

Alfred Loebell

25

IX. INTERNATIONALER SCHIFFFAHRTS-CONGRESS.  
DÜSSELDORF — 1902.

---

I. Abtheilung.  
15. Mittheilung.

---

Die Bewegung des Wassers  
in den Strömen.

---

Mittheilung

von

**Julius Greve,**  
Königlicher Baurath in Cassel.

---

Münster i. W.

Buchdruckerei von Johannes Bredt.  
1902.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316132

III 17.685



III 207103

# Die Bewegung des Wassers in den Strömen vom Niedrigwasser bis zum höchsten Hochwasser.

Graphische Darstellung und Untersuchung der  
Querschnitte und Geschwindigkeiten.

## Mittheilung

von

**Julius Greve,**

Königlicher Baurath in Cassel.

### Vorbemerkung.

Die Untersuchungen über die Bewegung des Wassers in den Strömen beruhen, so weit unmittelbare Messungen nicht vorliegen, auf der Vorstellung, dass die Geschwindigkeit des Wassers in einem gesetzmässigen Zusammenhange stehe mit dem Gefälle des Wasserspiegels. Die Grundform des Ausdrucks für die Geschwindigkeit lautet:

$$v = c \sqrt{R J.}$$

Die Berechnung der Geschwindigkeit auf diesem Wege leidet an der ausserordentlichen Schwierigkeit, das Spiegelgefälle  $J$  eines natürlichen Wasserlaufes, welches auf jede Längeneinheit und bei jedem Wasserstande wechselt, richtig zu bestimmen oder näherungsweise abzuschätzen.

Die folgende Abhandlung verlässt diesen Weg.

Es soll versucht werden, ohne jede Annahme oder Voraussetzung, die Vorstellung von der Bewegung des Wassers lediglich aus unmittelbaren Beobachtungen herzuleiten. Bei der Entwicklung wird alles vermieden, was die Genauigkeit, die Klarheit und die Verständlichkeit beeinträchtigen könnte. Am sichersten vermeidet man Irrthümer und Willkür, wenn man den Berechnungen die bildliche Darstellung der Ergebnisse der Beobachtungen an die Seite stellt. Dadurch gewinnt man selbst einen Ueberblick und man schafft für jeden die Möglichkeit, dem Gange der Entwicklung leicht zu folgen und zu beurtheilen, ob die Schlüsse, welche gezogen werden, zutreffend sind. Man erkennt auf diese Weise gleichartige und ungleichartige Vorgänge; gesetzmässige

Erscheinungen treten hervor. Man gewinnt durch Anschauung die Ueberzeugung, dass in allen regelmässigen Flusstrecken der Bewegung des Wassers ein bestimmtes Gesetz zu Grunde liegt. Zeigt eine Reihe von Beobachtungen ein abweichendes Verhalten, so entsteht die Frage nach der Ursache. Alle Abweichungen von dem Grundgesetze werden nicht auf unbekannte innere Bewegungen des Wassers oder auf die Einwirkung des schwer messbaren Spiegelgefälles, sondern auf örtliche Einwirkungen, auf bestimmte, genau messbare Unregelmässigkeiten des Flussbettes, also auf Ursachen in der festen Umgrenzung des Wasserkörpers zurückgeführt. Das Gesetz wird aus dem Verhalten des flüssigen Inhalts in einem regelmässigen Gerinne lediglich durch Zusammenstellung von Beobachtungsergebnissen hergeleitet; für jede Abweichung wird eine Unregelmässigkeit des Gerinnes als Ursache nachgewiesen.

Auf den Zeichnungen sind die Grenzen der Beobachtung nach unten und nach oben angegeben. Innerhalb der Grenzen der Beobachtung herrscht die Gewissheit; darüber hinaus beginnt die Vermuthung. Die Gründe, welche für die Wahrscheinlichkeit der Vermuthungen sprechen, werden vorgeführt.

Bei der ausserordentlichen Verschiedenartigkeit der Erscheinungen in der Bewegung des Wassers lässt sich ein bestimmtes Urtheil nur durch eine sehr grosse Zahl von planmässigen Beobachtungen, namentlich auch bei höheren Wasserständen, gewinnen.

Der 1. Theil handelt von den grundlegenden Beobachtungen. Zunächst wird die Beobachtungsweise durch Herleitung aus 31 Flügelmessungen begründet. Dieser Theil ist entnommen aus einer aus dem Anfang des Jahres 1889 stammenden, bisher noch nicht veröffentlichten, Abhandlung. Dann wird die Zahl der Beobachtungen angegeben und die Ausführung derselben beschrieben. Es wird mitgetheilt, dass der Untersuchung im Ganzen 5700 Schwimmerbeobachtungen und 72 Flügelmessungen zu Grunde gelegt wurden.

Der 2. Theil handelt von den Ergebnissen der Beobachtungen, von ihrer Darstellung, Untersuchung, Ordnung und Verwerthung.

Es wird zunächst die graphische Behandlung der Querschnitte durch Vorführung der Querschnittslinien gezeigt. Die verschiedenen Formen, der einfache Querschnitt und die zusammengesetzten, werden besprochen. Dann wird die Oberflächengeschwindigkeit in gleichmässigen Stromstrecken behandelt. Die Geschwindigkeitslinien werden erläutert. Der Leser wird hierdurch mit dem Gange der Untersuchung vertraut gemacht. Es folgt die Erforschung der Beziehung zwischen der Oberflächengeschwindigkeit und der mittleren Geschwindigkeit. Das Grundgesetz der Bewegung des Wassers wird abgeleitet. Dann wird der Verlauf der Geschwindigkeitslinien in unregelmässigen Stromstrecken behandelt. Die Einwirkungen der Unregelmässigkeiten des



von dem Verfasser versucht, auf Grund dieser sehr guten Messungen ein Gesetz aufzustellen, mit dem sich die Wassermengen auch bei höheren Pegelständen durch eine sehr vereinfachte Messung ermitteln lassen.

Die übliche Bestimmung der Geschwindigkeit an zahlreichen Punkten des Querschnittes mittelst Woltman'schen Flügels ist bei hohem Wasser mit sehr grossen Schwierigkeiten verknüpft. Die starke Strömung, das abtreibende Buschwerk, Schilf und Gräser, die grosse Breite des Flusses, die in der Regel sehr ungünstige Witterung, die grosse Wassertiefe sind an sich schon schwer zu überwindende Hindernisse. Dazu kommt, dass solche Anschwellungen sehr rasch eintreten und ebenso rasch wieder ablaufen, so dass für eine umständliche Messung nicht genügend Zeit bleibt. Man wird deshalb um so eher Erfolge erzielen, je mehr man das Verfahren der Messung vereinfacht.

Es wurde zunächst versucht, eine bestimmte Beziehung zu finden zwischen der in einer Senkrechten in der Mitte des Stromes vorhandenen mittleren Geschwindigkeit und der des ganzen Querschnittes. Es hätte dann auf Grund einer einzigen Messung in der Mitte des Stromes die Wassermenge bestimmt werden können. Sämmtliche Messungen zeigten wohl eine gewisse Gleichmässigkeit in dem Verhalten dieser beiden Geschwindigkeiten, doch gelang es nicht, ein festes Gesetz dafür zu finden.

Bei dieser Untersuchung ergab sich aber ein auffallend gleichmässiges Verhalten der Oberflächengeschwindigkeit in der Mitte des Flusses  $v_{0f}$  zu der mittleren Geschwindigkeit  $v$  im ganzen Querschnitte.

Mit  $v_{0f}$  wird hier diejenige Geschwindigkeit bezeichnet, welche in der Mitte des Stromes 15—20 cm unter der Oberfläche mit dem Flügel gemessen wurde.

Sämmtliche Messungen zeigten, dass  $v_{0f}$  in einem fast konstanten Verhältnisse zu  $v$  steht, dass man

$$v = a \cdot v_{0f}$$

setzen kann. Zur Ermittlung des Werthes von  $a$  konnten von den oben erwähnten 31 Messungen nur 18 gebraucht werden, die übrigen waren nach dem »Integrations-Verfahren« ausgeführt, welches die Oberflächengeschwindigkeit nicht erkennen lässt. Die 18 Messungen von Schmidt schienen aber nicht genügend, um einen brauchbaren Werth von  $a$  zu ermitteln, es wurden deshalb noch weitere Arbeiten hinzugezogen und zwar 6 Messungen in der Oder oberhalb Breslau und 7 Messungen in der Weser bei Rinteln.

Auf Grund der bei diesen 31 Messungen gefundenen Werthe für  $v$  und  $v_{0f}$  wurde nach der Methode der kleinsten Quadrate der wahrscheinlichste Werth von  $a$  gesucht. Die Gleichung  $v = a \cdot v_{0f}$  entspricht einer geraden Linie, welche durch den Anfangspunkt der

Koordinaten geht. Wir schreiben dieselben in der Form  $y = a x$ . Die Abscissen mögen die gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten, die Ordinaten die berechneten mittleren Geschwindigkeiten bilden. Der wahrscheinlichste Werth von  $a$  ergibt sich dann aus der Gleichung

$$a = \frac{\sum x y}{\sum x x} = 0,777$$

$$\begin{aligned} \text{Es ist demnach } v &= 0,777 \cdot v_{o \text{ f}} \\ \text{und } Q &= F \cdot 0,777 \cdot v_{o \text{ f}} \end{aligned}$$

Nach dieser Formel wurden die Werthe für  $Q$  ermittelt.

Besonders bemerkenswerth war die Uebereinstimmung zwischen Messung und Rechnung bei höheren Wasserständen.

Um den Werth der Formel

$$v = 0,777 \cdot v_{o \text{ f}}$$

zu untersuchen, wurde dieselbe mit bekannten Gesetzen verglichen. Schmidt hatte bereits bei seinen 31 Messungen nachgewiesen, dass dieselben keine Uebereinstimmung mit der Formel von Ganguillet und Kutter zeigen. Dieses Verhalten der Messungen zu der vielverwandten Formel wird erklärlich durch die Schwierigkeiten, mit denen die genaue Ermittlung des Gefälles an der Messtelle verbunden ist. Nach diesem Vorgange musste, da für die übrigen Messungen die Angabe des Gefälles zum Theil fehlte, auf einen Vergleich des obigen Gesetzes mit der Formel von Ganguillet und Kutter und der von Hagen verzichtet werden. Dagegen wurden die Vergleiche mit den Formeln von Prony und Bazin durchgeführt. Beide benützen die grösste Oberflächengeschwindigkeit im Querschnitt zur Ermittlung von  $v$ . Sie setzen demnach umständlichere Bestimmungen voraus, da die Lage von  $v_{o \text{ max}}$  erst durch eine Anzahl von Messungen ermittelt werden muss.

Die Formel von Prony

$$\frac{v}{v_{o \text{ max}}} = \frac{v_{o \text{ max}} + 2,372}{v_{o \text{ max}} + 3,153}$$

ergab von den Messungen ganz abweichende Werthe für  $v$ , dagegen zeigte die Formel von Bazin

$$\frac{v}{v_{o \text{ max}}} = \frac{1}{1 + 14 \sqrt{\frac{\alpha + \beta}{R}}}$$

unter Einsetzung entsprechender Koeffizienten bessere Uebereinstimmung. Zum Vergleich der Güte der beiden Formeln dient die Summe der Fehlerquadrate. Dieselbe ist bei der oben berechneten Formel wesentlich kleiner als bei der von Bazin. Die beiden Summen verhalten sich wie 4 : 9.

Bei den hier für die Bestimmung des Koeffizienten benutzten Messungen blieb  $v$  innerhalb der Grenzen von 0,45 — 1,13 m.

## B. Zahl und Ausführung der Beobachtungen.

Der Untersuchung der Bewegung des Wassers werden folgende Beobachtungen zu Grunde gelegt:

1. 14 Schwimmermessungen an der Fulda. Anfang 1900.
2. 548 Schwimmermessungen an der Weser und ihren Zuflüssen bis Herstelle 1900—1901.
3. 8 Schwimmermessungen an der Weser unterhalb Münden. Januar 1902.
4. 31 Flügelmessungen an verschiedenen Strömen (siehe oben).
5. 8 Flügelmessungen an der Weser unterhalb Münden 1878 bis 1888.
6. 3 Flügelmessungen an der Fulda bei Bonafort 1879.
7. 7 Flügelmessungen an der Fulda bei Münden 1900.
8. 2 Flügelmessungen an der Werra bei Hedemünden 1879.
9. 21 Flügelmessungen an der Weser oberhalb der Diemel-mündung 1900—1901 in Verbindung mit den Messungen zu 2.

Demnach im Ganzen 72 Flügelmessungen und 570 Schwimmermessungen. Da bei jeder Schwimmermessung die Geschwindigkeit des Wassers 10 mal gemessen wurde, so ergaben sich 5700 Schwimmerbeobachtungen. Die Messungen an der Weser und ihren Zuflüssen bis Herstelle, welche hauptsächlich benutzt wurden, sollen ausführlich beschrieben werden.

Die Weser entsteht durch das Zusammenfließen der Fulda und Werra bei Münden. Während die letztere keinen Nebenfluss von erheblicher Bedeutung besitzt, strömt der Fulda oberhalb Guntershausen die wasserreiche Eder zu; diese nimmt wieder nahe oberhalb ihrer Mündung die Schwalm auf. Aus dem der Eder benachbarten Niederschlagsgebiet strömt der Weser bei Karlshafen die Diemel zu.

Die Niederschlagsgebiete der einzelnen Quellflüsse und der Weser bis Herstelle sind auf Blatt 4 dargestellt.

Für die Ausführung der Messungen standen folgende Beamte zur Verfügung; für die obere Fulda und Werra je ein Strommeister, für die kanalisierte Fulda und die Weser oberhalb und unterhalb Karlshafen je ein Wasserbauwart. Für die übrigen Stromstrecken mussten Vorarbeiter zu den Messungen verwendet werden. Da keiner von den hier in Frage kommenden Beamten die nothwendige Erfahrung und Uebung in der Ausführung von Flügelmessungen besass, mussten sämtliche Geschwindigkeitsmessungen mit Schwimmern ausgeführt werden. Bei der Leitung der Arbeiten wurde stets danach getrachtet, die dieser einfachen Untersuchungsweise anhaftenden Ungenauigkeiten und Fehler durch möglichste Sorgfalt bei der Ausführung zu vermindern. Die Auswahl und Einrichtung der Messtellen besorgte der Wasserbauwart Kujas. Die Beaufsichtigung der Messungen, die Berechnungen der

Querschnitte und der Wassermengen und die Ausführung der Nivellements übernahm der Ingenieur Dr. Walter.

Anfangs April 1900 wurde mit der Auswahl und Einrichtung der Messtellen begonnen. Für die Auswahl war Folgendes maassgebend: Die Messtelle soll in einer geraden normalen Flusstrecke mit gleichmässigem Gefälle liegen. Die Ufer sollen hoch und geböschet sein. Die Länge der Beobachtungstrecke soll 100 m betragen. Der Stromschlauch soll innerhalb der Messtrecke muldenförmig gestaltet sein. Die Querschnitte müssen schon bei N. W. ziemlich gross sein. Ihr Flächeninhalt soll auf der ganzen Messtrecke möglichst gleich gross sein. Stromstellen, welche von Stauwirkungen irgend eines besonderen Hindernisses berührt werden, sind möglichst zu vermeiden.

Es wurden zunächst 8 Messtellen ausgewählt und zwar:

An der Fulda	oberhalb der Edermündung,
„ „ Schwalm	„ „ Mündung,
„ „ Eder	„ „ Schwalmmundung
„ „ Eder unterhalb	„ „
„ „ Fulda	„ „ Edermündung,
„ „ Werra	„ Hedemünden,
„ „ Diemel	„ Helmarshausen,
„ „ Weser	„ der Diemelmündung.

Die Lage der Messtellen ist auf Blatt 4 angedeutet.

An der Fulda und an der Eder war die Wahl so getroffen, dass die Summe der Wassermengen von den beiden oberhalb gelegenen Messtellen die Wassermenge der unterhalb gelegenen ergeben musste. An jeder Messtelle wurden 6 Querschnitte in Entfernungen von je 20 m durch die in Bordhöhe eingeschlagenen Pfähle A B bezeichnet. Sämtliche Punkte A B wurden in gleiche Höhe gelegt. Die Querschnitte wurden durch Peilstiche in 2 m Entfernung und durch sorgfältige Messung über Wasser bis zur Bordhöhe A B aufgenommen. 30 m oberhalb der Messtrecke wurde durch Pfähle die Stelle bezeichnet, wo die Peilleine ausgespannt werden sollte zur Einmessung der Strommitte und zur Festlegung des Nachens, von dem die Schwimmer ausgesetzt werden sollten. Die Ausführung der Schwimmermessungen erfolgte nach folgender Vorschrift.

Nach Ankunft des Beobachters an der Messtelle wird zunächst an sämtlichen 12 Punkten A u. B mit Hülfe eines Nivellirinstrumente oder einer Wasserwaage die Tiefe des Wasserstandes unter den Punkten A B festgestellt. Zur Erleichterung der Messungen mit der Wasserwaage sind 1,2, 3 m unter den Punkten A B Hülfspfähle zu schlagen, von denen aus direkt Stichmaass auf den Wasserspiegel genommen werden kann. Dann wird an der bezeichneten Stelle 30 m oberhalb der Messtrecke die Peilleine über den Strom gespannt. Die Mitte des Wasserspiegels wird an der Leine gesucht und durch Um-

binden mit einem Bande bezeichnet. Ein Meter seitlich von dem Bande wird der leichte Nachen an der Leine vorn und hinten derart befestigt, dass er etwas schräg zum Strome geneigt steht, so dass er das Abtreiben des Schwimmers möglichst wenig beeinflusst.

Als Schwimmer dienen Rothweinflaschen, welche so weit mit Sand zu füllen sind, dass beim Schwimmen nur der Hals aus dem Wasser hervorragt. Bei besonders trübem Wetter ist ein Stück weisses Papier fest um den Hals zu wickeln.

Die Oberflächengeschwindigkeit in der Strommitte wird in folgender Weise beobachtet: Es werden am Anfang und Ende der Messtrecken an einem Ufer je 2 Baken rechtwinkelig zum Strom aufgestellt. Der Beobachter stellt sich an die oberen Baken und giebt dann dem Mann im Nachen ein Zeichen zum Einsetzen des Schwimmers. Der Mann setzt mit ausgestrecktem Arm genau in der durch das Band an der Peilleine bezeichneten Strommitte die Flasche ruhig in das Wasser. Der Beobachter hält den Schwimmer im Auge und stellt genau den Zeitpunkt fest, in dem derselbe die obere Bakenlinie passirt, dann begiebt er sich an die unteren Baken und verzeichnet hier den Moment des Durchganges. Die Zeit, in welcher die Schwimmer die 100 m lange Messtrecke zurücklegen, ist 10 mal hintereinander zu beobachten. Die Anschreibung findet nach Sekunden statt. Bei grosser Stromgeschwindigkeit ist ein zweiter Beobachter nothwendig, welcher an den unteren Baken den Durchgang des Schwimmers beobachtet. Dieser giebt dann dem oberen Beobachter ein Zeichen, indem er plötzlich den erhobenen Arm fallen lässt. Anfangs erfolgten die Zeitbeobachtungen an den Sekundenzeigern der Taschenuhren. Zur Erzielung grösserer Genauigkeit wurden vom 28. Juni ab zu diesem Zweck Chronographen benutzt, welche bei einem Druck aus der Nullstellung in Gang kommen, bei dem zweiten Druck anhalten, so dass man die Zeit ablesen kann und dann beim dritten Druck wieder auf Null zurückspringen. An diesen Zeitmessern wurde die Zeit bis auf  $\frac{1}{5}$  Sekunde abgelesen. Sie bieten den Vortheil, dass man das Zifferblatt nicht zu beobachten braucht; es kann sich die Aufmerksamkeit lediglich auf den Schwimmer richten. Aus den 10 Beobachtungen wird das Mittel gezogen. Dieses in die Länge der Messtrecke  $= 100$  dividirt, giebt die Oberflächengeschwindigkeit in Strommitte  $= v_0$ . Die nächsten Pegel oberhalb und unterhalb der Messtrecke sind am Tage der Messung 2 stündlich von 6 Uhr morgens bis 6 Uhr abends zu beobachten und die Ablesungen aufzuschreiben. Stets wurde an sämtlichen Messtellen zu gleicher Zeit, in der Regel um 10 Uhr vormittags gemessen. Damit die Beamten sich auf die Arbeit einrichten konnten und in ihren übrigen Arbeiten möglichst wenig gestört wurden, wurde angeordnet, dass vom 8. Juni ab bis zum Eintritt höherer Wasserstände regelmässig jeden Freitag vormittags 10 Uhr an sämtlichen Messtellen eine Messung auszu-

führen sei. Neben der Erweiterung der Kenntnisse über den Abflussvorgang in den Strömen im Sommer boten diese häufigen Messungen den Vortheil, dass die Beamten und Arbeiter gut eingeübt wurden und ständig in der Uebung blieben. Bei der Auswahl der Messtellen musste zunächst auf die Wahl einer solchen innerhalb der 28 km langen unteren kanalisirten Strecke der Fulda verzichtet werden, weil auf dieser Strecke in Folge des unregelmässigen Ganges der Turbinenwerke bei Cassel und der Bedienung der Nadelwehre fortwährend erhebliche Schwankungen im Wasserabfluss herrschten. Auf Grund der bei den Messungen gewonnenen Erfahrungen gelang es im August 1900, eine zweckmässigere Regelungsweise des Wasserabflusses mit Hülfe der Nadelwehre zu finden. Hierdurch wurde erreicht, dass unterhalb des letzten Nadelwehres bei Bonafort der Wasserabfluss ein fast ganz gleichmässiger wurde. Nachdem diese günstige Aenderung eine Zeit lang durch Beobachtungen und durch die Aufzeichnungen des selbstthätigen Pegels im Oberwasser der Schleuse zu Münden festgestellt war, wurde Anfangs Oktober unterhalb Bonafort km 25,550 bis 25,650 eine Messtelle eingerichtet. Diese Messtelle liegt im Stauwasser der unterhalb gelegenen festen Wehre bei Münden. Hier begannen die Messungen am 5. Oktober 1900. Eine weitere Messtelle wurde an der Weser oberhalb der Diemelmündung km 42,330 bis 42,430 eingerichtet. Hier befindet sich bei km 42,400 eine Flügelmesstelle. Es konnten somit die Ergebnisse der Flügel- und Schwimmermessungen unmittelbar mit einander verglichen werden. Durch Zusammenzählen der Wassermengen von der Weser oberhalb der Diemel und der Diemel und Vergleich mit den unterhalb der Diemel in der Weser gemessenen war die Möglichkeit der Prüfung gegeben. An den Messtellen an der Fulda unterhalb Bonafort und an der Weser oberhalb der Diemelmündung wurde vom 5. October ab zunächst ebenso wie an allen übrigen jeden Freitag um 10 Uhr vormittags gemessen. Da aber gerade die Messungen an diesen beiden Punkten besonders wichtig schienen, wurde, um noch vor Eintritt des Winters eine möglichst grosse Zahl von Beobachtungen zu erhalten, an diesen beiden Stellen wöchentlich 2 mal gemessen.

Während des ganzen Sommers und auch in den ersten Herbstmonaten dauerte der niedrige Wasserstand in allen Strömen an. Erst Ende November begann ein langsames Steigen des Wassers. Anfangs Dezember traten dann zum erstenmal seit Einrichtung der Messtellen höhere Wasserstände ein. Während der Dauer dieser Anschwellung wurde an allen Messtellen an jedem 2. Tage gemessen. Besondere Schwierigkeiten traten bei diesen Arbeiten nicht hervor. Nur an der Messtelle unterhalb Bonafort machte es bei einer Oberflächengeschwindigkeit von 2,70 m in Strommitte Schwierigkeiten die Leine über den 80 m breiten Strom zu bringen. An der Messtelle an der Weser oberhalb der Diemelmündung fanden von Anfang Dezember ab

an jedem Tage ein oder zwei Flügel- und Schwimmermessungen statt. Die Schwimmermessung wurde in der Mitte der Zeit der Flügelmessung vorgenommen. Diese Vergleichsmessungen dauerten vom 4. bis 11. Dezember. Sie begannen bei ganz ruhigem Wasser und umfassten die Anschwellung des Stromes bis zum theilweisen Ablauf der Welle. An den Messtellen an der Fulda bei Melsungen an der Eder und Schwalm nahe bei dem Zusammenfluss derselben erreichte das Hochwasser die Bordhöhe. Für Messungen bei höheren Wasserständen waren diese Stellen ungeeignet wegen der weiten Ausuferungen. Bei Hochwasser wird die ganze weite Niederung überfluthet. Für die Ermittlung der Hochwassermengen dieser Ströme mussten daher neue Messtellen gesucht werden, an denen das Wasser durch hohe Ufer zusammen gehalten wird. An der Fulda und Schwalm erschien es zweckmässig, diese Messtellen in möglichster Nähe der Hauptpegel, welche ständig beobachtet werden, nämlich Rotenburg und Treysa zu suchen. Vorläufig kam es aber nicht zu der Wahl dieser neuen Arbeitsstellen. In der Sylvesternacht setzte plötzlich ein sehr strenger Frost ein. Die Ströme bedeckten sich mit Grundeis und auf den meisten bildete sich bald eine feste Eisdecke. Damit fand der erste Theil dieser Untersuchungen seinen Abschluss. Die Zahl der Messungen von Mitte April bis Ende Dezember 1900 ergibt sich aus der folgenden Tabelle.

Messungen im Jahre 1900:

Messtelle an der		Zahl der Messun- gen.	Bemerkungen.
Fulda	oberhalb der Edermündung . . . .	37	Ausserdem 18 Flügelmessungen.
Schwalm	„ „ Mündung . . . . .	36	
Eder	„ „ Schwalmmündung . .	37	
Eder	unterhalb der „ . . . .	36	
Fulda	„ „ Edermündung . . . .	39	
Fulda	„ Bonafort . . . . .	27	
Werra	„ Hedemünden . . . . .	39	
Weser	oberhalb der Diemelmündung . . . .	26	
Diemel	unterhalb Helmarshausen . . . . .	45	
Weser	„ der Diemelmündung . . . .	40	
Summe		362	

Der mit dem Jahreswechsel eingetretene strenge Frost dauerte fast den ganzen Monat Januar an. Derselbe war von aussergewöhnlich starken Schneefällen begleitet. Das ganze Quellgebiet der Weser bedeckte sich mit einer Schneedecke von 30—50 cm Stärke. Bei plötzlichem Umschlag der Witterung stand schwerer Eisgang und ein starkes Hochwasser in allen Strömen zu erwarten. Hierzu mussten noch einige

Vorbereitungen an den Messtellen getroffen werden. Es war zu erwarten, dass das Hochwasser die Bordhöhe der Ströme erheblich überschreiten würde. Die Pfähle A und B an den Messtellen mussten demnach unter Wasser kommen. Es wurde bestimmt, dass bei den Messungen über Bordhöhe die Schwimmer stets über der Mitte von A B einzusetzen seien. Dieser Punkt wird mit E bezeichnet. Durch an den Ufern über Hochwasserhöhe eingeschlagene Pfähle wurde die Lage des Punktes E festgelegt. Zur Einmessung des Wasserspiegels wurden gleichfalls über Hochwasserhöhe an den Ufern neue Pfähle gesetzt. Im Laufe des Monats Januar wurden noch die in Aussicht genommenen Hochwassermesstellen an der Fulda bei Malsfeld, an der Schwalm unterhalb Treysa und an der Eder bei Altenbrunslar ausgewählt und eingerichtet. Geeignete Stromstrecken in besserer Lage zu den Hauptpegeln konnten nicht gefunden werden. An der Eder wurde wieder eine Strecke nahe an der Einmündung in die Fulda ausgesucht, um Aufschluss über die ganze Hochwasserführung dieses Flusses zu erhalten. Unterhalb Cassel wurden in der Thalenge bei Spickershausen an der Fulda noch 3 Messtellen nahe hintereinander festgelegt. Hier treten die Berge hart an den Strom heran, derselbe bewegt sich in einer muldenförmigen Rinne mit Vorländern von geringer Breite. Gegen Ende des Monats bereitete sich ein Witterungsumschlag vor. Am 27. abends kamen telegraphische Meldungen, dass der Abgang des Eises und der Eintritt von Hochwasser unmittelbar bevorstehe. Vom 28. morgens an waren die Beobachter an allen Messtellen zur Vornahme der Messungen bereit. Zunächst entwickelte sich auf den Strömen ein gewaltiger Eisgang, wie er seit vielen Jahren in solcher Stärke und bei so hohem Wasser nicht mehr beobachtet wurde. Die Ströme waren in ganzer Breite mit mächtigen Eisschollen von 30—50 cm Stärke bedeckt, welche mit grosser Geschwindigkeit abtrieben. Der Scheitel der Welle trat an den meisten Stellen schon Vormittags ein. Nachmittags liess die Eisfahrt nach. An einzelnen Stellen konnten, trotzdem noch zahlreiche Schollen im Strome trieben, Messungen vorgenommen werden. In der Nacht vom 27. zum 28. musste sich in den höheren Theilen der Niederschlagsgebiete schon wieder ein Wechsel der Witterung und ein Uebergang zum Frost vollzogen haben. Nachmittags am 28. begann das Wasser rasch zu fallen. Am 29. konnten an den Strömen oberhalb Münden trotz der Andauer der Eisfahrt noch Messungen bei höherem Wasser ausgeführt werden. In der folgenden Nacht fiel aber das Wasser dann rasch um mehr als 1 m. Beispielsweise auf der Fulda oberhalb Cassel von 3,78 am Pegel zu Guntershausen am 29. auf 2,68 am 30. Auf der Weser konnte wegen des Eisganges erst am 30. mit den Messungen begonnen werden. Das Wasser war rasch im Fallen. Der Pegel Karlsrufer zeigt während der Messungen am 30. 3,32, am 31. 2,34. Bis zum 2. Februar war

das Hochwasser in allen Strömen abgelaufen. Im Ganzen war das Ergebniss der Messungen bei dieser Fluthwelle kein sehr reichliches. Bei dem raschen Ablauf der Welle waren nur wenig Beobachtungen möglich und diese wurden noch theilweise beeinträchtigt durch die Eisfahrt.

Bei diesem Hochwasser war nur der Schnee aus den Niederungen abgegangen. Zu den alten Schneelagen in den Bergen kamen neue starke Schneefälle im Laufe des Februar. Es war bei der vorgerückten Jahreszeit leicht möglich, dass der Eintritt des Thauwetters von einem warmen Regen begleitet wurde. Die Witterungsverhältnisse gestalteten sich aber ganz ausnahmsweise günstig. Ende Februar trat langsame Erwärmung ohne Regen ein. Infolge der Schneeschmelze begannen die Flüsse langsam zu steigen. Das Eis wurde unter der Sonnenwärme mürbe und trieb in leichter Eisfahrt ab. Erst am 3. März wurde der Scheitel und zwar fast genau dieselbe Höhe an den Pegeln wie im Januar erreicht. Diese Pegelhöhen waren seit 10 Jahren nicht mehr beobachtet. Noch viel langsamer wie das Ansteigen vollzog sich der Ablauf der Welle. Die Messungen begannen am 1. Sie dauerten ohne Unterbrechung bis zum 9., an der Werra sogar bis zum 14., dann erst war das Wasser bis auf 1,5 m unter Bordhöhe gefallen. Bei günstiger Witterung ohne Regen und meist ohne Wind konnte bei dem langsam ansteigenden und abfallenden Wasser an den Messtellen eine grosse Zahl von Messungen ausgeführt werden. Indem die Beamten sich mit ihren Vorarbeitern ablösten, wurden an einzelnen Stellen bis zu 3 Messungen an einem Tage ausgeführt. Bei den Fluthwellen vom Januar und März 1901 wurden im Ganzen folgende Messungen gemacht

Messungen im Jahre 1901:

Messtelle an der		Zahl der Messun- gen.	Bemerkungen.
Fulda	unterhalb Malsfeld . . . . .	20	
Schwalm	„ Treysa . . . . .	21	
Eder	bei Altenbrunslar . . . . .	20	
Fulda	unterhalb der Edermündung . . . . .	19	
„	km 6,350 } . . . . .	15	
„	„ 7,410 } bei Spickershausen . . . . .	15	
„	„ 8,850 } . . . . .	15	
Werra	unterhalb Hedemünden . . . . .	26	
Weser	oberhalb der Diemelmündung . . . . .	8	Ausserdem 3 Flügel-
Diemel	unterhalb Helmarshausen . . . . .	14	messungen.
Weser	„ der Diemelmündung . . . . .	13	
	Summe	186	
	Hierzu von 1900	362	
	Summe 1900 und 1901	548	

Im Ganzen wurden an 6 verschiedenen Strömen an 16 Messtellen, demnach in beiden Jahren 548 Messungen ausgeführt.

## II. Ergebnisse der Beobachtungen: Darstellung, Untersuchung, Ordnung und Verwerthung derselben.

In der Formel, welche diesen Untersuchungen zu Grunde gelegt ist:

$$(1) \text{ Wassermenge } Q = F \cdot v_0 \cdot a,$$

bedeutet  $F$  den Stromquerschnitt,  $v_0$  die Oberflächengeschwindigkeit in Strommitte mit Schwimmern gemessen,  $a$  die Verhältnisszahl zwischen der mittleren Geschwindigkeit  $v$  und  $v_0$ ,  $a = \frac{v}{v_0}$

### A. Der Stromquerschnitt $F$ .

#### 1. Erläuterung von $F$ .

Bei den Flügelmessungen rechnet man in der Formel  $Q = F \cdot v$  mit demjenigen Stromquerschnitt, in dem man mit dem Flügel die Wassergeschwindigkeit gemessen hat. Bei den Schwimmermessungen, wie sie hier vorliegen, würde es nicht ganz richtig sein, wenn man als Stromquerschnitt den in der Mitte der 100 m langen Messtrecke vorhandenen Querschnitt zu Grunde legen wollte. Es muss vielmehr aus den an der Messtelle aufgenommenen 6 Querschnitten der mittlere Querschnitt der ganzen Strecke berechnet werden. Wollte man nun für jede Messung diese Rechnung durchführen, so würde dadurch bei der grossen Zahl der Messungen eine erhebliche Arbeit erwachsen. Diese Berechnungen wurden durch das folgende graphische Verfahren vereinfacht.

#### 2. Ermittlung von $F$ , $F$ Linie, Querschnittslinie.

Es wird zunächst für jeden der 6 Querschnitte der Inhalt unter  $A B =$  Bordhöhe berechnet (Blatt 1 Abb. 1). Dieser wird bezeichnet mit  $F 1$ , dann der Inhalt unter einer 0,50 m unter  $A B$  liegenden durch den Punkt  $c$  gehenden Linie, bezeichnet mit  $F 2$ , dann weiter unter einer 1,00 m unter  $A B$  liegenden durch den Punkt  $d$  gehenden Linie bezeichnet mit  $F 3$  und so fort bis zu einer Linie  $a b$ , welche nahe bei  $N W$  liegt:  $F 4$ ,  $F 5$ . Dann werden aus jedem der 6 Querschnitte die Flächeninhalte  $F 1 + F 1 + F 1 + F 1 + F 1 + F 1$  addirt und durch 6 dividirt. In gleicher Weise wird der mittlere Inhalt der 6 Querschnitte unter den folgenden Wasserlinien ermittelt,

Auf diese Weise erhält man die mittleren Querschnitte der Messtrecke von 0,50 zu 0,50 m Wasserspiegelhöhe. Die Ergebnisse werden in folgender Weise dargestellt (Abb. 2). Von einer Senkrechten aus werden die mittleren Inhalte unter den einzelnen Wasserlinien als wagerechte Linien in Abständen von 0,50 m aufgetragen. Die Endpunkte dieser Linien werden durch gerade Linien verbunden. Der gebrochene Linienzug, welcher die Zunahme des Wasserquerschnitts beim Steigen des Wassers von N. W. aufwärts darstellt, wird F Linie, Querschnittslinie, genannt.

#### Anwendung:

Die mittlere Tiefe  $t$  des Wasserspiegels bei einer Messung unter A B betrage 1,80 m, so greift man von A B 1,80 m ab und zieht von diesem Punkte eine Wagerechte bis zur F Linie. Die Länge dieser Linie ergibt den mittleren Wasserquerschnitt der Messtrecke = F für den Wasserstand 1,80 unter A B. Wenn man den Maasstab Höhen 1 : 10 Flächen 1 qm = 1 mm wählt, so ist die Genauigkeit beim Abgreifen der Querschnitte vollkommen genügend. Dieses einfache Verfahren, welches bald nach Beginn der Messungen gefunden wurde, hat sich als zweckmässig erwiesen. Es ist während der ganzen Untersuchung unverändert beibehalten.

### 3. Verhalten von F.

#### Einfache Querschnitte.

Die Querschnittsform des Flussbettes und namentlich die Breite hat einen sehr wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Geschwindigkeit des Wassers. Es ist daher eine weitere Untersuchung des Verhaltens der Querschnitte nothwendig. Aus der Herleitung der F Linie ergibt sich, dass dieselbe in seitlich senkrecht begrenzten Querschnitten, also bei konstanter Breite z. B. zwischen Kaimauern, eine gerade geneigte Linie ist (Abb. 3). Mit dem Steigen des Wassers nimmt die Querschnittsfläche gleichmässig zu. Je grösser die Breite des Bettes zwischen den senkrechten Mauern ist, desto grösser ist die Zunahme des Querschnitts beim Steigen des Wassers, desto flacher geneigt ist die F Linie (Abb. 4). In den natürlichen Flusstrecken von einfachem Querschnitt, (Abb. 5 und 6) ist der Wasserquerschnitt über  $a$   $b$  stets ein Trapez. Die F Linie zeigt eine von der Ordinatenaxe abgewendete Krümmung, weil die Zunahme der Querschnitte mit dem Steigen des Wassers ständig grösser wird. Je geringer die Sohlenbreite des Flussbettes und je flacher die Ufer, also je mehr das Bett sich einer flachen Mulde nähert, desto mehr steigt die Zunahme, desto stärker gekrümmt ist die F Linie. Dagegen ist in breiten Strombetten der steigende Zuwachs über den Böschungen verhältnissmässig gering

im Vergleich zu dem ganzen Zuwachs. Deshalb ist die für solche Stromstrecken flach geneigte F Linie nahezu eine gerade Linie (F Linien von der Weser). Die Linien A B und a b sind die Begrenzungslinien des trapezförmigen Theiles des natürlichen Flussbettes. Mit A B wird stets die Bordhöhe bezeichnet, a b ist dagegen stets die untere Grundlinie des Trapezes unter A B. a b ist im einfachen Querschnitt eine N. W. Linie, unter derselben liegt in der Regel noch N. N. W. Unter a b befindet sich im einfachen Stromquerschnitt in der Regel noch eine flache Mulde. Die Form dieser Mulde ist für den Verlauf der F Linie innerhalb der Begrenzungslinien ohne Bedeutung. Es kommt nur ihre Querschnittsgrösse in Betracht, diese bestimmt den Punkt der F Linie in der Höhe a b. Die Fortsetzung der F Linie unter a b zeigt wegen der flachen Muldenform des Querschnitts eine stärkere Krümmung.

#### Zusammengesetzte Querschnitte.

Durch die Regulirung der Ströme werden die Querschnittsbreiten im unteren Theile beschränkt, es entstehen zusammengesetzte Querschnitte, bestehend aus 3 übereinander gestellten Trapezen, zu denen in der Regel der Hochwasserquerschnitt über Bordhöhe als Viertes hinzukommt. Die Linie a b wird durch die Regulirung heraufgerückt. Die Begrenzungslinien der unter denselben liegenden Trapeze werden mit a, b, und a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>, bezeichnet. Die obere Begrenzungslinie des Hochwasserraumes ist die H. H. W. Linie. Es entsteht die Form (Abb. 7). Die F Linie zeigt beim Uebertritt über die Buhnen (Parallelwerke) eine schärfere Krümmung. Beim Ansteigen des Wassers über die Bordhöhe A B (Abb. 7) tritt in der Regel der Zuwachs durch die Vorländer ganz unvermittelt ein. Die F Linie zeigt dann an dieser Stelle einen Knick. Ist das Strombett breit, im Vergleich zu den Uferstreifen, so tritt die Einwirkung der Uferböschungen zurück, die F Linie ist in den beiden oberen Theilen des Bettes, namentlich im Hochwasserraum über Bordhöhe nahezu eine Gerade (Abb. 7). Innerhalb der einzelnen Abschnitte verläuft die F Linie in der Regel als gleichmässige Linie, durch die Herleitung aus 6 Querschnitten verschwinden die kleineren Unregelmässigkeiten des einzelnen Schnittes.

### 4. Querschnitte, Spiegelbreiten und mittlere Tiefen der Messtrecken.

Die gewöhnlichen Flussquerschnitte besitzen in der Regel eine zu ihrer Tiefe sehr grosse Breite. In der folgenden Zusammenstellung sind die mittleren Querschnitte, Wasserspiegelbreiten und mittleren Tiefen unter Bordhöhe von den meisten hier benutzten Messtellen angegeben:

Bezeichnung der Messtelle	Unter Bordhöhe A B.		
	Querschnitt qm	Spiegelbreite m	Mittlere Tiefe m
Fulda unterhalb Malsfeld . . . . .	130	53	2,45
„ oberhalb der Edermündung . . . . .	111	44	2,52
Schwalm unterhalb Treysa . . . . .	50	23	2,17
„ oberhalb der Mündung . . . . .	48	24	2,00
Eder oberhalb der Schwalmmündung . . . . .	117	52	2,25
„ unterhalb „ „ . . . . .	124	44	2,82
„ „ Altenbrunslar . . . . .	193	66	2,93
Fulda unterhalb der Edermündung . . . . .	314	87	3,61
„ „ Bonafort . . . . .	272	80	3,40
Werra „ Hedemünden . . . . .	204	51	4,00
Weser oberhalb der Diemelmündung . . . . .	482	124	3,90
Diemel unterhalb Helmarshausen . . . . .	78	30	2,60
Weser „ der Diemelmündung . . . . .	582	134	4,34

Sämmtliche Messtellen mit Ausnahme der an der Weser oberhalb der Diemelmündung zeigen unter Bordhöhe A B einfache Querschnitte, der Weserquerschnitt oberhalb der Diemel ist ein zusammengesetzter, der Weserquerschnitt oberhalb der Diemel ist ein zusammengesetzter, Es sind von beiden Ufern Buhnen in den Strom hineingebaut. Die Felder zwischen den Buhnen sind mit Kies verschüttet. An allen Messtellen ist oberhalb der Bordhöhe A B noch ein Hochwasserraum von 1—3 m Höhe vorhanden.

## B. Die Oberflächengeschwindigkeit in Strommitte $v_0$ in gleichmässigen Stromstrecken.

### 1. Erläuterung und Behandlung von $v_0$ .

$v_0$  ist ein Mittelwerth, hergeleitet aus der Beobachtung der Zeit des Durchganges von 10 Schwimmern durch die 100 m lange Messtrecke. Die zeichnerische Behandlung des Werthes F war, wie oben bemerkt, sehr bald gelungen. Der Gedanke die  $v_0$  Werthe in ähnlicher Weise darzustellen, kam zunächst nicht. Vielmehr wurden in der üblichen Weise aus F,  $v_0$  und a (unter Benutzung des Werthes  $a = 0,777$ ) die Wassermengen hergeleitet, auf den benachbarten Pegel bezogen und dann die Wassermengenlinien gezeichnet. Der Vergleich dieser Linien mit den durch Flügelmessungen ermittelten lehrte aber, dass der benutzte Werth von a z. B. für die Weser nicht passte. Es kam dann die Erkenntniss, dass durch den in seiner Grösse und seinem Verhalten noch unbekanntem Faktor a die beiden durch sorgfältige Messungen und Beobachtungen bestimmten Werthe F und  $v_0$  getrübt und gefälscht wurden, dass es daher zweckmässig sei, um die Irreführung durch das unbekannte a zu vermeiden, die  $v_0$  Werthe zunächst

ebenso wie die  $F$  Werthe für sich allein zu untersuchen. Auf diesem Wege schien es möglich, ihre Eigenart und ihr Verhalten zu ergründen.

## 2. Darstellung von $v_0$ , $v_0$ Linie, Geschwindigkeitslinie.

Die Darstellung der  $v_0$  Werthe geschah in folgender Weise: Auf der Ordinatenaxe Abb. 8 wurden von dem in Bordhöhe  $A B$  angenommenen Nullpunkte aus die aus 12 Messungen an den einzelnen Querschnitten der Messtrecke gemittelte Tiefe des Wasserspiegels  $t$  unter der Horizontalen durch die Bordhöhe  $A B$  abgesteckt und als Abscisse der zugehörige  $v_0$  Werth aufgetragen. Die zahlreichen Messungen an jeder Messtelle ergaben eine Schaar von Punkten, die Mittellinie durch diese Schaar von Punkten wird als  $v_0$  Linie, Geschwindigkeitslinie bezeichnet.

## 3. Allgemeines Verhalten von $v_0$ , Nachweis der Geschwindigkeitslinien.

Solange wie das kleine und das mittlere Wasser in den Flüssen anhielt, konnte auf ein irgendwie regelmässiges Verhalten der  $v_0$  Werthe nicht geschlossen werden. Nur für die Werra und die Weser unterhalb der Diemelmündung schienen sich die  $v_0$  Werthe ähnlich zu verhalten. Bei der ersten Anschwellung, anfang Dezember 1900, zeigte sich zunächst, dass der Gang der Schwimmer, namentlich in den nicht schiffbaren Flüssen ein regelmässiger wurde. Wenn man von jeder Messung die 10 Schwimmerzeiten miteinander verglich, so ergab sich, dass sie bei höherem Wasser weniger von dem Mittelwerthe abwichen als bei kleinem und mittlerem Wasser. An den Messtellen trat hervor, dass die Regelmässigkeit des Abflussvorganges mit wachsendem Wasser grösser wurde.

Merkwürdiger aber als diese Erscheinung war das Verhalten der  $v_0$  Werthe. Mit dem wachsenden Wasser trat an allen Messtrecken eine grosse Regelmässigkeit der Geschwindigkeitszunahme ein. Die Oberflächengeschwindigkeit nahm stetig zu und ebenso stetig fiel dieselbe wieder beim Abfallen des Wassers. Für jede Messtelle ergab sich so eine  $v_0$  Linie von ganz bestimmter Form. Es entstand nun die Frage: Werden die nächsten Hochwasser dieselbe  $v_0$  Linie einhalten? Ist diese Linie eine zufällige Erscheinung oder ist sie eine Darstellung des Gesetzes des Abflussvorganges in dieser Flusstrecke? Trifft diese letzte Annahme zu, so müssen alle folgenden Hochwasser die einmal vorgezeichnete  $v_0$  Linie einhalten. Die beiden Hochfluthen im Januar und März 1901 gaben reichliche Gelegenheit, Punkte der  $v_0$  Linien zu sammeln. Die Darstellung dieser Beobachtungen zeigt, dass die Fluthwellen beim Ansteigen und Abfallen stets dieselben  $v_0$  Linien einhalten.

Es besteht somit für jede Stromstrecke ein bestimmtes Gesetz, nach welchem die Oberflächengeschwindigkeit in Strommitte sich richtet. Dieses Gesetz wird durch die  $v_0$  Linie graphisch zur Darstellung gebracht.

#### 4. $v_0$ Linien bis zur Bordhöhe in gleichmässigen Stromstrecken mit freiem Abfluss.

Bei der Auswahl der Messtellen wurden, wie bereits oben bemerkt, möglichst solche gerade Stromstrecken gewählt, in denen das Flussbett auf längerer Strecke eine besondere Gleichmässigkeit zeigte. Unter einer gleichmässigen Stromrinne ist ein Flussbett zu verstehen, in dem bei nahezu gleichbleibendem Gefälle die Querschnitte muldenförmig gestaltet sind und annähernd gleiche Breite und mittlere Tiefe haben. Der Wasserquerschnitt zwischen a b und der Bordhöhe A B bildet ein Trapez.

Die Wassergeschwindigkeit in einer Messtrecke wird sehr wenig durch die selbst in geringer Entfernung oberhalb vorhandenen Stromverhältnisse beeinflusst, sie steht beinahe ausschliesslich unter der Einwirkung der Verhältnisse in der Messtrecke selbst und unterhalb derselben. Die Messtellen zeigen, wie sich aus der Berechnung der Querschnitte ergibt, durchweg grosse Gleichmässigkeit. Sie besitzen (mit Ausnahme der Weserstrecke oberhalb der Diemel-mündung) einfache muldenförmige Querschnitte. Die Form des Flussbettes innerhalb der Messtrecken ist also überall dieselbe. Der Abfluss in denselben wird aber durch die unterhalb vorhandene Gestaltung des Flussbettes verschiedenartig beeinflusst. Wenn man die  $v_0$  Linien von den einzelnen Messtellen mit einander vergleicht, so zeigen dieselben mehr oder minder grosse Verschiedenheiten. Diese Abweichungen bringen die Einwirkung der unterhalb der Messtrecke vorhandenen Gestaltung des Flussbettes zum Ausdruck.

An allen Messtellen lässt sich als Grundform der  $v_0$  Linie die Gerade nachweisen. Ganz rein tritt dieselbe an den folgenden Messtellen hervor.

Bezeichnung der Messtrecke	In Bordhöhe		
	Querschnitt qm	Spiegelbreite m	Mittlere Tiefe m
Fulda unterhalb Malsfeld . . . . .	130	53	2,45
„ oberhalb der Edermündung . . . . .	111	44	2,52
Weser unterhalb der Diemel-mündung . . . . .	582	134	4,34

Die entscheidende Eigenthümlichkeit dieser Stromstrecken, welche innerhalb der Begrenzungslinien des trapezförmigen Theiles des Querschnitts  $v_0$  Linien von gleicher Form entstehen lässt, ist die, dass sie freien Abfluss besitzen. Es sind ferner in diesen Stromstrecken nicht nur die Querschnitte in den Messtrecken selbst gleichmässig, sondern auch unterhalb derselben sind noch auf längerer Strecke nahezu gleiche Weiten und mittlere Tiefen vorhanden.

Man kann demnach folgenden Satz ableiten: In jeder längeren, gleichmässigen Stromrinne mit einfachem Querschnitt ist zwischen den Begrenzungslinien  $a b$  und  $A B$  des trapezförmigen Theiles des Querschnitts bei freiem Abfluss die  $v_0$  Linie eine Gerade (Abb. 8). Dieser Satz gilt in gleicher Weise, wie er für Stromstrecken von einer mittleren Tiefe von 2,45 bis 4,34 zutrifft, auch für ähnliche Stromstrecken von grösserer mittlerer Tiefe. In einer solchen gleichmässigen Rinne von reichlicher Länge mit freiem Abfluss, in der das höchste Hochwasser des Stromes H. H. W. nicht ausufert (Abb. 9), kann man die durch Schwimmermessungen bis zum mittleren Hochwasser festgelegte  $v_0$  Linie bis zum H. H. W. als Gerade fortsetzen. Auf diese Weise erhält man die Obflächengeschwindigkeit in Strommitte bei H. H. W. mit derselben Genauigkeit, wie wenn man sie unmittelbar gemessen hätte. Leider scheinen derartige Stromstrecken, in denen das Hochwasser nicht ausufert, selten zu sein. In dem ganzen untersuchten Abflussgebiete konnte keine Stromstrecke gefunden werden, welche diesen Bedingungen vollständig entspricht.

### 5. $v_0$ Linien über Bordhöhe in gleichmässigen Hochwasserrinnen mit freiem Abfluss.

Bis zur Bordhöhe ist Gleichmässigkeit auf längerer Strecke bei den hier untersuchten Flüssen die Regel. Ueber Bordhöhe sind dagegen die Hochwasserbetten seltener von regelmässiger Gestaltung. Als gleichmässige Hochwasserrinnen sollen solche Stromstrecken bezeichnet werden, in denen auf längerer Strecke die Querschnitte bis zur Bordhöhe annähernd gleichmässig über Bordhöhe von nahezu gleicher Breite und Tiefe sind. Es kann dabei einseitiges oder beiderseitiges Vorland vorhanden sein. Je schmaler die Vorländer und je grösser die Bordhöhe, desto besser eignet sich die Stelle für Hochwassermessungen. Wenn das Wasser sich der Bordhöhe nähert und diese übersteigt, wird in der Regel eine vorübergehende Störung der Gleichmässigkeit im Abfluss eintreten, weil die natürlichen Ufer selten auf längerer Strecke so regelmässig gestaltet sind, dass sie bei derselben Pegelhöhe auf längerer Strecke gleichmässig überströmt werden. Die folgenden Messtrecken liegen in nahezu gleichmässigen Hochwasserrinnen mit freiem Abfluss:

Fulda unterhalb Malsfeld,  
 „ oberhalb der Edermündung,  
 Weser „ „ Diemelmündung,  
 „ unterhalb „ „ .

(Die Stromstrecken der Fulda unterhalb der Edermündung und der Werra unterhalb Hedemünden sind nur in soweit ungleichmässige Hochwasserrinnen, als unterhalb der Messtrecken etwas engere Querschnitte vorhanden sind, welche von einer bestimmten Pegelhöhe ab den Wasserabfluss verzögern.) Wie oben bemerkt, ist beim Ueberschreiten der Bordhöhe A B, also während der Ausuferung stets über der Mitte von A B, also senkrecht über E gemessen. Es war in den gleichmässigen Hochwasserrinnen nur an 2 Stellen an der Fulda unterhalb Malsfeld und an der Weser unterhalb der Diemelmündung möglich, bei Wasserständen bis zu 0,33 bez. 0,56 über Bordhöhe zu messen. In beiden Fällen liegen die Punkte in der Verlängerung der bis zur Bordhöhe erhaltenen  $v_0$  Linien. Der weitere Verlauf der  $v_0$  Linien über Bordhöhe lässt sich in gleichmässigen Hochwasserrinnen mit freiem Abfluss mit einseitigem oder beiderseitigem Vorland zunächst auf folgende Weise ermitteln: Denkt man sich in einer solchen Stromstrecke von z. B. 1000 qm Hochwasserquerschnitt, von denen 850 auf den eigentlichen Stromschlauch Theil I, 150 auf das Vorland Theil II entfallen (Abb. 10), das eigentliche Strombett auf längerer Strecke durch eine Wand in der Neigung der Uferböschung abgegrenzt, so wird durch die Wand, abgesehen von der Aufhebung der vielleicht eintretenden vorübergehenden Störung beim Uebertritt über die natürlichen, unregelmässigen Uferänder, an den Abflussverhältnissen in dieser Stromstrecke nichts Wesentliches geändert. Es wird durch dieselben kein Stau erzeugt. Die Oberflächengeschwindigkeit in Strommitte über E bleibt nahezu unverändert. Auch die Geschwindigkeit des Wassers auf dem Vorland wird durch die Abtrennung vom Hauptstrom nicht merkbar beeinflusst. Der Theil I bildet jetzt eine gleichmässige Stromrinne von trapezförmigem Querschnitt unter H. H. W. ebenso wie die oben betrachteten Strombetten unter Bordhöhe. Daher ist die  $v_0$  Linie eine Gerade bis zum H. H. W. (Die Ermittlung von  $v_0$  für Theil II folgt weiter unten). Eine ähnliche Ueberlegung gilt für Stromstrecken mit beiderseitigem Vorland. Der bordvolle Strom ist das Modell des gegen die Vorländer abgegrenzten Stromes beim höchsten Hochwasser in gleicher Weise, wie man die Fulda bei Malsfeld als ein Modell der Weser unterhalb der Diemelmündung ansehen kann. Das Gesetz der Zunahme der Oberflächengeschwindigkeit ist unabhängig von den Grössenverhältnissen.

### 6. Wirkung von Abflusshindernissen.

Alle Abflusshindernisse unterhalb der Messtrecken äussern ihre Einwirkung auf die  $v_0$  Linie. Sie verursachen, indem sie den

Abfluss verzögern, also die Geschwindigkeitszunahme vermindern, eine Krümmung der geraden  $v_0$  Linie nach der Ordinatenaxe.

#### Abflusshindernisse für Niedrig- und Mittelwasser.

Die Abflusshindernisse im unteren Theile des Bettes können, abgesehen von dem Pflanzenwuchs, bestehen in der Rauhigkeit der Sohle, natürlichen Hindernissen, wie hochliegenden Kiesbänken, Felsen, oder künstlichen wie Grundswellen, Buhnen, Parallelwerken, und festen Wehren. Der Einfluss der Rauhigkeit der Sohle ist an den nicht schiffbaren Flüssen nicht zur Erscheinung gekommen, weil bei dem kleinen Wasser der Pflanzenwuchs einen bedeutenden Stau verursachte, also die Wirkung der Rauhigkeit verdeckte. In den schiffbaren Strömen war auch bei Niedrigwasser die Tiefe zu gross. Die Wirkung einer natürlichen Grundschwelle ist zu erkennen an der  $v_0$  Linie der Schwalm. Als Messtelle ist hier eine besonders tiefe Flusstrecke ausgesucht, welche bei kleinem Wasser im Stau einer unterhalb gelegenen natürlichen Erhöhung der Flussole liegt. Die stärkste Krümmung entspricht dem grössten unter den oben aufgeführten Abflusshindernissen, dem festen Wehre (Abb. 11). Die folgenden Messtellen liegen oberhalb eines festen Wehres:

Eder oberhalb der Schwalmündung,	
„ bei Altenbrunslar,	
Fulda km 6,300— 6,400 bei Spickershausen,	
„ „ 7,360— 7,460 „ „ „	
„ „ 25,550—25,650 unterhalb Bonafort.	

Uebereinstimmend zeigen sämtliche  $v_0$  Linien von diesen Messtellen im unteren Theil eine erhebliche Krümmung und daher einen parabelähnlichen Verlauf. Mit dem Nachlassen der Wirkung des Abflusshindernisses gehen die Linien allmählich in die Gerade, die Grundform der  $v_0$  Linie, über.

#### Abflusshindernisse für Hochwasser.

Während die bisher besprochenen Abflusshindernisse hauptsächlich den unteren Theil der  $v_0$  Linien beeinflussen, zeigen die Linien von der Fulda unterhalb der Edermündung und von der Werra unterhalb Hedemünden eine Einbiegung in dem oberen Theile der  $v_0$  Linie nahe der Bordhöhe (Abb. 12). An beiden Flüssen wurden für die Messtrecken besonders weite Stellen ausgewählt, unterhalb derselben ist das Strombett enger. Das Wasser hebt sich in Folge dessen beim Ansteigen hier stärker und verursacht bei Hochwasser einen Rückstau in den Messtrecken und damit die Einbiegung der  $v_0$  Linie. In gleicher Weise wird die Messtelle an der Diemel in der Nähe der Bordhöhe durch die unterhalb gelegene engere Strecke beeinflusst.

Wenn man einen Strom bei Ansteigen beobachtet, so bemerkt man, wie allmählich die Wirkung der Abflusshindernisse des Niedrig-

und Mittelwassers (Rauhigkeit der Sohle, Grundswellen, Bühnen, feste Wehre) nachzulassen scheint. Die Spiegellinien des Stromes, anfangs treppenförmig, zeigen eine zunehmende Ausgleichung. Die Oberfläche des Wassers, zuerst unruhig und bewegt von der Wirkung der Hindernisse, wird mit dem Ansteigen bis zur Bordhöhe glatter. Sehr schön konnte man bei dem Hochwasser im März 1901 diese Vorgänge in der zahlreiche Hindernisse aufweisenden Fuldastrecke bei Spickershausen beobachten. Bei Eintritt des Scheitels nahe an der Bordhöhe erschien der Spiegel des mit grosser Geschwindigkeit dahinziehenden gelbbraun gefärbten Stromes so glatt gestrichen, wie der Thonkern aus einer Presse hervorkommt. Nur das grösste Abflusshinderniss für Niedrig- und Mittelwasser dieser Strecke, ein festes Mühlenwehr, machte sich noch durch eine Kräuselung des Wassers und leichte Wellenbildung bemerkbar. Unterhalb des Wehres floss der Strom wieder glatt dahin.

Die Wirkung eines festen Wehres als Abflusshinderniss für das Hochwasser in stark geneigten Flusstrecken wird in der Regel überschätzt. Wenn bei Hochwasser das Unter- und Oberwasser am Wehr gleich hoch geworden sind, wirkt das feste Wehr in einem Flusse mit starkem Gefälle (Fulda 1:1600) nur noch als eine grosse Rauhigkeit der Sohle auf die nahe oberhalb gelegene Flussstrecke ein. Denkt man sich 1 km oberhalb desselben eine  $v_0$  Linie aufgenommen, so wird dieselbe von dieser Wasserstandshöhe ab keine Einwirkung des festen Wehres mehr erkennen lassen. Der obere Theil der  $v_0$  Linie würde unverändert bleiben, wenn das feste Wehr aus dem Fluss herausgenommen wird. Ganz anders wird aber der Abfluss behindert durch eine Einschnürung des Stromes (Verminderung der Breite) z. B. durch eine Brückenanlage. 800 m unterhalb des Wehres bei Spickershausen führt eine gewölbte Eisenbahnbrücke mit 5 Oeffnungen von 20 m Weite über den Strom. Die Pfeiler sind durch Steinpackung geschützt. Bei Beginn der Anschwellung war nur ein kleiner Stau oberhalb der Brücke zu bemerken, Niedrig- und Mittelwasser ziehen fast ungehindert durch die Oeffnungen. Bei wachsendem Wasser tritt aber die Stauwirkung der Einbauten hervor. Anfangs gering und nur wenig stromauf bemerkbar nahm der Stau mit dem Steigen des Wassers rasch zu. Er rückte stromauf vor und man sah deutlich, wie die Oberflächengeschwindigkeit des Wassers nachliess. Beim Vorrücken stromaufwärts erreichte der Stau die Messtelle bei km. 8,800—8,900, 256 m oberhalb der Brücke. Die Messung ergab eine wesentliche Verminderung der Oberflächengeschwindigkeit. Anscheinend äussert sich eine solche Stauwirkung ganz plötzlich, sobald sie die Messtelle erreicht. Die  $v_0$  Linie wird in ihrem bisherigen Verlaufe plötzlich gestört und erhält eine Ablenkung nach der Ordinatenaxe zu. Leider stieg das Wasser nicht weiter. Es konnte nur eine Messung in dem Stauwasser gemacht werden.

In gleicher Weise wie die Brückenpfeiler wirken auf das Hochwasser oft weit unterhalb der Messtrecke gelegene enge Stellen des Stromlaufes, natürliche Stromengen sowohl, wie künstliche durch Deichanlagen u. s. w. verursachte oder Hecken und Wälder auf den Vorländern. Bis zu einem gewissen Hochwasserstande wird ihre Wirkung an einer oberhalb in einer gleichmässigen Hochwasserrinne gelegenen Messtelle nicht zu bemerken sein. Der Abfluss ist frei, die  $v_0$  Linie gerade. Dann tritt sie mit Ankunft des Staus an der Messtelle in die Erscheinung. Sie äussert ihre Wirkung auf den oberen Theil der  $v_0$  Linie und biegt diesen nach der Ordinatenaxe. Die  $v_0$  Linie im Stromschlauch wird die Form Abb. 13 zeigen. Die Wirkungsweite der Abflusshindernisse hängt von der Neigung des Flussthalcs ab, je kleiner dieselbe ist, desto weiter stromauf reicht die Wirkung. Bei stärkerer Thalneigung wirken auf die Messtrecke nur die nahe unterhalb vorhandenen Hindernisse wesentlich ein.

### 7. Die $v_0$ Werthe und die $v_0$ Linien.

Die  $v_0$  Linien von den Messtellen an der Weser, Blatt 2 und 3, wurden durch Ausprobiren mit Hülfe eines Fadens ermittelt. Es wurde dann untersucht, ob durch das graphische Ausgleichsverfahren sich eine andere Linie ergeben würde. Dieses war, wie bei der guten Lage der zahlreichen Punkte wohl zu erwarten, nicht der Fall. Die  $v_0$  Linie ist die Richtungslinie der  $v_0$  Werthe. Dieselbe ist für die Messstellen an der Weser im unteren Theil festgelegt durch zahlreiche Messungen. im mittleren Verlaufe durch die sehr zuverlässigen Messungen beim Scheitel am 8. Dezember. Man darf nun aber nicht folgern, dass der wahrscheinlichste Werth für alle Messungen von  $v_0$  der Schnittpunkt von  $v_0$  mit der  $v_0$  Linie sei. Die Beobachtungen dürfen nicht einer Theorie zu Liebe in eine Zwangsjacke gebracht werden. Man muss vielmehr versuchen, den Beobachtungen, wenn sie abweichen, zu folgen, sie verständlich zu machen, d. h. sie zurückzuführen auf bekannte Erscheinungen und Gesetze.

#### Der wahrscheinlichste Werth von $v_0$ .

Der wahrscheinlichste Werth von  $v_0$  ist der durch die Messung ermittelte. Es darf nicht vergessen werden, dass jeder  $v_0$  Werth schon das Mittel von 10 Beobachtungen darstellt. Liegen 2 Messungen für dieselbe Wasserstandshöhe vor, so ist der wahrscheinlichste Werth das Mittel aus beiden. Liegt für eine bestimmte Wasserstandshöhe keine Messung vor, so liegt der wahrscheinlichste Werth in der Verbindungslinie zweier benachbarter Punkte. Erst wenn keine Messung in der Nähe gemacht ist, liegt der wahrscheinlichste Werth in der  $v_0$  Linie. Die Form der  $v_0$  Linie (z. B. Gerade) stellt die Entwicklung der

Geschwindigkeit bei wachsendem Wasser im Allgemeinen dar. Die Abweichungen von der  $v_0$  Linie zeigen, wie die Zunahme der Geschwindigkeit entsprechend den kleinen Unregelmässigkeiten des natürlichen Flussbettes im Einzelnen erfolgt. Oben ist nachgewiesen, dass bei freiem Abfluss in einer regelmässigen Stromstrecke in dem trapezförmigen Theil des Querschnitts die  $v_0$  Punkte in einer Geraden liegen. In einem ganz regelmässig gestalteten Flussbett würden alle Punkte in die Richtungslinie der  $v_0$  Werthe fallen. Natürliche Flussbetten können wohl im Allgemeinen regelmässig sein (daher die Form der  $v_0$  Linie), im Einzelnen weichen sie aber vielfach von der regelmässigen Form ab, daher die Abweichungen von der  $v_0$  Linie. Neben diesen thatsächlichen Abweichungen treten auch Messungsfehler auf. Diese sind aber daran zu erkennen, dass sie vereinzelt und willkürlich auftreten; sie gleichen darin den kleinen Fehlern, welche durch die Einwirkung des Windes auf die Oberfläche des Wassers verursacht werden. Geben aber mehrere Messungen einen Werth, der ausserhalb der  $v_0$  Linie liegt, so muss man annehmen, dass in dieser Pegelhöhe wirklich eine abweichende Geschwindigkeitsänderung eintritt.

### 8. Das Verhältniss zwischen $v_0$ und $v_{0f}$ .

Im ersten Theil dieser Abhandlung unter A ist die Oberflächengeschwindigkeit behandelt, welche mit Flügeln gemessen wurde. Es fragt sich nun, ob das  $v_0$  mit Schwimmern gemessen mit dem mit Flügeln gemessenen, welches mit  $v_{0f}$  bezeichnet wurde, übereinstimmt. Gelegentlich wurden beide Messungsweisen gleichzeitig ausgeführt. Sie hatten das folgende Ergebniss:

Messstelle	Tag	$v_0$	$v_{0f}$	$\frac{v_0}{v_{0f}}$
Fulda unterhalb Bonafort . . . .	16. VI. 00.	0,625	0,612	1,021
Weser oberhalb der Diemelöffnung .	4. XII. 00.	1,220	1,190	1,025
„ „ „ „ .	5. XII. 00.	1,250	1,196	1,045
„ „ „ „ .	11. XII. 00.	1,790	1,782	1,004
			Summe	4,095
			Mittel	1,024

Auf Blatt 2 und 3 sind die obigen  $v_{0f}$  Werthe und noch weitere durch Interpolation ermittelte aufgetragen. Die  $v_{0f}$  Werthe sind durchweg etwas kleiner als die  $v_0$  Werthe. Die obige Verhältnisszahl  $\frac{v_0}{v_{0f}} = 1,024$  dürfte für die benutzten Flügel daher wohl annähernd zutreffen. Abweichend verhält sich nur eine Schwimmermessung vom

4. III. 01, welche während einer Flügelmessung ausgeführt wurde. Das  $v_0 = 2,34$  ergab sich hier kleiner als  $v_{0f} = 2,417$ . Da dieses Ergebniss vereinzelt steht und den übrigen widerspricht, kann hier ein Messfehler als Ursache der Abweichung vorliegen.

### 9. Veränderlichkeit der $v_0$ Linien.

Die  $v_0$  Linie stellt das Gesetz der Oberflächengeschwindigkeit für die Stromstrecke dar. Dieses ist, wie die Beobachtungen bei den verschiedenen Hochwassern zeigen, für dieselbe Stromstrecke in der Regel unveränderlich. Es kann aber durch natürliche oder künstliche Einwirkungen vorübergehend oder dauernd geändert werden. Oben ist gesagt, dass die Wassergeschwindigkeit in einer Messtrecke nur sehr wenig durch die selbst in geringer Entfernung oberhalb derselben vorhandenen Stromverhältnisse beeinflusst wird, dass sie beinahe ausschliesslich unter der Einwirkung der Gestaltung der Messtrecke selbst und der unterhalb derselben vorhandenen Stromverhältnisse steht.

2 km oberhalb der Messtrecke unterhalb Karlshafen mündet die Diemel in die Weser. Während der Schwimmermessungen an dieser Stelle hat die Wasserzuführung aus der Diemel etwa zwischen 5 und 200 cbm geschwankt. Irgend welche Einwirkung infolge dieser Aenderung oberhalb der Messtrecke ist an der  $v_0$  Linie nicht bemerkbar. Dagegen kann das verschiedene Verhalten der Diemel auf die 2300 m oberhalb ihrer Mündung in die Weser gelegene Messstelle einen Einfluss ausüben. Bei steigendem Wasser eilt in der Regel die Diemelwelle der Weserwelle voraus. Ist die Weser noch verhältnissmässig niedrig, so kann während des Durchgangs der spitzen Diemelwelle ein vorübergehender Stau in der Messstelle entstehen. Die Oberflächengeschwindigkeit wird vermindert. Eine Messung während des Durchgangs der Diemelwelle würde einen Punkt vor der normalen  $v_0$  Linie ergeben. Umgekehrt kann bei einem Weserhochwasser durch aussergewöhnlichen Tiefstand der Diemel die Geschwindigkeit in der Messtrecke etwas beschleunigt werden. Die  $v_0$  Werthe gehen dann über die  $v_0$  Linie hinaus.

Diese Veränderlichkeit der  $v_0$  Linie durch die verschiedene Wasserzuführung eines unterhalb einmündenden Nebenflusses kann als eine natürliche bezeichnet werden. Künstlich wird die  $v_0$  Linie geändert durch alle Veränderungen des Flussbettes innerhalb und unterhalb der Messtrecke (Aenderungen der Form des Bettes, Erweiterungen, Vertiefungen, Aenderung der Rauigkeit der Strecke, Beseitigung von Weiden auf den Ufern, Einbau von Brückenpfeilern, Stauanlagen u. s. w.). Es wird sich jedesmal nach der Ausführung der Arbeit eine neue  $v_0$  Linie ergeben. Der Unterschied beider zeigt die Wirkung der Arbeiten auf die Oberflächengeschwindigkeit in der

Messtrecke. Wenn z. B. durch einen Brückenbau Stau erzeugt wird nach der Messtelle, so nimmt die  $v_0$  Linie (Abb. 14) die Form  $e f h$  statt der ursprünglichen  $e f g$  an. Das Stück  $e f$  bleibt unverändert. Anders erscheint dagegen die Aenderung der Abflussverhältnisse durch die Anlage eines festen Wehres nahe unterhalb der Messtrecke, statt der alten  $v_0$  Linie  $e f$  (Abb. 15) entsteht eine ganz neue  $g h$ , beide nähern sich nach oben zu asymptotisch. Künstliche Veränderungen oberhalb der Messtrecke haben dagegen ebenso wenig Einfluss auf die Oberflächengeschwindigkeit in der Messtelle wie das verschiedene Verhalten der Diemel auf die unterhalb ihrer Mündung gelegene Messtelle der Weser, oder wie das Aufrichten des Nadelwehres auf die unterhalb gelegene Messtrecke in der kanalisirten Fulda. Es wird daher auch die künstliche Aenderung der Gefällverhältnisse des Stromes oberhalb der Messtelle (z. B. durch Regulirung) keinen Einfluss haben auf die Oberflächengeschwindigkeit in der Messtrecke.

### 10. Zusammenfassung.

In diesem Abschnitte wurde nachgewiesen, dass in einer gleichmässigen Flusstrecke mit einfachen Querschnitten bei freiem Abfluss die  $v_0$  Linie in dem trapezförmigen Theile des Querschnitts eine Gerade ist, dass die Abweichungen von dieser Geraden, so weit sie nicht durch einen unterhalb einmündenden Nebenfluss verursacht werden, auf bestimmte Unregelmässigkeiten des Flussbettes unterhalb der Messtrecke zurückzuführen sind, also auf bestimmte örtliche Ursachen. Bevor das Verhalten von  $v_0$  in ungleichmässigen Stromstrecken und in zusammengesetzten Querschnitten untersucht wird, ist es zweckmässig, zunächst das Verhältniss zwischen  $v$  (mittlere Geschwindigkeit) und  $v_0$ , so weit als möglich, klar zu stellen.

## C. Das Verhältniss zwischen der mittleren Geschwindigkeit $v$ und der Oberflächengeschwindigkeit in Strommitte $v_0$ .

### 1. F. $v_0 0,777 = Q$ , Vergleiche.

Aus den Messungswerthen  $F$  und  $v_0$  wurde, wie oben bemerkt, zunächst in der üblichen Weise unter Verwendung des Werthes  $a = 0,777$  die Wassermenge berechnet. Die gleichzeitig an benachbarten Messtellen ermittelten Wassermengen konnten dann mit einander verglichen werden. Es musste die Wassermenge, welche sich an der Messtelle an der Eder unterhalb der Schwalmündung ergab, gleich sein der Summe der Wassermengen der Schwalm und der Eder an den beiden Messtellen oberhalb des Zusammenflusses. (Blatt 4.)

Die ersten 3 gleichzeitigen Schwimmermessungen an diesen 3 Messtellen ergaben Folgendes:

10 Uhr Vrm. 1900		Messstelle			
		Schwalm	Eder	Summe	Eder
Tag	Monat	cbm	cbm	cbm	cbm
28	April	3,75	13,09	16,84	17,37
5	Mai	2,89	7,72	10,61	9,86
10	„	3,76	10,20	13,96	13,01

Die Uebereinstimmung konnte auch bei Flügelmessungen nicht viel grösser sein. Es sind dieses Messungen bei kleinem Wasser. Dieselben Uebereinstimmungen zeigten sich auch bei mittlerem Wasser. Die 3 letzten Messungen im Jahre 1900 an der Weser und der Diemel bei Karlshafen, welche bei sehr beständigem Wasser ausgeführt wurden, hatten folgendes Ergebniss:

10 Uhr Vrm. 1900		Messstelle			
		Weser oberhalb der Diemel- mündung cbm	Diemel cbm	Summe cbm	Weser unterhalb der Diemel- mündung cbm
Tag	Monat				
18	Dez.	153,22	17,44	170,66	174,65
21	„	126,08	16,67	142,75	140,57
28	„	120,91	14,93	135,84	131,03

Endlich bei Hochwasser:

Am 8. Dezember 1900 trat mittags der Scheitel der ersten Fluthwelle nach Beginn der Messungen ein. Die Messung um 10 Uhr Vrm. hatte folgendes Ergebniss:

Weser oberhalb der Diemelmündung	667,69	cbm
Diemel . . . . .	88,58	„
	<u>756,27</u>	cbm
Weser unterhalb der Diemelmündung	725,69	„ .

Die Messungen in der Weser oberhalb der Diemel und in der Diemel hatte der Wasserbauwart Schliewenz aus Karlshafen und ein Vorarbeiter ausgeführt. Unterhalb der Diemel wurde von dem Bauwart Eigendorff aus Höxter mit Arbeitern aus Herstelle gemessen. Dieser verliess mittags mit seinen Leuten die Messstelle. Um zu prüfen, wie das Ergebniss sein würde, wenn ein anderer Beobachter mit anderen Arbeitern dieselbe Messung ausführte, wurde mittags der Bauwart Schliewenz telegraphisch von Cassel aus angewiesen, mit seinen Arbeitern die Messungen in der Weser und Diemel zu wiederholen. Das Wasser war in der Weser stehend, in der Diemel langsam fallend. Der Weser-

pegel bei Karlshafen, nahe oberhalb der Diemelmündung, zeigte am 8. Dezember 1900:

Uhr	6	8	10	12	2	4	6
Pegelstand	3,51	3,55	<u>3,57</u>	3,59	<u>3,58</u>	<u>3,58</u>	3,57

Schliewenz hat zwischen 3 und 4 Uhr die Messungen an allen 3 Stellen wiederholt. Die folgende Zusammenstellung zeigt die Ergebnisse:

1900		Messtelle			
Tag	Monat	Weser oberhalb der Diemelmündung cbm	Diemel cbm	Summe cbm	Weser unterhalb der Diemelmündung cbm
8	Dez.				
10 Uhr	Vrm.	667,69	88,58	756,27	725,69 Eigendorff
3—4 Uhr	Nehm.	671,06	76,92	747,98	718,57 Schliewenz

Das Ergebniss war demnach fast genau dasselbe. (Vergl. auch die Messung vom 7. III. 01 bei beständigem Wasserstande = 3,67 Karlshafen, auf der folgenden Tabelle). Diese Uebereinstimmungen treten in ähnlicher Weise bei allen Messungen hervor. Damit ist aber noch nicht bewiesen, dass diese Zahlen nun den wirklichen Wassermengen, wie sie durch Flügelmessungen ermittelt werden, entsprechen. Denn offenbar werden sich dieselben Uebereinstimmungen ergeben, wenn man in der Formel

$$Q = F \cdot v_0 \cdot a$$

für  $a$  einen beliebigen anderen Werth einsetzt und damit die 3 zusammengehörenden Messungen ausrechnet.

## 2. $F \cdot v_0$ und $F \cdot v$ Vergleiche.

Wenn man zunächst  $a = 1$  setzt und damit ausschaltet, so ergibt sich Folgendes: Die Summe der Produkte  $F \cdot v_0$  von der Messtelle an der Weser oberhalb der Diemel und der Messtelle an der Diemel ist regelmässig nahezu gleich dem Produkte von  $F \cdot v_0$  von der Messtelle unterhalb der Diemelmündung. In der folgenden Tabelle sind die  $F \cdot v_0$  Werthe von sämtlichen gleichzeitigen Messungen zusammengestellt.

Vergleich der  $F \cdot v_0$  Werthe.

No.	Tag und Stunde der Messung	F · v <sub>0</sub> Werthe				Angabe, ob Wasserstand beständig = b steigend = st oder fallend = f	Bemerkungen
		Weser oberhalb der Diemel-mündung	Diemel	Summe Weser und Diemel	Weser unterhalb der Diemel-Mündung		
1	26. X 00 10V.	65,52	12,93	78,45	78,65	b	
2	19. X. 00 "	83,25	22,24	105,49	108,90	b	
3	16. X. 00 "	86,58	11,40	97,98	103,95	b	
4	5. X. 00 "	86,58	11,66	98,24	99,00	b	
5	14. XI. 00 "	92,80	12,93	105,73	106,88	b	
6	9. XI. 00 "	100,92	16,52	117,44	116,35	b	
7	4. XII. 00 "	112,24	17,11	129,35	125,29	b	
8	6. XI. 00 "	135,20	18,00	153,20	157,85	f	
9	30. XI. 00 "	137,28	19,52	156,80	159,12	b	
10	28. XII. 00 "	155,61	19,22	174,83	168,83	b	
11	21. XII. 00 "	162,26	21,45	183,71	180,91	b	
12	27. XI. 00 "	164,02	24,85	188,87	182,25	b	
13	18. XII. 00 "	197,20	22,45	219,65	224,77	b	
14	2. XI. 00 "	260,52	23,46	283,98	282,15	f	
15	14. XII. 00 "	270,56	32,37	302,91	295,96	f	
16	1. II. 01 10V.	344,02	58,65	402,67	386,28	f	
17	12. XII. 00 "	385,28	43,56	428,84	412,96	f	
18	31. I. 01 "	473,20	68,32	541,52	517,12	f	
19	10. XII. 00 "	595,20	61,36	656,56	639,21	f	
20	9. III. 01 "	626,00	59,36	685,36	715,92	f stark	
21	30. I. 01 "	757,12	97,15	854,27	820,44	f stark	
22	8. III. 01 "	813,66	71,40	885,06	892,32	f stark	
23	8. XII. 00 "	859,32	114,00	973,32	933,96	b	} Weser: Scheitel } Diemel: fallend
24	8. XII. 00 3N.	863,66	99,00	962,66	924,80	b	
25	7. III. 01 10V.	876,68	92,36	969,04	947,72	b	

In einer Flusstrecke ohne Seitenzuflüsse fließt bei stehendem Wasser bei allen Wasserständen durch alle Querschnitte dieselbe Wassermenge.  $Q$  ist konstant. Bezeichnen  $C$   $C_1$   $C_2$  verschiedene Konstante, so ist für die betrachtete Flusstrecke für alle Querschnitte und für einen beliebigen Wasserstand die Wassermenge

$$Q = F \cdot v = C.$$

Durch die Schwimmermessungen ist, wenn man den Querschnitt der Weser oberhalb der Diemel und der Diemel als einen Querschnitt betrachtet, nachgewiesen, dass bei allen Wasserständen, bei denen Beobachtungen gemacht wurden, gleichfalls das Produkt  $F \cdot v_0$  nahezu konstant ist

$$F \cdot v_0 = C,$$

dividirt man beide Gleichungen durch einander, so erhält man:

$$\frac{v}{v_0} = \frac{C}{C_1} = C_2 = a$$

$$(2) \frac{v}{v_0} = a$$

In einer Stromstrecke mit freiem Abfluss steht die mittlere Geschwindigkeit in einem nahezu konstanten Verhältniss zur Oberflächengeschwindigkeit in Strommitte.

Der Werth von  $a$  bleibt in derselben Stromstrecke nahezu unverändert, trotzdem Querschnittsgrösse und Gefälle sehr stark wechseln.

Oben war nachgewiesen:

In jeder längeren gleichmässigen Stromstrecke ist innerhalb der Begrenzungslinien  $a$   $b$  und  $A$   $B$  des trapezförmigen Theiles des Querschnittes bei freiem Abfluss die  $v_0$  Linie eine Gerade.

Die Zunahme der Oberflächengeschwindigkeit bleibt innerhalb der angegebenen Grenzen konstant.

Aus diesen beiden Sätzen ergibt sich der Dritte:

**In jeder längeren gleichmässigen Stromstrecke ist innerhalb der Begrenzungslinien  $a$   $b$  und  $A$   $B$  des trapezförmigen Theiles des Querschnittes bei freiem Abfluss die  $v$  Linie eine Gerade. Die Zunahme der mittleren Geschwindigkeit bleibt innerhalb der angegebenen Grenzen konstant.**

Dieses ist das Grundgesetz der Bewegung des Wassers in den Strömen.

### 3. $v_0$ u. $v$ , Geschwindigkeitslinien, Verhalten derselben.

Nach diesen Sätzen müssen beide Linien, die  $v_0$  Linie und die  $v$  Linie, welche beide Geschwindigkeitslinien genannt werden sollen, in gleichmässigen Stromstrecken ein gleiches Verhalten zeigen. Jede Aenderung der einen Linie muss an der anderen zu erkennen sein. Hat man für eine gleichmässige Stromstelle durch Schwimmermessungen festgestellt, dass die  $v_0$  Linie eine gerade ist, so muss auch die  $v$  Linie eine Gerade sein. Es genügen in diesem Falle einige Flügelmessungen zur Festlegung der  $v$  Linie, der regelmässige Verlauf derselben wird durch die  $v_0$  Linie sichergestellt. Sind in einer längeren Stromstrecke ohne erhebliche Seitenzuflüsse die Wassermengen für einen höheren und einen mittleren Scheitelwasserstand, deren Höhen an den Pegeln durch genaue Beobachtungen festgelegt sind, bekannt, so kann man aus Wassermenge und Querschnitt für jede passende Stelle dieser Stromstrecke, z. B. in der Nähe der Pegel, die  $v$  Linie herleiten. Aus der  $v$  und  $F$  Linie ergibt sich dann die Wassermengenlinie. Auf diese Weise kann man z. B. die Pegelbeziehungen ohne den Vergleich langjähriger Beobachtungen genau feststellen. Diese Untersuchung lässt

sich auch ohne Flügelmessungen durchführen, indem man statt der  $Fv$  Werthe die  $Fv_0$  Werthe vergleicht. Alle oben gemachten Ausführungen über das Verhalten der  $v_0$  Linien in längeren gleichmässigen Stromstrecken mit freiem Abfluss gelten auch für die ihnen nahe verwandten  $v$  Linien.

#### 4. Allgemeines Verhalten von $\frac{v}{v_0} = a$ .

Aus dem bisherigen Ergebniss, dass in einer Stromstrecke mit freiem Abfluss der Werth von  $a$  nahezu konstant bleibt, darf man nun nicht schliessen, dass  $a$  für alle Stromstrecken nahezu denselben Werth habe. Wenn auch die Querschnittsgrösse und das Gefälle keinen wesentlichen Einfluss auf  $a$  erkennen lassen, so ist der Werth von  $a$  doch offenbar abhängig von der Rauigkeit, von der Form des Bettes und von der mittleren Tiefe des Wassers. Die Einwirkung der Rauigkeit tritt hier nicht hervor, weil in der Weserstrecke bei Karlshafen die Rauigkeit an beiden Messtellen dieselbe ist. In einem Gerinne von grosser Rauigkeit, also mit einer unregelmässigen steinigen Sohle, unregelmässigen (z. B. mit Weiden bestandenen) Ufern, wird ein erheblicher Theil der Wassermasse, soweit er die Sohle und die Wände berührt, oder von den, von den Rauigkeiten ausgehenden Wirbeln beeinflusst wird, im Abfluss verzögert. Die Geschwindigkeit der Gesamtmasse  $v$  wird erheblich kleiner sein als die durch die Rauigkeit des Bettes weniger beeinflusste Oberflächengeschwindigkeit in Strommitte  $v_0$ . In einem sehr glatten Gerinne wird sich dagegen, weil die Reibung an der Sohle und an den Wänden sehr klein ist, die Gesamtmasse beinahe ebenso rasch fortbewegen wie das Wasser an der Oberfläche in der Mitte des Gerinnes.  $v$  die Geschwindigkeit der Gesamtmasse, wird nur wenig kleiner sein als  $v_0$ ,  $a$  wird sich dem Werth 1 nähern. Man kann aus dieser Betrachtung den Satz ableiten: Je geringer die Rauigkeit, desto grösser ist  $a$ .

Der Werth von  $a$  wird daher von der Quelle bis zur Mündung der Ströme entsprechend der Abnahme der Rauigkeit zunehmen.

Bezüglich des im ersten Theile abgeleiteten Werthes  $\frac{v}{v_0 f} = 0,777$  muss daher die Beschränkung gemacht werden, dass er nur für den Rauigkeitsgrad der untersuchten Stromstrecken zutrifft. In der Weser bis nahe unterhalb der Diemelmündung und ihren Quellflüssen ist die Rauigkeit jedenfalls grösser.  $a$  muss daher kleinere Werthe aufweisen als 0,777.

Ebenso wie die Rauigkeit hat auch die Form des Bettes und die mittlere Tiefe des Wassers Einfluss auf die Grösse von  $a$ . In einer Stromstrecke mit sehr flachen Ufern oder mit breiten Banketts in Mittelwasserhöhe, gebildet durch Buhnen oder vorgeschobene Parallelwerke, bewegt sich der über die Uferstreifen oder über die Banketts

mit geringer Tiefe abfliessende Theil des Wassers mit viel geringerer Geschwindigkeit als das Wasser in dem tiefen Bette in der Mitte des Stromes. Die Geschwindigkeit der Gesamtmasse  $v$  wird demnach klein sein im Vergleich zu  $v_0$ . Sind umgekehrt die Ufer sehr steil (z. B. Kaimauern), so ist die Tiefe bei hohen Wasserständen im ganzen Querschnitt gleichmässiger, das Wasser bewegt sich auch am Rande des Flusses mit erheblicher Geschwindigkeit.  $v$  wird demnach gross sein im Vergleich zu  $v_0$ . Bei flachen Ufern ist demnach  $a$  kleiner als bei steilen Ufern. Je kleiner der Theil des Wassers ist, welcher über die Sohle abfließt im Vergleich zu dem über die Uferstreifen fliessenden Wasser, desto kleiner wird  $a$  werden. Bei Flüssen von geringerer Breite ist demnach der Einfluss von flachen Ufern grösser als bei breiten Strömen. Der Einfluss der Neigung der Uferböschungen auf  $a$  ist um so grösser, je kleiner die Sohlenbreite des Flusses ist. In einer bestimmten Stromstrecke ist die Sohlenbreite für alle Wasserstände konstant. Die Breite der Uferstreifen, auf denen das Wasser langsamer fliesst, nimmt dagegen beim Wachsen des Wassers zu. Daher ist zu erwarten, dass  $a$  mit steigendem Wasser etwas kleiner wird.

### 5. Verhalten von $a$ in einer bestimmten Stromstrecke.

Durch den Vergleich der  $F v_0$  Werthe wurde oben nachgewiesen, dass für die Weser bei Karlshafen  $a$  nahezu konstant sein müsse, dass also keine erhebliche Schwankung dieses Werthes zu erwarten sei. Die zahlreichen Schwimmermessungen in dieser Stromstrecke, von denen mehrere durch ihre gute Uebereinstimmung besonders Vertrauen verdienen, gestatten nun das Verhalten von  $a$  noch näher zu untersuchen. Wir bezeichnen der Abkürzung halber die Messtelle an der Weser oberhalb der Diemelmündung mit I, an der Diemel mit II und an der Weser unterhalb der Diemelmündung mit III. (Blatt 4). Der Vergleich der  $F v_0$  Werthe lehrt nun, dass die Werthe für III bei hohem Wasser (mit Ausnahme der beiden Messungen vom 8. und 9. März 1901) stets etwas kleiner ausfallen als die Summen der Messtellen I und II. Der Unterschied nimmt augenscheinlich mit wachsendem Wasser zu. Dieses Verhalten deutet darauf hin, dass der Werth von  $a$  bei höherem Wasser für III etwas grösser sein muss als für I. Wenn man die Diemel ausschaltet, so muss die gleichzeitige Wassermenge  $Q = F v_0 a$  dieselbe sein bei I und bei III also

$$\begin{aligned} & \text{I} & \text{III} \\ & F v_0 a = F v_0 a \\ (3) & \frac{a \text{ I}}{a \text{ III}} = \frac{F v_0 \text{ III}}{F v_0 \text{ I}} \end{aligned}$$

In einer Stromstrecke mit freiem Abfluss verhalten sich die  $a$  Werthe umgekehrt wie die  $F v_0$  Werthe.

Für die Messungen am 8. Dezember Vormittags

10 Uhr ist  $F v_0$  für III . . . . . = 933,96

zieht man hiervon  $F v_0$  für II ab . . . . . = 114,00

so ergibt sich für III ohne Diemel  $F v_0$  . . . . . = 819,96

für I ist  $F v_0$  . . . . . = 859,32

demnach  $\frac{a I}{a III} = \frac{820}{859} = 0,9546$ .

Für die Messungen am Nachmittage desselben Tages ergibt sich

$$\frac{a I}{a III} = \frac{826}{864} = 0,9560.$$

Im Mittel ergibt sich aus beiden Messungen

$$a I = \frac{0,9546 + 0,9560}{2} \cdot a III.$$

$$a I = 0,9553 a III.$$

Während für kleinere und mittlere Wasserstände die  $a$  Werthe fast gleich sind, wird  $a I$  im Vergleich zu  $a III$  mit steigendem Wasser merklich kleiner. Da die Geschwindigkeitslinien Gerade sind, so muss,

wenn man das Verhältniss von  $\frac{a I}{a III}$  für kleines Wasser = 1 setzt,

mit steigendem Wasser eine allmähliche gesetzmässige Abnahme auf  $\frac{a I}{a III} = 0,9553$  eintreten. Diese Abnahme wird auch über den Stand

vom 8. Dezember 1900 andauern, solange die Stromstrecke gleichmässig bleibt und der Abfluss durch Stau nicht verzögert oder durch eine Entlastung nicht beschleunigt wird. Die  $a$  Werthe lassen sich durch Linien darstellen, welche zwar nahezu parallel zur Ordinatenaxe verlaufen, aber sich ihr doch bei höherem Wasser etwas nähern. (Blatt 4.)

Mit Hülfe der Verhältnisszahl  $\frac{a I}{a III}$  lässt sich der Werth von  $a III$

aus den durch Flügelmessungen ermittelten Werthen von  $a I$  genau berechnen. Die so berechneten Werthe von  $a III$  und die aus Flügel- und Schwimmermessungen an der Messtelle III abzuleitenden Werthe von  $a III$  müssen gleich sein. Auf diese Weise können die Ergebnisse der Messungen an benachbarten Messtellen geprüft werden. Bei Karlshafen wird diese Prüfung etwas erschwert dadurch, dass erst die Diemel ausgeschaltet werden muss. Wenn nun auch zu erwarten steht, dass der  $a$  Werth von der Diemel etwas von den für die Weser geltenden Werthen abweicht, so kann doch bei der verhältnissmässig geringen Grösse dieser Abweichung und bei der im Vergleich zur Weser geringen Grösse der Produkte  $F v_0$  von der Diemel ein wesentlicher Fehler bei der Ermittlung der Beziehungen der beiden Wesermesstellen zu einander nicht gemacht werden. Zwischen Münden und Karlshafen erhält die Weser keine Zuflüsse von Bedeutung. Für jede

beliebige Zwischenstrecke lässt sich der Werth von  $a$  durch Vergleich der  $F v_0$  Werthe mit denen von der Messtelle I berechnen. Für kleine und mittlere Wasserstände ist anzunehmen, dass der Werth von  $a$  auf dieser Strecke nahezu konstant ist. Sobald in einer Stromstrecke bei wachsendem Wasser die Gleichmässigkeit des Abflusses aufhört z. B. beim Eintritt von Entlastungen beim Uebersteigen der Ufer, bei Stauungen, hört auch das gesetzmässige Verhalten der  $a$  Werthe auf. Die Beziehung zwischen den Geschwindigkeitslinien erleidet eine Störung.

### 6. Ermittlung von $a$ durch Flügel- und Schwimmermessungen.

Nachdem so das Verhalten der  $a$  Werthe im Allgemeinen und für eine bestimmte Stromstrecke gekennzeichnet, handelt es sich weiter um die Ermittlung der Grösse dieser Werthe und ihres Verhaltens für bestimmte Messtellen. Beides kann nur durch den Vergleich der Oberflächengeschwindigkeit  $v_0$  mit der aus Flügelmessungen abzuleitenden mittleren Stromgeschwindigkeit  $v$  ermittelt werden.

Für die Weser konnte zunächst auf 8 ältere Flügelmessungen zurückgegriffen werden, welche in den Jahren 1878—1886 unterhalb Münden in einer gleichmässigen Stromstrecke ohne Buhnen bei kleinem und mittlerem Wasser ausgeführt wurden. Wenn man aus den 8 Messungen den Mittelwerth von  $\frac{v}{v_0 f}$  berechnet, so ergibt sich derselbe zu 0,691.

Zur weiteren Klärung des Verhältnisses von  $v_0$  für die obere Weser wurden zahlreiche Flügel- und Schwimmermessungen an der Messtelle oberhalb der Diemelmündung ausgeführt. Die  $v$  und  $v_0$  Werthe sämmtlich auf N. N. bezogen und die zugehörigen  $a$  Werthe sind auf Blatt 2 angegeben. Der zu  $v$  gehörige  $v_0$  Werth wurde (siehe oben) bis zur Verbindungslinie der benachbarten Punkte gemessen. Die so ermittelten Werthe wurden als  $v_{01}$  Werthe bezeichnet.

Die  $v$  Linie nach den Flügelmessungen ist, wie oben zunächst aus ihrer Beziehung zur  $v_0$  Linie abgeleitet, oberhalb der Buhnen in dem trapezförmigen Theile des Querschnitts bis nahe zur Bordhöhe wirklich eine Gerade. Der Werth von  $a$  nimmt entsprechend dem stetigen Verhalten der beiden Geschwindigkeitslinien mit steigendem Wasser stetig ab. In der Nähe der Bordhöhe weichen die  $v$  Werthe von der  $v$  Linie erheblich ab. Als Ursache dieser Abweichungen ist durch örtliche Aufmessungen nachgewiesen, dass innerhalb und unterhalb der Messstrecke beim Ueberschreiten der Bordhöhe eine vorübergehende Entlastung nach einer Hochwassermulde am linken Ufer eintritt. Die Entlastung hört auf, sobald das Vorland in ganzer Ausdehnung überfluthet wird.

Für die Messtelle unterhalb der Diemelmündung konnte ebenfalls eine Anzahl von Flügelmessungen herangezogen werden. Von den

Messungen bei hohem Wasser war nur die Ordinate des Wasserstandes und die Wassermenge bekannt. Zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeit wurden die Wasserquerschnitte mit Hülfe der F Linie vermittelt. Die zugehörigen  $v_0$  Werthe wurden mit Hülfe der benachbarten  $v_0$  Werthe ermittelt. Durch Division der  $v$  Werthe durch die  $v_0$  Werthe ergaben sich die Werthe von  $a$ . In dieser Messtelle befinden sich nur ganz kleine Buhnen am rechten Ufer, welche verschüttet sind. Der Querschnitt ist bis zur Bordhöhe ein Trapez über der N. W. Linie. Beide Geschwindigkeitslinien steigen vom Niedrigwasser als gerade Linien stetig an.

Wenn man die  $a$  Werthe von den beiden Wesermesstellen bis zu einer Wasserführung von etwa 100 cbm, soweit dieselben ermittelt wurden, mit einander vergleicht, so ergibt sich Folgendes: Für die Messtelle oberhalb der Diemel ist  $a$  als Mittelwerth aus 10 Messungen = 0,688, für die Messtelle unterhalb der Diemel  $a$  aus 8 Messungen = 0,704. Die Abweichungen vom Mittelwerth sind an beiden Messtellen nicht erheblich. Stellt man die Mittelwerthe von  $a = \frac{v}{v_0}$  von den 3 hier erwähnten Wesermesstellen zusammen, so ergibt sich für die Wasserführung bis etwa 100 cbm

Messtelle unterhalb Münden . . . . .	$a = 0,691,$
„ oberhalb der Diemelmündung	$a = 0,688,$
„ unterhalb der Diemelmündung	$a = 0,704.$

Der  $a$  Werth ist demnach auf dieser Strecke fast konstant.

Für das Hochwasser vom 8. Dezember ergibt sich, wenn man die  $v$  Werthe mit Hülfe der  $v$  Linie und ebenso die  $v_0$  Werthe mit der  $v_0$  Linie ermittelt, das Verhältniss  $\frac{a I}{a III} = \frac{0,641}{0,669} = 0,9581$ . Dieser Werth kommt dem oben nur auf Grund der Schwimmermessungen berechneten Werthe von  $\frac{a I}{a III} = 0,9553$  sehr nahe. Das abweichende Verhalten von  $a I$  und  $a III$  bei steigendem Wasser ist auf die durch die verschütteten Buhnen gebildeten Bankette bei I zurückzuführen (vergleiche Nachweis am Schlusse). Während im Oberlauf der Weser bis unterhalb der Diemelmündung der Werth für kleineres und Mittelwasser von  $a$  zu 0,691, 0,688 und 0,704, im Mittel zu 0,694 berechnet wurde, fand der Regierungs-Baumeister Soldan bei Flügelmessungen im Unterlauf der Weser, bei Baden und Dreye unterhalb der Allermündung bei niedrigem Wasser  $\frac{v}{v_0 f} = 0,83$  bis 0,84.

Leitet man, wie bei den anderen neueren Messungen an der Weser mit Hülfe der Verhältnisszahl  $v_0 = 1,024 v_0 f$  den Werth von  $\frac{v}{v_0}$  ab, so ergibt sich derselbe zu 0,82.

### 7. Schätzung von $a$ für die Weser.

Die vorhandenen Unterlagen gestatten, den Werth von  $a$  von Münden bis Bremen zu schätzen. Im Theil I sind 7 Messungen von der Weser bei Rinteln mitgetheilt. Berechnet man aus diesen die  $\frac{v}{v_0 f}$  Werthe und nimmt das Mittel, so ergibt sich Folgendes:

$$\frac{v}{v_0 f} = \frac{0,721 + 0,757 + 0,767 + 0,724 + 0,769 + 0,808 + 0,760}{7} =$$

$$a = 0,758.$$

Die Schätzungswerthe für  $a$  für niedriges und mittleres Wasser sind folgende:

Münden-Karlshafen . . . . .  $a = 0,69$

Rinteln . . . . . „ = 0,76

Baden . . . . . „ = 0,82.

(Vernachlässigt ist hier für die älteren Messungen unterhalb Münden und bei Rinteln der unbekante, wahrscheinlich kleine, Unterschied zwischen  $v_0$  und  $v_0 f$ . Derselbe ist abhängig von der Bestimmung des Koefficienten des Flügels.) Der  $a$  Werth für Niedrig- und Mittelwasser nimmt flussabwärts zu. Die Schätzungswerthe können nur ganz im Allgemeinen Anspruch auf Wahrscheinlichkeit machen. Im Einzelnen werden sich namentlich durch die Querschnittsform bedingte Abweichungen ergeben. (Es wurde auch beobachtet, dass durch Stau  $v_0$  rascher abnimmt als  $v$  und daher  $a = \frac{v}{v_0}$  grösser wird.) Mit wachsendem Wasser nehmen die  $a$  Werthe, entsprechend der Gestaltung der Stromstrecken, gesetzmässig ab.

### D. Der Verlauf der Geschwindigkeitslinien.

In dem ersten Abschnitte über die  $v_0$  Linie ist zunächst nur das Verhalten der Geschwindigkeitslinien in gleichmässigen Stromstrecken mit einfachen Querschnitten dargestellt. Es sind ausgeschieden die Erscheinungen in ungleichmässigen Stromstrecken und die Entwicklung der Geschwindigkeit des Wassers in gleichmässigen Stromstrecken mit zusammengesetzten Querschnitten.

#### 1. Geschwindigkeitslinien in ungleichmässigen Stromstrecken.

Ungleichmässige Stromstrecken sind solche Theile des Flusslaufes, in denen Strecken mit weiten und engen Querschnitten wechseln. Die Messtellen an der Schwalm, an der Eder oberhalb und unterhalb der Schwalm-mündung, an der Fulda unterhalb Bonafort und an der Diemel liegen in solchen ungleichmässigen Strecken. Die Ströme durchziehen an diesen Stellen weite flache Wiesenthäler. Beim Ueberschreiten der Bordhöhe breitet sich das Hochwasser ganz ungleichmässig aus, je nach der Höhenlage der Ufer. Das Ansteigen des Wassers in den Messstellen und unterhalb derselben erfolgt ungleichmässig, dem entsprechend

wird auch die Entwicklung der Strömung und damit der Verlauf der Geschwindigkeitslinien ein anderes Bild zeigen.

#### Stauwirkung von Engstellen.

Wenn unterhalb einer weiten, flachen Thalebene eine Stromstrecke mit engen Querschnitten liegt, so steigt in dieser Engstelle das Hochwasser rasch bis zu aussergewöhnlicher Höhe an, der Rückstau setzt das Thal hoch unter Wasser. Es tritt dann oberhalb der Enge ein Zustand ein, den man in den Beschreibungen von grossen Hochwassern so dargestellt findet: „das ganze Thal, so weit das Auge reichte, war ein See“. Ist das Thalgefälle in diesen Weitstrecken, wie dieses häufig der Fall, gering, so kann ein durch eine Enge verursachter Stau sehr weit aufwärts wirken. Nimmt man an, dass in der Enge und oberhalb derselben der Strom bis Bordhöhe gleichmässig sei und freien Abfluss besitze, so wird in einer oberhalb der Enge gelegenen Messtrecke die  $v_0$  Linie gerade sein, bis über Bordhöhe der Stau von unten herankommt. In dem Thal breitet das Wasser sich aus, der Querschnitt wird immer grösser, die Geschwindigkeit lässt dementsprechend nach. Bei grossem Hochwasser ist schliesslich die Strömung so gering, dass man auf dem Strom, der bei mittlerem Hochwasser in der Bordhöhe reissend war, mit einem Nachen wie auf einem See umherfahren kann. Die  $v_0$  Linie wird die Form, Blatt 1, Abb. 16 zeigen. Die Enge beherrscht den Wasserstand in dem Thale während der Hochfluth so vollständig, dass Abflusshindernisse des kleinen, mittleren und höheren Wassers, sogar feste Wehre auf die Höhe des grössten Hochwassers ganz ohne Einfluss sind. Sie werden, wie das ganze Thal, hoch überfluthet. Ihr Vorhandensein ist nicht mehr zu erkennen. Wollte man sie beseitigen, so würde damit nicht die geringste Einwirkung auf die Hochwasserhöhe erzielt werden. Andere Abflusshindernisse z. B. Brückenpfeiler, Rampen wirken dagegen in solchen Niederungen um so weiter stromauf, je geringer das Gefälle des Thales ist.

#### Wirkung von Entlastungen.

Liegt unterhalb einer engen Hochwasserstrecke ein weites flaches Flussthal, in dem sich das Hochwasser weit ausdehnen kann, so wird die  $v_0$  Linie in der Engstrecke die Form Abb. 17 annehmen. Sobald der Strom beim Ansteigen in dem weiten, flachen Thal die Bordhöhe überschreitet, steigt das Wasser in der Enge stärker als in dem Thal, die Geschwindigkeit wird also in dem unteren Theil der engen Strecke plötzlich zunehmen. Diese Verhältnisse verursachen die Entwicklung der Oberflächengeschwindigkeit in der Messtrecke an der Diemel. Diese, ein Fluss von 30 m Spiegelbreite in der Bordhöhe und 2,60 m mittlerer Tiefe, schlängelt sich durch ein weites Wiesenthal. Während in der Messtelle das linke Ufer hochwasserfrei liegt und das rechte bald ansteigt, ist nahe unterhalb derselben das Thal sehr weit und

flach. Sobald die Bordhöhe überschritten wird, ergiesst sich der Strom in das breite Thal. Es entsteht plötzlich ein starkes Gefälle in der verhältnissmässig engen Messtrecke und damit erfolgt eine starke Geschwindigkeitszunahme. Diese Beobachtung lehrt, dass zum Nachweis des gleichmässigen Ansteigens der  $v_0$  Linie im Stromschlauch über Bordhöhe in einer Messtrecke gehört, dass unterhalb derselben noch auf eine längere Strecke Querschnitte von nahezu gleicher Breite und Tiefe vorhanden sind. Dieses ist festzustellen durch Aufmessung der Querschnitte und durch Feststellung der Gefälle des Flussbettes einschliesslich der Vorländer.

Die Entlastungen sind von sehr grosser Bedeutung für den Abflussvorgang, weil sie eine wesentliche Ermässigung der Hochwasserhöhe herbeiführen. Denkt man sich die Entlastung durch einen Deich abgeschnitten, so wird das Wasser oberhalb desselben in die Höhe getrieben. Die  $v_0$  Linie behält das Neigungsverhältniss wie im unteren Theile bei Abb. 18. Das Wasser muss so hoch steigen, bis dass  $F \cdot a \cdot v_0$  gleich der Wassermenge ist. Man kann also leicht nachweisen, welche Ermässigung der Hochwasserhöhe der Entlastung zu verdanken ist.

## 2. Geschwindigkeitslinien in gleichmässigen Stromrinnen mit freiem Abfluss und zusammengesetzten Querschnitten.

An der Wesermesstelle unterhalb der Diemelmündung fand die höchste Messung 0,56 m über Bordhöhe statt. Der letzte Punkt fällt wieder fast genau in die Richtungslinie der  $v_0$  Werthe. Die Untersuchung dieser Strecke hat ergeben, dass noch bis km 47,8, also bis 1100 m unterhalb der Messtelle, die Querschnitte bis zum H. H. W. von nahezu gleicher Breite und Tiefe sind. Unterhalb km 47,8 beginnt dann auf dem rechten Ufer eine grosse Entlastung. Die Senkung des Hochwasserspiegels erfolgt aber allmählich, weil an dieser Stelle zwar das Vorland breit wird, dafür aber der Stromschlauch sich wesentlich verengt. Jedenfalls äussert die Entlastung ihre Wirkung nicht bis zur Messtelle aufwärts. Der Hochwasserstrom wird durch die Häuser der beiden Dörfer Herstelle und Würgassen wie durch eine Deichanlage begrenzt und geführt. Da auch eine Stauung nicht nachweisbar ist, so kann man die Stromstrecke als eine gleichmässige Hochwasserrinne mit freiem Abfluss bezeichnen. Denkt man sich die Vorländer durch Wände in der Neigung der Böschungen nahe der Bordhöhe, welche im Mittel 3 fach anzunehmen ist, abgetrennt, so steigen in dem so hergestellten trapezförmigen Querschnitt (Abb. 19 und Blatt 3) die Geschwindigkeitslinien als Gerade bis zum H. H. W. an. Das Neigungsverhältniss der beiden Linien beträgt bis zur Beobachtungsgrenze  $+ 99,19 \text{ 1} : 0,2145$  und  $1 : 0,3317$ . Danach berechnen sich  $v_{0,1}$  und  $v_1$  für H. H. W.  $= + 101,76$  zu 1,90 und 2,88. Der Werth von  $a_1$  nimmt bis auf 0,659

ab. Auf Blatt 4 ist der Verlauf der Linien dargestellt. Es sind hier statt der gemessenen  $v$  und  $v_0$  Werthe, diese Werthe bis zu den  $v$  und  $v_0$  Linien, also die  $v_1$  und  $v_{01}$  Werthe eingeführt, dieselben unterscheiden sich sehr wenig von den gemessenen Werthen.

Die Geschwindigkeit des Wassers auf den Vorländern lässt sich auf folgende Weise berechnen. Man kann annehmen, dass die Vorlandstreifen dieselbe Neigung besitzen wie das eigentliche Flussbett, dass also die Geschwindigkeitszunahme über diesen Streifen in gleicher Weise erfolgt wie im Flussbett vom Anfang der Bewegung an. Man denke sich die beiden Streifen zu einem Gerinne vereinigt. Die Tiefe unter H. H. W. beträgt 3,25 m. In dieser Höhe über dem Anfang der Bewegung beträgt im Flussbett  $v_0 = 1,30$ . Das Vorland am linken Ufer ist theilweise durch quer gezogene Hecken versperrt. Der Werth von  $a$  wird daher nicht höher als 0,60 anzunehmen sein,  $v$  ist demnach:

$$0,60 \cdot 1,30 = 0,78.$$

Die mittlere Geschwindigkeit  $v$  im Gesamtquerschnitt des Hochwassers von 1841 berechnet sich wie folgt: Der mittlere Gesamtquerschnitt der Messtrecke beträgt 1170 qm.

Der Inhalt des Stromschlauches bis Bordhöhe beträgt 581,75 qm

Der 3,25 m hohe Hochwasserraum (Abb. 19) darüber,

begrenzt von den 3 füss. geneigten Wänden, ent-

$$\text{hält } 134 \cdot 3,25 + \frac{2 \cdot 3,25 \cdot 9,75}{2} \cdot \cdot \cdot = \underline{\underline{467,19 \text{ „}}}$$

Summe 1048,94 qm

Es bleiben für die Vorländer

$$1170 - 1049 = 121 \text{ qm.}$$

Die Wassermenge beträgt demnach

$$1040 \cdot 1,90 + 121 \cdot 0,78 = 2088 \text{ cbm.}$$

Die mittlere Geschwindigkeit  $v$  im Gesamtquerschnitt beträgt bei H. H. W.

$$v = \frac{2088}{1170} = 1,78 \text{ m.}$$

Die  $v$  Linie wird demnach durch den Hinzutritt des Vorlandes bis zum H. H. W. um  $1,90 - 1,79 = 0,11$  aus ihrer Richtung abgelenkt. Es ist anzunehmen, dass die  $v_0$  Linie sich ähnlich verhalten wird wie die  $v$  Linie. Die Ablenkung beider Linien beginnt dort, wo in Bordhöhe die Verbreiterung erfolgt.

Für die Wesermesstelle oberhalb der Diemelmündung ist gleichfalls durch Aufmessung und Berechnung der Hochwasserquerschnitte festgestellt, dass diese Stromstrecke für das höchste Hochwasser eine nahezu gleichmässige Rinne bildet. Es tritt weder eine Stauung noch eine Entlastung ein. An dieser Messtelle ist nur auf dem linken Ufer ein Vorland vorhanden (Abb. 20 und Blatt 2). Auf dem rechten Ufer wird das Hochwasserbett begrenzt durch den Eisenbahndamm. Denkt

man sich hier wieder das Vorland durch eine Wand von 3füssiger Neigung abgegrenzt, so gehen die Geschwindigkeitslinien als Gerade durch bis zum H. H. W. Der Verlauf der Linien ist auf Blatt 4 dargestellt. Es ergibt sich:

$$\begin{aligned}v_{01} &= 3,24, \\v_1 &= 1,98, \\a_1 &= 0,611.\end{aligned}$$

Die Geschwindigkeit des Wassers auf dem Vorlande berechnet sich wie folgt: Durch die Buhnenanlage ist der Abfluss beschleunigt. Es muss daher zur Ermittlung des  $v_0$  auf dem Vorlande die  $v_0$  Linie, welche an dieser Stelle vor Anlage der Buhnen von dem Wasser eingehalten wurde, benutzt werden. Diese ergibt sich aus folgender Ueberlegung: Bei ganz kleinem Wasser ist, da der Querschnitt durch die Buhnenanlage (Blatt 2) nicht merkbar verändert ist, die Geschwindigkeit an dieser Stelle jetzt noch nahezu ebenso gross, wie vor der Buhnenanlage. Ebenso kann man annehmen, dass die Geschwindigkeit beim höchsten Hochwasser jetzt noch nahezu ebenso gross ist, wie vor dem Buhnenbau. Die alte  $v_0$  Linie ergibt sich als die Verbindungslinie zwischen dem jetzigen  $v_0$  bei kleinem Wasser und dem jetzigen  $v_0$  bei H. H. W. (vergleiche die  $v_0$  Linie unterhalb der Diemelmündung). Diese Linie ist auf Blatt 4 als » $v_0$  Linie ohne Buhnen« bezeichnet. An dieser Linie wird das  $v_0$  für das Vorland gemessen. Die Tiefe unter H. H. W. auf dem Vorland beträgt 3,8 m. Demnach  $v_0$  gleich dem  $v_0$  im Stromschlauch bei 3,8 m über dem Anfang der Bewegung  $= 1,80$ . Das Vorland ist eine glatte Wiese;  $a$  wird desshalb gross sein, es wird zu 0,80 angenommen, demnach  $v = 1,80 \cdot 0,80 = 1,44$ .

Die mittlere Geschwindigkeit  $v$  im Gesamt-Hochwasserquerschnitt von 1841 berechnet sich wie folgt: Der mittlere Gesamtquerschnitt der Messstrecke beträgt 1045 qm.

Inhalt im Stromschlauch bis Bordhöhe . . . . . 481,50 qm,  
der 2,96 m hohe Hochwasserraum darüber enthält

$$124 \cdot 2,96 + \frac{8,88 \cdot 2,96}{2} + \frac{3,7 \cdot 2,96}{2} = \dots 385,66 \text{ „}$$

Summe . . . . . 867 qm.

Bleiben für das Vorland . . . . . 178 „

Die Wassermenge beträgt

$$867 \cdot 1,98 + 178 \cdot 1,44 = 1973 \text{ cbm.}$$

Die mittlere Geschwindigkeit

$$v = \frac{1973}{10,45} = 1,89 \text{ m.}$$

Die Ablenkung der  $v_0$  Linie beträgt demnach nur  $1,98 - 1,89 = 9$  cm.

Der Antheil der Diemel an der Wassermenge der Weser beim höchsten Stande 1841 ergibt sich zu

$$2088 - 1973 = 115 \text{ cbm.}$$

Die spitze Diemelwelle eilt erfahrungsmässig der Weserwelle voraus. Der verhältnissmässig geringe Beitrag von 115 cbm erklärt sich daraus, dass die Diemel bei Eintritt des Scheitels in der Weser bereits wieder in ihr Bett zurückgetreten war.

Ebenso wie über das höchste Hochwasser, geben die Geschwindigkeitslinien auch eine Vorstellung von dem Abflussvorgang bei sehr kleinem Wasser. Die Messungen reichen bis  $-0,26$  am Pegel, das N. N. W. 1893 liegt auf  $-0,78$ . An der Messtelle oberhalb der Dielmündung würde die Sohle, wenn die Wassermenge der Weser bis auf 0,0 cbm abnähme, trocken werden. Der Anfang der Bewegung liegt also in der Höhe der Sohle, hier sind  $v$  und  $v_0 = 0,0$ . Von dem N. N. W. 1893 ist bekannt, dass die Fulda etwa 3 cbm geführt haben soll. Wenn man die  $v$  Linie gradlinig nach unten verlängert, so ergibt sie bei  $-0,78$  eine Geschwindigkeit von 0,34 und bei 20 qm Querschnitt eine Wassermenge von 6,8 cbm. Die Geschwindigkeit wird, wenn die Weser einmal ganz austrocknen sollte, unter der N. N. W. Linie allmählich bis auf Null an der Sohle abnehmen.

Unterhalb der Dielmündung beträgt der Wasserquerschnitt bei N. N. W. noch 80 qm. Nimmt man die Wassermenge hier nach der Beisteuer der Diemel zu 8 cbm. an, so beträgt  $v = 0,10$  m. Etwa 15 cm unterhalb N. N. W. muss der Anfang der Bewegung liegen. Diese Höhe wird etwa dem tiefsten Punkte der Sohle, wie sie 1893 unterhalb der Messtelle lag, entsprechen. Die Geschwindigkeitslinien von den beiden Messtellen zeigen den Abflussvorgang in einer Strecke mit flachen Querschnitten und in einem weiten und tiefen Bette. Der Vergleich zeigt die Wirkung eines breiten und tiefen Niedrigwasserbettes auf den Abfluss. Die obere Messtelle lässt die Einwirkung der Buhnen auf die Geschwindigkeitszunahme erkennen. Sie zeigt den Verlauf der Geschwindigkeitslinien in zusammengesetzten Querschnitten bei freiem gleichmässigem Abfluss.

### 3. Die Entwicklung der Geschwindigkeit in gleichmässigen Stromstrecken mit freiem Abfluss mit einfachen und zusammengesetzten Querschnitten.

In Stromstrecken mit einfachen Querschnitten findet bei freiem Abfluss der Uebergang der Geschwindigkeitslinie zur Geraden, wie die Darstellungen von der Weser Blatt 4 zeigen, schon nahe über N. W. statt. Man kann für die bisher mit a b bezeichnete untere Grundlinie des Trapezes eine bestimmte oberhalb des Uebergangs der  $v$  Linie zur Geraden, nahe bei N. W. gelegene, Wasserstandslinie einführen. Die Höhe dieses Wasserstandes sei  $z$  am Pegel. Der Pegelstand  $z$  ist in einer gegebenen Stromstrecke durch die Pegelbeobachtungen für jeden Querschnitt bekannt. Es sei für die Höhe  $z$  die mittlere Geschwindigkeit  $= v$  (Abb. 21). Da Wassermenge und Wasserstand  $z$  für alle

Querschnitte einer gegebenen Stromstrecke bekannt sind, so ist auch  $v$  bekannt. Von  $\mathfrak{z}$  bis Bordhöhe ist die mittlere Geschwindigkeit

$$(4) \quad v = v + c z.$$

**Dieses ist der Ausdruck für das Grundgesetz der Bewegung des Wassers in den Strömen.**  $c$  ist die Neigung der  $v$  Linie auf 1 m Höhe,  $z$  die Höhe des Wasserstandes über  $\mathfrak{z}$ . In gleicher Weise ist  $v_0 = v_0 + c_0 z$ ,  $c_0$  ist die Neigung der  $v_0$  Linie auf 1 m Höhe. Daraus ergibt sich:

$$(5) \quad \frac{v}{v_0} = a = \frac{v + c z}{v_0 + c_0 z}.$$

Nach dieser Formel sind auf Blatt 4 die  $a_1$  Werthe für die Bewegung im Stromschlauch für die Wesermesstelle unterhalb der Diemel-mündung bis zum H. H. W. berechnet. Die gleiche Rechnung ist für die Messtelle oberhalb der Diemel durchgeführt, jedoch ist hier ein Wasserstand  $\mathfrak{z}$  oberhalb der Bühnenwurzeln eingeführt. Da diese Werthe sämtlich Rechnungswerthe sind, wurden sie auf Blatt 4 zum Unterschiede von den Beobachtungswerthen mit  $v_1$   $v_{01}$   $a_1$  bezeichnet.

Von der Entwicklung der mittleren Geschwindigkeit in einem zusammengesetzten Querschnitte giebt zunächst die  $v$  Linie von der letztgenannten Messtelle oberhalb der Bühnen ein Bild. Die Geschwindigkeitslinie biegt nach der Ordinatenaxe zu. Den Verlauf der  $v$  Linie oberhalb der Bordhöhe kann man auf folgende Weise ermitteln. Man kann, wie schon oben gesagt, annehmen, dass die Geschwindigkeit auf dem Vorlande in gleicher Weise vom Anfang der Bewegung an zunimmt, wie im Strombett. Die Verschiedenheit, welche durch die Rauigkeit herbeigeführt wird, soll zunächst der Einfachheit halber ausser Betracht bleiben. Es ist dann auf dem Vorlande in der Höhe  $\mathfrak{z}$  über A B  $v = \mathfrak{V}$  (Abb. 22). Bezeichnet man in dieser Höhe im Stromschlauch die Geschwindigkeit mit  $\mathfrak{V}$  und den Wasserquerschnitt im Stromschlauch mit  $F$ , auf dem Vorlande mit  $F_1$ , so ist:  $Q = F\mathfrak{V} + F_1 v$ , die mittlere Geschwindigkeit in dieser Höhe:

$$(6) \quad v = \frac{Q}{F + F_1} = \frac{F\mathfrak{V} + F_1 v}{F + F_1}$$

Wäre  $v = \mathfrak{V}$ , so wäre  $v = \mathfrak{V}$ .

Da  $v$  kleiner ist als  $\mathfrak{V}$ , so ist  $v$  mit Vorland kleiner als  $v$  ohne Vorland. Die Geschwindigkeitszunahme nimmt also durch den Hinzutritt des Vorlandes ab. Die Geschwindigkeitslinie biegt an der Bordhöhe nach der Ordinatenaxe zu.

Nimmt man die Höhe  $\mathfrak{z}$  über A B als Nulllinie an und rechnet von da die Höhen als  $z_1$ , so ist:

$$Q = F(\mathfrak{V} + c z_1) + F_1(v + c z_1) \quad v = \frac{Q}{F + F_1}$$

$$v = \frac{F \mathfrak{B} + F c z_1 + F_1 v + F_1 c z_1}{F + F_1}$$

$$v = \frac{F \mathfrak{B} + F_1 v}{F + F_1} + \frac{F + F_1}{F + F_1} c z_1$$

$$(7) \quad v = \frac{F \mathfrak{B} + F_1 v}{F + F_1} + c z_1$$

Wäre  $v = \mathfrak{B}$ , so wäre

$$v = \mathfrak{B} + c z_1.$$

Da  $v$  kleiner ist als  $\mathfrak{B}$ , so ist  $v$  mit Vorland kleiner als  $v$  ohne Vorland. Man kann den allgemein gültigen Satz ableiten:

In gleichmässigen Hochwasserrinnen mit freiem Abfluss nimmt beim Ueberschreiten der Bordhöhe die Zunahme der mittleren Geschwindigkeit ab.

Die  $v$  Linie biegt nach der Ordinatenaxe zu. Auf die Grösse der Abnahme ist neben der Ausdehnung des Vorlandes die Rauhigkeit von wesentlichem Einfluss. Die Rauhigkeit auf den Vorländern ist eine ausserordentlich wechselnde. Während über einer glatten Wiese sich bald eine lebhaftere Stromgeschwindigkeit entwickeln wird, bleibt die Bewegung des Wassers auf einem mit dichtem Walde mit Unterholz bestandenen Vorlande sehr gering. Am genauesten lässt sich der Verlauf der Geschwindigkeitslinie im Hochwasserraum bestimmen, wenn der Querschnitt über den Vorländern nur eine geringe Grösse hat im Vergleich zu dem Querschnitt im Stromschlauch und wenn ferner die Rauhigkeit auf dem Vorlande und im Strom nicht wesentlich verschieden ist. In diesem Falle ist die Einwirkung des Vorlandes auf den Verlauf der  $v$  Linie sehr gering. Die Ablenkung nach der Ordinatenaxe beim höchsten Hochwasser ist dann ein Kleinwerth. Der Fehler, den man bei der Ermittlung dieses Werthes, etwa durch falsche Schätzung der Rauhigkeit machen kann, ist als ein Bruchtheil eines Kleinwerthes verglichen mit der Grösse der mittleren Geschwindigkeit im ganzen Stromquerschnitt beim höchsten Hochwasser verschwindend klein. Daher ist anzunehmen, dass die an einer solchen Stelle bestimmte Geschwindigkeit des Wassers bei H. H. W. der wirklichen Geschwindigkeit sehr nahe kommt. Vorausgesetzt ist bei dieser Entwicklung, dass die Höhe des H. H. W. bekannt sei. Dieses ist aber in der Regel nicht der Fall. Der Stand des höchsten Hochwassers ist meist nur durch einzelne in weiten Entfernungen liegende Marken bekannt. Zwischen diesen Marken liegen unendlich viele Brechpunkte der Gefällelinie. Als bekannt kann man dagegen ein niedrigeres Hochwasser voraussetzen, dessen Spiegel über der Bordhöhe  $A B$  in dem trapezförmigen Hochwasserraum in der Pegelhöhe  $z$  liegt. Die Höhe des H. H. W. über diesem Pegelstande  $= z_1$  ist in folgender Weise zu berechnen: Die Wassermenge für H. H. W. sei  $Q$ , für die Pegelhöhe  $z = Q_z$ . Für längere Stromstrecken ohne Zuflüsse ist  $Q - Q_z$  konstant  $= C$ . Der Gesamtquerschnitt

des H. H. W. (Stromschlauch und Vorland) sei  $F$ , ebenso für die Pegelhöhe  $z = F_z$ ,  $v$  und  $v_z$  seien die zugehörigen mittleren Geschwindigkeiten.

$$Q - Q_z = C$$

$$F v - F_z v_z = C$$

$B$  sei die mittlere Breite des Hochwasserraumes für die Höhe  $z_1$

$$F = B z_1 + F_z$$

$$(B z_1 + F_z) v - F_z v_z = C.$$

$$(8) \quad z_1 = \frac{C - F_z (v - v_z)}{B v}$$

Durch versuchsweises Einsetzen verschiedener Werthe von  $z_1$  und der zugehörigen Werthe von  $v$  erhält man den gesuchten Werth von  $z_1$  und damit die Höhe des H. H. W. Es lässt sich demnach das Spiegel-Nivellement des H. H. W. aus dem Höhenplan eines H. W. über Bordhöhe herleiten. Die noch vorhandenen Marken des H. H. W. geben die Kontrollpunkte.

Die Beziehungen zwischen der Querschnittslinie und der Geschwindigkeitslinie und das Verhalten von  $a$ .

Bezeichnet  $F$  den Wasserquerschnitt,  $B$  die Spiegelbreite,  $z$  die Pegelhöhe, so ist:

$$(9) \quad d F = B d z \text{ (Abb. 23).}$$

Die Querschnittszunahme wächst mit der Breitenzunahme. Die  $F$  Linie ist entweder gerade ( $B$  konstant) oder nach rechts gekrümmt. Die Weserquerschnitte besitzen eine sehr grosse Breite bei geringer Tiefe. Die  $F$  Linie ist im Niedrigwasserraum bei starker Breitenzunahme stark gekrümmt. Vom Niedrigwasserbett bis Bordhöhe ist die  $F$  Linie wegen des verhältnissmässig geringen Zuwachses durch die Zunahme von  $B$  sehr flach gekrümmt, oberhalb der Bordhöhe ist sie infolge der plötzlichen Zunahme von  $B$  nach rechts geknickt. Im Hochwasserraum ist die  $F$  Linie nahezu gerade, weil der Zuwachs von  $B$  sehr gering ist im Vergleich zu der Grösse von  $B$ . Die  $F$  Linie ist stets entweder gerade nach rechts geneigt oder gekrümmt, je grösser die Breite, desto stärker ist die Neigung. Die  $F$  Linie kann jederzeit in ihrem ganzen Verlaufe durch unmittelbare Messung genau ermittelt werden.

Die mittlere Geschwindigkeit  $v = v + c z$

$$d v = c d z$$

$$d F = B d z \quad d z = \frac{d F}{B}$$

$$(10) \quad d v = \frac{c d F}{B}$$

Die Geschwindigkeitszunahme nimmt ab mit der Breitenzunahme. Die  $v$  Linie ist entweder gerade oder nach links gekrümmt oder geknickt.

Im Niedrigwasserbett (vergl. Blatt 4), Messtelle oberhalb der Diemel­mündung, ist die  $v$  Linie, da sie vom Nullpunkt ausgehend den Anschluss an die durch die Beobachtungen festgelegte Strecke erreichen muss, bei starker Breitenzunahme verhältnissmässig stark gekrümmt. Vom Niedrigwasserbett bis Bordhöhe erscheint sie an der Messtelle unterhalb der Diemel bei geringer Breitenzunahme als gerade Linie, wenigstens lassen die Beobachtungen weder hier noch an den ähnlichen Messtellen eine Krümmung erkennen. Bei plötzlicher Breitenzunahme über den Buhnen an der Messtelle oberhalb der Diemel biegt die  $v$  Linie stark nach links. In ähnlicher Weise, nur in geringerem Maasse, wird sie oberhalb der Bordhöhe in Folge der Zunahme von  $B$  nochmals nach links abbiegen. Wenn man die  $v$  Linie und die  $v_0$  Linie ohne Buhnen (Blatt 4) von der Messtelle I oberhalb der Diemel mit den Geschwindigkeitslinien von der Messtelle III unterhalb der Diemel vergleicht, so ergibt sich, dass sie parallel verlaufen. Die Geschwindigkeit  $v$  für die Messtrecke I =

$$v_I = v_I + c z$$

für Messtelle III  $v_{III} = v_{III} + c z$ . Beide unterscheiden sich, da auch die Werthe von  $z$  fast genau gleich sind, nur durch die Verschiedenheit der Geschwindigkeit bei Niedrigwasser  $v_I$  und  $v_{III}$ . Das jetzt von dem Grundgesetz  $v = v + c z$  abweichende Verhalten der Geschwindigkeitslinien an der Messtelle I ist demnach durch die Anlage der Buhnen verursacht. Dadurch ist im Mittelwasserbett die Breite  $B$  vermindert und damit die Neigung der Geschwindigkeitslinie vergrössert.

Da vor der Buhnenanlage die Geschwindigkeitslinien an beiden Messtellen parallel verliefen, so muss der  $a$  Werth früher an beiden Stellen das gleiche Verhalten gezeigt haben. Die oben gemachte Annahme, dass das abweichende Verhalten von  $a_I$  und  $a_{III}$  auf die Buhnenanlage bei I zurückzuführen sei, ist demnach zutreffend. In gleicher Weise wie beim Ueberschreiten der Buhnen bei I die Abnahme des  $a$  Werthes grösser wird als bei III wird an beiden Messtellen auch beim Ueberschreiten der Bordhöhe eine neue Abnahme des  $a$  Werthes eintreten. Diese wird aber gering sein, weil die Einbiegung der Geschwindigkeitslinien an der Bordhöhe nur gering ist.

Die  $v$  Linie zeigt das entgegengesetzte Verhalten wie die  $F$  Linie. (Abb. 24.) Während der Verlauf der  $F$  Linie bis zum H. H. W. genau festgestellt werden kann, ist man für den Verlauf der Geschwindigkeitslinien oberhalb der Grenze der Beobachtungen auf Vermuthungen angewiesen.

Die Vermuthungen gründen sich:

1. Auf die Untersuchung der Hochwasserquerschnitte, wodurch an den beiden Wesermesstellen der Nachweis erbracht ist, dass weder eine Stauung noch eine Entlastung bis zum H. H. W. stattfinden kann.

2. Auf die Beobachtungen des Verlaufs der  $v$  Linie und der  $v_0$  Linie bis zur Beobachtungsgrenze an den Messtellen in gleichmässigen Stromstrecken mit freiem Abfluss.
3. Auf die Beobachtung des Verhaltens der  $v$  Linien beim Ueberschreiten der Bühnen an der Messtelle oberhalb der Diemelmündung.
4. Auf das dem Verhalten der  $F$  Linie entgegengesetzte Verhalten der  $v$  Linie innerhalb der Beobachtungsgrenzen.

Nach einer genauen Formel für den Verlauf von der  $v$  Linie im Hochwasserraum zu suchen, dürfte sich nicht empfehlen. Ausserhalb der Grenzen der Beobachtung wird eine Formel leicht ein Trugbild, ein Irrlicht. Der Wahrheit kann man nur durch Ausdehnung der Beobachtungsgrenze in dem Hochwasserraum näher kommen.

Nicht durch Rechnung, sondern nur auf dem Wege der Beobachtung kann man in der Erkenntniss der Bewegung des Wassers in den Strömen von der Wahrscheinlichkeit zur Gewissheit vorwärtsschreiten.











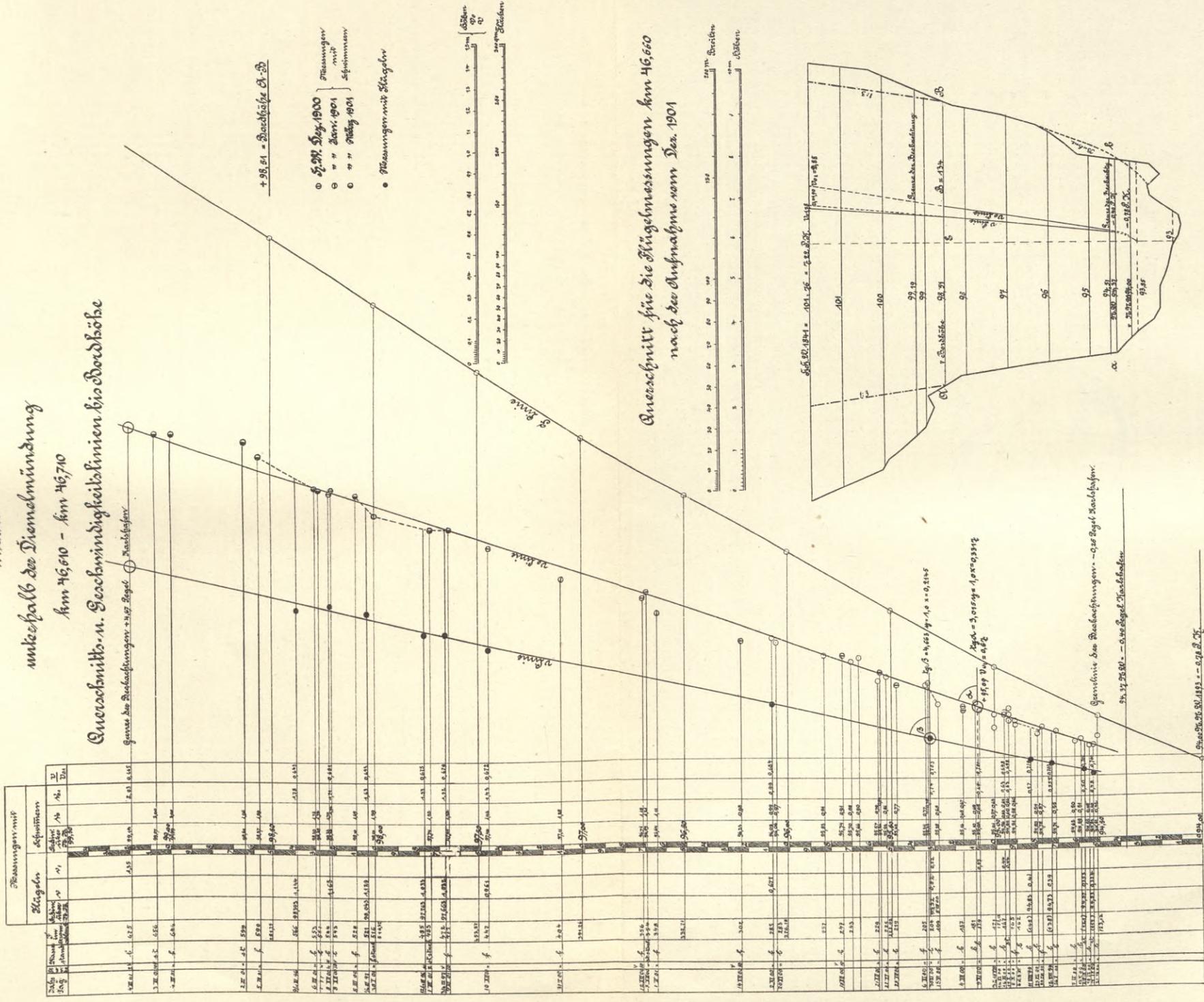
№ 22 = 7.22 Regel Kachlkapfen + 10170

Wasser

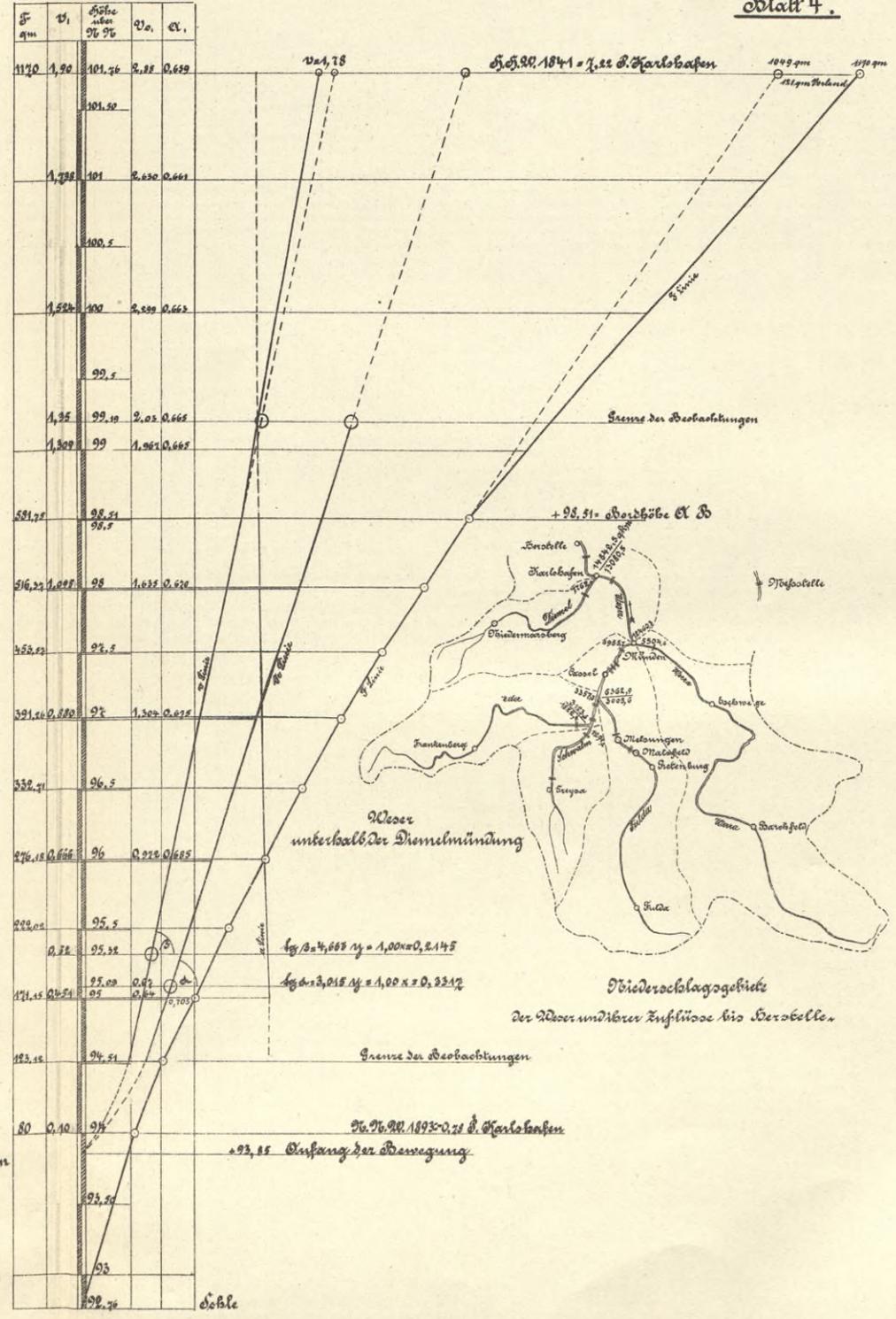
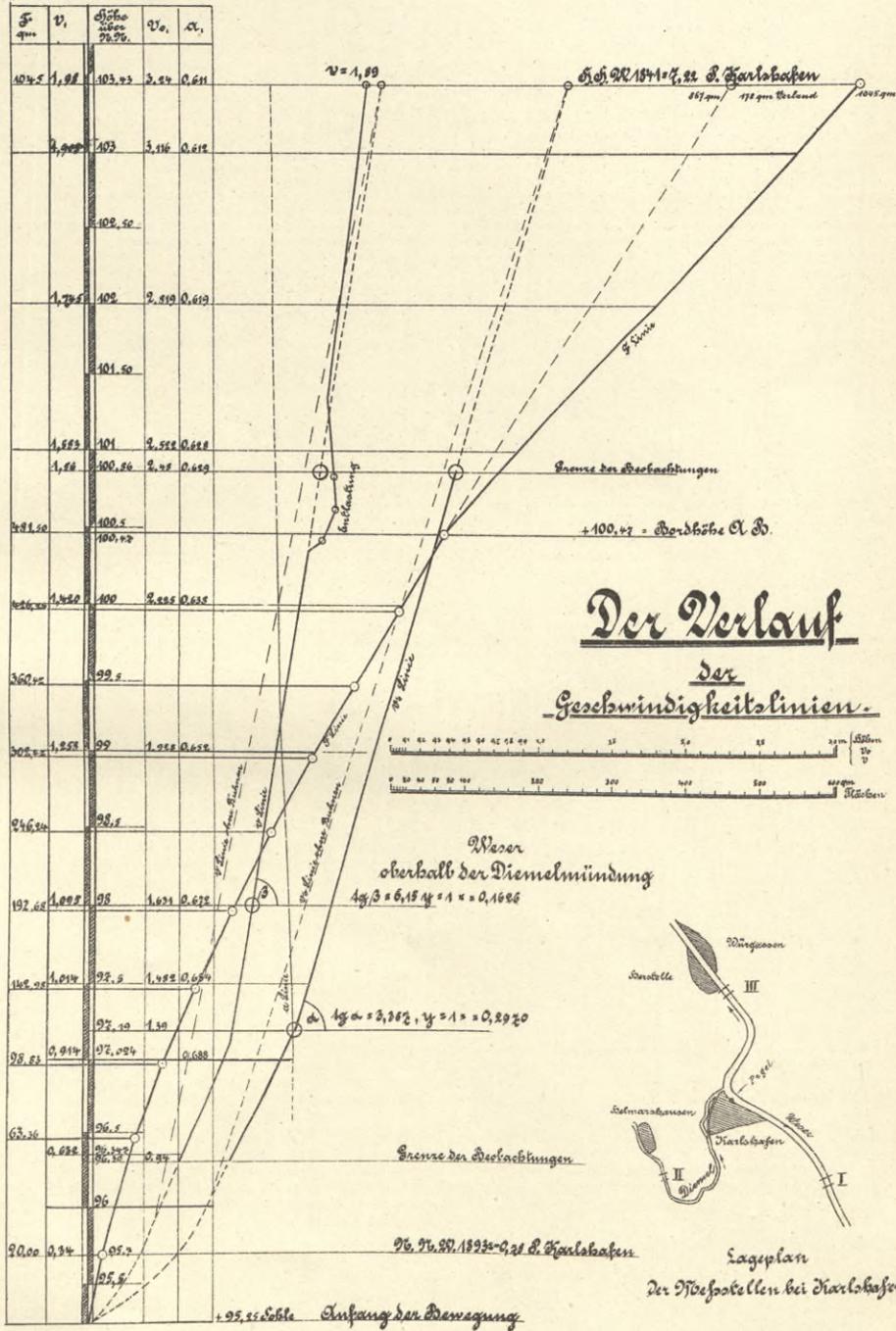
unterhalb der Diemelmündung

Km 46,610 - Km 46,710

Querschnitts- u. Geschwindigkeitslinien bis Bordhöhe











Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307103

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000316132