

für Bauwesen und der in den preußischen Provinzialzeitschriften abgedruckten Mittheilungen enthält die Schrift „Die landeskundliche Litteratur der Provinzen Ost- und Westpreußen“ (Königsberg 1892).

2. Bearbeitung der Wasserstandsbeobachtungen.

Es fragt sich nun, welche Mittel man besitzt, um an der Hand einer hinreichend langen Beobachtungsreihe in möglichst wenigen Zahlen ein Bild des Abflußvorganges zu geben. Zunächst wird man das Gesamtmittel aller Wasserstände hierbei nicht entbehren wollen, und ebenso nahe liegt die Frage, ob das kältere oder das wärmere Halbjahr, ob dieser oder jener Monat durchschnittlich höhere Wasserstände besitzt. Freilich haben die hierauf antwortenden Werthe des Mittelwassers (MW), auf deren Berechnung wir wohl nicht näher einzugehen brauchen, manche Angriffe auf sich gezogen. Nicht mit Unrecht hat man geltend gemacht, daß sie keine unmittelbare Bedeutung in der Natur selbst besäßen, sondern daß bei ihrer Berechnung im Gegentheil oft die verschiedenwerthigsten Einzelzahlen unterschiedslos zusammengerafft würden, was unter Umständen auch da zu gleichen Ergebnissen führe, wo die Natur selbst nicht die Spur einer Gleichheit zeige.

In der That ist auf manche Umstände hinzuweisen, die dem Mittelwasser etwas von seiner Bedeutung rauben. Hierher gehört zunächst die Erscheinung, daß in zwei Zeiträumen, die gleiches Mittelwasser besitzen, der Gesamtabfluß im Allgemeinen nicht gleich groß ist, und man wird zugeben müssen, daß die Abflußmenge für den Abflußvorgang dieselbe Bedeutung besitzt wie der Wasserstand. Für ein tieferes Eindringen in den Gegenstand muß ihr oft sogar der Vorrang gelassen werden. Jene Abweichung rührt daher, daß die Wassermengen sich nicht in demselben Verhältniß ändern wie die Wasserstände, sondern meist schneller wachsen. In solchem Falle ist aber der Gesamtabfluß während eines bestimmten Zeitraumes größer, als wenn der Wasserspiegel sich während desselben immer in der Höhe des zugehörigen Mittelwassers gehalten hätte. Der Unterschied beider Größen (der mittleren Abflußmenge und der Abflußmenge bei MW) ist, wie von Bindemann im Zentralbl. d. Bauverw., Jahrg. 1898 S. 638 näher dargethan ist, um so erheblicher, je ungleichmäßiger sich die einzelnen Wasserstände unter und über das Mittelwasser vertheilen. Ein anderer Zwiespalt zwischen den Werthen des Mittelwassers und den Abflußmengen eröffnet sich dadurch, daß jedes Hemmniß der Vorfluth den Wasserstand anhebt, ohne daß deshalb die Abflußmenge eine andere würde. Weit aus das wichtigste dieser Hemmnisse ist das Eis, dessen Einwirkung später erörtert wird.

Bringen die Wasserstände hiernach den tatsächlichen Wasserabfluß auch nur in eingeschränktem Maße zum Ausdruck, so ist andererseits doch hervorzuheben, daß für die Sicherheit der Uferländereien und alle baulichen Maßnahmen die eintretenden Wasserstände mindestens ebenso wichtig sind wie die Abflußmengen. Freilich müssen sich schon für diese Zwecke dem Mittelwasser noch mehrere Größen zugesellen, die auch das Maß der Wasserstandsschwankung einigermaßen kennzeichnen. Außer den äußersten Wasserständen, die an der be-

treffenden Pegelstelle beobachtet sind, bieten sich hierzu die mittleren Grenzen der Wasserstandsbewegung, das sogenannte mittlere Hochwasser (MHW) und mittlere Niedrigwasser (MNW) dar, deren Bedeutung wir, um die Benutzung des Werkes möglichst zu erleichtern, nochmals kurz darlegen wollen.

Ist z. B. vom mittleren Hochwasser des Monats März für einen bestimmten Zeitraum, etwa für die 80-jährige Reihe 1818/97, die Rede, so ist darunter zu verstehen, daß für jedes dieser 80 Jahre den Pegelverzeichnissen der höchste im März beobachtete Wasserstand entnommen und aus den so gesammelten 80 Werthen schließlich der Durchschnitt gebildet wurde. Entsprechend ist auch das mittlere Niedrigwasser aufzufassen.*)

Trat nun in dem betrachteten Zeitabschnitt der Höchststand des Jahres stets im Monat März ein, so ist das mittlere Hochwasser dieses Monats zugleich das des Winterhalbjahres und auch das des Jahres. Thatächlich ist dies fast niemals der Fall; denn weder trifft der höchste Wasserstand des Winterhalbjahres stets auf den März, noch der Höchststand des Jahres stets auf den Winter. Das mittlere Hochwasser des März wird also gewöhnlich kleiner ausfallen als das des Winters und dieses wiederum kleiner als dasjenige des Jahres, während umgekehrt das mittlere Niedrigwasser eines bestimmten Monats größer ist als das des Halbjahres, dem der betreffende Monat angehört, der Halbjahreswerth seinerseits aber wieder größer als derjenige für das Jahr. Das mittlere Niedrigwasser (MNW) des Jahres ist also der kleinste, das mittlere Hochwasser (MHW) des Jahres aber der höchste Werth, der in einer durch Mittelbildung hergeleiteten Jahresreihe vorkommt.

Will man derartige Jahresreihen für mehrere Pegelstellen mit einander vergleichen, so muß man vor Allem darauf Rücksicht nehmen, wie weit jene beiden mittleren Grenzwerte aus einander liegen. Denn eine Hebung oder Senkung des Wasserpiegels um ein bestimmtes Maß hat nur dann eine bestimmte Bedeutung, wenn wir die Größe der mittleren Schwankung (MHW—MNW) des betreffenden Pegels kennen. Für eine vergleichende Betrachtung mehrerer Reihen machen wir deshalb zuweilen von einer gedanklichen Pegeltheilung Gebrauch, bei welcher das mittlere Niedrigwasser des Jahres als Nullpunkt dient, das mittlere Hochwasser des Jahres aber dem Werthe 100 entspricht und alle übrigen Wasserstände entsprechend eingeordnet sind (prozentische Skala). Diese Einordnung geschieht also in der Weise, daß man für den Wasserstand x , den man gerade betrachten will, zunächst seinen Abstand vom mittleren Niedrigwasser berechnet und dann diesen Unterschied x —MNW in Prozenten der mittleren Jahreschwankung MHW—MNW ausdrückt. Außerhalb der prozentischen Skala liegen dann nur die Höchststände über und die Tiefststände unter den mittleren Grenzwerten, also am meisten der höchste be-

*) Bei diesem Punkte sei eingeschaltet, daß, so oft es sich um die Betrachtung mittlerer Zustände handelt, das Jahr stets im hydrologischen Sinne, d. h. vom November bis zum Oktober gerechnet ist, wobei das Winterhalbjahr die Monate November bis April, das Sommerhalbjahr also die übrigen sechs Monate umfaßt. Sobald dagegen eine einzelne Zeitbestimmung nach Tag, Monat und Jahr erfolgt (wie etwa bei den Angaben über die tiefsten und höchsten Wasserstände), ist das bürgerliche Jahr gemeint.

kannte Wasserstand (HHW) und der tiefste bekannte Wasserstand (NNW). Den Unterschied dieser beiden äußersten Grenzwerte bezeichnen wir als größte Schwankung (HHW—NNW).

Entspräche jedem Wasserstande, der niedriger als das Mittelwasser ist, ein solcher in gleicher Höhe über diesem, so würde das Mittelwasser gerade in der Mitte zwischen dem mittleren Niedrigwasser und dem mittleren Hochwasser, also auf 50 % der prozentischen Skala liegen. In Wahrheit aber nähert das Mittelwasser sich dieser Lage fast nur in Seen mit sehr langsamen Wasserstandsschwankungen. In fließenden Gewässern liegt es dagegen fast ausnahmslos niedriger, da in diesen der Wasserspiegel viel häufiger in der Nähe seiner unteren als seiner oberen Grenzlage zu weilen pflegt. Man kann daher die größere oder geringere Abweichung des Mittelwassers von der Mitte der prozentischen Skala geradezu als Maßstab für die größere oder geringere Gleichmäßigkeit der Wasserstandsbewegung betrachten. Will man erkennen, wie sich bestimmte Abschnitte des Jahres, etwa die Jahreshälften, in dieser Beziehung verhalten, so kann man ganz ähnlich verfahren, indem man nur als Werte des MNW, MW und MHW diejenigen der betreffenden Zeitspanne einfügt.

Freilich ist man hierbei in ganz besonders hohem Maße dem Uebelstande ausgesetzt, daß recht ungleiche Ursachen zu dem gleichen Ergebnis führen können. Deshalb wird es nothwendig, wenigstens für die wichtigsten Pegelstellen auch die Häufigkeit der Wasserstände zu betrachten, d. h. zu ermitteln, wie oft ein Wasserstand von bestimmter Höhe vorkam. Für die gesammte Wasserwirtschaft ist diese Häufigkeit der Wasserstände, wie wir kaum noch auszuführen brauchen, von größerer Bedeutung als irgend ein Mittelwerth. Nicht, wie hoch das mittlere Hochwasser des Jahres liegt, fragt der Niederungsbewohner, sondern mit welcher Wahrscheinlichkeit das Hereinbrechen einer Fluthwelle von bestimmter gefährlicher Höhe zu fürchten ist und wie lange die Uebersfluthungen währen. Für die Schifffahrt ist es mindestens ebenso wichtig, zu wissen, wie groß der Mittelwerth aus den Tiefständen aller Jahre ist, als mit welcher Sicherheit auf die nöthige Fahrtiefe gerechnet werden kann.

Man könnte daran denken, auch bei der wissenschaftlichen Betrachtung des Abflußvorganges die Häufigkeitszahlen in den Vordergrund zu rücken. Denn sie haben vor den Mittelwerthen nicht nur das voraus, daß sie eine unmittelbare Bedeutung in der Natur selbst besitzen, sondern stellen die Wasserstandsbewegung auch viel ausführlicher dar als bloße Durchschnittszahlen; allein gerade hiermit ist wieder der Nachtheil verbunden, daß die Zahlen für die Häufigkeit der Wasserstände sich zu schwer handhaben lassen. Denn das Bild des Abflußvorganges kann nur dann einigermaßen übersichtlich werden, wenn man dabei mit möglichst wenigen Zahlen auskommt. Dies ist aber kaum möglich, wenn man sich bei der Betrachtung der langen Reihen für die Häufigkeit der Wasserstände, deren Zusammenstellung außerdem sehr zeitraubend ist, nicht in engen Grenzen hält. Wir haben deshalb die Reihen für die Häufigkeit der Wasserstände nur für die wichtigsten Pegelstellen mitgetheilt und auch nur so weit in den Kreis der Erörterung einbezogen, wie es nothwendig war, um die Gültigkeit der an die Mittelwerthe geknüpften Schlüsse zu sichern. Bei dieser Gelegen-

heit sei aber ausdrücklich darauf hingewiesen, daß auf Grund der Häufigkeitstabellen sich noch manche für die Praxis wichtige Einzelfrage entscheiden lassen dürfte, die im vorliegenden Werke gemäß dessen ganzer Anlage übergangen werden mußte. Wir verweisen deshalb auf Seite 135/157 des Tabellenbandes.

Um die Häufigkeitszahlen einer zusammenfassenden Betrachtung dienstbar zu machen, ist es vor Allem erforderlich, auch aus ihnen bestimmte, für den Verlauf der Häufigkeitslinie besonders kennzeichnende Zahlenwerthe herzuleiten. Unter diesen verdienen vor Allem der sogenannte gewöhnliche Wasserstand und der am häufigsten auftretende Wasserstand hervorgehoben zu werden. Der gewöhnliche Wasserstand (GW) ist derjenige Wasserstand, unter und über dem der Wasserspiegel gleich oft liegt. Der am häufigsten auftretende Wasserstand wird auch Scheitelwerth der Häufigkeitslinie genannt und deshalb mit SW bezeichnet.

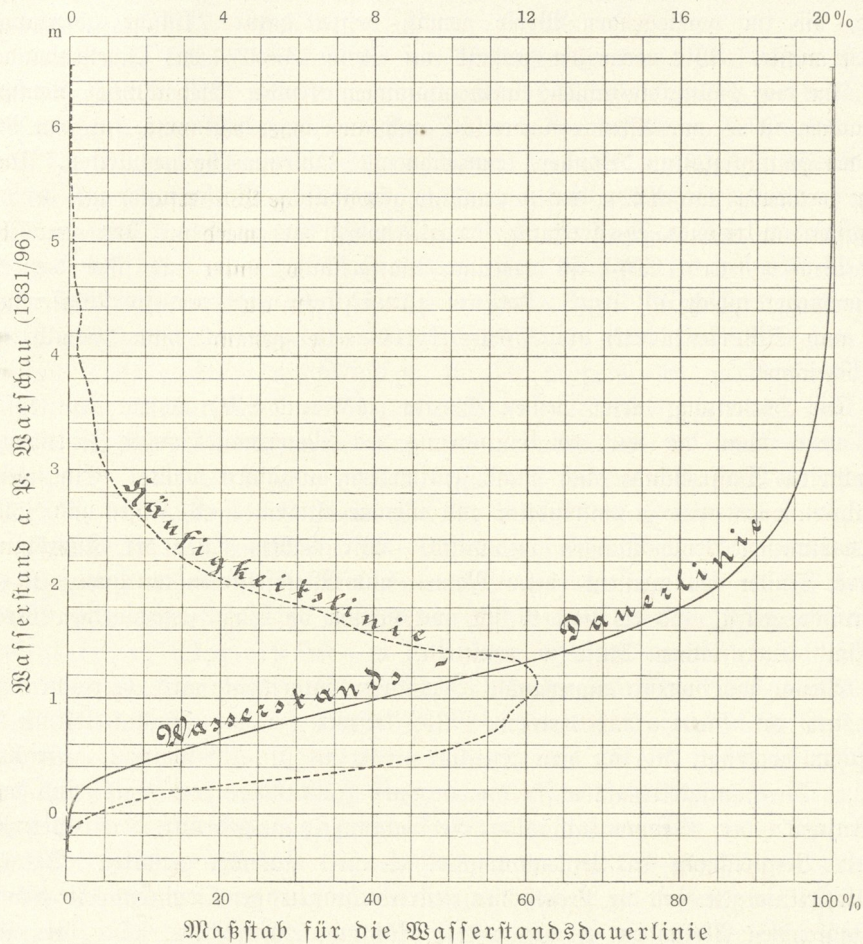
Die Herleitung dieser beiden Werthe (GW und SW) würde sehr einfach sein, wenn man die seit der Einführung des Metermaßes nach Zentimetern beobachteten Wasserstände auch nach Zentimetern auszählen wollte. Ein solches Verfahren wäre aber zu umständlich und für die älteren, nach Fuß und Zollen vorgenommenen Beobachtungen unthunlich. Wir haben daher der Auszählung größere Stufen von meistens (beim Memel- und Weichselstrom durchweg) 20 cm zu Grunde gelegt, und es handelt sich nun darum, die Lage jener beiden Werthe innerhalb einer solchen Stufe zu ermitteln.

Bevor das hierfür angewandte Verfahren mitgetheilt wird, betrachten wir noch kurz die Häufigkeitslinien. Als Beispiel sei die Häufigkeitslinie für Warschau beigelegt, die für den Zeitraum 1831/96 gilt (Abbildung 2, gestrichelte Linie). Die Häufigkeitszahlen für die einzelnen Höhenstufen des Pegels sind dabei in Prozenten der Gesamtzahl aller Beobachtungen ausgedrückt, weil dies eine leichtere Vergleichung der Beobachtungsreihen unter einander gestattet. Der Anschaulichkeit wegen sind die Pegelhöhen senkrecht aufgetragen, während die Häufigkeitszahlen den Abständen in wagerechter Richtung entsprechen. Da bei einer solchen bildlichen Darstellung die Häufigkeitszahlen nun nicht der ganzen Höhenstufe zugeordnet werden können, sondern einem bestimmten Höhenpunkte entsprechen müssen, so sind sie immer in die Mitte der betreffenden Höhenstufe verlegt. So gehören z. B. der Stufe von 0,20 m einschließlich bis 0,40 m ausschließlich 6,0% aller Wasserstände an, und diese Zahl findet man zu der Mittelhöhe 0,30 m eingetragen.

Die Häufigkeitslinien sind im Allgemeinen, wie in dem vorliegenden Beispiel, derartig gestaltet, daß die niedrigsten Wasserstände des betreffenden Zeitraumes ziemlich vereinzelt dastehen. Aber schon in der Höhe des mittleren Niedrigwassers weilt der Wasserspiegel ziemlich häufig, und fast durchweg befindet sich die Höhenstufe, in deren Grenzen die meisten Wasserstände vorkommen, noch unterhalb des Mittelwassers, das in dem betrachteten Beispiel 1,29 m beträgt. Nun ist zwar durchaus nicht gewiß, daß der Höhenstufe, welche die meisten Wasserstände umschließt, auch der Scheitelwerth selbst angehört. Allein das Gegentheil würde eine Ausgleichung etwaiger Abweichungen von einem einfachen Verlaufe der Linien zur Voraussetzung haben, die um so unwahrschein-

Abb. 2.

Maßstab für die Häufigkeitslinie



licher würde, je kleiner die zu Grunde liegenden Höhenstufen gewählt sind, und je ausgeprägter die Zahl für eine Höhenstufe alle übrigen überragt. Da in unserem Werke die Höhenstufen um nur je 20 oder (beim Pregelstrom) um je 25 cm steigen, dürfen wir den Scheitelwerth wohl unbedenklich in der Höhenstufe mit der Höchstzahl von Wasserständen suchen.

Zur näheren Bestimmung der Lage des Scheitelwerthes machen wir folgende Annahme: Es habe z. B. die Stufe 1,00/1,20 m (einschließlich der unteren, ausschließlich der oberen Grenze) die Höchstzahl von Wasserständen, nämlich a , die nächstniedrigere Stufe 0,80/1,00 m habe d_1 , die nächsthöhere Stufe 1,20/1,40 m habe d_2 Wasserstände weniger, jene also $a - d_1$, letztere $a - d_2$. Je größer die Zahl d_1 im Vergleich zu d_2 ist, um so weiter dürfte der Scheitelwerth von der unteren Grenze abrücken. Wenn x diesen Abstand bezeichnet, machen wir deshalb die Annahme, es bestehe das Verhältniß

$$x : (20 - x) = d_1 : d_2$$

oder $x = 20 d_1 : (d_1 + d_2)$.

Für $d_1 = d_2$ ist $x = 10$, liegt also der Scheitelwerth in der Mitte der betrachteten Stufe. Für $d_1 = 0$ oder $d_2 = 0$ ist $x = 0$ oder $x = 20$, liegt also der Scheitelwerth auf der oberen oder unteren Grenze, d. h. zwischen zwei Stufen mit gleich großen Häufigkeitszahlen. Diese Grenzfälle ordnen sich also logisch richtig unter die an sich etwas willkürliche Annahme, die vor anderen, vom rein mathematischen Standpunkte vielleicht richtigeren Interpolationsformeln den Vorzug der Einfachheit hat, ohne wesentlich abweichende Ergebnisse zu liefern. In dem als Beispiel dienenden Falle umfaßt nach der Tabelle in Bd. III S. 310 die Stufe 1,00/1,20 m den Scheitelwerth, während $d_1 = 0,6\%$, $d_2 = 0,4\%$, folglich $x = 20 \cdot 0,6 : (0,4 + 0,6) = 12$ ist, woraus der Scheitelwerth sich zu $1,00 + 0,12 = 1,12$ m ergibt.

Will man sich von den Zufälligkeiten möglichst frei machen, die den soeben betrachteten Häufigkeitslinien anhaften, so empfiehlt es sich, die prozentische Gesamtzahl aller Wasserstände zu betrachten, die unter jeder einzelnen Stufengrenze, also in unserem Beispiel unter $-0,20, 0,00, 0,20, 0,40 \dots$ m am Pegel liegen. Trägt man nun die Pegelhöhen wieder senkrecht, die erhaltenen Summenzahlen aber wagerecht auf, so entsteht aus der Häufigkeitslinie in Abb. 2 die daneben gesetzte (auf einen anderen Maßstab für die Häufigkeiten bezogene) Linie, die wir Wasserstandsdauerlinie nennen wollen, weil sie erkennen läßt, wie lange die Lage des Wasserstandes unter und über einer beliebigen Pegelhöhe insgesammt gedauert hat. Genau festgelegt sind zunächst allerdings nur diejenigen Punkte, welche den gewählten Stufengrenzen entsprechen. So bleiben in unserem Beispiele $85,1\%$ aller Wasserstände unter 2 m a. P. und $40,3\%$ unter 1 m. Eine je größere Zahl solcher Dauerlinien man aber betrachtet, um so mehr überzeugt man sich, daß sie einander außerordentlich ähneln und ihr Verlauf durch die verhältnißmäßig wenigen Punkte, die man genau kennt, vollkommen ausreichend festgelegt ist. Durch diese Dauerlinien macht man sich also von der willkürlich vorgenommenen Stufentheilung frei und gewinnt die Möglichkeit, anzugeben, welche Pegelhöhen von einem bestimmten Prozentsatz aller Wasserstände nicht erreicht, von dem Reste aber überschritten wurden. So kann man also auch den gewöhnlichen Wasserstand finden. Da derselbe nicht weit vom Scheitelwerthe liegt, in dessen Höhe die Wasserstandsdauerlinien einen Wendepunkt besitzen, so steigen diese hier ziemlich geradlinig an, worauf sich ein einfaches rechnerisches Verfahren für die Ermittlung der Lage des gewöhnlichen Wasserstandes gründen läßt. Von allen Wasserständen mögen z. B., wie in Abbildung 2, insgesammt weniger als die Hälfte, also $(50 - a)\%$ unter 1,00 m am Pegel liegen, dagegen bereits mehr als die Hälfte, also $(50 + b)\%$ über 1,20 m (a und b positiv angenommen). Mit der Erhebung von 1,00 auf 1,20 m am Pegel möge die Gesamtzahl der jeweilig tiefer liegenden Wasserstände also um $(a + b)\%$ zunehmen, die der höher liegenden aber sich um eben so viel verringern. Wenn diese Werthänderung nun linear vor sich geht, so beträgt sie für jeden einzelnen Zentimeter $\frac{1}{20} (a + b)\%$. Hat man also von 1,00 m am Pegel noch x Zentimeter bis zum gewöhnlichen Wasserstande zu steigen, so muß x der Gleichung genügen

$$(50 - a) + \frac{1}{20} (a + b) x = 50$$

oder $x = 20a : (a + b)$ sein.

Dieser Ausdruck für die Ermittlung des gewöhnlichen Wasserstandes (GW) aus der Wasserstandsdauerlinie zeigt also denselben Bau wie derjenige für die Ermittlung des Scheitelwerthes (SW) aus der Häufigkeitslinie. In unserem Beispiele ist (Tabelle in Bd. III S. 311) $a = 9,7\%$, $b = 2,6\%$, woraus sich $x = 20 \cdot 9,7 : (9,7 + 2,6) = 16$ und $GW = 1,00 + 0,16 = 1,16$ m ergibt.

II. Bewegung und Häufigkeit der Wasserstände.

1. Wasserstandsbewegung im Kreislaufe des Jahres.

Nach S. 69 ist die Jahreskurve der Niederschläge im Gesamtgebiete der drei östlichen Ströme eine einfache mit einem Maximum in einem Monat der warmen und einem Minimum in einem Monat der kalten Jahreszeit. Die procentische Regenvertheilung über das Jahr ist dabei nicht allzu verschieden. Der regenreichste Monat ist gewöhnlich zugleich auch der wärmste, zumeist nämlich der Juli; die geringste Menge Feuchtigkeit aber scheidet die Luft in den kältesten Monaten des Jahres ab, im Januar und Februar. Auf der Südostseite der Hohen Tatra und in den östlichen Karpathen ist jedoch bereits der Juni der Hauptregenmonat; im ostpreussischen Küstengebiet bringt dagegen erst der Herbst den meisten Regen, ebenso wie der geringste Niederschlag nicht schon im Winter, sondern erst im Frühjahr eintritt.

Die Höhe der Wasserstände richtet sich aber nach dieser jahreszeitlichen Vertheilung der Niederschläge auch in den Gebieten der hier zu betrachtenden Ströme recht wenig. Von Grund aus umgestaltend wirkt vor Allem die Aufspeicherung eines großen Bruchtheiles des winterlichen Niederschlages in Form einer Schneedecke, deren mehr oder minder plötzliches Zerbrechen im Frühling zu einem gewaltigen Wasserüberschusse führt. Man mag sämtliche Abbildungen der monatlichen Wasserstandshöhen betrachten, so wird man überall da, wo das Flachland wesentlich auf den Abflußvorgang einwirkt, einen der Monate Februar bis Mai als Träger der höchsten Erhebung der betreffenden Linie für MNW, MW oder MHW finden. Dagegen rückt bei den Gebirgsflüssen der Scheitel des MHW mehrfach auf einen Sommermonat (vergl. Bd. III S. 191, 355, 379). Hierdurch verräth sich, daß auf die Schmelzwasserfluthen vorwiegend das Hügel- und Flachland, weniger dagegen das Gebirgsland einwirkt.

Man kann nämlich den Unterschied zwischen Gebirgs- und zwischen Flachlandflüssen kurz so zusammenfassen, daß bei den Gebirgsflüssen die Sommerhochfluthen, bei den Flachlandflüssen aber die Schmelzwasserfluthen des Frühjahres das Vorherrschende sind. An die Ursachen hierfür brauchen wir nur mit wenigen Worten zu erinnern. Wenn in den niedrigeren Gebietstheilen bereits die Schneedecke aufthaut, starren die Gebirge gewöhnlich noch in Schnee und Eis, und während sich unten vielleicht ein warmer Regenfall zu dem im Abfluß begriffenen Schmelzwasser gesellt, sammelt sich oben im Gebirge immer noch neuer Schnee. Erst stufenweise dringt der Frühling dann auch in die Berge hinauf, und allmählich geben auch sie die aufgestapelten Wasservorräthe ab, was bei der Hohen