ist nur bei solchen Stationen gewährleistet, welche über längere Beobachtungsreihen verfügen, da sonst die Unsicherheit der erhaltenen Mittelwerte zu groß ist. Beträgt doch der wahrscheinliche Fehler eines Monatsmittels im Durchschnitt für Deutschland bei zehn Beobachtungsjahren etwa $\pm 12\%$, bei 40 Beobachtungsjahren noch $\pm 6\%$ der betreffenden Monatssumme.“ (Oderwerk, Bd. I S. 36.)

d) Ermittlung des Abflußverhältnisses für Abschnitte des Jahres (Halbjahre, Monate).

Schon wegen jener Unsicherheit haben die auf zu kleine Abschnitte des Jahres, z. B. auf Monate bezogenen Vergleiche zwischen Abfluß und Niederschlag weit geringeren inneren Wert als bei Bezugnahme auf größere Abschnitte, deren Mittelwerte mit minder großen Fehlern behaftet sind. Hierzu kommt, daß bei der auf Monate erstreckten Betrachtung Abfluß- und Niederschlagsmengen miteinander verglichen werden, die größtenteils gar nicht zusammengehören, da die im Februar/März abschmelzenden Schneemassen häufig lange vorher gefallen sind, und ihr Schmelzwasser teilweise erst im Sommer aus den Quellen und Grundwasserströmen in die Wasserläufe übergeht. Auch in dieser Hinsicht hat die Beschränkung der vergleichenden Betrachtung auf Halbjahre höheren Wert, obgleich auch bei ihnen noch eine Uebertragung (aber in viel geringerem Maße) stattfindet.

Bei der aus dem Bureau des Wasserausschusses hervorgegangenen preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde ist in Aussicht genommen, sobald genügend lange Reihen von Niederschlagsbeobachtungen einer größeren Zahl von Regenmeßstellen vorliegen, für alle wichtigeren Wasserläufe, deren Abflußmengen sicher genug festgestellt sind, die Beziehungen zwischen Abfluß und Niederschlag der einzelnen Monate zu ermitteln. Indessen soll hierbei ihr Abflußverhältnis nicht in der jetzt üblichen Weise als Prozentzahl zwischen der Abfluß- und Niederschlagsmasse eines jeden Monats berechnet werden. Denn die so gewonnenen Zahlen drücken nicht das aus, worauf es ankommt, und haben vielfach Irrtum veranlaßt. Vielmehr wird beabsichtigt, die Abflußmasse eines jeden Monats als Prozentzahl der jährlichen Niederschlagsmasse anzugeben, so daß die Summe der Monatsprozentzahlen dem Jahresabflußverhältnis gleich ist. Die Unterschiede dieser Zahlen und der monatlichen Prozentzahlen des Niederschlags stellen den in jedem Monat durch

Verdunstung und andere Ursachen eintretenden Verlust dar. Aus beiden Prozentzahlenreihen geht ohne weiteres hervor, wie groß die Einnahme und Ausgabe eines jeden Monats im Vergleiche zur jährlichen Gesamteinnahme ist. Sie lassen sich daher auch zur übersichtlichen Vergleichung mehrerer Flußgebiete benutzen, wenn z. B. nach verschiedenartigen Anhaltspunkten abgeschätzt werden soll, welcher Teil der Monateinnahme im Winterhalbjahr durch Schneeanhäufung und Versickerung zurückgestellt wird, um die große Ausgabe zur Zeit der endgültigen Schneeschmelze bestreiten zu helfen und noch einen Ueberschuß auf das Sommerhalbjahr für die Quellenspeisung zu übertragen.

Für das in den Reihen 4 bis 6 der folgenden Tabelle nach dem bisher üblichen Verfahren behandelte Beispiel des Kochergebiets („Verwaltungsbericht der württembergischen Ministerialabteilung für den Straßen- und Wasserbau für 1897/98 und 1898/99“) erwecken die aus Reihe 1 und 2 berechneten Abflußverhältniszahlen den Anschein, als sei der monatliche Niederschlagsverlust am kleinsten im März und am größten im Juli. Dagegen ergeben die nach unserem Verfahren auf den Jahresniederschlag bezogenen Prozentzahlen der Reihen 7 und 8 den Verlust am kleinsten im Februar und am größten im Juni. Die in den Reihen 1 bis 3 enthaltenen Zahlen, auf denen beide Berechnungen beruhen, geben an, wie viele Millionen cbm durchschnittlich in jedem Monat während der Jahresreihe 1888/98 im Kochergebiet als Niederschlag gefallen, zum Abfluß gelangt oder in Verlust geraten sind. Sie zeigen, daß tatsächlich die Abflußverhältniszahlen der Reihe 6 irreführen, dagegen die nach unserem Verfahren berechneten Prozentzahlen ein richtiges Bild liefern. Denn der in Millionen cbm ausgedrückte Verlust ist im Februar etwas kleiner als im März, sowie im Juni erheblich größer als im Juli.

Reihe	Kocher- gebiet (1989 qkm)	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Winter	Sommer	Jahr
1	Ganze Niederschlagsmasse	99	111	93	111	123	121	139	209	189	159	137	163	658	996	1654
2	Ganze Abflußmasse	38	54	58	90	99	53	46	39	30	28	34	46	392	223	615
3	Ganze Verlustmasse	61	57	35	21	24	68	93	170	159	131	103	117	266	773	1039
4	Prozente des Niederschlags	6,1	6,7	5,6	6,7	7,4	7,4	8,4	12,6	11,4	9,6	8,3	9,8	39,9	60,1	100
5	Prozente des Abflusses	6,3	8,8	9,4	14,3	16,2	8,6	7,5	6,4	4,9	4,6	5,5	7,5	63,6	36,4	100
6	Abflußverhältnis	38,2	48,6	62,5	80,5	80,6	44,0	33,3	18,6	15,8	17,5	24,5	28,0	59,6	22,3	37,2
7	Abfluß-Prozentzahlen	2,3	3,3	3,5	5,4	6,0	3,2	2,8	2,4	1,8	1,7	2,0	2,8	23,7	13,5	37,2
8	Verlust-Prozentzahlen	3,8	3,4	2,1	1,3	1,4	4,2	5,6	10,2	9,6	7,9	6,3	7,0	16,2	46,6	62,8

Mill. cbm

Prozente

e) Zeitliche und örtliche Verschiebungen des Abflusses.

Aus den oben genannten Gründen haben wir die Ermittlung des Abflußverhältnisses der Stromgebiete einstweilen nur für die Halbjahre und das Jahr vorgenommen und bei der Oder unterlassen, weil zur Zeit der Niederschrift des Oderwerkes nicht genug Messungen von Abflußmengen vorlagen, um eine zuverlässige Wassermengenlinie für den Unterlauf entwerfen zu können, was bei den übrigen Strömen besser möglich war. Unbeachtet mußte bleiben, daß in seenreichen Flachlandschaften die Niederschläge eines Jahres teilweise erst während des folgenden Abflußjahres abfließen. Beispielsweise hängen die sommerlichen Wasserstände der großen masurischen Seen mehr von den Sommerregen des Vorjahres als von den gleichzeitigen Sommerregen ab (Weichselwerk, Bd. IV S. 478). Da es sich vorwiegend um große Gebietsflächen handelt, gleichen sich wohl einigermaßen die Ungenauigkeiten aus, die dadurch entstehen, daß der versickerte Anteil des Niederschlags manchmal nicht dort zum Abfluß gelangt, wo er gefallen ist, sondern in einem benachbarten Flußgebiet. Auf solchem Wege empfangen manche Strecken unserer Ströme eine reichliche unterirdische Speisung, die ihre Abflußmenge besonders zur Niedrigwasserzeit vermehrt, obgleich die Seitengewässer wenig hinzubringen, z. B. die tief in das Höhenland eingeschnittenen Strecken des Memelstromes in Litauen von Grodno bis Kowno und der Weser von Karlshafen bis Rinteln.

Wie im Weserwerke nachgewiesen, ist die ungewöhnlich kräftige sommerliche Speisung der letztgenannten Stromstrecke zuweilen bedeutend beeinträchtigt worden, wenn im vorangegangenen Winter nicht genügend große Wassermengen versickern konnten, um die Quellen nachhaltig zu versorgen. Beispielsweise war im Winterhalbjahr 1892/93, das nur 20 % der normalen Wintersumme an Niederschlägen brachte, dem Schneefalle ein anhaltender harter Frost vorausgegangen, der den Boden undurchlässig machte. Die Schneedecke wurde beim Tauwetter im Januar/Februar 1893 rasch aufgezehrt, ohne daß das Schmelzwasser in tiefere Schichten eindrang. Nachdem die frühzeitig eingetretenen Schmelzfluten verlaufen waren, blieb die nachhaltige Wasserversorgung der Quellen aus, und der Mangel an größeren sommerlichen Niederschlägen trug zur Erzeugung einer unerhörten Wasserklemme in der Weser und anderen Strömen bei. In ähnlicher Weise haben nicht selten die dem trockenen Sommer vorangegangenen Wintermonate infolge ihrer geringen Niederschläge und wegen des harten Frostes auch sehr niedrige Wasserstände bis zum Beginne der Schneesmelze, dann aber rasch vorübergehende Hochfluten von namhafter Höhe gebracht. Letztere trugen den nicht verdunsteten Teil des winterlichen Niederschlags ziem-

lich vollständig weg, so daß hernach während der sommerlichen Trockenzeit eine Wasserklemme zu entstehen pflegte.

Die Zahl der Beispiele würde sich bis zur Ungeduld vergrößern lassen, um den Nachweis zu führen, daß der zur Versickerung gelangte Teil des Niederschlagswassers keineswegs immer binnen kurzer Zeit (10 bis 20 Tage) wieder zutage tritt und nachträglich abfließt, sondern daß öfters viele Wochen und Monate zwischen den Zeitpunkten des Versickerns und des offenen Abflusses verstreichen.

f) Ueberschätzung der Einwirkung der jährlichen Niederschlagshöhe auf die Größe des Abflußverhältnisses.

Während bei früheren Untersuchungen über den Abflußvorgang auf die unterirdische Wasserbewegung, Durchlässigkeit des Bodens und Quellenspeisung vielleicht zu großes Gewicht gelegt wurde, ist man neuerdings in den umgekehrten Fehler verfallen, die auf der Sonderbeschaffenheit des Niederschlagsgebiets beruhenden Einwirkungen zu unterschätzen, das nach Intensität und jahreszeitlicher Verteilung verschiedenartige Verhalten der Niederschläge nicht zu beachten, den sehr großen Einfluß der Temperaturverhältnisse nicht genug zu würdigen, dagegen der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe eine zu weit gehende Bedeutung beizumessen. Werden z. B. die Zahlenwerte unserer Tabelle nach der Größe des Jahres-Abflußverhältnisses geordnet, so stehen Ems und Weser obenan, deren Stromgebiete auch die größten Niederschlagshöhen aufweisen. Dann folgt aber, dicht nach der Weser, der Memelstrom mit dem niederschlagsärmsten Gebiet. Die jährliche Niederschlagshöhe übt also bei den von uns betrachteten Stromgebieten keine überwiegende Einwirkung auf die Größe des Abflußverhältnisses aus. Wie man sieht, sind die sonstigen Veränderlichen, von denen die Beziehungen zwischen Abfluß und Niederschlag abhängen, in diesen Stromgebieten zu verschiedenartig, als daß die neuerdings zu stark berücksichtigte Veränderliche, die jährliche Niederschlagshöhe, vorherrschen könnte. Eine zuverlässige Lösung der Frage, welches Maß der Einwirkung ihr zukommt, wird erst auf Grund zahlreicher Einzeluntersuchungen von Flußgebieten mit sorgfältiger Berücksichtigung ihrer Sondereigenschaften zu erzielen sein. Auf die Steigerung des Abflußverhältnisses durch die Frostwirkung kommen wir in Anm. 17 (S. 95 und 99) zurück.

g) Beziehungen zwischen Abfluß und Niederschlag bei Hochwassererscheinungen.

Wie sich jene Beziehungen bei Hochwassererscheinungen gestalten, geht aus zahlreichen Beschreibungen der Ausbildung und des Verlaufs neuerer Hochfluten hervor. Unter den hierbei zu gewinnenden Ergebnissen sind in unserer Schrift zwei Gegenstände bisher noch nicht er-

wähnt worden: 1) die Entwicklung der Hochfluten in den Quellgebieten, nach Zeit und Wasserstandshöhe im Zusammenhange mit den verursachenden Niederschlägen betrachtet, 2) das Verhältnis zwischen der Gesamtmasse einer Flutwelle und der Gesamtmasse der sie verursachenden Niederschläge. Auf letztere Frage gehen wir in Anm. 17 näher ein.

Das für die Behandlung des erstgenannten Gegenstandes einzuschlagende Verfahren ist im Heft VI (S. 119 ff.) der vom badischen Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie herausgegebenen „Untersuchungen über die Hochwasserverhältnisse im Rheingebiet“ für den Obermain und die wichtigsten Nebenflüsse des Mains näher dargelegt. Die Untersuchung ergab für den Obermain, daß bei der unweit Bamberg liegenden Pegelstelle Baunach das Steigen des Hochwassers 1 bis 2 Tage nach dem Einsetzen des Regens beginnt, der höchste Scheitel der Flutwelle 1 bis 2 Tage nach der stärksten Ueberregnung folgt und der Rückgang der Welle 4 bis 14 Tage nach Aufhören des Niederschlags stattfindet. Der Scheitelhöhe 2,0 m a. P. Baunach entspricht z. B. die größte mittlere Regenhöhe 5 mm (ausgeglichenes 2-tägiges Mittel für die Gebietsfläche), ferner der Scheitelhöhe 6,0 m a. P. die Regenhöhe 27 mm. Bei gleichzeitiger Schneeschmelze, namentlich über gefrorenem Boden, kann die gleiche Scheitelhöhe schon durch die Hälfte der genannten Regenhöhen erreicht werden.

Eine Verwertung solcher Untersuchungen zur Hochwasservoraussage für das Quellgebiet selbst hat wegen der schnellen Entwicklung der Hochfluten große Schwierigkeiten; Baunach liegt z. B. schon weit ab von der Quelle des Weißen Mains (129 km) und von seiner Vereinigung mit dem Roten Main (74 km). Aber zur Klärung des Urteils über das Auftreten und den weiteren Verlauf der Flutwellen und zur Hochwasservoraussage für die unterhalb befindlichen Pegelstellen wäre eine Einbeziehung der Regenbeobachtungen in den Hochwassermeldedienst recht zweckmäßig. Bei dieser Gelegenheit mag bemerkt werden, daß die Möglichkeit einer Hochwasservoraussage aus der allgemeinen Wetterlage (Zentralblatt der Bauverwaltung, Jahrg. 1894 S. 350 ff.) auch jetzt noch nicht spruchreif erscheint. Sowohl im Vortrage, als auch in den Anmerkungen haben wir vermieden, auf die Abhängigkeit des Entstehens der Hochfluten von bestimmten Wetterlagen näher einzugehen, um nicht in das meteorologische Forschungsgebiet überzugreifen. Namentlich über die Vorbedingungen, die bei einer im Sommer häufig stattfindenden Luftdruckverteilung mit barometrischen Minima in unseren Grenzmarken gegen Ungarn und Polen außerordentliche Niederschläge und Hochfluten entstehen lassen, gehen die Ansichten der Meteorologen vorläufig weit auseinander. Sicher scheint nur zu sein, daß es sich dabei stets um langsam ihre Lage ändernde Depressionen handelt.

11. Jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge.

Die in Anm. 10 auf S. 54 enthaltene Tabelle zeigt, daß die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge auf das Winter- und Sommerhalbjahr in den nordöstlichen Stromgebieten anders als in den nordwestlichen ist. Zwar überwiegen auch bei letzteren die sommerlichen Niederschläge, aber doch in geringerem Maße als bei den nordöstlichen Gebieten. In deren ausgedehnten Ebenen sind die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen in den einzelnen Landschaften verhältnismäßig wenig verschieden und schwanken meistens von 500 bis 700 mm. Nur das am Südrande des Weichselgebiets erstreckte Gebirgs- und Hügelland weist eine rasche Zunahme mit der Höhenlage auf, etwa von 800 bis 1200 mm. Dagegen ändert sich der jährliche Verlauf des Niederschlags erheblich. Je kontinentaler die Landschaften im Memel-, Pregel- und Weichselgebiete liegen, desto früher und intensiver stellt sich das Niederschlagsmaximum ein, und desto früher fällt das an Intensität überall gleiche Minimum. Die größten Prozentzahlen der Jahressumme gehören im Gebirgslande dem Juni/Juli an und schieben sich mit abnehmender Kontinentalität auf den August oder (im kurischen Küstenlande) auf den September. Die kleinsten Prozentzahlen verschieben ihre Stelle vom Januar/Februar (im Gebirge) in gleicher Weise auf den März oder (im kurischen Küstenlande) auf den April. Während die Höhenlage der Meßstelle auf die Niederschlagsprozentzahlen der Wintermonate keine merkliche Einwirkung ausübt, sind diejenigen der Sommermonate im Gebirge wesentlich größer als im Flachlande, so daß die Prozentzahlen der beiden Halbjahre im Gebirge weit mehr voneinander verschieden sind als im Flachlande. Beide Erscheinungen, nämlich die Zunahme der jährlichen Niederschlagshöhe in den Gebirgen und die dortige Steigerung der Prozentzahlen für die sommerliche Jahreshälfte, namentlich die Monate Juni/August, werden hauptsächlich durch die starken Regengüsse bedingt, die bei nördlichen bis nordwestlichen Winden die südliche Zone des Weichselstromgebiets öfters überschütten und zuweilen in wenigen Tagen $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der mittleren Jahressumme des Niederschlags fallen lassen.

In den Stromgebieten Nordwestdeutschlands schwanken die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen auf kurzen Entfernungen in weiten Grenzen. Ihre bedeutende Zunahme mit der Höhenlage bedingt, daß beispielsweise dem Oberharz eine Jahressumme von 1200 mm (am Brockengipfel bis zu etwa 1700 mm) zukommt, während die Flachlandschaften in seiner Nähe durchschnittlich nur 550 bis 700 mm jährlichen Niederschlag empfangen. Andererseits hat die ganze Gebietsfläche ein einheitlicheres klimatisches Gepräge und einen gleichmäßigeren jährlichen Verlauf des Niederschlags. Fast überall fallen die

größten Monatsmittel auf den Juli, die kleinsten auf einen der Wintermonate, deren Prozentzahlen jedoch nur wenig voneinander verschieden sind. Während bei den östlichen Stromgebieten die Unterschiede der Prozentzahlen des niederschlagsreichsten und niederschlagsärmsten Monats im Flachlande rund 8 bis 9, im Gebirge bis zu 14 % betragen, wachsen sie im Weser- und Emsgebiete höchstens auf 7 bis 8 % und vermindern sich gerade in den Gebirgen auf rund 5 %, da in den höheren Lagen die ausgleichende Eigenschaft des Seeklimas noch mehr als im angrenzenden Flachlande zur Geltung kommt. Umgekehrt wie im Osten, wo die Intensität der Sommerniederschläge im Gebirge viel größer als im Flachland ist und beim Monatsmaximum bis zu 17,6 % anwächst, weisen der Harz und Thüringerwald im regenreichsten Monat Juli nur 10,4 bis 10,8 % der Jahressumme auf, die benachbarten Bodensenken und das Flachland aber rund 12 bis 13 %. Betrachtet man gleichzeitig die Niederschlagshöhe und die prozentische Verteilung, so übertrifft der Niederschlag im Gebirge zwar stets denjenigen der tiefer liegenden Gegenden, jedoch während der Monate Dezember/Februar etwa doppelt soviel wie im Juni/August; Frühling und Herbst bilden den Uebergang. Unter Hinweis auf S. 9,10 sei daran erinnert, daß im nordwestlichen Deutschland Wetterlagen mit sehr starken und zugleich weit ausgebreiteten Niederschlägen fast nur im Winter vorkommen.

Geht man vom Weser- zum Lahn- und Maingebiet über, so behält bis zur Mainlinie der Juli die größte Prozentzahl und gibt sie weiter südlich an den Juni ab, der bis in die Alpen hinein meistens niederschlagsreichster Monat bleibt, stellenweise aber den Vorrang an einen der Herbstmonate abtreten muß. Die geringsten Niederschläge hat im süd westlichen Deutschland der Januar, weiter gegen Norden der April, in dem auch im Weser- und Emsgebiet gewöhnlich am wenigsten Regen fällt. Der jährliche Verlauf des Niederschlags ist weniger einheitlich gestaltet wie im Nordwesten. Statt der vorwiegenden Sommerregen treten in den Gebirgen am Oberrhein, wo die Zunahme mit der Höhenlage sehr groß ist, die stärksten Niederschläge im Herbst, in den höheren Lagen der Vogesen sogar im eigentlichen Winter ein. Während in der Schweiz dem Januar nur rund 4 % der Jahressumme zukommen, wächst seine Prozentzahl rheinabwärts allmählich auf rund 7 %. „Höchst wahrscheinlich hängt diese Tatsache mit der Wandlung zusammen, welche die klimatischen Verhältnisse mit der wachsenden Entfernung vom Meere durchmachen, indem die barometrischen Minima, welche die Veranlassung zu Niederschlägen geben, nur mehr die Küsten und die ihnen zunächst liegenden Gebiete zu beeinflussen vermögen. Im Frühjahr, vornehmlich im April, dagegen beginnen Luftwirbel, welche südlich des Rheingebiets jenseits der Alpen liegen, über diese überzugreifen. Dem Umstand, daß ihr Einfluß sich nach Norden

hin allmählich verliert, dürfte es zuzuschreiben sein, daß um diese Jahreszeit die südlichen Teile Mitteleuropas verhältnismäßig größere Niederschlagsmengen als die nördlichen zeigen“ (Rheinwerk, S. 144). Hierzu wäre ergänzend zu bemerken, daß auch die höheren Lagen des nordwestdeutschen Gebirges von den winterlichen Minima in ähnlicher Weise wie das Küstenland betroffen werden. Das mehr kontinental liegende Hochgebirge im Süden hat dann wieder, ähnlich wie die östlichen Karpathen, die größten Prozentzahlen im Juni, die kleinsten im Januar. Ihr Unterschied beträgt rund 10 ⁰/₁₀₀, ist also doppelt so groß wie im Harz und Thüringerwalde. Die jährliche Niederschlags-höhe wächst im südlichen Teile des Rheingebiets vielfach über 1000 mm an; sie steigt in den Vogesen auf mehr als 2000 mm und erreicht ihren größten Betrag am Bernardin mit 2500 mm.

Nachfolgende Tabelle enthält für eine Anzahl von Gebirgen, die von Osten nach Westen und dann nach Süden geordnet sind, die Prozentzahlen der Jahressummen des Niederschlags für die beiden Hälften des Abflußjahres, das Winterhalbjahr vom Mai bis Oktober, das Sommerhalbjahr vom November bis April gerechnet. Diese bei den Arbeiten des Bureaus des Wasserausschusses seit seiner Errichtung (Ende 1892) allgemein durchgeführte Jahresteilung muß an dieser Stelle ausdrücklich erwähnt werden, weil bei meteorologischen Arbeiten anders gerechnet zu werden pflegt, indem man das mit Dezember beginnende und mit November endigende Jahr in vier Abschnitte (Winter, Frühling, Sommer, Herbst) trennt. Für das Rheingebiet sind die Halbjahrprozentzahlen nach den Angaben des Rheinwerkes berechnet, für die übrigen Stromgebiete den Kapiteln „Klimatische Verhältnisse“ der im Auftrage des Wasserausschusses bearbeiteten Werke entnommen. Für den Harz und Thüringerwald ist der Durchschnitt aus den Angaben des Elbe- und Weserwerkes eingesetzt worden.

Prozente der Jahressummen des Niederschlags.

Halbjahr	Nordseite der Hohen Tatra	Nordseite der Kar- pathen	Beskiden (Weichsel- gebiet)	Beskiden (Oder- gebiet)	Mittel- schlesisch. Bergland	Riesen- gebirge	Ober- lausitz
	P r o z e n t e						
Winter . . .	29,2	34,8	33,4	40,0	35,9	38,5	37,6
Sommer . . .	70,8	65,2	66,6	60,0	64,1	61,5	62,4
Halbjahr	Süd- böhmisch. Bergland	Böhmer- wald	Erz- gebirge	Thü- ringer- wald	Harz	Leine- gebiet	Werra- gebiet
	P r o z e n t e						
Winter . . .	37,7	35,4	43,2	47,5	50,2	42,0	42,8
Sommer . . .	62,3	64,7	56,8	52,5	49,8	58,0	57,2

Halbjahr	Fulda- gebiet	Links- rheinisch. Schiefer- gebirge	Oden- wald, Spessart.	Stüdlicher Schwarz- wald	Vogesen	Quell- gebiet der Aare	Quell- gebiet des Rheins
Winter . . .	38,4	46,0	41,3	44,2	54,0	38,0	35,5
Sommer . . .	61,6	54,2	58,7	55,8	46,0	62,0	64,5

Ein Ueberwiegen der winterlichen Niederschläge findet demnach nur auf dem Harz und in den Vogesen statt. Prozentzahlen des Winters über 40 % zeigen noch alle erwähnten deutschen Mittelgebirge bis zur Elbe hin, abgesehen vom Fuldagebiet, für das nur Talstationen verfügbar waren. Zwischen dem Erzgebirge und dem Böhmerwalde einerseits, der Oberlausitz andererseits liegt die Grenze, an der eine schnelle Zunahme der sommerlichen Niederschläge gegen Osten und Süden hin beginnt, während diejenigen des Winters auf 34,8 % in den Karpathen, 33,4 % in den Beskiden des Weichselgebiets und 29,2 % am Nordhange der Hohen Tatra abnehmen. Diesen Zahlenwerten nähern sich im Hochgebirge die Prozentzahlen für die Quellgebiete der Aare (38,0 %) und des Vorder- und Hinterrheins (35,5 %). Im nordöstlichen Flachlande fallen durchschnittlich 36 bis 37 % der Jahressumme des Niederschlags während des Winterhalbjahrs, im Flachlande des Elbegebiets etwa 39 %, im nordwestdeutschen Flachlande rund 42 bis 43 %.

Am gleichmäßigsten verteilt sind die Niederschläge im Harz, wo der Unterschied zwischen den Winter- und Sommer-Prozentzahlen nur 0,4 % ausmacht, dagegen in den Mittelgebirgen bis zur Elbe 5 bis 17 %, in den östlichen Gebirgen meist 25 bis 30 %, sogar bis zu 41,6 % an der Hohen Tatra, ferner im Schweizer Hochgebirge 24 bis 29 %. Die Verschiedenheit der Verteilung des Niederschlags auf beide Halbjahre, die im Osten schon im Flachlande ziemlich groß ist, wird dort in den Gebirgen noch verschärft. Nach Westen hin verringern sich diese Gegensätze im Flachlande beträchtlich und noch mehr in den Gebirgen. Nach Süden nehmen sie mit der kontinentaleren Lage wieder zu, bleiben also auf der dem Weltmeere zugekehrten Seite des Rheins kleiner und wachsen rasch im Hochgebirge. Vergleicht man in der Tabelle auf S. 54 die nordöstlichen Stromgebiete untereinander, so ist daher bei dem Flachlandgebiete des Memelstroms das Uebergewicht der sommerlichen Niederschläge (25,4 %) nicht ganz so groß wie beim Weichselgebiete, das teilweise aus Gebirge besteht (29,7 %). Weitaus geringer ist es im Weser- und Emsgebiete (13,3 und 12,6 %).

Die durchschnittliche Höhe der Niederschlags-Jahressummen für die ganzen Stromgebiete nimmt nach der Tabelle auf S. 54 von Osten nach Westen im allgemeinen zu: Memelstromgebiet

579 mm, Weichselgebiet 620 mm, Elbegebiet 601 mm, Wesergebiet 713 mm, Emsgebiet 728 mm, Rheingebiet rund 900 mm (vgl. Rheinwerk, S. 143). Die Mehrhöhe, die sich beim Weichselgebiet gegenüber dem Memelstromgebiete zeigt, kommt fast ganz auf Rechnung der stärkeren Sommerregen (363 mm im Memelstromgebiet, 402 mm im Weichselgebiet), die Mehrhöhe des Weser- und Emsgebiets gegenüber dem Weichselgebiete fast ganz auf Rechnung der größeren Winterniederschläge (218 mm im Weichselgebiet, 309 im Weser- und 318 mm im Emsgebiet). Dagegen sind die Winterniederschläge im Memelstrom- und Weichselgebiete einander fast gleich (216 und 218 mm), ebenso die Sommerniederschläge im Weichsel-, Weser- und Emsgebiete (402, 404 und 410 mm). Folgende Tabelle möge dies verdeutlichen.

Stromgebiet	Jahres- summe des Nieder- schlags	Halbjahr- summen		Prozent- zahlen		Unterschiede der Stromgebiete nach			
		Win- ter	Som- mer	Win- ter	Som- mer	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6
	mm	Millimeter		Prozent		Millimeter		Prozent	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Memelstrom	579	216	363	37,3	62,7	+ 2	+ 39	- 2,1	+ 2,1
Weichsel	620	218	402	35,2	64,8	+ 91	+ 2	+ 8,2	- 8,2
Weser	713	309	404	43,4	56,6	+ 9	+ 6	+ 0,3	- 0,3
Ems	728	318	410	43,7	56,3				

Eine Berücksichtigung der Temperaturverhältnisse würde uns zu weit führen. Nur möge bemerkt werden, daß in den Flachlandschaften der nordöstlichen Stromgebiete die Zahl der Eistage (40—60) etwa doppelt so groß ist wie im Flachlande der nordwestlichen Stromgebiete (20—30), ferner die Zahl der Frosttage im Nordosten (110—130) erheblich größer als im Nordwesten (80—100), desgleichen die Zahl der Schneetage im Nordosten (48—56) größer als im Nordwesten (26—30), schließlich auch die Dauer der Schneedecke im Nordosten (60—80 Tage) größer als im Nordwesten (40—50 Tage). In den Gebirgen nehmen alle diese Zahlen bedeutend zu, so daß sie sich im Gebirgslande des Wesergebiets denjenigen des kalten Memelstromgebiets nähern und in den höchsten Lagen diese noch übertreffen.

12. Wasserstandsbewegung im Kreislaufe des Jahres.

Der oben (S. 11) auf die jährliche Bewegung der Mittelwasserstände beschränkte Vergleich der deutschen Ströme wird durch die nachstehende Tabelle (S. 67) veranschaulicht. Es würde zu weit führen, ihn auf das mittlere Niedrigwasser und mittlere Hochwasser auszudehnen, obgleich gerade letzteres schärfer die Einwirkung der Hochfluten auf

die gemittelten Wasserstände zur Erscheinung bringt, wie das in unserer Tabelle auf S. 69/70 mitgeteilte Beispiel zeigt. Auch wäre für einen derartigen Vergleich verschiedener Ströme erforderlich, sämtliche Beobachtungsreihen aus demselben Zeitraum von nicht zu geringer Länge zu nehmen, weil die gemittelten Grenzwerte der Wasserstände an jeder einzelnen Pegelstelle wesentlich verschieden groß ausfallen, je nachdem man sie aus einer langen oder kurzen Reihe von Jahren, aus einem hochwasserreichen oder hochwasserarmen Zeitraum berechnet. Für das Mittelwasser und den Zweck unseres Vergleichs kommt die Ungenauigkeit weniger in Betracht, die durch Zugrundelegung ungleich großer Zeiträume entsteht. Am wenigsten sicher sind die aus den Veröffentlichungen des württembergischen hydrographischen und bayrischen hydrotechnischen Bureaus entnommenen Mittelwasserzahlen für die 3 Donaupegel, weil sie aus zu kurzen Beobachtungsreihen abgeleitet wurden für Tuttlingen aus der Jahresreihe 1891/1900, für Donauwörth und Passau aus der Jahresreihe 1890/99.

Monat	Memel	Weichsel		Oder		Elbe	Weser		Ems	Rhein			Donau		
	Tilsit	Warschau	Kurzerbrack	Glogau	Schwedt	Barby	Karls- hafen	Nienburg	Meppen	Man- helm	Köln	Emmerich	Tutt- lingen	Donau- wörth	Passau
Z e n t i m e t e r (cm)															
November	220	98	130	136	146	140	74	92	116	403	257	200	38	59	169
Dezember	280	117	171	159	164	177	112	153	180	412	302	262	70	54	141
Januar	297	143	226	170	175	198	120	179	189	402	303	279	88	78	139
Februar	289	162	252	195	203	251	141	214	201	391	307	279	79	97	189
März	360	202	303	228	232	282	145	206	183	413	317	271	71	110	227
April	421	188	306	227	239	284	118	164	102	437	292	239	90	110	239
Mai	239	134	203	174	189	220	71	93	53	479	288	228	72	113	304
Juni	167	114	152	148	156	171	51	63	32	530	312	248	53	106	332
Juli	141	113	139	133	153	141	41	50	35	521	299	237	47	80	327
August	163	110	133	130	146	126	33	40	36	494	272	208	30	75	310
September	147	85	107	118	140	111	25	28	24	456	248	185	28	78	285
Oktober	174	86	109	119	135	126	45	50	57	420	238	176	28	70	209
Winter	311	152	231	186	193	229	118	168	162	410	296	255	73	85	184
Sommer	172	107	141	137	153	152	44	54	40	484	276	213	43	87	294
Jahr	242	129	186	161	173	191	81	111	101	447	286	234	58	86	239

Den Angaben des Vortrags (S. 11) ist wenig hinzuzufügen. Abgesehen von den beiden Strömen, die Zufuhr aus dem Hochgebirge erhalten, zeigen alle übrigen Ströme des Mittelgebirges und Flachlandes ein

Uebergewicht der winterlichen Wasserstände, und die größten Monatswerte liegen bei ihnen durchweg im Winter, die kleinsten im Sommer. Bei dem am östlichsten liegenden Memelstrome übertrifft der Größtwert im April erheblich die beiden Nachbarwerte. Bei der Weichsel, Oder und Elbe sind die Unterschiede im März und April so gering, daß der Größtwert zwischen beiden Monaten schwankt und sich in den südlicher gelegenen oberen Strecken mehr dem März, in den nördlicheren unteren Strecken mehr dem April zuneigt, was keiner Erklärung bedarf. Bei der Weser gilt dasselbe für die Monate Februar und März, und bei der am westlichsten liegenden Ems verhält sich der Februar ähnlich wie beim Memelstrome der April. Den Kleinstwert haben die norddeutschen Ströme mit Ausnahme weniger Pegelstellen im Herbst, meistens im September. Nur wo die Herbstregen eine größere Rolle spielen, verschiebt sich der Kleinstwert auf den Hochsommer z. B. beim Memelstrome und beim Pregel, für den in der Tabelle keine Pegelstelle Platz fand.

Am Rhein beherrscht noch bei Mannheim die Speisung aus den Hochgebirgsflüssen vorwiegend den Gang des Mittelwassers, dessen Größtwert hier im Juni und Kleinstwert im Februar liegt, wie dies die Schnee- und Gletscherschmelze im Sommer und das hartnäckige Frostwetter der Alpenlandschaft im Winter bedingen. Hier hat daher die sommerliche Jahreshälfte auch einen höheren Durchschnittswasserstand als die winterliche. Bei Köln ist durch den Hinzutritt der Mittelgebirgsflüsse bereits das Uebergewicht auf das Winterhalbjahr gebracht, freilich nur in geringem Maße, noch mehr bei Emmerich. Die Größtwerte liegen dementsprechend bei Köln im März, bei Emmerich schon im Februar, die Kleinstwerte im Oktober. Indessen wolle man beachten, daß die Hochgebirgspeisung dem Juni-Mittelwasser auch noch am Niederrhein eine hohe Lage sichert, die bei Emmerich den Jahresdurchschnitt überschreitet und bei Köln nur 5 cm unter dem größten Monatswerte (im März) bleibt. Einen ähnlichen Gang wie bei Mannheim zeigt das Mittelwasser der Donau bei Passau, wo die Speisung aus den bayrischen Alpenflüssen kräftig einwirkt. Das Sommermittelwasser ist erheblich größer als das Wintermittelwasser; der Größtwert fällt auf den Juni, der Kleinstwert auf den Januar. Dagegen besitzt die württembergische Donau bei Tuttlingen eine der Elbe ähnelnde Verteilung: entschiedenes Vorherrschen der winterlichen Wasserstände, Größtwert im April, Kleinstwert im September. Zwischen Ulm und Passau vollzieht sich die Umwandlung, so daß beispielsweise bei Donauwörth der Kleinstwert auf den Dezember, der Größtwert auf den Mai kommt, während die Halbjahrsmittelwerte einander fast genau gleich sind, aber doch im Sommer schon etwas größer als im Winter.

Um den Uebergang des Rheins aus einem Hochgebirgsfluß in einen Mittelgebirgsfluß deutlicher zu machen, enthält

nachfolgende Tabelle (S. 69/70) die dem Rheinwerke entlehnten Angaben über das mittlere Hochwasser der Monate und des Jahres für eine Anzahl von Pegelstellen am Bodensee, Rhein und seinen wichtigsten Nebenflüssen, berechnet aus 36-jährigen Beobachtungen des Zeitraumes 1851/86. Beim Bodensee, jenem mächtigen Sammelbecken des Alpenhochwassers, liegt der Größtwert im heißesten Monat Juli, der Kleinstwert im Februar, dem der kälteste Monat Januar vorangeht. Von Waldshut (oberhalb Basel) bis Frankenthal (unterhalb Mannheim) behauptet der Größtwert seine Lage im Juni, der auch bis Emmerich ein Nebenmaximum behält. Dagegen tritt das von den Mittelgebirgsflüssen verursachte winterliche Nebenmaximum (bei Maxau im Dezember, bei Mannheim im Januar) von Mainz ab in erste Linie, weshalb der Januar weiter stromwärts überall den Größtwert aufweist. Denn Neckar, Lahn und Mosel haben ihn gleichfalls im Januar, nur der Main erst im Februar und die Ruhr schon im Dezember. Den Kleinstwert im Februar behält der Oberrhein bis Speyer (unterhalb Maxau); er muß dann aber infolge der Zunahme des Hochwassers aus dem Mittelgebirge schnell zurückweichen. Ein bei Maxau bereits bemerkliches Nebenminimum nimmt von Mannheim bis Frankenthal den ersten Platz im November ein. Als dann verschiebt sich der immer schärfer hervortretende Kleinstwert von Mainz bis Bacharach (oberhalb Koblenz) auf den Oktober und weiter stromabwärts auf den September. Diesem Monate gehören bei allen Nebenflüssen die Kleinstwerte an, abgesehen von der Mosel, die im August das kleinste mittlere Hochwasser hat. Soweit im Rhein zwei deutliche Maxima vorhanden sind, muß natürlich zwischen ihnen ein Nebenminimum liegen, und zwar näher am Nebenmaximum, also von Mannheim bis Frankenthal im März, bei Mainz im April, von Bingen ab im Mai.

Pegelstelle	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Jahr
	Z e n t i m e t e r (cm)												
Bodensee (Konstanz)	338	313	298	287	295	327	382	441	448	432	401	371	463
Rhein (Basel)	207	201	184	172	186	228	270	317	299	294	275	233	408
„ (Maxau)	457	468	459	434	441	472	506	544	529	518	496	466	659
„ (Mannheim)	503	529	532	509	503	521	553	603	580	564	534	506	732
„ (Bingen)	256	288	317	315	290	274	273	296	284	272	248	240	433
„ (Koblenz)	354	408	442	425	409	360	336	353	335	313	299	313	586
„ (Köln)	378	450	487	470	453	389	358	379	357	331	311	330	648
„ (Ruhrort)	344	428	473	459	435	358	319	342	315	288	267	288	637
„ (Emmerich)	314	399	457	434	401	335	297	316	293	265	245	262	579

Pegelstelle	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	Oktober	Jahr
	Z e n t i m e t e r (cm)												
Neckar (Heilbronn)	186	240	252	245	247	227	210	216	159	149	139	137	411
Main (Miltenberg)	197	265	299	307	295	228	173	167	161	138	127	154	430
Lahn (Gießen)	262	338	373	351	329	247	191	196	172	150	135	207	450
Mosel (Trier)	252	327	365	311	286	213	160	130	110	93	113	182	468
Ruhr (Mülheim)	247	309	303	297	274	228	166	173	147	143	137	187	397

13. Gleichzeitiges Auftreten von Hochwassererscheinungen in mehreren Strömen.

Mehrfach bot sich Gelegenheit zum Hinweise, daß ähnliche Wetterlagen wie bei der in Anm. 1 näher beschriebenen Hochwassererscheinung öfters in mehreren Strömen gleichzeitig starke Anschwellungen hervorbringen. Außer der Oder und Donau kommt dabei auch die Weichsel sehr häufig, etwas seltener die Elbe in Betracht. Weniger oft beschränkt sich die gefährliche Erscheinung auf einen dieser Ströme allein und erzeugt in den Nachbarströmen gar keine oder so unbedeutende Erregung, daß ihre Anschwellungen nicht als eigentliches Hochwasser gelten können. Allerdings gehören hierzu einige der größten Hochfluten, z. B. diejenige vom August 1854 in der Oder und vom September 1899 in der Donau. In der Regel erweckt aber doch die Luftdruckverteilung auf größeren, über mehr als eines der genannten Stromgebiete ausgedehnten Landflächen die Neigung zur Entstehung ungewöhnlich starker Niederschläge, namentlich auf dem Nordhange unserer am meisten kontinental liegenden Gebirge.

Wird bei solchen weit ausgebreiteten sommerlichen Regengüssen unserer östlichen Stromgebiete das Alpenland betroffen, so wachsen die größten Tagesniederschläge keineswegs höher an als in den Sudeten, Beskiden und Karpathen, obgleich die mittlere Jahressumme der Niederschläge im Hochgebirge durchschnittlich größer als im Mittelgebirge ist. Beispielsweise hat die größte binnen 24 Stunden (von 7 zu 7 Uhr vormittags) gefallene Regenhöhe betragen: im Juli 1897 beim Donaugebiete in Hadersdorf 188, beim Elbegebiete in Wilhelmshöhe 300, beim Odergebiete (Lausitzer Neisse) in Neuwiese 345 mm, ferner im September 1899 beim Donaugebiete (Enns) in Mühlau 288 mm, schließlich im Juli 1903 beim Odergebiete auf der Lissagora (Ostrawitza) 192 und in Neu-Rothwasser (Glatzer Neisse) 240 mm. Abgesehen von der Lissagora, deren Kuppe

sich auf + 1325 m erhebt, liegen alle genannten Orte unter + 1000 m, teilweise in einer Meereshöhe, die von den bedeutenderen Erhebungen des Flachlandes überschritten wird. Für die zur Donauhochflut vom September 1899 führende Niederschlagserscheinung ist vom österreichischen hydrographischen Zentralbureau festgestellt worden, „daß die Seehöhe bis zu einem Niveau von + 800 m auf die Ergiebigkeit der katastrophalen Septemberregen nahezu ohne Einfluß war, daß hingegen von diesem Niveau mit zunehmender Erhebung eine successive Verminderung der Niederschlagsintensität, also geradezu das Gegenteil des für normale Verhältnisse gültigen Gesetzes zu konstatieren ist, wonach die Niederschlagszahlen mit der Seehöhe an Größe gewinnen sollen.“

Aehnliches zeigte sich beim ungewöhnlichen Niederschlage vom 3. August 1896 am Nordrande des Harzes, wobei Harzburg 156 mm erhielt, während auf dem Brocken die Regenhöhe unter 100 mm blieb. Die größte an dieser äußerst niederschlagsreichen Stelle beobachtete Regenhöhe (127 mm im Juli 1858) war bedeutend niedriger, als sie in jenen östlichen Gebirgen an vielen Orten mit weit geringeren Jahressummen gemessen worden ist. Auch im Thüringerwalde scheinen die größten Tagesniederschläge diesen Betrag kaum zu übertreffen (am 23. November 1890 in Oberhof 127, auf der Schmücke 137 mm). Die letztgenannten Niederschläge gehörten zu einer der größten jener in den westlichen Stromgebieten manchmal vorkommenden Erscheinungen mit weit ausgebreiteten winterlichen Regengüssen. Diese Niederschlagserscheinung vom November 1890 hatte eine ähnlich große Dauer und Verbreitung wie die zu außerordentlichen Hochfluten Anlaß gebenden Erscheinungen in den östlichen Stromgebieten. Außer dem Thüringerwalde wurden auch der Harz, das westfälische Schiefergebirge, der Vogelsberg und die benachbarten Landschaften stark überregnet. Die Intensität kam aber nirgends derjenigen auf dem Thüringerwalde ganz gleich, war also nicht übermäßig groß im Vergleich mit den gewaltigen Tagesniederschlägen in den Sudeten und Beskiden. Daß trotzdem die Gewässer jener Gegenden, die zum Elbe-, Rhein- und Wesergebiet gehören, namentlich auch die Weser selbst in sehr heftige Erregung gerieten und einige Wasserläufe zu bisher unbekanntem Höchstständen anwachsen, beruht auf der besonderen Größe des Abflußverhältnisses, da in der späten Jahreszeit nur geringe Verluste entstanden. Bei der Milde des Klimas im nordwestlichen Deutschland treten zuweilen sogar mitten im Winter derartige ausgedehnte Regen auf, z. B. im Januar 1846, welcher Monat für die Weser und Ems recht großes Hochwasser brachte, ebenso für die rheinisch-westfälischen Flüsse, minder große Anschwellungen für die Lahn und den Main. Solche Erscheinungen tragen erheblich dazu bei, daß im nordwestlichen Berglande die Niederschlagshöhen in den Herbst- und

ersten Wintermonaten vielfach wenig kleiner als im Hochsommer sind, der dort nur ganz vereinzelt Wetterlagen dieser Art aufweist.

Ohne auf die Verhältnisse der Luftdruckverteilung näher einzugehen, wollen wir nur daran erinnern, daß das nordwestliche Deutschland am nächsten an dem im Nordosten von Europa über dem Atlantischen Ozean befindlichen Depressionsgebiete liegt, dessen Ausdehnung und Tiefe in der wärmeren Jahreszeit vermindert wird durch Vorschieben des im Südosten von Europa lagernden Gebietes hohen Luftdruckes. Letzterem steht im Winter ein zweites, der Erkaltung des Kontinents seine Entstehung verdankendes Hochdruckgebiet im Osten gegenüber, das manchmal bis Skandinavien reicht, aber auch Deutschland umfassen kann. Im Winter wird deshalb durch eine allgemeine südwestliche Luftströmung die warme Seeluft herbeigeführt, die dem Flachlande Nordwestdeutschlands vorwiegend milde Winter sichert. Namentlich in den höheren Lagen der Gebirge zeigt sich auch weiter südwärts noch eine Annäherung an das Seeklima. Im Osten herrscht gewöhnlich das kontinentale Hochdruckgebiet vor, das sich zuweilen bis nach Mitteldeutschland ausbreitet und dort rauhes Winterwetter erzeugt. Im Sommer drehen die Winde mehr westlich und werden schwächer, verursachen daher auf dem zunächst betroffenen Festlande weniger intensive, meist nur bei Gewittern vorübergehend örtlich heftige Niederschläge. Das Zurückweichen des Hochdruckgebiets im Osten gewährt dann in unseren Grenzmarken gegen Ungarn und Polen der Entwicklung oder Wanderung von Minima freie Bahn. Werden sie zum Beharren genötigt, so entstehen jene oben erwähnten außerordentlichen Niederschläge bei nordwestlicher bis nördlicher Luftströmung. Dagegen ist im Winter der Westen Deutschlands in höherem Maße als der Osten den zu ähnlichen Erscheinungen mit südwestlicher Luftströmung Anlaß gebenden Minima ausgesetzt, die über das Nordmeer ziehen. Zuweilen erstreckt sich ihre ansaugende Wirkung bis jenseits der Alpen und erzeugt den Föhn, der im Hochgebirge rasche Schneeschmelze bewirkt; sofort nach seinem Aufhören kehrt die Kälte zurück und treten ergiebige Regengüsse ein. Schlagen diese Minima gelegentlich den Weg über Südschweden nach Rußland ein, so bringen sie den Stromgebieten im Nordosten vorübergehendes Tauwetter und reichliche Niederschläge. Ausnahmsweise gestaltet sich auch im Westen die Luftdruckverteilung derart, daß bei nordwestlichen Winden ungewöhnlich starke Regengüsse erfolgen, z. B. in Nordwestdeutschland bei der Hochwassererscheinung vom November 1890 und in der Schweiz bei der Hochflut vom Juni 1876.

Reine Regenfluten von größerer Bedeutung während der sommerlichen Jahreshälfte kommen in mehreren Strömen gleichzeitig hauptsächlich im östlichen Deutschland und Oesterreich vor. Im

nordwestlichen Deutschland treten sie nicht gar oft und dann meist in der winterlichen Jahreshälfte auf. Durch Regen und Schneeschmelze gemeinsam können Sommerfluten natürlich nur im Hochgebirge verursacht werden, besonders in den bayrischen und Schweizer Alpen, dagegen Winterfluten überall, wo sich die Wirkung der über die Nordsee ziehenden atlantischen Minima bemerklich macht. In den zunächst am östlichen Hochdruckgebiete liegenden Stromgebieten behauptet hierbei die Schneeschmelze den Vorrang (namentlich im Memelstromgebiete) und erregt große Anschwellungen gewöhnlich erst gegen Wintersende, im März/April. Die auch dort manchmal entstehenden Hochfluten in den früheren Wintermonaten bei vorzeitigem Tauwetter haben gleiche Ursachen wie im nordwestlichen Deutschland, gehören also zu den gleichzeitig in mehreren Strömen auftretenden Hochwassererscheinungen, wogegen die späten Frühjahrsfluten nicht selten auf den äußersten Osten allein beschränkt bleiben. Im Westen und Süden handelt es sich bei solchen ausgebreiteten Erscheinungen während des Winters (abgesehen von den weit selteneren reinen Regenfluten) meistens um Ueberregnung größerer Landflächen mit gleichzeitigem Schneeabgange. Einesteils durch das Abschmelzen der vorher gefallenen Schneemassen, andererseits durch die der kalten Jahreszeit entsprechende Vergrößerung des Abflußverhältnisses können diese Winterfluten zu recht großer Scheitelhöhe anwachsen, ohne daß ungewöhnlich starke Niederschläge gefallen wären. Für die österreichische Donau weist z. B. Heft II der „Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs“ nach, daß die vor den außerordentlichen Hochfluten vom Februar 1862 und Dezember/Januar 1882/83 gefallenen Niederschläge „im Vergleiche zu jenen des Jahres 1897 geradezu verschwindend klein gewesen sind“; dennoch brachte die mit ihnen verbundene Schneeschmelze ein ähnlich großes Hochwasser hervor wie im Juli/August 1897.

Zu vorstehenden Betrachtungen hat eine Zusammenstellung aller Hochwassererscheinungen des letzten Jahrhunderts, bei denen Hochfluten in mehreren Strömen gleichzeitig aufgetreten sind, Anlaß geboten. Für die ersten Jahrzehnte lagen freilich meistens nur lückenhafte Nachrichten vor. Auch für die Folgezeit standen vollständige Angaben bloß über die norddeutschen Ströme zur Verfügung, deren Hochwasserverhältnisse im Bureau des Wasserausschusses bearbeitet worden sind. Um die Betrachtung auf das Rhein- und Donaugebiet auszudehnen, wurden sie soweit als möglich aus den Mitteilungen ergänzt, die sich im Rheinwerke, den übrigen Veröffentlichungen des badischen Zentralbureaus für Hydrographie und Meteorologie, des württembergischen hydrographischen Bureaus, des bayrischen hydrotechnischen Bureaus und des österreichischen hydrographischen Zentralbureaus finden; für Bayern stand noch das 1888 von der obersten

Baubehörde herausgegebene Werk über den Wasserbau an den öffentlichen Flüssen des Königreichs zur Verfügung. Der Rhein wurde dabei in zwei Teilen betrachtet, die wir kurz als Oberrhein und Unterrhein bezeichnen wollen, je nachdem die alpinen Einwirkungen bei den Hochwassererscheinungen vorherrschen oder zurücktreten. Die Ems ist mit der Weser zusammengerechnet worden, ebenso der Pregel mit dem Memelstrom. Sind doch diese kleineren Gebiete bei der vorzeitlichen Entwicklung des Gewässernetzes losgetrennte Provinzen ihrer größeren Nachbargebiete, da sich die Weser einstmals durch die Emsmündung, der Memelstrom durch die Pregelmündung ergossen hat!

Im ganzen enthält die Zusammenstellung, deren Ergänzung und Berichtigung vorbehalten bleibt, 76 Hochwassererscheinungen der bezeichneten Art, hiervon 30 in der sommerlichen und 46 in der winterlichen Jahreshälfte. Bei den sommerlichen Hochwassererscheinungen des mit 1804 beginnenden und 1903 endigenden Jahrhunderts hatten in 5 Fällen die Donau und Oder, in 2 Fällen die Donau, Oder und Weichsel, in 8 Fällen die Oder und Weichsel, in 3 Fällen die Oder, Weichsel und Elbe, in 3 Fällen die Oder und Elbe, in 4 Fällen die Oder, Elbe und Donau, in 4 Fällen die Donau und der Oberrhein, in 1 Fall der Unterrhein, die Weser und Elbe gleichzeitig mehr oder weniger große Hochfluten. Hierbei kommen die Donau 15 mal, die Oder 25 mal, die Weichsel 13 mal, die Elbe 11 mal, der Oberrhein 4 mal, der Unterrhein und die Weser nur je 1 mal, der Memelstrom überhaupt nicht vor.

Für die Betrachtung der winterlichen Hochwassererscheinungen, bei deren Entstehung außer den Niederschlägen auch die Temperatur eine wichtige Rolle spielt, haben wir die Ströme gruppenweise zusammengefaßt. Memelstrom (nebst Pregel) und Weichsel gehören zu dem einem fast kontinentalen Klima ausgesetzten Nordosten, Weser (nebst Ems) und Unterrhein zum Nordwesten, in dem die klimatischen Verhältnisse sich dem Seeklima nähern, während in den Gebieten der Oder und Elbe sich der Uebergang vollzieht; Oberrhein und Donau bilden eine besondere südliche Gruppe, durch Einwirkung des Hochgebirges ausgezeichnet. In 2 Fällen wurden alle Ströme, in 4 Fällen die meisten unter ihnen von größeren oder kleineren Anschwellungen bis über die Hochwassergrenze heimgesucht, in 3 Fällen gleichzeitig die nordöstliche und Uebergangsgroupe, in 11 Fällen außerdem noch die nordwestliche Gruppe, in 9 Fällen die Uebergangs- und nordwestliche Gruppe, in 4 Fällen außerdem noch die südliche Gruppe, in 8 Fällen die nordwestliche und südliche Gruppe, ferner in 4 Fällen die Ströme der nordöstlichen und in 1 Falle jene der Uebergangsgroupe ohne gleichzeitige Hochfluten in den zu einer Nachbargruppe gehörigen Strömen. Hierbei kommen vor: die nordöstliche Gruppe 24 mal, die

Uebergangsgruppe 34 mal, die nordwestliche Gruppe 38 mal und die südliche Gruppe 18 mal.

14. Außerordentliche Hochfluten früherer Jahrhunderte.

Für den Rhein erwähnt das Rheinwerk eine große Zahl von Jahren, in denen während früherer Jahrhunderte Hochfluten vorgekommen sind. Kurze Angaben über die älteren Hochfluten der Donau finden sich in den württembergischen und bayrischen amtlichen Veröffentlichungen, sowie im Hefte IV der „Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs“. Für die norddeutschen Ströme sind zahlreiche Hochfluten aus älterer Zeit in den vom Bureau des Wasserausschusses bearbeiteten Werken aufgeführt. Auch sonst ist die Literatur gerade in dieser Beziehung nicht arm. Dennoch enthalten alle diese geschichtlichen Nachrichten nur wenig, was über die Bedeutung der ehemals stattgehabten Hochwassererscheinungen zuverlässigen Aufschluß geben könnte. Denn fast immer haben die Chronisten sich damit begnügt, die Wassersnot ohne nähere Angaben über ihre Entstehung zu schildern oder nur von einzelnen dabei eingetretenen Unfällen kurz zu berichten. Oft kann man daraus kaum entnehmen, in welcher Jahreszeit das Hochwasser gewesen ist. Und wenn von Eisgängen dabei gesprochen wird, was meistens geschieht, so weiß man zwar, daß die gefährliche Anschwellung zur Winterszeit stattgefunden haben muß, aber nicht, ob es sich um eine eigentliche Hochflut handelt und nicht etwa um den örtlichen Aufstau infolge einer Eisversetzung. Selbst wenn Hochwassermarken aus alter Zeit auf uns überkommen sind, besteht die Unsicherheit, ob ihre Höhenlage noch richtig und ob an den besonderen Verhältnissen, die zu einer außerordentlichen Höhe des Wasserstandes geführt haben, im Laufe der Jahrhunderte nichts geändert ist.

Vielleicht würde es der freilich großen Mühe lohnen, die Angaben der Städte- und Landschaftschroniken einheitlich zu sammeln, alte Hochwassermarken genau aufzunehmen, soweit es nicht bereits geschehen ist und in der vorhandenen Literatur die Spreu vom Weizen zu trennen, um eine bessere Uebersicht über den Tatbestand bei den früheren Hochwassererscheinungen zu gewinnen. Sicherlich haben bei ihnen an unseren Strömen erheblich größere Verwüstungen stattgefunden, als in den letzten Jahrzehnten erfolgt sind, nachdem durch den planmäßigen Ausbau das Strombett in feste Lage gebracht und seinen Verlegungen vorgebeugt ist. Sogar die durch bessere Verwertung der Talniederungen, durch ihre dichte Bevölkerung und durch zahlreiche Verkehrsanlagen herbeigeführte Steigerung der Gefahren hat die Hochwasserschäden nicht in solchem Maße erhöht, wie sie andererseits durch die Umwandlung der verwilderten Ströme in gut geordnete Wasserstraßen ver-

mindert worden sind. Ein erheblicher Ueberschuß an Vorteil kommt der Gegenwart zugute. Dies ergibt sich unzweifelhaft aus den alten Berichten, die nicht den geringsten Anhalt bieten, auf eine Zunahme der Hochwasserschrecknisse Rückschlüsse zu ziehen, wohl aber auf eine Abnahme.

Wenn immer wieder von neuem behauptet wird, durch Eingriffe der Menschenhand (Entwaldung der Gebirge, Verbesserung der Ackerkultur, Entsumpfung und Trockenlegung von stehenden Gewässern, Flußbauten usw.) hätten in den deutschen Strömen die Hochwassererscheinungen an Zahl und Umfang zugenommen, so findet diese Behauptung in der Ueberlieferung aus alter Zeit keine Stütze. Eher würde man nach ihr das Gegenteil folgern dürfen. Aber es liegen keine ausreichenden Gründe für die Annahme vor, daß in der kurzen Spanne Zeit seit Besiedelung unserer Stromniederungen irgendwelche Aenderung erfolgt sei an den ewigen Naturgesetzen, die das Auftreten der Niederschläge und das Abschmelzen der Schneedecke regeln. Auf den Verlauf der Hochfluten haben gewiß die Eindeichungen und sonstige in das Hochwasserbett eingebaute Abflußhindernisse erheblich eingewirkt, manchmal ohne angemessenen Nutzen für die eingedeichten Ländereien und recht nachteilig für die übrige Talfläche. Aber die Bedingungen des Entstehens einer Hochflut, von denen auch die Gesamtmasse des in Bewegung gebrachten Hochwassers abhängt, unterliegen nach wie vor denselben Gesetzen, denen sie von jeher unterliegen haben.

Der Vortrag verfolgte den Zweck, einen Beitrag zur Erforschung dieser Gesetze auf einer Versammlung der deutschen Naturforscher mitzuteilen, um die Beachtung auf diese wissenschaftlich und praktisch wichtige Frage zu lenken. Die in der vorliegenden Schrift etwas eingehender begründeten Mitteilungen stützen sich jedoch ausschließlich auf die Erfahrungen, die seit Vornahme von Wasserstandsbeobachtungen gesammelt werden konnten. In größerer Zahl greifen diese Beobachtungsreihen aber nur bis zum ersten Drittel des letzten Jahrhunderts, vereinzelt noch etwas weiter zurück. Nun mögen wohl in der Hauptsache währen dieses Zeitraums die Hochwassererscheinungen (abgesehen von ihren Wirkungen) ähnlich gewesen sein, wie sie in den verflossenen Jahrhunderten waren und in künftigen Jahrhunderten sein werden. Aber der Zeitraum ist zu kurz, um bei der Bildung von Wetterlagen jede Möglichkeit zu erschöpfen, die regelwidrige Ausnahmen bei Entwicklung der Hochfluten bedingen würde. Glücklicherweise finden sich jedoch äußerst selten Fingerzeige, die vermuten lassen, es habe sich ehemals eine Hochwassererscheinung ereignet, deren Auftreten mit den aus der Neuzeit geschöpften Erfahrungen stracks im Widerspruch steht.

Einen solchen Fingerzeig gab die an der St. Blasiikirche in Münden befindliche Hochwassermarken einer außerordentlichen Hochflut vom Juli 1342, also aus der sommerlichen Jahreshälfte, in der die Weser neuerdings kein gefährliches Hochwasser von auch nur annähernd gleicher Höhe aufzuweisen hatte. Wie im Bd III S. 565/570 des Weserwerkes bestimmt nachgewiesen, ist jeder Zweifel gehoben, daß man hier wirklich mit einer Ausnahme von der Regel zu rechnen hat, die indessen bei Wiederkehr einer ähnlichen Wetterlage wie damals auch in Zukunft gelegentlich wiederkehren könnte. Bei Münden lag der damalige Höchststand um 1,53 m über dem höchsten durch Wasserstandsbeobachtungen bekannten Wasserstande, ferner an der alten Zollstätte der Mündener Schiffergilde bei Grohnde 1,09 m und bei Hameln 0,77 m über den Höchstständen von 1841. Aus einer Mitteilung in Hefte VI der „Untersuchungen über die Hochwasserverhältnisse im Rheingebiet“ geht hervor, daß um dieselbe Zeit (im Juli 1342) der Main gleichfalls zu einer außerordentlichen Höhe angeschwollen war, nämlich bei Offenbach um 1,43 m und bei Frankfurt um 1,47 m höher als die sicher bekannten Höchststände der neueren Zeit. Aus den Chroniken wurde denn auch bestätigt, daß diese Hochwassererscheinung in den Gebieten der Weser und Elbe, des Rheins und der Donau allenthalben arge Verwüstungen zur Folge hatte und lange Zeit in bösem Gedächtnis blieb.

Daß wir es hierbei wirklich mit einer regelwidrigen Ausnahme zu tun haben, kann für die Weser als feststehend erachtet werden, da in den seit 1342 verflossenen Jahrhunderten, wenn man den zahlreichen geschichtlichen Nachrichten einigermaßen trauen darf, in der sommerlichen Jahreshälfte nur vereinzelte Hochfluten zweiten und dritten Ranges vorgekommen sind. Diese Nachrichten werden aber für die mit jener mächtigen Hochwassererscheinung am meisten vergleichbaren winterlichen Hochfluten durch eine Anzahl zuverlässiger Hochwassermarken bestätigt. Nach ihnen lagen die Höchststände einer solchen vom Januar 1643 bei Münden um 0,55 m, bei Grohnde um 0,15 m und bei Hameln um 0,12 m niedriger als 1342. Noch etwas mehr (bei Münden um 0,80 m und bei Grohnde um 0,34 m) blieben die Scheitelhöhen des Eisgangshochwassers vom Januar 1682 unter den Marken jener außerordentlichen Julihochflut. Bei der viertgrößten Hochwassererscheinung vom Februar 1799 wuchs die Weser nicht viel höher an als im Januar 1841. Im Main ist die Hochflut vom Januar 1682 bei Frankfurt um 1,03 m niedriger als 1342 geblieben, das Eisgangshochwasser vom März 1784 um 1,34 m niedriger. Beide stiegen bei Aschaffenburg erheblich höher an als eine im Juni 1644 entstandene Hochflut, deren Marke um 0,26 m tiefer liegt als der höchste im letzten Jahrhundert beobachtete Wasserstand. Unter den übrigen bekannten großen Mainhochfluten seit 1342 befindet sich keine Sommerflut von Bedeutung.

15. Verteilung der Hochfluten nach Jahresreihen.

Bereits bei Bearbeitung des vom Bureau des Wasserausschusses zuerst in Angriff genommenen Oderwerkes hatte sich ergeben, daß im 57jährigen Zeitraume 1836/92 die beiden 19jährigen Jahresreihen am Anfang und Ende der ganzen untersuchten Beobachtungszeit annähernd gleich viele Hochfluten aufwiesen, durchschnittlich fünf in je zwei Jahren, hingegen die zwischen ihnen liegende Jahresreihe von gleicher Länge nur eine im Jahre. Aehnliches ergab sich für die Elbe.

Bei den Untersuchungen der übrigen Ströme wurden die bis 1895 benutzbaren Beobachtungen, die meistens nicht über 1836 hinaus zurückreichten, in drei je 20jährige Gruppen gegliedert, um festzustellen, ob sich dann eine gleichartige Verteilung ergeben würde.

In der folgenden Tabelle sind die in Anm. 8 bezeichneten Hochwassererscheinungen nach diesen Gruppen geordnet. Der Pregel mußte wegbleiben, weil die 1842 beginnende Reihe nicht mit Sicherheit bis 1836 zurück verlängert werden konnte, was für die Weser möglich war. Rhein und Neckar mußten ausfallen, da die Unterlagen zur Verteilung fehlten. Für Oder und Elbe wurde die benutzte Beobachtungszeit nachträglich bis 1895 ausgedehnt. Für den Memelstrom und die Weichsel sind an Stelle der in Anm. 8 zugrunde gelegten allgemeinen Hochfluten, deren Ermittlung nur für 1871/95 verfügbar war, die im Memel-Pregel-Weichselwerke (Bd. I S. 292 und 295) aufgeführten Zahlen eingesetzt. Sie sind zwar nicht strenge vergleichbar mit den auf allgemeine Hochfluten bezogenen Zahlenangaben für die Oder, Elbe und Weser, wohl aber mit denjenigen für die Ems und den Main. Da es sich hier nur um das gegenseitige Verhältnis der für die drei Jahresreihen gültigen Zahlen handelt, kommen jedoch die absoluten Werte weniger in Betracht.

Strom	Winter			Sommer			Jahr		
	1836/55	1856/75	1876/95	1836/55	1856/75	1876/95	1836/55	1856/75	1876/95
Memel	14	12	20	1	—	—	15	12	20
Weichsel	11	8	11	2	2	1	13	10	12
Oder	27	12	24	21	5	27	48	17	51
Elbe	32	19	32	10	2	6	42	21	37
Weser	20	12	21	1	1	—	21	13	21
Ems	12	5	12	1	—	—	13	5	12
Main	13	7	15	1	1	—	14	8	15

Man sieht, daß bei den Winterfluten und den Gesamtzahlen für das Jahr alle Ströme den gleichen Gang der Verteilung zeigen, d. h. die Einschaltung einer hochwasserärmeren Jahresreihe zwischen zwei hochwasserreicheren. Bei den Sommerfluten zeigen nur Oder und Elbe denselben Gang in ausgeprägter Weise, da

bloß bei ihnen im Sommer öfters Hochwassererscheinungen vorkommen. Für die übrigen Ströme ergibt sich aber eine ähnliche Verteilung, wenn man die Hochwassergrenze so tief rückt, um auch kleinere Anschwellungen im Sommerhalbjahre zu fassen, oder andererseits für das Winterhalbjahr so hoch, daß lediglich große Hochfluten in Betracht kommen. Nachfolgende Zusammenstellung führt einige Beispiele aus dem Memel-Pregel-Weichselwerke auf (Bd. I S. 293/6, Bd. IV S. 224/5), in dem auch für die außerpreußische Weichsel ähnliche Zahlenverhältnisse nachgewiesen sind.

Bezeichnung des Gegenstandes	1836/55	1856/75	1876/95
Sommerliche Anschwellungen des Memelstroms	5	2	6
Sommerliche Anschwellungen der Weichsel	11	4	10
Große Winterfluten der Weichsel	8	3	10
Jährliche Ausuferungstage bei Kurzebrack	58	36	61
Hiervon waren winterliche Ausuferungstage	42	32	46
„ „ sommerliche „	16	4	15

Umgekehrt verhalten sich die Wasserklemmen in der Weser, wie aus dem Weserwerke (Bd. III S. 531) hervorgeht, da 1836/55 neben 21 Hochfluten 2 Wasserklemmen, 1856/75 neben 13 Hochfluten 8 Wasserklemmen, 1876/95 neben 21 Hochfluten 4 Wasserklemmen eingetreten sind. Diese Erscheinung, nämlich die Häufung lang anhaltender Niedrigwasserstände, also eine ungewöhnlich geringe Abflußmenge während vieler Wochen, hat in den fünfziger und sechziger Jahren die Schifffahrt auf den Wasserstraßen des Wesergebiets teilweise für immer beseitigt oder (auf der Weser selbst) längere Zeit hindurch schwer geschädigt. In den kleineren Wasserläufen des Wesergebiets wurde durch die mehrfache Wiederkehr trockener Jahre der Bestand an Edelfischen auf lange Jahre nahezu vernichtet und konnte erst neuerdings mit Hilfe der künstlichen Fischzucht wieder zurückgewonnen werden. Die jährliche Niederschlagshöhe hat, mit dem Gesamtmittel von 1851/1890 verglichen, in dem durch weniger Hochfluten und mehr Wasserklemmen ausgezeichneten Doppeljahrzehnt 1856/75 nahezu 5 % zu wenig, im folgenden Doppeljahrzehnt 2,5 % zu viel betragen. Indessen hängen beide Erscheinungen (Hochfluten und Wasserklemmen) keineswegs allein von der jährlichen Niederschlagshöhe ab, sondern weit mehr von der Verteilung der Niederschläge nach Raum und Zeit, den Temperaturverhältnissen usw., wie in Anm. 10 (S. 59/60) schon erwähnt ist.

Die Gruppenbildung soll durchaus nicht besagen, daß die mittlere Jahresreihe aus lauter trockenen, jede der beiden anderen Reihen aus lauter nassen Jahren bestanden habe. Denn in allen Strömen sind Ausnahmen vom vorwiegenden Verhalten der betreffenden Gruppe vorgekommen, beispielsweise während des hochwasserärmeren Doppeljahrzehntes 1856/75 eine Abteilung meist recht nasser Jahre von 1867 bis 1871, auf die in der Weser 9 von 13 Hoch-

fluten dieses Doppeljahrzehntes entfallen. In der ersten 20jährigen Reihe (1836/55) blieben nur drei Jahre frei von Hochfluten, dagegen in der letzten 20jährigen Reihe (1876/95) acht Jahre, also $\frac{2}{5}$. In letzterem Doppeljahrzehnt haben die schlimmen Wasserklemmen von 1892, 93, 94 und 95, sämtlich in demselben Jahrfünft 1891/95 neben nur 3 Hochfluten stattgefunden. Auf die Beziehungen zu den Niederschlags- und Temperaturverhältnissen, die bei Betrachtung der neueren Weserhochfluten im Weserwerke (Bd. III S. 576 ff.) erörtert sind und auf die mittleren Niedrigwasserstände der einzelnen Jahrfünfte (a. a. O. S. 532) kann hier nicht eingegangen werden. Nur möge noch eine etwas eingehendere Gliederung des ganzen Zeitraums 1836/95 für die Weser Beachtung finden:

Zeitabschnitt:	1836/40	1841/55	1856/70	1871/75	1876/90	1891/95
Zahl der Jahre	5	15	15	5	15	5
Mittleres Niedrigwasser	unbestimmt	zu hoch	zu tief	unbestimmt	zu hoch	zu tief
Zahl der Wasserklemmen	2	—	7	1	—	4
Zahl der Hochfluten	5	16	10	3	18	3

Die in der Tabelle auf S. 78 enthaltenen Angaben für den Memelstrom, die Weichsel und die Weser konnten rückwärts bis 1816 ausgedehnt werden, ebenso die Angaben in der Tabelle auf S. 79 für die jährlichen Ausuferungstage bei Kurzebrack, d. h. über die Zahl der Tage, an denen durchschnittlich in jedem Jahre der Wasserstand 4,0 m a. P. Kurzebrack überschritten worden ist. Dabei ergab sich, daß das Doppeljahrzehnt 1816/35 sich ähnlich verhält wie 1856/75. Für die anderen Ströme ist die entsprechende Untersuchung nicht ausführbar oder standen doch einstweilen die Unterlagen nicht zur Verfügung.

Strom	1816/35			1856/75		
	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
Memel (Hochfluten) . . .	7	—	7	12	—	12
Weichsel (Hochfluten) . .	6	—	6	8	2	10
Weser (Hochfluten) . . .	10	2	12	12	1	13
Weichsel (Ausuferungstage)	34	5	39	32	4	36

Sowohl bei den nordöstlichen Strömen, als auch bei dem nordwestlichen Strome hatte die Jahresreihe 1816/35 erheblich weniger Hochfluten als das darauffolgende Doppeljahrzehnt, ebenso wie dies zwischen den Reihen 1856/75 und 1876/95 der Fall war. Bei dem Memelstrome und der Weichsel tritt der Gegensatz zwischen den beiden ersten Reihen sogar noch schärfer hervor, als zwischen den beiden letzten Reihen. Im großen Durchschnitt haben bei allen in der Tabelle auf S. 78 betrachteten Strömen in jedem der beiden Doppeljahrzehnte 1836/55 und 1876/95 etwa

1,9 mal mehr Hochfluten stattgefunden als 1856/75. Da auch schon die Jahre 1867/71 erheblich mehr Hochfluten als die vorher gegangene Zeit gebracht hatten, so mußte in den siebziger und achtziger Jahren die Zunahme der Hochwassererscheinungen allgemein auffallen. Lediglich zum Nachweise, daß eine frühere Jahresreihe ebenso hochwasserreich war, wurden die Untersuchungen bewirkt, deren Ergebnisse hier mitgeteilt sind, nicht aber zum Nachweise einer langjährigen Schwankung der Hochwassererscheinungen.

16. Ueberblick über die Eisverhältnisse in den deutschen Strömen. Ihre Verbesserung durch den planmäßigen Ausbau der Ströme.

Die Eisverhältnisse spielen beim Verlaufe der Winterfluten unserer Ströme oft eine hervorragende Rolle und haben ehemals eine noch viel wichtigere Rolle gespielt. Den flüchtigen Andeutungen im Vortrage muß daher, um das Bild über die Hochwassererscheinungen zu vervollständigen, ein kurzer Ueberblick über die Bildung und den Aufbruch der Eisdecke, sowie über die Beziehungen zwischen den Eisgängen und Winterfluten in den verschiedenen Strömen beigefügt werden.

In den nordöstlichen Strömen (Memelstrom, Pregel und Weichsel) erreicht die Eisdecke infolge des starken und hartnäckigen Frostes meist eine so erhebliche Stärke, daß sie im Frühjahre schwer aufbricht. Schon während des Winters wird von ihr der Wasserspiegel höher angestaut, als er bei freiem Abflusse ansteigen würde. Beim Aufbruch und Abgange des Eises können aber weit bedeutendere Stauungen eintreten, die große Gefahren für die eingedeichten Niederungen nach sich ziehen. Die Bildung der Eisdecke wird durch Treiben des Grundeises eingeleitet, das sich bei anhaltendem Frostwetter mehr und mehr verdichtet und schließlich an Stellen, wo die Geschwindigkeit des Wassers gering ist, festsetzt. Dann beginnt der Eisstand; der je nach der Masse des Grundeises schneller oder langsamer nach oben fortschreitet und eine viele Meilen lange Eisdecke bildet. Vielfach schieben sich die Grundeisschollen auch unter einander, und ihre Zwischenräume werden durch Schlammeis so fest geschlossen, daß die so entstandene Eisversetzung einen beträchtlichen Teil des Stromquerschnittes versperrt. Bei vorzeitigem Tauwetter bricht zuweilen ein Teil der Eisdecke auf und setzt sich in Bewegung, die an dem unterhalb stehengebliebenen Teile aufgehalten wird, wodurch eine Zusammenschiebung der Schollen und bedrohliche Eisstopfung erfolgen kann.

Endgültiger Aufbruch tritt gewöhnlich erst im Frühjahre ein, wenn die Schneeschmelze größere Wassermassen in den Strom führt, dessen Anschwellung die Eisdecke uferlos macht. Sie zerbricht dabei in Schollen, die in einem geschlossenen Eisgange abschwimmen.

Schwer nennt man ihn, wenn stromabwärts die Eisdecke noch nicht gelöst ist, was durch die beim vorzeitigen Aufbruch erzeugten Versetzungen öfters verhindert wird, oder wenn sonstige Hindernisse ein Stocken des Eisganges und neue Versetzungen oder gar Stopfungen hervorrufen. Unter dem zunehmenden Drucke des angestauten Wassers gibt schließlich die Eisstopfung nach, und der Abgang des Eises findet dann wieder freie Bahn, wenn nicht neue Hindernisse abermalige Versetzungen bewirken.

Erleichtert wird der Eisgang durch kräftige Zufuhr von Schmelzwasser aus den Nebenflüssen, weil bei höherem Wasserstande der Widerstand alter Versetzungen rascher überwunden wird und neue schwerer entstehen. Häufig beginnt der Eisgang aber bereits bei mäßiger Anschwellung, da die Eisdecke vielfach zur Niedrigwasserzeit ausgebildet war, der Aufbruch aber stattfindet, sobald ihr Zusammenhang mit dem Ufer aufgehoben wird. Entwickelt sich die Flutwelle langsam, so kann geraume Zeit verstreichen vom Beginne des Eisganges bis zur Ueberschreitung der Hochwassergrenze und dem Eintreffen des Wellenscheitels. Zahlreiche Hindernisse im Strombett, die von der Entwicklung der Eisverhältnisse im vorangegangenen Winter herrühren, bewirken jedoch oft solche Stauungen, daß beim Eisgange selbst bereits Hochwasser eintritt, also eine unregelmäßig geformte Vorwelle der nachfolgenden eisfreien Flutwelle. Mitunter wird das Fortschreiten der Vorwelle derart verzögert, daß die Hauptwelle den Eisgang einholt, was gewöhnlich ein gefahrbringendes Anwachsen der Wasserstände zur Folge hat.

Beim Memelstrome beginnt die Bildung des Grundeises manchmal schon im Oktober oder erst im Dezember, am häufigsten in der Zeit vom 16. bis 21. November. Da der Strom meist gegen Ende März oder Anfang April eisfrei wird, dauert seine Sperrung durch Eisstand oder Eisbewegungen durchschnittlich 125 bis 130 Tage, der Eisstand selbst 78 bis 100 Tage. Die Vorwelle erreicht öfters größere Höhe als die nachfolgende eisfreie Flutwelle, von den Anwohnern des Memelstroms „Baumflut“ genannt. Zuweilen kommt diese in der preußischen Strecke nicht mehr zur Erscheinung, weil sie bereits im russischen Stromlaufe die durch Eisversetzungen verzögerte Vorwelle eingeholt hat; dann gelangen im Unterlaufe die größten Wassermassen zugleich mit dem Eise zum Abgang. Bei mehrfachem Wechsel von Frost und Tauwetter bilden sich wohl auch mehrere Scheitel der stets massigen Flutwellen aus. Die eigenartigen Stromverhältnisse, namentlich die Teilung in Rußstrom und Gilge, sowie die Abzweigung einer Hochwasserströmung durch die Plaschkener Niederung (gegenüber Tilsit) veranlassen gewöhnlich starke Stopfungen im oberen Teile des Rußstroms, wodurch der Eisgang in die von hohen Deichen eng eingeschränkte Gilge abgelenkt wird, die sich zur glatten Abführung des Eisganges schlecht eignet. Eine gründliche Verbesserung

des schwierigen Zustandes durch Beseitigung der Spaltungen des Hochwasserstroms ist bisher an der Meinungsverschiedenheit der Beteiligten gescheitert, besonders weil die Grundbesitzer der Plaschkener Niederung nicht eingedeicht sein und für ihre Wiesen die wertvollen winterlichen Ueberschwemmungen behalten wollen.

In dem Pregel und seinen Zuflüssen fängt das Grundeistreiben etwas später als im Memelstrome an, und das Ende der Eisbewegungen findet früher statt, obgleich der Aufbruch des Eises gewöhnlich zur gleichen Zeit erfolgt wie an der mittleren Strecke des Njemen, d. h. des russischen Memelstroms. Während es im Njemen durch Nachschub von Eisschollen aus den oberen Strecken und häufige Unterbrechungen des Eisganges lange zu dauern pflegt, bis die letzten Schollen über die Reichsgrenze bei Schmalleningken schwimmen, vollzieht der Eisgang sich im Pregel schnell, meist zwischen Mitte Februar und Anfang März, bei Wasserständen unter Ausuferungshöhe. Da gewöhnlich die Flutwelle ziemlich rasch ansteigt, ihr Scheitel also dem Eisgange bald nachfolgt, wird dieser nicht selten eingeholt oder sogar vom Scheitel überholt, falls der Verlauf des Eisganges durch die bei vorübergehenden Erwärmungen früher entstandenen Versetzungen verzögert war. Diese lösen sich dann leicht, ohne erheblichen Schaden verursacht zu haben. Vielmehr sieht man in den nicht eingedeichten Niederungen die hierbei entwickelten Ueberschemmungen gerne, weil sie fruchtbare Sinkstoffe auf den noch im Winterschlummer liegenden Wiesen ablagern.

In der Weichsel bildet sich nach oft langem Grundeistreiben der Eisstand gewöhnlich gegen Ende Dezember aus, und zwar in den oberen Stromstrecken etwa um dieselbe Zeit (Weihnachten) wie in der preußischen unteren Strecke. Der Aufbruch der Eisdecke erfolgt jedoch meistens bei der oberen Weichsel, wo das Frühjahr zuerst einzieht, etwas früher als bei der mittleren und unteren Weichsel, gewöhnlich im März oder schon zu Ende Februar. Die Dauer des Eisstandes beträgt rund 58 Tage im Jahre, und nach durchschnittlich 110 Tagen, vom Anfange des Grundeistreibens ab gerechnet, pflegt der Strom eisfrei zu werden, manchmal erst im April. Das hinter dem eigentlichen Eisgange abschwimmende, mürbe „polnische Eis“ stammt aus den unteren Strecken des Bug und Narew, deren Flutwellenscheitel im Hauptstrom einzutreffen pflegt, nachdem dieser schon etwa eine Woche lang eisfrei und sein eigener Wellenscheitel vor einigen Tagen an der Narewmündung vorbeigegangen ist. Beide mächtigen Flutwellen vereinigen sich aber auch zuweilen voll, wenn im oberen Weichselgebiete die zunächst auf niedere Lagen beschränkte Schneeschmelze etwas später plötzlich auf die höheren Lagen übergreift und dem Hauptstrom nachträglich größere Schmelzwassermassen zuführt als bei der ersten Schneeschmelze.

Hat die den Eisgang tragende Vorwelle unterwegs viel Aufenthalt

erfahren, so holt der sonst mit eisfreiem Wasser im preußischen Stromlaufe eintreffende Hauptwellenscheitel jene Vorwelle dort ein, und die Höchststände können mit dem Eisgange zusammenfallen oder unmittelbar nach ihm auftreten. Sehr nützlich hat sich für die Erleichterung des Eisganges der planmäßige Ausbau des Stromes erwiesen, da in dem eingeschränkten und vertieften Bette eine kräftigere Strömung stattfindet, Versetzungen minder häufig entstehen und der Aufbruch des Eises besser vor sich geht. Aehnlich wie beim Memelstrom, ist die Teilung des Hauptstroms in Weichsel und Nogat vorläufig noch eine Quelle großer Gefahren, namentlich wenn der Eisgang sich in die Nogat wendet, deren von hohen Deichen zu enge begrenztes Hochwasserbett geringe Leistungsfähigkeit besitzt. Durch Abkürzung des Laufes der geteilten Weichsel, die eine neue Mündung erhalten hat und durch gründliche Freilegung ihres Hochwasserbetts macht man gegenwärtig diesen Hauptarm des Stromes geeignet zur Aufnahme und Abführung der gesamten Wasser- und Eismassen, um demnächst die Nogat vollständig abschließen zu können. Einstweilen bemüht man sich erfolgreich, den Eisgang von der Nogat abzuhalten durch künstlichen Aufbruch des Eises in der geteilten Weichsel mit Eisbrechdampfern, die nach Erreichung dieses ersten Zieles dann auch in die ungeteilte Weichsel vordringen und die Eisdecke lösen. Ihre Verwendbarkeit hat zur Voraussetzung genügende Fahrtiefe und kräftige Strömung, die das Abschwimmen des gebrochenen Eises verbürgt, welche Bedingungen gleichfalls nur durch den planmäßigen Ausbau des Bettes erfüllt werden konnten.

In der Oder kommt das Grundeis zuweilen schon im Dezember, häufiger erst im Januar zum Stehen, gewöhnlich zuerst vor einigen engen Brücken und im Oberwasser der festen Wehre bei Breslau, Ohlau und Brieg. Der endgültige Abgang des Eises erfolgt meist im März, oft schon im Februar. Da aber gewöhnlich während des Winters mehrfach kurzes Tauwetter mit etwas länger dauerndem Frostwetter wechselt, beträgt die jährliche Zahl der Eisstandstage nur 30 bis 40. Durch den planmäßigen Ausbau hat sie sich einigermaßen vermindert, z. B. bei Brieg von 42 im Zeitraum 1836/54 auf 29 in den Jahren 1874/92, obgleich letztere meist kälter als die erstgenannten Jahre waren. Die bei den vorzeitigen Erwärmungen oft entstehenden Eisversetzungen treten seit dem Ausbau des Stromes weniger zahlreich und hartnäckig auf als früher, wodurch der Verlauf des endgültigen Eisganges erheblich begünstigt worden ist. In den oberen Strecken sind die Höchststände der Flutwellen, denen der Eisgang voran läuft, 1836/92 durchschnittlich 3 bis 4 Tage, in den unteren Strecken 6 Tage oder noch später nach dem Abgange des Eises eingetreten. Nur selten hat neuerdings das große Hochwasser den Eisgang derart eingeholt, daß übermäßige Aufstauungen entstanden, was ehemals oft geschah. Die größten Schmelzfluten finden

statt, wenn die Erwärmung im Frühjahr so schnell um sich greift, daß die Gebirgsflüsse bald auch aus den höheren Lagen gespeist werden. Indessen treffen die in solchen Fällen besonders hohen Flutwellen der linksseitigen Nebenflüsse nur in mäßigem Grade mit ähnlich hohen Wellen der rechtsseitigen Flachlandflüsse zusammen, weil die Schneedecke des Flachlandes größtenteils bereits abgeschmolzen ist, wenn der Gebirgsschnee zum schnellen Schmelzen gelangt. Eine Vereinigung heftiger Niederschläge mit dem Tauwetter kommt selten vor, überdies nicht in solchem Maße wie bei den westlichen Strömen. Nur in der unteren Oder sind einigemal die Scheitelhöhen der Hauptstromwelle erheblich gesteigert worden durch ihr Zusammentreffen mit der Warthewelle, deren Scheitel in den meisten Fällen mehrere Tage später ankommt, so daß sie weniger zur Steigerung des Höchststandes, als vielmehr zur Verlängerung der Ueberschwemmungsdauer beizutragen pflegt. Auch an der Oder hat man sich zur Erleichterung des Eisganges oft des künstlichen Aufbruchs durch Eissprengungen bedient und in der Mündungsstrecke zu gleichem Zwecke Dampfer verwandt.

In der Elbe beginnen die Eisbewegungen bei Magdeburg durchschnittlich am 10. Dezember und endigen durchschnittlich am 27. Februar, also nach 80 Tagen, von denen aber 32 eisfrei sind. Ferner weisen nach den langjährigen Beobachtungen 28 Tage Eistreiben oder Eisgang und 20 Tage Eisstand auf. Am häufigsten bildete sich die Eisdecke im Januar oder schon im Dezember aus, und ihr Aufbruch erfolgte am häufigsten im Februar, aber auch nicht selten in einem der beiden Nachbarmonate. Der früheste Eisstand fand am 16. November 1835, der späteste Eisaufbruch am 27. März 1845 statt. In 67 Jahren des Zeitraumes 1830/96 hatten 29 Winter keinen Eisstand, 38 einen solchen von 4- bis 109-tägiger Dauer. Oefters sind die Tage mit fester Eisdecke auf zwei, zuweilen sogar drei Frostzeiten verteilt, die durch vorübergehendes Tauwetter von einander getrennt werden. Wenn beim Grundeistreiben der Wasserstand sehr niedrig ist, so setzt sich das Eis an vielen Stellen annähernd gleichzeitig. Andersfalls geben einige Stellen, die das Eistreiben behindern, ziemlich regelmäßig Anlaß zur Ausbildung des Eisstandes und Weiterentwicklung einer stromaufwärts schreitenden Eisdecke. Namentlich geschieht dies an der Grenze des Tidegebiets, wo das von oben herabschwimmende Treibeis bei der Flutzeit zum Stehen kommt. Während das Odergebiet in seiner ganzen Ausdehnung ein annähernd gleichmäßiges, gemäßigt-kontinentales Klima hat, machen sich im Elbegebiete einige klimatische Verschiedenheiten bemerklich zwischen dem nordwestlichen Teile, in dem das Seeklima deutlicher fühlbar wird, und dem südöstlichen Teile, dessen klimatisches Verhalten mehr dem kontinentalen ähnelt. Für den Aufbruch der Eisdecke erweist sich dies im allgemeinen günstig, da er gewöhnlich in den unteren Stromstrecken

eher als in den oberen vor sich geht. Wenn indessen die Erwärmung oben früher beginnt oder sehr rasch dorthin fortschreitet, so nimmt der Eisgang seinen Anfang im oberen Stromlaufe, bevor die Eisdecke des unteren gelöst ist. Unter gewöhnlichen Verhältnissen geht der Eisgang meist zu Ende, ehe die Hauptmasse der Schmelzflutwelle herannaht, besonders seitdem der planmäßige Ausbau seinen Verlauf erleichtert hat. In jenen Ausnahmefällen erfolgt aber eine solche Verzögerung durch den Widerstand der Eisversetzungen, die sich unter der festen Eisdecke gebildet haben, daß der Scheitel der Flutwelle den Eisgang einholt und gefährlich angestaut wird. Seit Einführung des künstlichen Aufbruchs mit Eisbrechdampfern hat ein solches Ereignis nicht mehr stattgefunden, da in der Regel auf weiten Strecken vom Tidegebiete aus rechtzeitig eine freie Rinne für den Abgang des Eises hergestellt und offengehalten wird.

In der Weser beginnt und endigt (nach den Beobachtungen der Jahre 1841/1900) durchschnittlich die Zeit, in der die Eisstände vorzukommen pflegen, in demselben Monat (Januar) und währt nur 30 Tage. Die mittlere Dauer des Eisstandes ist aber noch erheblich kürzer, weil vielfach nur an wenigen Pegelstellen eine Eisdecke vorhanden ist. Durchschnittlich hat sie für fünf Stellen in der ganzen Beobachtungszeit 11 Tage betragen und sich jetzt auf rund 7 vermindert (gegen 20 in der Elbe, 58 in der Weichsel, 78 bis 100 im Memelstrome). Da durchschnittlich das Grundeistreiben am 19. Dezember anfängt und das letzte Eis am 10. Februar auftritt, so beschränkt sich die Zahl der Tage mit Eisstand und Eisbewegungen auf 54 (gegen 80 in der Elbe, 110 in der Weichsel, 125 bis 130 im Memelstrome). Aeußerste Grenzen für das Vorkommen vom Eis im Strome sind das erste Drittel des Novembers und Ende März. Häufig beginnt die Eisdecke an der Tidegrenze (für die unteren Strecken) und am Hamelner Wehre (für die obere Strecke) schon im Dezember und bricht im Januar auf. Seltener findet der Aufbruch einer im Januar entstandenen Eisdecke erst im Februar statt. Daß sie bis in den März hinein anhält, kommt ausnahmsweise in den untersten Strecken vor, zumal die von der Tidegrenze stromaufwärts schreitende Eisdecke oft nicht viel über die mittlere Weser hinausgreift und der Aufbruch von oben nach unten zu erfolgen pflegt. Nur in $\frac{1}{4}$ der Beobachtungsjahre war an allen Stellen Eisstand vorhanden, in $\frac{1}{3}$ der Jahre an keiner von ihnen. Nähere Angaben über diese Verhältnisse und die durch den planmäßigen Ausbau des Stromes dabei eingetretenen Veränderungen teilt das Weserwerk (Bd. III S. 621 ff.) mit. Auf letztere Frage kommen wir am Schlusse noch zurück.

In der Ems erfolgt die Bildung einer Eisdecke, wenn kleine und mittlere Wasserstände herrschen, oft schon bei gelindem Froste. Fast immer wird sie binnen kurzer Zeit so mürbe, daß sie leicht aufbricht,

sobald das Schmelzwasser den Wasserstand anzuheben beginnt. Die abschwimmenden Schollen verkleinern sich beim Ueberstürzen über die festen Wehre der oberen Strecken derart, daß ihr Abgang weiter unterhalb keinen Schaden zu verursachen pflegt. In vielen Wintern bedeckt sich der gefällarme Strom mehrmals mit Eis, das gewöhnlich bald wieder aufgeht. Oft kommt es aber überhaupt nicht zum Eisstande, sondern nur zur mehrmaligen Grundeisbildung. Man kann im Durchschnitt annehmen, daß die Schifffahrt durch Eis und Hochwasser jährlich nur an 27 Tagen gesperrt wird.

Im Rhein tritt in sehr strengen Wintern auch oberhalb der Murgmündung (rund 18 km stromaufwärts von Maxau) Treibeis auf; aber erst weiter unterhalb stellt es sich zuweilen auf die ganze Breite des Stromes und bildet Eisversetzungen, die in Nähe der Neckarmündung manchmal von bedrohlicher Art waren. Seit Ausführung der Begradigung verlaufen die ehemals in der ganzen verwilderten Strecke zwischen Murg- und Neckarmündung oft sehr gefährlichen Eisgänge in der Regel ohne Schaden. Abwärts vom Neckar erscheint Treibeis fast alljährlich und entstehen nicht selten Versetzungen, an die sich zuweilen eine Eisdecke von größerer Länge anfügt. Aehnlich wie beim Neckar, haben sich auch an der Mündung des Mains manchmal schlimme Stopfungen ereignet, wenn das Eis des Nebenflusses in den Rhein überging, bevor sich dessen Eismassen in Bewegung gesetzt hatten. Unter den übrigen, durch Stopfungen beim Eisgange berüchtigten Stellen sind namentlich die Stromengen am Kammereck und an der Loreley in der Strecke Oberwesel-St. Goar zu nennen. Beispielsweise reichte im Winter 1879/80 die von der Loreley ausgehende Eisdecke auf 210 km Länge bis über die Murgmündung stromaufwärts. Die Stellen des Niederrheins, wo früher häufig durch Festsetzen des Grundeises ein Eisstand erzeugt wurde oder nach Aufbruch der Eisdecke gefährliche Stopfungen erfolgten und hartnäckig andauerten, bis das zu großer Höhe aufgestaute Hochwasser sie forttrieb, sind durch den planmäßigen Ausbau so umgestaltet worden, daß jetzt Störungen des Eisganges selten mehr zu befürchten sind. Bei Köln hat seit 1848 kein Eisstand, dagegen (während der Jahre 1816/85) durchschnittlich an 21 Tagen im Jahre Eisbewegung geherrscht, und zwar an 10 Tagen im Januar, an je 5 Tagen im Dezember und Februar, an 1 Tag im März. Von den in diesem 70jährigen Zeitraume vorgekommenen 14 größeren Eisgängen entfallen 10 auf seine erste Hälfte, als die günstigen Wirkungen des planmäßigen Ausbaues noch nicht zur Geltung gekommen waren. Nachdem in neuerer Zeit erheblich größere Geldmittel für die Verbesserung des Strombetts verfügbar gemacht und die ehemals häufig zerstörten Deiche am Niederrhein bedeutend verstärkt worden sind, haben sich die Eisgefahren wesentlich vermindert. Außer den günstigeren klimatischen Verhältnissen kommt dem Rhein beim Vergleich mit der ein

größeres Niederschlagsgebiet entwässernden Weichsel auch seine sehr bedeutende mittlere Wassermenge zugute, um die Eisverhältnisse besser als dort zu gestalten.

In der Donau, soweit sie durch Württemberg fließt, ist die Bildung von Grundeis während der Wintermonate eine oft beobachtete Erscheinung. Vielfach entsteht in den gefällarmen Strecken eine wochenlang anhaltende Eisdecke. War das niedrige Talgelände vor Beginn des Frostes überschwemmt, so erstreckt sich die Eisfläche nicht selten auf große Längen in ansehnlicher Breite, zerbricht dann aber bei Eintritt des Tauwetters in zahllose Schollen, die meistens außerhalb des Strombettes liegen bleiben. Da das Ueberschwemmungsgebiet vorwiegend aus Wiesen besteht, wirkt das Abschmelzen des schlammigen Eises befruchtend, und die Eisgänge erfolgen ohne Schaden. Weniger harmlos verlaufen sie an der bayrischen Donau. Für geringwertige Auen, sowie für Wiesen und Felder an der Grenze des Ueberschwemmungsgebiets wird auch hier die düngende Wirkung der bei Versetzungen entstandenen Ausuferungen gerne gesehen. Wo aber die Strömung kräftig über die Felder streicht, sie der Krume beraubt und beim Rücktritt des Hochwassers mit Kies und Gerölle überschüttet, besteht das Bestreben, Schutzdämme anzulegen und mit ihrer Hilfe auch gleichzeitig die der Ernte nachteiligen Sommerfluten abzuwehren. Weit schlimmer lagen die Verhältnisse in den bayrischen Donauniederungen vor der Begradigung des Stromes, dessen Ausschreitungen nicht nur große Flächen des Kulturlandes verwüsteten, sondern auch Gebäude und Ortschaften bedrohten. Zahlreiche Talgrundstücke konnten wegen der steten Gefahr des Wiederabbrisses durch Stromverlegungen einer regelmäßigen Kultur nicht unterzogen werden und waren um so mehr ein unsicherer Besitz, da auch die Ueberschwemmungen mit jetzt ungewohnter Höhe, häufiger und in größerem Umfange auftraten, als dies seit der Begradigung geschieht.

Wesentlich trugen hierzu die im verwilderten Stromlaufe weit öfter als jetzt vorgekommenen „Eisstöße“ bei, die hohe Anstauungen verursachten. Gegenwärtig bilden sich in strengen Wintern zwar nicht selten Eisstände aus, manchmal sogar zweimal mit zusammen 20- bis 50tägiger Dauer; ihr Abgang erfolgt aber meistens ohne wesentliche Schäden. Neuerdings war beispielsweise im Winter 1894/95 die bayrische Donau von Ilgstadt aufwärts bis Dillingen, 1899/1900 zwischen Neuburg und Passau von drei Stellen aus auf halbe Länge, ebenso in den beiden folgenden Wintern auf längeren Strecken zugefroren. Die Bildung der Eisdecke erfolgt zuweilen schon anfangs Dezember oder erst im Februar, ihre Auflösung manchmal schon Mitte Dezember oder erst Mitte März. In milden Wintern beschränken sich die Eiserscheinungen auf mehrtägiges Eistreiben, das in allen Monaten vom Dezember bis März stattfinden kann.

Ueber die Eisverhältnisse der österreichischen Donau möge nur erwähnt werden, daß Eisstand dort hauptsächlich durch Rückwärtsschreiten der Eisdecke aus der ungarischen Strecke entsteht. Im Februar 1895 reichte beispielsweise die Eisbedeckung des Stromes von der Draumündung auf 563 km Länge stromaufwärts bis oberhalb Wien. An der Reichshauptstadt zeigt die Donau ihr erstes Eis durchschnittlich am 20. Dezember, ihr letztes am 6. Februar. Von der 50 tägigen Zwischenzeit sind aber durchschnittlich 24 Tage eisfrei. In der Regel findet nur Eistreiben oder Eisgang aus der bayrischen Donau und einigen Nebenflüssen statt. Höchst selten stellt sich das Eis zu kurzen Eisbrücken, und noch seltener werden Eisversetzungen erzeugt, die gefährlichen Stau bei einer Winterflut bewirken können, wie z. B. im Februar/März 1830. Auch im österreichischen Stromlaufe haben sich die früher mit schweren Eisgängen verbundenen Schrecknisse gegenwärtig erheblich vermindert, namentlich bei Wien durch die dort ausgeführten Strombauten und den Schutz des Donaukanals.

Weitere Angaben über die Verbesserung der Eisverhältnisse durch solche Vergleiche des jetzigen Gefährzustandes mit dem, der zur Zeit der Stromverwilderung bestanden hat, würden sich für alle planmäßig ausgebauten Ströme in Fülle machen lassen. Für die Weser ist der Vergleich mit größter Sicherheit möglich, weil aus dem Anfange des 19. Jahrhunderts eine sorgfältige Schilderung der damaligen Mißstände von sachverständiger Seite vorliegt (Weserwerk, Bd. III S. 633ff.). Die in diesem Berichte bezeichneten Ursachen der Eisversetzungen sind größtenteils verschwunden, indem der Ausbau des Stromes die von der ehemaligen Verwilderung herrührenden Hindernisse der glatten Eisabführung beseitigt oder doch ihre nachteilige Wirkung bedeutend abgeschwächt hat. Nicht abzuändern ist die den Eisstand befördernde Wirkung des Aufstauens am Hamelner Wehre und an der Tidegrenze, von welchen beiden Stellen jetzt meistens die Bildung der Eisdecke ausgeht. Auch in den Zwischenstrecken finden sich noch manche Oertlichkeiten, die das Festsetzen des Grundeistreibens oder Zusammenschiebungen während des Eisganges erleichtern, namentlich wo durch Zunahme der mittleren Tiefe das Zahlenverhältnis der Oberfläche zum Stromquerschnitt und hiermit der Flächenraum für das schwimmende Eis vermindert wird. Durch die beim Ausbau bewirkte Einschränkung und Vertiefung der übermäßig breiten, früher verflachten Stellen („Köpfe“ genannt), sowie durch die Verbauung übergroßer Tiefen („Pfuhe“ genannt) mit Grundschwellen sind indessen die mittleren Tiefen der Stromquerschnitte erheblich gleichmäßiger geworden. Daher haben jene gefällarmen Pfuhe ihre Bedeutung für die Behinderung der Eisbewegung größtenteils eingebüßt. Andererseits verhindert die Vertiefung der Köpfe und die Verbauung der flachen Nebenrinnen, daß

sich beim Eisgange der Stromschlauch bis auf die Sohle mit Eisschollen ausfüllt, was früher regelmäßig geschah.

Aus den genannten Gründen erfolgt jetzt viel seltener als früher Eisstand und Eisgang; letzterer ist außerdem bedeutend erleichtert. Seitdem die Hindernisse des glatten Verlaufs der Eisbewegung größtenteils entfernt sind, kann der Eisgang in der Weser nicht mehr die ihm in jenem Berichte zugeschriebene wichtige Rolle spielen und solche Verheerungen am Bette, an den Ufern und im Uberschwemmungsgebiete hervorrufen, wie er sie ehemals verursacht hat. Aus denselben Gründen tritt aber auch der Eisgang viel seltener ein, weil der Verlauf des Grundeistreibens im gleichen Maße begünstigt ist und das Eis weniger oft zum Stehen kommt. Viele Jahre vergehen, in denen eine feste Eisdecke sich nur auf geringe Längen oder überhaupt nicht ausbildet. Während früher der Eisgang fast alljährlich, öfters auch mehrmals in demselben Winter stattfand, sind im 30jährigen Zeitraume 1871/1900 an der Tidegrenze allerdings noch 21, aber bei Minden nur 8 Eisgänge vorgekommen. Meistens endigten sie schon (nach ein- bis dreitägiger Dauer) lange vorher (durchschnittlich zehn Tage), bevor der Höchststand der Flutwelle erreicht war, die von demselben Tauwetter wie der Eisaufruch erzeugt worden ist.

Eine Untersuchung über die Zahl der Eisstandstage in den seit 1840 verstrichenen zwölf Jahrfünften zeigte, daß sich in diesem Zeitraum gewisse von den Temperaturverhältnissen abhängige Schwankungen vollzogen haben, die aber eine dauernde Verminderung der Eisstandstage nicht auszugleichen vermögen. Eine ergänzende Untersuchung über die milden Winter im Weserstromgebiete lehrte ferner, daß diejenigen Jahrfünfte, in denen nur ein einziger oder keine milden Winter vorgekommen sind, an allen fünf näher betrachteten Pegelstellen ungewöhnlich viele Tage mit Eis hatten. Lag das Frostwetter in den strengen Wintern vorwiegend im Dezember/Januar, so erhielt die Weser im Januar niedrige Wasserstände, bei denen das Eis schneller zum Stehen kommt, und eine größere Zahl von Eisstandstagen, als wenn die übrigen Monate verhältnismäßig zu kalt waren. Wie erheblich die Zahl und Dauer der Eisstände durch den planmäßigen Ausbau der Weser abgenommen hat, geht aus folgender Tabelle hervor.

Jährliche Eisstandstage	Karls- hafen	Rinteln	Minden	Nienburg	Dreye
Am Anfang (1840)	14	5	15	19	27
Durchschnitt 1841/1870	13	5	13	18	24
Durchschnitt 1871/1900	6	2	5	11	15
Am Ende (1900)	4	1	4	9	15
Abnahme von 1841/70 zu 1871/1900	7	3	8	7	9
Abnahme vom Anfang zum Ende .	10	4	11	10	12

Bei Dreye an der Tidegrenze ist in allen Reihen die Eisstandsdauer am größten, weil von dort der Eisstand ausgeht und der Aufbruch dort zuletzt stattfindet. Bei Rinteln ist sie am kleinsten, weil nur in sehr strengen Wintern die bei Dreye beginnende Eisdecke so weit nach oben zurückgreift. Bei Minden wird der Eisstand im Strome annähernd in gleichem Maße von Dreye aus beeinflusst, wie dies bei Karlsruhen vom Hamelner Wehre aus geschieht. Bis Nienburg, das zwischen Minden und Dreye liegt, reicht natürlich die Eisdecke häufiger zurück. Bei Karlsruhen, Rinteln und Minden beträgt die Zahl der Eisstandstage jetzt nur noch $\frac{1}{4}$, bei Nienburg nicht ganz $\frac{1}{2}$, bei Dreye etwas über $\frac{1}{2}$ der ehemaligen Anzahl.

17. Gesamtmasse einer Flutwelle. Ihr Verhältnis zur Jahresabflußmenge und zur Gesamtmasse der Niederschläge.

Folgende zur Ergänzung der Anm. 10 bestimmte Mitteilungen gehen von einer Frage aus, die gerade in der letzten Zeit wieder viel erörtert worden ist, nämlich von der Frage über die Wirksamkeit der Zurückhaltung des Hochwassers in den Quellgebieten. Zunächst sei bemerkt, daß die Ausführung des im Vortrage (S. 18) erwähnten großen Sammelbeckens an der Eder mit 170 Millionen cbm Fassungsvermögen zwar die Hochfluten dieses Wildflusses auf eine durchaus unschädliche Höhe herabmindern und auch an der Weser die Hochwassergefahren erheblich abschwächen würde. Eine gründliche Hilfe für die eingedeichte Weserstrecke unterhalb Hoya, etwa in solchem Maße, daß die Beseitigung der dortigen gefährlichen Deichengen unterbleiben könnte, wäre jedoch durch dieses Riesenbecken allein schwerlich zu erzielen. Denn die Einwirkung auf die sekundliche Größtmenge der Flutwellen bei Hoya läßt sich nach sorgfältiger Ermittlung auf eine Verminderung um rund 11 % beziffern. Um mehr zu erreichen, müßte man auch an den übrigen Zuflüssen der Weser Sammelbecken anlegen, wofür die Bedingungen nirgends so gut geboten sind als an der Eder. Welche sonstigen Vorteile mit der Herstellung jenes Riesenbeckens zu gewinnen wären, steht hier nicht zur Erörterung. Dieses Beispiel soll nur darauf hinweisen, daß selbst eine so ungewöhnlich wirksam zu gestaltende Zurückhaltung von Hochwasser am Ursprungsorte, mit deren Hilfe man für den schlimmsten Gebirgsfluß des Wesergebiets die Wasserführung vollständig zu regeln vermöchte, in den unteren Strecken des Stromes an Wirksamkeit bedeutend verliert.

Noch ein anderes Beispiel ist im Vortrage (S. 18) erwähnt, nämlich die große Leistungsfähigkeit der natürlichen Sammelbecken im Alpenlande, die dennoch nicht ausreicht, sehr bedeutende

Hochfluten vom Oberrhein fernzuhalten. Unter Hinweis auf das Rheinwerk (S. 173/4) sei hier wiederholt, daß der Bodensee mit 528 qkm (bei höchster Anschwellung 556 qkm) Spiegelfläche bis zu rund 183 Millionen cbm in einem einzigen Tage aufzuspeichern vermag. Die der gemittelten Ansteigung des Seespiegels während eines Jahres entsprechende Wassermasse wird auf 1125 Millionen cbm oder rund 1,1 cbkm angegeben, bei der größten Ansteigung während eines Jahres auf 1,5 cbkm. Die Seen des Aaregebiets haben (mit Einschluß der Jura-seen) ein durchschnittlich etwa ebenso großes Aufspeicherungsvermögen, und ihre größte Ansammlung binnen 24 Stunden wird sogar auf 232 Millionen cbm veranschlagt, freilich mit dem Hinzufügen, „daß es sich bei dieser rohen Berechnung nicht überall um gleichzeitige Fälle handelt“. Der zusammen bis zu 415 Millionen cbm oder rund 0,4 cbkm betragende Fassungsraum kann aber doch wohl größtenteils gleichzeitig, mindestens bei Hochwassererscheinungen wie im Juni 1876, ausgenutzt werden. Für den Bodensee beträgt die größte sekundliche Abflußmenge 1100 cbm, dagegen die seiner größten Ansteigung binnen 24 Stunden entsprechende sekundliche Wassermenge rund 2100 cbm. Um letzteren Betrag wird die zufließende Größtmenge vermindert, die im Rhein oberhalb seiner Einmündung in den See bis zu 3000 cbm anwachsen kann. Daher ermäßigt sich die zur Größtmenge gehörige, für das obere Rheingebiet (rund 6600 qkm) auf 0,45 cbm/qkm ermittelte sekundliche Abflußzahl am Ende des Bodensees (rund 11600 qkm) auf knapp 0,1 cbm/qkm. Sie ist also hier erheblich geringer wie für das wenig größere Wesergebiet bei Karlshafen (rund 13100 qkm), wo sie nach der Tabelle auf S. 34 beim Höchststande 0,18 cbm/qkm erreicht.

Aber diese günstige Einwirkung hält nicht lange vor, da schon bei Basel der Oberrhein wieder eine recht hohe Abflußzahl besitzt (vergl. Tabelle auf S. 34). Hieran sind nicht nur die aus seenlosen Gebieten kommenden Seitengewässer schuld, sondern auch die aus einem seenreichen Gebiete (rund 17600 qkm) stammende Aare, die bei außerordentlichem Hochwasser 3400 cbm oder 0,19 cbm/qkm sekundlich in den Oberrhein abführt. Trotz ihrer größeren Gebietsfläche hat sie eine etwas höhere Abflußzahl als die Weser bei Karlshafen, in deren Quellgebiet eine Zurückhaltung des Hochwassers von Bedeutung nicht stattfindet. Gleiche Größe besitzt die Abflußzahl des Inn, dessen freilich beträchtlich größeres Niederschlagsgebiet (rund 26000 qkm) hauptsächlich im seenarmen Hochgebirge liegt; denn der Inn liefert bei Passau bis zu 4900 cbm oder 0,19 cbm/qkm an die Donau. Die weniger großen Alpenflüsse haben teilweise erheblich höhere Abflußzahlen, besonders unweit ihres Austritts aus dem Gebirge, z. B. die Isar bei München (rund 2800 qkm Gebietsfläche), deren Größtmenge im September 1899 sorgfältig zu 1300 cbm ermittelt worden ist, eine hierzu gehörige se-

kundliche Abflußzahl von 0,47 cbm/qkm. Bei Gebietsflächen von ebenso geringem Umfange weisen zwar auch die Mittelgebirgsflüsse recht hohe Abflußzahlen auf; immerhin läßt sich aber doch von den Alpenflüssen eine stärkere Hochwasserführung erwarten. Zweifellos würde daher die Aare eine höhere Abflußzahl zeigen, wenn in ihren zahlreichen Seen nicht so viel Hochwasser zurückgehalten würde. Der Vergleich mit dem Inn und der oberen Weser lehrt indessen, daß die abschwächende Wirkung der Zurückhaltung des Hochwassers in den Schweizer Seen an der Aaremündung größtenteils wieder ausgeglichen ist, obgleich bei den wichtigsten Seen des Aaregebiets der Abfluß nicht frei erfolgt, sondern künstlich geregelt wird.

Gewöhnlich unterschätzt man die Gesamtmasse einer Flutwelle und ihr Verhältnis zur mittleren jährlichen Abflußmasse des Stromes. Schon die oben für den Bodensee mitgeteilten Zahlen über die an einem einzigen Tage und bei der größten Ansteigung während des ganzen Jahres aufgespeicherten Wassermassen deuten darauf hin, daß durch eine große Hochflut ein erheblicher Bruchteil des Jahresabflusses abgeführt wird. Denn die das Ansteigen bewirkenden Mehrbeträge, um welche der Zufluß den gleichzeitigen Abfluß und die Verdunstung übertrifft, machen an einem einzigen Hochwassertage bis zu $\frac{1}{8}$ der jährlichen Auffüllung des Sees aus. Für die Donau bei Wien läßt sich die mittlere Jahresabflußmasse auf rund 59 cbkm annehmen, die Gesamtmasse des Hochwassers vom September 1899 auf 6,48 cbkm, also etwa $\frac{1}{9}$ jener Zahl.¹⁾ Für die böhmische Elbe bei Tetschen haben Penck und Ruvarac („Die Abfluß- und Niederschlagsverhältnisse von Böhmen“, Wien 1896) die mittlere Jahresabflußmasse der Jahre 1876/90 auf 9,80 cbkm berechnet, während die Gesamtmasse des Hochwassers vom September 1890 in 14 Tagen 2,33 cbkm betragen hat, also über $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$. Aehnlich stellt sich das Verhältnis für die Weser, deren außerordentliche Hochflut vom Januar 1841 etwa 2,0 cbkm Gesamtmasse nach der Unterweser brachte, wenn man diesen Betrag mit der in Anm. 10 (S. 54) mitgeteilten Jahresabflußmasse (9,38 cbkm unterhalb der Allermündung) vergleicht.

Daß die Gesamtmassen der Flutwellen bei großen Hochfluten so bedeutende Bruchteile der mittleren Jahresabflußmassen der genannten Stromgebiete ausmachen, und zwar bei den Mittelgebirgsflüssen Elbe und Weser noch größere Bruchteile als

¹⁾ Die mittlere Jahresabflußmasse für Wien ist aus der für die bayrische Grenze amtlich angegebenen Zahl, die sich auf das Jahr fünfzig 1880/84 bezieht, nach dem Verhältnis der Gebietsflächen geschätzt. Nach den Jahrbüchern des österreichischen hydrographischen Zentralbureaus ergibt sich die Durchschnittszahl aus den genau berechneten Jahresabflußmassen für die Jahre 1898 bis 1900 nur wenig größer, nämlich auf 59,46 cbkm.

bei der aus den Alpen gespeisten Donau, erklärt sich leicht. Nach den auf S. 70/71 enthaltenen Angaben über die größten Regenmengen binnen 24 Stunden darf man ein solches Verhalten ohne weiteres erwarten für die durch Regengüsse entstandenen Hochfluten unserer östlichen Ströme, die aus dem Gebirge stammen. Denn in ihren Zuflußgebieten fallen zuweilen Tagesmengen von mehr als $\frac{1}{4}$ der mittleren jährlichen Regenmengen, noch dazu oft im Gefolge von Dauerregen und ihrerseits gefolgt von minder heftigen Regengüssen, deren Gesamtsumme für die Ausbildung der Flutwelle in Betracht kommt. Da sich im Hochgebirge die Tagesmengen nicht in demselben Maße steigern wie die mit wachsender Höhenlage erheblich zunehmenden jährlichen Niederschläge, die größtenteils als Schnee fallen und mit geringeren Verlusten zum Abfluß gelangen, hatte die Donau bei ihrer außerordentlichen Hochflut vom September 1899 einen kleineren Bruchteil ihrer sehr großen Jahresabflußmasse abzuführen als im September 1890 die Elbe, deren Jahresabflußmasse verhältnismäßig gering ist. Für die Weser handelt es sich um eine durch plötzliche Schneeschmelze und Winterregen erzeugte Hochflut, bei welcher die Gesamtmasse aus den früher gefallenen Niederschlägen zu jenem großen Betrage derart vergrößert wurde, daß ein ähnlicher Bruchteil der verhältnismäßig größeren Jahresabflußmasse herauskam, wie dies bei der genannten Hochflut in der Elbe geschah.

Dies führt zu einem Vergleiche der Beziehungen zwischen den Jahresabflußmassen und Gebietsflächen, d. h. der sekundlichen Abflußzahlen im Jahresdurchschnitt. Für die Weser unterhalb der Allermündung (37 900 qkm) entspricht der Jahresabflußmasse 9,38 cbkm die sekundliche Abflußzahl 7,84 l/qkm, für die böhmische Elbe (51 100 qkm) der Jahresabflußmasse 9,80 cbkm die sekundliche Abflußzahl 6,08 l/qkm, die also wesentlich kleiner als für die Weser ist. Wie aus der Tabelle auf S. 54 hervorgeht, hat die Weser von den an unseren deutschen Küsten mündenden Strömen, abgesehen von der kleineren Ems (8,72 l/qkm), die größte sekundliche Abflußzahl im Jahresdurchschnitt. Ihr zunächst kommt der Memelstrom bei Tilsit (6,21 l/qkm), dann die Elbe bei Artlenburg (5,28 l/qkm) und die Weichsel an der Teilungsspitze (5,01 l/qkm). Die Oder ähnelt den beiden letztgenannten Strömen; ihre genaue Abflußzahl konnte bisher nicht ermittelt werden. Auch für den Rhein fehlt einstweilen eine solche Berechnung; zweifellos ist aber seine (wohl auf etwa 14 l/qkm zu schätzende) sekundliche Abflußzahl bedeutend größer als bei allen diesen Strömen. Noch größeren Wert nimmt sie für die Donau an, da die nachhaltige Speisung aus den Alpen bei ihr eine noch wichtigere Rolle als bei den unteren Strecken des Rheins spielt. Im Jahrfünft 1880/84 hat ihre mittlere Jahresabflußmasse am Ende der bayrischen Strecke nach Aufnahme des Inn 45,0 cbkm betragen, die zur rund 76 900 qkm großen Gebietsfläche gehörige sekund-

liche Abflußzahl 18,53 l/qkm. Fast genau dasselbe ergibt sich für die Donau bei Wien im Durchschnitt der Jahre 1898/1900, da einer Jahresabflußmasse von 59,46 cbkm bei rund 101600 qkm Gebietsfläche die sekundliche Abflußzahl 18,59 l/qkm entspricht.

Daß die Speisung aus dem Hochgebirge, wo die hauptsächlich als Schnee fallenden Niederschläge geringere Verluste erleiden und durchschnittlich bedeutend größer als im Mittelgebirge und Flachlande sind, dem Oberrhein und namentlich der Donau ihre große Wasserfülle spendet, ist leicht durch den Hinweis auf die sekundlichen Abflußzahlen der Alpenflüsse darzulegen. Beispielsweise ergeben sich nach den letztjährigen Ermittlungen diese Abflußzahlen für die Iller unweit ihrer Mündung auf 31,5 und für den Inn bei Kufstein auf 30,0 l/qkm. Demgemäß haben diese Flüsse und in etwas schwächerem Maße auch die Donau sehr große Zahlen für das Verhältnis zwischen Abfluß und Niederschlag im Jahresdurchschnitt. Der Inn wies bei Kufstein im Jahre 1900 ein Abflußverhältnis von 76% (für rund 9500 qkm Gebietsfläche), weiter oberhalb bei Innsbruck sogar ein solches von 83% (für rund 5800 qkm Gebietsfläche) auf. Ohne näher auf Einzelheiten einzugehen, sei nur kurz die Gesamtwirkung der Alpenflüsse erwähnt, die das Abflußverhältnis der Donau bei Wien im Kalenderjahre 1898 auf 58, 1899 auf 55, 1900 auf 56, durchschnittlich auf 56% gebracht hat. Zu letzterer Zahl gehören als Durchschnittsbeträge: die Niederschlagsmasse 106,3 cbkm, die Niederschlagshöhe 1047 mm, die Abflußhöhe 586 mm und die mittlere Abflußmenge 1889 cbm/sek.

Des Vergleichs wegen fügen wir aus der Tabelle auf S. 54 die der Weser entsprechenden Zahlen nochmals bei: Abflußverhältnis 34,7%, Niederschlagshöhe 713 mm, Abflußhöhe 247 mm, mittlere Abflußmenge 297 cbm/sek. Für die böhmische Elbe betragen die entsprechenden Zahlen: Abflußverhältnis 27,8%, Niederschlagshöhe 692 mm, Abflußhöhe 192 mm, mittlere Abflußmenge 311 cbm/sek. In der Endstrecke der böhmischen Elbe ist demnach die Abflußmenge nicht viel größer als in der Weser nach Aufnahme der Aller, obgleich das Elbegebiet bei Tetschen um $\frac{1}{3}$ größer ist (51100 gegen 37900 qkm). Andererseits ist das Donaugebiet bei Wien (101600 qkm) nur 2,7 mal, die Abflußmenge aber 6,8 mal der Wasserreichtum also ungefähr 2,5 mal so groß wie beim wasserreichsten der Hauptströme Norddeutschlands.

Dieser Nachtrag zu Anm. 10 war notwendig, um die folgenden Angaben über das Verhältnis der Gesamtmasse einer Flutwelle zur Gesamtmasse der sie verursachenden Niederschläge richtig zu würdigen. Die in der Tabelle auf S. 97 enthaltenen Zahlen für die Donau und böhmische Elbe beruhen auf den Mitteilungen in Heft II und IV der „Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs“. Für die Iller-

hochflut sind die Angaben dem Jahrbuch des bayrischen hydrotechnischen Bureaus (Bd. II) entnommen, für die Oder- und Warthehochflut einem Berichte der preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde.

Im Hefte II der „Beiträge“ ist die Gesamtmasse des Abflusses der Donau bei Wien vom 28. Juli bis 14. August (früh) 1897 auf 7,56 cbkm angegeben, wovon jedoch 2,78 cbkm abgezogen sind als derjenige Betrag, der auch ohne Eintritt des Hochwassers abgeflossen wäre. Dagegen ist für die Gesamtmasse des Niederschlags in der zugehörigen Gebietsfläche vom 26. bis 31. Juli, die auf 11,34 cbkm berechnet ist, kein solcher Abzug gemacht. Nun würde aber doch bei normalen Verhältnissen in diesen 6 Tagen voraussichtlich so viel Niederschlag gefallen sein, wie dem normalen Abflusse der betreffenden Jahreszeit entspricht. Zieht man für 17 Hochwassertage einen der Hochwassererscheinung nicht anzurechnenden Abflußbetrag ab, so muß man auch für 6 Sturzregentage den zugehörigen Niederschlagsbetrag abziehen. Nach überschlägiger Schätzung macht dies 1,86 cbkm aus. Während in den „Beiträgen“ das Abflußverhältnis auf $(7,56 - 2,78) : 11,34 = 4,78 : 11,34 = 42,1\%$ berechnet ist, ergibt es sich nach unserer Rechnung bedeutend größer, nämlich auf $4,78 : (11,34 - 1,86) = 4,78 : 9,48 = 50,5\%$.

Für 1899 wird im Hefte IV der „Beiträge“ die Gesamtmasse des Abflusses vom 10. September bis 7. Oktober (früh) auf 6,48 cbkm angegeben nach Abzug eines nicht genannten Betrags, der sekundlich auf 1200 cbkm, also in 27 Tagen auf rund 2,8 cbkm zu schätzen sein dürfte.¹⁾ Eine zweite Schätzung beruht auf dem hydrographischen Jahrbuch für 1899, das im September die ganze Abflußmasse bei Wien mit 10,40 cbkm angibt. Denkt man sich nun die letzten, auf den Oktober fallenden Hochwassertage, die verhältnismäßig wenig Abflußmenge hatten, in den September zurückgeschoben, so wäre die Gesamtmasse des Abflusses zur Hochwasserzeit auf $\frac{27}{30}$ der Monatsmasse, d. h. auf 9,36 cbkm anzunehmen, der dem normalen Abfluß entsprechende Betrag also auf $9,36 - 6,48 = 2,88$ cbkm. Beide Schätzungen stimmen überein und lassen (unter Berücksichtigung des Abflußverhältnisses im September 1898 und 1900) den zugehörigen normalen Niederschlag für die 7 Sturzregentage vom 8. bis 14. September auf 1,07 cbkm bemessen. Die Gesamtmasse des Niederschlags in diesen Tagen betrug 15,47 cbkm, wäre aber nach unserer Rechnung nur mit $15,47 - 1,07 = 14,40$ cbkm in den Vergleich zu ziehen. Statt eines Abflußverhältnisses von $6,48 : 15,47 = 41,9\%$ bekommen wir dann ein solches von $6,48 : 14,40 = 45,0\%$.

¹⁾ Die sekundliche Größtmenge hat „nahezu 10500 oder, auf die Fluthöhe allein bezogen, 9300 cbm“ betragen. Der Unterschied ist 1200 cbm.

Strom (Pegelstelle)	Hochflut	Gebiets- fläche	Gesamt- masse		Ab- fluß- ver- hält- nis	Zugehörige Höhe		Sekund- liche	
			Nieder- schlag	Abfluß		Nieder- schlag	Abfluß	Größt- menge	Abfluß zahl
Donau (Wien)	Juli/Aug. 1897	101 600	9,48	4,78	50,5	93	47	8 835	86,9
Donau (Wien)	Septbr. 1899	101 600	14,40	6,48	45,0	142	64	10 500	103,4
Elbe (Tetschen)	Septbr. 1890	51 100	4,37	2,33	53,0	86	46	4 450	87,1
Elbe (Tetschen)	Juli/Aug. 1897	51 100	6,10	1,58	26,0	120	32	2 665	52,2
Iller (Wiblg.)	Septbr. 1899	2 200	0,46	0,30	65,4	212	138	435	198,6
Oder (Breslau)	Juli 1903	22 600	3,30	1,69	51,2	146	75	2 100	92,9
Warthe (Prosnamdg.)	Juli 1903	20 400	2,35	0,88	37,5	115	43	860	42,6

Das Beispiel der Illerhochflut ist hinzugefügt, um zu zeigen, wie bedeutend die mittleren Höhen des Abflusses und Niederschlags, sowie die sekundlichen Abflußzahlen wachsen, wenn die ganze Gebietsfläche stark von Sturzregen betroffen wird. Auch die betreffenden Zahlen für die Oderhochflut bei Breslau, wo das Niederschlagsgebiet zehnfach größer ist, mußten recht hoch ausfallen, weil die ganze Gebietsfläche überregnet war, freilich nur teilweise mit Sturzregen. Die meist etwas kleineren Zahlen für die Donauhochflut vom September 1899 lassen erkennen, daß die große Gebietsfläche von einer außerordentlichen Niederschlagserscheinung heimgesucht war, die innerhalb des Stromgebiets an Ausdehnung und Stärke diejenige übertroffen hat, die zur Donauhochflut vom Juli/August 1897 Anlaß gab. Wenn trotzdem das Abflußverhältnis 1899 kleiner als 1897 geblieben ist, so beruht dies auf besonderen Gründen, die sogleich genannt werden sollen. Bevor dies geschieht, sei aber darauf hingewiesen, daß nur bei der Elbehochflut vom September 1890, der Oder- und der Warthehochflut vom Juli 1903 das Abflußverhältnis größer als im Jahresdurchschnitt war, bei diesen beiden Hochwassererscheinungen allerdings bedeutend größer. Weshalb es bei der Elbehochflut vom Juli/August 1897 kleiner blieb, wird später erwähnt. Gewöhnlich steigert sich bei Mittelgebirgsflüssen das Abflußverhältnis zur Hochwasserzeit erheblich, weil die Verdunstungsverluste bei intensiven Niederschlägen keine solche Größe annehmen können wie bei den häufiger vorkommenden schwächeren, gemeinhin als Landregen bezeichneten Niederschlägen. Anders liegt die Sache für einen aus dem Hochgebirge gespeisten Strom wie die Donau. Die oben genannten Gründe für die bedeutende Größe des Jahresabflußverhältnisses versagen bei sommerlichen Regengüssen, die in den nied-

rigeren Lagen stärker als in den Hochlagen auftreten, weshalb das Verhalten des ganzen Stromgebietes in solchen Zeiten mehr demjenigen der Flußgebiete des Mittelgebirges als der Alpenflußgebiete ähnelt.

Beim Vergleiche der Abflußverhältniszahlen beider Donauhochfluten ist zu beachten, daß vor der Hochflut von 1897 im größten Teile der von den Sturzregen betroffenen Gebietsfläche bereits namhafte Niederschläge gefallen, die Wasserläufe höher angefüllt und die Geländeflächen mehr durchfeuchtet waren als vor der Septemberhochflut von 1899. Außerdem erfolgte 1899 ein Teil der Niederschläge am 11./13. September, d. h. während der niederschlagsreichsten Zeit, in Höhenlagen über + 1600 m als Schneefall. In Heft IV der „Beiträge“ (S. 61) wird hierüber gesagt, „daß es ganz gewaltige Wassermengen gewesen sein mußten, welche den Zubringern durch den Niederschlag in fester Form gerade zu jener Zeit entzogen wurden, in welcher sie mit dem flüssigen Element so verderbenbringend überfüllt waren. Diese Aggregatsform des Niederschlags war daher im allgemeinen kein Moment der Vergrößerung, sondern vielmehr eines für die Verminderung der durch die exzessiven Ergüsse erzeugten Hochwassergefahr.“ Für die bayrischen Alpen wird dagegen der gleichzeitig mit den stärksten Niederschlägen eingetretenen Schneeschmelze eine Steigerung der Abflußmenge zugeschrieben, wie im Jahrbuche des bayrischen hydrotechnischen Bureaus mitgeteilt ist (Bd. I, S. XV und XVII): „Die für das Hochwasser maßgebende Regenperiode begann am 8. September und endigte mit dem 14. September. Sehr wichtig für den Verlauf des Hochwassers war der Umstand, daß vom Nachmittag des 10. in den höheren Lagen des Gebirges die Niederschläge fortgesetzt als Schneefiel. An vielen Stellen war eine Schneedecke von 70 bis 120 cm vorhanden. Die Schneegrenze hatte ungefähr eine Höhenlage von + 1000 bis 1200 m über dem Meere. Am 13. abends trat in diesen höheren Lagen eine bedeutende Temperaturerhöhung und Regenfall ein, und zu den unaufhörlichen Regengüssen kam unglücklicherweise noch eine rasche Schmelze des lockeren Schnees im Gebirge. — Die Ursache der Katastrophe ist somit vorwiegend in dem während sechs Tagen in außerordentlicher Menge über das Hochgebirge und Alpenvorland niederströmenden Regen zu suchen, wobei der Abgang eines frisch gefallenen lockeren Neuschnees keineswegs eine geringe Rolle spielte.“

Beim Vergleiche der Abflußverhältniszahlen beider Elbehochfluten fällt auf, daß 1897 das Abflußverhältnis und ebenso die sekundliche Größtmenge erheblich geringer waren als 1890, obgleich die Gesamtregenmasse ein weit größeres Maß erreichte. Heft II der „Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs“ führt zur Erklärung vier Gründe an: 1) „daß im September 1890 die Feldfrucht zum größten Teile bereits eingeheimst war, das Wasser daher einen rascheren Abfluß als

im Juli/August 1897 gefunden habe“, 2) „daß im Jahre 1890 der Periode exzessiver Regenfälle ein außerordentlich niederschlagsreicher Monat vorangegangen sei, die ersten Wochen des Monats Juli 1897 hingegen sehr trocken verlaufen waren“, 3) die Verschiedenheit der Entstehungsherde und 1890 viel ungünstigere Verteilung der Niederschläge, 4) die höhere Temperatur und größere Verdunstung im Juli 1897. Als wichtigsten Grund bezeichnet die Darlegung den zu 2) genannten, wonach die Versickerung im ausgetrockneten Boden 1897 einen ungewöhnlich hohen Verlust der sehr bedeutenden Niederschläge herbeigeführt haben soll. Die der Hochflut entsprechende Niederschlagshöhe (120 mm) betrug über $\frac{1}{6}$ des mittleren Jahresniederschlags (692 mm), welcher Bruchteil für weniger umfangreiche Gebiete bei den zu Hochfluten führenden Sturzregen nicht selten erreicht wird.

Die Anwendung des Ausdruckes „Verlust“ für die Versickerung des größtenteils irgendwo und irgendwann wieder zum Vorschein gelangenden Wassers bezieht sich nur auf sein augenblickliches Verschwinden, indem es für den Verlauf der Hochflut nicht in Betracht kommt oder doch erst nach Rückbildung der Flutwelle das Abfallen des Stromes auf den Anfangswasserstand lange verzögert (S. 31). Freilich geht ein großer Teil des versickerten Wassers durch Bodenverdunstung oder Verbrauch des Pflanzenwuchses für den offenen Abfluß wirklich verloren, während diese beiden Erscheinungen für die kurze Dauer der die Hochflut verursachenden Niederschläge viel weniger als sonst zur Wirkung gelangen. Deshalb macht sich gerade bei den Hochwassererscheinungen oft der geringe Durchlässigkeitsgrad des Bodens durch Steigerung des Abflußverhältnisses geltend, mag er ständig vorhanden sein (undurchlässige Bodenarten), oder mag er von vorheriger starker Bodenbenetzung und Durchfeuchtung oder vom Bodenfrost zeitweise herbeigeführt werden. Zahlreiche Belege hierfür finden sich in den vom Bureau des Wasserausschusses bearbeiteten Werken. Unter den in dieser Anmerkung erwähnten Hochfluten zeigt die Elbehochflut vom September 1890 infolge der zuvor stattgehabten Sättigung großer Teile der Gebietsfläche mit Feuchtigkeit eine solche Steigerung, ebenso die Weserhochflut vom Januar 1841 infolge des Bodenfrostes und der Durchfeuchtung. In einigen anderen westdeutschen Gewässern (Wupper, Emscher) sind für winterliche Regenfluten Abflußverhältniszahlen von 70 bis 90 % nachgewiesen worden. Ein die Quellen verschließendes strenges Frostwetter hat bei Winterfluten nicht selten die Dauer des Hochwassers abgekürzt und die volle Entwicklung der Flutwellen behindert, z. B. in auffallendem Maße bei der Hochwassererscheinung vom November/Dezember 1890 in der Weser.

Daß unter den beiden Donauhochfluten diejenige des Jahres 1897 ein größeres Abflußverhältnis als die von 1899 aufweist, dürfte

ebenfalls größtenteils der geringeren Versickerung im erstgenannten Jahre zuzuschreiben sein. Denn nach Heft IV der „Beiträge“ ist es „als feststehend anzusehen, daß die der Katastrophe vorhergehende Benetzung der Bodenoberfläche im September 1899 nur im nördlichen und mittleren Teile Niederösterreichs größer als im Juli 1897 war, das übrige betroffene Areale aber eine mehr minder große Trockenheit erkennen ließ“ (S. 70). Ferner wird gesagt (S. 33): „Es erscheint die Vermutung nicht unbegründet, daß in den großen unterirdischen Reservoiren, welche die Quellen speisen und das Grundwasserniveau regulieren, zu Anfang des Monats September 1899 ein relativ nur geringes Wasserquantum aufgespeichert gewesen sei, was naturgemäß zur Milderung der Hochwasserkatastrophe beizutragen geeignet war.“

Für die in Anm. 1 beschriebene Oder- und Warthehochflut vom Juli 1903 sind die sekundlichen Größtmengen bei Pollenzig an der mittleren Oder, wo die Flutwelle bereits erheblich abgeflacht war, auf 1738 cbm und bei Hohensaathen an der unteren Oder, wo die Wassermassen der Warthe hinzugekommen sind, auf 2040 cbm durch Messungen mit dem hydrometrischen Flügel, bei Landsberg an der unteren Warthe nach älteren Messungen auf 760 cbm festgestellt worden. Ferner lassen sie sich für die Oder bei Breslau (oberhalb der Weistritz- und Weidemündung) auf etwa 2100, für die Warthe unterhalb der Prosnamündung auf etwa 860 cbm schätzen. Wie der auf S. 96 erwähnte Bericht darlegt, kann man annehmen, daß die bei Pollenzig zu 1,69 cbkm ermittelte Gesamtmasse der Oderflutwelle auch für Breslau gilt, ebenso die bei Landsberg zu 0,88 cbkm ermittelte Gesamtmasse der Warthefflutwelle auch für die Prosnamündung. Denn in den zwischen diesen Stellen gelegenen Gebietsteilen sind verhältnismäßig schwache Niederschläge gefallen und haben die Nebenflüsse geringe Zufuhr gebracht, schwerlich mehr, als durch Versickerung im Ueberschwemmungsgebiet und Verdunstung verloren ging. Die Summe beider Flutwellen beträgt 2,57 cbkm, während nach der Abflußmengenlinie bei Hohensaathen 2,52 cbkm abgeflossen sind; beide Zahlen stimmen also fast genau überein. Aus den Angaben für die Warthe in der Tabelle auf S. 97 sieht man, daß auch bei einem dem Flachlande angehörigen Wasserlaufe Abfluß und Niederschlag nebst den ihr Verhältnis untereinander und zur Gebietsfläche angehenden Zahlenwerten zeitweise zu sehr hohen Beträgen gesteigert werden können.



Sachverzeichnis.

	Seite		Seite
Abflachung, siehe Verflachung.		Elbe, vergl. Schlußtablelle.	
Abfluß, Bezgh. z. Niederschl. bei Hochw.-Erscheinungen	60/61	— Einströmung d. Hochwassers in d. Havelbecken	2, 32/33, 35/36
— hindernis im Hochwasserbett	3/4, 17, 29	— Gesamtmasse d. Flutw. u. Jahresabflussmasse	93
— höhe, mittlere jährl., vergl. Schlußtablelle.		Ems, vergl. Schlußtablelle.	
— höhe der Stromgebiete	54, 95	— Vergleich der Hochw.-Ersch. mit Memelstrom	8/9
— höhe der Flutwelle, vgl. Schlußtablelle.		Entstehen (Ausbildung) einer Hochflut	21/23, 76
— höhe f. einige Hochfluten	97	Flachland (Flachlandflüsse, Herkunft aus d. —).	
— masse, Jahres-, vergl. Schlußtablelle.		— Einwirkung auf Hochw.-Ersch. im Osten	4, 6/7, 9
— masse der Ströme, mittlere	54, 58, 93/95	— Einwirkung auf Hochw.-Ersch. im Westen	8/9
— masse Verh. z. Gesamtmasse d. Flutwelle	93/94	— Außerordtl. Sommerfluten d. —flüsse	43/45, 100
— masse, Bezghn. zur Gebietsfläche	54, 91/95	— Winterfluten in —strecken d. Gebirgsflüsse	45/46
— masse, der Flutwelle, siehe Gesamtmasse.		— Verh. d. Niederschlags auf Halbjahre im	65
— menge, mittlere sekdl., vergl. Schlußtablelle.		— Jährl. Bewegung d. MW	67/68
— menge der Ströme	54, 95	Flutwelle vergl. Schlußtablelle.	
— menge, größte sekdl., siehe Größtmenge.		— Verlauf im allgemeinen	2/4, 27/32, 36/42, 76
— verhältnis, mittleres, vergl. Schlußtablelle.		— Verlauf d. Oder — vom Juli 1903	21/25, 100
— verhältnis d. Ströme	53/60, 95	— Aenderung d. Form u. Gesamtmasse, Höhe u. Länge, Verflachung und Dehnung	2/4, 27/32
— verhältnis d. Flutwelle, vergl. Schlußtablelle.		— Fortschrittsgeschwindigkeit des Scheitels	3/4, 36/42
— verhältnis f. einige Hochfluten 5, 71, 73, 96/100		— Zeitlicher Verlauf (Untersuchung hierüber)	4, 36/37
— zahl, mittlere sekdl., vergl. Schlußtablelle.		— Einwirkung der Eisverhältnisse	40, 81/90
— zahl der Ströme	54, 94/95	— Gesamtmasse u. ihre Beziehungen	93/100
— zahl, sekdl. d. Größtmenge	33/36, 92/93 97	Form der Flutwelle (spitz, flach)	4, 6/7, 10/11, 28/29, 33, 35/33
Aller. Einwkg. auf Größtmenge d. Weser	35/36	Fortschrittsgeschwindigkeit, vergl. Schlußtablelle.	
Anschwellungsdauer d. Flutwelle	31	— Einwirkg. d. Querschnittsverhältn. d. — Ursachen der Verzögerung	3/4, 36/40
Aufbruch der Eisdecke, s. Eisverhältnisse		— Einwirkg. d. Nebenflüsse	40/42
Aufbruch, künstlicher	3, 17, 84/86	— sekund. Größtmenge u. zugehörige Abflußzahl	34
Außerordentliche Hochfluten	14/15, 25/26	Frost, Einw. auf Abflußverhältnis	6/10, 60/61, 66, 94/99
— Sommerfluten in Flachlandflüssen	71, 73, 75/77	Gebietsfläche, vgl. Schlußtablelle.	
— Außerordtl. Hochfluten	43/45	— der Stromgebiete	34, 54, 58, 92/97
Ausuferung (seitl. Ausbröitg. d. Hochw.), s. Uberschwemmung.		Gebirge, (Gebirgsflüsse, Herkunft aus d. —).	
Ausuferungshöhe	27/28	— Einwirkg. a. Hochw.-Ersch. im Osten	4/7
— tage, Zahl der — (siehe auch Uberschwemmungsdauer)	7, 47, 79/80	— Einwirkung a. Hochw.-Ersch. im Westen	8/11
Bartsch, außergewöhnl. Sommerflut	45	— Winterfluten in Flachlandstrecken d. —flüsse	45/46
Bodensee, mittl. Hochw. des	69	— Verteilg. d. Niederschlags auf Halbjahre im	64/65
— Leistungsfähigkeit als Sammelbecken	92	— Gegensatz zw. Mittel- u. Hochgebirge	11/14, 66/70
Bug, siehe Narow.		— Jährl. Bewegung des MW	11, 66/68
Deich (Schutzdamm, Deichenge).		— desgl. des MHW für den Rhein u. Nebenfl.	68/70
— Einwirkung auf Verlauf d. Flutw.	3/4, 17/19, 29/30, 37/38, 82/91	Gefälle, Einwirkg. a. Hochw.-Ersch. Gesamtmasse d. Flutwelle, vgl. Schlußtablelle.	3, 5/6
— bruch	1, 22/24, 30, 40	— Verhalten b. Dehnung u. Verflachung	27
Dehnung der Flutwelle	2, 27/32	— Verhältnis z. Jahresabflußmasse	93/94
Donau, vergl. Schlußtablelle.		— d. zugehörig. Niederschläge, vgl. Schlußtablelle.	
— Hochw.-Ersch. 1903 u. 1813	25/26	— Verh. z. Gesamtmasse des Abflusses	95/100
Doppeljahrzehnt, s. Jahresreihe.			
Durchgangsdauerlinie	36/38		
Eder, Sammelbecken an der	18, 91		
Einströmung d. Elbehochw. in d. Havelbecken	2, 32/33, 35/36		
Eisverhältnisse, Eisgefahren, vergl. Schlußtablelle.			
— Allgemeine Betrachtung	16/17, 81/82		
— Einwirkung a. die Flutwelle	40, 82		
— Verbesserung, durch Ausbau d. Ströme	3, 16/17, 83/89		
— Näher. Nachweis f. d. Weser	89/91		

	Seite		Seite
Geschichtliche Nachrichten üb. Hochfl.	25/26, 44, 75/77	Main, Jahreszeitl. Vertlg. d. Hochw.-Ersch.	8, 47/48, 52/53
Gewässernetz, Gestalt des	8, 13, 33/36, 40/42	— Jährl. Bewegung d. MHW	69/70
Gleichwertige Wasserstände	28, 36/37	— Gebietsfläche	34
Gleichzeitiges Auftreten von Hochw.-Ersch.	14/15, 70/75	— Sekundl. Größtmenge u. Abflußzahl	34
Größtmenge, sekundliche, vgl. Schlußabelle.		— Beziehg. zw. Abfluß u. Niederschlag b. Hochw.-Ersch. i. Quellgeb.	60/61
— Aenderung von oben nach unten	2/3, 33/36	— Außerordentl. Hochfl. v. Juli 1342 Meeresebene, Einwirkg. auf Hochw.-Ersch.	77
— Einwirkg. v. Rückstaubecken auf die	2/3, 32/33, 35/36	Memelstrom (Njemen), vergl. Schlußabelle.	8/11
— Einwirkg. v. Sammelbecken auf die	2/3, 32/33, 35/36	— Vergleich der Hochw.-Ersch. m. Ems	8/9
— b. Hochgebirgsflüssen	92	— Einwirkg. d. Wilja auf Größtmenge Mittelgebirge, siehe Gebirge.	34/36
— f. einige Hochfluten	97/100	Mittelwasser, jährl. Bewegg., vergl. Schlußabelle.	
Grundeis, siehe Eisverhältnisse.		— desgl. in versch. Strömen	66/68
Häufigkeit d. Hochfluten, vgl. Schlußabelle.		— Lage im hundertteiligen Maßstab Mosel, Jahreszeitl. Vertlg. d. Hochw.-Ersch.	49/51
— Ermittlung der	47/48	— Jährl. Bewegung des MHW	8, 52/53
Havel, Einwirkung auf Größtmenge d. Elbe	2, 32/33, 35/36	Narew u. Bug, Einwirkg. auf Größtmenge der Weichsel.	69/70
Hochgebirge, Einwirkg. auf jährl. Bewegg. d. MW u. auf Hochw.	11/14, 67/68	Nasse Jahre	35/36
— desgl. auf das MHW f. d. Rhein	68/70	Nebenflüsse, Einwirkg. auf Verlauf d. Flutwellen (Dehnung, Rückstau usw.)	15, 79
— Natürliche Sammelbecken im	91/93	Neckar, Jahreszeitliche Verteilung d. Hochw.-Ersch.	2/4, 32/36
— Einwirkg. auf d. Abflußverhältnis Hochflut, Hochwassererscheinung.	95, 97/98	— Jährl. Bewegung des MHW	40/42, 43/46
— vom Juli 1903, bes. in d. Oder	1, 20/25, 97, 100	Neisse, Glatzer, Einwirkung auf Oder-Hochfl.	1, 20/27
— Vergleich m. früherer	25/27, 44/45, 75/77	— Lausitzer, Steigerung d. Winterhochfluten im Flachland	45/46
— Jahreszeitl. Verteilg., vgl. Schlußabelle.		Niederschlag, Beziehg. z. Abfluß b. Hochw.-Ersch.	60/61
— desgl. in versch. Strömen	5, 7/8, 12/14, 42/43, 46/53	—, Jahreszeitl. Verteilg. d. —	5/6, 9/10, 12/13, 62/66
— Gleichz. Auftreten in mehreren Strömen	14/15, 70/75	—, Größter Tages- (Tagesmenge)	6, 10, 20/21, 70/71, 94
— Verteilung nach Jahresreihen, vgl. Schlußabelle.		—, Verhältnis z. Abfluß, siehe Abflußverhältnis.	
— desgl.	15/16, 78/81	— erscheinung vom Juli 1903	20/21, 97, 100
Hochwasser, mittleres der beiden Jahreshälften	49/51	— höhe, mittlere, jährl., vergl. Schlußabelle.	
— desgl. d. Monate f. d. Rhein u. Nebenfl.	68/70	— höhe der Stromgebiete	54, 66, 95, 99
— bett.	4, 17/19	— höhe d. Flutwelle, vgl. Schlußabelle.	
— gefahr, — schaden.	1/3, 16/19, 75/77, 91	— höhe für einige Hochfluten	97, 99
— grenze	27/28, 42/43, 47, 79	— höhe, jährl. einzelner Orte u. Gebietsteile	62/65
— marke	44, 75/78	—, Räumliche Verteilung, Zunahme mit d. Höhenlage, jährl. Verlauf	62/64
— regulierung	3, 17/19, 84/89	— masse, Jahres-, vgl. Schlußab. — der Stromgebiete	54, 58, 95
Höchststände, jahreszeitl. Verteilung, vergl. Schlußabelle.		— masse d. Flutwelle, siehe Gesamtmasse.	
— desgl. in versch. Strömen	52/53	— menge, siehe — höhe (Niederschlag).	
Höhe der Flutwelle	27/29	Niedrigwasser, mittleres (MNW)	49/50
Hundertteilig. Maßstab (MHW-MNW)	49/51	Nordöstliche Ströme u. Stromgebiete	7/8, 62, 72/74, 81/82
Jahresreihen, Verteilung der Hochfluten nach —, vergl. Schlußabelle.		Nordwestliche Ströme u. Stromgebiete	8, 62/63, 71/75
— desgl.	15/16, 78/81	Oder, vergl. Schlußabelle.	
Jahreszeitl. Vertlg. d. Hochfl., vergl. Schlußabelle.		— Hochflut vom Juli 1903	1, 20/25
— desgl. in versch. Strömen	4/8, 12/14, 42/43, 46/53	— Verlauf früherer Hochfluten	2/3, 25/27
— Verteilg. d. Niederschläge	5/6, 9/10, 12/13, 62/66	— Beziehg. zw. Höhe u. Längd. Flutwellen	31
Iller, Mittlere sekundl. Abflußzahl	95	— Einwirkg. d. Warthe auf Größtmenge	35/36, 100
— Gesamtmasse d. Flutwelle u. Beziehungen	97	— Mittl. Hochw. d. Jahreshälften	49/51
Inn, Sekundl. Größtm. u. Abflußzahl	92	— Vergleich der Hochw.-Ersch. mit Weichsel	2/3, 50/51
— Mittlere sekundl. Abflußzahl	95	Oestliche Ströme u. Stromgebiete	5/7, 9/11, 70/74
— Mittleres Abflußverhältnis	95	Pregel, Gebietsfläche	34
Isar, Sekundl. Größtm. u. Abflußzahl	92/93	— Sekundl. Größtmenge u. Abflußzahl	34
Kocher, Ermittlung d. Abflußverhältnisses	58	— Größte Scheitelhöhe	31
Kontinentale Lage (Kontinentalklima)	9/11	— Durchschnittliche Ueberschwemmungsdauer	32
Lahn, Jahreszeitl. Vertlg. d. Hochw.-Ersch.	8, 52/53	— Fortschrittsgeschwindigkeit d. Flutwellen	4, 37
— Jährl. Bewegung d. MHW	69/70	— Jahreszeitl. Verteilung d. Hochw.-Ersch.	7, 47/48
Langjährige Schwankungen d. Hochw.-Ersch.	15/16		
Lippe, Jahreszeitl. Vertlg. d. Hochw.-Ersch.	52/53		
Länge der Flutwelle	2, 27/30		
Luftdruckverteilung (Wetterlage)	10, 14, 16, 61, 72		

	Seite		Seite
Pregel, Häufigkeit d. Hochfluten	48	Flutwellen	2/4, 17/19, 27/32, 37/40, 42
Querschnittsverhältnisse	2/4, 36/40	— tiefe an d. Weser, Weichsel, Oder	29/31
Regen, Einwirkg. auf Hochw.-Ersch.	5/9	Verflachung der Flutwelle	2/3, 27/32
— fluten im Sommer	5/6, 9/11, 70, 72/73, 96/100	Verlauf, siehe Flutwelle.	
— fluten im Winter	9/11, 71/73, 99	Verlust durch Verdunstung.	
— güsse (Sturzregen)	5/6, 10, 13/14, 70/71, 96/100	Versickerung u.s.w.	6, 9/10, 55/60, 93/100
Rhein, vergl. Schluß-tabelle.		Verzögerung des Abflusses durch Versickerung	4, 6, 9, 24, 27, 30/31, 40, 59, 99/100
— Jährl. Bewegung des MHW	68/69	Vorwelle mit Eisgang vor d. Hauptwelle	82/84
— Einwirkung d. Schweizer Seen auf Hochw.	91/93	Warthe Hochflut v. Juli 1903	1, 24/25, 97, 100
Rückstaubecken an Nebenflümmündungen	2/3, 24/25, 32/33, 35/36, 40/41	— Verlauf früherer Hochfluten	25, 44
Ruhr, Jahreszeitl. Vertg. d. Hochw.-Erscheinungen	8, 52/53	— Einwirkg. auf Größtmenge d. Oder	7, 35/36, 100
— Jährl. Bewegung des MHW	69/70	— Fortschrittsgeschwindigk. d. Flutw.	4, 37
Sammelbecken in d. Quellgebieten	18, 91	— Gesamtmenge d. Flutw. u. Beziegn.	97, 100
Scheitel der Flutwelle, Fortschrittsgeschwindigkeit	3/4, 36/42	Wasserklemme	10, 59/60, 79/80
— höhe, Aenderung von oben nach unten	1/3, 27/36	— menge, siehe Abflüsmenge.	
— höhe größte, vgl. Schluß-tabelle.		— mengenmessung	56/57
Schnee, — schmelze, Einwirkung auf Hochw.-Erscheinungen	5/13, 66, 94/95, 98	— standsbeobachtung	55/57, 76/77
Schmelzfluten im Sommer	12/13, 73, 95	— standsbewegung im Kreislauf d. Jahres	11/12, 66/70
— im Winter	5/13, 15, 73, 94	Weichsel, vergl. Schluß-tabelle.	
Schwankung, mittlere d. Wasserstände	49/50	— Hochflut vom Juli 1903	1, 25
Seeklima	8/11	— Verlauf früherer Hochfluten	3, 26
Sommer und Winter, Sommer- u. Winterfluten.		— Beziehungen zwischen Höhe und Länge d. Flutwellen	30
— Jahreszeitl. Verteilung, d. Hochw.-Erscheinungen	4/11, 12/15, 18, 40, 42/53, 70/74, 78/79	— Einwirkg. d. Narew auf Größtmenge	35/36
— Jährl. Bewegung des MW	11/12, 66/68	— Mittl. Hochw. d. Jahreshälften	49/51
— Mittl. Abflüßverhältnis d. Halbjahre	54, 57/60	— Vergleich der Hochw.-Ersch. mit Oder	3, 50/51
— Jahreszeitl. Verteilung der Niederschläge	5/6, 9/10, 12/13, 62/66	Wellenscheitel, siehe Scheitel der Flutwelle.	
— Jährl. Bewegung d. MHW	49/51, 68/70	Weser, vergl. Schluß-tabelle	
Spree, Auftreten d. Sommerfluten	45	— Untersuchung über zeitl. Verlauf der Flutwellen	4, 36/37, 29/30
Südwestliches Deutschland, Niederschläge	63/64	— Beziehg. zw. Höhe u. Länge d. Flutw.	35/36
Temperaturverhältnisse der Stromgebiete	5/13, 66	— Auftreten sommerlicher Anschwellungen	43
Trockene Jahre	15, 79	— Anßerordentl. Hochflut v. Juli 1342	77
Ueberschwemmung	2/4, 27/32, 48	— Untersuchung über d. Eisverhältnisse	89/91
— dauer an d. Oder, Weichsel, Weser	2/3, 29/31	— Einwirkg. v. Sammelbecken	18, 91
— Schlüß-tabelle.		Westliche Strome u. Stromgebiete	8/11, 71
— dauer an den Strömen	3, 29/32	Wetterlage, s. Luftdruckverteilg.	
— gebiet, Einwirkg. auf Verlauf d.		Wilja, Einwirkung auf Größtmenge d. Memelstroms	34/36
		Winter, W.-fluten; siehe Sommerzeitlicher Verlauf, s. Flutwelle.	
		Zurückhaltung von Hochwasser	18, 91/93

Schlußtafel.

Die Spalten 2—9 teilen die Seitenzahlen mit, auf denen Angaben über den genannten Strom und die in Spalte 1 bezeichneten Gegenstände enthalten sind.

Gegenstände	Donau	Elbe	Ems	Memel	Oder	Rhein	Weichsel	Weser
Gebietsfläche	34, 95/97	34, 54, 94/97	34, 54	34, 54	34, 97	34, 92	34, 54	34, 54, 92, 94
Sekundliche Größmenge	34, 97	2, 32/33, 34, 97	34	34	2, 34, 97, 100	34, 92	3, 34	34
Zugehörige Abflußzahl	34, 97	34, 97	34	34	34, 97	34, 92	34	34, 92
Größte Scheitelhöhe	31	31	31	31	2, 31	31	3, 31	31
Durchschn. Leberschw.-Dauer	32	32	32	32	31, 32	32	3, 30, 32	29, 32
Fortschrittsgeschwindigkeit	39/40	38	4, 39	37	3, 37	37, 39, 41/42	3, 37, 41	4, 36, 38/39
Jahresz. Verteilung d. Hochfl.	13	8, 47	8, 47	7, 47	7, 47, 50/51	12/13, 47	5, 7, 42, 47, 50	8, 43, 47
Häufigkeit der Hochfluten	—	48	48	48	48	48	48	48
Jahresz. Vertz. d. Hochststände	—	52/53	52/53	52/53	52/53	52/53	52/53	52/53
Jahres-Abflußmasse	93/95	54, 93/94	54	54	54	—	54	54, 93/94
Jahres-Niederschlagsmasse	95	54	54	54	54	—	54	54
Mittl. Abflußhöhe	95	54, 95	54, 66	54, 66	—	66	54, 66	54, 95
" Niederschlagshöhe	95	54, 66, 95, 99	54, 66	54, 66	—	—	54, 66	54, 66, 95
" Abflußverhältnis	95	54, 95	54	54	—	—	54	54, 95
" sekdl. Abflußmenge	95	54, 95	54	54	—	—	54	54, 95
" sekdl. Abflußzahl	94/95	54, 94	54, 94	54, 94	—	94	54, 94	54, 94
Jährl. Bewegung d. MW	11/12, 67/68	67/68	67/68	67/68	—	11, 67/68	67/68	67/68
Vert. d. Hochfl. n. Jahresreihen	—	78	78	78/80	78	—	78/80	78/80
Eisverhältnisse	88/89	85/86	86/87	82/83	84/85	87/88	3, 83/84	86, 89/91
Gesamtmasse d. Plutwelle	93, 96/97	93, 97	—	—	97, 100	—	—	—
Gesamt n. d. zugeh. Niederschl.	96/97	97	—	—	97	—	—	—
Zugeh. Abflußverhältnis	96/100	5, 97/99	—	—	97	—	—	—
" Abflußhöhe	97	97	—	—	97	—	—	—
" Niederschlagshöhe	97	97, 99	—	—	97	—	—	—



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

16452

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000301545