

III 8852/95
Anlage 3 zum Veriife No. 46 mit Briefel vom
Hann April 1895.

VI. INTERNATIONALER BINNENSCHIFFFAHRTS-CONGRESS

im HAAG, 1894.

6. FRAGE.

23^a

Die Strömungen in den Flüssen und die Bildung der Flussbetten

VON

N. LELIAVSKI,

Ingenieur in Kiew.

F. Nr. 19875



HAAG,

Druck von GEBR. BELINFANTE, A. D. SCHINKEL Nachf.,
PAVELJOENSGRACHT, 19.

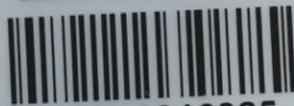
1894.

II 9560 95



11-354227

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316825

3PK-B-18/2019

Sechster internationaler Binnenschiffahrts- Congress.

Im HAAG. — 1894.

Die Strömungen in den Flüssen und die Bildung der Flussbetten

VON

N. LELIAVSKI,

Ingenieur in Kiew.

Trotz der bedeutenden Arbeiten einiger Mathematiker ist es bis jetzt noch nicht gelungen, in der Hydrodynamik auch nur eine einzige practisch verwendbare Formel aufzustellen. Dieser Umstand beweist, denken wir, dass die Bewegung der Flüssigkeiten in Widerstand leistender Umgebung auf experimentalem Wege noch nicht genügend beobachtet worden ist, und dass die mathematischen Berechnungen Ergebnisse liefern, welche mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmen. Die angestellten Untersuchungen beweisen, dass die Wasserfäden in den Strömungen der Flüsse nirgends zu einander parallel sind; da aber die Gesetze, von welchen die Richtung der Wasserfäden abhängt, unbekannt sind, und da die Abweichungen von der parallelen Richtung als zufällige betrachtet werden, so nimmt man bei Berechnung hydronamischer Formeln gewöhnlich an, dass alle Wasserfäden zu einander parallel seien.

Nach NEWTON'S Hypothese, dass die inneren hydraulischen Reibungen die lineären Functionen relativer Geschwindigkeiten sind, nimmt NAVIER in seine die Bewegungen der Flüssigkeiten betreffenden Gleichungen einen inneren Reibungs-Coefficienten auf, welcher aus der Art der Flüssigkeit und aus der Temperatur derselben hervorgeht. BUSSINESK hat diese Formeln mit einigen unbedeutenden Abänderungen auf die geradlinige Bewegung der parallelen Fäden angewendet und daraus Schlussfolgerungen gezogen, welche mit den erfahrungsgemässen Ergebnissen nahezu übereinstimmen; diese Uebereinstimmung beschränkt sich jedoch auf Capillarröhren, in welchen die Fäden, wie man annehmen muss, in der That fast parallel zu den leitenden Wänden gerichtet sind; für

Flüsse und Kanäle indessen ergeben die Formeln von Navier eine beträchtlich grössere Geschwindigkeit, als die directen Beobachtungen. Diesen Umstand schreibt man der Abweichung der Fäden von ihrer geraden und unter einander parallelen Richtung zu, welche Abweichung in Folge zufälliger Unregelmässigkeiten, wie Unebenheit der Wände, Aenderung des Druckes auf die freie Oberfläche usw., eintritt. Der neue sich daraus ergebende Widerstand, welcher die Folge zufälliger Ursachen zu sein scheint, kann auf theoretischem Wege nicht mit der zu wünschenden Genauigkeit bestimmt werden und nimmt proportional zu der Verringerung des Querschnittes des Bettes ab. Nichts indessen beweist, dass dieser Widerstand sich in der That durch zufällige Ursachen ergibt, denn er ist stets vorhanden, selbst wenn die Wände ganz glatt sind, und wenn die Strömung vollkommen gleichmässig ist. Ausserdem muss man bedenken, dass alle physikalischen Erscheinungen immer als willkürlich betrachtet worden sind, so lange man ihre gegenseitigen Beziehungen nicht geprüft und festgestellt, d. h. so lange man die einschlägigen Gesetze nicht erkannt hatte. Daher muss die Hydronomie in ihrem gegenwärtigen Zustande sich auf Beobachtungen über die Abweichungen der Wasserfäden von der zu den Wänden der Röhren oder zu den Ufern und dem Boden der Flüsse parallelen Richtung werfen, um die Gesetze zu entdecken, welchen diese Abweichungen unterliegen.

In der Annahme, dass die Wasserbewegung in geradlinigen, parallelen Fäden stattfindet, hat man von der Navier'schen Formel weitere Formeln über die einheitliche und gleichförmige Bewegung des Flusswassers abgeleitet. Von einigen Forschern umgeändert und vereinfacht geben diese Formeln für die mittlere Strömungsgeschwindigkeit algebraische Ausdrücke, welche gewisse von dem Strömungswiderstande abhängige Coefficienten enthalten. Es sind dies die Formeln von PRONY, DUPUIS, GIRARD, HAGEN, WEISSBACH, ELLETT, CHÉZY, DARCY, HYPHREISS & ABBOTT, SAINT-VENAN, GAUKLER u.s.w. Die aus den unrichtigen Voraussetzungen sich ergebende Ungenauigkeit wird in der Praxis durch den Werth der Coefficienten gemildert, welche daher in jedem einzelnen Falle mit grösster Sorgfalt festzusetzen sind. Die Ungenauigkeit der Formeln tritt besonders durch die Verschiedenheit der Coefficienten unter sonst sehr ähnlichen, wenn auch nicht identischen, Bedingungen hervor. So ist der Coefficient C in der Formel von Chézy

$$V = C \sqrt{R I}$$

von mehreren Forschern bestimmt worden, von Jedem aber in anderer Weise; diese Verschiedenartigkeit machte sich besonders bei Berechnung der Verhältnisse der Abmessungen des Flussbettes zu einander bemerkbar. Ganguillé und Kutter betrachten diesen Coefficienten als wechselnd und sich je nach der Strömung, welche in der Formel von CHÉZY eine Rolle spielt, ändernd und stellen daher für C einen Ausdruck auf, der noch

wiederum einen neuen, den Einfluss des Rauheitsgrades des Bettes auf die Berechnung ausdrückenden Coefficienten enthält; dieser neue Coefficient ist durch wiederholte Messungen der Strömungsgeschwindigkeit und des Gefälles an verschiedenen Stellen zu ermitteln. Eine derartige Abänderung der Formel macht diese zwar nicht richtiger, ermöglicht indessen ihre Anwendung zu practischen Zwecken, so dass dieselbe heute als die beste Formel für die Lösung auf Flussregulirungen bezüglichlicher Fragen gilt.

Helmholtz, der sich viel mit der Erforschung der Wirbelbewegung der Flüssigkeiten beschäftigt hat, d. h. einer vorgeblichen Bewegung, welche weder von der Reibung noch von anderen Widerständen abhängig ist, betrachtet die möglichen Veränderungen der Flüssigkeitselemente als unendlich klein und hat gefunden, dass diese Veränderungen sich nicht nur durch Verzerrung der Form, sondern auch unter dem Einflusse der relativen Rotation der Elemente ergeben können.

Ferner stellt HELMHOLTZ folgende Sätze auf:

Die allgemeinste, unendlich kleine Bewegung der Flüssigkeitstheilchen ohne Unstetigkeit setzt sich aus fortschreitender Bewegung, Drehung und Ausdehnung zusammen.

Die Eigenschaften der Wirbelbewegung sind folgende:

- 1o.) Ein Flüssigkeitstheilchen, das einmal nicht rotirt, rotirt niemals.
- 2o.) Wenn eine Linie durch die Flüssigkeitstheilchen überall parallel der Drehungsachse gezogen wird, so ist die Linie auch zu jeder anderen Zeit an jedem Orte der Drehungsachse parallel. Jede solche Linie bleibt dauernd aus denselben Theilchen zusammengesetzt. Diese Linien sind die Wirbellinien. Die Linien, die ein kleines Flächenelement durchsetzen, bilden einen Wirbelfaden.
- 3o.) Das Product aus Wirbelgeschwindigkeit und Querschnitt eines Wirbelfadens ist constant.
- 4o.) Wirbellinien können nur in sich zurücklaufen oder an der Oberfläche enden. (1)

Die Erforschung der Wirbelfädenbewegung hat nach HELMHOLTZ noch mehrere andere Mathematiker beschäftigt, trotzdem ist die Bewegung des Wassers nicht bedeutend aufgeklärt worden. Die Hypothese von HELMHOLTZ hat viele Anhänger gefunden, jedoch kann man auf Grund der angestellten Forschungen nur die *Möglichkeit* der Bildung von Wirbellinien und Fäden in bewegten Flüssigkeiten zulassen, das wirkliche Vorhandensein solcher in fließendem Wasser ist indessen nicht erwiesen.

(1) *Ann. d. Uebersetzers.* Bei Anfertigung der Uebersetzung vorliegenden Berichtes stand uns der russische Originaltext des Herrn LELIAVSKI nicht zur Verfügung, sondern nur eine französische Uebersetzung, welche stellenweise Unklarheiten aufweist. Unter diesem Uebelstande hat naturgemäss auch der deutsche Wortlaut gelitten. — Die obigen Angaben über die Forschungen des Herrn Professors VON HELMHOLTZ, welche in der französischen Uebersetzung nicht deutlich sind, verdanken wir den Herren Professoren LUMMER und WIEN in Charlottenburg.

Die Rotation der unendlich kleinen Flüssigkeitstheilchen lässt sich nicht beobachten, und durch die mit *Schwimmern* angestellten Beobachtungen, über welche wir weiter unten sprechen werden, sind schnelle Rotationsbewegungen nicht nachgewiesen worden. Die Drehung der Schwimmer ist sehr langsam und wird durch die verschiedene Geschwindigkeit der Wasserfäden, welche auf die beiden Hälften der Schwimmer wirken, verursacht. Es ist zu bemerken, dass die von einem auf dem Wasser treibenden Körper verfolgte Linie sich niemals selbst kreuzt, d. h. keine Knoten bildet, so dass vollständig geschlossene Drehungsbewegungen nur an Stellen vorkommen können, welche nicht unter Einwirkung der Strömung stehen, also zwischen den Bühnen, hinter den Brückenpfeilern, in den todtten Winkeln an der Einmündung von Nebenflüssen u.s.w. Die Drehungsbewegung ist der von HELMHOLTZ behaupteten Flüssigkeitsbewegung in den Wirbellinien und Fäden nicht analog, denn im ersteren Falle liegt die Rotationsachse ausserhalb der bewegten Masse (Cylinderachse) und im letzteren fällt sie zusammen mit der Tangente an der Richtungslinie, welche eine die Rotationsachsen einschliessende Kurve bildet. Daher wäre die Bewegung in den Adern eher spiralförmig zu nennen.

BUSSINESK erkennt das Vorhandensein einer drehenden Bewegung der Moleküle in der Strömung an; er betrachtet ihre Geschwindigkeit als grossen Unregelmässigkeiten unterworfen und führt zur Erleichterung der Rechnung die Existenz mittlerer localer Geschwindigkeiten ein, welche an jedem Punkte der Wassermasse beinahe gleichbleibend seien; ausserdem gibt er zu, dass die Wasserfäden untereinander fast parrallel sind. Ebenso wie NAVIER führt er in die Formel einen Reibungscoefficienten ein, der nicht nur für die ganze bewegte Wassermasse unbeständig ist, sondern sich auch mit den Coordinaten ändert und ausserdem von der Grösse des Radius unter Wasser, von der Form des Querschnittes, von der Geschwindigkeit der Strömung und von dem Werthe des Coefficienten der inneren Reibung abhängt; somit betrachtet BUSSINESK die vorhandene Bewegung als ungleichmässig und stufenweise abwechselnd. Da seine Angaben über die Beständigkeit der mittleren Geschwindigkeiten und besonders über die parallele Richtung der Wasserfäden der Wirklichkeit nicht entsprechen, und diejenigen über die wechselnden Werthe des Reibungscoefficienten willkürlich sind und nur auf Muthmaassungen beruhen, so sind trotz der bedeutenden Arbeiten des genannten Gelehrten, welche manche das Längsprofil der Flüsse betreffende Eigenthümlichkeiten aufgeklärt haben, noch viele Umstände unerklärt geblieben, und wir haben noch immer keine genauen, practisch verwendbaren Formeln für die Wasserbewegung, wie solche für die Bewegung fester Körper bestehen.

Für die Forschungen über die Verschiebungen von Flussanschwemmungen wäre es sehr nützlich, mathematisch genaue Ausdrücke über

den von bewegten Flüssigkeiten auf feste Körper ausgeübten Druck zu besitzen. Leider aber sind die empirischen Formeln, deren man sich bedient, nicht nur ungenau, sondern ihre Begründetheit ist überhaupt sehr fragwürdig.

Nach der allgemeinen Ansicht aller Hydrauliker ist der von bewegten flüssigen und festen Körpern aufeinander ausgeübte Druck die wenigst aufgeklärte Frage der ganzen Hydrodynamik. Dieser Umstand hat seine Ursache in der Annahme des Parallelismus der Fäden; der Einfluss dieser Annahme auf die Ungenauigkeit der abgeleiteten Formeln ist sehr stark, denn abgesehen davon, dass schon ruhig fließende Wasserfäden nicht parallel sind, ruft der Anprall gegen feste Körper noch weitere Verwirrung der Bewegung hervor, in allen Richtungen bilden sich Strömungen, deren Verhältnisse bisher noch nicht erforscht sind. Wie genau auch die auf die Bewegung fester Körper bezüglichen Formeln sind, die über die Bewegung der Flüssigkeiten bisher aufgestellten bieten nur wenig Sicherheit.

Betrachten wir z. B. die genaueste dieser Formeln, nämlich diejenige, welche man für den Stoss eines einzelnen Wasserstrahles gegen eine lothrecht zu ihm befindliche ebene Fläche aufgestellt hat. Bezeichnet man die Beschleunigung des bewegten Punktes mit p , die Zeit mit t , die Entfernung mit s , die in der Zeit t angenommene Geschwindigkeit mit v , die Masse des Körpers mit m , die Dichtigkeit mit Δ , das Volumen mit Q , die Kraft des Stosses mit P , die Schwerkraft oder das Gewicht des Körpers mit G und die Beschleunigung der Schwerkraft mit g und zieht man in Betracht dass $P = m \cdot p$, und $G = m \cdot g$, so erhält man

$$v = p \cdot t,$$

$$\text{also: } t = \frac{v}{p}.$$

$$\text{Ferner ist: } s = \frac{v}{2} \cdot t = \frac{v^2}{2p}$$

$$\text{also: } p \cdot s = \frac{v^2}{2},$$

$$\text{und } p \cdot m \cdot s = m \cdot \frac{v^2}{2},$$

$$\text{also: } P \cdot s = m \cdot \frac{v^2}{2},$$

den zweiten Theil der Gleichung nennt man bedingungsweise lebendige Kraft, dieselbe ist gleich der Arbeitsmenge, welche benöthigt wird, um der Masse m die Geschwindigkeit v zu geben. Ist $t = 1$, so erhalten wir

$$s = \frac{v}{2},$$

$$\text{daher ist } P \cdot v = m \cdot v^2 = \frac{Gv}{g} = \Delta \cdot Q \cdot \frac{v}{g} \quad (1)$$

Will man diese durchaus richtigen Formeln der Dynamik auf die

Kraft des Stosses eines einzelnen Wasserstrahles anwenden, so muss man das Volumen gleich der Ausflussmenge setzen; die Ausflussmenge ist bekanntlich gleich dem Flächeninhalte des Wasserstrahlquerschnittes multiplicirt mit der mittleren Strömungsgeschwindigkeit, also gleich $T \cdot v$; man erhält:

$$P = 2 \triangle T \frac{v^2}{2g} = 2 \triangle T \cdot h, \quad (2)$$

worin h die Höhe einer der Geschwindigkeit v entsprechenden Wassersäule ist.

Eine derartige Anwendung der für den Stoss eines festen Körpers berechneten Formel auf eine flüssige Masse ist uncorrect, weil die Ausflussmenge nur dann gleich dem Producte aus der mittleren Geschwindigkeit und dem Flächeninhalte des Wasserstrahlquerschnittes ist, wenn alle Wasserfäden senkrecht zu der ebenen Fläche gerichtet sind; das ist aber nicht möglich, da die Wasserfäden unter einander nicht parallel sind. Indessen haben die zur Prüfung der Richtigkeit der angegebenen, von BIDON herrührenden Formel vorgenommenen Untersuchungen Ergebnisse geliefert, welche die annähernde Richtigkeit der Formel bestätigen; dies ist dem Umstande zuzuschreiben, dass der Werth der in die Röhre geleiteten Ausflussmenge durch directe Messung bestimmt werden kann und nicht durch Multiplication des Querschnittsflächeninhaltes mit der Geschwindigkeit des Wassers berechnet zu werden braucht (Blatt I. Zeichnung 1).

Indessen hängt die Stärke des Druckes auf die Fläche sehr von den Abmessungen der letzteren und von ihrer Entfernung von der Ausflussöffnung der Röhre ab, so dass BIDON, wenn er die Fläche der Mündung sehr näherte, zu dem Ergebnisse kann, dass $P = 1,5 \triangle \cdot T \cdot h$, DUBOIS und LANGSDORFF aber für P nur den Werth $\triangle \cdot T \cdot h$ fanden. In Wirklichkeit ist die Kraft des Stosses gewöhnlich geringer, als die Formel angibt, es hängt dies davon ab, dass durch den Stoss der flüssigen Masse ein beträchtlicher Theil der ihr innewohnenden Kraft in den Stößen der einzelnen Wasserfäden aufeinander verloren geht. Bei dem Stosse einer flüssigen auf eine feste Masse empfängt diese letztere unmittelbar nur den Druck der unendlich dünnen Flüssigkeitsschicht, welche mit ihm in directe Berührung kommt, während die ganze Masse der Schichten den Stoss überträgt, in Folge dessen weicht ihre Bewegung stark von der senkrechten Richtung auf die feste Oberfläche ab, und von einem Parallelismus der Wasserfäden kann keine Rede sein. Je grösser die Geschwindigkeit der Bewegung des Wassers, d. h. je grösser sein Druck in der Röhre ist, desto mehr muss sich bei genauem Experimente der Coefficient der in der Formel 2 angegebenen Ziffer 2 nähern.

Bei den von BIDON angestellten Versuchen waren die Geschwindigkeiten sehr bedeutend, nämlich nicht unter 8 m. in der Sekunde; es ist aber anzunehmen, dass bei kleinen Geschwindigkeiten der Coefficient in

der Formel 2 beträchtlich kleiner als 1, also um mehr als die Hälfte kleiner, als das Resultat der Berechnung sein kann. Somit besitzt also die für den Stoss eines einzelnen Wasserstrahles aufgestellte Formel, welche als die richtigste aller für den Stoss flüssiger Körper berechneten Formeln gilt, nicht die gewünschte Genauigkeit, und die Unvereinbarkeit der Versuchsergebnisse mit den Berechnungen beweist die Unrichtigkeit der bei Umwandlung der Formel 1 gemachten Annahmen. Ausserdem ist zu bemerken, dass der Stoss auf die Fläche bei Beginn der Wasserströmung stärker ist, als wenn das Wasser erst einmal im Flusse befindlich. Trotzdem hat man für den Stoss einer unbegrenzten Wassermasse keinen anderen mathematischen Ausdruck, als die für den Stoss eines einzelnen Wasserstrahles aufgestellte Formel 2. Deshalb macht man für diesen ganzen Theil der Hydraulik einen Vorbehalt, indem man sagt: es ist sehr *wahrscheinlich*, dass man die Gesetze des Stosses einer unbegrenzten Wassermasse auf diejenigen des Stosses eines einzelnen Wasserstrahles begründen darf.

Unter diesem Vorbehalte nimmt man an, dass die Kraft des Stosses einer Wassermasse auf die der letzteren zugekehrte Seite eines festen Körpers gleich

$$K_1 \cdot \Delta \cdot T \frac{v^2}{2g}$$

ist, wobei K_1 den durch Erfahrung zu ermittelnden und nur von der Form des Körpers abhängigen Zahlcoefficienten bedeutet. Ausserdem ist das Fehlen des Druckes von der anderen Seite (DUBOIS nennt es „*non-pressure*“) in Betracht zu ziehen; dieser Druck kann ebenso wie derjenige auf die dem Strome zugekehrte Seite durch die Formel

$$K_2 \cdot \Delta \cdot T \frac{v^2}{2g}$$

ausgedrückt werden; da der hydrostatische Druck zu beiden Seiten des festen Körpers der gleiche und gegen einander gerichtet ist, so lässt man ihn ganz ausser Berechnung. Daher wird die Resultirende des Druckes bewegten Wassers auf einen festen Körper folgendermaassen bezeichnet:

$$K_1 \cdot \Delta \cdot T \frac{v^2}{2g} - K_2 \cdot \Delta \cdot T \frac{v^2}{2g} = K \cdot \Delta \cdot T \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Alle die Coefficienten K_1 , K_2 und K sind auf experimentalen Wege zu bestimmen und werden unter verschiedenen Bedingungen und bei verschiedenen Beobachtern ebenfalls verschieden sein.

Wenn man für einen einzelnen geradlinigen Wasserstrahl annehmen darf, dass der Wasserausfluss gleich dem Producte aus Querschnittsfläche und Geschwindigkeit ist, so kann eine derartige Annahme für die Bewegung einer unbegrenzten Wassermasse nicht zugelassen werden, denn es ist unmöglich, dass die ganze Masse gegen einen festen Körper einen Stoss durch einen einzigen Cylinder ausübt, der als Basis den Querschnitt des gestossenen Körpers hat. Selbst bei Parallelismus der

Fäden müssen die diesen Cylinder umgebenden bewegten Wasserschichten in Folge ihres Zusammenhanges und in Folge der Adhäsion des Wassers an dem eliminirten Cylinder an dem Stosse theilnehmen. Da aber die Wasserfäden convergirende und divergirende Richtungen haben, und da es nicht möglich ist, von der Wassermasse die von Augenblick zu Augenblick auf einen festen Körper einwirkenden Fäden getrennt zu halten, so kann die Formel No. 3 Resultate ergeben, welche von den wirklichen Mengen ebenso abweichen, wie das Volumen des Cylinders von den Volumen eines oder mehrerer abgestumpften Kegel. Die Convergenz der Wasserfäden führt weder eine Verdichtung des Wassers, noch eine Beschleunigung der Strömungsgeschwindigkeit herbei und bewirkt nur eine Zunahme des Druckes auf die in der Bewegungsrichtung des Wassers liegenden festen Körper. Wie häufige Beobachtungen beweisen, haben die Wasserstrahlen gekrümmte Formen, welche sich bei Umgehung eines festen Körpers noch mehr krümmen.

Wenn wir sagen, der Wasserstrahl stösst gegen einen festen Körper, so meinen wir damit nicht, dass die ganze Wassermenge eines Strahles mit einem festen Körper in Berührung kommt, sondern dass auf diesen festen Körper die Wirkung des Wasserstrahles gerichtet ist, welche sich von Schicht zu Schicht fortpflanzt.

In jedem Augenblicke kann eine unbestimmte Zahl von Fäden von verschiedenen Seiten auf einen Körper einwirken; die Fäden treffen bei ihrer Bewegung auf einigen Widerstand seitens des festen Körpers; dieser Widerstand wird ihnen durch die zwischenliegenden Wasserschichten mitgetheilt, sie weichen von ihrer Richtung ab und übertragen mit abnehmender Geschwindigkeit die Bewegung auf die Umgebung des festen Körpers.

Da uns die Gesetze der Richtung des Weges, welchen die Wassertheilchen nehmen, nicht bekannt sind, so können wir die Fäden, welche auf einen auf dem Flussboden lagernden festen Körper drücken, von der Wassermasse abgesondert nicht verfolgen; um aber die möglichen Fälle der Uebertragung betrachten zu können, nehmen wir an, dass uns die genannten Gesetze bekannt seien, und stellen die Wege der Wassertheilchen durch die auf Beilage I, Fig. 2, angegebenen Linien dar. Ferner setzen wir voraus, dass ein kleiner fester Körper, zum Beispiel ein Stein, welcher auf dem Flussboden lagert, dem Drucke des sich gegen ihn bewegenden Wassers ausgesetzt sei. Um die Stärke dieses Druckes bestimmen zu können, muss man auf den Weglinien die Punkte aufsuchen, in welchen sich in einem gegebenen Augenblicke die sich bewegenden Wassertheilchen befinden; dann ziehen wir in diesen Punkten Tangenten an die Weglinien; die Tangenten zeigen die Richtung des Druckes in dem betreffenden Augenblicke an. Betrachten wir alle diese Tangenten, die den festen Körper schneiden, so finden wir eine Menge gerader convergirender und divergirender Linien, welche einen oder mehrere

abgestumpfte Kegel bilden; diese Kegel liegen mit dem oberen oder mit dem unteren Ende gegen den festen Körper gerichtet. Im ersten Falle wird der Körper dem hydraulischen Drucke der convergirenden Fäden und der grössten Anzahl von Wassertheilchen, im zweiten demjenigen der divergirenden Fäden und der kleinsten Anzahl von Wassertheilchen unterworfen sein. Angenommen, dass sämmtliche Wassertheilchen in ihrer Masse, welche wir als Einheit betrachten, gleich sind, so finden wir, wenn wir die mittlere Geschwindigkeit mit v und die Anzahl der Wassertheilchen mit m bezeichnen, für die lebendige Kraft oder die mechanische Arbeitsleistung den mathematischen Ausdruck

$$m \frac{v^2}{2}$$

und für die Kraft des Stosses (P)

$$P = m v,$$

wobei $m v$ die mechanische Bewegungsleistung ausdrückt. Es ist klar, dass die Grösse m oder die auf den festen Körper einwirkende Wassermasse im Werthe wechselt und aus der Formel nicht eliminirt werden darf, indem man etwa an ihre Stelle das Product aus der Dichtigkeit des Wassers und einem bestimmten Volumen des letzteren setzt. Es ist ferner auch klar, dass bei gleicher Bodengeschwindigkeit, jedoch bei Veränderung der den Druck verursachenden Wassermasse der hydraulische Druck des fliessenden Wassers auf die Bodengeschiebe sich je nach der Anordnung der Wasserfäden verändern kann.

Die Beobachtungen über die Wasserfäden ergeben, dass an den gewöhnlich am concaven Ufer befindlichen Stellen alle Wasserfäden die Schwimmer gegen das concave Ufer treiben; daraus erhellt, dass der die Schwimmer treibende hydraulische Druck immer gegen die concaven Ufer gerichtet ist, während die Wassertheilchen einen Weg verfolgen, dessen Richtung die Uferlinien niemals schneiden kann. Der Begriff der Convergenz und Divergenz der Wasserfäden und des hydraulischen Druckes darf daher nicht mit der Vorstellung einer Zusammenpressung der Wassermoleküle durch die Vereinigung der Wasserfäden identificirt werden.

Die sich in krummen Linien bewegend und sich gegenseitig stossenden Wasserfäden rufen nach zwei Richtungen hin Wirkungen hervor, nämlich in der Richtung der oben erwähnten Tangenten und in derjenigen der Normalen; die Wirkungen in diesen beiden Richtungen können Rotationsbewegungen der Wassermoleküle verursachen, und derartige Rotationen tragen zur Aufhäufung von Anschwemmungen bei. Durch die Theilung der lebendigen Kraft $\left(\frac{v^2}{2}\right)$ in zwei Richtungen muss deren Leistung nach und nach erlöschen, und zwar um so schneller, je grösser der Convergenzwinkel der Wasserfäden ist. Die Verringerung der lebendigen Kraft jedes als Einheit angenommenen Wassermoleküles zeigt sich

in der Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit der einzelnen Stromstriche und dadurch in der Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit in ganzen Bette. In der That, je grösser die Buchtigkeit des Bettes ist, desto bedeutendere Tiefen trifft man an, welche durch den starken, in Folge der Convergenz der Wasserfäden gegen die concaven Ufer entstehenden Druck des Wassers auf den Boden verursacht werden.

Welche Bedeutung die Zunahme der convergirenden Wasserfäden hat, sieht man daran, dass die Austiefung des Bodens bei und trotz Verlangsamung der Strömung und Bildung einer Stauung im Längsprofile des Stromes stattfindet, während dagegen an den Untiefen, wo die Wasserfäden divergirende Richtungen haben, die Verschiebung der Anschwemmungsgebilde trotz der bedeutenden Geschwindigkeit der Strömung nur langsam und ruckweise erfolgt. Die Ursache der erwähnten Verlangsamung der Strömung und des Anwachsens der Stauung liegt in dem Verbräuche eines grossen Theiles der lebendigen Kraft durch die Stösse der Wasserfäden gegen einander.

Wenn wir uns in der Richtung der schon verschiedentlich erwähnten Tangenten dünne Wasserfäden in Bewegung befindlich denken, welche gegen einen festen Körper gerichtet sind, so wird, wenn in einem gegebenen Augenblicke die ganze mechanische Arbeitsleistung zu einem Stosse verwendet würde, das Volumen nicht nur hinreichen, um den festen Körper vorwärts zu bewegen, sondern sogar, um ihn zu zerschmettern; es wäre also die Anzahl der thätigen Moleküle, d. h. die Masse des den Stoss ausführenden Wassers, stromaufwärts unbegrenzt. In Wirklichkeit jedoch erfolgt die Uebertragung des Stosses der Wassermasse auf ganz andere Weise, nämlich:

1^o. Jedes Molekül gibt im Augenblicke seiner Annäherung an den festen Körper zu dem Stosse nur einen kleinen Theil seiner lebendigen Kraft her und seitwärts ausweichend bewahrt es den weitaus grösseren Theil dieser Kraft für seinen ferneren Lauf.

2^o. Häufige Beobachtungen beweisen, dass der Widerstand des festen Körpers gegen die freie Bewegung des auf ihn zuströmenden Wassers sich nicht auf die ganze stromauf befindliche Wassermasse erstreckt, sondern dass die Moleküle in einer wenig bedeutenden Entfernung von dem festen Körper auszuweichen beginnen, so dass die Entfernung, auf welche sich der Widerstand erstreckt, weder durch theoretische Berechnungen noch durch Beobachtungen ermittelt werden kann. Es ist wahrscheinlich, dass derselbe von der Geschwindigkeit der Strömung, von dem Verhältnisse des Flächeninhaltes des grössten Querschnittes des festen Körpers zu dem Flächeninhalte des Flussbettquerschnittes, von der Form des festen Körpers und von der Anordnung der Wasserfäden abhängt.

Durch die Untersuchung des von fliessendem Wasser auf einen eingetauchten, unbeweglichen Körper ausgeübten Druckes hat sich herausgestellt, dass man heute noch nicht im Stande ist, die Ausdrücke $m \frac{v^2}{2}$

und $m \cdot v$ in eine den practischen Erfahrungen entsprechende Form zu bringen, so lange man nicht eine Grundlage zur Berechnung der Wassermassen hat, welche den Stoss auf den festen Körper übertragen und derjenigen, welche durch den Widerstand des festen Körpers zum Ausweichen gebracht werden; indessen sind die genannten so einfachen Ausdrücke für allgemeine auf die Verschiebung der Anschwemmungsgelände bezügliche Berechnungen sehr geeignet.

Wie wir schon gesagt haben, verbraucht die auf einen festen Körper einwirkende Menge fließenden Wassers nicht ihre ganze lebendige Kraft, denn für einen vollständigen Verbrauch müsste $m \frac{v^2}{2}$ gleich 0 sein, das ist aber nur möglich, wenn $v = 0$, d. h. wenn die stossende Wassermasse zu vollkommenem Stillstande gelangt. In Wirklichkeit indessen fließt das Wasser mit der etwas verringerten Geschwindigkeit v_1 weiter und behält eine Leistungskraft von $m \frac{v_1^2}{2}$ so dass die für den Stoss verwendete Leistung

$$m \frac{v^2}{2} - m \frac{v_1^2}{2} = \frac{m}{2} (v^2 - v_1^2) \quad (4) \text{ beträgt, und die Kraft}$$

des Stosses

$$m (v - v_1).$$

Je grösser die benutzte Kraft ist, desto stärker ist auch der Stoss, und desto grösser die Möglichkeit, den festen Körper von seinem Platze zu entfernen.

Da die Hauptaufgabe der Regulirung der Ströme in der Austiefung der flacheren Stellen des Bettes besteht, so wird man zunächst zu untersuchen haben, durch welche Mittel eine Zunahme des Werthes der Ausdrücke

$$\frac{m}{2} (v^2 - v_1^2) \text{ und } m (v - v_1) \text{ zu erreichen ist.}$$

Die Austieffleistung und die Kraft des Stosses wachsen mit Zunahme der Masse der auf die Bodenerhebungen gerichteten Wassermoleküle, mit der Strömungsgeschwindigkeit dieser Moleküle und mit der Abnahme der Geschwindigkeit der durch den Widerstand der Bodenerhebungen zurückgeworfenen Moleküle.

Zwecks Vermehrung der thätigen Moleküle leitet man die grösstmögliche Anzahl von Wasserfäden nach dem auszutiefenden Theile des Bettes, um dort den Stoss möglichst zu concentriren. In der Praxis erreicht man dies, indem man die Seitenarme absperrt und die sich kreuzenden und an den Untiefen sich brechenden Strömungen ableitet, zu welchem Zwecke man Regulirungswerke baut; diese Werke leiten die Strömungen in geeignete Bahnen.

Die Grösse v ist nicht die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Querschnittes, sondern nur diejenige des Theiles, mit welchem sich der

hydraulische Druck des Wassers am Boden des Flussbettes ausdehnt. Wenn die Grösse v mit der mittleren Geschwindigkeit des ganzen Querschnittes zunimmt und abnimmt, so muss man doch zugeben, dass die Abnahme des Querschnittes zur Vermehrung der Grösse v und somit zur Vermehrung der Austieffleistung dient. Daher engt man das Bett durch Regulirungsbauten ein.

Es ist jedoch zu bemerken, dass die Verringerung der Breite des Bettes nicht immer die gewünschte Verringerung des Flächeninhaltes des Querschnittes herbeiführt; oft passt sich der Querschnitt nicht dem Entwurfe an, sondern folgt in seinen Umrissen Linien, welche zu den projectirten Linien schief und krumm gerichtet sind, so dass die Wasserfäden eine nicht nur zu den Ufern nicht parallele, sondern zuweilen sogar senkrechte Richtung einnehmen. Daher führen die nach gewohntem Muster gemachten Entwürfe und die nach diesen Entwürfen unternommenen Regulirungen nicht zu der gewünschten Austiefung des Bettes. Aus diesem Grunde wird man ausser der Einengung des Querschnittes die geeignete Leitung der Wasserfäden ins Auge fassen müssen und die gewünschte Regulirung durch Bauten, welche den Wasserfäden als Leitwerke dienen, zu erreichen suchen. Wie man weiss, hat die Einengung des Querschnittes auch noch den Fehler, dass sie mit der Austiefung des Bettes gleichzeitig eine Senkung des Wasserspiegels und eine Verschiebung der bedeutenderen Gefälle nach benachbarten Stromstrecken bewirkt, so dass der Schifffahrt dadurch wiederum neue Hindernisse geschaffen werden. Man kann diese Unzuträglichkeiten zwar durch Anlage unter Wasser liegender Bühnen mildern, welche zur Festhaltung der Gefälle in der regulirten Strecke dienen; derartige Bauten sind jedoch kostspielig und können ebenfalls zeitweise die Schifffahrt behindern, wenn nämlich die Wasserabfuhr geringer wird, oder wenn der Tiefgang der Schiffe zunimmt.

Die Grösse v_1 , d. h. die mittlere Geschwindigkeit der Wassermoleküle, welche unter dem Einflusse des Widerstandes der Bodenerhebungen von ihrer Richtung abweichen, tritt in dem mathematischen Ausdrucke für die zur Austiefung des Bodens nöthige Leistung in negativer Form auf. Es ist daher nothwendig, für die möglichste Verkleinerung von v_1 Sorge zu tragen.

Um uns diesen Punkt klarer zu machen, wollen wir uns vorstellen, dass ein einzelner Wasserstrahl in eine Röhre und gegen einen in derselben befindlichen dicht anschliessenden festen Körper geleitet werde. Weicht der Körper unter dem Drucke des Wassers nicht von der Stelle, so kommt das Wasser in der Röhre zum Stillstande, v_1 wird = 0, und die ganze mechanische Leistung $m \frac{v^2}{2}$ wird für den Stoss verbraucht, dessen ganze Kraft $m v$ beträgt. Ist der Wasserstrahl jedoch nicht in eine Röhre eingeschlossen, sondern frei fliessend, so bewahrt das Wasser, welches den festen Körper leicht umgeht, nach dem Stosse noch einen grossen

Theil seiner Geschwindigkeit, und der Stoss ist unvergleichlich schwächer. Umgeben andere, annähernd parallele oder auch divergirende Wasserstrahlen den auf den festen Körper drückenden Strahl, so wird die Wirkung auf den Körper grösser, als die eines einzelnen Strahles, denn das umgebende Wasser erschwert das Ausweichen. Ist die Richtung der umgebenden Wasserstrahlen convergirend, so wird es für den stossenden Strahl, selbst wenn seine Nachbarn nicht auf einen festen Körper drücken, noch schwerer, das ihm entgegenstehende Hinderniss seitwärts zu umgehen; er ergiesst sich dann über den festen Körper hinweg. Dieser Weg wird aber mit der Zunahme der von oben auf den stossenden Strahl drückenden Wassermassen immer schwieriger, da der Strahl genöthigt ist, jene Wassermassen in die Höhe zu heben. Je mehr die Schwierigkeiten wachsen, welche sich dem Ausweichen entgegenstellen, desto kleiner wird v_1 und desto stärker der Stoss, und je mehr Wassermassen sich über dem festen Körper befinden, mit anderen Worten also, je grösser die Tiefe des Wassers ist, desto schwieriger kann der stossende Strahl dieses Wasser emporheben, bis er endlich bei einer gewissen Tiefe dazu überhaupt nicht mehr im Stande ist, im welchen Falle v_1 sein Minimum, die Kraft des Stosses aber ihr Maximum erreicht.

In Wirklichkeit wird im Flussbette niemals $v_1 = 0$, denn der stossende Wasserstrahl kann den festen Körper umgehen, indem er die Geschwindigkeit der umgebenden Strahlen vermehrt, ohne dieselben merklich zu heben.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Zunahme der Tiefe und die Convergenz der Wasserfäden zur Vermehrung der austiefenden Kraft des Wassers beitragen, daraus darf jedoch nicht gefolgert werden, dass eine im Flussbette künstlich geschaffene Rinne sich durch die Wirkung der Strömung erhalten und sogar noch vertiefen würde; denn dazu ist nicht nur Tiefe des Wassers, sondern auch geeignete, gegen die Bodenerhebungen gerichtete Leitung der convergirenden Wasserfäden nothwendig; ohne Erfüllung dieser letzteren Bedingung, würde man in der Rinne fast gar keine Strömung haben, und die Vertiefung würde bald durch die antreibenden festen Stoffe ausgefüllt werden.

Der grosse Einfluss der Tiefe auf die Ausbildung des Flussbettes wird durch die Beobachtungen der natürlichen Auskolkungen bestätigt. Wenn eine Auskolkung sich in unbedeutender Tiefe, z. B. an 0,4—0,6 m. unter dem Wasserspiegel liegenden Stellen, bildet, so erfolgt die Aushöhlung des Bodens trotz des bedeutenden Gefälles bei Niedrigwasser und trotz grosser Strömungsgeschwindigkeit doch nur sehr langsam. Bei Eintritt des Hochwassers jedoch, wenn das Gefälle sich mildert, geht die Auskolkung trotz der Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit so kräftig vor sich, dass, wie Verfasser auf dem Dnjepr und auf der Pripet wiederholt beobachten konnte, der Querschnitt der entstehenden Vertiefung in kürzester Zeit für die Schifffahrt hinreichende Abmessungen annimmt.

Diese Resultate weisen darauf hin, dass die aushöhlende Kraft nicht mit der Geschwindigkeit der Strömung, sondern mit der Masse des auf die Auskolkung einwirkenden Wassers, besonders aber mit der Tiefe zunimmt. Die Schwerkraft des Wassers verhindert, dass die unteren Schichten die Bodenerhebungen überschreiten, bewirkt aber die Mitführung der letzteren.

Je mehr das Ausweichen der Wasserfäden um einen festen Körper herum behindert wird, desto kleiner ist v_1 und desto grösser sind die Kraft des Stosses und die für den Stoss verwendete Arbeitsleistung des Wassers. Es ist bekannt, dass kleine Bäche, die in engen Betten mit wenig ausgehöhlten Ufern fliessen, zuweilen Steine von bedeutendem Umfange mit sich führen. Ebenso reisst das Regenwasser in den Gossen Ziegel und Steine mit sich fort, und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche derjenigen starker Flussströmungen wenig nachgibt; in breiten Strombetten aber bleiben sogar kleine Sandkörner liegen. Der Unterschied in der Krafterleistung des Wassers zur Verschiebung der festen Körper in diesen beiden Fällen hängt nicht so sehr von der Strömungsgeschwindigkeit v ab, wie vielmehr von der Menge der verlorenen Geschwindigkeit $v - v_1$, d. h. von der Grösse v_1 , und diese wiederum hängt von dem grossen Unterschiede in den Verhältnissen der Querschnitte der festen Körper zu dem Flächeninhalte der Bettquerschnitte, d. h. von der Einengung des Strömungsquerschnittes durch den Querschnitt der mitgeführten festen Körper, ab.

Wenn das Bett breit und der Umfang des festen Körpers gering ist, so unterscheidet sich v_1 wenig von v , und die Grösse

$$\frac{m}{2} (v^2 - v_1^2)$$

wird beinahe = 0. Ist die Strömung schmal und der Querschnitt des die freie Bewegung hindernden festen Körpers grösser, so kann dadurch eine bedeutende Verzögerung der Bewegung verursacht, d. h. v_1 viel kleiner, als v werden; der zu dem Stosse verwendete Theil der mechanischen Krafterleistung des Wassers kann dann so gross werden, dass er sogar schwere Lasten verschiebt.

Zwecks einer näheren Betrachtung der Mittel zur Verkleinerung von v_1 , stellen wir uns vor, dass eine Wassermenge in einer Gosse fliesse, welche an einem Ende durch eine Klappe fest verschlossen ist. Stösst das Wasser gegen die Klappe, so ist $v_1 = 0$ und der Stoss vollkräftig, d. h. die ganze lebendige Kraft des Wassers wird zu demselben verbraucht. Wenn aber neben der Klappe ein Stück der Seitenwand der Gosse weggenommen ist, so wird der Stoss gegen die Klappe nicht vollkräftig sein, und zwar um so weniger, je grösser die in die Seitenwand gemachte Oeffnung ist. Nimmt man die Klappe hinweg, so übt das geradeaus fliessende Wasser auf die Wände der Gosse den geringstmöglichen hydraulischen Druck aus.

Ganz ähnlich sind die Vorgänge in den Flussbetten. Die gegen das

concave Ufer und die diesem benachbarten Theile des Bettes strömenden und von denselben zurückgeworfenen Wasserfäden verlieren einen grossen Theil ihrer Geschwindigkeit, derselbe wird zu dem Stosse und zur Aushöhlung des Ufers benutzt; in einem geradlinigen Bette dagegen ist der Geschwindigkeitsverlust verhältnissmässig gering, v_1 fast gleich v , und die austiefende Kraft daher nur unbedeutend.

Um den gewünschten Werth des Ausdruckes $\frac{m}{2} (v^2 - v_1^2)$ durch die Verminderung von v_1 zu erreichen, muss man deshalb geradlinige Uferrichtungen vermeiden und die Krümmung der Ausbuchtungen möglichst verschärfen, d. h. den Radius der Krümmung vermindern. Diese letztere Maassregel ist indessen bisher nicht zur Anwendung gekommen, denn das Ziel der Flussregulirungen besteht nicht in der allgemeinen Vertiefung des Flussbettes, sondern in der Austiefung zu flacher Stellen, welche sich gewöhnlich nicht bei den concaven Biegungen, sondern bei den Inflexionspunkten befinden. Uebrigens sind der Ausführung gedachter Maassregel auch gewisse Grenzen gezogen, nämlich: 1) Der Nachtheil zu scharfer Krümmungen für die Schifffahrt, besonders für die Dampfschleppschifffahrt; 2) die Unterwaschung der Böschungen; 3) die Ausspülung der Ufer durch das Hochwasser, welches einer geraden Richtung zu folgen sucht.

Somit muss man bei Entwurf der Uferlinien hauptsächlich den natürlichen concaven Formationen folgen, die Strecken ausgenommen, wo die Buchtungen schwach und unregelmässig entwickelt sind.

Bei den Inflexionspunkten findet man meistens eine divergirende Richtung der Wasserfäden, so dass diese mit verhältnissmässiger Leichtigkeit Hindernisse umgehen. Der Geschwindigkeitsverlust ist dort deshalb unbedeutend, v_1 unterscheidet sich im Werthe wenig von v , und die Verschiebung der Anschwemmungen ist schwach. Um den Werth von v_1 zu vermehren, muss man die getrennten Wasserfäden vereinigen und ihnen eine gegen die geplante Linie der Fahrrinne convergirende Richtung geben, so dass zur Austiefung langgestreckter Bänke die Einengung des Bettes nicht hinreicht, sondern es auch nothwendig wird, dem Bette eine Form zu geben, bei welcher die Wasserfäden stets convergiren müssen.

Es ist uns also möglich, die austiefende Kraft nicht nur durch Vermehrung von v , d. h. durch Beschleunigung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit, sondern auch durch Vermehrung des Werthes von m und durch Verminderung des Werthes von v_1 zu erhöhen.

Um v zu vermehren, genügt es nicht, den Querschnitt einzuengen; es ist auch nöthig, dass die Wasserfäden eine entsprechende Richtung erhalten, was auch für den gewünschten Einfluss auf die Grössen m und v_1 erforderlich ist. Anerkanntermaassen erreicht man die Regulirung des Bettes nicht durch Einengung desselben, sondern hauptsächlich durch eine

zweckentsprechende Leitung der Wasserfäden, wobei die Einengung der Querschnitte selbstverständlich mit in Betracht kommt.

In den Untersuchungen über die Austiefung der Flusssohlen durch die Kraft der Strömung haben wir das Trägheitsvermögen des Wassers als eine von anderen Umständen unabhängige Sache betrachtet, während die lebendige Kraft durch das Wasser bei seiner Bewegung aus der Gravitationskraft erlangt wird. Es ist daher zu bedenken, wie weit es in unserer Macht liegt, die Arbeit der Gravitationskraft für unsere Bedürfnisse zu verwenden.

Bezeichnen wir mit Q die Wasserabfuhr eines Stromes, mit Δ die Dichtigkeit des Wassers und mit H das Gefälle, so ist die Leistung der Gravitationskraft $\Delta \cdot Q \cdot H$.

Es liegt nicht in unserer Macht, die jährliche Wasserabfuhr zu regeln, denn dieselbe hängt von meteorologischen und klimatischen Bedingungen ab; es ist allerdings bekannt, dass die Forstwirthschaft zur Vermehrung der feuchten Niederschläge beiträgt; für den Unterhalt der schiffbaren Tiefe ist aber nicht die jährliche Menge der Niederschläge von hervorragender Bedeutung, sondern vielmehr geeignete und geregelte Wasserseisung. Zu einer solchen gelangt man durch Waldbau im Stromgebiete und durch Anlage von Sammelbecken.

Das allgemeine Gefälle eines Stromes oder eines mehr oder weniger bedeutenden Theiles desselben lässt sich nicht verändern, indessen wird man Sorge tragen, dass dasselbe so viel wie möglich über die ganze Länge des Stromes vertheilt, d. h. ein einheitliches Längsprofil geschaffen werde.

Die Formeln über die gleichmässige Bewegung des Wassers lehren uns, dass es zur Regulirung des Längsprofils der Flusssohle nothwendig ist, das Gefälle zu reguliren. Zur practischen Lösung der Frage der Flussregulirungen ist jedoch eine vollständige Nivellirung nicht erforderlich, auch ist die Möglichkeit, eine durchgehende Nivellirung und eine einheitliche Strömung zu erzielen, sehr zweifelhaft, da die Strömungsbedingungen in den Buchtungen sehr von den in den Inflexionen obwaltenden abweichen. Diese Verschiedenartigkeit zeigt sich besonders in der Anordnung der Wasserfäden. Könnten wir an den Inflexionen eine Convergenz der Wasserfäden gleich der in den Buchtungen herrschenden erzielen, so würde die Frage der Bodennivellirung der Flüsse dadurch ihrer idealen Lösung beträchtlich näher gerückt werden.

Die vorstehende Untersuchung der Anwendung der dynamischen Formeln auf Flussströmungen zeigt die Verkehrtheit der Voraussetzung des Parallelismus der Wasserfäden.

Der so sehr grosse Unterschied der Bewegung und des Stosses elastischer fester Körper von der Bewegung und dem Stosse flüssiger Körper rührt daher, dass in den festen Körpern die gegenseitige Lage der Moleküle und die Entfernung derselben von einander sich weder bei

Bewegung noch bei Stoss ändern; die Bewegung aller Moleküle folgt parallelen oder concentrischen Linien. Bei der Bewegung flüssiger Körper dagegen findet in Folge des Widerstandes der Fläche oder der Umgebung, auf oder in welcher die Flüssigkeit sich bewegt, ein fortwährender Wechsel der Moleküle statt, so dass die innerhalb der Flüssigkeit entstehenden unabhängigen Strömungen einen ansehnlichen Theil der durch die Wirkung der Gravitationskraft erzeugten Leistung aufheben. Dieser Verlust an lebendiger Kraft ist besonders stark bei dem Stosse flüssiger gegen feste Körper.

Um die Hydrodynamik zu einer exacten Wissenschaft zu machen, darf man sich nicht auf abstracte mathematische Berechnungen beschränken, wie solche von NAVIER, HELMHOLTZ und seinen Anhängern, BUSSINESK und vielen Anderen angestellt worden sind. Man muss sich klar machen, dass die Hydrodynamik, ebenso wie die Physik, eine Experimentalwissenschaft ist, deren Grundlagen nicht aus willkürlichen Voraussetzungen, sondern aus den Ergebnissen unmittelbarer Experimente und aus durch Erfahrung gesammelten Ergebnissen gebildet werden müssen.

Da die Bewegung der flüssigen Körper in Widerstand leistender Umgebung anderen Gesetzen unterworfen ist, als die Bewegung der festen Körper, so hat nach unserer Ansicht Jedermann, der sich mit der practischen Anwendung der Hydrodynamik befasst, die Pflicht, die Conjunctionen der Wasserbewegung zu studiren, welche durch die Form des Flussbettes verursacht werden und auf die Umformung desselben einwirken, und besonderes Augenmerk auf die Eigenthümlichkeiten zu richten, welche die Bewegung der flüssigen Körper von derjenigen der festen unterscheiden, d. h. auf die innere Bewegung der Moleküle während der Bewegung der Flüssigkeit.

Die unter unserer Leitung auf dem Dnjepr bei Kiew angestellten Untersuchungen haben ergeben, dass es möglich ist, die Richtung der Wasserfäden zu der Wasseroberfläche zu beobachten. Die dabei entdeckten Eigenthümlichkeiten der Richtung der Wasserfäden haben in Verbindung mit den Aufnahmen über die Form des Flussbettes viel zur Erklärung des Gesetzes über die in jedem Wasserlaufe sich bemerkbar machenden isolirten, unabhängigen Strömungen beigetragen.

Um die Frage der Möglichkeit einer Schliessung der seitlichen Brückenöffnungen im Dnjeprdeiche auf der Landstrasse von Kiew nach Tschernigow aufzuklären, sowie zwecks Concentrirung aller Hochwassermassen in ein Hauptbett rechts von der Stadt, und um diese Wassermengen durch den Bogen der Hängebrücke zu führen, hat man ausser wiederholten Wassermessungen mit Hülfe von Schwimmern Aufnahmen über die Richtung und die Geschwindigkeit der Wasserfäden an der Oberfläche des Stromes vorgenommen.

Die Schwimmer sind von runder Form, aus trockenem Tannenholz gemacht und haben 0,06 m. Dicke und 0,25 m. Durchmesser (siehe Zeichnung 1, Blatt II). Sie sind mit weisser Oelfarbe angestrichen, die obere Scheibe ist in 4 Abschnitte getheilt, die mit verschiedenen Farben bemalt sind, damit der dem Schwimmer in einem Boote folgende Beobachter die Richtung der Drehungen des Apparates und die Anzahl derselben leicht ersehen kann. Durch den Schwimmer geht eine eiserne Stange, an deren unterem Ende sich eine Mutterschraube befindet. Mittelst dieser Schraube befestigt man an der Stange so viele eiserne Platten, wie nöthig sind, um fast den ganzen Schwimmer ins Wasser eintauchen zu lassen. Das obere Ende der Stange trägt eine Glaskugel von glänzender Farbe.

Bevor man zur Aufnahme der Richtung der Wasserfäden schreitet, steckt man in einer Entfernung von 50—400 m., je nach der Wichtigkeit der Strecke und je nach der Verschiedenheit der Bettformation, Querprofile ab. Dieselben werden auf den Ufern durch Merkstangen kennlich gemacht. Darauf nimmt man den Plan des Wasserspiegels im Maasstabe von 0,01:25 oder 50 auf. Die ganze zu beobachtende Strecke wird in verschiedene Theile getheilt, so dass auf einem Messtisch nicht mehr als 600—700 m. nach jeder Seite d. h. stromauf und stromab, entfallen; denn auf eine grössere Entfernung lassen sich die Glaskugeln der Schwimmer mittelst des Kippregels nicht beobachten.

Nach den ersten Entwürfen und den Notirungen über die Dauer des Laufes der Schwimmer hat man zweierlei Pläne angefertigt. Auf den Plänen *a* sind die Richtungen der Schwimmer und die Geschwindigkeitsprofile dargestellt, auf den Plänen *b* sind ausser den Richtungen der Schwimmer deren Lagen nach Verlauf einer gewissen Zeit seit Durchgang durch das erste Profil aufgenommen.

Von der Annahme ausgehend, dass sämmtliche Schwimmer gleichzeitig das erste Profil passirten, kennzeichnete man auf ihrem Wege die Punkte, wo sie sich 2 oder 4 oder 5 Minuten nach Durchgang durch das erste Profil befanden. Durch Verbindung dieser Punkte erhielt man das Profil der Stellung der Schwimmer in den angegebenen Zeiträumen. Von den genannten Punkten aus verfolgte man den Gang der Schwimmer weiter und kennzeichnete nach dem Verlauf eines ferneren gleichen Zeitraumes von neuem die Stellung derselben; durch Verbindung wiederum dieser Punkte wurde das zweite Profil bestimmt, und so fort.

Bei Verfolgung der von den Schwimmern verfolgten Wege fällt eine charakteristische Eigenthümlichkeit auf: die Wege kreuzen sich. Dieser Umstand rührt daher, dass alle Schwimmer von den convexen Ufern sich gegen die Fahrinne und gegen die concaven Ufer richten. Die Kreuzungsstellen bleiben bei verschiedenen Versuchen ziemlich die gleichen, was man um so weniger zufälligen Ursachen, wie dem Winde oder der durch

vorüberfahrende Dampfer verursachten Wellenbewegung zuschreiben kann, als die Beobachtungen bei stillem Wetter vorgenommen wurden, und man die Dampfschiffe durch Sprachrohre auffordert, sich von den Schwimmern entfernt zu halten.

Betrachtet man den vom Schwimmer verfolgten Weg als denjenigen eines Wasserfadens, d. h. einer gewissen Wassermasse, so ist es offenbar, dass die Kreuzung dieser Massen unter Beibehaltung der Richtung jeder einzelnen nicht stattfinden kann. Man muss daher untersuchen, in wie weit der Weg eines Schwimmers mit der Richtung eines Wasserfadens übereinstimmt.

Stellen wir uns ein Wasservolumen in Form einer Kugel oder eines Rotationskörpers mit verticaler Achse vor, welches auf einer ganz glatten horizontalen Oberfläche ruht. Der wagerecht über diesen Rotationskörper gelegte Schwimmer wird nach Ablauf des Wassers senkrecht auf die Fläche hinabfallen. Nach seiner Bewegung auf der letzteren zu urtheilen, würde es scheinen, dass das Wasser ganz bewegungslos gewesen sei. Ist aber die Oberfläche, auf welcher der Wasserkörper ruht, nicht ganz horizontal, oder befindet sich in derselben eine Höhlung oder eine rauhe Stelle, so wird der Schwimmer in Folge der Vermehrung der Geschwindigkeit und der lebendigen Kraft nach einer Richtung hin im Sinne der grössten Geschwindigkeit mitgerissen; daraus folgt aber nicht, dass das Wasser sich nicht auch noch in anderer Richtung bewegt.

Desgleichen beweist der Umstand, dass die Schwimmer sich gegen die Fahrrinne und gegen die concaven Ufer richten, durchaus nicht, dass auch das gesammte Wasser sich dahin bewege; trotzdem aber geht daraus hervor, dass an der Wasseroberfläche die grössten Geschwindigkeiten nicht den Ufern, sondern schräg auf die Fahrrinne zustreben.

Die Abweichung der Wasserfäden nach der Fahrrinne hin ist der Grund, weshalb die Ergebnisse der Wasserabfuhr-Messungen zuweilen mit der Wirklichkeit wenig übereinstimmend sind.

Der betreffende Unterschied ist auch viel zu gross, als dass man ihn der Ungenauigkeit des Messinstrumentes zuschreiben könnte, denn die mit letzteren erzielten Ergebnisse sind untadelhaft, wenn man nur die Flügelräder genau überwacht und die Reibungscoefficienten richtig bestimmt.

Bei der Vereinigung zweier Wasserfäden gehen ihre Massen in einander über, die weitere Bewegung erfolgt in der Richtung der Resultante der beiden Geschwindigkeiten.

Die Verschmelzung der Wassermassen zweier zusammenströmenden Giessbäche kann man nach der Farbe des Wassers beurtheilen. Jeder Fluss hat eine besondere Farbe; die aus Sümpfen abfliessenden Gewässer sind dunkelbraun, die Gebirgsflüsse durchsichtig, andere gelb, grünlich u. s. w. Dieser Unterschied in der Farbe ist nur über einen kleinen Abstand von dem Orte des Zusammenflusses zu verfolgen und verschwin-

det nach und nach in dem Maasse, in dem die Wasserfäden in einander übergehen.

Der bei dem Zusammenflusse zweier Wasserfäden sich in dem einen derselben bewegende Schwimmer wird in der Richtung der Resultante seiner eigenen Geschwindigkeit und derjenigen des neuen Wasserfadens weiterbewegt. Man findet, dass bei dem Zusammenflusse zweier Wasserfäden die durch diese getragenen Schwimmer sich nicht etwa vereinigen und ihren Weg gemeinschaftlich fortsetzen, sondern dass ihre Bahnen sich kreuzen, und dass, wenn die Zusammenflussstellen der Wasserfäden die gleichen bleiben, auch die Kreuzungsstellen ihre Lage nicht verändern. Wenn ein Schiff auf einem Flusse an der Stelle in Fahrt ist, wo ein anderer Fluss oder ein Nebenarm unter spitzem Winkel einmündet, während die concaven Ufer sich in einer Spitze vereinigen, so geht dasselbe gewöhnlich in den Stromstrich des einmündenden Gewässers über.

Der Schwimmer empfängt in jedem Augenblick einen Stoss durch das ihn tragende Wasser; er sucht aber stets, eine geradlinige Richtung in der Tangente an der Krümmung des Wasserfadens zu verfolgen; die Masse der Wasserfäden widersetzt sich dieser Bewegung des Schwimmers und will ihn mit sich fortreissen, diesen Widerstand überwindet jedoch die lebendige Kraft des Schwimmers theilweise; dadurch fällt der Weg des Schwimmers nicht ganz mit der Richtung des Wasserfadens zusammen, der Schwimmer weicht nach dem concaven Ufer zu ab und erreicht dieses eher, als die Strömung, in welche man ihn gesetzt hatte.

Es ist bisher nicht gelungen, festzustellen, wie gross die Abweichung des Schwimmers von dem ihn führenden Wasserfaden ist, da die Bewegung der Strömung ja eben nur durch die Schwimmer zu beobachten ist. Weiter unten werden wir einen vom Verfasser gegenwärtiger Abhandlung erfundenen Apparat näher beschreiben, nämlich einen Strömungsanzeiger, mittels dessen man die Richtung der Strömung an allen Punkten des Flussbettquerschnittes feststellen kann.

Wäre die Dichtigkeit des Schwimmers möglichst gleich der des Wassers, und hätte der Schwimmer unendlich kleine Abmessungen, so würde sein Weg ganz mit der Richtung des ihn leitenden Wasserfadens zusammenfallen. Bei endlichen, jedoch kleinen Abmessungen wird der Schwimmer in geringem Maasse abweichen. Man kann also annehmen, dass die Abweichung proportional zu den Abmessungen des Schwimmers ist.

Die Abweichung beruht auf dem Beharrungsvermögen, welches der Masse des Körpers, d. h. drei Dimensionen, proportional ist; der Widerstand des durch Stösse gegen die Oberfläche des Schwimmers wirkenden Wassers ist der Oberfläche des Schwimmers, also zwei Dimensionen, proportional; somit ist die aus Beharrungsvermögen und Widerstand resultirende Kraft einer lineären Grösse proportional, z. B. bei Schwimmern von gleicher Höhe dem Durchmesser derselben. Aus der Abwei-

chung der Wegrichtungen zweier Schwimmer verschiedener Abmessungen von einander kann man somit ermessen, welchen Fehler man begeht, wenn man voraussetzt, dass der Weg der Schwimmer mit der Richtung der sie leitenden Wasserfäden zusammenfalle.

Um diesen Punkt näher zu untersuchen, hatten wir einen grossen Schwimmer anfertigen lassen, dessen Durchmesser 1 m. betrug, also viermal so gross war, als der der gewöhnlichen Schwimmer. Die Einrichtung desselben geht aus Blatt II, Fig. 2, hervor.

Die Beobachtung des Ganges des grossen Schwimmers ergab, dass er sich bei geringer Krümmung der Wasserfäden fast ebenso bewegte, wie die gewöhnlichen Schwimmer; nahm aber die Krümmung der Wasserfäden zu, so wich der grosse Schwimmer stärker nach der Concavität hin ab, als die kleinen (Blatt IV, Faden n^o. V). Im allgemeinen sind die Abweichungen des Weges des grossen Schwimmers von demjenigen der kleinen Schwimmer unbedeutend, man kann deshalb annehmen, dass die Schwimmer einen Weg verfolgen, welcher nur in geringem Maasse von der Richtung der Wasserfäden abweicht.

Wir halten es für angebracht, hier eine Erklärung des Ausdrückes *Wasserfaden* zu geben, dessen wir uns im Verlaufe unseres Berichtes noch häufig bedienen werden.

Unter Wasserfaden versteht man eine Wassermasse von unbestimmter Grösse, aber von bestimmter Richtung; diese Richtung wird gewöhnlich mit derjenigen der Schwimmer nahezu zusammenfallen. Da seine Abmessungen unbestimmt sind, so ist der Wasserfaden kein physischer Körper, sondern nur eine Vorstellung, welche wir uns machen, um die Erscheinungen der Wasserbewegung zu veranschaulichen.

In Wirklichkeit bestehen in einem Flusse nicht einzelne von einander getrennte Fäden von abgegrenztem Umfange; die Wasserbewegung ist nicht die Bewegung von Fäden, sondern diejenige der ganzen Masse, entspricht also der Bewegung der festen Körper, mit dem Unterschiede jedoch, dass alle Moleküle eines festen Körpers parallelen und concentrischen Bahnen folgen, während die Moleküle eines flüssigen Körpers verschiedene Geschwindigkeit haben und krumme, nicht parallele und nichtconcentrische Wege nehmen.

Bei weiterer Betrachtung der dieser Abhandlung beiliegenden Pläne fällt uns eine Eigenthümlichkeit in der Richtung der Wasserfäden bei der Hängebrücke auf; in der Nähe dieser Brücke nämlich entfernen sich die Fäden nach und nach von den Ufern. Ebenso haben sich auf Plan IX, Blatt IV und V, alle Schwimmer nach dem rechten Ufer hin und gegen den concaven Theil desselben gerichtet; eine Ausnahme davon macht der Schwimmer n^o. I auf der linken Seite, der von dem Ende des concaven Theiles des Ufers ab einen Weg von nur 60 m. zurückgelegt hat. Am Ufer angelangt geriethen die Schwimmer in den Faschinen-

damm, nur die Schwimmer IV und VI glitten an den glatten Theilen der Böschung ab und trieben mit der Strömung weiter.

Die Neigung der Wasseroberfläche im ganzen Bette, nach der Fahrrinne und zu den concaven Ufern hin, also von den flachen zu den tiefen Stellen zu strömen, gewährt der Schifffahrt grosse Sicherheit.

Ohne diese Eigenschaft der oberen Wasserschichten würden die Schiffe und Flösse sich auf den Sandbänken festfahren, während unter den herrschenden Umständen ein Schiff nur der Strömung zu folgen und dabei Acht zu geben hat, dass es nicht gegen die concaven Uferstrecken anrennt; die Strömung selbst sorgt dafür, dass das Fahrzeug nicht auf die seichten Stellen am convexen Ufer geräth. Die Flösse fahren auf dem Dnjepr und dessen Nebenflüssen bei ruhigem Wetter sogar, ohne gesteuert zu werden.

Nur Dank dieser Neigung des Wassers, zur Fahrrinne zu strömen, können die Schiffe überhaupt ihren Weg zwischen den Untiefen hindurch verfolgen. Oftmals haben wir von Schiffern gehört, dass der beste Wegweiser im Fahrwasser aus mit einander verbundenen und mit Theer gefüllten Fässern besteht. Sobald ein derartiges Floss in das Wasser gelassen wird, folgt es den tiefsten Stellen; nur an den Biegungen macht es eine Ausnahme, da es dort durch die Gewalt der convergirenden Wasserfäden an das concave Ufer getrieben wird. Der französische Ingenieur FARGUE hat daher, von der Idee ausgehend, dass die convexen Ufer das Wasser nach der Fahrrinne zutreiben, sein Princip der Uferkrümmungen auf die Inflexionen des Bettes begründet.

Wenn aber die Fahrrinne die Wasserfäden anzieht und wenn die convexen Ufer dieselben zurückwerfen, so wird man sich fragen müssen, woher stammt das Wasser an den convexen Ufern und wohin strömt es von der Fahrrinne und den concaven Ufern? Jedermann weiss, dass das Wasser an den convexen Ufer nicht stagnirend ist, sondern dass es bisweilen eine bedeutende Strömungsgeschwindigkeit hat; so ist z. B. bei dem zur Zeit abgebrochenen Theile der Hängebrücke über den Dnjepr die Strömung derartig stark, dass zur Führung eines Fahrzeuges durch dieselbe zwei Schleppdampfer nöthig sind.

Die Beantwortung der gestellten Frage ist sehr leicht: Das zur Fahrrinne und zu den concaven Ufern strömende Wasser hat nur einen möglichen Weg; es steigt ein wenig in die Höhe, bildet somit eine Neigung von der concaven zur convexen Seite und verursacht durch seinen Druck auf die unteren Wasserschichten eine Strömung der letzteren in entgegengesetzter schräg gegen die Ufer gekehrter Richtung.

Das Vorhandensein einer derartigen, von der Fahrrinne zu den Ufern gehenden Strömung hat bisher nicht direct festgestellt werden können, da Geräthe zum Messen der Richtung der unteren Wasserfäden nicht bestehen, verschiedentliche Beobachtungen haben dasselbe aber erkennen lassen. So führt z. B. die Aushöhlung concaver sandiger Ufer, bei welcher

häufig grosse Stücke schlammigen Sandbodens losgerissen werden, nicht zur Versandung der benachbarten Stromstrecken; das längs solchen Ufern fliessende Wasser bleibt rein und durchsichtig, während es an den Untiefen trübe wird und eine Menge Anschwemmungen aus der Tiefe heraufholt. Dies rührt daher, dass das vom Ufer abgelöste Erdreich durch die untere Strömung weggeführt wird, welche dasselbe nicht nur über die flachste Landzunge am gleichen Ufer, sondern auch in einer zum gegenüber liegenden convexen Ufer schrägen Richtung vertheilt. Auf diese Weise erklärt sich die zunehmende Vermehrung der unter Wasser liegenden Landzungen am convexen Ufer und die entsprechende Aushöhlung der höher gelegenen concaven Ufertheile. Den besten Beweis von dem Vorhandensein der genannten Strömung erlangt man jedoch durch Erforschung der Form des Flussbodens.

Befindet sich auf der Flusssohle in der Richtung der Strömung eine sandige Bodenerhebung, so werden die Sandkörner vom Rücken dieser Erhöhung stromabwärts abgetrieben, an ihre Stelle treten andere vom Oberstrom antreibende Körner. Die obere Neigung der Flusssohle flacht sich aus und wird je nach der Kraft des darüber befindlichen Wassers sanfter, die Abdachung unterhalb der Bodenerhebung wird schärfer. Durch die Ausgleichung der oberen Neigung und die Zunahme der unteren verschiebt sich der Rücken der Bodenerhebung nach und nach in der Richtung der Strömung. In Folge dieser Bodenverschiebungen nehmen die Sandablagerungen die Form von Deichen an, deren gegen die Strömung gerichtete Böschung sehr sanft geneigt ist, während die andere Böschung die nassem Sande eigenthümliche natürliche Neigung hat.

Diese wohl Jedermann bekannten Erscheinungen bieten ein sichereres Mittel dar, um die Richtung der Strömung aus der Form der Flusssohle zu erkennen.

Die bei Niedrigwasser zum Vorschein kommenden sanften Böschungen der Ufer und der Bänke bilden eine Reihe sandiger in das Wasser reichender Vorsprünge die gegen den Strom sehr sanft geneigt und gegen das Ufer ziemlich steil sind. Diese überall beobachtete Form der sandigen Landzungen in Flüssen zeigt, dass in jedem Flusse, dessen Boden aus Anschwemmungen besteht, eine Strömung am Boden vorhanden ist, welche sich schräg gegen die sanft geneigten Ufer richtet.

Mittels eines Pegels kann man leicht dem Rücken der Bodenerhebung folgen und deren Grenzen bestimmen; es zeigt sich dann, dass diese sandigen Anschwemmungen zuweilen den grössten Theil der Breite des Flussbettes bis zur Fahrinne einnehmen, ja in der Nähe von Bänken sogar den ganzen Fluss durchqueren, so dass an solchen Stellen eine Fahrinne, so weit dieselbe durch convergirende Strömungen zu bilden ist, gar nicht besteht; in diesem Falle haben die oberen Wasserfäden eine divergirende Richtung, die keilförmige, convergirende obere Strömung

ist durch eine fächerförmige, sich über das ganze Bett ausbreitende ersetzt.

Die keilförmige, gegen das concave Ufer convergirende Strömung verursacht eine weitere Strömung am Boden in einer zu den beiden Seiten des Keiles senkrechten Richtung, so dass die Strömung am Boden die Folge der Strömung zur Fahrrinne zu sein scheint. Eine genauere Untersuchung zeigt aber, dass beide Strömungen von der Mitwirkung verschiedener Ursachen abhängig sind.

Betrachten wir den Querschnitt des Bettes mit den auf Zeichnung 4, Blatt I, angegebenen Geschwindigkeitslinien, so sehen wir, dass diese Linien den Querschnitt in verschiedene, sich vom Boden und den Ufern aus der Fahrrinne nähernde Schichten theilen; nächst der Fahrrinne liegt gewöhnlich die Schicht, welche die grösste Geschwindigkeit hat. Eine derartige Vertheilung der Strömungsgeschwindigkeiten rührt, wie man weiss, von den äusseren Widerständen der Strömung her, die besonders durch die Reibung am Bette und an der Luft hervorgerufen werden. Wenn man den oberen Theil des Bettes ausser Acht lässt und die Bewegung derjenigen Schicht der Fahrrinne betrachtet, welche von allen Schichten die geschwindeste ist, so bemerkt man, dass diese letztere zunächst über die unteren Schichten weggleitend sich von der ebenen Oberfläche des beobachteten Querschnittes zurückzieht. Um dann den Platz der sich entfernt habenden Wassertheilchen einzunehmen, werfen sich alle Moleküle der oberen Schicht von stromauf her auf denselben. Obgleich sicherlich die in der Schicht der Fahrrinne vertheilten Wassertheilchen mit der grössten Geschwindigkeit fliessen werden, so strebt doch die ganze stromauf befindliche obere Schicht nach der Fahrrinne hin. So ist die verhältnissmässig starke Strömung der Fahrrinne, welche das Wasser des ganzen Bettes anzieht, die Ursache der Abweichung der oberen Strömungsschichten gegen die Fahrrinne oder gegen das benachbarte concave Ufer; dabei erreichen die Wässerfäden das concave Ufer in Folge des Trägheitsvermögens und theilweise auch in Folge der Centrifugalkraft. Jede sich schneller bewegende Schicht und jeder sich schneller bewegende Wasserfaden ziehen die benachbarten Schichten und Wasserfäden an; daraus entsteht eine Abweichung der sich an den Ufern verhältnissmässig langsam bewegenden Wassertheile gegen die in der Fahrrinne sich freier und schneller bewegenden.

Um sich die Ursache der Abweichung der am Boden vorfindlichen Strömung gegen die Ufer mit sanfter Böschung zu erklären, muss man die Lage der Wasserfäden in einer verticalen ebenen Oberfläche betrachten. Bekanntlich weht der Wind nicht in einer zur Erdoberfläche parallelen Richtung, sondern unter einem bis zu 15° betragenden Winkel zum Horizonte. Dieser Umstand rührt von der Reibung der Luft an der Erde und an den Unebenheiten und hervorragenden Stellen derselben her; ein ähnlicher Vorgang spielt sich bei der

Bewegung des Wassers ab. Die unteren Schichten werden durch die Rauigkeit und Unebenheit des Bettes aufgehalten; die oberen Schichten überholen die unteren und steigen vor denselben zum Boden nieder, darauf werden sie durch den Stoss und die Reibung gegen den letzteren ebenfalls aufgehalten und durch die höheren, herabsteigenden Schichten überholt. Somit muss die Lage eines Wasserfadens in einer verticalen Ebene nach dem Boden zu geneigt sein, so dass der Winkel der Abweichung vom Horizonte gegen den Boden hin zunimmt. Man bemerkt in den oberen Wasserschichten eine gewisse Abweichung der Wasserfäden vom Horizonte zur Wasseroberfläche, welche Abweichung durch die Reibung an der Luft entsteht und welche mit den Stößen der sich am Boden und an der Luft reibenden Oberfläche und mit dem daraus folgenden Verluste an mechanischer Arbeitsleistung oder an lebendiger Kraft der Wasserfäden in Verbindung steht. Dieser Verlust ist von einer Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit begleitet.

Die obere Strömung, welche von den Ufern auf die Sohle der Fahrrinne niedersteigt, hat eine zu der Sohle fast parallele Richtung und ebnet die Sohle, indem sie dort ausgedehnte längliche Furchen zieht; es entstehen somit keine einzelnen Stösse gegen die Bodenerhebungen, und die Geschwindigkeit der Schichten an der Sohle ist von derjenigen der darüber befindlichen Schichten nur wenig verschieden. Im Gegentheil, bei der Bewegung des Wassers von einer tiefen zu einer flachen Stelle stossen die Wasserfäden am Boden viel stärker gegen den Boden, und der Geschwindigkeitsverlust ist daher beträchtlicher. In der That ergeben die graphischen Darstellungen der in einer verticalen Ebene gemessenen Geschwindigkeiten convexe Linien, welche sich der senkrechten Richtung in der Fahrrinne bedeutend nähern und an den Ufern mit sanfter Böschung und an den Untiefen von grosser Ausdehnung stark geneigt sind.

Die zum Horizonte geneigte Lage der Wasserfäden vermehrt noch den Irrthum in unseren Berechnungen der Wasserabfuhr. Man kann eine richtige Berechnung nur durch Multiplication der Geschwindigkeiten bei ebener Oberfläche mit dem normalen Querschnitte erreichen, deshalb muss man die Geschwindigkeiten in der Ebene des gekrümmten Querschnittes sowohl in senkrechter wie in wagerechter Richtung bestimmen. Da es aber sehr schwierig ist, in der Natur die Lage dieser Punkte zu bestimmen, so muss man, nachdem man irgend einen Querschnitt ausgewählt hat, gleichzeitig mit der Strömungsgeschwindigkeit die Richtung der Wasserfäden ausmessen und den Querschnitt nicht mit den Geschwindigkeiten selbst, sondern mit deren Projection auf zu dem Querschnitte lothrechte Linien multipliciren. Da die rechtwinkligen Projectionen von Linien immer kleiner sind als die Linien selbst, so sind die wirklichen Wasserabfuhrmengen geringer als diejenigen, welche unsere Messungen ergeben haben.

Die gegen den Boden gerichteten Wasserfäden verursachen Stösse gegen

denselben, schieben die Sandkörner vorwärts, und vom Boden wieder nach oben eilend reissen sie dieselben empor und treiben sie in die Strömung stromabwärts.

Diese Art der Bodenbeförderung macht sich besonders durch die grossen Geschwindigkeiten an ausgedehnten Untiefen bemerkbar. Es hängt von den Unebenheiten des Flussbodens ab, die Kraft des Stosses des Wassers gegen den Boden zu mässigen; demgemäss vertheilt sich jede aufgehobene Sandmasse nicht quer durch das Bett, sondern bildet einzelne Streifen von verschiedener Form; dieselben sind in der Mitte am höchsten und an den Enden am niedrigsten. Der nach dem Oberstrom gerichtete Abhang dieser Sandrücken ist sanft, der nach dem Unterstrom gerichtete schroff. Da der obere Abhang bei Zunahme des unteren nach und nach verschwindet, so verschieben sich die Sandrücken unaufhörlich stromabwärts, so dass ihre Höhe, ihre Länge und ihre Lage zu dem Flussprofile fortwährend wechselt. Diese Veränderungen werden dadurch verursacht, dass das gegen die Sandrücken stossende Wasser nicht nur über dieselben, sondern auch zu beiden Seiten, wo die Höhe geringer ist, abfließt.

Das von den Sandrücken zurückgeworfene Wasser bildet eine neue Strömung, die gegen den Gipfel und die beiden Seiten des Rückens gerichtet ist, und nach den angestellten Beobachtungen verschieben sich die Anschwemmungen mehr in der Richtung der beiden Seiten, als über den Gipfel. Die kleinen Sandkörner werden vom Gipfel eines Rückens weggerissen und lassen sich in einiger Entfernung stromabwärts wieder auf den Boden nieder, wo sie den Anfang eines neuen Rückens bilden.

Die Verschiebung der Anschwemmungen erfolgt also mehr um die Anhäufungen herum, als über deren Gipfel hinweg; die sich unterhalb bildenden Rücken lagern sich gegenüber von den oberhalb befindlichen. Gewöhnlich entstehen die Rücken nicht auf den wagerechten Theilen des Bodens, sondern an den Abhängen der Ufer. Die um die Rücken herumgehenden Wasserfäden richten sich mit grösserer Geschwindigkeit nach der Seite, wo der Widerstand geringer ist; da der Hauptwiderstand der Bewegung des Wasserfadens von oben her in einer über dem Wasserfaden befindlichen Last besteht, so muss das Wasser eher den Rücken seitwärts umgehen, wo die darunter befindliche Tiefe geringer ist, d. h. nach dem Ufer zu.

Bei jedem Anstosse der am Boden befindlichen Strömung, weicht der grössere Theil des Wassers nach dem Ufer hin aus; die Gesammtheit aller Anstösse ruft somit eine Abweichung der genannten Strömung gegen das Ufer und ein Abströmen des Wassers in Form eines Fächers nach den Untiefen hin hervor.

Hinsichtlich der Ursachen der Strömung am Boden und der oberen Strömung haben wir erkannt, dass dieselben von der Form des Profiles des Bettquerschnittes abhängig sind, welcher letztere in der Fahrrinne tief ist und an einem oder an beiden Ufern sanfte Abhänge hat. Indessen

darf man daraus nicht schliessen, dass die Bildung der angeführten Strömungen von dem Vorhandensein eines solchen Profiles herrühre, die Bildung des Profiles des Flussbettes wird im Gegentheil ausschliesslich unter dem Einflusse dieser Strömungen verursacht; ohne die Strömungen, d. h. bei parallel-welliger Bewegung des Wassers, würden die Querprofile ungefähr Trapeze sein.

In Folge der keilförmigen, zum Boden niedersteigenden Strömung in der Fahrrinne muss der Boden innerhalb der Strömung dreieckig ausgespült sein, indessen ist die Spitze dieses Dreieckes nur in Flüssen mit gleichbleibender Wasserabfuhr erkennbar; im allgemeinen wechselt die Lage der Achse der Fahrinnenströmung in allen Flüssen je nach dem Wechsel der Höhe des Horizontes und der Wasserabfuhr. Deshalb wird das dreieckige Profil an der abgerundeten Spitze und an den nach unten zu concaven Seiten stumpf, so dass es sich einer Parabel nähert.

Der obere Theil der sanft abgedachten Ufer bildet in den Querschnitten convexe Krümmungen, so dass die Anschwemmungen hinwegführende lebendige Kraft der am Boden vorhandenen Strömung von der Fahrrinne nach den Ufern zu langsam abnimmt; in Folge dessen mildert sich die Schroffheit der Abdachung, auf welche die Sandkörner gerollt werden können, d. h. die Abdachung wird immer sanfter. Somit kann man nach der Form des Querprofiles die Grenze zwischen der convergirenden und der divergirenden Strömung annähernd richtig feststellen; diese Grenze muss in der Nähe des Inflexionspunktes liegen, wo der concave Theil des Profiles convex wird (Blatt I, Zeichnung 5).

Bei dem Uebergange der Fahrrinne an den Biegungen des Bettes von einem Ufer zum anderen, kann das Querprofil alle denkbaren unregelmässigen Buchtungen haben.

Man ist im Stande, im Kleinen zu beobachten, in welcher Weise fließendes Wasser das Profil des Bettes je nach seiner Bewegung mit zwei Strömungen, derjenigen in der Fahrrinne und derjenigen an den Ufern, bearbeitet. Hiezu braucht man nur den Weg einer Regenwassermasse auf leicht auszuhöhlendem Erdreich zu verfolgen.

Selbst an den glatten Stellen der Erdoberfläche giebt es immer einzelne niedriger gelegene Plätze, nach welchen das Regenwasser, welches erst in breitem Strome fliesst, seinen Lauf richtet. Da, wo die Dicke der Schicht strömenden Wassers bedeutender ist, zeigt sich eine grosse Geschwindigkeit des oberen Wassers, da der Widerstand durch Reibung und Adhäsion an der Erdoberfläche auf dasselbe einen geringeren Einfluss hat. Somit entsteht auf jeden Fall eine beschleunigte Wasserbewegung, welche die Fäden der benachbarten Theile der fließenden Wasserschicht anzieht, den Boden aushöhlt und die Vertiefung des Bettes in dem unter der convergirenden Strömung liegenden Theile desselben verursacht. Gleichzeitig macht sich auch eine Strömung am Boden bemerkbar, welche in Folge der Stösse des der Richtung seines schnellsten Fadens folgenden

Wassers entsteht. Die convergirende Strömung höhlt längliche Furchen aus, die besonders an den Buchtungen tief sind, die Strömung am Boden wirft das ausgehobene Erdreich auf die sanft abgedachten Ufer und in die Ausbuchtungen des Bettes, und zwar in wellenförmigen oder kammartigen Gebilden. In sehr kurzer Zeit hat das Bett Tiefen und Sandbänke von grosser Ausdehnung; man kann dieselben sehr gut unterscheiden, wenn der Boden wieder trocken geworden ist.

Nach den Strömungsgesetzen wandelt das Wasser sein Bett nicht nur in porösem, trockenem, sondern auch in hartem, felsigem Boden um, wovon man den Beweis im Dnjepr findet.

Die dortige alte Fahrrinne oder das „Kosakenwasser“, welches die Flösse im Frühjahr benutzen, liegt in den tiefsten Theilen des felsigen Bettes. Nach den Erklärungen von Leuten, welche die Kataraktstrecke des Dnjepr genauer kennen, soll diese Fahrrinne ihren Ursprung zufälligen Oeffnungen in den Felsen und weniger harter Beschaffenheit der letzteren verdanken, welche durch die Strömung zerstört worden wären. Betrachtet man aber die alte Fahrrinne nach Lage und Richtung genauer, so erkennt man, dass diese Erklärung aus dem Zufalle ohne Berechtigung ist.

Die alte Fahrrinne liegt nahe am rechten Ufer, sie ist eine natürliche Rinne des Dnjepr in der Kataraktstrecke. Die neue Fahrrinne bietet bei Niedrigwasser eine ausgezeichnete Erleichterung für die Flösse zur Einfahrt in die Kanäle und zur Ausfahrt aus demselben; diese Kanäle sind in der Nähe des linken Ufers in dem wenigst tiefen und wenigst gefährdeten Theile des Bettes angelegt worden.

Die natürliche Abweichung der Fahrrinne ist unserer Meinung nach der jahrhundertelangen Einwirkung des Nordostwindes zuzuschreiben.

In einer früheren Abhandlung haben wir bewiesen, dass die Schroffheit der Ufer der nach Süden fliessenden Ströme nicht von der Drehung der Erde, sondern von dem Einflusse der bei dem Eisgange im Herbst herrschenden Winde herrührt. Die grosse Kälte in unserem Klima, welche das Eis auf den Flüssen bildet, tritt nur bei Nord- und Ostwind auf. Die schneidende Kraft des Herbsteseis ist so gross, dass sie schon nach wenigen Stunden genügt, um einen Balken von 0,25 m. Durchmesser zu zerschneiden.

Die Strömung des Wassers allein übt fast gar keine reibende Wirkung auf Holz aus.

Die Schroffheit des rechten Ufers in der Kataraktstrecke und die Annäherung des alten Fahrwassers an dieses Ufer sind also nicht zufälligen Ursachen, sondern fast ausschliesslich der Wirkung des Nordostwindes zuzuschreiben.

Der felsige Boden der Katarakte hat eine für die Flösserei beinahe sogar bei niedrigem Wasser genügende Tiefe; die Hindernisse werden durch die Felsköpfe gebildet, welche in geraden Linien das Bett durch-

queren und „Laven“ genannt werden. Durch diese Laven sucht sich die alte Fahrrinne ihren Weg über die tiefsten Stellen hinweg, wo Felsen sich nicht aus dem Boden erheben.

Hätten diese ausgetieften Stellen einen zufälligen Ursprung, so würde die alte Fahrrinne in den Katarakten buchtig sein, sich schlängeln und von einer *Lave* zur anderen gehen; in Wirklichkeit aber ist die Fahrrinne geradlinig durch die untereinander parallelen Lavenreihen gerichtet. Es ist unmöglich anzunehmen, dass alle Laven durch Zufall in sämtlichen Katarakten senkrecht durchbrochen worden sind; man muss daher zu der Überzeugung kommen, dass die Austiefung und natürliche Beseitigung der Laven durch das Wasser in der Richtung der Fahrrinne verursacht wurden.

Die absorbirende Kraft der convergirenden Strömung ist trotz der geringen Breite der Fahrrinne (höchstens 40—100 m. bei 700 m. Strombreite) so gross, dass ein in einiger Entfernung von einem Katarakte in das Wasser gelassenes Schiff bei ruhigem Wetter von selbst in die alte Fahrrinne gleitet und dann durch die convergirende Strömung über alle Laven hinweggeführt wird. Um das Fahrzeug gut zu führen, muss man deshalb nur darauf achten, dass es nicht von irgend einer seitlichen Strömung ergriffen werde, zu welchem Zwecke man sich eines Steuerruders bedient, das aus mehreren Balken besteht.

Wäre die convergirende Strömung nicht so, wie wir sie soeben beschrieben haben, so könnte eine Flösserei in der Kataraktstrecke überhaupt nicht stattfinden.

So bestehen denn also zwei Strömungen in den Betten der Flüsse: eine obere, convergirende, keilförmige, welche in der Fahrrinne bis zum Boden hinabsteigend dort längliche Austiefungen hervorruft und daher mit einer Pflugschaar verglichen werden darf, indem sie den Boden durchfurcht und das aufgepflügte Erdreich zur Seite wirft; und ferner eine am Boden befindliche, divergirende, fächerförmige, die sich von der in der Richtung der Fahrrinne convergirenden Strömung nach und nach entfernt, um zuletzt fast senkrecht zu den Ufern gerichtet zu sein. Das durch diese zweite Strömung in der Fahrrinne ausgehöhlte und am concaven Ufer ausgespülte Erdreich bildet Bänke mit sanftem Abhange und treibt in Zickzacklinien schräg auf die Sandrücken.

Könnte man die Bewegung eines einzelnen Wassertheilchens beobachten, so würde uns dieselbe zunächst sehr unregelmässig vorkommen, besonders wegen der verschiedenen und zufällig erscheinenden Abweichungen von der normalen Richtung, welche durch vereinzelt, von dem unaufhörlichen Wechsel der Abflussmengen hervorgerufene Erhebungen des Bodens und Vorsprünge der Ufer verursacht werden.

Ein in der äusseren Schicht, in kleiner Entfernung vom Ufer befindliches Wassertheilchen nimmt seinen Weg schräg zur Fahrrinne hin, und nachdem es diese erreicht hat, fällt es langsam nach unten, geht dann

schnell über den Boden hinweg, und zwar in fast paralleler Richtung zu demselben, wendet sich zur Seite und treibt in die Bodenströmung, stösst gegen den Fuss des Ufers mit sanftem Abhange und verliert so seine bei der Bewegung in der Fahrinne erworbene lebendige Kraft. Nunmehr springt es bisweilen nach oben, bisweilen nach dem Boden und setzt so seinen Weg fort, bis es wieder in die oberen Wasserschichten gelangt mit welchen es von neuem zur Fahrinne strebt.

Je schärfer die Krümmung des concaven Ufers ist, desto schneller erfolgt der Niedergang des Wassertheilchens von den oberen Schichten zum Boden, desto grösser ist auch die bei dieser Bewegung erworbene lebendige Kraft, und desto stärker die Aushöhlung des Bodens; aus diesem Grunde ist die Tiefe an den ausgekolkten Stellen dem Radius der Krümmung umgekehrt proportional; deshalb auch befinden sich die grössten Tiefen nicht unmittelbar gegenüber der grössten Krümmungen des concaven Ufers, sondern ein wenig weiter stromabwärts, wo die die stärkste lebendige Kraft besitzenden Wassertheilchen bis auf die Flusssohle gelangen.

Auf diese Weise erfolgt die beständige Mischung der Wassertheilchen, ohne welche, d. h. also mit paralleler Richtung der Fäden, die schnelle Verbindung des trüben oder gefärbten Wassers der Nebenflüsse mit demjenigen des Hauptstromes sich gar nicht erklären liesse.

Die obere, convergirende Strömung, welche aus der Bodenströmung nach Ablagerung der Anschwemmungskörper entstanden ist, nimmt ihren Weg zu Fahrinne; deshalb hat diese obere Strömung klares Wasser, welches in der Fahrinne keine Ablagerungen verursacht.

Wenn die Kraft der convergirenden Strömung gross genug ist, um die concaven Ufer auszuhöhlen, so ist diese Kraft auch hinreichend, um das losgelöste Erdreich die Fahrinne entlang zu führen; ohne die Fahrinne zu verstopfen lagert die sich in Bodenströmung umwandelnde obere Strömung die mitgenommenen festen Bestandtheile auf den sanft abfallenden Ufern ab. Von diesen Stoffen befreit gelangt die Bodenströmung nach oben, und sich in eine obere Strömung von klarer Beschaffenheit umwandelnd, strebt sie wieder der Fahrinne zu.

In dieser Richtung der Strömungen kann die Fahrinne, abgesehen von zufälligen Ursachen, niemals von Sandablagerungen betroffen werden; der Sand kann dorthin nur zungenförmig vom Oberstrom her absteigend gelangen. Nur bei Sommerwasser, und wenn die Querschnitte des Flusses in den tiefen Strecken im Verhältnisse zu der kleinen Wasserabfuhr ungemein gross werden, können sich im Fahrwasser schwache Ablagerungen von Schlamm bilden.

Die Tiefe und Beständigkeit der Fahrwassersohle werden also durch die convergirende Strömung verursacht, deshalb muss man bei Flussregulirungen im Interesse der Schiffahrt darauf bedacht sein, diese Strömung in der ganzen Ausdehnung des Flusses zu erzielen. Dabei darf man nicht

ausser Acht lassen, dass zur Erzielung der convergirenden Strömungen auf den Zungen und sanften Abdachungen der Ufer eine divergirende Bodenströmung nöthig ist, da die Bodenströmung nur durch ihre Divergenz nach Umwandlung in eine obere Strömung die Fahrinne mit den Wasserfäden der convergirenden Strömung versorgen kann.

Die convergirende Strömung richtet sich nicht in Folge der Centrifugalkraft gegen die concaven Ufer. Wie man häufig in natürlichen und noch öfter in regulirten Flussbetten beobachten kann, besteht zuweilen eine schöne Fahrinne, welche am concaveu Ufer anfängt und sich über eine grosse Strecke längs dem convexen, das concave Ufer fortsetzenden Ufer hält. Die gegen die concaven Ufer convergirende Strömung rührt ausschliesslich davon her, dass das concave Ufer beständig auf die Fahrinnenströmung trifft, welche abweichend immer neue, gegen das concave Ufer gerichtete Wasserfäden schneidet und in Folge des dadurch entstehenden hydraulischen Druckes sich gegen den Boden richtet, um diesen auszuhöhlen. Gleichzeitig liefert die dem convexen Ufer folgende und sich in eine obere Strömung umwandelnde Bodenströmung dem Bette neue, zur Fahrinne strebende Wasserfäden. Zur Unterhaltung der convergirenden Strömung ist es also nur nöthig, dem concaven Ufer eine Krümmung zu geben, welche hinreicht, um ein beständiges Schneiden mit der Richtung der oberen, sich zum Ufer begebenden Wasserfäden der convergirenden Strömung hervorzurufen.

Nicht nur das concave Ufer kann in dieser Weise behandelt werden, sondern auf eine verhältnissmässig kurze Strecke auch das convexe; deshalb muss die convexe Form zwecks Zusammentreffens mit den dahin strömenden Wasserfäden beträchtlich in das Bett hinauspringen und gegen die Strömung gewendet werden. Je mehr deshalb die äussersten Enden der concaven Ufer bildenden convexen Strecken entwickelt sind, desto mehr halten sie die Convergenz der Wasserfäden in ihrer Nähe.

Wir haben diesen Grundsatz auf dem ganzen Dnjepr und auf der Pripet verfolgt und überall gefunden, dass, je mehr die oberen Strecken der convexen Ufer in das Bett ragen, d. h. je schärfer sie das Wasser gegen die concaven Strecken der gegenüber liegenden Ufer treiben, die Tiefe an den angrenzenden Inflexionspunkten desto bedeutender ist.

In natürlichen, noch nicht befestigten Flussbetten bildet die sich mit grosser Geschwindigkeit auf die Sandzungen richtende Strömung an den convexen Uferstrecken häufig convergirende Wasserfäden, welche die Ufer auskolken und in den an den Ufern befindlichen Sandablagerungen längliche golf-oder seeähnliche Schluchten aushöhlen. Eine derartige Ausspülung des convexen Ufers ist stets von einer Verringerung der Tiefe an den Inflexionspunkten begleitet, so dass sich mit der Zeit Erhebungen bilden, welche die Schifffahrt behindern.

Von dem Punkte an, wo das concave Ufer aufhört, die obere Strömung zu schneiden, vermindert sich die Convergenz des Wassers, und es folgt

daraus eine Verringerung der Tiefe der Fahrrinne. In dem Maasse, in welchem das Ufer von der allgemeinen Richtung des Bettes abweicht, vermindert sich der Convergenzwinkel der Wasserfäden, und endlich divergiren die Wasserfäden nach verschiedenen Seiten, anstatt der Fahrrinne zuzustreben. An dieser Stelle wird die längliche Furchung des Bodens durch eine wellenförmige Bodenform mit abnehmender Tiefe ersetzt. Die Fahrrinne als Sammelplatz der convergirenden Wasserfäden hört auf zu bestehen, und die schlammige Bodenströmung steigt an die Oberfläche des Wassers.

Bei Aufhören der convergirenden Anordnung der Wasserfäden kommen die fächerförmigen unteren Strömungen nach oben; die Oberfläche des Wassers ist dann in Folge der Stösse der gegen den Boden anprallenden und zurückspringenden Wasserfäden wie kochend. Die Verschiebung der Anschwemmungen erfolgt nicht mehr direct durch die abwärts gehende Strömung, sondern in Zickzacklinien und in zu den Kämmen der Sandanhäufungen schräger Richtung.

Anhäufungen verschwinden und werden durch andere ersetzt; auf diese Weise geht die Bodenbewegung vor sich, und die Anhäufungen verschieben sich stromabwärts.

Wenn das die Anhäufungen treibende Wasser in seinem Laufe auf kein Hinderniss stiesse, so würde diese Anschwemmungsbewegung ununterbrochen fort dauern, wie das in den Mündungsdeltas der Fall ist; in den Flussbetten kann aber ein derartiger unaufhörlicher Abstieg nicht stattfinden, denn in einiger Entfernung von dem Kamme der Erdanhäufungen trifft das Wasser auf das Ufer des Flusses, wodurch die weitere Verschiebung der Anhäufung unmöglich gemacht wird.

Bei einer Inflexion des Bettes verbindet sich der Kamm einer jeden Anhäufung mit den beiden Ufern, deshalb liegt der Punkt der Berührung des Kammes mit demjenigen Ufer, von welchem das Wasser abströmt viel weiter stromabwärts, als der Berührungspunkt mit dem Ufer, welchem das Wasser zuströmt (siehe Zeichnung 3 Platt II).

Auf dem genannten Plane ist der Berührungspunkt *A* der Anhäufung mit dem linken Ufer viel weiter stromaufwärts gelegen, als der Berührungspunkt *B* mit dem rechten Ufer. Das sich über den Kamm bei Punkt *A* ergiessende Wasser wirft sich gegen das Ufer und zurückspringend trifft es auf benachbarte Wasserfäden, so dass sich eine Converganz des Wassers bildet, welche sich durch die weitere Zuströmung von Wasserfäden vom rechten Ufer am concaven Ufer entlang noch verstärkt. Durch diese Converganz wird das Ende der Anhäufung abgespült; die Anhäufung wird also durch die Einwirkung der Converganz begrenzt.

In Folge des Anwachsens der Masse der convergirenden Wasserfäden nimmt die Kraft ihrer Stösse stromabwärts zu, und gleichzeitig vermehrt sich der Abstand des Kammes der Anhäufung von dem concaven Ufer.

Man weiss, dass die Anhäufungen trotz des Widerstandes, welchen

das Ufer darbietet, sich stromabwärts um so weiter fortbewegen, als das Wasser flacher wird. Dieser Umstand hat zwei Ursachen, erstens die Aushöhlung der concaven Ufer, und zweitens die Abnahme der Kraft der Convergenz bei Verminderung der Wasserabfuhr im Flusse.

Hat das linke Ufer eine scharfe und lange Ausbuchtung, so dass sich daselbst, wie auf dem Plane gezeigt ist, eine convergirende Strömung bildet, so entsteht dort eine Austiefung. Kann aber die ungenügend entwickelte Krümmung des concaven Ufers die Convergenz des Wassers nicht an sich halten, so entsteht eine Divergenz nach rechts. Ist das rechte Ufer entfernt, so bildet das divergirende Wasser, da es keinen Widerstand gegen weitere Divergenz nach verschiedenen Seiten antrifft, neue, stets schräg zu einander liegende Anhäufungen.

In Folge der Abweichung der Strömung nach verschiedenen Seiten theilt sich der Fluss in mehrere einzelne Strömungen, aus welchen bisweilen von einander unabhängige Arme werden.

Je breiter das Bett ist, desto leichter geht die Bildung neuer Strömungen vor sich und desto leichter entwickeln sich diese Strömungen zu besonderen Armen.

Gewöhnlich sind es die durch Wiesengründe fließenden Ströme, welche besondere Neigung zur Bildung neuer Arme zeigen, während Ströme mit hohen Ufern sich höchstens in zwei Arme theilen, und auch dies nur an Stellen, wo sich das Bett erweitert (s. Zeichnung 4).

In Folge der Divergenz des Wassers zu Anfang der Erweiterung bildet sich eine Landzunge, welche, wenn das Bett gerade ist, mit stromabwärts convexer Form beinahe senkrecht zu den Ufern zu liegen kommt. Diese Convexität der Landzunge nimmt in Folge der durch das vom Kamme abströmende Wasser verursachten Aushöhlung der Ufer unaufhörlich zu. Je länger die Landzunge, und je flacher das Wasser wird, desto mehr nähern sich die Wasserfäden einer zu den Ufern senkrechten Richtung; in Folge dessen nimmt die Aushöhlung der Ufer und die Erweiterung des Bettes zu.

Das mit grossem Trägheitsvermögen auf den mittleren Theil der Landzunge einwirkende Frühjahrswasser bringt eine Menge von Anschwemmungen herbei, so dass sich mit der Zeit eine Insel bildet, deren Höhe vom oberen zum unteren Ende zunimmt.

Der Unterschied zwischen einer derartigen Untiefe oder Insel und der Untiefe eines in Wiesengründen fließenden Stromes (s. Zeichnung 3) hat darin seinen Grund, dass im ersteren Falle fast immer zwei unter Wasser liegende Landzungen vorhanden sind, die eine am Anfang, die andere am Ende jedes Armes; im zweiten Falle aber ist nur eine unter Wasser liegende Landzunge vorhanden, oder aber auch eine unbestimmte Anzahl solcher, wenn nämlich die Ufer sehr unregelmässig gebuchtet sind.

Die Kraft der Convergenz ist der lebendigen Kraft des bewegten Wassers proportional, deshalb können sich die vereinigten Wasserfäden

an einem wenig concaven Ufer halten und bei Frühjahrswasser sogar am convexen, wenn alle Wasserfäden sich gegen alle sandigen Untiefen ergiessen.

Bei niedrigem Frühjahrswasser beschränkt sich die convergirende Strömung auf die concaven Theile der Ufer, und es ist eine immer grössere Concavität nöthig, um die Achse der die Fahrrinne entlang gehenden convergirenden Strömung in der Nähe des Ufers zu halten.

Zufällig entstehende Bodenerhebungen auf den unter Wasser liegenden Landzungen können Theilung und Divergenz der Wasserfäden und sogar die Bildung von isolirten Strömungen verursachen.

Auf einem der beiliegenden Pläne (Zeichnung 8) sieht man sechs punktirte Linien; dieselben geben die Richtungen der Achsen der convergirenden Strömungen an den tiefen Stellen und die bedeutendsten Tiefen über den Bodenerhebungen an. Die beigefügten Zahlen I—VI entsprechen der stufenweisen Abnahme des Wasserspiegels.

Auf Grund von durch unmittelbare Messungen bestätigten Combinationen hat man auf Zeichnung 3, Blatt II, sechs Längsprofile des Wasserspiegels dargestellt, und zwar in der Richtung der punktirten Achsenlinien, welche der allmählichen Abnahme des Wasserspiegels entsprechen.

Die Vermehrung der oberen Geschwindigkeit der Strömung und des Längsgefälles des Wassers hängt von der Zunahme der Divergenz der Wasserfäden ab, d. h. von dem Abströmen des Wassers nach den Erweiterungen des Bettes.

Wenn bei grossem Hochwasser die sandigen Landzungen unter Wasser stehen, so bilden die mittleren Theile der tiefen Stellen Wirbel, welche sich bis zu den Ausläufern der Bodenerhebungen erstrecken.

Die Divergenz der Fäden des Frühjahrswassers beginnt an der Stelle, wo der Abstand zwischen den Uferkämmen zuzunehmen beginnt, und nahe bei den Punkten, wo die Concavität des Ufers aufhört (auf dem Plane Punkt *B*).

Die Divergenz der Fäden des Frühjahrswassers verursacht das Absteigen des Wasserspiegels unter die Untiefen, welche sich ein wenig stromaufwärts erstreckend das Gefälle des unteren Theiles der tiefen Flussrinnen vermehren.

Die Convergenz der Fäden des Frühjahrswassers, die durch die Annäherung der Uferkämme an einander verursacht wird, beginnt ungefähr bei der Mitte der Untiefen. Die dadurch verursachte, sich über die ganze Sandbank erstreckende Abnahme des Gefälles wird strömungsabwärts und bis zur Mitte des tiefen Wassers stärker. Das daraus sich ergebende Längsprofil hat auf den Untiefen concave untere Umrisse.

Nach dem Abflauen des Hochwassers und nach Trockenlegung der sandigen Landzungen trifft die Strömung auf ein Hinderniss, welches durch die an den oberen Theilen der Untiefe abgelagerten, vom Frühjahrswasser angeführten Landmassen gebildet wird. Die am oberen Theile

der Bodenerhebungen angesammelten Sandanschwemmungen verschwinden nach und nach unter dem Einflusse der Bodenströmung und erscheinen an dem unteren Ende der Untiefe, wo sich gleichzeitig das Fallen des Wassers stark bemerkbar macht.

In Folge des Trockenwerdens der Sandablagerungen steigt der Punkt der Theilung der Wasserfäden immer weiter stromabwärts hinab; daher vermindern sich auch die Gefälle unterhalb der tiefen Stellen und oberhalb der Bodenerhebungen. Die Abnahme des Gefälles wird auch durch Wirbel verursacht, die in Folge der Aufhäufung von Anschwemmungen an dem unteren Theile der Untiefen entstehen. Auf der Untiefe selbst und besonders über dem Kamm der Landzunge zeigt sich ein starkes Gefälle, dessen Jähe mit dem Fallen des Spiegels zunimmt; die Lage dieses Gefälles im Längsprofile schiebt sich gegen die Strömung vorwärts. Somit geht das Längsprofil der Untiefen mit dem Fallen des Wassers aus der concaven in die convexe Form über. Der Ort des stärksten Gefälles wechselt nach dem Trockenwerden der Landzungen sehr rasch; er geht von dem unteren Theile einer tiefen Strecke zu dem unteren Theile einer Untiefe über; bei weiterem Fallen des Wasserspiegels geht er strömungsaufwärts, und zwar innerhalb der durch den Kamm der unter Wasser liegenden Landzunge bestimmten Grenzen.

Die Ablagerung der Anschwemmungen auf den Untiefen rührt von der sich über die Landzungen verbreitenden Hochwasserströmung her. Die Ablagerung nimmt ab, wenn das Wasser fällt, welcher Umstand durch die trocken gelegten Landzungen verursacht wird, da diese Landzungen die Wasserfäden nach der Mitte des Bettes hinleiten und eine Verkleinerung des Divergenzwinkels hervorrufen.

Bei Beginn dieser Bewegungen, wo die grosse Wassermenge noch Kraft genug hat, verschieben sich bedeutende Sandmassen von dem oberen Theile der Untiefen in der Richtung der grössten Geschwindigkeit nach dem unteren Theile der Sandzunge (auf unserer Zeichnung am rechten Ufer bei Punkt *B*). Die Zunahme des Kammes der unter Wasser liegenden Landzunge an der bezeichneten Stelle verursacht eine Ablenkung des Wassers nach einer anderen Richtung (nach links), welche einerseits zur Krümmung der Fahrrinne beiträgt und andererseits zu deren Austiefung und zur Durchschneidung des oberen Theiles der unter Wasser liegenden Landzunge. Diesem Umstande ist eine allgemein bekannte Erscheinung zuzuschreiben, nämlich dass die untiefen Stellen bei Fallen des Wasserspiegels tiefer werden.

Nachdem wir die von der Form der Uferkämme abhängige Richtung der Flusströmungen genauer betrachtet haben und uns über deren die Form des Flussbettes beeinflussende Eigenschaft Rechenschaft abgelegt haben, können wir genau diejenige Uferform feststellen, welche den Bedürfnissen der Schifffahrt am meisten entspricht und zur Bildung einer tiefen und beständigen Fahrrinne führt.

Wie wir schon gesehen haben, muss zur Festhaltung der convergirenden Strömung am concaven Ufer dieses letztere eine genügend entwickelte und einheitliche Krümmung haben. Deshalb müssen die von Natur geeigneten Ufertheile mit Bekleidungen versehen werden; vorhandene Aussprünge sind zu beseitigen und Aushöhlungen durch Leitdämme zu decken, die mit dem Ufer durch Querbuhnen verbunden werden, damit nicht bei Hochwasser sich die Wasserfäden über die Dämme ergiessen hinter denselben convergirende Strömungen bilden und die Aushöhlungen vermehren.

An den Inflexionspunkten besteht keine convergirende Fahrinnenströmung; es bestehen dort so zu sagen nicht einmal Ufer, denn an diesen Stellen wird das beinahe rechtwinklig zu den Uferkämmen liegende Bett auf der einen Seite durch die untere Stromstrecke, auf der anderen durch die obere Stromstrecke begrenzt.

Um an den Inflexionspunkten im Flussboden eine beständige und genügend tiefe Furche auszubilden, muss man dort eine convergirende Strömung haben, und zu diesem Zwecke wird die Schaffung eines künstlichen Ufers nöthig, dessen Richtung die fliessenden Fäden stets kreuzen muss, daher sind die Ufer derartig anzulegen, dass die Tangenten an ihrer Krümme in allen Punkten mit der Richtung der Fäden der convergirenden Strömung spitze Winkel bilden. Das künstliche Ufer muss eine möglichst concave Krümme haben, dagegen an der Stelle wo es in das Bett ausspringend die Richtung der Wasserfäden kreuzt, eine convexe. Die Länge des künstlichen Ufers ist so zu bestimmen, dass die von demselben geleitete, sich bei Niedrigwasser nicht ausbreitende Strömung die Concavität des gegenüber liegenden Ufers in dem Punkte erreicht, wo das von der Landzunge abströmende Wasser an sich schon eine convergirende Strömung bildet. Da das äusserste Ende des künstlichen Ufers bestimmt ist, die Wasserfäden bei niedrigem Sommerwasser zu leiten, so darf das Ufer hier nur so wenig hoch wie möglich sein, damit es bei Hochwasser nicht Wirbelbildungen verursache. Der Fuss des künstlichen Ufers muss, wenn das letztere unter Wasser zu liegen kommt, bis zur Kammhöhe gemauert sein; wenn es aus dem Wasser herausragt, dagegen bis zur Höhe des Wasserspiegels bei höchstem Wasserstande. Um das künstliche mit dem oberen natürlichen Ufer leicht und schlank zu verbinden, wird man den Fuss des ersteren an der Stelle, an welcher die Concavität abnimmt, mauern.

Da der Zweck des künstlichen Ufers dahin geht, das Abfliessen des Wassers nach einer einzigen Seite zu behindern, eine Convergenz der Wasserfäden zu bilden und dieselbe an sich zu halten, so muss man eine diesem Zwecke entsprechende Art von Regulirungsbauten wählen und denselben dazu geeignete Lagen und Profile geben.

Um die Fahrrinne am Ufer zu halten, sind Buhnen mit schräg liegenden, gegen den Strom gekehrten Köpfen am zweckmässigsten, da

bei solchen die Wasserfäden nicht nur der Form der Bühnenkopfen folgen, sondern auch quer über dieselben hinweg zu gehen trachten, indem sie jeden Bühnenkopf von zwei Seiten bespülen.

Der obere Theil des künstlichen Ufers, welcher dazu dient, die Frühjahrswasserfäden von der Convexität des natürlichen Ufers zurückzuwerfen, kann derartig angelegt werden, dass er vor Auswäsung durch einen Längsdamm mit Querwerken geschützt wird.

Scharf abfallende Böschungen tragen dazu bei, längs dem Ufer eine convergente Strömung zu behalten, während sanfte Böschungen und sanfte Abdachungen der Landzungen die Divergenz der Wasserfäden und die Bildung von Bodenströmungen hervorrufen; deshalb muss man den Bühnenköpfen, welche längs der convergirenden Strömung liegen, möglichst steile Böschungen geben.

Bei aus Faschinen hergestellten Bühnen gaben wir auf dem Dnjepr und auf der Pripet den oberen, bei Sommerwasser über Wasser befindlichen Theilen der Köpfe senkrechte Böschungen, indem wir die Faschinen so verwendeten, dass deren dicke Enden nach oben gerichtet waren.

Eine derartige Einrichtung des oberen Theiles der Bühnenköpfe ist von grosser Bedeutung für die möglichste Vermeidung von Beschädigungen der Faschinenwerke durch die vielen, ohne irgend welche Ordnung fahrenden Flösse.

Wenn der Abfall der Bühnenköpfe jäh ist, so höhlt aber die nach unten gerichtete convergirende Strömung den Boden stark aus; um dies zu verhindern legt man unter die Bühnenköpfe eine Schutzlage von genügend starken Faschinen, so dass tiefe Auskolkungen dort nicht mehr entstehen können.

Die Gefahr des Anrennens der Schiffe ist geringer, wenn die Böschung jäh abfällt, als wenn sie sanft geneigt ist.

Trotz der lebhaften Schifffahrt bei Tage und bei Nacht auf der verhältnissmässig schmalen Fahrrinne der Pripet ist es bisher noch nicht vorgekommen, dass Dampfer oder andere Fahrzeuge gegen die an den concaven Ufern liegenden Bühnenköpfe angefahren wären. Dies ist dem Umstande zu verdanken, dass die längs der steilen Böschung befindliche convergirende Strömung das Fahrzeug an den Bühnen vorbeigleiten lässt und, selbst wenn die Entfernung zwischen Schiff und Bühne durchaus nicht gross ist, den Anstoss verhindert. Eine sanfte Neigung der Böschung würde verursachen, dass die Wasserfäden auf die Böschung trieben und so das Fahrzeug auf den Grund brächten.

Die Fundamente der Bühnen können in die höheren Theile der Sandanhäufungen gelegt werden, um aber die Aushöhlung der Landzungen durch die Frühjahrsströmung zu vermeiden, muss man die Fundamente der Bühnen bis zu den Ufern verlängern, indem man sie ungefähr lothrecht zum convexen Ufer anordnet; ferner haben die Bühnen eine Buch-

tung, wie dies auf Zeichnung 3 angegeben ist. Die Höhe der Bühnen muss der Höhe des geplanten Ufers entsprechen und stromabwärts nach und nach abnehmen.

Unzweifelhaft bildet sich bei der auf Zeichnung 3 veranschaulichten convergenten Form des Ufers im Flussboden der Länge nach eine tiefe Auskolkung; die Tiefe derselben wird aber geringer sein, als die bei der Vereinigung der beiden Strömungen weiter stromabwärts vorhandene, so dass diese Form des Ufers eine vollkommene Gleichheit der Tiefen noch nicht herbeiführt. Um die Tiefe an der genannten Stelle des concaven Ufers zu vermindern und um gleichzeitig das Fundament vor der Auswaschung durch den concentrirten Strom zu schützen, kann man mit Erfolg die auf unserem Plane mit punktirten Linien bezeichneten Bodenerhebungen benutzen, indem man denselben eine stromabwärts geneigte Richtung gibt, um die convergirende, nach unten abweichende Strömung in eine divergirende, nach oben abweichende umzuwandeln. Bei derartiger Benutzung der Bodenerhebungen hat man nicht zu fürchten, dass die Aushöhlung des Bodens zunehme, denn die jenseits der Erhebungen sich bildenden Austiefungen sind nur von geringer Breite; der ausgehobene Grund wird von den divergirenden Wasserfäden weggeführt und häuft sich am Fusse des Ufers an, so dass dessen Böschung sanfter wird.

Die für die Uferbauten maassgebenden Gesichtspunkte kann man zusammenfassen, indem man sagt, dass in der Regel die concaven Ufer zu verlängern und ihre convexen Endtheile in das Bett hinauszuschieben sind, mit andere Worten, man muss die Aussprünge der oberen Theile der convexen Ufer möglichst entwickeln.

Es ist nicht zu fürchten, dass das Wasser durch das künstliche Ufer etwa aufgestaut werde, denn die Höhe des Ufers überschreitet nicht diejenige der weiter abwärts gelegenen Erderhebung (Richtung *D*, *E*, Zeichnung 3).

Oberhalb der flachen Stellen bildet sich bei Frühjahrswasser ein Wirbel; die an den tiefen Stellen vorhandenen Wirbel vermindern sich demgemäss, so dass sich das unten concave Längsprofil des Hochwassers der natürlichen geradlinigen Form nähert und eine gleichmässige Vertheilung des Gefälles und der Oberflächengeschwindigkeit eintritt.

Nach Aushöhlung des unter Wasser liegenden Sandstreifens längs dem künstlichen Ufer wird der Niedrigwasserstrudel sich besänftigen, die Flachheit wird sich stromaufwärts über den unteren Theil einer tiefen Strecke ausbreiten und stromabwärts über den oberen Theil einer anderen tiefen Stelle; trotzdem concentrirt sich die Flachheit des Sommerwassers an der scharfen Biegung des Ufers, da diese einen starken Wirbel verursacht. Eine derartige Concentrirung des Gefälles auf der ausgetieften Bodenerhebung bewahrt die benachbarten tiefen Strecken vor der nicht wünschenswerthen Uebertragung des Absturzes auf sie, welche Ueber-

tragung so häufig die Folge der Systeme ist, die zur Regulirung der Flüsse das Wasser aufzustauen suchen.

Das mitgetheilte Verfahren eines Hinausschiebens der äussersten Enden der concaven Ufer in das Bett ist in der Praxis bei der Regulirung der Pripet angewendet worden, wie wir schon in einem früheren, der Gesellschaft der russischen Wasserbau-Ingenieure unterbreiteten Berichte angegeben haben.

Ursprünglich hat man für die Pripet ein Bett von der beträchtlichen Breite von 200 m. geplant. Zur Ausführung baute man an beiden Ufern Bühnen. Diese Arbeiten wurden in den Jahren 1884 und 1885 vorgenommen. Die flachsten Stellen verschoben sich aber von den Untiefen zu den Biegungen des Bettes.

Ein derartiges Resultat musste sich ergeben, denn wenn nach der Einengung des Bettes die Richtung der Ufer divergirend ist, so muss daraus mit Sicherheit eine Divergenz der Wasserfäden und eine Anhäufung von Grundstoffen erfolgen. Darum war es nöthig, das Bett nach und nach bis zur Concavität einzuschränken, indem man die Bühnen vorrückte; somit ist es auch klar, dass die Verlängerung der oberhalb des concaven Ufers gelegenen Bühnen keinen Einfluss auf die Austiefung der Untiefen hatte, während das Vorrücken der Bühnen am äussersten Ende des gegenüber liegenden Ufers die Vertiefung der Fahrrinne bewirkte. Die Lage der Fahrrinne wurde beständig, besonders da durch Bau von Querbühnen die Zahl der Bodenerhebungen sich vermehrte.

Die Richtigkeit der Regel ist auch durch den Bau von Bühnen im Dnjepr oberhalb Kiew, wo Zwecks Tieferlegung des Hafeneinganges das äusserste Ende des mässig concaven linken Ufers beträchtlich in das Bett hinausgeschoben werden musste, bestätigt worden.

Ausserdem ist die auf Zeichnung 3 dargestellte Uferform und Veranlagung der Bühnen bei der Regulirung der Pripet auf der Sandbank Proghnoïski angewendet worden; man hat dabei jedoch dem convergirenden Ufer nicht derartig entwickelte Aussprünge gegeben, um die theure kräftige Sicherung des gegenüber liegenden Ufers zu vermeiden, wozu eine bedeutende Tiefe nicht nöthig war.

Nach den in der Pripet bei dem Flecken Tschernobyl auf vier Sandbänken gemachten Regulirungsarbeiten wurde die Tiefe 1,5 mal bedeutender, als man gewünscht hatte, wenn man den Sommerwasserstand der Berechnung zu Grunde legt. Es ergaben sich daraus keine schlimmen Folgen für die benachbarten Strecken, denn ein grosser Theil des Gefälles verblieb in der regulirten Strecke, und zwar Dank den durch die verlängerten Aussprünge der Ufer verursachten Wirbeln. Es ist dabei zu bemerken, dass diese Aussprünge lange nicht so weit geführt wurden, als auf der Zeichnung 3 angegeben ist; deshalb hätte man, wenn später noch eine Austiefung des Bettes nothwendig wurde, die Convergenz des

Wassers verstärken können, indem man die Basis des gegenüber liegenden Ufers verstärkte.

Die von uns gegebene Erklärung der Bewegung der Flusströmungen wird also durch die Erfahrungen der Praxis vollauf bestätigt. Diese Erfahrungen sind natürlich der theoretischen Erklärung vorangegangen und haben Anlass zu den Untersuchungen, Beobachtungen und allgemeinen Ermittlungen gegeben.

Um also eine beträchtliche und dauernde Vertiefung des Bettes herbeizuführen, muss man dem concaven Ufer eine regelmässige Form und eine genügende Krümmung geben und durch künstliche Verlängerung die Strömung zu demselben bis an das gegenüber befindliche concave Ufer führen, mit welchem letzteren dann in gleicher Weise zu verfahren ist. Dadurch verschwinden die Biegungen des Bettes, und man erhält abwechselnd auf jeder Seite concave Uferstrecken. Derartige Ufer kann man Leiter der convergirenden Wasserfäden und der Fahrrinne nennen.

Bisher haben wir von concaven Ufern gesprochen, durch deren Entwicklung man die Biegungen des Bettes vermeiden oder vielmehr umändern kann. Die Ausbildung solcher Ufer ist das Hauptmittel zur Regulirung der Strömungen im Interesse der Dampfschiffahrt; indessen muss man auch die gegenüber liegenden Ufer beachten, gegen welche sich die Bodenströmung richtet.

Die auf den sanft geneigten Abdachungen sich von unten nach oben begebende Bodenströmung gelangt zu den oberen Schichten und verwandelt sich in obere Strömung, welche mit ihren zu der Fahrrinne convergirenden Fäden am concaven Ufer eine Fahrinnenströmung bildet. Mit Hinsicht auf die Umformung der Bodenströmung in eine obere Strömung muss man Sorge tragen, dass das Wasser am convexen Ufer entsprechend divergire, damit eine gehörige Convergenz der erstgenannten Strömung erzielt werde und sich nicht vermindere und nicht eine Divergenz der Wasserfäden von der Krümmung der Fahrrinne an entstehe und so die Tiefe geringer werde.

Ein besonderes Hinderniss für die gleichmässige Divergenz des Wassers längs dem sanft abfallenden Ufer liegt in den Seitenarmen, durch welche die Bodenströmung abtreibt und die convergirende Hauptströmung der Wasserfäden beraubt, so dass die Convergenz gegen die Fahrrinne vermindert wird. Es kann dadurch eine Divergenz in der Fahrrinne und ein vollständiges Aufhören dieser verursacht werden.

Man hat oftmals die Versandung der Arme beobachtet, welche eine Folge der beschriebenen Umstände ist; deshalb muss man die Seitenarme und die Strudel an den Ufern absperren. Unter diesen Armen verstehen wir solche, deren Richtung, wenn sie sich vom Hauptbette trennen, nicht mit der Richtung der Strömung dieses letzteren übereinstimmt, wobei die Bodenströmung in den Seitenarm

eindringt und sich dann am einen Ufer desselben in eine convergirende Strömung umwandelt.

Ausser von den Seitenarmen und von den Strudeln an den Ufern rührt die Umwandlung der Bodenströmung in obere Strömung auch von der Zunahme des sanften Abhanges der convexen Ufer her, sofern die sich von der Fahrinne beträchtlich entfernende Bodenströmung aufhört, eine genügende Menge von convergirenden Wasserfäden zu liefern, so dass eine Abnahme der Convergenz eintritt, die Fahrinne sich vom concaven Ufer entfernt, die oberen Wasserfäden divergirend werden, und die Bodenanschwemmungen sich ablagern.

Man beobachtet diese Erscheinung besonders bei den Bodenerhebungen an Erweiterungen des Bettes. Selbst beträchtliche Einengung des Bettes an diesen Stellen führt keine Besserung herbei, die Fahrinne ist weder genügend tief noch beständig. Dies ist dem Umstande zuzuschreiben, dass die Einengung auf die Wirkung nicht aber auf die Ursache von Einfluss ist.

Die Verbreiterung des Bettes ist nicht die Grundursache der Versandung und der Unbeständigkeit der Fahrinne; die Ursache liegt in der unregelmässigen Vertheilung der Flusströmungen.

Bei der Einengung des Bettes durch Verschiebung der beiden Ufer in das Bett, schafft man an jedem Ufer convergirende Strömungen; da nun die Fahrinne keine Möglichkeit hat, dauernd an einem der beiden Ufer zu bleiben, so geht sie in unregelmässigen Bogen unter dem Einflusse der auf den benachbarten Flussstrecken eintretenden Veränderungen und des Steigens und Fallens des Wasserspiegels von einem Ufer zum anderen.

Parallele oder beinahe parallele Uferlinien nehmen sich auf dem Papiere gewiss schön aus; in Wirklichkeit sind sie nicht anwendbar, da die Idee, auf welcher sie beruhen, mit den Gesetzen der Bewegung der Flussströmungen in Widerspruch steht. Nach den in Auslande auf verschiedenen Flüssen ausgeführten Regulirungen kann man im Gegentheil sehen, dass dabei die Fahrinne niemals die gehoffte Lage annimmt, dass die Buchtungen derselben ganz willkürlich und unbeständig werden, dass die Fahrinne dann zuweilen zum convexen Ufer übergeht, und dass die concaven Ufer sich mit Anschwemmungen in der Form von beweglichen Landzungen bedecken.

Diese Folgen der Anwendung des Systemes der hydraulischen Einschnürung auf den Untiefen werden verständlich, wenn man den Einfluss untersucht, welchen die vom äussersten Ende des convexen Ufers sich verschiebenden Bodenerhebungen auf die Bodenströmung ausüben.

Die an den Bühnenköpfen ankommende Bodenströmung kann von denselben nicht zum concaven Ufer hingeleitet werden, sondern verwandelt sich gegen die Abdachung der Erhebungen stossend in eine nach

dem Boden hinabgehende convergirende Strömung, welche neben den Erhebungen Löcher gräbt. Darauf wird sie wieder zur Bodenströmung divergirt und führt das ausgehobene Erdreich in die Fahrrinne, so dass diese nicht nur nicht tiefer wird, sondern sogar versanden kann. Die die Breite der fächerförmig divergirenden Strömung beschränkenden Bühnen können das Zuströmen des Wassers zur Fahrrinne nur in einer gewissen Entfernung stromabwärts fördern; deshalb dürfen sie auch nicht in der Nähe der Kämme der unter Wasser befindlichen Landzungen gebaut werden, sondern sind von viel grösserem Nutzen, wenn sie am Anfange der Untiefen liegen.

Die Anordnung und das Profil der Bühnen am convexen Ufer müssen ganz anders sein, als die der Bühnen am Ende des concaven Ufers, denn ihre Bestimmung ist nicht, die Strömung der Fahrrinne anzuziehen, sondern im Gegentheil dazu zu dienen, dieselbe nach dem gegenüber liegenden Ufer zu richten und besonders den Winkel der Divergenz der Fäden der Bodenströmung zu vermindern, so dass die Bodenströmung früher in eine obere Strömung verwandelt werden kann, welche die Convergenz beim Kamme der Landzunge vermehrt. Deshalb müssen diese Bühnen stromabwärts geneigt, ihre äussersten Enden nach der Strömung zu aufgerichtet, und ihre Böschung sehr sanft geneigt sein. Die Lage der Bühnen bei den Landzungen kann bewirken, dass das Wasser von der Fahrrinne abweicht, und ausserdem die Convergenz der unter Wasser befindlichen Landzunge stromabwärts vermehrt, wo gerade eine Verminderung der Convergenz wünschenswerth ist, damit die Aushöhlung des Bodens gegen das concave Ufer hin abnehme. Um indessen die Fäden der Bodenströmung zu verwenden und sie schneller wieder zur Fahrrinne zurückzubringen, kann man am convexen Ufer parallel zu demselben unter Wasser liegende Werke ausführen (etwa wie auf Zeichnung 3 dargestellt). Es ist anzunehmen, dass derartige Werke, welche die Längsrichtung der Bodenströmung in eine Querrichtung umwandeln, zu einer schnelleren Umformung der Strömung in eine nach der Fahrrinne gerichtete dienen werden.

In einem natürlichen Bette sind die Convergenz und die Divergenz des Wassers ungleich vertheilt. An den tiefen Stellen bemerkt man eine convergirende Strömung und auf ausgebreiteten Untiefen eine divergirende. Die Regulirung des Bettes muss darauf ausgehen, diese verschiedenen Strömungen den Fluss entlang proportional zu vertheilen, und zu diesem Zwecke ist der Strom durch entsprechende Uferbauten richtig zu leiten, so dass in jedem Querprofil eine divergirende und eine convergirende Strömungsrichtung erzielt wird. Es ist im Interesse der Schifffahrt, den ganzen Fluss entlang eine convergirende Strömung zu haben, deshalb ist besonders Sorge zu tragen, dass die divergirende Strömung auf den langgestreckten Bodenerhebungen in eine convergirende umgewandelt werde; aber auch eine entsprechende Divergenz der Bodenströmung muss man

im Auge behalten, indem man die Divergenzwinkel, sowie die Zunahme der Divergenz auf den Bodenerhebungen durch Anlage untergetauchter Werke vermindert.

Die Einengung des Bettes hat keinerlei Nutzen und ist nur die Folge der Vorrückung des leitenden Ufers in das Bett auf der Bodenerhebung selbst und des concaven Ufers oberhalb der Bodenerhebung.

Die Theorie über die Richtung der Flusströmungen und die davon abgeleiteten Vorschriften für die rationelle Regulirung der Flüsse sind begründet auf die Beobachtung der Thätigkeit der Regulirungswerke, auf die Bewegungen der *Schwimmer* und überhaupt aller auf dem Wasser treibenden Körper, auf die Untersuchung der Form der Flussbetten und der Verschiebung der Grundstoffe.

Ein Theil der angegebenen Beobachtungen hat die Richtigkeit der abgeleiteten Vorschriften bestätigt, und die auf den Formeln der Dynamik beruhenden Schlussfolgerungen zeigen ebenfalls die Vorzüglichkeit der Theorie.

Für die Entwicklung dieser wissenschaftlichen Theorie aber im Interesse der Regulirungsarbeiten und zur Schaffung mit der Wirklichkeit genau übereinstimmender Grundlagen für die mathematische Behandlung der Hydromatik müssen wir fehlerfreie Beobachtungen über die Anordnung und Richtung der Wasserfäden anstellen können. Bisher konnte man derartige Beobachtungen nicht anstellen, da dazu nöthige Instrumente nicht bestanden. Wir müssen erwägen, dass wir bislang nicht in der Lage waren, die Strömungsrichtung auch nur einer Oberflächenschicht des Wassers genau zu bestimmen, da, wie wir schon erklärt haben, die Bewegung der Schwimmer nicht ganz der Richtung der Wasserfäden folgt.

Um also zu einer exacten Wissenschaft zu werden, muss die Hydraulik in den Besitz von Instrumenten kommen, mit welchen die Bewegungsrichtung des Wassers in allen Punkten der Bettquerschnitte genau bestimmt werden kann.

Um die Richtung des Windes festzustellen, bedient man sich einer Wetterfahne; ein ähnlicher Apparat kann auch zur Feststellung der Richtung der Wasserfäden dienen, indessen muss er dazu von weit complicirter Beschaffenheit sein, da die Beobachtung der Wasserfäden viel schwieriger ist. Die Windfahne gibt die Richtung des Windes in horizontaler Ebene an; ein Strömungsmesser jedoch soll nicht nur die horizontale, sondern auch die verticale Bewegung der Wasserfäden erkennbar machen. Die Abweichungen der Wasserfäden von einer ursprünglichen Richtung erfolgen nur langsam und sind nicht stark, der Messapparat muss daher sehr empfindlich und genau sein. Die Hauptschwierigkeit aber liegt in der Aufstellung und Anordnung des Apparates im Wasser und in der Ablesung seiner Angaben. Wie gut man auch ein Schiff auf

Ankern und Bindseilen festlege, immer werden ihm schwankende und rotirende Bewegungen durch die Kraft der Strömung durch den Wind und sogar durch das Hin- und Hergehen der Mannschaft mitgetheilt. Die Einstellung und Handhabung des Apparates von einem Schiffe aus würde demgemäss unzutreffende und vielleicht sogar ganz falsche Beobachtungsergebnisse liefern. Es ist auch unmöglich, die Bewegungen des Strömungsmessers unmittelbar zu beobachten, die Benutzung von Instrumenten zur Uebertragung der Bewegung aber ist schwierig weil durch derartige Instrumente die freie Bewegung des Strömungsmessers behindert und dessen Empfindsamkeit herabgemindert werden würde.

Aus allen diesen Umständen geht hervor, dass die Zusammenstellung eines Strömungsmessers keine Kleinigkeit ist und unter sehr verwickelten Bedingungen stattzufinden hat.

Die mit einem Strömungsmesser vorzunehmenden Beobachtungen müssen sich über eine möglichst grosse Strecke ausdehnen, damit man aus den Ergebnissen richtige Schlussfolgerungen zu ziehen vermag und damit nicht etwa zufällige Nebenursachen die wahrgenommenen Bewegungen als unregelmässig und keinem Gesetze unterworfen erscheinen lassen.

Wir sagten z. B., um die zweierlei Strömungsarten anschaulicher zu machen, dass ein Theil jedes Querschnittes von convergirenden, der andere Theil von divergirenden Fäden eingenommen werde; es kann aber in Wirklichkeit vorkommen, dass an verschiedenen Punkten eine Convergenz, und nicht nur an zwei, sondern an vielen Stellen des Querschnittes eine Divergenz herrscht. Um die Ursachen derartiger Eigenthümlichkeiten zu erforschen, ist es nöthig, dass man denselben durch wiederholte Messungen an nahe bei einander gelegenen Stellen und in verschiedenen benachbarten Querschnitten auf den Grund gehe.

Zur Vornahme derartiger Messungen hat der Verfasser gegenwärtigen Berichtes den Plan zu zwei Strömungsmessern entworfen. Der eine dieser beiden Apparate ist bereits fertiggestellt und hat sich sehr gut bewährt. Er ist auf den beiliegenden Zeichnungen VI, VII und VIII veranschaulicht.

Der Strömungsmesser besteht aus zwei sich kreuzenden, lothrecht zu einander stehenden Stahlarmen *A A* welche auf einem stählernen Waagebalken *F* befestigt sind. Dieser letztere bewegt sich sowohl vertical, wie horizontal. Um die Flügel des Apparates in Gleichgewicht zu halten, ist am anderen Ende des Waagebalkens ein kegelförmiges Bleigewicht *B* angebracht. Eine Röhre *T* in Messingguss dient als Achse für die horizontale Bewegung. An derselben befindet sich ein am unteren Ende kegelförmiger Stahlstöpsel. Die Achse für die Verticalbewegung geht quer durch diese Röhre im Durchmesser *E*. Die innere Achse der Röhre stützt sich auf eine Höhlung in dem stählernen Halter *S*, der im Inneren mit-

tels eines Bronzeringes *Z* befestigt ist. Der Ring *Z* wird in das untere Ende der eisernen Röhre *U* geschraubt, welche dem ganzen Apparate als Halt dient. Die Messungsröhre geht durch die Mitte dieser stützenden Röhre, so dass die geometrischen Achsen der beiden Röhren zusammenfallen. Auf dem oberen Theile der Hauptröhre, sowie auf dem unteren Theile ist ein Bronzebogen *F* festgeschraubt, an dessen Ende dreht sich eine Schraube *K* aus Stahl mit spitzem Ende, auf welches sich das obere Stück der mittleren Röhre stützt.

Ein derartiger Strömungsmesser gibt die Bewegung eines Wasserfadens sowohl in horizontaler, wie in verticaler Richtung an. Die Nadel *A* zeigt die horizontale Bewegung; sie ist auf der mittleren Röhre und auf dem an der Hauptröhre sitzenden Gradbogen *M* befestigt. Nachdem der Wasserfaden den Flügel des Apparates nach rechts oder nach links gedreht hat, dreht er auch die mittlere Röhre und somit die Nadel, welche auf dem Gradbogen die Grösse des Abweichungswinkels angibt. In Verbindung mit der Zahnstange *H* und dem Gradbogen *O* benutzt man die Nadel zur Kennbarmachung der verticalen Abweichungen der Fäden; die beiden letztgenannten Apparatheile sind auf der mittleren Röhre befestigt, die Nadel dreht sich auf der Achse, und der Gradbogen ist unbeweglich. Die Uebertragung der verticalen Bewegungen auf die Nadel erfolgt durch zwei Messingdrähte *NN* von gleicher Länge, die von der Biegung der Zahnstange des Apparates unter einander parallel zu den Biegungen der Zahnstange der Nadel laufen. Die Richtigestellung und Einspannung geschieht mittelst der Schraubenkupplungsmuffen *PP*.

Um den Strömungsmesser bis zur gewünschten Tiefe ins Wasser lassen zu können, ist die Hauptröhre farbig nach Centimetern eingetheilt.

Zur Einstellung des Apparates in das durch Richtungszeichen auf dem Ufer vorgeschriebene Profil bedient man sich der Diopter *C*, welche seitwärts am oberen Theile des Apparates bevestiget sind; für die verticale Einstellung benutzt man die an einem horizontalen Gradbogen befestigten Libellen *G*.

Die Gesamtlänge des Strömungsmessers beträgt 6 m., so dass man ihn bis zu 5 m. tief in das Wasser einführen kann.

Zum Aufstellen der Apparates verwendet man einen dreibeinigen Ständer, der einen rechteckigen Rahmen aus hohlen eisernen Röhren trägt und aus Eichenholz oder anderem soliden, schweren Holze gemacht ist. Die Platte des Ständers ist an den Seiten mit eisernen Beschlägen versehen, deren vorspringende Enden als Löcher für die Füße dienen. Die in ihrer ganzen Länge an den Seiten mit Eisen beschlagenen Füße werden in den Löchern mit Hülfe von Klemmschrauben *aaa* befestigt. Um zu verhindern, dass die Füße in den weichen Boden einsinken, sind dieselben mit eisernen Schalen *SSS* versehen. Auf felsigem Boden bewahren diese Schalen durch ihre scharfen Ränder den Ständer vor dem

Ableiten. Damit die Füße nicht weiter als gewünscht aus einander gehen, werden sie in ihrer halben Höhe durch Stricke *bbb* zusammengehalten; die Enden dieser Stricke sind frei, so dass man beim Einlassen des Apparates ins Wasser dieselben anziehen oder nachlassen und so die Füße nach Belieben stellen kann.

Der zum Hinablassen des Strömungsanzeigers dienende Rahmen ist an dem oberen Theile des Ständers mit einem doppelten Scharnir *r* befestigt, so dass er frei beweglich bleibt. Auf dem Hauptrahmen bewegt sich auf Rollen von oben nach unten ein zweiter Rahmen *d*, der mit zwei Krampen *e e* versehen ist. Eine ähnliche Krampe befindet sich auch an dem oberen Theile des Hauptrahmens *G*. In diese drei Krampen führt man die Röhre des Strömungsmessers ein. Um die Röhre vertical zu halten, gehen von dem unteren Theile des Rahmens drei dünne Schnüre *z z z* aus; jede derselben geht über die Rollen *u*, die am Ende der Füße des Ständers angebracht sind, und dann längs den Füßen nach oben zu den Winden und Sperrädern *i i i*. Indem man diese drei Schnüre je nach Bedarf aufwindet oder abwickelt, bringt man den Strömungsmesser in eine senkrechte Stellung.

Zum Heben und Hinablassen des Apparates bedient man sich einer Schnur *k*, welche von dem sich mit dem Apparate drehenden Rahmen *d* über die am oberen Theile des grossen Rahmens befestigte Rolle *A* zu der Winde *H* geht.

Da man bei Beginn des Beobachtungen die Röhre des Strömungsmessers mittels der Schrauben *n n* an den Krampen *e e* befestigen kann, so ist es nicht nöthig, bei Beobachtungen am gleichen Orte, aber in verschiedenen Tiefen, die Diopter immer von neuem einzustellen.

Um dem Apparate zwecks grösserer Standfestigkeit ein bedeutenderes Gewicht zu geben, ist in der Mitte seiner oberen Platte an einer Rolle ein eiserner Wassercylinder *p* angebracht, der durch eine Öffnung mit Ventil gefüllt und geleert werden kann.

Zur Beförderung und Einlassung des Strömungsmessers sind zwei Boote nöthig, welche in der aus der Zeichnung ersichtlichen Weise ausgerüstet und mit Gerüsten versehen sind. Eine Höhe des Gerüsts von 3,5 m. genügt, um den ganzen Apparat aus dem Wasser zu heben. Das Hinablassen und Heraufholen geschieht mittelst einer Winde, welche auf der am hinteren Theile der Kähne befindlichen Brücke steht. Bewegliche zu beiden Seiten des Apparates befindliche Plattformen dienen dem Beobachter zum Standpunkte und heben denselben derartig, dass er sich immer an dem oberen Ende der Röhre befindet und die Gradbogen unter Augen hat. Die Winde welche den Apparat bewegt, hebt auch die Plattformen mit dem Beobachter. Zu diesem Zwecke sind an dem Haupttaue im Punkte *B* zwei Seitentaue angebracht, die über einen oben am Gerüste angebrachten festen Kloben *T* mit drei Rädern laufen, von da

unter den Rollen *D D* durch auf die Rollen *E E* und von da zur der Plattform gehen.

Zum Herablassen und Heben der Anker bedarf man einer Schaluppe. Auf dem schematischen Plane ist die ganze Einrichtung der Boote dargestellt.

Mit Hülfe des von uns zusammengestellten Strömungsmessers hat man im September und Oktober 1893 auf dem Dnjepr bei Jekaterinoslaw die Richtungen der Wasserfäden beobachtet und festgestellt.

Die Resultate sind in einem speziellen Berichte gesammelt.

(Nach der vom Verfasser selbst besorgten französischen Uebersetzung in das Deutsche übertragen).

Inscriptions des Planches. Inschriften der Zeichnungen. Description of the Plates.

PLANCHE I.

Les courants divergent.
" " convergent.

PLANCHE II.

Vert.
Jaune.
Rose.
Rouge.
Façade.
Profils longitudinaux.
Mouille.
Banc de sable.
A un niveau élevé de printemps.
A un bas niveau de printemps.
A un niveau élevé d'été.
Au niveau d'été.
A un niveau bas.
Au niveau d'eau le plus bas.

PLANCHE III.

Embouchure du bras
Embouchure du golfe et au printemps du torrent Starik.
Digue conductrice des fils d'eau.
Culée fluviale.
" du bord.
Quai.
Culée riveraine.
Les inscriptions sur les profils des plans . . . désignent le nombre de minutes écoulées du départ des flotteurs du premier profil.
Les inscriptions sur les profils des vitesses désignent la vitesse en sagènes en une seconde.
Signes conventionnels.

BLATT I.

Die Strömungen laufen auseinander.
" " " zusammen.

BLATT II.

Grün.
Gelb.
Rosa.
Roth.
Aufriss.
Längsprofile.
Tiefes Wasser.
Sandbank.
Bei hohem Frühjahrswasser.
" niedrigem " "
" hohem Sommerwasser.
" niedrigstem " "
" niedrigem Wasserstande.
" dem niedrigsten " "

BLATT III.

Mündung des Armes.
Mündung des Golfes und im Frühling des Wildstromes Starik.
Leitdämme für die Strömung.
Flusspfeiler.
Landpfeiler.
Uferdamm.
Landpfeiler.
Die Inschriften auf den Profilen der Pläne . . . geben die Anzahl der Minuten an, welche seit Abgang der Schwimmer des ersten Profiles verstrichen sind.
Die Inschriften auf den Geschwindigkeitsprofilen geben die Geschwindigkeit in Saschenen per Sekunde an.
Zeichenerklärung.

PLATE I.

The currents diverge.
" " converge.

PLATE II.

Green.
Yellow.
Rose.
Red.
Elevation.
Longitudinal sections.
Deep water.
Sand-bank.
High spring level.
Low " "
High summer " "
Low-water level.
At a low level.
At lowest level.

PLATE III.

Mouth of the branch stream
Mouth of the gulf and rapids of Starik in spring.
Dike regulating the current.
Abutment in the river.
" on shore.
Wharf.
Abutment on the bank.
The references in the sections of the projections . . . indicate the number of minutes spent from the departure of the floats of the first section.
The references on the sections showing the speed indicate the speed in *sagènes* per second.
Conventional signs.

PLANCHE IV.

Plan de disposition des ondes sur le Dniépre à Kief dressé selon les recherches faites en Avril 1892, à un niveau + 1,09 Sagène de la tringle de l'hydromètre du pont suspendu.

Profils des vitesses.

Limite naturelle de Nataalka.

Voies des flotteurs.

Crue de l'eau au niveau du printemps.

Démarcation à un niveau bas.

Crête du bord.

Direction de la rotation des flotteurs, les chiffres marquent le nombre de tours entre les deux profils voisins.

Travaux couverts d'eau.

Flotteur au diamètre de

Les chiffres sur les profils des vitesses marquent la vitesse des flotteurs en sagènes en une seconde.

PLANCHE V.

Plan de la direction des fils d'eau et profils de la direction des flotteurs à l'expiration d'intervalles de temps égaux.

Les chiffres sur les profils de direction des flotteurs marquent les minutes écoulées depuis le départ à partir du premier.

(Pour les autres inscriptions, voir les traductions „Planche IV“.)

PLANCHE VI.

Dessin de la girouette sous-marine, $\frac{1}{2}$ de la grandeur naturelle.

Section de l'extrémité du tuyau par l'axe.

Vue de la partie postérieure.

Coupe par la ligne *a—b*.

BLATT IV.

Darstellung der Wellenbewegung auf dem Dnjepr bei Kiew, aufgenommen nach im April 1892 bei einem Wasserstande von + 1,09 Saschene am Hydrometer der Hängebrücke angestellten Beobachtungen.

Geschwindigkeitsprofile.

Natürliche Grenze von Nataalka.

Weg der Schwimmer.

Hochwasser im Frühjahr.

Begrenzung bei niedrigem Wasserstande.

Uferkamm.

Richtung der Drehung der Schwimmer, die Ziffern geben die Anzahl der Umdrehungen zwischen zwei benachbarten Profilen an.

Kunstabauten unter Wasser.

Schwimmer mit einem Durchmesser von

Die Zahlen auf den Geschwindigkeitsprofilen geben die Geschwindigkeit der Schwimmer in Saschenen per Sekunde an.

BLATT V.

Richtung der Strömung und Profile der Richtung der Schwimmer nach Verlauf gleichmässiger Zeitintervallen.

Die Ziffern auf den Profilen der Richtung der Schwimmer geben die Anzahl der Minuten an, welche seit Abgang des ersten verflossen sind.

(Die übrigen Inschriften siehe Uebersetzung zu Blatt IV.)

BLATT VI.

Zeichnung des Strömungsanzeigers $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse.

Querschnitt des äussersten Röhrenendes durch die Achse.

Ansicht des hinteren Theiles.

Schnitt in der Linie *a—b*.

PLATE IV.

Projection of the state of the waves on the Dnieper at Kiew drawn up from investigations made in April 1892, at a level of 1.09 *sagène* above the rod of the hydrometer of the suspension bridge.

Sections showing the speed.

Natural limit of Nataalka.

Ways taken by the floats.

Water-level during spring floods.

Limit at a low level.

Top of the bank.

Direction taken by the floats in rotation, the figures indicate the number of turns between the two neighbouring sections.

Works under water.

Float of a diameter of

The figures on the sections showing the speed mark the speed of the floats in *sagènes* per second.

PLATE V.

Projection of the direction of the current and sections of the direction taken by the floats at regular intervals.

The figures on the sections showing the direction taken by the floats mark the minutes that elapse after the departure of the first.

(For other references see translations under Plate IV.)

PLATE VI.

Sketch of the submarine vane, half actual size.

Section of the extremity of the tube made by the bed of the river.

Vue of the back.

Section at the line *a—b*.

PLANCHE VII.

Elévation de côté.
 Vue de devant.
 Dessin du support de la girouette sous-marine.
 Section du pied de support.
 Elévation de côté, $\frac{1}{12}$ de la grandeur naturelle.

PLANCHE VIII.

Dessin concernant le projet de la girouette sous-marine.
 Chaland et structure pour le transport et le posage de la girouette sous-marine.
 Plan schématique du posage du chaland par rapport au jalon.
 Pin.
 Chêne.
 Fer.
 Fonte.
 Vue de devant.

BLATT VII.

Seitenansicht.
 Vorderansicht.
 Zeichnung des Ständers des Strömungsanzeigers.
 Querschnitt des Ständerfusses.
 Seitenansicht $\frac{1}{12}$ der natürlichen Grösse.

BLATT VIII.

Zeichnung das Project eines Strömungsanzeigers betreffend.
 Schute nebst Vorrichtung zum Transport und zur Aufstellung des Strömungsanzeigers.
 Skizze der Aufstellung der Schuten mit Hinsicht auf die Bake.
 Tannenholz.
 Eichenholz.
 Eisen.
 Gusseisen.
 Vorderansicht.

PLATE VII.

Elevation of the side.
 Front view.
 Sketch of the support of the submarine fane.
 Section of the foot of the support.
 Elevation of the side $\frac{1}{12}$ actual size.

PLATE VIII.

Sketch relating to the project of the submarine fane.
 Barge and arrangement for the transport and fixing in position of the submarine fane.
 Projection of the scheme for the fixing in position of the stake.
 Pine.
 Oak.
 Iron.
 Cast-iron.

Inscriptions souvent répétées.

Bras.
 Dessin.
 Pile.

Mesures.

1 sagène = 2,13 m. = 3 arsjines.
 1 arsjine = 0,71 m. = 16 verchocs.
 1 verchoc = 0,0444 m.

Häufig wiederholte Ausdrücke.

Arm (eines Flusses).
 Zeichnung.
 Pfeiler.

Maasse.

1 Saschene = 2,13 m. = 3 Arschinen.
 1 Arschine = 0,71 „ = 16 Werschok.
 1 Werschok = 0,0444 m.

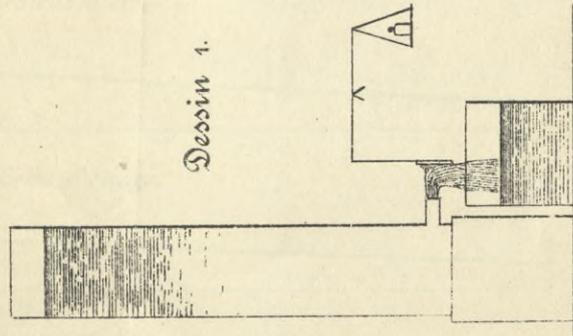
Words frequently repeated.

Branch.
 Sketch.
 Pile, pier.

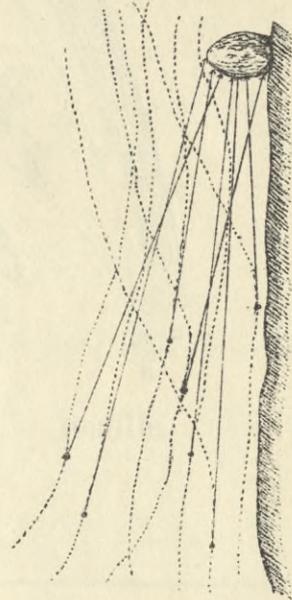
Measures.

1 sagène = 2.13 m. = 3 arsjines.
 1 arsjine = 0.71 m. = 16 verchocs.
 1 verchoc = 0.0444 m.

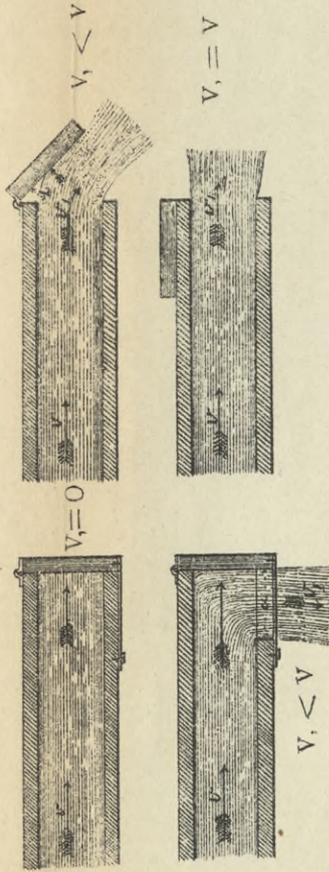
Dessin 1.



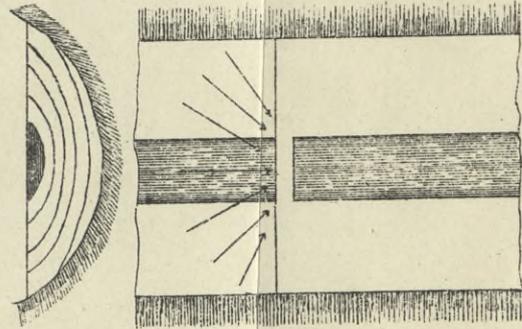
Dessin 2.



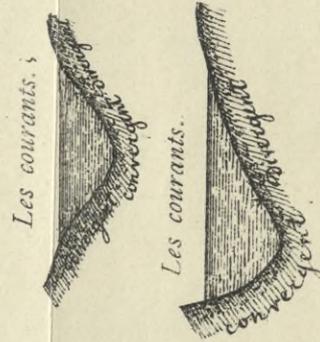
Dessin 3.



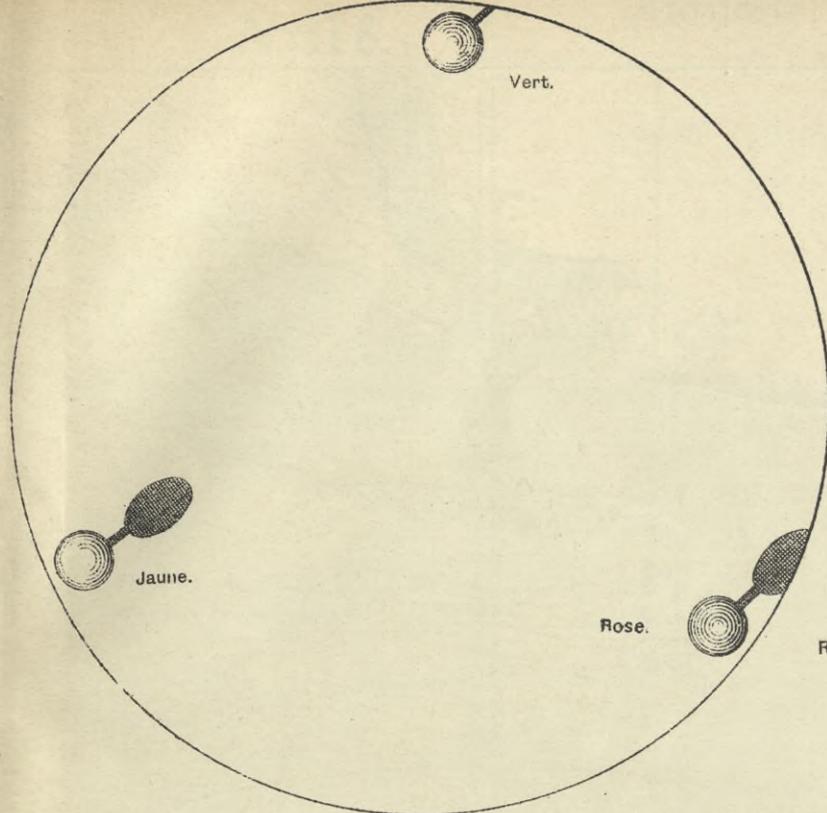
Dessin 4.



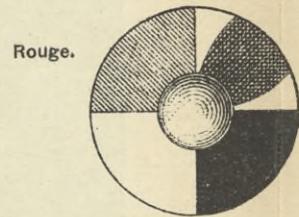
Dessin 5.



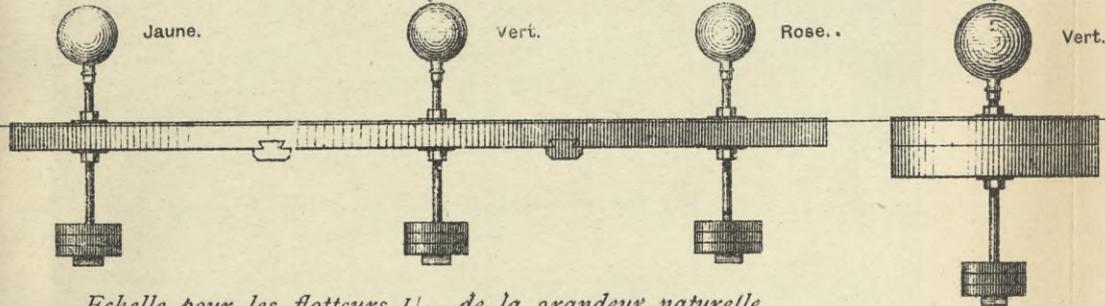
Dessin. Plan.



Dessin. Plan.

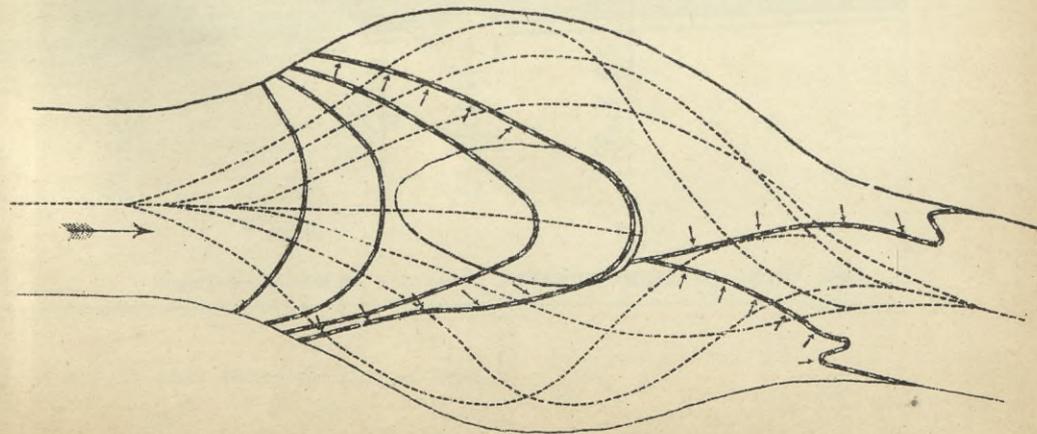


Facade.

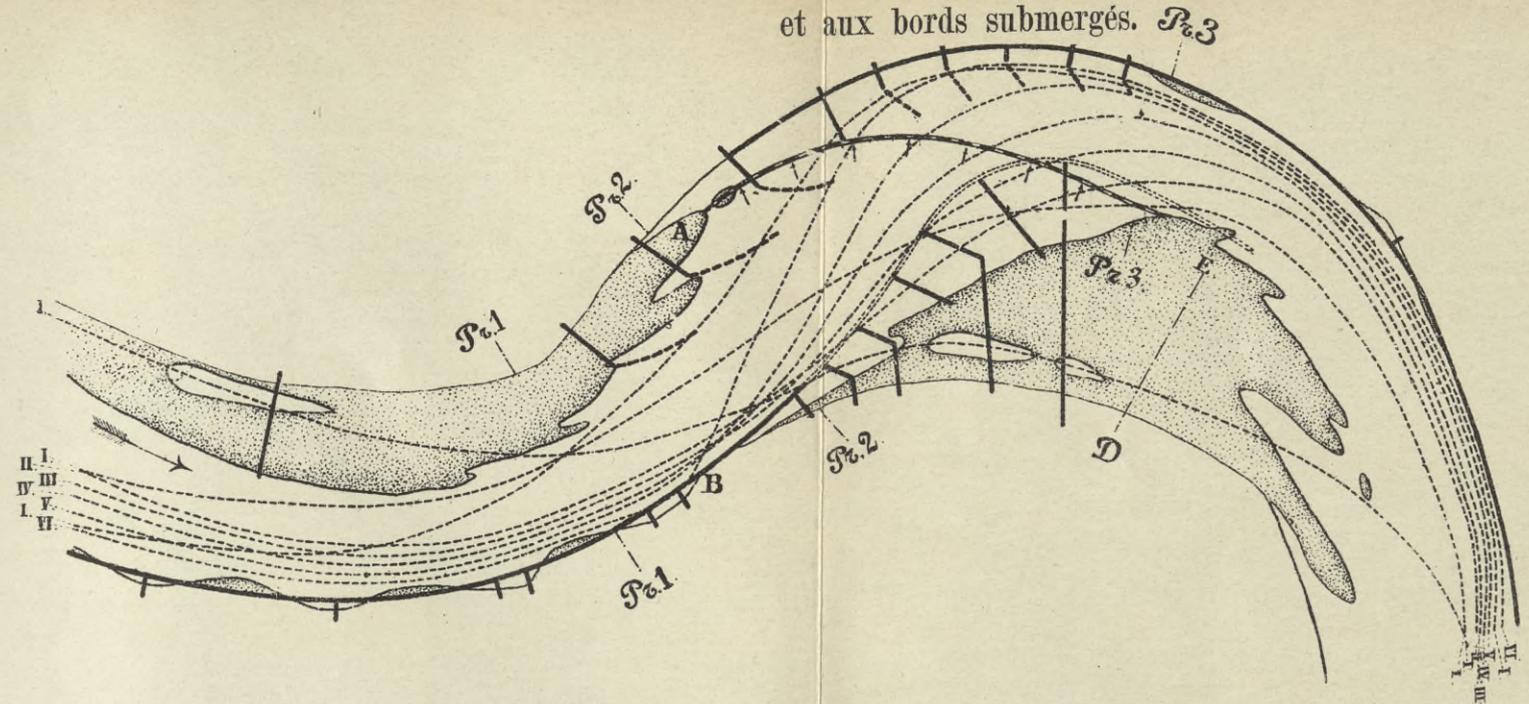


Echelle pour les flotteurs 1/10 de la grandeur naturelle.

Dessin 4. Disposition normale d'un bas-fond sur un fleuve aux bords insubmergibles.



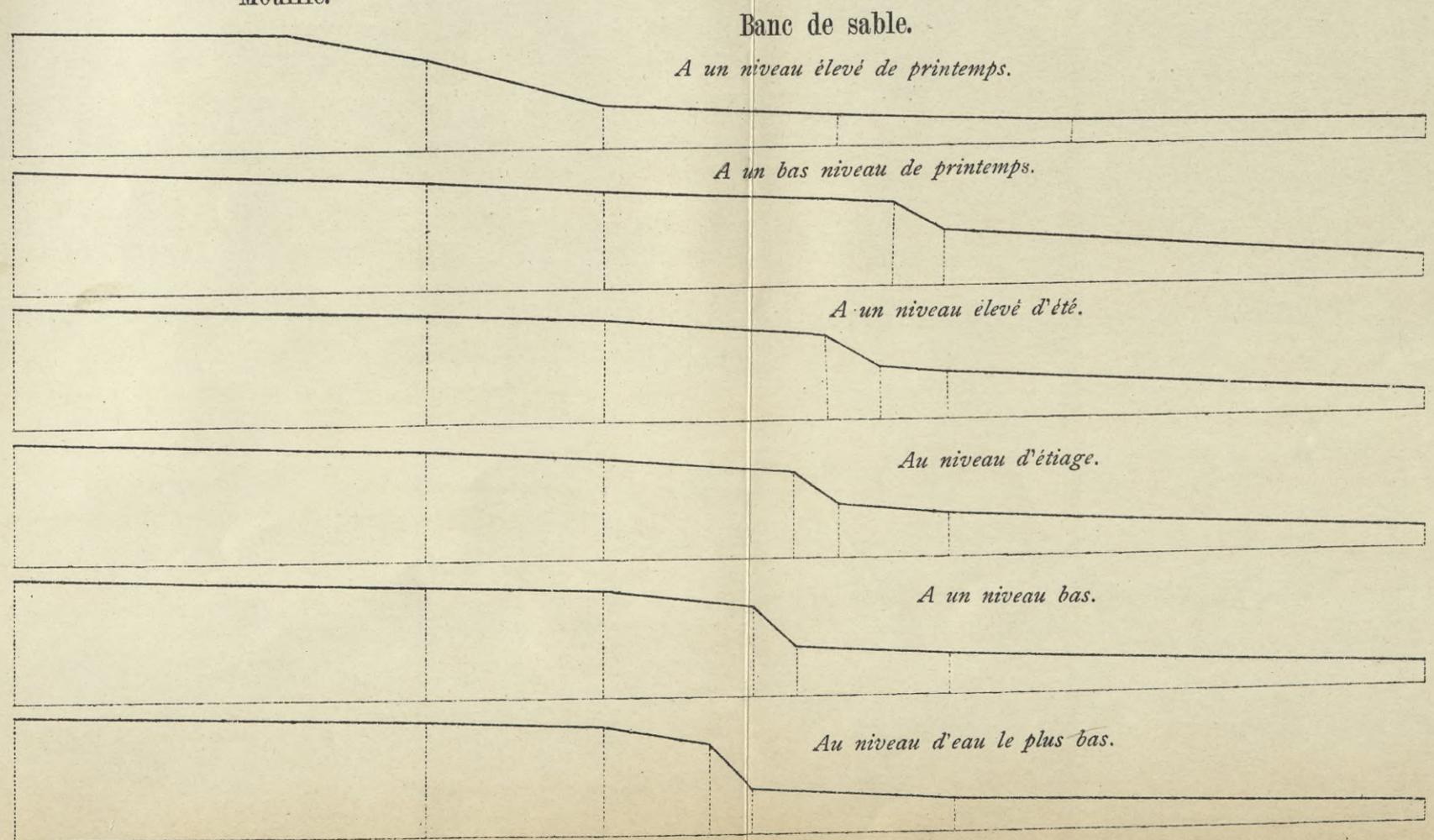
Dessin. Forme normale d'un haut-fond dans une rivière de sol sablonneux et aux bords submergés. P₁3



Mouille.

PROFILS LONGITUDINAUX.

Mouille.



Banc de sable.

A un niveau élevé de printemps.

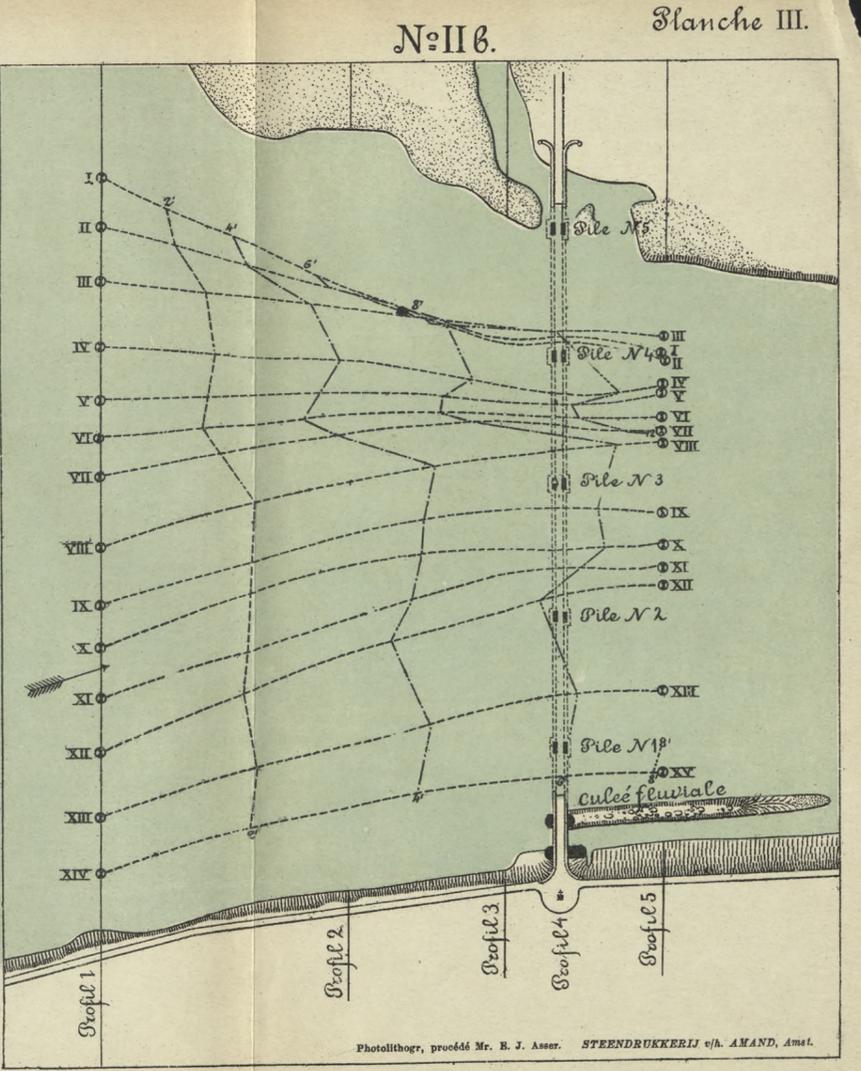
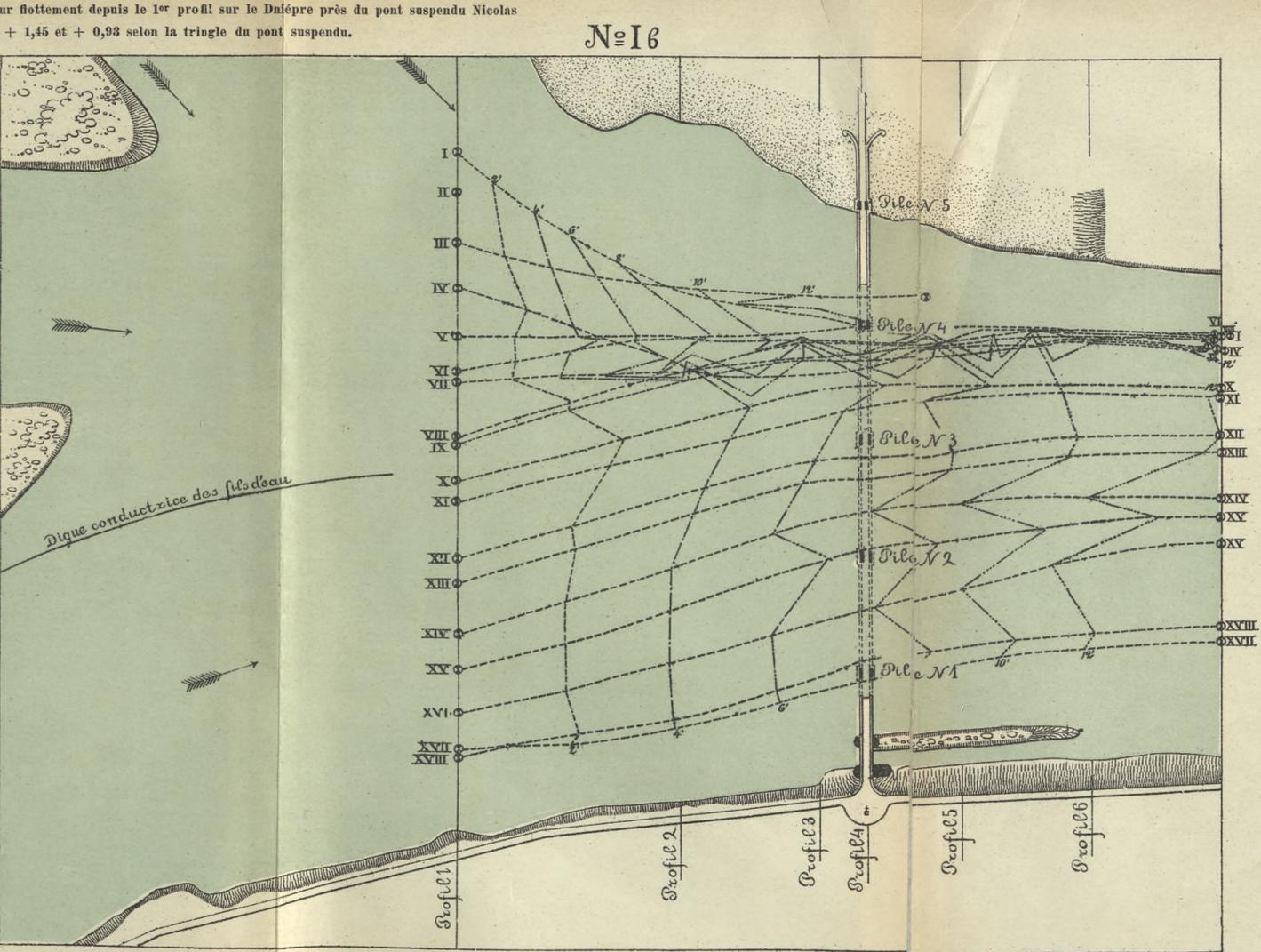
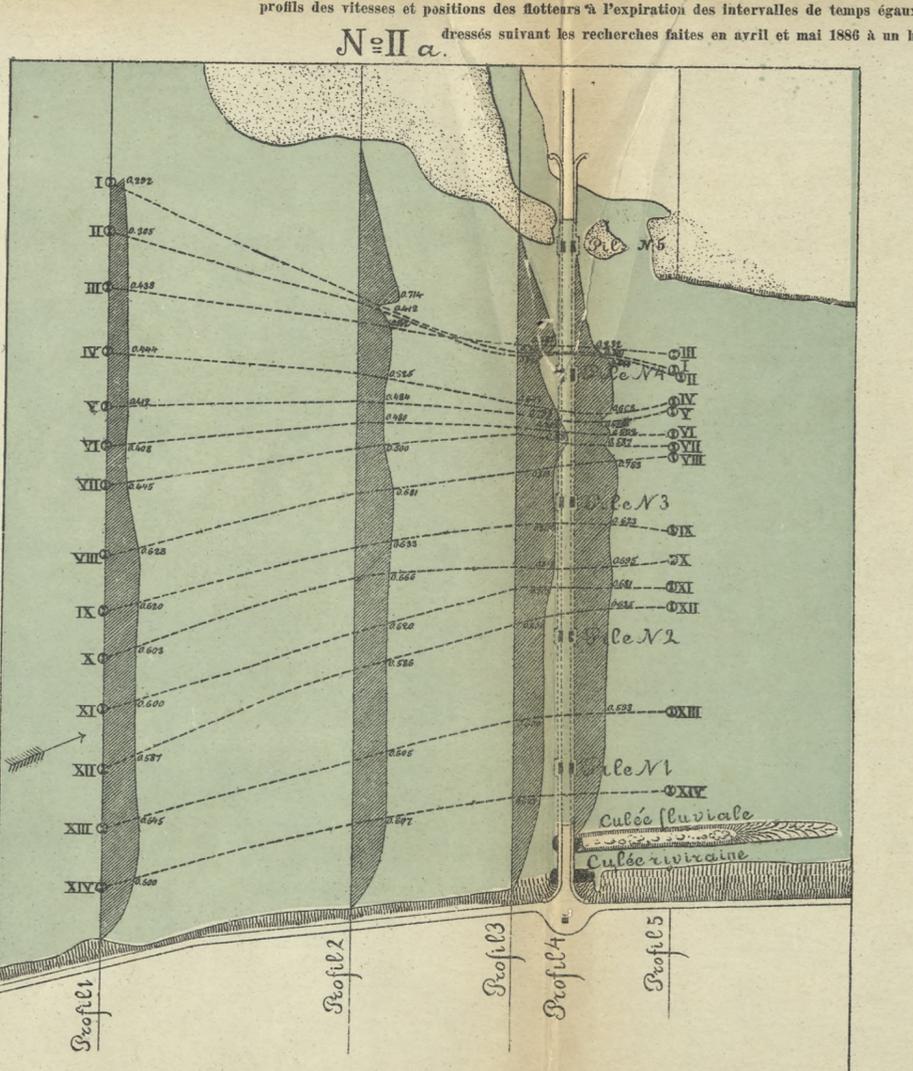
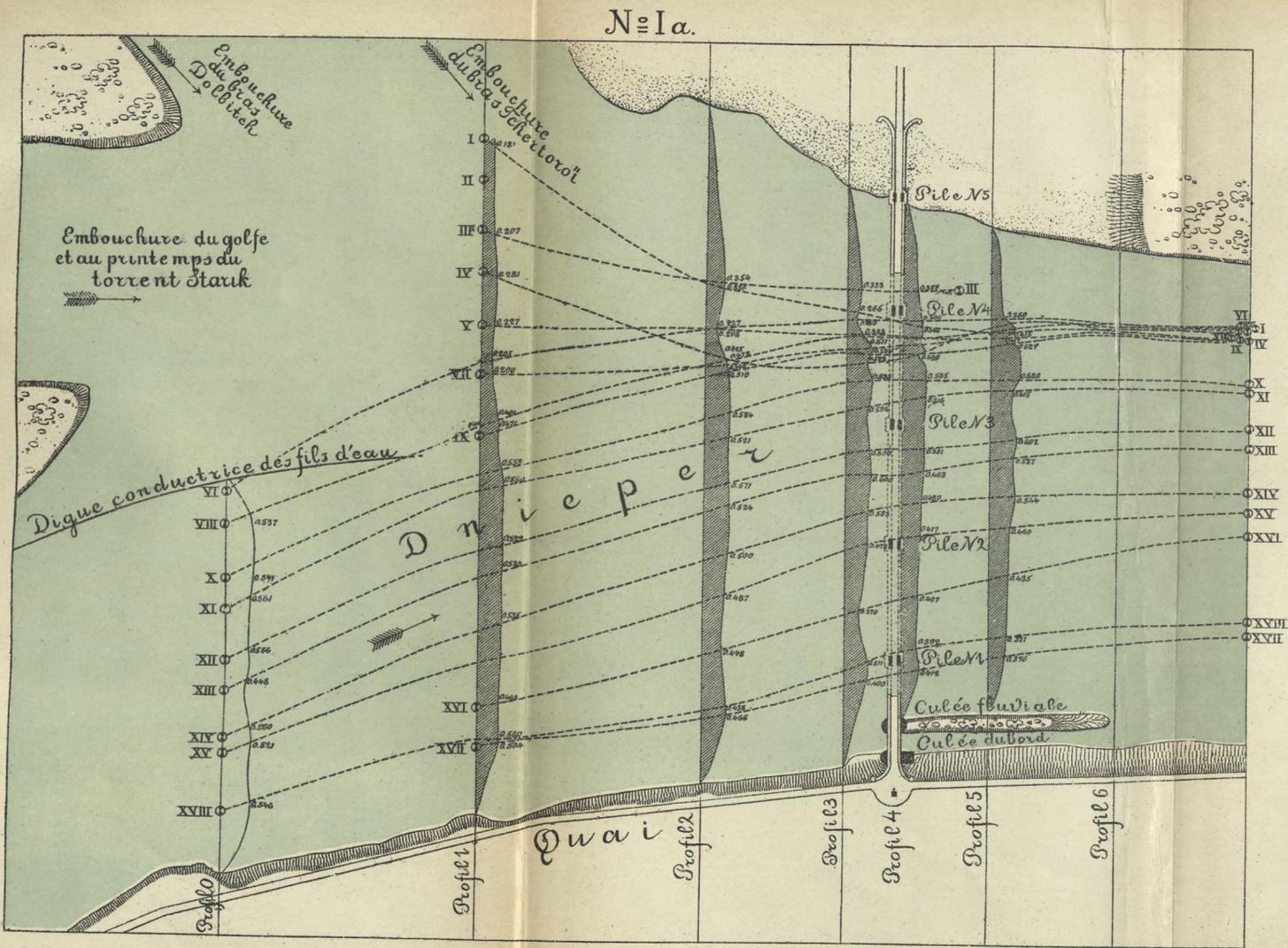
A un bas niveau de printemps.

A un niveau élevé d'été.

Au niveau d'étiage.

A un niveau bas.

Au niveau d'eau le plus bas.



Signes conventionnels:

Remarque: Les inscriptions sur les profils des plans lettre b désignent le nombre de minutes écoulées du départ des flotteurs du premier profil. Les inscriptions sur les profils des vitesses désignent la vitesse en saènes en une seconde.

- 2 minutes.
- 4
- 6
- 8
- 10 minutes
- 12 " } Profils de la position des flotteurs à l'expiration:
- marche des flotteurs.
- o flotteurs.

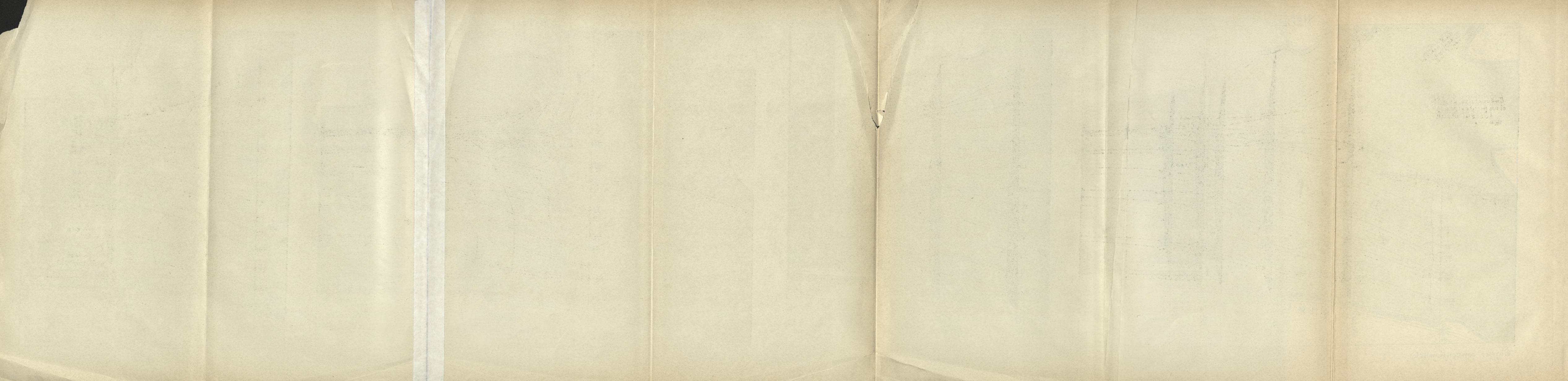
Echelles: 100 50 100 200 300 400 500 m.

pour les plans 50 m. sur 0,01 m. saènes

pour les profils des vitesses 2,00 m. sur 0,01 m.

PLANS DE LA DISPOSITION DES FILS D'EAU

profils des vitesses et positions des flotteurs à l'expiration des intervalles de temps égaux de leur flottement depuis le 1^{er} profil sur le Dniepre près du pont suspendu Nicolas dressés suivant les recherches faites en avril et mai 1886 à un horizon + 1,45 et + 0,93 selon la triagle du pont suspendu.

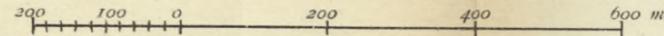


Plan de la disposition des ondes sur le Dniépre à Kief,

dressé selon les recherches faites en avril 1892, à un niveau + 1.09
sagène de la tringle de l'hydromètre du pont suspendu.

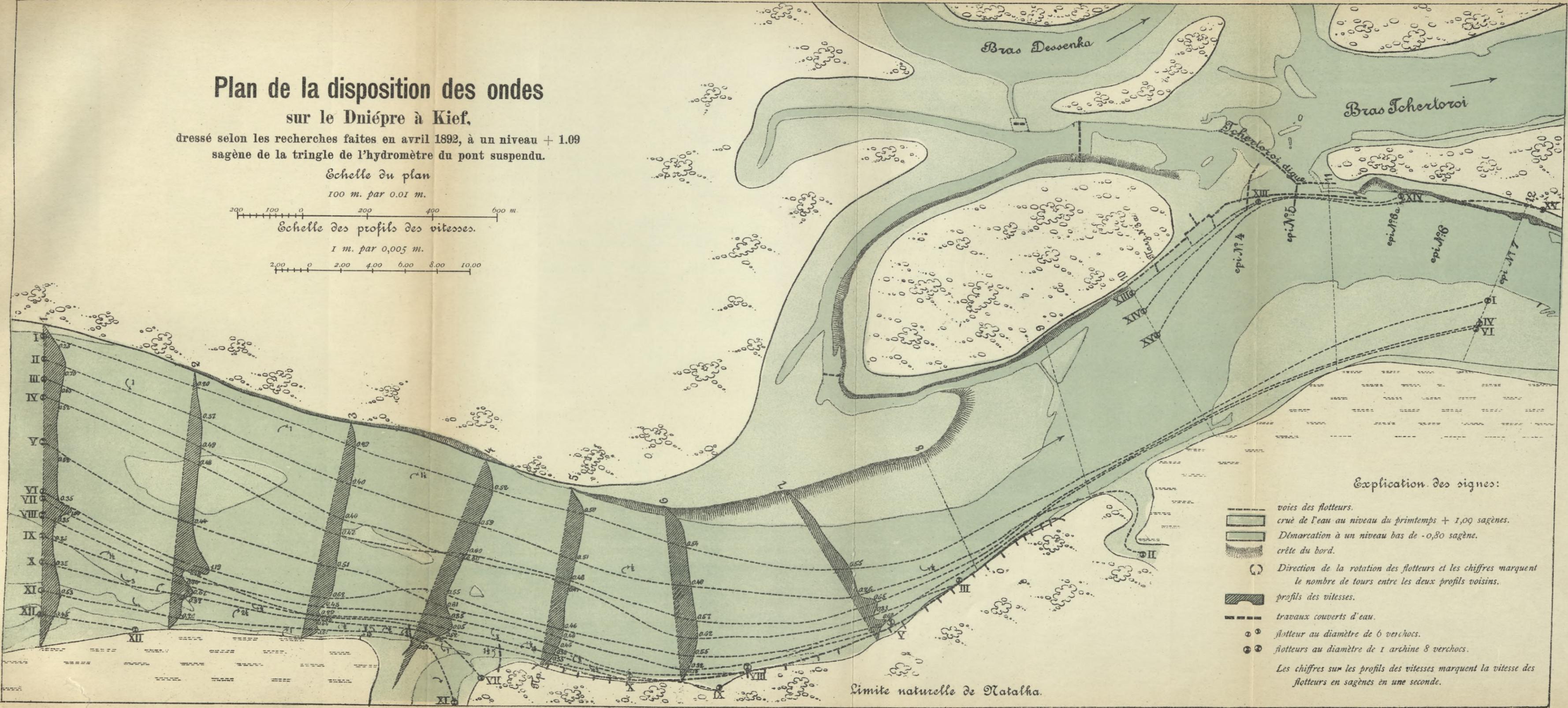
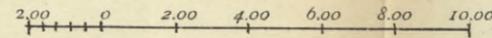
Echelle du plan

100 m. par 0.01 m.



Echelle des profils des vitesses.

1 m. par 0,005 m.



Explication des signes:

- voies des flotteurs.
 - crue de l'eau au niveau du printemps + 1,09 sagènes.
 - Démarcation à un niveau bas de -0,80 sagène.
 - crête du bord.
 - Direction de la rotation des flotteurs et les chiffres marquent le nombre de tours entre les deux profils voisins.
 - profils des vitesses.
 - travaux couverts d'eau.
 - flotteur au diamètre de 6 verchocs.
 - flotteurs au diamètre de 1 archine 8 verchocs.
- Les chiffres sur les profils des vitesses marquent la vitesse des flotteurs en sagènes en une seconde.

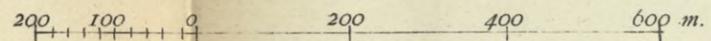
Limite naturelle de Natalia.

Plan de la direction des fils d'eau et profils de la direction des flotteurs

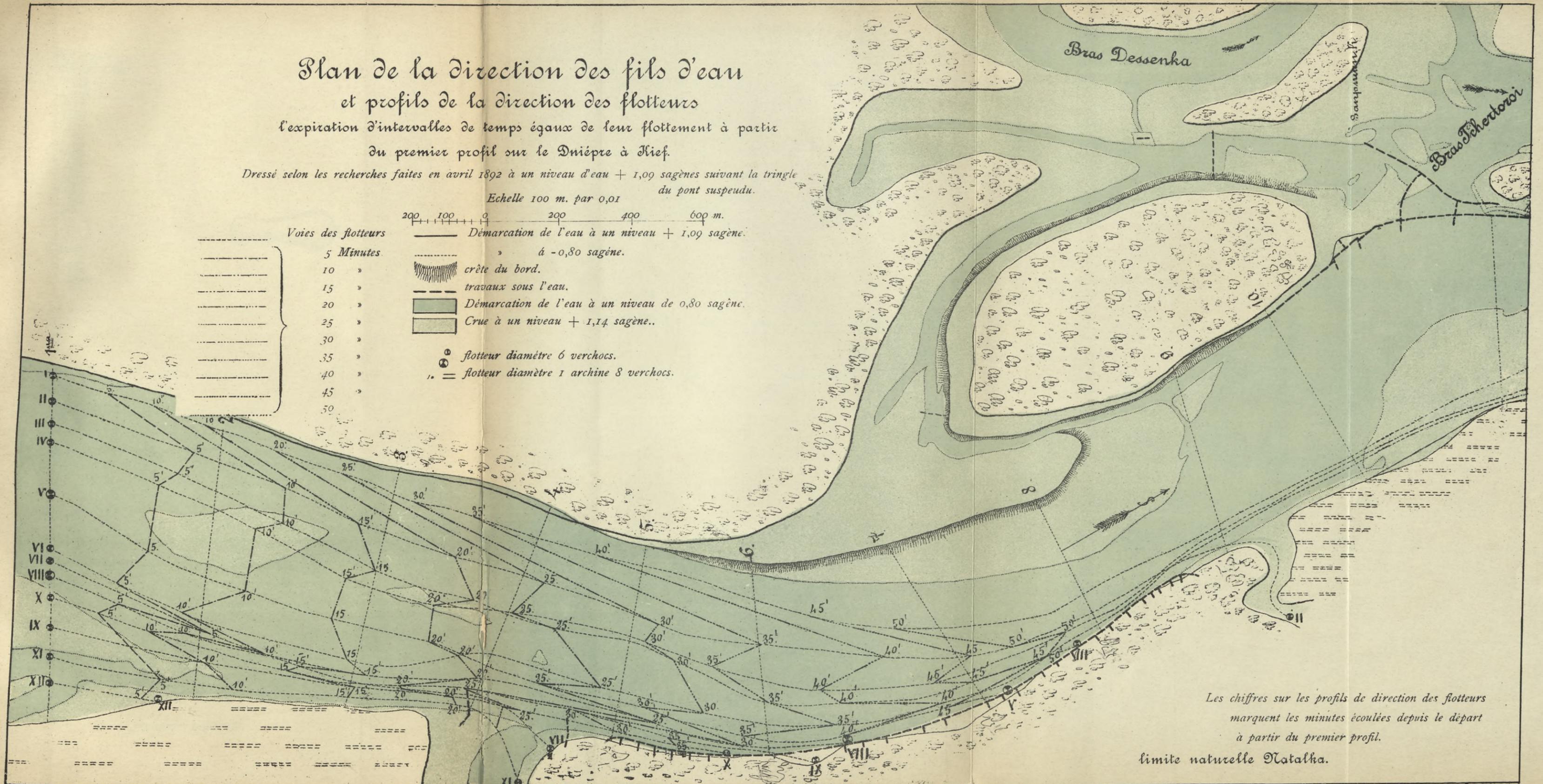
l'expiration d'intervalles de temps égaux de leur flottement à partir
du premier profil sur le Dniépre à Kief.

Dressé selon les recherches faites en avril 1892 à un niveau d'eau + 1,09 sagènes suivant la tringle
du pont suspendu.

Echelle 100 m. par 0,01

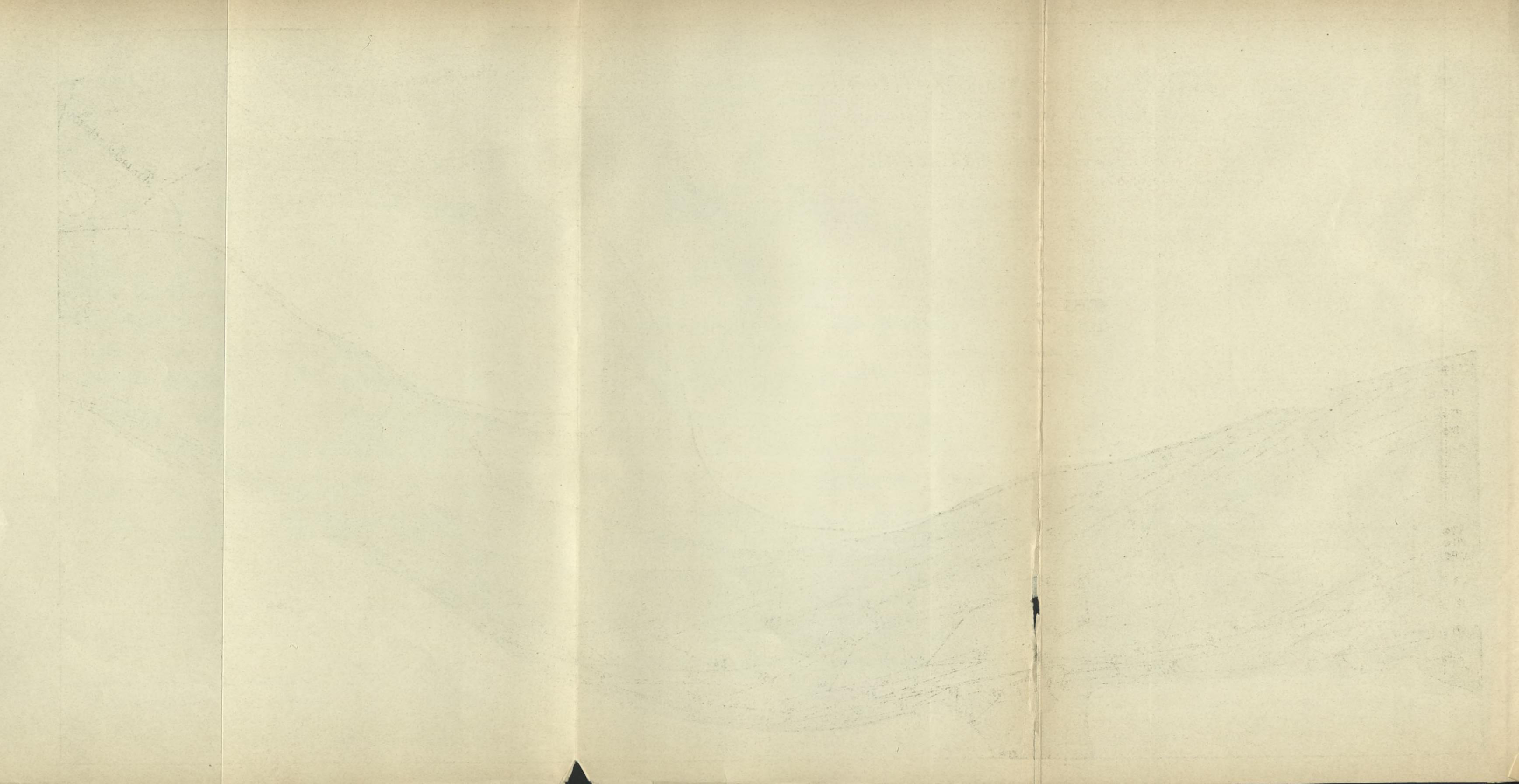


<p>Voies des flotteurs</p> <p>5 Minutes</p> <p>10 »</p> <p>15 »</p> <p>20 »</p> <p>25 »</p> <p>30 »</p> <p>35 »</p> <p>40 »</p> <p>45 »</p> <p>50 »</p>	<p>— Demarcation de l'eau à un niveau + 1,09 sagène.</p> <p>— à -0,80 sagène.</p> <p>crête du bord.</p> <p>travaux sous l'eau.</p> <p>Demarcation de l'eau à un niveau de 0,80 sagène.</p> <p>Crue à un niveau + 1,14 sagène..</p> <p>flotteur diamètre 6 verchocs.</p> <p>flotteur diamètre 1 archine 8 verchocs.</p>
---	--

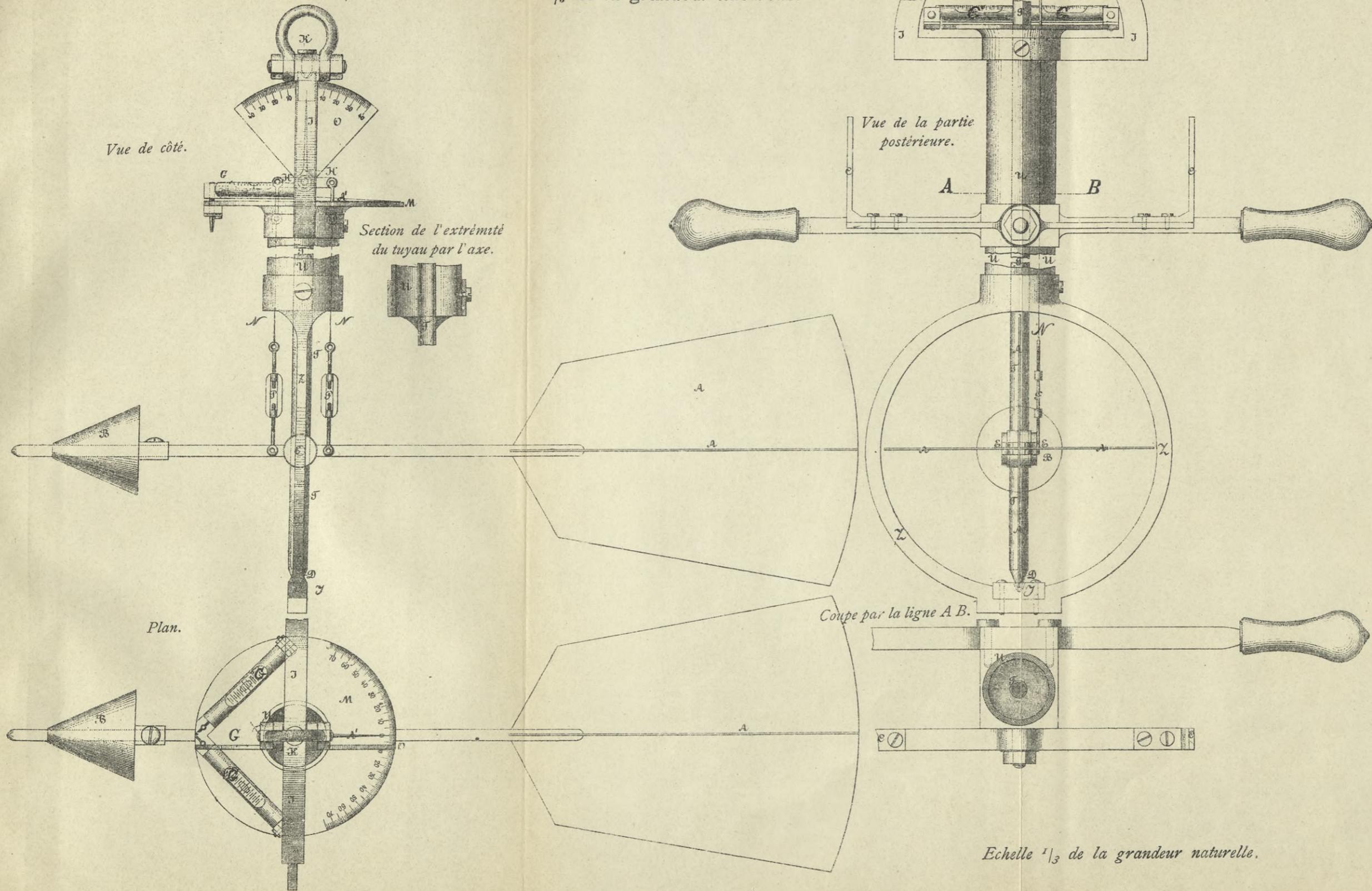


Les chiffres sur les profils de direction des flotteurs
marquent les minutes écoulées depuis le départ
à partir du premier profil.

limite naturelle Natakka.



Dessin de la girouette sous-marine
 $\frac{1}{3}$ de la grandeur naturelle.

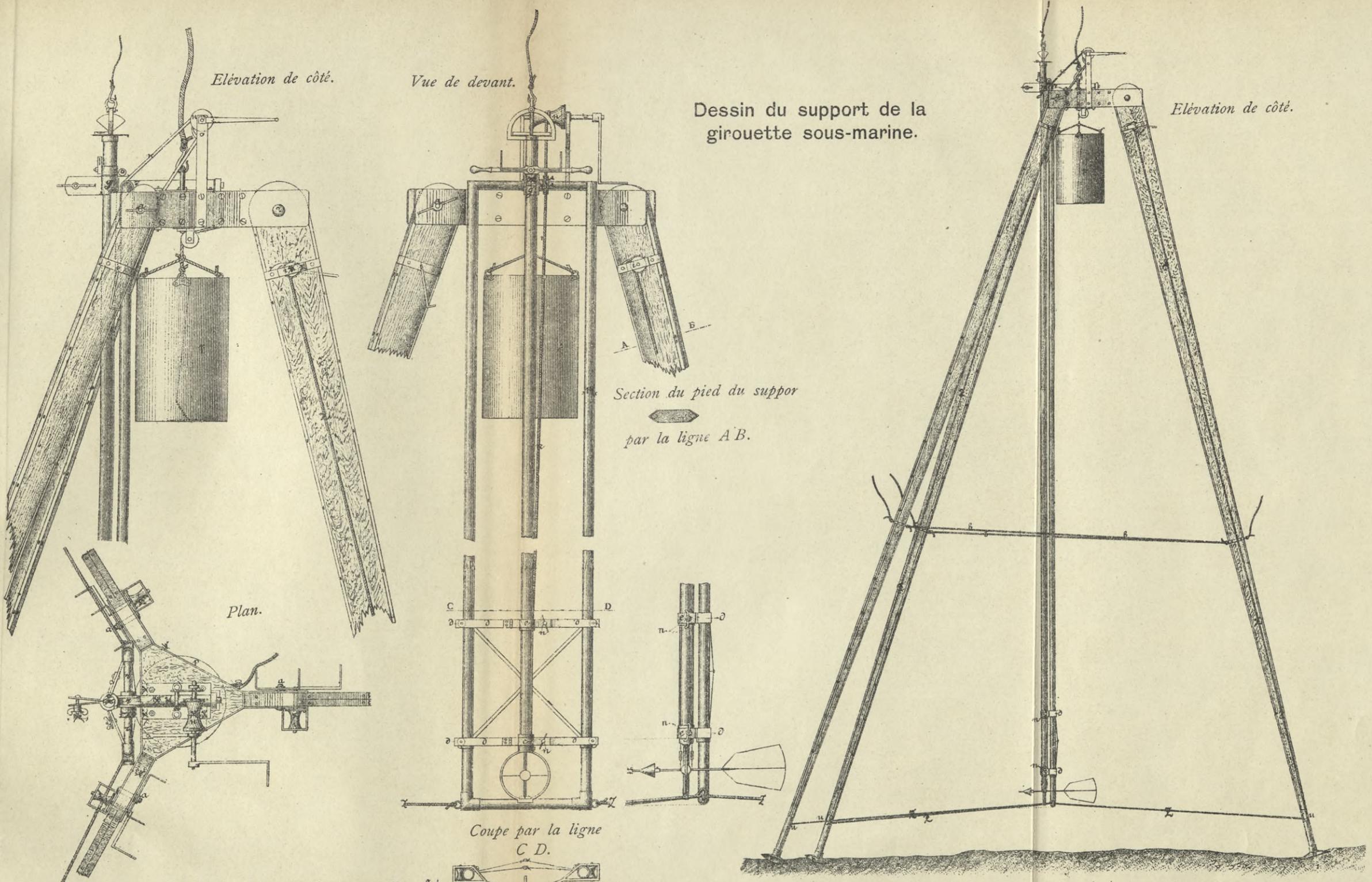


Dessin du support de la girouette sous-marine.

Élévation de côté.

Vue de devant.

Élévation de côté.

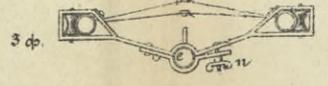


Section du pied du support par la ligne A B.

Coupe par la ligne C D.

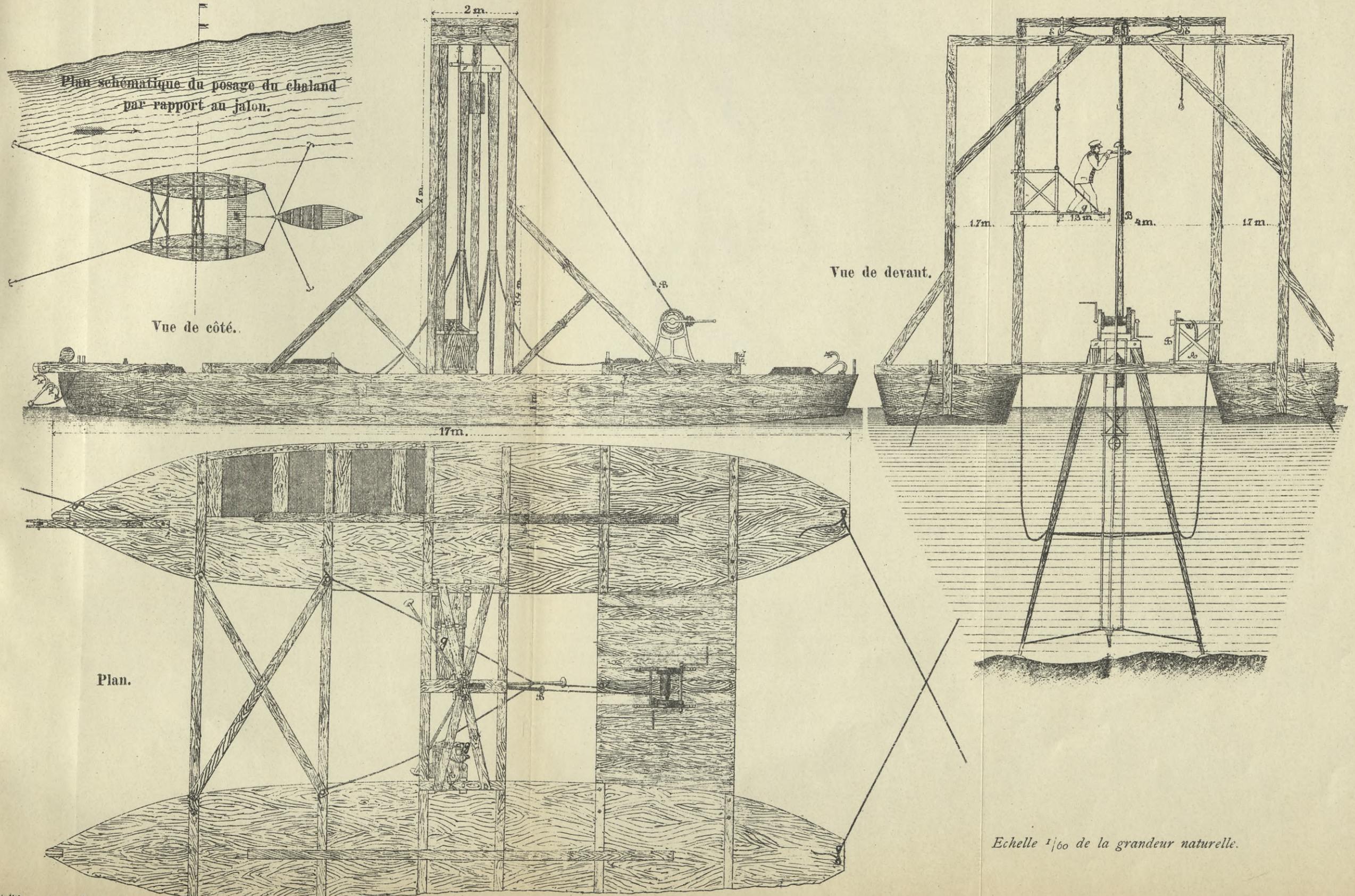
Echelle 1/18 de la grandeur naturelle.

Echelle 1/30 de la grandeur naturelle.



Dessin concernant le projet de la girouette sous-marine

Chaland et structure pour le transport et le posage de la girouette sous-marine.



Echelle 1/60 de la grandeur naturelle.

