



075  
/

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300023

Einfluss von Niederungen  
und Fündelungen auf den Verlauf  
von Hochwasserwellen, erläutert an  
Beispielen der osterr. Donau.

Erklärung der Wölbungen und Vertiefungen

Die Wölbungen und Vertiefungen sind durch die  
Einwirkung der Fündelungen und Niederungen

von Dr. Ing. Harry Stieve



73

73

x  
1.116



III. 826 / 11

# Einfluss von Niederungen und Eindeichungen auf den Verlauf von Hochwasserwellen, erläutert an Beispielen der unteren Oder.

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor = Ingenieurs.

Der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin

vorgelegt am 7. Februar 1910

von

Dipl. = Ing. **Henry Struve**

aus Hamburg.

Genehmigt am 28. Oktober 1910.



Halle a. S.

Druck von Wilhelm Knapp.

1911.

5.39

Referent:  
Geh. Reg.-Rat Professor Grantz.

Korreferent:  
Baurat Professor de Thierry.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW**

11 31143

Akc. Nr. 2011/49

Parentibus bonis  
filius gratus.





## Bisherige Versuche zur Berechnung von Hochwasserwellen.

Die Erörterung der vorliegenden Frage soll einen Beitrag zur Aufklärung dieses bislang noch ziemlich wenig bekannten Gebietes der Flußregulierungen geben. Die Erforschung über den Verlauf der in unseren Strömen zum Abfluß kommenden Hochwasserwellen hat erst geringe Fortschritte gemacht, und die wenigen in dieser Richtung beschriebenen Versuche zu ihrer Errechnung, die wir besonders Lauterburg und Cramer verdanken, haben sich im wesentlichen nur darauf erstreckt, durch empirische Formeln die Maximalabflußmengen zu ermitteln. Beide gehen davon aus, aus Faktoren der Niederschlagshöhen, der Größe des Niederschlagsgebietes, der Verdunstungs- und Versickerungskoeffizienten, der Rauigkeit der Bodenoberfläche, der Quergefälle und Längsgefälle des Abflußgebietes Formeln für den Maximalabfluß herzustellen, ohne auf die für die Größe der Wassermengen so wichtige Gestalt und den eigentlichen Abflußvorgang der Hochwasserwellen selbst näher einzugehen.

Noch weniger würden sich die Einwirkungen der Geländeunregelmäßigkeiten (tiefe Schluchten, Niederungen, Seen, Eindeichungen usw.) auf die abfließenden Wassermengen ohne Kenntnis der ganzen Hochwasserwellen und ihrer Abflußeigenschaften ermitteln lassen, so daß die Lauterburgschen und Cramerschen Wassermengenformeln, ganz abgesehen davon, daß keiner von beiden alle Abflußfaktoren<sup>1)</sup> berücksich-

---

1) Lauterburg läßt die Rauigkeit der Gebietsoberflächen und seiner Abflußrinnen, die für den Abfluß des Wassers in Flüssen und Bächen so wichtig ist, unberücksichtigt. Gefälle, Kulturzustand und

sichtigt, für die vorliegende Frage keine Verwendung finden können.

Die Gestalt jeder Flutwelle, ihre Fortpflanzung und ihr fortwährend sich änderndes Aussehen liegen in rein physikalischen Gesetzen begründet. Und ebenso beruht der Einfluß der Geländeeigenschaften des Flußbettes lediglich auf hydrodynamischen Eigenschaften der Flutwellen, deren Höhen, Geschwindigkeiten und Wassermengen daher einem fortlaufenden Wandel unterworfen werden. Dies nachzuweisen und einen Weg zu finden, wie man diese Verhältnisse rechnerisch er-

Dichtigkeit des Bodens vereinigt er zu einem Abflußkoeffizienten  $a$ , dessen oberer Grenzwert  $+1$  und dessen unterer Grenzwert  $=0$  ist, und kommt zu dem Schluß, daß die Teilgrenzwerte  $a_1 a_2 a_3$  [ $a_1 a_2 a_3 = a$ ] dieser Koeffizienten  $\frac{1}{3}$  nicht übersteigen dürfen, was aber sehr gut möglich ist, da die drei Koeffizienten voneinander völlig unabhängig sind. Die Tatsache, die Lauterburg anführt, daß nicht mehr Wasser abfließen kann, als die Niederschläge im ganzen ausgemacht haben, beweist daher nicht, daß die oberen Grenzwerte der Einzelkoeffizienten gleich  $\frac{1}{3}$  sind, sondern daß die Gruppierung der Koeffizienten, die gar nichts miteinander zu tun haben, falsch ist. Die Werte jedes Einzelkoeffizienten können sehr wohl zwischen  $+1$  und  $0$  liegen und müssen in ihrer Wirkung auf den Abfluß des Wassers miteinander multipliziert, nicht addiert werden, um als Gesamtkoeffizient wieder einen Einfluß zwischen  $+1$  und  $0$  ausüben zu können.

Cramer führt zur Bestimmung des Maximalhochwassers die jährliche Regenhöhe des Niederschlagsgebietes ein, die in gar keiner Beziehung zu den zeitweiligen großen Niederschlägen oder Schneeschmelzen steht, die doch fast allein die Hochwasserwellen hervorrufen. Auch ist die Annahme, daß die Überschwemmungsflächen, die längs dem ganzen Flußlauf verteilt sind, nur gerade die Hälfte des Einflusses haben wie am Ende des Abflußgebietes liegende Überschwemmungsflächen, sehr problematisch. Es käme doch auch sehr darauf an, die verschiedenen Überschwemmungshöhen zu berücksichtigen, die bei Wiesen, Sümpfen und Seen sehr verschieden sind. Außerdem müßte berücksichtigt werden, ob das Überschwemmungsgebiet mit im Gefälle liegt, wie meistens Wiesen- und Deichvorlande, oder kein Gefälle besitzt, wie alle Binnenseen.

mitteln kann, ist der Hauptzweck dieser Arbeit. Der dazu eingeschlagene Weg beruht nicht auf dem Prinzip, eine einzelne Formel zu finden, in der alle Faktoren, die von Einfluß auf den Verlauf von Flutwellen sind, vorkommen, sondern es ist versucht worden, auf Grund der Gesetze der Bewegung des Wassers in Flüssen eine ganze Rechnungsmethode anzugeben, durch die in jedem Fall Wasserspiegelhöhen, Wassermengen und Geschwindigkeiten einer Flutwelle bestimmt werden. Daß die Größe einer zu erwartenden Hochwasserwelle zunächst noch nicht festgelegt worden ist, sondern daß man nur tatsächlich gemessene Flutwellen behandeln kann, ist für das Prinzip des Verfahrens natürlich gleichgültig.

## **I. Unsere Wassergeschwindigkeitsformeln und ihre Verwendbarkeit.**

Eine Hauptschwierigkeit bildet zunächst die Bestimmung des Gesetzes der Wassergeschwindigkeiten in unseren Flüssen. Es hat nicht an theoretischen Versuchen gefehlt, diese Frage in rein physikalischem Sinne zu lösen. Aber die Arbeiten nach dieser Richtung haben bis jetzt zu keinem greifbaren Ziel geführt, und der Grund dafür liegt nach Ansicht des Verfassers darin, daß die bestehenden Unregelmäßigkeiten der natürlichen Flüsse in Querschnitt, Gefälle, Linienführung, Beschaffenheit der Flußbettwandung, Geschiebeführung u. a. das Zusammenwirken so vieler physikalischer Gesetze bedingen, daß ein einheitliches Abschlußgesetz in streng wissenschaftlichem Sinne nicht mehr nachweisbar wird. Man hat daher immer wieder seine Zuflucht zu empirischen Formeln genommen, von denen sich im Laufe der Zeit eine ganze Reihe gebildet und mit den praktischen Erfahrungen weiter vervollkommen haben. Die fünf bekanntesten sollen hier kurz mit einer kurzen Kritik angeführt werden, die sich darauf beschränken soll, vom Standpunkt der besten Berücksichtigung aller bekannter Abflußfaktoren und vom Standpunkt der größten praktischen Bewährtheit zu urteilen.

1. Nach den Abflußbeobachtungen am Mississippi haben Humphreys und Abbot folgende Geschwindigkeitsformel ermittelt:

$$v = \left[ \sqrt[4]{6g R_1 \sqrt{J}} - 0,0214 \right]^2$$

Diese Formel ist die einzige, die den Koeffizienten  $g$  der Beschleunigung durch Anziehungskraft der Erde enthält, aber sie hat zwei augenscheinliche Fehler. Erstens berücksichtigt sie keinen Reibungskoeffizienten, so daß die verschiedenartige Einwirkung der Beschaffenheit des Flußbettes und der Geschiebeführung ohne Einfluß bleibt. Zweitens nimmt sie als hydraulischen Radius  $R = \frac{\text{Querschnittsfläche}}{\text{Gesamtumfang (inkl. Oberfläche)}}$  an. Es ist leicht ersichtlich, daß der Einfluß des benetzten

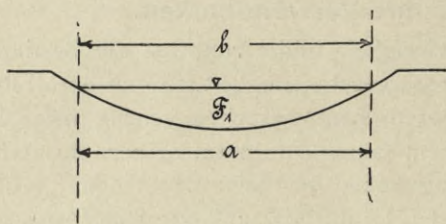


Fig. 1.

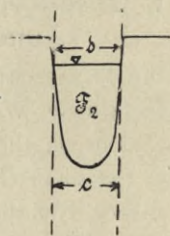


Fig. 2.

Umfanges auf den Abfluß bedeutend größer als der des unbenetzten ist, daß somit die Werte  $R_1$  der beiden gezeichneten Querschnitte (Fig. 1 u. 2), die bei Humphreys und Abbot gleich sind, verschieden sein müssen.

$$\begin{aligned} F_1 &= F_2, \\ p_1 &= a + b = c + d = p_2, \\ \frac{F_1}{p_1} &= \frac{F_2}{p_2} = R_1. \end{aligned}$$

Diese Formel ist nur noch wenig in Gebrauch und hat sich scheinbar auch praktisch nicht besonders bewährt.

2. Professor Manning (Dublin) schlägt folgende Formel vor:

$$v = c_1 \sqrt[3]{R^2 \sqrt{J}}; \quad c_1 = \frac{1}{n}.$$

Der Zusatzwert  $c$  trägt nur der Beschaffenheit der Flußbettwandungen (Lehm, Sand, Kies, Geröll, Fels usw.) Rechnung. Es läßt sich aber leicht erkennen, und die Praxis hat es auch erwiesen, daß  $c_1$  auch noch abhängig von der Größe des hydraulischen Radius  $R = \frac{\text{Querschnitt}}{\text{ben. Umfang}}$  und von der Größe des Gefälles  $J$  ist. Auch diese Formel besitzt heute fast keine praktische Bedeutung mehr.

3. Eine weitere Formel:

$$v = \frac{\sqrt{RJ}}{\sqrt{b}}; \quad b = \alpha + \frac{\beta}{R}$$

haben Darcy und Bazin aufgestellt, die schon deshalb beachtenswert ist, weil der Zusatzwert  $\sqrt{b}$  auch abhängig von  $R$  gemacht ist. Warum die Beschaffenheit des Flußbettes durch zwei unabhängige Veränderliche  $\alpha$  und  $\beta$  berücksichtigt ist, scheint nicht recht ersichtlich. Auch wirkt dieser Umstand erschwerend auf die richtige Wertekombination in der Formel. Diese Formel besitzt in Frankreich noch einige Bedeutung, ist aber vielfach durch die folgende vereinfachte Bazinsche Formel verdrängt worden.

4. Bazin:

$$v = \frac{\sqrt{RJ}}{\sqrt{b}}; \quad \sqrt{b} = 0,0115 \left( 1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}} \right).$$

Hier ist der Übelstand der beiden Koeffizienten  $\alpha$  und  $\beta$  durch den Wert  $\gamma$  beseitigt, aber immerhin bleibt, wie bei allen vorigen Formeln, der Einfluß des Gefälles  $J$  auf den Zusatzwert  $\sqrt{b}$  unberücksichtigt.

5. Die einzige Formel, die den Zusatzwert  $c$ , auch von dem Gefälle  $J$  abhängig macht, ist die von Gauguillet und Kutter:

$$v = c \sqrt{RJ}; \quad c = \frac{23 + \frac{0,00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \left( 23 + \frac{0,00155}{J} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Auch diese Formel hat nach Ansicht des Verfassers den Mangel, daß der  $c$ -Wert bei wachsendem  $J$  sich nur dann verkleinert, wenn  $R > 1$  ist, aber sie hat vor der Bazinschen Formel die Berücksichtigung des Gefälles  $J$  für den  $c$ -Wert voraus, und kommt, wie zahlreiche Versuche erwiesen haben, den wirklichen Abflußwerten sehr nahe. Sie hat daher heute auch die weiteste Verbreitung gefunden — in Deutschland, England und Nordamerika ist sie fast ausschließlich in Gebrauch — und ist aus diesen Gründen vom Verfasser für die zu lösende Frage ausschließlich zur Anwendung gebracht.

## II. Allgemeine Eigenschaften der Hochwasserwellen im regelmäßigen, einheitlichen Querschnitt.

Wie schon angedeutet, wurde davon ausgegangen, die Hochwasserflutwellen als einheitliches Ganzes zu betrachten und nicht nur den Scheitel derselben in Rechnung zu ziehen, ein Verfahren, das auch bei Berechnung der Hochwasserschutzbecken bei Talsperren angewandt wird. Hat der zu betrachtende Fluß auf eine längere Strecke ein einigermaßen einheitliches Querprofil und Gefälle, und sind die zu betrachtenden Hochwasserwellen nicht sehr lang, so kann man folgende Methode anwenden: Man stellt an möglichst vielen Stationen zu einer bestimmten Zeit die Höhe des Wasserspiegels fest und erhält so im Längenschnitt ein Bild der gesamten Flutwelle. Diese Methode möge die Wasserspiegelmethode genannt werden im Gegensatz zu der später zu besprechenden Wassermengenmethode.

### a) Der Anstieg.

Die Wassergeschwindigkeit im Scheitel der so gefundenen Flutwelle berechnet sich nach der einfachen Formel:  $v = c\sqrt{RJ}$ . Dieses  $v$  des Scheitels muß auch zugleich die Geschwindigkeit des vorderen Anstieges der Flutwelle oder mindestens seines oberen Teiles sein aus folgenden Gründen:

1. Würde die Wassergeschwindigkeit an einem Punkte  $B$  unterhalb des Scheitels größer sein als die des Scheitels, so würde sich der Fuß der Flutwelle immer mehr vom Scheitel entfernen und dadurch das Gefälle vom Scheitel zum Fuß sich konstant verringern, so daß sich durch dieses geringe Gefälle wieder eine geringere Wassergeschwindigkeit im Fuß der Flutwelle einstellen würde. Diese Verringerung der Wassergeschwindigkeit des Fußes der Flutwelle würde so lange anhalten, bis Fuß und Scheitel dieselbe Geschwindigkeit haben und durch das sich dann einstellende Gefälle ein Gleichgewichtszustand geschaffen ist (Fig. 3).

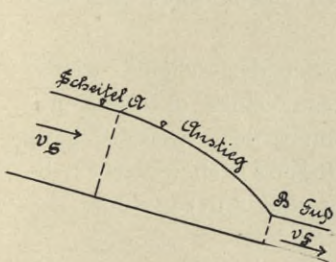


Fig. 3.

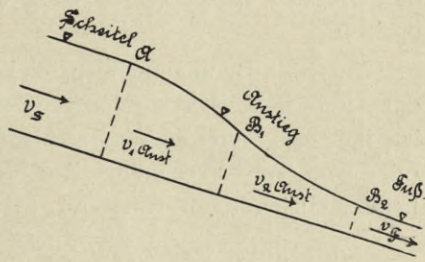


Fig. 4.

2. Würde andererseits die Wassergeschwindigkeit an einem beliebigen Punkte  $B$  unterhalb des Scheitels kleiner sein als die des Scheitels, so würden Scheitel und Fuß der Flutwelle immer mehr zusammenrücken, so daß zwischen beiden ein größeres Gefälle und damit eine größere Wassergeschwindigkeit im Fuß der Flutwelle entstände. Diese Vermehrung der Wassergeschwindigkeit des Anstieges würde so lange anhalten, bis Scheitel und Fuß der Flutwelle dieselbe Wassergeschwindigkeit haben und bei dem sich dann einstellenden Gefälle wieder Gleichgewicht herrscht (Fig. 3).

Die Flutwellen der Oder zeigen in ihrem Anstieg meist ein Übergangsstadium von geringeren zu größeren Geschwindigkeiten und müssen daher, wie sich später zeigen wird, oben skizziertes Aussehen (Fig. 4) haben.

$v_{\text{Scheitel}}$  ist bereits  $= v_1$  Anstieg,  
 während  $v_{2\text{Anstieg}}$  noch  $< v_{\text{Scheitel}}$   
 und  $v_{2\text{Anstige}}$  noch  $> v_{\text{Fuß}}$   
 ist.

Der Abstand der Punkte  $A$  und  $B_1$  voneinander bleibt also konstant, während sich die Punkte  $A$  und  $B_2$  einander noch nähern, bis  $B_2$  und  $A$  die gleiche Geschwindigkeit haben. Man kann also schon jetzt von sämtlichen Flutwellen, deren Anstieg die gezeichnete Kurve beschreibt, allgemein sagen, daß sich dieser Anstieg im weiteren Verlauf der Flutwelle immer verkürzen wird, eine Eigenschaft, die, wie sich später zeigen wird, auch alle anderen Anstiege besitzen.

Aus der Bedingung also, daß das  $v$  des Scheitels gleich dem  $v$  des Anstieges oder mindestens seines oberen Teiles ist, läßt sich nun die Wasserspiegelkurve des Anstieges ganz oder zum Teil errechnen. Zur Verfügung stehen wieder die beiden Gleichungen von Gauguillet und Kutter:

$$1. v = c \sqrt{RJ},$$

$$2. c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}},$$

in denen  $\sqrt{J}$  und  $c$  unbekannt sind. Die Auflösungen dieser Gleichungen nach  $c$  oder  $\sqrt{J}$  führen auf kubische Gleichungen, deren Wurzeln ziemlich kompliziert und daher für den praktischen Gebrauch wenig geeignet sind.

Der Anstieg jeder Flutwelle setzt sich aus einzelnen Gefälllinien zusammen, die sich nach dem Fuße der Flutwelle zu immer stärker neigen, so daß, konstantes  $v$  vorausgesetzt, eine konvexe Anstiegskurve entsteht. Die Errechnung der

---

1) Die Lösung für  $\sqrt{J}$  soll hier aber der Vollständigkeit halber wiedergegeben werden:



Ordinaten geschieht mittels angenommener Zwischenprofile, deren Zahl, je nach der Länge des Anstieges, zu erwählen ist. Es ist leicht ersichtlich, daß die Anwendung obiger Formel auf jedes einzelne Profil umfangreiche und umständ-

$$\begin{aligned}
 & \sqrt{J} = + \frac{v + \frac{23 n \cdot v}{\sqrt{R}}}{3 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \\
 & + \sqrt[3]{\frac{\left( v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}} \right) \cdot 0,00155 \sqrt{R}}{6 \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)^2} - \left( \frac{v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{3 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \right)^3 - \frac{0,00155 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{2 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)}} \\
 & + \sqrt[3]{\left[ \frac{\left( v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}} \right) \cdot 0,00155 \sqrt{R}}{6 \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)^2} - \left( \frac{v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{3 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \right)^3 \right]} \\
 & - \frac{0,00155 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{2 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \left[ \frac{0,00155 \sqrt{R}}{3 \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} - \left( \frac{v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{3 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \right)^2 \right]^3 + \\
 & \sqrt[3]{\frac{\left( v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}} \right) \cdot 0,00155 \sqrt{R}}{6 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)^2} - \left( \frac{v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{3 \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \right)^3 - \frac{0,00155 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{2 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)}} \\
 & - \sqrt[3]{\left[ \frac{\left( v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}} \right) \cdot 0,00155 \sqrt{R}}{6 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)^2} - \left( \frac{v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{3 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \right)^3 \right]} \\
 & - \frac{0,00155 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{2 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \left[ \frac{0,00155 \sqrt{R}}{3 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} - \left( \frac{v + 23 \frac{n \cdot v}{\sqrt{R}}}{3 \cdot \left( 23 \sqrt{R} + \frac{\sqrt{R}}{n} \right)} \right)^2 \right]^3
 \end{aligned}$$

liche Tabellen erfordern und daher sehr zeitraubend sein würde. Es ist deshalb folgender andere Rechnungsweg eingeschlagen worden. Nachdem man für genügend viele Zwischenprofile, die Fläche  $F$ , den benetzten Umfang  $p$  und den hydraulischen Radius  $R$  bestimmt hat, wählt man den Koeffizienten  $c$  zunächst beliebig und rechnet mit dem konstanten  $v$ , dem bekannten Wert  $\sqrt{R}$  und dem gewählten  $c$  nach Formel (1)  $J$  aus. Dieses  $J$  setzt man in Formel (2) ein und bestimmt daraus  $c$ , das mit dem gewählten  $c$  im allgemeinen nicht übereinstimmen wird. Wählt man nun  $c$  in der Nähe dieses neuen Wertes  $c$  und bestimmt wieder  $J$  und  $c$  nach Formel (1) und (2), so wird sich bald eine Übereinstimmung des gewählten und des errechneten  $c$ -Wertes und damit das richtige  $J$  finden. Bei einiger Übung wird man gleich beim ersten oder zweiten Versuch die Wahl des  $c$  richtig getroffen haben, besonders, wenn für ein Zwischenprofil das richtige  $c$  bereits feststeht. Diese Probiermethode führt bedeutend schneller zum Ziel und ist daher nachstehend stets angewandt worden. Die errechneten Resultate stellt man für die einzelnen Anstiegskurven dann zweckmäßig in einer Tabelle zusammen. Als Beispiel mögen hier die Daten der in Tafel 1 dargestellten Hochwasserwelle folgen.

Angenommen war dabei:

$$\begin{aligned} J_{M.W.} &= 0,0001, \\ J_{\text{Scheitel H. W.}} &= 0,0001, \\ Q_{H.W.} &= 1670 \text{ cbm/sec.} \end{aligned}$$

Normalparabelquerschnitt mit Parameter:

$$\begin{aligned} P &= 500, \\ n &= 0,028. \end{aligned}$$

Dann ergab sich als Scheitelgeschwindigkeit:  $v = 1,34$  m und daraus die Anstiegskurve mit den Zahlen der nebenstehenden Tabelle.

$\Delta h$  bedeutet hier die Wasserspiegelerhöhung von Profil zu Profil und  $\Delta l$  die Länge der Grundrißprojektion der zu-

Profil- nummer	$F$	$p$	$R$	$\sqrt{R}$	$n$	$v$	$c$	$J^{0/00}$	$A^h$ m	$A^l$ m	$\Sigma A^l$ m
1	137,5	91,8	1,495	1,22	0,028	1,34	38,6	0,715	0,15	210	210
2	152	97	1,57	1,255			39,1	0,661	0,15	227	437
3	166,5	100	1,665	1,29			39,5	0,615	0,25	406	843
4	191	104,8	1,82	1,35			40,1	0,542	0,21	388	1 231
5	214	108,5	1,97	1,40			40,6	0,490	0,195	398	1 629
6	235	112,1	2,10	1,45			41,2	0,446	0,185	414	2 043
7	257	115,6	2,235	1,50			41,7	0,410	0,18	439	2 482
8	280	118,8	2,35	1,54			41,9	0,385	0,18	468	2 950
9	299	121,6	2,46	1,57			42,4	0,360	0,40	1110	4 060
10	351	128,2	2,74	1,66			43,1	0,312	0,36	1150	5 210
11	398	133,7	2,98	1,73			44	0,276	0,58	2100	7 310
12	479	142	3,37	1,84			45,2	0,230	0,50	2180	9 490
13	552	149	3,71	1,93			46	0,202	0,74	3660	13 150
14	661	158,2	4,175	2,04			46,7	0,175	0,63	3600	16 750
15	766	166,2	4,6	2,14			48	0,150	0,70	4660	21 410
16	890	174,8	5,12	2,26			49,4	0,127	0,71	5590	27 000
17	1004	182	5,52	2,35			50,4	0,114	0,55	4840	31 800
18	1110	188,2	5,89	2,43			51	0,102	0,88	8600	40 440
19	1285	197,8	6,5	2,55			51,4	0,1	0	$\infty$	$\infty$

gehörigen Gefälllinie. Der Anstieg dieser sehr steilen Flutwelle hat also eine Gesamtlänge von 40,44 km.

Hat der untere Teil des Anstieges noch nicht die Geschwindigkeit des Scheitels der Flutwelle, so sind damit flachere Gefälllinien der Wasserspiegelkurve bedingt, so daß dieser Teil der Flutwelle im Längenschnitt eine konkave Kurve bilden muß. Da für dieses Stück des Anstieges kein konstantes  $v$  zur Verfügung steht, so hat auch eine Berechnung der Ordinaten der zugehörigen Oberflächenkurve nicht gefunden werden können. Dieser konkave Teil des Anstieges bietet aber ein wertvolles Charakteristikum der ganzen Flutwelle. Es läßt sich nämlich allgemein sagen: Je kürzer der konkave Teil der Anstiegskurve ist, um so größer ist der Weg, den die ganze Flutwelle zurückgelegt hat, und um so näher rückt die Länge des Anstieges ihrem theoretischen Minimum. Je größer nämlich der Teil des Anstieges ist, der sich mit der Geschwindigkeit des Scheitels vorwärts bewegt, um so länger

hat die Zeit gedauert, während welcher der Scheitel sich dem Fuß der Flutwelle nähern konnte, um die Gefällkurve gleicher Geschwindigkeit herzustellen; um so größer ist also auch der vom Scheitel zurückgelegte Weg gewesen.

### b) Der Abfall.

Die bisherigen Betrachtungen haben ergeben, daß jeder Flutwellenanstieg bei unveränderlichem Flußquerschnitt eine konstante Gefällkurve anzunehmen trachtet. Das trifft aber nicht zu für den Abfall einer Flutwelle. Nehmen wir

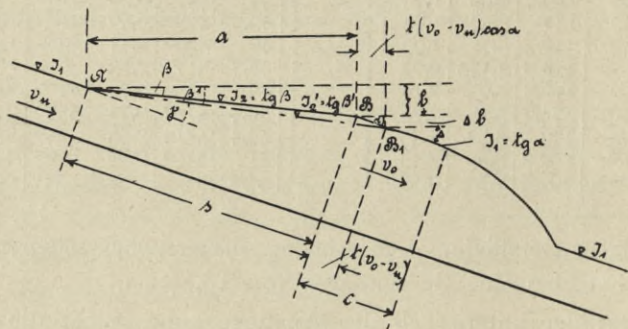


Fig. 5.

wieder an, daß die Wasserspiegelmessung einer Flutwelle zu einer bestimmten Zeit das gezeichnete Bild (Fig. 5) ergeben habe, so wird leicht ersichtlicherweise  $v_o > v_u$  und damit nach einer bestimmten Zeit  $t$  eine Verlängerung des Flutwellenabfalles um  $t(v_o - v_u)$  verursacht.

Diese Verlängerung geschieht auf Kosten des Scheitels, so daß sich dessen Länge  $c$  zugleich in der Zeit  $t$  auf

$$c - t(v_o - v_u)$$

verkürzt. Die Geschwindigkeiten zwischen den in der Fig. 5 ersichtlichen Punkten A und B liegen zwischen  $v_o$  und  $v_u$  und sind von der zugehörigen Gefällkurve des Abfalles abhängig. Diese Gefällkurve ändert sich, wie die Figur zeigt, ständig, so daß auch die Zwischengeschwindigkeiten allmählich zunehmen. Die Gestalt der Gefällkurve ist keineswegs immer,

wie hier angenommen, eine gerade Linie, sondern sie kann in den verschiedensten, allerdings sehr flachen konvexen und konkaven Linien verlaufen, weshalb dem Verfasser auch eine genauere Errechnung derselben nicht gelungen ist. Ein Beispiel einer solchen Kurve ist aus den Wasserständen der Oder bei Neu-Glietzen und Hohensaathen für Einheitsgefälle und Normalquerschnitt errechnet und in Tafel 2 zur Darstellung gebracht. Da die erwähnten Gefällvergrößerungen des Abfalles aber, wie sich bei Annahme einer geraden Abfalllinie zeigen läßt, sehr klein sein werden, so bleibt ihre Bestimmung für den Charakter der ganzen Flutwelle unwesentlich. Deutet man das Gefälle des Abfalles nach  $c$  Sekunden durch die gerade Linie  $J_2'$  an, so ergibt sich eine Gefällzunahme von:

$$I.) \quad \Delta J_2 = \frac{b + \Delta b}{s + t(v_0 - v_u)} - \frac{b}{s},$$

wobei wegen der Kleinheit der Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  mit genügender Genauigkeit gesetzt worden ist:

$$(I.) \quad a = \frac{a}{\cos \beta} = \frac{a}{\cos \beta \cdot \cos \gamma} = s,$$

$$(2.) \quad t(v_0 - v_u) = t(v_0 - v_u) \cos a.$$

Setzt man

$$\Delta b = J_1 \cdot t(v_0 - v_u)$$

in die Gleichung (I) ein, so entsteht als definitiver Wert von  $\Delta J_2$ :

$$II.) \quad \Delta J_2 = \frac{(J_1 \cdot s - b) \cdot t(v_0 - v_u)}{s^2 + st(v_0 - v_u)}.$$

Dieser Wert wird, wie schon gesagt, sehr klein. Hier sind zwei Beispiele mit ganz verschiedenen Gefällen, aber gleichen Wassermengen:

A) Gegeben:  $J = 0,001$ ;  $Q_0 = 1670$  cbm/sec;  
 $b = 97,0$  m;  $Q_u = 126$  cbm/sec;  
 $s = 100000$  m;

Normalparabelquerschnitt mit  $P = 500$ :

$$n = 0,28.$$

Daraus zunächst gefunden:

$$J_2 = 0,00097; \quad v_o = 2,8 \text{ m/sec}; \quad v_u = 1,27 \text{ m/sec.}$$

Nach der Formel (2) ergibt sich nun nach 1000 Sekunden:

$$\begin{aligned} \Delta J_2 &= \frac{(0,001 \cdot 100000 - 97) \cdot 1000 \cdot (2,8 - 1,27)}{100000^2 + 1000 \cdot 100000 (2,8 - 1,27)} \\ &= \frac{4600}{10153000000} = 0,00000045. \end{aligned}$$

Die zugehörige Verlängerung des Flutwellenabfalles ist:

$$t(v_o - v_u) = 1000 \cdot 1,53 = 1530 \text{ m.}$$

B) Gegeben:  $J_1 = 0,0001,$

$$b = 7,$$

$$Q_o = 1670 \text{ cbm/sec,}$$

$$Q_u = 126 \text{ cbm/sec,}$$

$$s = 100000;$$

Normalparabelprofil mit Parameter  $P = 500:$

$$n = 0,028.$$

Daraus gefunden:

$$J_2 = 0,00007; \quad v_o = 1,3 \text{ m/sec}; \quad v_u = 0,59 \text{ m/sec.}$$

Nach 1000 Sekunden ergibt sich nun:

$$\begin{aligned} \Delta J_2 &= \frac{(0,0001 \cdot 100000 - 7) \cdot 1000 (1,3 - 0,59)}{100000^2 + 1000 \cdot 100000 \cdot 0,71} \\ &= \frac{2130}{10071000000} = 0,00000021. \end{aligned}$$

Die zugehörige Verlängerung des Abfalles ist:

$$t(v_o - v_u) = 1000 \cdot 0,71 = 710 \text{ m.}$$

Es ergibt sich also im Beispiel A:

$$J_2' = J_2 + \Delta J_2 = 0,00097045,$$

im Beispiel B:

$$J_2' = J_2 + \Delta J_2 = 0,00007021.$$

Die Gefällvergrößerungen lassen sich, trotzdem sehr kurze Abfälle von 100 km gewählt wurden, rechnerisch nicht mehr berücksichtigen. Je länger aber der Flutwellenabfall ist, um so geringer werden die Gefällvergrößerungen, während die Verlängerungen des Abfalles von seiner Länge unabhängig bleiben. Man kann daher wieder allgemein sagen: Je

länger der Flutwellenabfall und je größer sein Gefälle ist, um so länger ist auch der Weg, den die Flutwelle schon zurückgelegt hat.

### c) Der Scheitel.

In die Besprechung von Anstieg und Abfall haben zum Teil schon Eigenschaften des Scheitels hineingezogen werden müssen. Der Scheitel ist der am meisten veränderliche Teil einer Flutwelle, da er sich nicht nur in seiner Längenausdehnung, wie beim Abfall gezeigt wurde, ändert, sondern auch in seiner Höhe variabel ist. Hat nämlich die von hinten fortschreitende Verkürzung der Scheitellänge die ganze Scheitellänge verbraucht, so muß sie notwendigerweise auf den vorderen Anstieg übergreifen und damit auch die Scheitelhöhe senken. Dadurch wird aber die Geschwindigkeit des Scheitels und des Anstieges allmählich wieder vermindert. Das bedeutet aber nichts anderes, als das in unseren Flüssen so oft beobachtete allmähliche Verflachen der Hochwasserwellen, wozu allerdings die weiter unterhalb allmählich eintretenden Profilerweiterungen auch ihren Beitrag liefern. Meistens haben nun Flutwellen in unseren Flüssen nicht das einfache Aussehen der bislang gegebenen Skizzen, sondern sie setzen sich aus mehreren Scheiteln, Anstiegen und Abfällen zusammen. Dann ist ihre rechnerische Verfolgung komplizierter, aber immer noch möglich. Angenommen, eine Flutwelle habe bei ihrer Wasserspiegelaufnahme zurzeit 1 den gezeichneten Längenschnitt mit den Scheiteln 1, 2, 3 und 4. Dann ergeben sich, wie aus der Skizze (Fig. 6) leicht ersichtlich ist, die zugehörigen Geschwindigkeiten zu:

$$v_4 > v_3 > v_1 > v_2 > v_0.$$

Es möge der Einfachheit halber angenommen werden, daß die drei Anstiege *a*, *b* und *c* schon vollständig die zugehörigen Scheitelgeschwindigkeiten  $v_1$ ,  $v_3$  und  $v_4$  erreicht hätten. Die Geschwindigkeiten der beiden Abfälle *d* und *e* schwanken zwischen den Geschwindigkeiten der benachbarten

Scheitel, also für  $d$  zwischen  $v_1$  und  $v_2$  und für  $e$  zwischen  $v_4$  und  $v_0$ .

Nach  $t$  Sekunden hat sich die ganze Flutwelle verlängert auf  $1 + t(v_1 - v_0)$ .

Die Scheitelgeschwindigkeiten haben nicht zur Verlängerung der Flutwelle, sondern zu ihrer Veränderung in den einzelnen Teilen beigetragen. Es sind länger geworden die Teile  $d$  und  $e$ , kürzer die Teile  $1$ ,  $2$ ,  $3$  und  $4$ , gleich lang

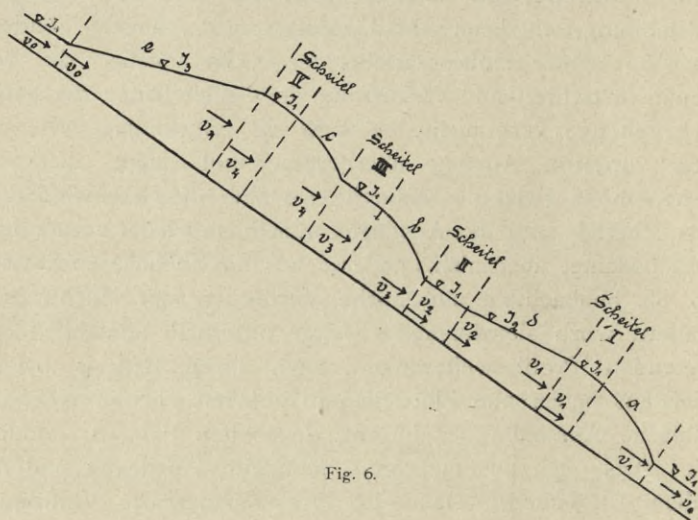


Fig. 6.

geblieben zunächst die Teile  $a$ ,  $b$  und  $c$ . Die Gefälle  $J_2$  und  $J_3$  sind etwas größer geworden. Nach weiteren  $t$  Sekunden seien z. B. die Teile  $4$  und  $2$  verschwunden,  $3$  und  $1$  weiter verkürzt,  $d$  und  $e$  verlängert und ihre Gefälle weiter vergrößert,  $a$ ,  $b$  und  $c$  gerade noch gleich lang geblieben, während die Verlängerung der ganzen Flutwelle wieder  $t(v_1 - v_0)$  geworden ist. Nach weiteren  $t$  Sekunden seien noch die Teile  $3$  und  $1$  verschwunden,  $c$  und  $d$  verkürzt,  $a$  und  $b$  gleich geblieben und die Verlängerung der Flutwelle gleich  $t(v_1 - v_0)$  usw. Hat man also aus den gemessenen



Gefällen und Wasserständen die Geschwindigkeiten  $v_0, v_1, v_2, v_3$  und  $v_4$  bestimmt, so lassen sich damit die Wasserbewegungen einer Flutwelle bequem verfolgen. Ein schematisches Beispiel ist auch hierfür ausgerechnet und graphisch in Tafel 3 zur Darstellung gebracht. Es zeigt deutlich die Tendenz jeder Flutwelle mit mehreren Scheiteln, die einzelnen Scheitel miteinander auszugleichen und wieder die früher gezeichnete einfache Form anzunehmen, eine Beobachtung, die man an sämtlichen Flutwellen der unteren Oder machen kann. Besonders interessant ist in dieser Beziehung die Flutwelle von April bis Juni 1903, die bei Küstrin noch einen zweiten kleineren Scheitel aufweist, den sie aber bei Schwedt fast ganz verloren hat (siehe Tafel 4). Auch die anderen Hochwasserwellen haben im Oberlauf der Oder sicher mehrere Scheitel gehabt, da nicht anzunehmen ist, daß die Hochwasserwellen der Nebenflüsse immer gerade mit der des Hauptstromes genau zusammengefallen sind. Bei Küstrin, oder wenigstens im Unterlauf bis Schwedt, bekommen sie aber alle einen einheitlichen Scheitel. Die zum Teil noch nicht vollständig ausgeglichenen übrigen Scheitel bilden einen Hauptgrund für die früher schon erwähnten unregelmäßigen Wasserspiegelkurven der Flutwellenabfälle. Aus dem Gesagten ergeben sich wieder einige allgemeine Sätze:

1. Da jede Flutwelle im Einheitsquerschnitt sich zu verlängern trachtet, so ist ihre Länge auch direkt von dem Weg, den sie zurückgelegt hat, abhängig.

2. Je steiler eine Flutwelle ist, um so schneller verflacht sie.

3. Je geringer die Länge des Scheitels einer Flutwelle ist, um so größer ist der Weg, den sie ohne Zuflüsse zurückgelegt hat.

4. Je niedriger der Scheitel einer Flutwelle ist, desto größer ist die Verflachung und damit der zurückgelegte Weg gewesen.

### III. Eigenschaften der Hochwasserwellen in zusammengesetzten Querschnitten.

Bedeutend komplizierter gestalten sich nun die Verhältnisse, wenn man es nicht mehr mit einheitlichen Querschnitten zu tun hat, sondern mit zwei- bis dreifach zusammengesetzten Querschnitten, wie sie gewöhnlich bei unseren Flußläufen durch Regulierung auf Nieder-, Mittel- und Hochwasser geschaffen worden sind. Die betreffenden Querschnitte haben dann meistens das gezeichnete Aussehen. In einem derartigen Querschnitt ändern sich, wenn man auch zunächst noch einheitliches Gefälle annimmt, die Werte von  $n$  und  $\sqrt{R}$  und daher auch von  $c$  mit der zunehmenden Tiefe vollständig, so daß sich, wie bekannt ist, auch bei normalen Abflußverhältnissen in den einzelnen Querschnittsteilen verschiedene Geschwindigkeiten ergeben.

#### a) Der Anstieg.

Passiert eine Flutwelle derartig unregelmäßige Profile, so würden sich nach der unter Abschnitt IIa angegebenen Methode die skizzierten Anstiegskurven einstellen (Fig. 7 bis 10).

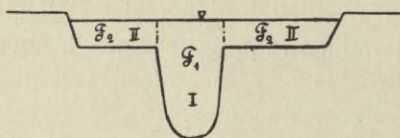


Fig. 7. Querschnitt.

Die Längenschnitte zeigen, daß diese Wasserspiegel sich in Wirklichkeit nicht einstellen können, da sich von der Mitte aus fortwährend ein Quergefälle nach den Seiten und infolgedessen auch eine Querströmung einstellen muß. Daß diese durch die beiden verschiedenen Anstiege hervorgerufene Querströmung wirklich stattfindet, hat der Verfasser wiederholt an der Oder beobachtet. Die Querströmung war zum Teil so stark, daß sie die Längsströmung übertraf. Es stellt sich also vielmehr das gezeichnete Grundrißbild des Flutwellenanstieges ein. Für drei- und mehrfache Profile entstanden dann die nachstehenden Abbildungen (Fig. 11 bis 13).

Die Längenschnitte zeigen, daß diese Wasserspiegel sich in Wirklichkeit nicht einstellen können, da sich von der Mitte aus fortwährend ein Quergefälle nach den Seiten und infolgedessen auch eine Querströmung einstellen muß. Daß diese durch die beiden verschiedenen Anstiege hervorgerufene Querströmung wirklich stattfindet, hat der Verfasser wiederholt an der Oder beobachtet. Die Querströmung war zum Teil so stark, daß sie die Längsströmung übertraf. Es stellt sich also vielmehr das gezeichnete Grundrißbild des Flutwellenanstieges ein. Für drei- und mehrfache Profile entstanden dann die nachstehenden Abbildungen (Fig. 11 bis 13).

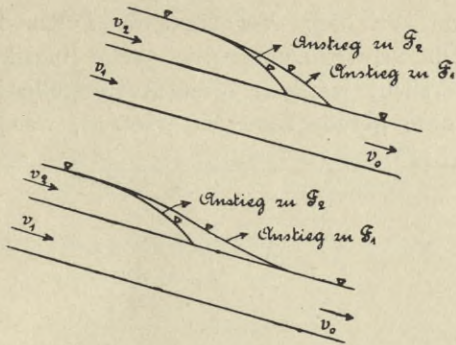


Fig. 8 u. 9. Längenschnitte.

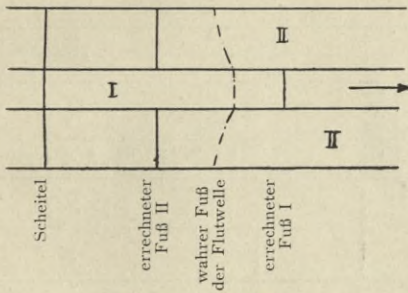


Fig. 10. Grundriß.

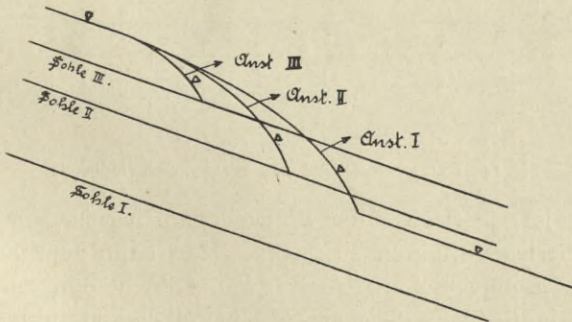


Fig. 11.

Der Verfasser hat keinen Weg gefunden, die Grundrißkurven der Anstiegfüße zu errechnen. Der Gebrauch dieser

Kurven würde auch beim Verfolgen des Fußes der Flutwelle in einem Überschwemmungsgebiet sehr umständlich sein. Daher ist versucht worden, diese Anstiegfüße im Grundriß auch durch eine gerade Linie zu ersetzen, was um so eher

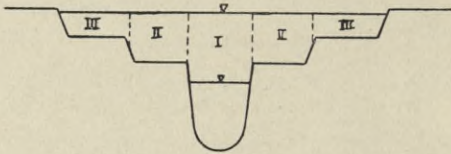


Fig. 12.

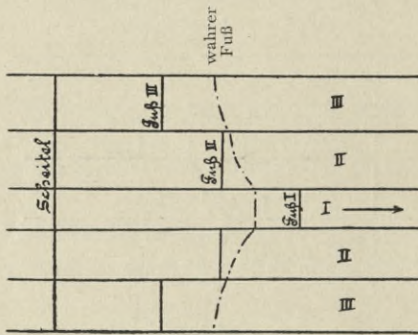


Fig. 13. Grundriß.

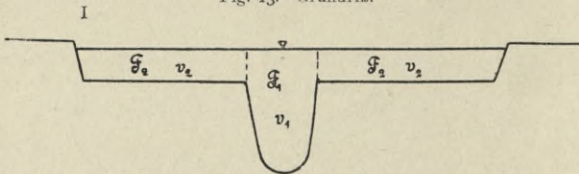


Fig. 14. Querschnittsteilung nach Wassergeschwindigkeiten.

zulässig ist, je flacher der Flutwellenanstieg ist, um so ein angenähertes Verfahren zu finden. Man kann zunächst einen solchen Flußquerschnitt nach zwei Gesichtspunkten teilen, erstens in Gebiete gleicher Geschwindigkeiten und zweitens in Gebiete gleicher Flutwellenfortpflanzungsgeschwindigkeiten. Die wahren Wassergeschwindigkeiten werden, wie in Querschnitt I (Fig. 14) gezeichnet ist,  $v_1$  und  $v_2$  sein. Die Fort-

pflanzungsgeschwindigkeiten der Flutwelle werden aber durch die Querströmung wesentlich beeinflußt, und zwar vermindert sich das  $v_1$  der Mitte (Fig. 15 u. 16) im Querschnittsteil  $F_1''$  auf  $v$  und in  $F_1'$  auf  $v_0$ , während es sich in den Teilen  $F_2$  auf  $v$  vermehrt. Es muß sich also sekundlich die Wassermenge:

$$Q_s = v_1 \cdot F_1 - v_0 \cdot F_1' - v \cdot F_1''$$

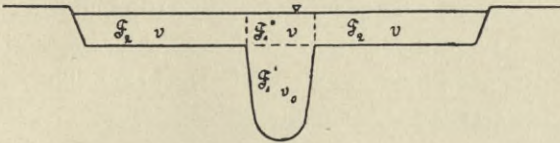


Fig. 15. Querschnittsteilung nach Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Flutwelle.

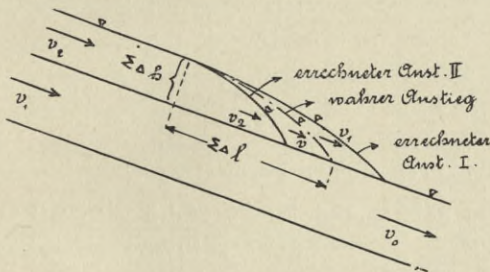


Fig. 16.

von  $F_1$  auf  $F_2$  verteilen, so daß die Geschwindigkeitszunahme in den Teilen  $F_2$  gleich ist:

$$\Delta v = \frac{v_1 \cdot F_1 - v_0 \cdot F_1' - v \cdot F_1''}{F_2}$$

Die Flutwellenfortpflanzungsgeschwindigkeit in den Teilen  $F_2$  und  $F_1''$  wird also:

$$v = v_2 + \Delta v,$$

$$v = \frac{v_2 \cdot F_2 + v_1 \cdot F_1 - v_0 \cdot F_1'}{F_2 + F_1''},$$

während sich die Flutwelle im eigentlichen Flußschlauch mit der Geschwindigkeit  $v_0$  fortpflanzt. Hier ein Beispiel (Fig. 17):

Gegeben ist ein Flußquerschnitt mit den gezeichneten Abmessungen, größte Wassermenge:

$$Q_{\max.} = 1670 \text{ cbm/sec, } J = 0,0001.$$

Dann ergibt sich nach den Ganguillet-Kutterschen Formeln:

$$\begin{aligned} F_1 &= 384,5 \text{ qm,} \\ v_1 &= 0,89 \text{ m/sec,} & F_2 &= 3160 \text{ qm,} \\ v_2 &= 0,425 \text{ „} & F_1' &= 214 \text{ „} \\ v_0 &= 0,59 \text{ „} & F_1'' &= 170,5 \text{ qm,} \end{aligned}$$

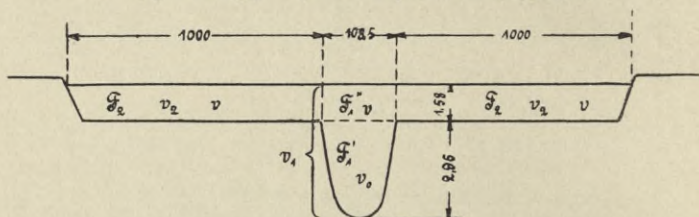


Fig. 17.

und daraus  $v$  nach obiger Formel:

$$\begin{aligned} v &= \frac{3160 \cdot 0,425 + 0,89 \cdot 384,5 - 0,59 \cdot 214}{3160 + 170,5} \\ &= \frac{1556}{3330,5} = 0,467 \text{ m/sec.} \end{aligned}$$

Nach demselben Prinzip kann man auch die Anstiegskurven des Flußschlauches und des Überschwemmungsgebietes zu einer Anstiegskurve, die sich für die Berechnung des späteren Stauvorganges an Querdeichen oder an Geländevorsprüngen weit besser eignet, vereinigen. Es entsteht dann statt der windschiefen Anstiegfläche ein gerader Kurvenmantel, der in Fig. 16 schon strichpunktiert angegeben ist, und statt des wirklichen Anstiegfußes der punktiert gezeichnete (Fig. 18). Die Kombination, welche am meisten der Wirklichkeit nahekommt, ist die, welche beide Anstiege nach Maßgabe der Prozentanteile der Wassermengen, die sie in den einzelnen Querschnitten führen, zusammensetzt.

Dann ergibt sich für jeden Querschnitt als definitives Gefälle der Anstiegskurve:

$$J_{def} = \frac{J_1 \cdot Q_1 \text{ ‰} + J_2 \cdot Q_2 \text{ ‰}}{100}$$

Man rechnet diese Anstiegskurve zweckmäßig wieder in einer Tabelle aus, wofür nebenstehend ein Beispiel gegeben werden möge. Kombinierung

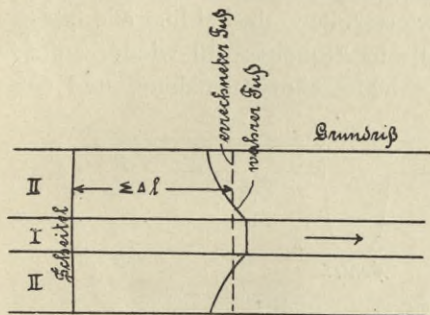


Fig. 18.

der Anstiegskurven des Querschnittes Fig. 17.

Der praktische Wert dieser Rechnungsweise ist nicht sehr groß, da als Voraussetzung eine ganz gleichmäßige Verteilung des Überschwemmungsgebietes zu beiden Seiten des Flusses angenommen ist, wie sie z. B. bei parallel laufenden Deichen auf längere Strecken vorkommen kann, und weiter auch schon ein Gleichgewichtszustand in den Geschwindigkeiten der Anstiegskurven vorausgesetzt wurde, was ja häufig nicht der Fall ist. Immerhin zeigt diese Betrachtung einen der

Querschnitt Nr.	$F_1$	$v_1$	$F_2$	$v_2$	$F_1 \cdot v_1 = Q_1$	$F_2 \cdot v_2 = Q_2$	$\Sigma \frac{Q_1}{Q_2}$	$Q_1$ ‰	$Q_2$ ‰	$J_1$ ‰	$J_2$ ‰	$J_1 \cdot Q_1$ ‰	$J_2 \cdot Q_2$ ‰	$J_{def}$ ‰	$\Delta h$ m	$Al$ m	$\Sigma Al$ m
1	236	0,89	400	0,425	210	170	380	55,2	44,8	0,239	$\infty$	13,2	$\infty$	$\infty$	0,2	0	0
2	263		900		234	383	617	37,9	62,1	0,193	2,16	7,3	1,415	1,415	0,25	177	177
3	290		1400		258	595	853	30,3	69,7	0,167	0,570	5,07	0,4497	0,4497	0,25	560	737
4	322,5		2000		289	850	1139	25,3	74,7	0,147	0,317	3,72	0,2732	0,2732	0,3	1100	1837
5	355		2600		316	1105	1421	22,25	77,75	0,126	0,1845	2,81	0,1716	0,1716	0,3	1750	3587
6	384,5		3140		342	1326	1668	20,4	79,6	0,1094	1,06	2,23	0,1066	0,1066	0,28	2530	6117

Gründe, weshalb Flutwellen in Überschwemmungsgebieten wesentlich an Geschwindigkeit verlieren. Ein anderer Grund wird noch bei Beschreibung des Scheitels in diesem Kapitel gefunden werden; auch soll dann noch eine andere Methode zur Behandlung von Flutwellen in unregelmäßigen Überschwemmungsgebieten erörtert werden.

### b) Der Abfall.

Der Flutwellenabfall in zusammengesetzten Querschnitten bietet die wenigsten Schwierigkeiten, da bei ihm alle typischen Erscheinungen des Abfalls im Einheitsprofil wieder auftreten. Eine einzige Erscheinung bildet eine Ausnahme, und das ist

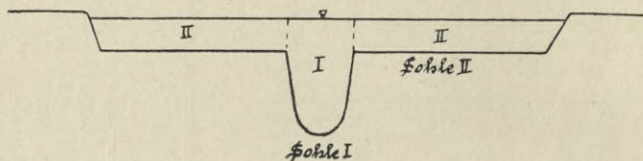


Fig. 19. Querschnitt.

die Beziehung zwischen den Geschwindigkeiten des Anstieges und des Abfalls. Vergegenwärtigt man sich wieder eine zu einer bestimmten Zeit in irgendeinem regelmäßigen Überschwemmungsgebiet aufgenommene Flutwelle, so kann man in dem Abfall derselben vier verschiedene Grenzgeschwindigkeiten unterscheiden.

In Teil I des Querschnitts (Fig. 19) werden die Abfallgeschwindigkeiten durch  $v_{1o}$  und  $v_{1u}$  oben und unten begrenzt. In Teil II bilden  $v_{2o}$  und  $v_{2u}$  die obere und untere Grenze.  $v_{2u}$  wird gleich Null, da das zugehörige  $\sqrt{R} = 0$  ist. Die übrigen drei Grenzgeschwindigkeiten stehen meist in folgendem Verhältnis zueinander:  $v_{1o} > v_{1u} > v_{2o}$ . Nach  $t$  Sekunden würde sich Abfall I von A-C nach B-E und Abfall II von A-C nach A-D verschoben haben, so daß, wie der Längenschnitt (Fig. 20) zeigt, wieder ein Quergefälle sich einstellen muß, und zwar diesmal von den Seiten nach der Mitte zu. Auch diese Querströmung



ist vom Verfasser wiederholt beobachtet worden. Durch das Quergefälle wird die Wassersäule in der Mitte wieder etwas erhöht, wodurch eine etwas größere Abfallgeschwindigkeit bedingt wird. Wir haben also das merkwürdige Ergebnis, daß in Überschwemmungsgebieten die Anstiegsgeschwindigkeit einer Flutwelle stark vermindert wird, während die Abfallgeschwindigkeit etwas vermehrt wird. Man kann daher allgemein sagen: Je länger eine Flutwelle in Überschwemmungsgebieten geflossen ist, um so näher

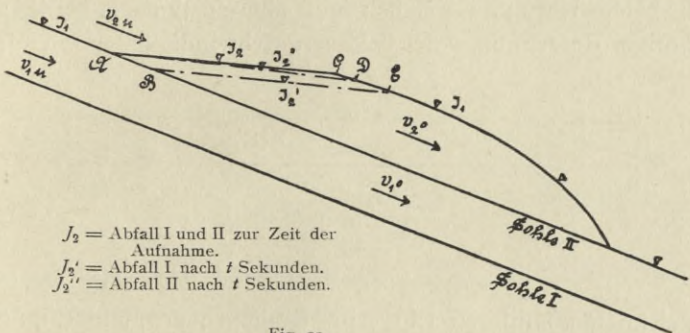


Fig. 20.

sind die Füße des Abfalls und Anstiegs widereinander gerückt, um so kürzer ist daher die ganze Flutwelle geworden.

### c) Der Scheitel.

Auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Scheitels in zusammengesetzten Querschnitten werden stark verringert, und zwar in demselben Maße wie die des Anstieges, so daß

die gleiche Formel 
$$v = \frac{v_2 \cdot F_2 + v_1 \cdot F_1 - v_0 \cdot F_1'}{F_2 + F_1''}$$
 dafür angewendet werden kann.

Das lange Verbleiben des Hochwassers in Überschwemmungsgebieten, wodurch oft im Frühjahr die Entwicklung der Vegetation stark behindert wird, erklärt sich so auf sehr leichte Weise. Die Maximalgeschwindigkeit der Oderhochwasserwelle von 1888 würde z. B. zwischen Nieschen

und Kienitz am 2. April im eigentlichen Flußbett 1,24 m/sec betragen haben. Durch das Überschwemmungsgelände an beiden Seiten wird sie aber herabgemindert auf 0,69 m/sec. Der Scheitel der Hochwasserwelle hat demnach rechnerisch den 8200 m langen Weg zwischen Nieschen und Kienitz in  $\frac{8200}{0,69}$  Sekunden = 11900 Sekunden = 3 Stunden 18 Minuten zurückgelegt. Eine zufällige Beobachtung an Lattenpegeln in Kienitz und Nieschen ergab 3 Stunden als Zeitdifferenz, so daß beide Resultate ziemlich gut übereinstimmen. Die zugehörige Berechnung der Wassergeschwindigkeiten in dem

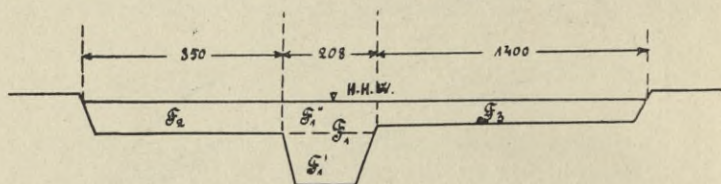


Fig. 21.

gezeichneten mittleren Überschwemmungsquerschnitt (Fig. 21) folgt hier kurz:

Gegeben:

$$Q_{H.W.} = 3194 \text{ cbm/sec,}$$

$$f = 0,000146, \quad n_1 = 0,028,$$

$$n_2 \text{ und } n_3 = 0,03.$$

Daraus zunächst gefunden:

$$F_1 = 954, \quad v_1 = 1,24 \text{ m/sec,} \quad Q_1 = 1180 \text{ cbm/sec,}$$

$$F_2 = 1530, \quad v_2 = 0,61 \text{ m/sec,} \quad Q_2 = 930 \text{ cbm/sec,}$$

$$F_3 = 2100, \quad v_3 = 0,53 \text{ m/sec,} \quad Q_3 = 1110 \text{ cbm/sec,}$$

$$\Sigma Q = 3220 \text{ cbm/sec.}$$

Mittlere Seitengeschwindigkeit:

$$V_{m_2} = \frac{930 + 1110}{3630} = 0,56 \text{ m/sec,}$$

$$F_1' = 519 \text{ qm,} \quad F_1'' = 435 \text{ qm,} \quad v_0 = 0,82 \text{ m/sec,}$$

$$v = \frac{3630 \cdot 0,56 + 954 \cdot 1,24 - 519 \cdot 0,82}{3630 + 435} = 0,69 \text{ m/sec.}$$

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich: Je größer die Verzögerung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Scheitels ist, d. h. je größer die Seitenquerschnitte im Vergleich zum eigentlichen Flußquerschnitt sind, oder je größer das Überschwemmungsgebiet überhaupt ist, um so länger wird es auch durch eine Hochwasserwelle unter Wasser gesetzt. Verringern wir also die Überschwemmungsflächen in einem Flußgebiet, so vergrößern wir damit die Abflußgeschwindigkeiten und beschleunigen so den Gesamtabfluß einer Hochwasserwelle.

Wird nun das Gelände sehr unregelmäßig, so daß häufig die Durchflußquerschnitte bedeutend variieren, oder kommen viele Gefällbrechpunkte vor, oder handelt es sich, wie bei den großen Hochwässern der Oder, um sehr lange Wellen, deren Anstiege und Abfälle mehrere 100 km lang sind, so läßt sich die Wasserspiegelmethode nur noch unter großen Schwierigkeiten anwenden, und man geht

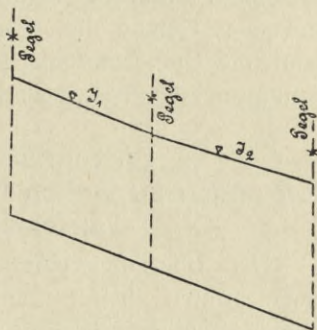


Fig. 22.

dann zweckmäßig zu einer anderen Rechnungsweise über, die der Verfasser als Wassermengenmethode schon erwähnt hat. Dieser Weg besteht darin, an einer geeigneten Beobachtungsstation oberhalb des Überschwemmungsgebietes in bestimmten Zeitabständen die durchfließenden Wassermengen zu ermitteln und mit diesen Wassermengen für den gegebenen, zusammengesetzten Querschnitt die erforderliche Fläche und damit die Wasserspiegelhöhe zu errechnen. Es wird empfohlen, bei Ermittlung der zugehörigen Gefälle, die sich fortwährend bei einer Hochwasserwelle ändern, an die Beobachtungsstation Hilfspegel in etwa 200 m bis 400 m Entfernung vom Hauptpegel aufzustellen. Die Gefällbestimmungen zwischen drei gewöhnlichen Pegeln, die, wie an der Oder, meistens 5 bis

8 km voneinander entfernt sind, gibt häufig grobe Fehler, da sich fast immer ein Gefällbrechpunkt an jedem Pegel einstellen wird und daher weder das eine Gefälle  $J_1$  noch das andere  $J_2$  das richtige sein wird (Fig. 22). Von den 12 Pegeln der 76,8 km langen Oderstrecke Küstrin—Schwedt bezeichnet z. B. jeder einen Gefällbrechpunkt. Will man genaue Wassermengenwerte erzielen, so müssen auch noch durch praktische Wassermengennmessungen an der Beobachtungsstation umfangreiche Unterlagen für die richtige Wahl des Rauigkeitswertes  $n$  der Ganguillet-Kutterschen Abflußformel geschaffen werden. Mit diesen Mitteln ist man in der Lage, für jede Wassermenge und jedes Gefälle die zugehörige Wassergeschwindigkeit und damit die Querschnittsfläche und den Pegelstand irgendeines Punktes im Überschwemmungsgebiet zu bestimmen.

#### **IV. Einfluß des Überganges von engen zu weiten Querschnitten auf den Verlauf von Hochwasserwellen.**

Der Übergang einer Flutwelle von engen zu weiten Querschnitten bietet ganz typische Abflußerscheinungen. Nehmen wir zunächst an, ein Teil einer Flutwelle, z. B. der ganze Aufstieg, sei bereits aus dem engen Querschnitt in einen weiteren übergetreten, dann bietet der Längenschnitt des Wasserspiegels das gezeichnete Bild.

Es findet also zunächst, wie die Fig. 23 u. 24 zeigen, eine bedeutende Senkung des Scheitels der Hochwasserwelle im Niederungsgebiet statt. Begründet liegt dieselbe, wie leicht ersichtlich, in der starken Vergrößerung des Abflußquerschnittes durch die weiten Flächen des Überschwemmungsgebietes. Die Scheitelsenkung ist daher auch in gewisser Weise den Überschwemmungsquerschnitten proportional, und zwar ist sie um so größer, je größer die Breite und Tiefe der durchflossenen Niederung ist. Wie groß die Wasserspiegel-senkung jeder einzelnen Flutwelle sein muß, kann nach der in *IIIc* angegebenen Wassermengenmethode ermittelt werden.

Als Beispiel für die Wasserspiegelsenkungen der Oder mögen die Fluthöhen dienen, welche die neun größeren Hochwasser-

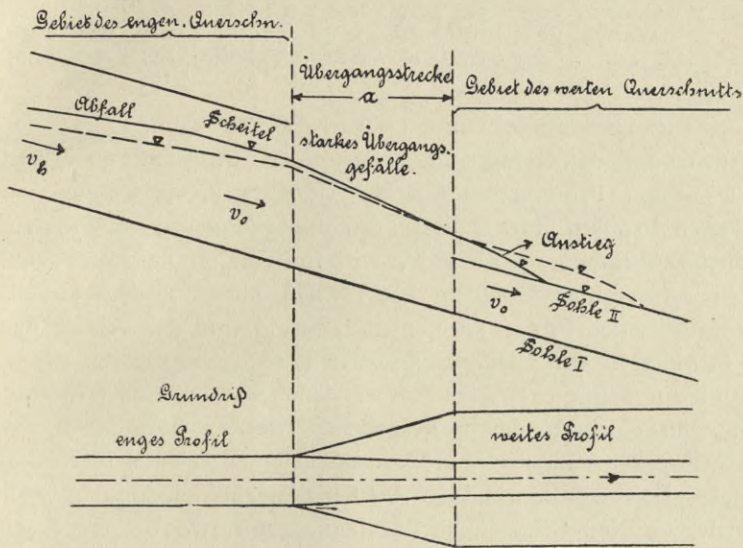


Fig. 23 u. 24.

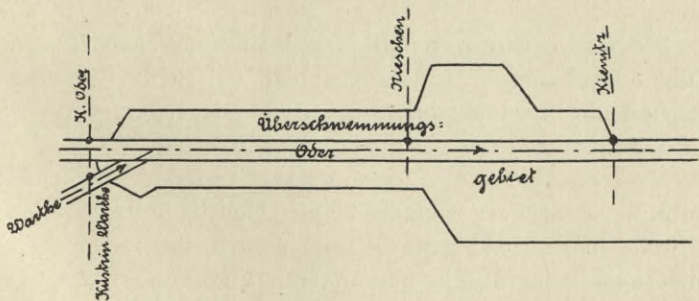


Fig. 25.

wellen der letzten 40 Jahre an den Pegeln zu Küstrin Oder und Warthe, Nieschen und Kienitz hervorgerufen haben (Fig. 25).

	H.W. 1886	H.W. 1888	H.W. 1889	H.W. 1891	H.W. 1893	H.W. 1902	H.W. Mai 1903	H.W. Juli 1903	H.W. 1909
Küstrin Oder .	259	307	218	188	191	242	229	255	262
„ Warthe	275	350	260	233	195	221	226	230	276
Nieschen . . .	217	298	169	179	157	222	217	229	268
Kienitz . . . .	183	297	169	170	109	213	194	215	195

Diese Scheitelsenkungen verursachen nun ein erhebliches Anwachsen des Gefälles in den Übergangsstrecken von engen zu weiten Profilen. Plötzliche Übergänge von engen zu weiten Profilen dürften wohl kaum vorkommen, und wo sie doch auftreten, würde sich, wie in Tafel 1 dargestellt ist, ein regelrechter Gefällsturz einstellen müssen. Die Gefällvergrößerung findet auch noch statt, wenn der Abfall der Flutwelle in die Niederung übergeht — siehe die punktierte Linie in Fig. 23 —, so daß an solchen Flußstrecken, aber nur an solchen, davon gesprochen werden kann, daß das Hochwasser immer ein größeres Gefälle mit sich bringt. Ein gutes Beispiel dafür bilden die Gefällerscheinungen der Oder zwischen Neu-Glietzen und Hohensaathen, wo die Oder aus einem sehr engen Profil in ein etwas weiteres übergeht. Die Zahlen der Hochwasserwelle von Juli 1903 siehe nebenstehend.

Dieselbe Hochwasserwelle hatte in dem ziemlich regelmäßig ausgebildeten Niederungsgebiet zwischen Küstrin und Nieschen die nachfolgenden Gefällveränderungen verursacht (siehe S. 32).

Hier zeigt sich also das stärkere Gefälle beim Anstieg und das schwächere Gefälle beim Abfall, wie es bei jeder Flutwelle in regelmäßigem Gelände sein muß. Jede Flutwelle erhält aber beim Eintritt aus engeren Flußprofilen in weitere Niederungen noch eine wichtige Eigenschaft. Die Fortschrittsgeschwindigkeit des Flutwellenanstieges wird, wie in Abschnitt III a nachgewiesen wurde, in Überschwemmungsgebieten stark vermindert. Während der Zeit des Überganges behält aber der Flutwellenteil, der sich jeweilig noch in den engen

Datum	Pegelstand bei Neu-Glietzen	Gefällveränderung in $\frac{1}{100000}$	
13. Juli	263	0	
14. "	264	— 0,299	
15. "	274	+ 0,588	
16. "	289	+ 0,896	
17. "	302	+ 0,598	
18. "	316	+ 0,896	
19. "	327	+ 0,598	
20. "	368	+ 2,09	
21. "	426	+ 2,39	
22. "	509	+ 4,78	
23. "	566	+ 5,08	
24. "	585	5,97	Scheitel
25. "	580	5,08	
26. "	564	5,08	
27. "	554	5,68	
28. "	542	5,08	
29. "	528	5,08	
30. "	512	4,48	
31. "	500	3,88	
1. August	485	3,58	
2. "	472	2,68	
3. "	461	2,39	
4. "	444	1,79	
5. "	427	1,49	
6. "	408	0,598	
7. "	394	0,598	
8. "	386	0,896	
9. "	381	0,896	
10. "	373	0,299	
11. "	366	0,299	
12. "	366	0,598	
13. "	367	0,598	
14. "	367	0,598	
15. "	362	0,598	
16. "	352	0,598	
17. "	341	0,299	
18. "	333	0,299	
19. "	324	0,299	
20. "	318	0,896	
21. "	317	1,49	
22. "	312	0,598	

Profilen befindet, seine alte Geschwindigkeit bei, so daß sich, wie aus Fig. 23 ersichtlich ist,  $v_h > v_o$  ergibt. Die Abfallgeschwindigkeit übertrifft also für diese Zeit die des Anstieges,

Datum	Pegelstand bei Küsttrin a. Oder	Pegelstand bei Küsttrin a. Warthe	Gefäll- veränderung in $\frac{1}{100000}$	
13. Juli	118	82	0	
14. "	133	86	+ 0,72	
15. "	154	96	+ 1,65	
16. "	167	105	+ 1,75	
17. "	178	114	+ 1,86	
18. "	188	125	+ 1,75	
19. "	232	149	+ 3,91	
20. "	338	217	+ 6,5	
21. "	358	252	+ 4,64	
22. "	370	294	+ 3,51	
23. "	372	311	+ 2,58	
24. "	364	312	+ 1,75	
25. "	348	306	+ 0,93	
26. "	331	305	- 0,21	
27. "	315	306	- 1,44	
28. "	303	303	- 1,96	
29. "	291	296	- 2,16	
30. "	283	288	- 2,26	
31. "	277	280	- 2,26	
1. August	270	269	- 2,06	
2. "	260	265	- 2,36	
3. "	246	252	- 2,57	
4. "	230	238	- 2,88	
5. "	216	228	- 3,09	
6. "	202	215	- 2,47	
7. "	195	205	- 2,57	
8. "	194	200	- 2,26	
9. "	189	191	- 2,16	
10. "	183	185	- 2,16	
11. "	186	179	- 1,44	
12. "	191	179	- 1,34	
13. "	192	176	- 1,24	
14. "	187	173	- 1,13	
15. "	177	166	- 1,24	
16. "	167	159	- 1,44	
17. "	157	151	- 1,54	
18. "	152	146	- 1,55	
19. "	146	140	- 1,24	
20. "	147	136	- 1,24	
21. "	145	132	- 0,93	
22. "	141	127	- 0,93	Scheitel

weshalb Abfall und Anstieg, statt wie gewöhnlich sich weiter voneinander zu entfernen, nun immer näher zusammenrücken. Es läßt sich daher allgemein sagen:



1. Je länger eine Flutwelle ist, um so mehr Zeit braucht sie, um eine Übergangsstelle zu passieren, und um so mehr wird sie sich daher durch den Übergang auch verkürzen.

2. Zu engen Querschnitten gehören immer längere und höhere Flutwellen mit größeren Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, und umgekehrt: zu weiten Querschnitten kürzere und niedrigere Flutwellen mit geringeren Fortpflanzungsgeschwindigkeiten.

Es tritt nun die wichtige Frage an uns heran, welche Veränderungen mit einer Flutwelle vorgehen, wenn man den Einfluß größerer Überschwemmungsflächen durch Eindeichung beseitigt. Zunächst wird sich der ganze Wasserspiegel der Flutwelle heben, so daß bei gleichen Gefällen größere, mittlere Profilverwindigkeiten und daher auch größere Fortpflanzungsgeschwindigkeiten eintreten. Die Flutwelle wird also sämtliche Ortschaften unterhalb der Eindeichung früher erreichen als vorher. Es entsteht dann folgendes Bild (Fig. 26) im Längenschnitt.

Der vermehrten Flutwellengeschwindigkeit entspricht, wie man im Schnitt *c — d* sieht, ein stark reduzierter Querschnitt, weshalb auch die zwischen den Deichen abgeführte Wassermenge nicht größer ist, als das im weiten Überschwemmungsquerschnitt abgeführte Wasser. Es erscheint also, da durch die Form der Flutwelle bedingt, immer nur eine ganz bestimmte errechenbare sekundliche Abflußmenge zur Verfügung steht, theoretisch zunächst völlig gleichgültig, ob man einen engen Querschnitt mit größeren Geschwindigkeiten oder einen weiten Querschnitt mit geringen Geschwindigkeiten anwendet. Dies bleibt richtig, solange die hindurchfließende Wassermenge konstant bleibt. Ändert sich aber, wie bei jeder Flutwelle, die Durchflußmenge, so ändert sich auch der Einfluß der Querschnitte auf dieselbe, und zwar in folgender Weise:

Zunächst fließe eine Wassermenge  $Q$  mit der Geschwindigkeit  $v$  durch den Querschnitt  $F$ , so daß  $Q = v \cdot F$  ist. Ver-

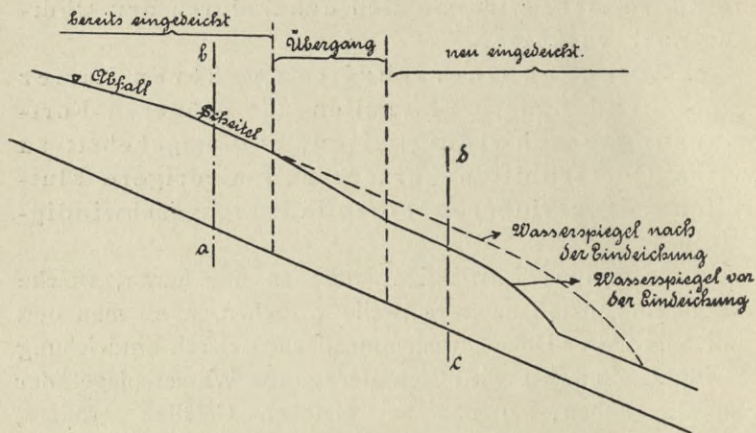


Fig. 26.

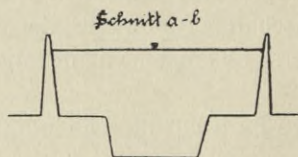


Fig. 27.

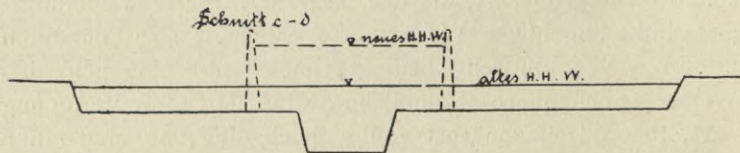


Fig. 28.

größert sich nun die Wassermenge auf  $Q_1$ , so ist damit eine Querschnittsvergrößerung auf  $F + \Delta h_1 \cdot b$  erforderlich. Die Wasserfüllung des Querschnittszuwachses  $\Delta h_1 \cdot b$  kann aber nicht mit abfließen, so daß zwischen den beiden in Fig. 29 ersichtlichen Beobachtungsstationen I und II in  $t$  Sekunden

ein neuer Wasserkörper,  $\Delta h_1 \cdot b \cdot l$ , entstanden ist. Zur Bildung dieses Wasserkörpers waren sekundlich erforderlich:

$$(1) \quad \frac{\Delta h_1 \cdot b \cdot l}{t} = Q_1'$$

$Q_1$  hat sich also vermindert auf:

$$(2) \quad Q_1 - Q_1' = (F + \Delta h_1 \cdot b) \cdot v_1.$$

Je größer also die Breite  $b$  eines Querschnittes ist, um so größer wird auch, wie aus der Formel (1) ersichtlich, die sekundliche Wasserentziehung  $Q_1'$  des Anstieges der Flutwelle. Dieses im Flußschlauch aufgespeicherte Wasser kommt beim Abfall der Flutwelle wieder mit zum Abfluß und bildet einen wesentlichen Grund für die Verlängerung des Flutwellenabfalles.

Je weniger Wasser die Flutwelle im Flußschlauch selbst aufspeichert, um so weniger verlängert sie ihren Abfall, und um so schneller wird sie daher abgeführt.

Der Abflußvorgang bei fallender Flutwelle ist folgender: Vermindert sich eine Durchflußmenge  $Q$  in bestimmter Zeit auf  $Q_1$ , so hat das eine Wasserspiegelsenkung um  $\Delta h_1$  zur Folge (siehe Fig. 30 u. 31). Außer  $Q_1$  muß aber auch noch eine Wassermenge  $Q_1'$  abgeflossen sein, die aus der Wasserspiegelsenkung resultiert, so daß sich der Wasserspiegel wieder um  $\Delta h_1'$  gehoben hat. Es ergibt sich daher als Gesamtabfluß:

$$(1) \quad Q_1 + Q_1' = v_1 \cdot F - (\Delta h_1 - \Delta h_1') \cdot b \cdot v_1$$

und  $Q_1'$  wird gleich:

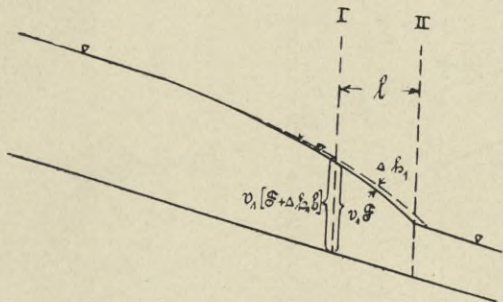


Fig. 29.

$$(2) \quad Q_1' = \frac{(\Delta h_1 - \Delta h_1') \cdot b \cdot l}{t}$$

Aus den Formeln (1) und (2) ergibt sich dann:

$$(3) \quad \Delta h_1' = \frac{Q_1 \cdot t + \Delta h_1 \cdot b (l + t \cdot v_1) - F \cdot t \cdot v_1}{b (l + v_1 \cdot t)},$$

und daraus die wahre Wasserspiegelsenkung:

$$(4) \quad \Delta h_1 - \Delta h_1' = \Delta z.$$

Es zeigt sich also auch hier, was in Abschnitt II c für Normalprofile schon nachgewiesen ist, daß höhere Wellen

auch in Überschwemmungsgebieten mehr die Tendenz zeigen, sich zu verlängern und zu ver-

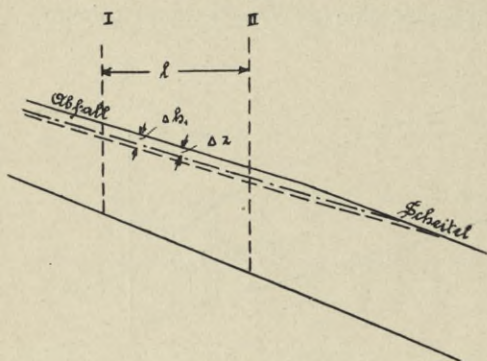


Fig. 30.

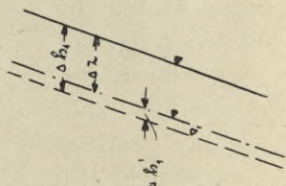


Fig. 31.

flachen als niedrige Wellen. Zur Veranschaulichung, wie sich unter dem Einfluß weiter Profile die Wassermengen einer Hochwasserwelle ändern, mögen noch die Fig. 32 u. 33 dienen.

Welchen Einfluß nun die Einmündungen von Nebenflüssen auf den Verlauf der Hochwasserwellen im Hauptstrom haben, möge hier kurz erläutert werden. Doch soll auf diese sehr interessante Frage, die, streng genommen, nicht mit zum Thema gehört, hier nur so weit eingegangen werden, daß es dadurch möglich sein wird, Überschwemmungsgebiete an Nebenflußmündungen rechnerisch zu berücksichtigen. Denkt man sich in einem beliebigen Strom eine Hochwasserwelle abfließend, so wird an der Mündung eines Nebenflusses, der

z. B. kein Hochwasser führt, durch die Wasserspiegelerhöhung des Hauptstromes ein geringeres Gefälle des Nebenflusses, oft sogar ein Gegengefälle in den Nebenfluß hinein entstehen. Dadurch wird entweder eine Verringerung des Zuflusses in den Hauptstrom, oder, wie häufig sogar, ein Abfluß aus dem Hauptstrom in den Nebenfluß erzeugt, so daß an solchen

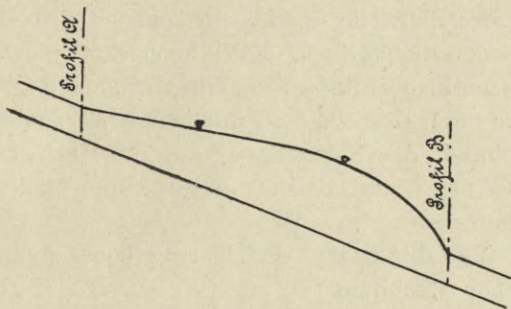


Fig. 32. Profil A = Profil B.

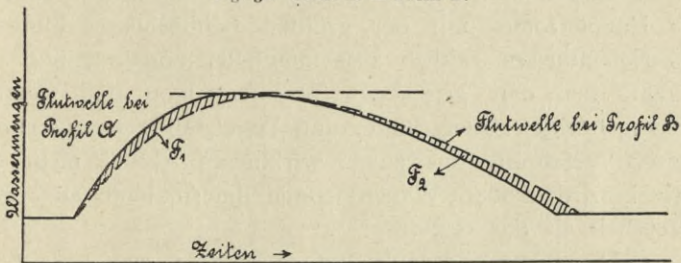


Fig. 33.  $F_1 = F_2$ .

Einmündungsstellen Gefällknickpunkte entstehen müssen. Nebenflüsse verringern also, wenn sie selbst kein Hochwasser führen, meistens die Scheitelhöhe der Hauptstromflutwelle, und zwar ist der Abfluß aus dem Hauptstrom um so größer, je größer das Überschwemmungsgebiet der Nebenflußmündung ist, und je weniger Wasser der Nebenfluß selbst führt. Durch diese seitlich aufgespeicherten Wassermengen wird aber genau wie bei Überschwemmungsgebieten des Hauptstromes die Flutwelle verlängert, da bei sinkendem Hochwasserspiegel im Hauptstrom das Wasser wie aus einem Rezipienten nachströmen wird.

Ein gutes Beispiel dafür sind die Abflußerscheinungen der unteren Warthe in die Oder. Hat man nun für ein derartiges Flußgebiet die Abflußverhältnisse zu regeln, so kann man zur Errechnung der unterhalb der Einmündung auftretenden Maximalabflußmengen zwei Wege gehen:

1. Man legt die größte, in der vorhandenen Beobachtungszeit gemessene Flutwelle des Hauptstromes zugrunde und berechnet aus den zugehörigen, täglich beobachteten Pegelständen des Haupt- und Nebenflusses die entsprechenden Querschnitte und Gefälle und damit die sekundlichen Wassermengen, so daß der Einfluß des Nebenflusses auf die Hochwasserwellen des Hauptstromes und damit die gesuchten Maximalwassermengen feststehen.

Dieses Verfahren trägt den bislang beobachteten größten Abflußmengen Rechnung.

2. Man nimmt an, daß die größte beobachtete Flutwelle des Hauptstromes mit der größten beobachteten Flutwelle des Nebenflusses zeitlich zusammenfällt, und hat nun umgekehrt aus den gegebenen Wassermengen und Gefällen die zugehörigen Querschnitte und Pegelstände auszurechnen. Dieses Verfahren, das einem wirklichen Abfluß nicht entspricht, wird größere Wassermengen liefern, bietet aber mehr Sicherheit als das erste.

Beide Rechnungsarten erfordern ein umfangreicheres Zahlenmaterial, das aus den täglichen Beobachtungen schrittweise zu errechnen ist. Es mag hier noch darauf hingewiesen werden, daß bei Eindeichung von Überschwemmungsflächen des Hauptstromes untersucht werden muß, wie weit durch die Hebung des Wasserspiegels der Einfluß der nicht eingedeichten Nebenflußtäler auf die Verzögerung der Flutwelle gestiegen ist. Bezeichnen wir (siehe Fig. 34) mit  $F_1$  die Überschwemmungsfläche des Hauptstromes vor der Eindeichung, mit  $\Delta F_1$  die Überschwemmungsfläche nach der Eindeichung, mit  $F_2$  die Überschwemmungsfläche des Nebenflusses, mit  $h_1$  und  $h_2$  die Überschwemmungshöhen von  $F_1$

und  $F_2$  vor der Eindeichung und mit  $\Delta h_1$  und  $\Delta h_2$  die Wasserspiegelerhöhungen nach der Eindeichung, so ergibt sich: Vor der Eindeichung aufgespeicherte Wassermenge:

$$Q_1 = F_1 \cdot h_1 + F_2 \cdot h_2.$$

Nach der Eindeichung aufgespeicherte Wassermenge:

$$Q_2 = \Delta F_1 (h_1 + \Delta h_1) + F_2 (h_2 + \Delta h_2).$$

Es kann nun vorkommen, daß  $Q_2 > Q_1$  wird, daß also durch die Eindeichung gerade das Gegenteil der Verkürzung einer Flutwelle erreicht wird. Es wird daher meist nötig sein, die Überschwemmungsflächen der Nebenflüsse auch noch

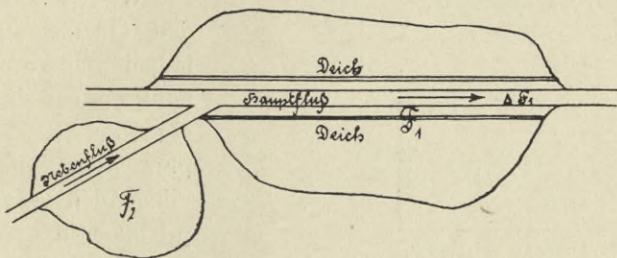


Fig. 34.

einzudeichnen, was für die Berechnung der Baukosten von ausschlaggebender Bedeutung sein kann.

## V. Einfluß des Überganges von weiten zu engen Querschnitten auf den Verlauf von Hochwasserwellen.

Ganz besonderen Einfluß auf den Verlauf von Hochwasserwellen in unseren Flüssen haben Übergangsstellen von weiten zu engen Querschnitten. Nimmt man zunächst wieder einigermaßen gleichmäßiges Gelände und Gefälle an, so läßt sich mit der Wasserspiegelmethode der Abflußvorgang verfolgen. Das Gelände habe das im Grundriß gezeichnete Aussehen. Sobald nun eine Hochwasserwelle den aus der Fig. 35 ersichtlichen Querdeich erreicht hat, beginnt durch die Deiche ein Aufstau des Wassers, der wesentlich durch die Größe des

Abflußquerschnittes (Fig. 36) beeinflusst wird. Die Erhöhung des Stauspiegels in gegebener Zeit ist also einerseits abhängig von dem Abflußvorgang durch das Profil *a* bis *b*, andererseits wirkt die Stauerhöhung, da durch sie die Abflußquerschnitte und Geschwindigkeiten verändert werden, wieder unmittelbar

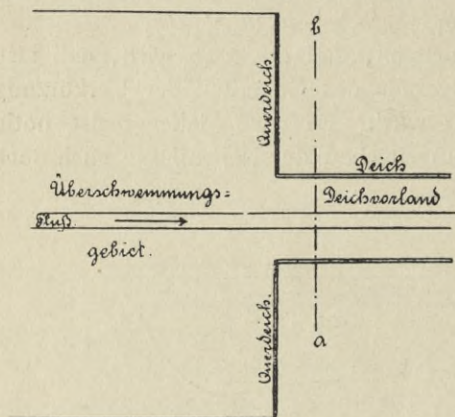


Fig. 35.

eigentlichen Überschwemmungsgebiet. Diese beiden Querschnitte sind außer vom Gelände nur von der Gestalt der ankommenden Flutwelle abhängig. Ist die Flutwelle nach

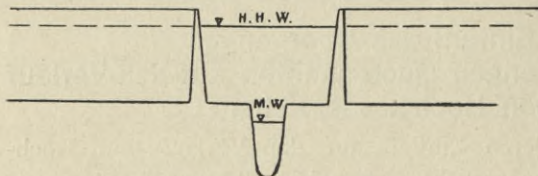


Fig. 36. Schnitt *a* — *b*.

auf den Abfluß ein, so daß eine wechselseitige Bezeichnung besteht, die hier näher beleuchtet werden soll. Die Wasser zuführenden Querschnitte in jedem Überschwemmungsgebiet sind der eigentliche Flußlauf plus dem darüberliegenden Wasserprisma und die Wasserprismen über dem

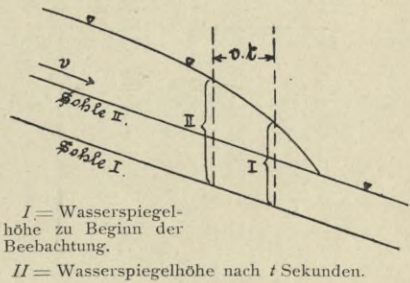
dem in Kapitel III angegebenen

Prinzip ausgerechnet und im Längsschnitt aufgetragen, so kann man, da die Fort-

pflanzungsgeschwindigkeit nach Kapitel IIIb gleichfalls ermittelt werden kann, für einen bestimmten Zeitabschnitt aus dem Längenprofil direkt die mittlere Wasserspiegelhöhe beider Querschnitte ablesen (siehe Fig. 37). Damit sind also die Wasser zuführenden Querschnitte bestimmt. Die Wasser abführenden Querschnitte sind bedeutend schwerer zu ermitteln, worauf noch



später eingegangen werden soll. An der Staustelle muß man sich nun hüten, die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten zu verwenden. Im Wasser zuführenden Flußschlauch plus darüberliegendem Wasserprisma wirkt dann die wahre Geschwindigkeit  $v_1$ , die bis zum Stau in Scheitelhöhe konstant bleibt und bei weiterem Stau sich allmählich vermindert. In dem Wasserkörper über dem Überschwemmungsgebiet ist, solange der Scheitel der Flutwelle die Staustelle noch nicht erreicht hat, eine Geschwindigkeit in Rechnung zu ziehen, die zwischen der Profilschwindigkeit und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $v$  liegt, da das Quergefälle von der Strommitte nach dem Überschwemmungsgebiet zum Teil noch wirksam geblieben ist. Ist der Scheitel der Flutwelle erreicht, so tritt im Überschwemmungsgebiet nur die Geschwindigkeit  $v_2$  in Wirkung und bleibt für die Dauer des Durchflusses des Scheitels konstant. Sie vermindert sich dann entsprechend dem ge-



$I$  = Wasserspiegelhöhe zu Beginn der Beobachtung.

$II$  = Wasserspiegelhöhe nach  $t$  Sekunden.

Fig. 37.

geringeren Gefälle und der geringeren Überschwemmungshöhe des Abfalls, bis sie allmählich wieder gleich Null wird. Der Abflußquerschnitt besteht in dem angenommenen Fall wieder aus Flußschlauch plus Wasserprisma und zwei Wasserprismen über den Deichvorländern. Der Flußschlauch plus darüberliegendem Wasserprisma wird zunächst denselben Querschnitt haben wie das entsprechende Profil des Überschwemmungsgebietes, bis sich der Einfluß des Quergefalles von den seitlichen Staubeieten her bemerkbar macht. Es stellt sich für ihn dann das gezeichnete Profil mit der stetig wachsenden Querschnittsvergrößerung  $AF$  ein (Fig. 38). Der Querschnitt über dem seitlichen Deichvorland ist zunächst auch abhängig von der aus dem Längenschnitt abzulesenden Wasserspiegelhöhe der

Flutwelle. Bei ihm macht sich aber die Flächenvergrößerung  $\Delta F'$  durch das seitliche Quergefälle schon gleich bemerkbar. Es entsteht dann an der Staustelle der im Grundriß (Fig. 39) gezeichnete Abflußtrichter, für dessen Berechnung kein geeigneter Weg gefunden wurde. Es bleibt also vorläufig nichts anderes übrig, als die seitliche Querschnittzunahme von

Fig. 38. Querschnitt.

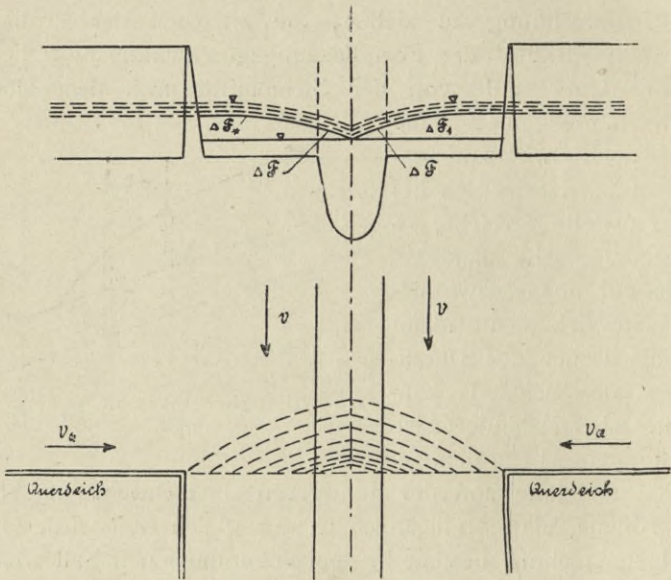


Fig. 39. Grundriß.

Fall zu Fall zu schätzen, wie das in den später folgenden Tabellenköpfen vorgeschlagen wird. Für die Abflußgeschwindigkeit im Flußschlauch kommt bis zu der dem Scheitel der Flutwelle entsprechenden Stauhöhe (siehe Fig. 40) die konstante Geschwindigkeit  $v_1$  in Betracht, die sich bei höherem Stau allmählich vergrößert. In den Deichvorlandsquerschnitten wirkt gleichfalls erst das  $v_2$  des Überschwemmungsgebietes, das bei wachsendem Stau zunimmt und bei sinkendem Stau

wieder abnimmt. Alle Wassergeschwindigkeiten lassen sich, sofern sie nicht durch die Form der Flutwelle konstant werden, nach den einfachen Ganguillet-Kutterschen Formeln ermitteln und werden zweckmäßig für die einzelnen Profile, Gefälle und Wasserstände graphisch aufgetragen, damit man sie bei der definitiven Stauermittelung gleich abgreifen kann.

Nun kann man an die Ermittlung der Wassermengen gehen, die im Überschwemmungsgebiet zurückbleiben, und die durch ihren Aufstau auf die Gestalt der Hochwasserwellen

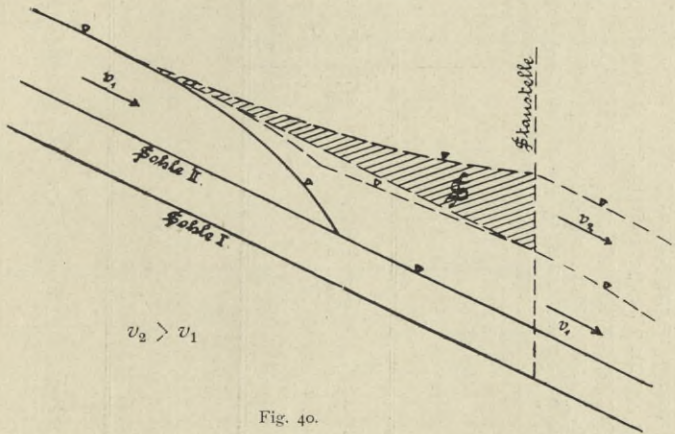


Fig. 40.

vor dem Deichquerschnitt und in dem Deichquerschnitt entscheidenden Einfluß haben. Die Differenz der Produkte der ankommenden Geschwindigkeiten mal zugehörigem Querschnitt mal Zeitintervall und der Produkte der abfließenden Geschwindigkeiten mal zugehörigem Querschnitt mal Zeitintervall ergibt immer die gesuchte Wassermenge:

$$Q_{\text{ank.}} - Q_{\text{abfl.}} = Q \text{ aufgestaut.}$$

Stauend wirken von der ganzen Breite des Überschwemmungsgebietes nur die seitlichen Teile, also  $B - b$  (Fig. 41). Die auf 1 m Breite entfallende Staumenge ergibt sich daher zu:

$$\frac{Q_{\text{ank.}} - Q_{\text{abfl.}}}{B - b} = P.$$

ankommende Wassermengen I				abfließende Wassermengen II																					
Nr.	Zeit <i>t</i> sec	Breite <i>B</i> m	Breite <i>b</i> m	<i>v</i> <sub>1</sub> m/sec	Weg I m	<i>F</i> <sub>1</sub> qm	<i>Q</i> <sub>1</sub> cbm	<i>v</i> <sub>2</sub> m/sec	Weg II m	<i>F</i> <sub>2</sub> qm	<i>Q</i> <sub>2</sub> cbm	<i>v</i> <sub>3</sub> m/sec	Weg III m	<i>F</i> <sub>3</sub> qm	<i>A F</i> <sub>3</sub> qm	<i>F</i> <sub>3</sub> + <i>A F</i> <sub>3</sub> qm	<i>Q</i> <sub>3</sub> cbm	<i>v</i> <sub>4</sub> m/sec	Weg IV m	<i>F</i> <sub>4</sub> qm	<i>A F</i> <sub>4</sub> qm	<i>F</i> <sub>4</sub> + <i>A F</i> <sub>4</sub> qm	<i>Q</i> <sub>4</sub> cbm		
1																									
2																									
3																									
4																									

Nr.	I	II												
	1	$\Sigma Q_1, Q_2$ cbm	$\Sigma Q_3, Q_4$ cbm	$\Sigma I - \Sigma II$ cbm	<i>B - b</i> m	<i>P</i> qm	$\Sigma P$ qm	tg <i>a</i> mittel	<i>x</i> m	<i>dx</i> m	$\Sigma dx$ m	$h = x + \Sigma dx$	<i>w</i> m	<i>dw</i> m
2														
3														
4														

In diesen Tabellen bedeutet:

- F*<sub>1</sub> = Flußschlauch + Wasserprisma im Überschwemmungsgebiet,
- F*<sub>2</sub> = zwei Wasserprismen über dem Überschwemmungsgebiet,
- F*<sub>3</sub> = Flußschlauch + Wasserprisma im Deichquerschnitt,
- F*<sub>4</sub> = zwei Wasserprismen über dem Deichvorland,
- v*<sub>1</sub>, *v*<sub>2</sub>, *v*<sub>3</sub>, *v*<sub>4</sub> sind die zugehörigen Wassergeschwindigkeiten und
- Q*<sub>1</sub>, *Q*<sub>2</sub>, *Q*<sub>3</sub>, *Q*<sub>4</sub> die zugehörigen Wassermengen.

Dieses  $P$  ist aber nichts anderes als der im Längenschnitt dargestellte Staukörper (Fig. 42). Nach  $t$ -Sekunden ist die Erhöhung des Stauspiegels:

$$\begin{aligned}
 h &= x + dx, \\
 dw &= v \cdot t, \quad dx = dw \cdot \operatorname{tg} \alpha, \\
 &= v \cdot t \cdot \operatorname{tg} \alpha. \\
 x &= \sqrt{2 P \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \\
 h &= \sqrt{2 P \cdot \operatorname{tg} \alpha} + v \cdot t \cdot \operatorname{tg} \alpha.
 \end{aligned}$$

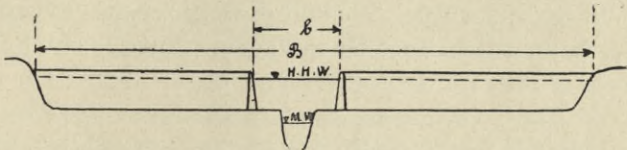


Fig. 41.

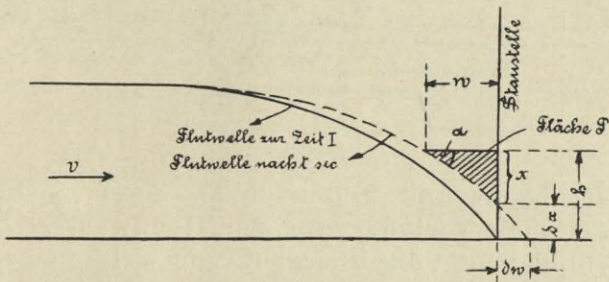


Fig. 42.

$\operatorname{tg} \alpha$  ist aus der Form der Flutwelle bekannt. Die Formel liefert etwas zu große Werte, da der Stauspiegel horizontal und infolgedessen  $\alpha$  immer etwas zu groß angenommen ist, ist aber für überschlägliche Berechnungen brauchbar. Hat man so die erforderlichen Werte ausgerechnet, so kann man den Stauvorgang in einer Tabelle, deren Kopf hier vorgeschlagen werden möge (siehe S. 44), zahlenmäßig darstellen.

Der Übergang von weiten zu engen Querschnitten ruft, wie sich aus dem bisher Gesagten leicht ermitteln läßt, einige

wesentliche neue Eigenschaften der Flutwellen hervor. Aus der Bedingung:

$$Q_{\text{ank.}} - Q_{\text{abfl.}} = Q \text{ aufgestaut}$$

folgt, daß während des Anstieges  $Q_{\text{ank.}} > Q_{\text{abfl.}}$  sein muß.

Das Maximum  $Q_{\text{abfl.}}$  tritt erst ein, nachdem  $Q_{\text{ank.}}$  schon eine Zeitlang gefallen ist.

1. Es findet also durch jeden Aufstau eine Verzögerung der Fortpflanzung des Flutwellenscheitels statt.

Wie der Staukörper  $S$  in Fig. 40 weiter zeigt, vergrößert jeder Stau die bei Hochwasser aufgespeicherten

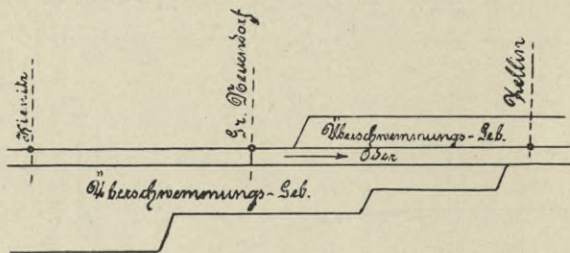


Fig. 43.

Wassermengen und bildet daher einen wichtigen Grund für die Verlängerung der Hochwasserwellen. Schließlich bringt der Übergang von weiten zu engen Querschnitten immer eine Hebung des Wasserspiegels, aber eine Verminderung der Maximalabflußmenge zuwege.

Als Beispiel solcher Wasserspiegelhebungen, die sich in den Fluthöhenvergrößerungen der Pegelablesungen zeigen, sollen hier die Zahlen der drei Pegelstationen der Oder Kienitz, Gr. Neuendorf und Zellin (Fig. 43) folgen:

Station	H.W.	H.W.	H.W.	H.W.	H.W.	H.W.	H.W.	H.W.	H.W.
	1886	1888	1889	1891	1893	1902	1903 Mai	1903 Juli	1909
Kienitz . . . . .	183	297	169	167	109	213	194	215	195
Gr. Neuendorf . . . . .	192	326	188	210	145	201	200	232	229
Zellin . . . . .	228	311	207	211	158	215	213	239	254

Die Verminderung der Maximalabflußmengen durch den Stauvorgang der Oder bei Zellin ist in Tafel 5 zur Darstellung gebracht. Ebenfalls ist in Tafel 5 die Verzögerung des Flutwellenscheitels der Hochwasserwelle von 1888 bei Zellin zeichnerisch veranschaulicht. Die Verzögerung beträgt hier 1 Tag. Auch sind die in das Niederungsgebiet Küstrin-Zellin ein- und ausfließenden Wassermengen der Hochwasserwelle von 1888 in Tafel 5 graphisch aufgetragen, so daß man ein klares Bild des veränderten Abflusses und der dadurch bedingten Verlängerung der Flutwelle erhält. Eine durch die Eigenart der Stauspiegelkurven bedingte Erscheinung ist hier noch zu erwähnen, nämlich die während des ganzen Verlaufes einer Flutwelle stattfindende Verringerung der Gefälle im Staugebiet. Als Beispiel folgen hier (siehe S. 48) die Zahlen der Hochwasserwelle Juli 1903 Gr. Neuendorf—Zellin.

Dieselbe Flutwelle, die zwischen Neu-Glietzen und Hohensaathen lauter Gefällvergrößerungen hervorruft, verursacht vor Zellin mit Ausnahme eines Tages lauter Gefällverringerungen.

Ist nun das vorhandene Gelände, wie das Odergebiet Küstrin-Zellin, sehr unregelmäßig, oder kommen stärkere Gefällbrüche vor, oder sind die Ein- und Ausflußprofile sehr unregelmäßig, so läßt sich der Einfluß des Überganges von weiten zu engen Querschnitten mittels der Wassermengenmethode noch ganz gut berechnen. Voraussetzung ist allerdings dabei, daß es sich um schon bestehende Verhältnisse handelt, nicht um Zustände, die durch Neuanlage von Deichen, Durchstichen, Koupierungen usw. erst geschaffen werden sollen.

Man ermittelt aus den Pegelständen die mittlere Hebung  $h$  des Wasserspiegels im Niederungsgebiet von Zeitintervall zu Zeitintervall, und erhält so, da die Breite  $b$  und Länge  $l$  des Überschwemmungsgebietes bekannt sind, in  $Q' = b \cdot h \cdot l$  den im Niederungsgebiet verbleibenden Wasserkörper und in  $Q' = \frac{b \cdot h \cdot t}{l}$  die verursachte sekundliche Verminderung des abfließenden Wassers, wenn das angenommene Zeitintervall

Datum	Pegelstand bei Gr. Neuendorf	Gefäll- veränderung in $\frac{1}{100000}$	
13. Juli	174	0	
14. "	177	— 0,227	
15. "	190	— 0,227	
16. "	201	— 0,454	
17. "	210	— 0,910	
18. "	220	— 0,682	
19. "	234	— 0,454	
20. "	284	— 0,454	
21. "	332	0	
22. "	374	— 0,910	
23. "	400	— 1,36	
24. "	406	— 1,59	
25. "	397	— 1,82	Scheitel
26. "	385	— 2,04	
27. "	378	— 1,82	
28. "	368	— 1,82	
29. "	357	— 2,27	
30. "	348	— 2,04	
31. "	338	— 2,27	
1. August	328	— 2,04	
2. "	320	— 2,50	
3. "	310	— 2,27	
4. "	298	— 2,27	
5. "	287	— 2,04	
6. "	274	— 1,82	
7. "	266	— 1,36	
8. "	262	— 1,36	
9. "	258	— 1,82	
10. "	252	— 1,82	
11. "	248	— 1,59	
12. "	248	— 1,82	
13. "	249	— 1,59	
14. "	248	— 1,59	
15. "	241	— 1,82	
16. "	232	— 2,27	
17. "	224	— 2,04	
18. "	219	— 1,82	
19. "	214	— 1,59	
20. "	211	— 1,36	
21. "	210	— 1,59	
22. "	205	— 1,59	

*t* Sekunden betrug. So kann man auch hier wieder, wie in Kapitel IV, die ganze, im Staubegebiet zurückbleibende Wassermenge berechnen. Es ist dazu also nur nötig, die ein-



fließenden Wassermengen und die Hebung der Wasserstände zu kennen. Die ausfließenden Wassermengen ergeben sich dann von selbst. Man kann nun zur Kontrolle am Ausflußprofil die Wassermengen noch einmal mit den Ganguillet-Kutterschen Formeln berechnen, die dasselbe ergeben müssen, weshalb an solchen Ausflußstellen die so wichtigen  $n$ -Werte eines Flusses ohne praktische Wassermengenmessungen ziemlich bequem gefunden werden können. Das Fallen der Flutwelle läßt sich auf diese Weise gleichfalls sehr gut verfolgen, da, wie leicht ersichtlich, die sekundliche Abflußmenge im Stauquerschnitt nun um  $Q_2' = \frac{b \cdot h \cdot l}{t}$  vermehrt wird.  $h$  bedeutet hier die mittlere Senkung des Wasserspiegels im angenommenen Zeitintervall.

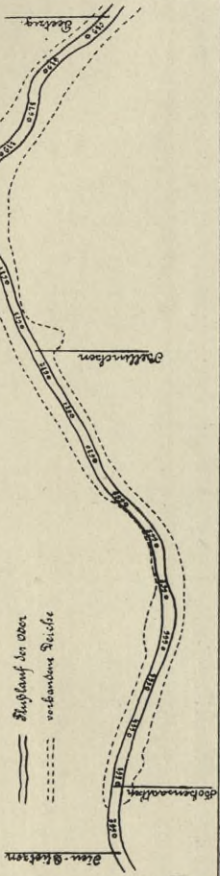
### Literatur.

1. Vorlesungen über Flußbau von Grantz, Charlottenburg. 1907 und 1908.
2. Lauterburg, Schweizerische Stromabflußmengen, Bern. 1876.
3. Cramer, Einfluß von Überschwemmungsflächen auf die Größe der Hochwassermengen. 1893. „Zentralblatt der Bauverwaltung.“
4. Flamant, Hydraulique, Paris. 1900.
5. Die Akten des Wasserbaubezirks Küstrin über die Oder.
6. Bazin, „Annales des Ponts et Chaussées“ 1897: Etude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts.

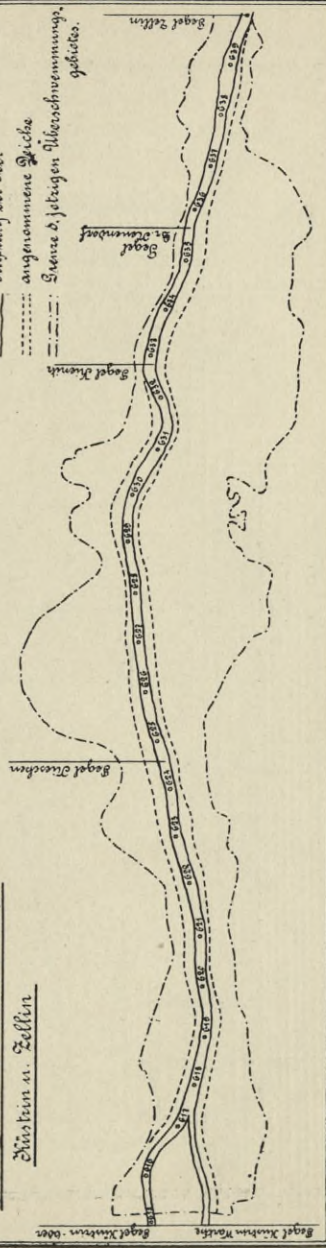
BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW



Übersichtskarte der Ober zwischen Dien-Sloten u. Beetzig -



Übersichtskarte der Ober zwischen  
Dünstein u. Zellen

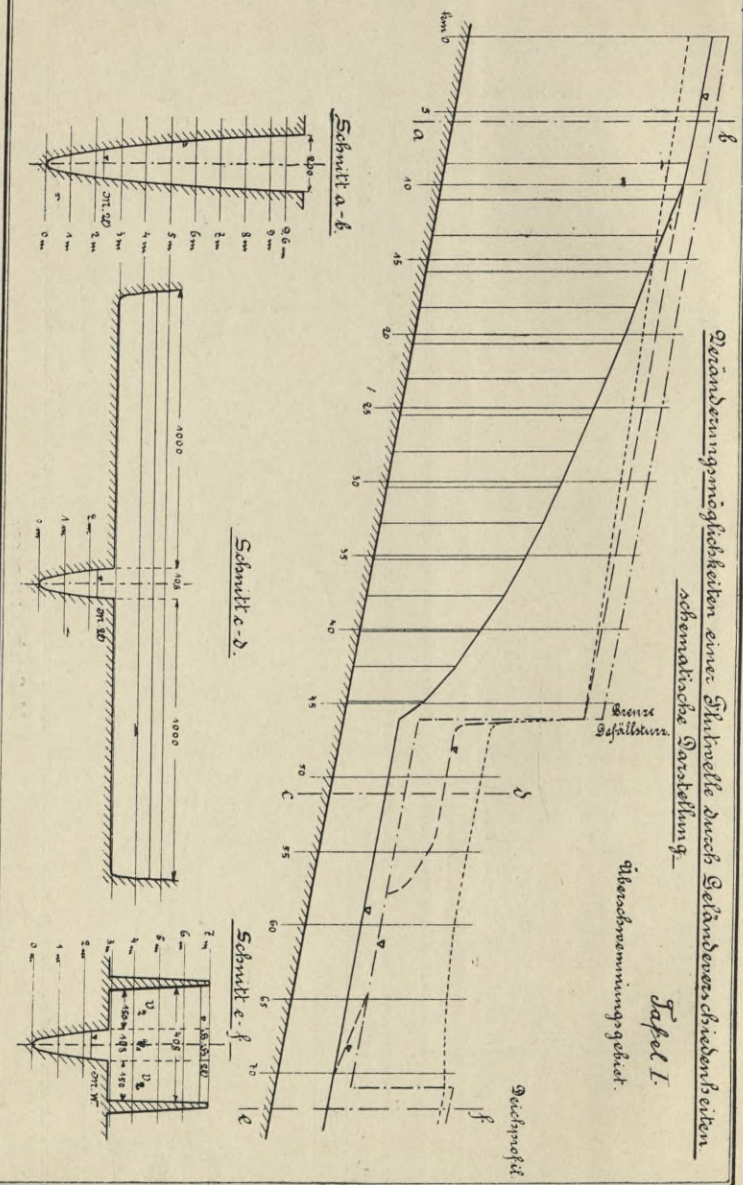


Veränderungsmöglichkeiten einer Flutrinne durch Geländeveränderarbeiten

Schematische Darstellung

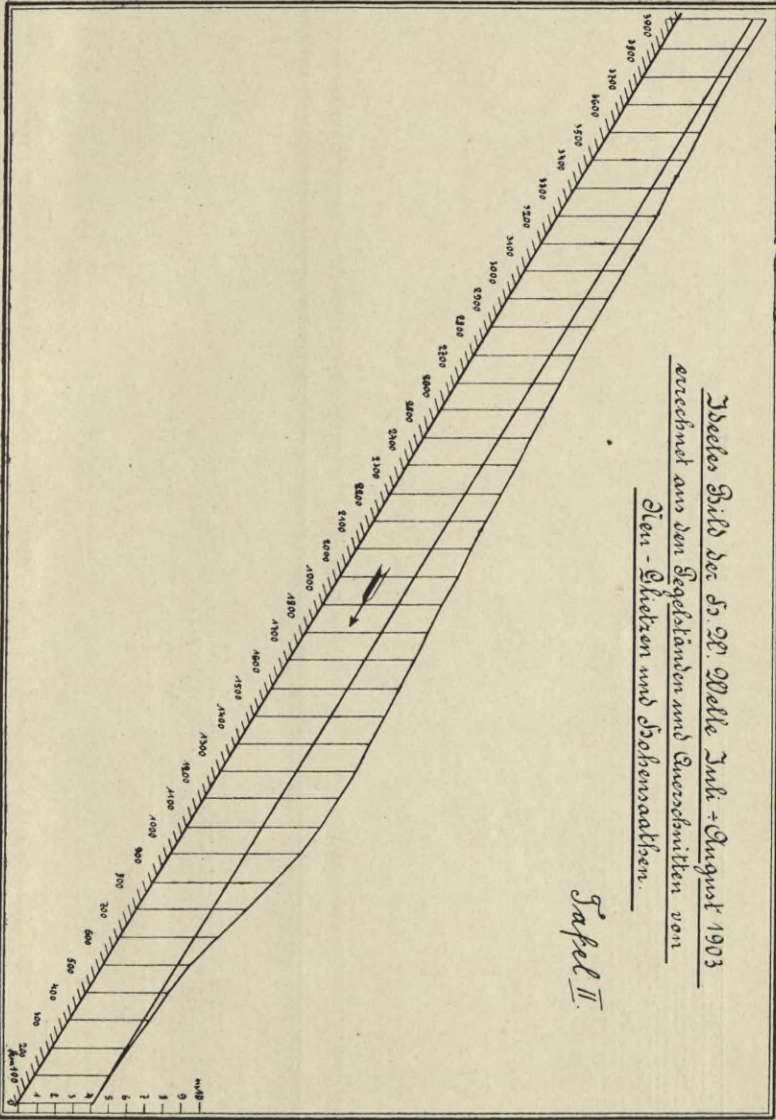
Altschneemündungsgebiet.

Tafel I.



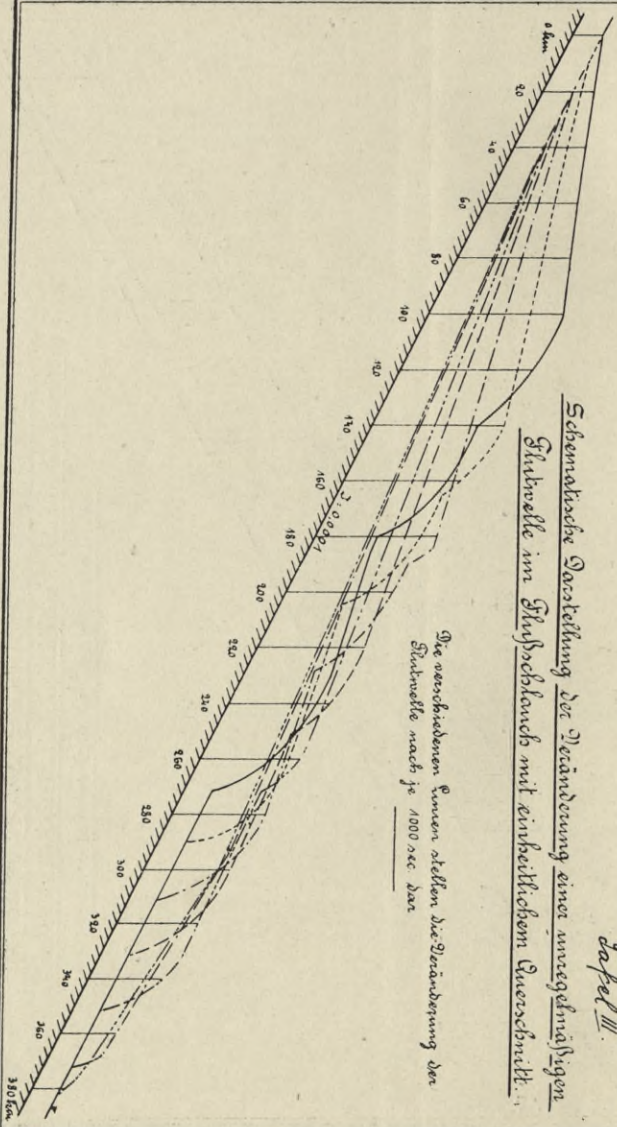
Abelers Bild der St. St. Quelle Juli + August 1903  
errechnet aus den Segeständen und Querschnitten von  
Sten - Schichten und Bohrerarbeiten.

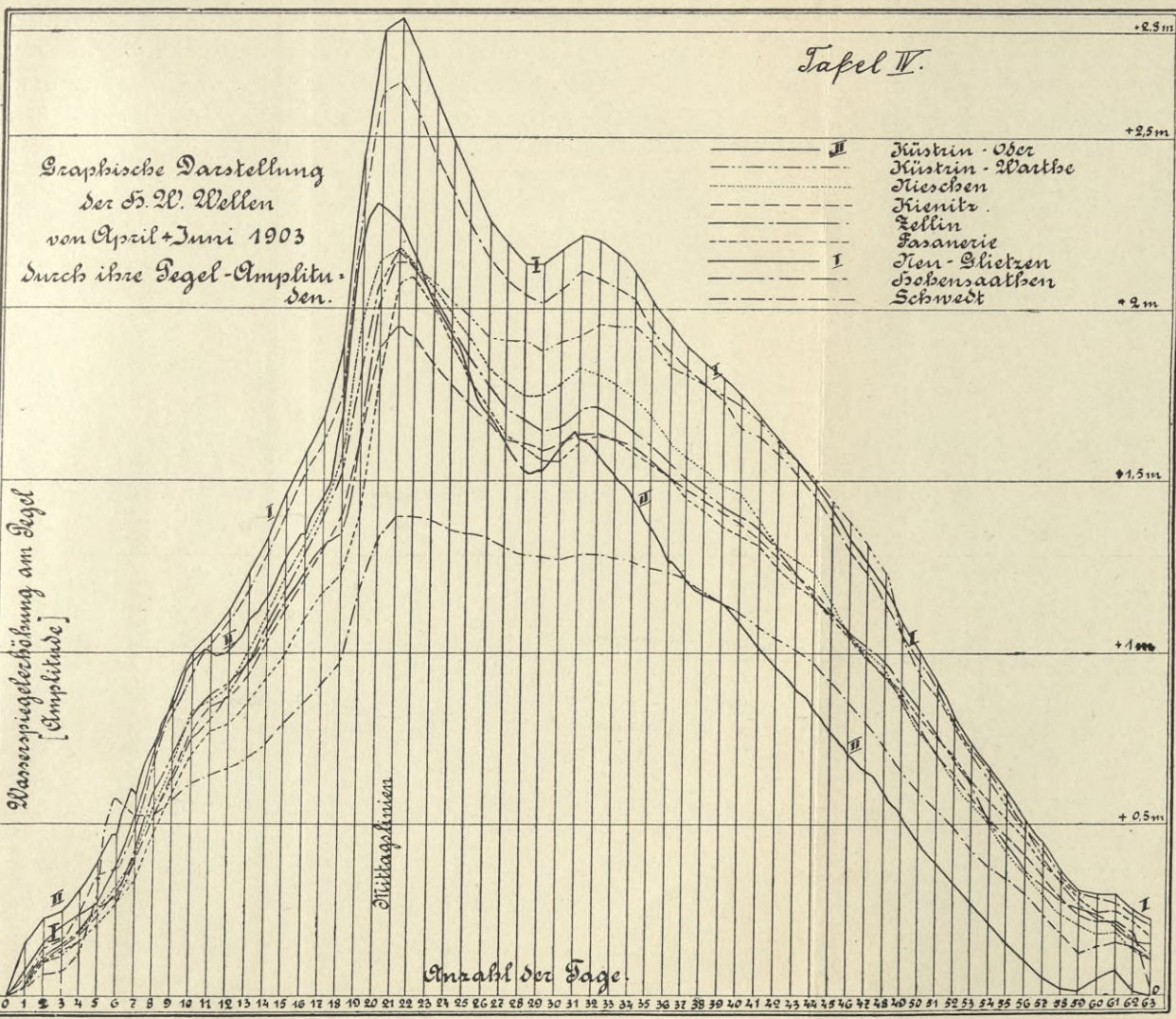
Tafel II.



Schematische Darstellung der Veränderung einer unregelmäßigen  
Stuhelle im Flussbelauch mit einheitlichem Querschnitt.

Die verschiedenen Linien stellen die Veränderung der  
 Stuhelle nach je 1000 sec dar





Tafel V.

Graphische Darstellung  
der H. W. Wellen  
von April + Juni 1903  
durch ihre Pegel-Amplitu-  
den.

- II Küstlin-Ober
- Küstlin-Wartbe
- ..... Fieschen
- Fienitz
- Zellin
- Fasanerie
- I Fien-Stietzen
- Sobersaathen
- Schwedt

Wasserspiegelhöhe am Pegel  
[Amplitude]

Anzahl der Tage.

Mittagsankommen

+2.5m

+2.5m

+2m

+1.5m

+1.0m

+0.5m

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

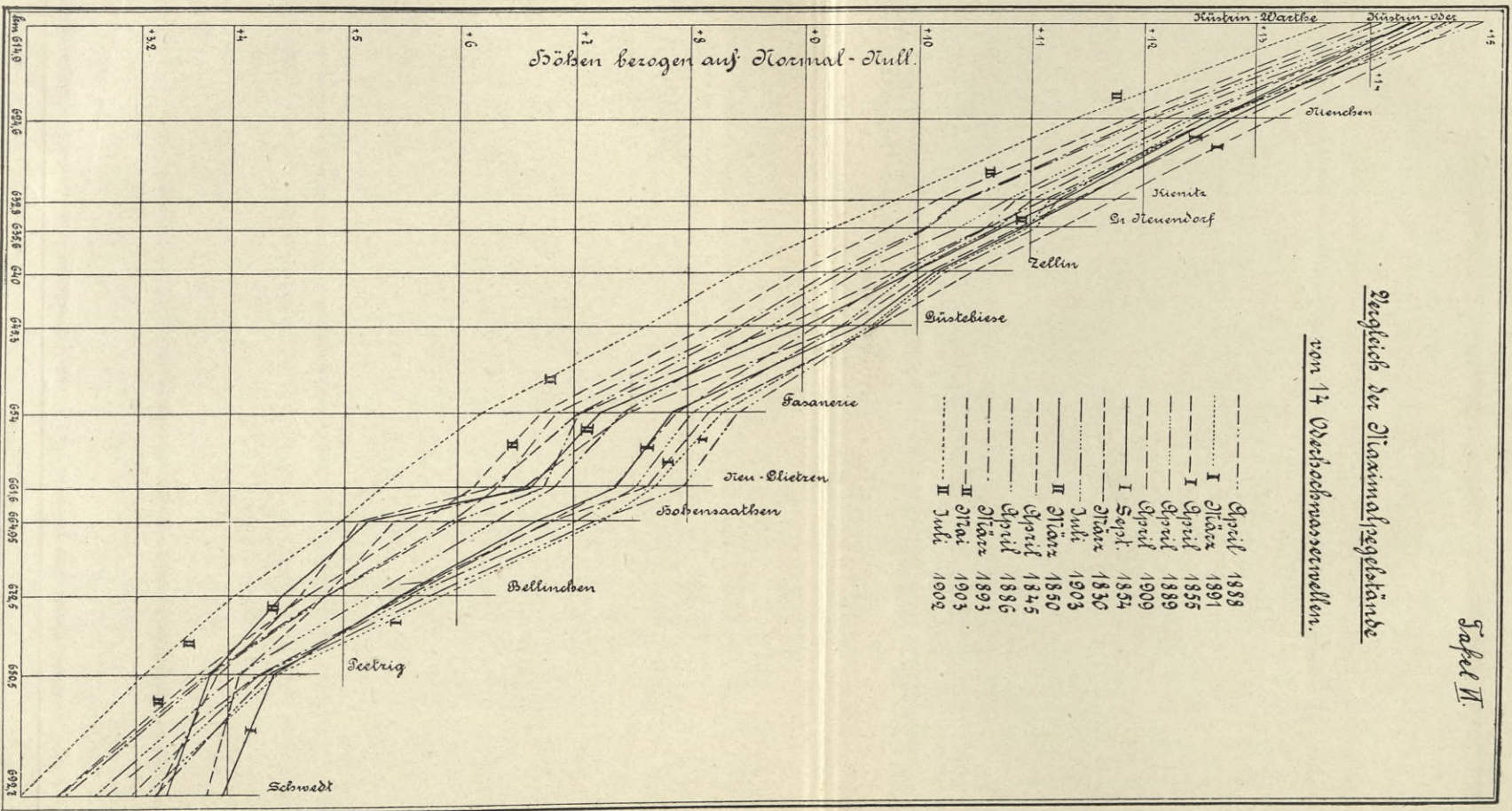








Vergleich der Maximalpegelstände  
von 14 Beobachterserennen.



S. 61

— 100 —





WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

31143

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300023