

*Anlage 27 zum Bericht No. 42 mit Brüssel  
vom 1. März 1895. 4507632 23*

VI. INTERNATIONALER BINNENSCHIFFFAHRTS-CONGRESS

IM HAAG, 1894.

6. FRAGE.

BEMERKUNGEN

über die Formation des Bodens in einem Flusse,  
dessen Lauf durch Deiche und Wehre geregelt ist

VON

NIKOLAUS MAKSIMOWITSCH

Ingenieur der Verkehrswege in Kiew.

*F. Nr. 19875*



HAAG,

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

PAVELJOENSGRACHT, 19.

1894.



II-354128

111

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000318971

# Sechster internationaler Binnenschiffahrts- Congress.

Im HAAG. — 1894.

## Bemerkungen über die Formation des Bodens in einem Flusse, dessen Lauf durch Deiche und Wehre geregelt ist.

VON

**NIKOLAUS MAKSIMOWITSCH.**

Ingenieur der Verkehrswege in Kiew.

Die sehr wichtige Frage betreffs des Verhältnisses, welches besteht zwischen der Form der Ufer und der Tiefe der Fahrrinne, welche Frage dem Studium der 4. Section des Internationalen Congresses für Binnenschiffahrt im Haag unterworfen wird, erheischt vorher in eingehendes und genaues Studium der verschiedenen Formen der Biegungen der Ufer, welche das zu regulierende Flussbett begrenzen. Um diese Frage lösen zu können, ist es nöthig, dem Studium Versuche unter ganz identischen Bedingungen zu Grunde legen zu können über den Einfluss des regulierenden Tracés auf die Bewegung der Strömungen und auf die Formation des Bodens, unter Ausschluss aller Nebeneinflüsse, welche in so grosser Anzahl auf jeden Fluss in seinem natürlichen Verlauf ausgeübt werden.

Um einige allgemeinen Regeln aufstellen zu können, und noch mehr einige auf die Bewegung einer Wasserstrasse, ein gegebenes Ufer entlang, anwendbaren Prinzipien festzustellen, ist die riesige Menge Bemerkungen und Thatsachen, welche durch das Studium der Strömungen im Inneren einer Wasserstrasse geboten werden, noch nicht genügend. Nur durch ein eingehendes und vollkommenes Studium aller Bedingungen des Problems wird man vielleicht in die Lage kommen, einiges Licht in diese so schwierige Frage der Wasserbaukunst zu bringen. Ueberall jedoch, wo man Regulierungsarbeiten an Flüssen mit veränderlichem Boden gemacht hat, besitzt man Erfahrungen, und ist man zu gewissen Schlussfolgerungen gekommen, bezüglich der Form und Lage der Boden im Verhältniss zu der Form der künstlichen Ufer.

In dem an Wasserstrassen so reichen Russland, welches das ausgehnteste Flussnetz des Europäischen Continents besitzt, ist dieser Reichthum lange Zeit vernachlässigt worden, in Folge der Ueberstürzung, mit welcher man sich auf den Bau von Eisenbahnen warf; erst in den letzten 20

Jahren hat man auf den Russischen Flüssen Regulierungs-Arbeiten und Verbesserungen vorgenommen und zwar nur da, wo Untiefen bei niedrigstem Wasserstand der Schifffahrt grosse Schwierigkeiten verursachten.

Seit beinahe 12 Jahren bin ich mit der Leitung der Verbesserung eines Flusstheiles in Süd-Russland beauftragt, nämlich des Dnjeprs bei Kiew. Diese Arbeiten, bei welchen man genöthigt war, zu Deichen und Wehren seine Zuflucht zu nehmen, haben mir Veranlass zu einigen praktischen Folgerungen gegeben, welche einigen Zusammenhang mit der sechsten dem Congress zur Untersuchung vorgelegten Frage haben, und welche ich meinen ausländischen Collegen mittheilen möchte. Zuvor ist es jedoch nöthig, in grossen Zügen das Stromgebiet des Dnjeprs in der Nähe von Kiew zu beschreiben.

Der Dnjepr ist nach seiner Länge der zweitgrösste Fluss in Europa. Er entspringt im Inneren Russlands in den Thälern, welche südlich der Waldai-Ebene gelegen sind; dort geht er hervor aus dem kleinen See von Mehara inmitten der Wälder des Bezirkes Smolensk. Er läuft von Norden nach dem Süden durch den reichsten Theil Russlands und mündet in das Schwarze Meer. Seine Länge beträgt 2262 Kilometer, und sein Stromgebiet dehnt sich über die riesige Oberfläche von 616.000 Quadrat Kilometer mit einer Bevölkerung von 18 Million Einwohnern aus. Die Breite des Dnjeprs in seinem oberen Lauf ist nicht mehr als 80 Meter, doch, nachdem er mehrere Nebenflüsse aufgenommen, wird diese grösser und beträgt in dem Mitteltheil 300—400 Meter. Mehr südlich, nahe der Stadt Jekaterinoslaw durchschneidet der Fluss eine Abzweigung der Karpathen und wird über eine Länge von 85 Kilometer durch eine Serie von kleinen Wasserfällen und Stromschnellen unterbrochen, worüber bis jetzt nur Flösse hinweg fahren können. Die Verbesserung dieses Theils des Flusses bildet jetzt den Gegenstand besonderer Studien bei dem Ministerium der Verkehrswege.

Ein besonderer Character des Dnjeprs ist die ausserordentliche Krümmung seines Laufes und die Leichtigkeit, mit welcher er seine Richtung ändert; der Boden sowie die Ufer bestehen hauptsächlich aus Sand. Das während der Frühjars-Regenzeit durch den Dnjepr überströmte Thal ist sehr breit, an manchen Stellen 5—16 Kilometer. Im natürlichen Zustand ist der Fluss sehr unberechenbar; es giebt Stellen, wo er seinen Lauf in dem letzten Jahrhundert viermal geändert hat. Im Frühjahr, bei hohem Wasserstand kann der Fluss mit Schiffen bis zu 2,60 Meter Tiefgang befahren werden, während er bei niedrigem Wasser nur Leichter von höchstens 0,80 Meter Tiefgang zu tragen vermag. Der grösste Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstand beträgt bis zu 7,25 Meter. Die Schrägheit des Strombettes variirt von 0,00012 bis zu 0,00008 Meter und erreicht an den Wasserfällen 0,000385 Meter; der ganze Fall beträgt 190,90 Meter.

Die hauptsächlichsten schiffbaren Nebenflüsse des Dnjeprs sind: die Berezina, der Soj, der Pripet und die Desna. Der Pripet ist durch Kanäle

mit der Weichsel und dem Niemen verbunden, welche beide in die Ostsee münden, und die Bérézina ist in Verbindung mit der westlichen Dwina, welche in den Golf von Riga ausmündet. Diese kurze Uebersicht beweist die grosse commerzielle Wichtigkeit des Dnjeprs und seines Stromgebietes. Die ganze befahrbare Ausdehnung des Dnjeprs und seiner Nebenflüsse erreicht fast 12000 kilometer und der schiffbare Theil derselben bis zu 5900 kilometer. Dieser Fluss mit seinen Nebenflüssen durchfließt die ganze Fläche zwischen der Ostsee und dem Schwarzen Meer, verbindet wichtige Handelscentren und wird von zehn verschiedenen Eisenbahnlinien gekreuzt.

Die auf dem Dnjepr fahrende Flotte besteht jetzt aus 740 Leichtern und Kähnen und aus 165 Dampfbooten und Schleppern, mit einer Gesamt-Tonnenzahl von 180,000 Tonnen.

Die hauptsächlichsten an dem Dnjepr gelegenen Häfen und Städte sind Kiew, Jekaterinoslaw und Cherson.

Das Verhältniss zwischen der gemessenen Höhe des Wasserstandes und der durchströmenden Wassermenge, festgestellt durch zahlreiche in Kiew vorgenommene Messungen, wird durch nachstehendes Schema annähernd angegeben.

Die zur linken Seite der Tafel angegebenen Ziffern haben Bezug auf die Wasserhöhe in Metern und die zur rechten Seite in den punktirten horizontalen Linien, welche die Abscissen der Parabel vorstellen, geben

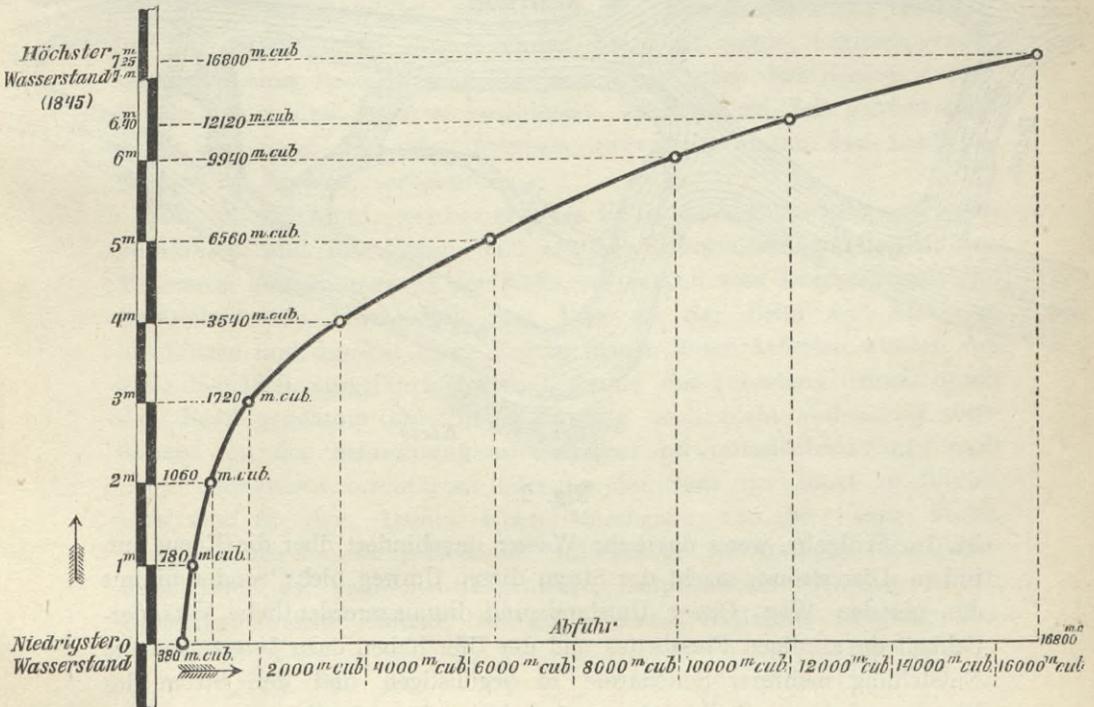


Fig. 1.

in tausendmal verkleinertem Maaßstabe die derentsprechende Wasserabfuhr an.

Der totale Fall des Dnjeprs von der Quelle bis zur Mündung in das Schwarze Meer beträgt 190,90 Meter, folgendermassen vertheilt: 89,30 von der Quelle bis Kiew und 101,60 von Kiew bis zur Mündung. Der durchschnittliche Fall beträgt 0,00008 Meter. Die Stromschnelle des Flusses beträgt bei gewöhnlichem Wasserstand 0,50 Meter per Secunde; im Frühjahr, bei hohem Wasser steigt sie bis zu 1,15 Meter.

Die auf dem Dnjepr bei Kiew vorgenommenen Regulierungsarbeiten haben den Zweck, die Unregelmässigkeiten des Stromes aufzuheben, welche sich an diesem Punkte in mehrere Arme theilt. Indem man das Wasser dieser Arme bei gewöhnlichem Stande zusammen vereinigt, sucht man es die wünschenswertheste Richtung zu geben, nämlich die Kais von Kiew entlang.

Nachstehende Fig. 2 stellt einen schematischen Plan des Laufes des Dnjeprs vor.

Auf diesem Plan sieht man sofort, dass der Dnjepr, sobald er sich Kiew nähert, einer ziemlich krummen Linie folgt, deren concave Seite nach der Stadt hingerrichtet ist, und welche also nicht der kürzeste Weg

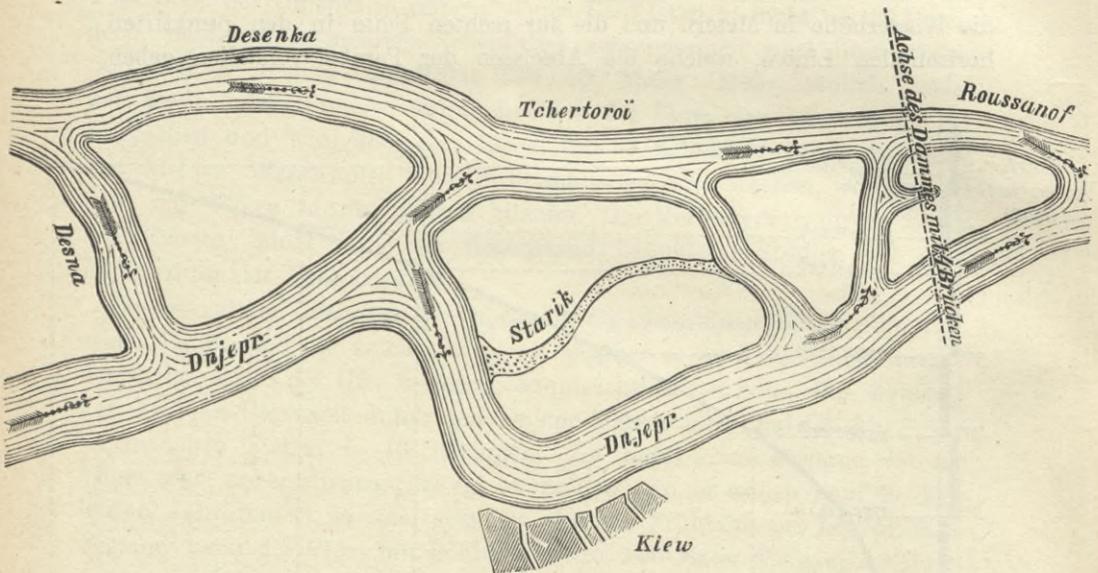


Fig. 2.

ist. Im Frühjahr, wenn das hohe Wasser ungehindert über die Ebene am linken Ufer strömt, macht der Strom diesen Umweg nicht, sonder nimmt den geraden Weg. Dieser Umstand und die ausserordentliche Veränderlichkeit des sandigen Flussbettes und der Ufer haben dazu beigetragen, die Entstehung mehrerer Seitenarme zu begünstigen und den Strom des Flusses an dieser Stelle sehr veränderlich und unbestimmt zu machen.

Alte Zeichnungen und Ueberlieferungen, welche noch erhalten sind, zeigen das der Hauptstrom des Dnjeprs sich in früheren Zeiten in 2 Arme theilte, der Linke „Tchertoroï“ und der Rechte „Starik“ geheissen; während an der Seite wo die Stadt Kiew liegt eine Reihe Sandbänke und Untiefen sich bis zu den Hügeln von Kiew ausdehnte, wo die Potchajna, der kleine historische Fluss, in welchem unter dem heiligen Wladimir das Russische Volk getauft wurde, sich in den Dnjepr ergiesst.

Je mehr die Stadt sich ausbreitete, machten die Beschwerde ihrer Entfernung von den schiffbaren Armen des Flusses sich fühlbarer und zu verschiedenen Zeiten sahen die Einwohner sich genöthigt, Maassregeln zu ergreifen um den Hauptstrom wieder die Stadt entlang zurück zu leiten. Zu diesem Zweck wurden am Eingang des Tchertoroï Schiffsladungen voll Steine gestürzt, was das Strombett dieses Armes verkleinerte und einen grossen Theil des Wassers dem rechten Arm und der Stadt zu trieb. Im Frühjahr jedoch beschädigte das hohe Wasser das unbeschützte Ufer, worauf vereinzelte Wohnhäuser standen; nun trachteten die Bewohner wieder danach, den Hauptfluss nach dem Tchertoroï abzuleiten, und es wurden zu diesem Zweck sogar Kanäle gegraben.

Diese Arbeiten wurden erst in diesem Jahrhundert wieder aufgenommen. Von 1840 bis 1850 war Kiew durch den Willen des Kaisers NIKOLAUS I in militärischer, administrativer und commercieller Hinsicht für die ausgedehnte und reiche Gegend Süd-West-Russlands ein wichtiger Hauptplatz geworden, und wurden durch den Staat verschiedene Millionen Rubel bewilligt, welche für den Bau der nöthigen Gebäude, für die Militär- und Civil-Behörden bestimmt waren; zugleich wurde zum Bau einer festen Brücke über den Dnjepr nach dem System der an Ketten hängenden Brücken beschlossen. Zu derselben Zeit wurden auch durch den Staat die ersten Arbeiten unternommen, um den Lauf des Dnjeprs bei Kiew zu verbessern.

Um den Schlamm, welcher sich im Haupt-Strombett abgelagert hatte, abzuführen und den Strom dahin zu leiten, beschloss man in 1842 den Tchertoroï abzdämmen an der Stelle, wo er sich vom Dnjepr trennt (1). Zugleich wurde beschlossen, das Ufer an der Seite der Stadt zu beschützen und daselbst einen Kai zu bauen. Diese Arbeiten wurden von 1850 bis 1860 ausgeführt. Dennoch wurde der Tchertoroï damals durch den Faschinendamm an seinem Eingang noch nicht vollständig abgedämmt. In der Befürchtung alles Wasser bei mittelhohem Stand nach dem noch nicht beschützten Ufer an der Seite der Stadt zu führen, liess man in dem Damm einen Durchgang von 50 Meter Breite. Hauptsächlich wurde jedoch die vollständige Abdämmung des Tchertoroï durch die englischen Ingenieure, hauptsächlich VIGNOLLE, lebhaft bestritten, welche damals, in Folge eines Contractes mit der Rus-

---

(1) Siehe Tafel I.  
MAKSIMOWITSCH.

sischen Regierung, die steinernen Pfeiler der Hängebrücke unterhalb des Stadtkai's bauten.

War es um sich den Bau dieser Pfeiler zu erleichtern, welcher innerhalb eines aus Pfählen bestehenden Gürtels ausgeführt wurde, den man durch eine Saugpumpe vom Wasser befreite, oder in Folge ungenügender Kenntniss des Flussgebietes oder wegen ungenügenden Daten, um die Brückenbogen berechnen zu können? Jedenfalls begingen die englischen Ingenieure beim Bau zwei grosse Irrthümer, welche eine organische Unregelmässigkeit in der Vertheilung des Wassers im Frühjahr zur Folge hatten, und welche man jetzt mit grosser Mühe verbessern muss.

Der erste Fehler war, dass man, indem man die hängende Brücke durch einen unüberschwembaren Damm verlängerte, worauf der Fahrweg lief, in diesem Damm drei Oeffnungen liefs (was mit dem Durchgang unter der Brücke vier macht) und dass man diese Oeffnungen mit hölzernen Brücken mit Stützen auf Pfählen (1) überdeckte. Diese Holzbrücken auf Pfählen hatten, indem sie sich auf dem directen Weg des hohen Wassers im Frühjahr und häufig des Eisganges befanden, viel zu leiden und mussten sehr häufig erneuert werden. Während man dem Durchgang unter der Hängebrücke eine Breite von 680 Metern gegeben, betrug die Gesamtbreite der drei seitlichen Oeffnungen 900 Meter. Der erhöhte Damm hatte eine Länge von ungefähr 3 Kilometern, während die Breite des Ueberschwemmungsthal's bei Kiew oberhalb des Dammes im Frühjahr 8—12 Kilometer beträgt, und das Wasser dann bis zu 3 Meter über das Ufer und alle Inseln hinweg steigt.

Der zweite Fehler, den die englischen Ingenieure machten war, dass sie Pfeiler für die Hängebrücke auf verschiedener Tiefe anbrachten, indem die Beton-Fundamente der sie sich nach dem Profil des Bodens richteten, so wie es war zur Zeit der Construction.

Daraus ging hervor, dass, während die 3 Pfeiler des rechten Ufers auf 10.80 Meter unter niedrigem Wasserstand fundirt waren, die beiden Pfeiler des linken Ufers auf Pfählen errichtet wurden, welche auf der Höhe des niedrigsten Wasserstandes abgesägt wurden. Die Tiefgangsverhältnisse unter den Brückenbogen änderten sich bald und zwar im entgegengesetzten Sinne. Zwischen den Bogen an der rechten Seite wurde der Boden höher, während an der linken Seite die Tiefe immer grösser wurde. Durch diesen Umstand entstanden Befürchtungen für die Solidität der Pfeiler und veranlasste ernste Arbeiten zur Befestigung des Bodens rings um die Pfähle welche die Beton-Fundamente der Pfeiler beschützen. Im Frühjahr 1877 während eines ausserordentlich hohen Wasserstandes (des zweithöchsten dieses Jahrhunderts) wurden die Holzbrücken des Dammes auf's Neue fortgerissen und in dem Durchgang unter der grössten dieser Brücken, der Roussanofsky-Brücke 470 Meter lang, bildete sich ein neues Strombett worin der Fluss sich warf, sich von der festen Hängebrücke abwendend.

(1) Siehe Tafel II.

Die Zunahme der Stromschnelle des hohen Wassers in den beiden Armen Tchertoroï und Roussanofka brachte das einzig bestehende Wehr des Tchertoroï in Gefahr. Dieses Wehr hatte, obgleich es damals ganz geschlossen war, sehr häufig schweren Schaden zu leiden, es sei durch Eisgang oder durch die Gewalt des Stromes; endlich entstand im Winter 1882 eine Abbröckelung an der rechten Seite seiner Basis, und der Strom des Dnjeprs warf sich wieder auf's Neue mit grösster Gewalt in den Tchertoroï und die Roussanofka, den Kai von Kiew und die feste Brücke verlassend.

Alle diese Aenderungen welche auf dem Dnjepr entstanden in Folge des Baues der Hängebrücke, bewiesen die Nothwendigkeit, den Strom bei Kiew zu regulieren, die unnöthigen Oeffnungen des Dammes zu schliessen und den Hauptstrom nach den Kais der Stadt zu richten und unter der festen Brücke durchströmen zu lassen.

In 1883 machte man einen Regulierungs-Vorschlag für eine Section, welche oberhalb Kiew anfang und unterhalb dieser Stadt endete. Diese Section, welche ungefähr 20 Kilometer lang ist, fängt an beider Ausmündung der Desna, welcher Nebenfluss sich ungefähr 20 Kilometer oberhalb Kiew in den Dnjepr stürzt, und geht bis zur Eisenbahnbrücke der Linie von Kursk nach Kiew unterhalb letzteren Stadt.

Es war also nicht der Zweck der Regulierungsarbeiten bei Kiew, wie sonst meistens der Fall ist, einen befahrbaren Kanal durch Eindämmungen herzustellen, sondern das verfolgte Ziel war viel schwieriger zu erreichen, nämlich das gewöhnliche Wasser der verschiedenen Nebenarme in ein Strombett zu leiten, diesen Strom längs dem schon bestehenden Kai zu regulieren und zu befestigen, und diesen Strom unter der Hängebrücke durchströmen zu lassen, als die wünschenswertheste Richtung.

Das angewendete System war das gemischte, durch Deiche längs den Ufern und halbe Wehre quer durch den Fluss. Die obere Seite der in den Fluss ausgeführten Bauwerke erhebt sich bis zu der Grenze, wo das Wachstum aufhört, welches sich bis 1,40 Meter unter dem niedrigsten Wasserstand ausdehnt; dieselben bestehen in unter Wasser angebrachten Faschinen, welche an manchen Stellen nach holländischem System fächerförmig angebracht sind, und an anderen Stellen nach der von den Deutschen und Polen an der Weichsel angewendeten Weise.

Die Reihenfolge in der Ausführung dieser Werke, im Verhältniss zu der Wichtigkeit derselben, und der jedes Jahr zu dem Zweck bewilligten Summen, war die folgende: zuerst baute man einen concaven Damm vor dem früheren Wehr des Tchertoroï um dadurch den Hauptseitenarm dieses Flusses solide abzdämmen; danach errichtete man in den Seitenarmen Wehre, um den Boden in denselben zu erhöhen, und das Wasser in das einzige Strombett unter der Hängebrücke zu leiten.

In dem Arm Desenka welcher sich von der Desna abzweigt und in den Tchertoroï mündet, errichtete man an der Entstehungsstelle ein dammförmiges Wehr aus Faschinen, mit einer Oeffnung um einen Theil des Wassers und der mitgeschleppten Stoffe durchzulassen, damit dieser Arm

so bald wie möglich versanden sollte. Ausser diesen im Fluss angebrachten Arbeiten wurde an den Ufern eine Serie Deiche gebaut, um die niedrigen Stellen und kleineren Kanäle abzdämmen welche eine Menge Inseln zwischen den Haupt-Armen des Dnjeprs von einander trennen.

Das Resultat der Regulierungs-Arbeiten, welche in Kiew ausgeführt wurden, zeigte sich bis jetzt durch folgende Erscheinungen:

1°. Die drei Oeffnungen des Dammes wurden zugemacht, und füge ich hinzu, dass von den 900 Metern Totallänge 700 Meter mit Erden aufgefüllt wurden, was dem Strom ausser dem Weg unter der Hängebrücke nur einen engen seitlichen Durchgang von 200 Metern an der linken Seite des Dammes liess.

2°. Alles gewöhnliche Wasser des Dnjeprs wird in ein einziges Strombett, den Kai von Kiew entlang geleitet; dieses Strombett hat zugleich einen mehr regelmässigen Character bekommen, obgleich es immer noch zu veränderlich ist.

3°. Ein genügender Tiefgang wurde erreicht und den Schiffen die Gelegenheit gegeben, am Kai anzulegen.

4°. Es gelang, dem Strom beim Durchgang unter der Nikolaus-Hängebrücke eine regelmässige und für die Solidität der Pfeiler günstige Richtung zu geben.

Nachdem ich nun in kurzen Zügen die Geschichte der auf dem Dnjepr bei Kiew ausgeführten Arbeiten angegeben, will ich jetzt die Erscheinungen von der Abbröckelung des Bodens und der Ufer beschreiben, welche im Haupt-Strombett bemerkbar wurden, in welches wie oben gesagt, bei gewöhnlichem Wasserstand alles Wasser aus den abgedämmten Seitenarmen geleitet war. Beim Traciren der Ufer des regulierten Strombettes hat man sich auf das allgemeine Gesetz der Abwechselung von Concaven und Convexen gegründet. Die normale Breite des Strombettes bei Kiew, berechnet nach der Formel von *Ganguillé* und *Coutter* kam auf 350 Meter, doch ist diese Ziffer in Wirklichkeit zu gross, denn in den Theilen des Flusses welche an den regulierten Theil grenzen, und wo das Strombett an manchen Stellen sehr regelmässige natürliche Concavitäten hat und zugleich eine genügende Ausdauer, beträgt die Breite nicht mehr als 300 Meter. Die Krümmungen, welche an jenen Stellen das Flussbett begrenzen, sind unter sich sehr verschieden, sowohl in ihren Formen wie auch in ihrem Radius. Diese Unterschiede sind so gross, dass es unmöglich ist daraus im allgemeinen Schlussfolgerungen über ihr Entstehungsgesetz zu ziehen. Unter den Ingenieuren, welche in der letzten Zeit das Problem des Einflusses der Uferformen auf die Tiefe des Flussbettes studirt haben, ist derjenige, dem wir die werthvollsten Schlussfolgerungen zu verdanken haben, der berühmte Französische Ingenieur FARGUE, der bei den Russischen Ingenieuren ebenso als Autorität gilt, wie er berühmt ist. Der Erfolg, welchen er auf der Garonne gehabt, wo er die Regeln und Folgerungen anwandte, welche er auf Grund des wissenschaftlichen Studiums aufgestellt hatte, haben die Richtigkeit seiner Ansichten vollständig bewiesen, und zeigt uns eins der besten und glücklichsten Beispiele, von der

Regulierung eines Flusses mit veränderlichem Boden. Die hauptsächlichsten Regeln, welche der Ingenieur FARGUE bezüglich der Flüsse mit veränderlichem Boden aufstellte, und welche von den Beobachtungen auf der Garonne abgeleitet sind, können auch auf alle anderen Flüsse derselben Art angewendet werden. Auch auf dem Dnjepr liegen die Tiefen und Untiefen in den meisten Fällen unterhalb des Gipfels der Biegung und des Uebergangspunktes und die Krümmung im Gipfel bestimmt stets die Tiefe der Rinne. Um den Preis der Arbeiten möglichst zu beschränken, indem man zugleich die Regulierung des in ein einziges Strombett geleiteten Flusses, die Stadt Kiew entlang, so gut wie möglich besorgte, zog man concave Krümmen, und hielt sich dabei möglichst an die natürliche Form der Ufer, nur die grössten Unregelmässigkeiten regulierend.

Man hat einen mehr oder weniger gemilderten Plan der concaven Ufer bekommen durch geeignete Auswahl von Cirkelbogen, unter Vermeidung von zu plötzlichen Aenderungen des Biegungsradius im Uebergangspunkt zweier auf einander folgenden Bogen. Die Länge der sinuösen Linien vom Concavitätsgipfel des einen Ufers aus gerechnet bis zum Beginn der Concavität des entgegengesetzten Ufers, schwankt zwischen 3000 und 3500 Meter.

Man hatte in 1882 vorgeschlagen dem convexen entgegengesetzten Ufer eine, mit der concaven Seite parallel laufende Richtung zu geben, doch bemerkte man bald, dass das Fahrwasser an den Uebergangspunkten an Stabilität mangelte. An diesen Punkten theilen sich die Strömungen welche durch die Zusammendrängung, welche man an den concaven Stellen bemerkt, nicht stark sind, in verschiedene Richtungen von einander, und musste man um dem Fahrwasser an diesen Stellen die gewünschte Tiefe zu geben, das Strombett enger machen, indem man die Ufer einander näher brachte. Also erwies sich, dass die durch Berechnung als normale Breite für das regulierte Strombett gefundene Ziffer von 350 Metern, und zwar in der Voraussetzung einer genügenden Durchschnittsschnelligkeit um die Bildung von Sandbänken zu vermeiden (welche Schnelligkeit unter den obwaltenden Verhältnissen ungefähr 0.35 Meter sein muss) zu hoch war für die Stellen, wo der Biegungspunkt liegt. Die Bildung eines zweckmässigen Querschnittes mit genügendem Tiefgang im Thalweg, konnte an diesen Punkten, ungeachtet der Verengung des natürlichen Bettes durch den Bau von einem vor dem Ufer liegenden Deiche nicht erreicht werden.

Wir finden ein schlagendes Beispiel an der Stelle, wo das Fahrwasser am Kai der Stadt vorbeifliesst. Vor der Regulierung war das Profil der Tiefen an dieser Stelle bei dem niedrigsten Wasserstand, wie in Fig. 3 angegeben.

Nach der Errichtung halber Wehre aus Faschinen vor dem linken Ufer, und der Verengung des Strombettes bis auf die durch die Theorie angegebene Breite von 350 Meter erhielt man in kurzer Zeit eine Disposition des Wasserstandes wie auf Tafel 4 angegeben. Danach hat sich der Strom gewissermassen getheilt, in der Mitte eine schwache Untiefe bildend, welche die Strömungen umfliessen, um sich dem Kai entlang zu vereinigen, wo man eine für die Schifffahrt genügende

Tiefe erhielt. Um die Directionsaenderung des Fahrwassers an der betreffenden Stelle, wo das Strombett sich oberhalb des Kais biegend, zu

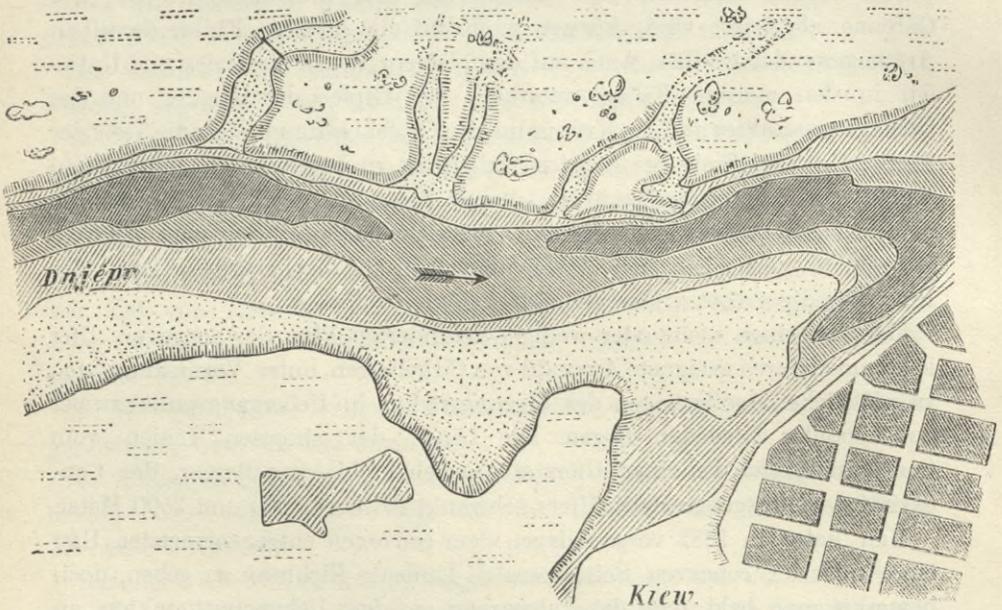


Fig. 3.

vermindern, besteht jetzt der Plan, die beiden Ufer einander bis auf 240 Meter zu nähern.

Die allgemeine Erscheinung der Bildung von Tiefen an den concaven

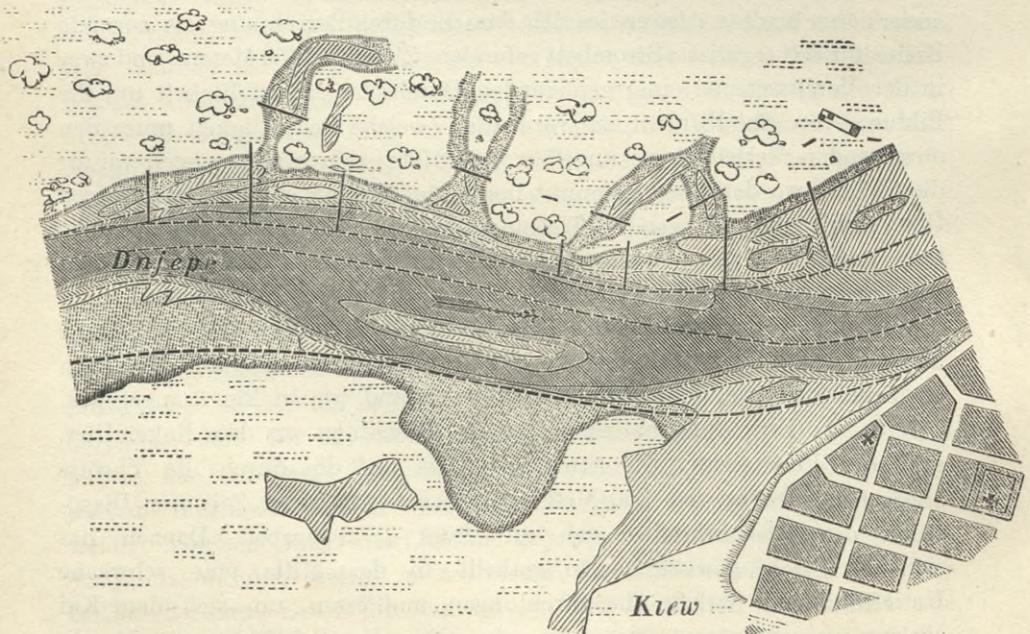


Fig. 4.

Stellen der Ufer, welche Erscheinung man erklärt durch die Kreuzung und schnellere Bewegung der Strömungen, hängt, nach den auf dem Dnjepr gemachten Erfahrungen, hauptsächlich ab von dem Wasserquantum des Flusses, welches niemals unverändert bleibt und im Frühjahr, wie oben bemerkt, sich im Verhältniss von 1 zu mehr als 40 gegenüber den Wasserstand zu Sommerzeit vergrössert. Ausserdem haben wir die Bemerkung gemacht, dass die tiefsten Stellen, welche mit den concaven Ufern correspondieren, sich *fast immer nicht am Gipfel der concaven Biegungen* (welche bei uns durch Cirkelbogen gebildet sind) *sondern sich auf einer ein Fünftel bis ein Drittel unterhalb dieses Gipfels gelegenen Stelle befinden*, was zugleich von der Länge der Biegung und ihres Biegungsradius abhängt.

Was die VIIe Frage, welche dem Studium des Congresses übergeben werden soll, betrifft, die Regulierung der Wasserwege zur Sommerzeit, so lässt die Ausführbarkeit derselben auf den russischen Flüssen keinen Zweifel, und ist es diese Regulierung, welche am meisten Anwendung findet, indem gerade bei niedrigem Wasserstand die Schifffahrt am meisten gehindert wird, und ferner diese Sachlage bei den meisten russischen Flüssen während der ganzen Dauer der Schifffahrt anhält. Das Haupthinderniss besteht darin, dass es sich nicht machen lässt den Frühjahrsstrom zugleich mit zu regulieren. Die russischen Flüsse durchströmen zum grössten Theil ebene Flächen und nehmen im Frühjahr das Wasser auf, welches von enormen Schneeflächen herrührt; sie haben sehr breite Ueberschwemmungsthäler gebildet, welche oft eine Breite von 12–12 Kilometern haben. Der Boden dieser Thäler besteht im allgemeinen aus reinem alluvialen Sand, welcher sehr beweglich ist, und nach angestellten Bohrungen bis zu 30 Meter und mehr Dicke hat. Nachdem das Frühjahrswasser abgeflossen ist, beginnt der Fluss abzuweichen und bildet eine Menge Biegungen und Schnallen, worin das Wasser fliesst, und welche nicht mit der Richtung des Frühjahrswassers zusammenfallen, oft sogar senkrecht darauf stehen. Beispiele, ähnlich wie Fig. 5 sie angiebt, sind nicht selten.

Unter diesen Umständen können die in der Länge-Richtung zum Regulieren des gewöhnlichen Wasserstandes angebrachte Deichen bei hohem Wasser einen ganz entgegengesetzten Effekt ausüben, indem sie das Absetzen des Materials begünstigen, welches das Wasser dann in grossen Massen mitschleppt. Nach Messungen, welche wir auf dem Dnjepr anstellten, betrug die Menge aufgelöster festen Stoffe, welche durch das Frühjahrswasser in 24 Stunden mitgeschleppt wurden, 150000 Kubikmeter.

Dieser Umstand, vereint mit der Grösse unserer Flüsse und der riesigen Zerstörungsgewalt des Eisganges beim Losgehen, was zwei Mal im Jahr stattfindet und unsere Arbeiten allmählich vernichtet, macht die Regulierung der russischen Flüsse zu einem schwer zu lösenden Problem. Doch das schlimmste Uebel, welchem die russischen Flüsse ausgesetzt sind, ist die Bildung von Eisbänken in ihren Strombetten.

Unter gewissen Umständen, deren Zusammentreffen nicht vorausgesehen werden kann, häufen sich riesige Mengen Treibeis, dessen Dicke oft 0,80

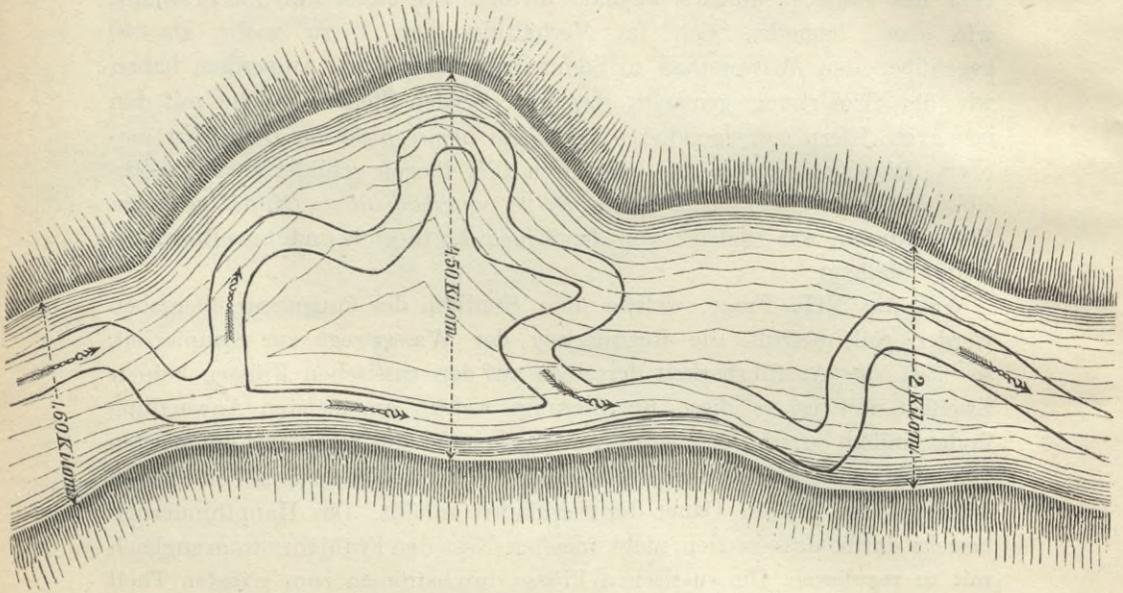


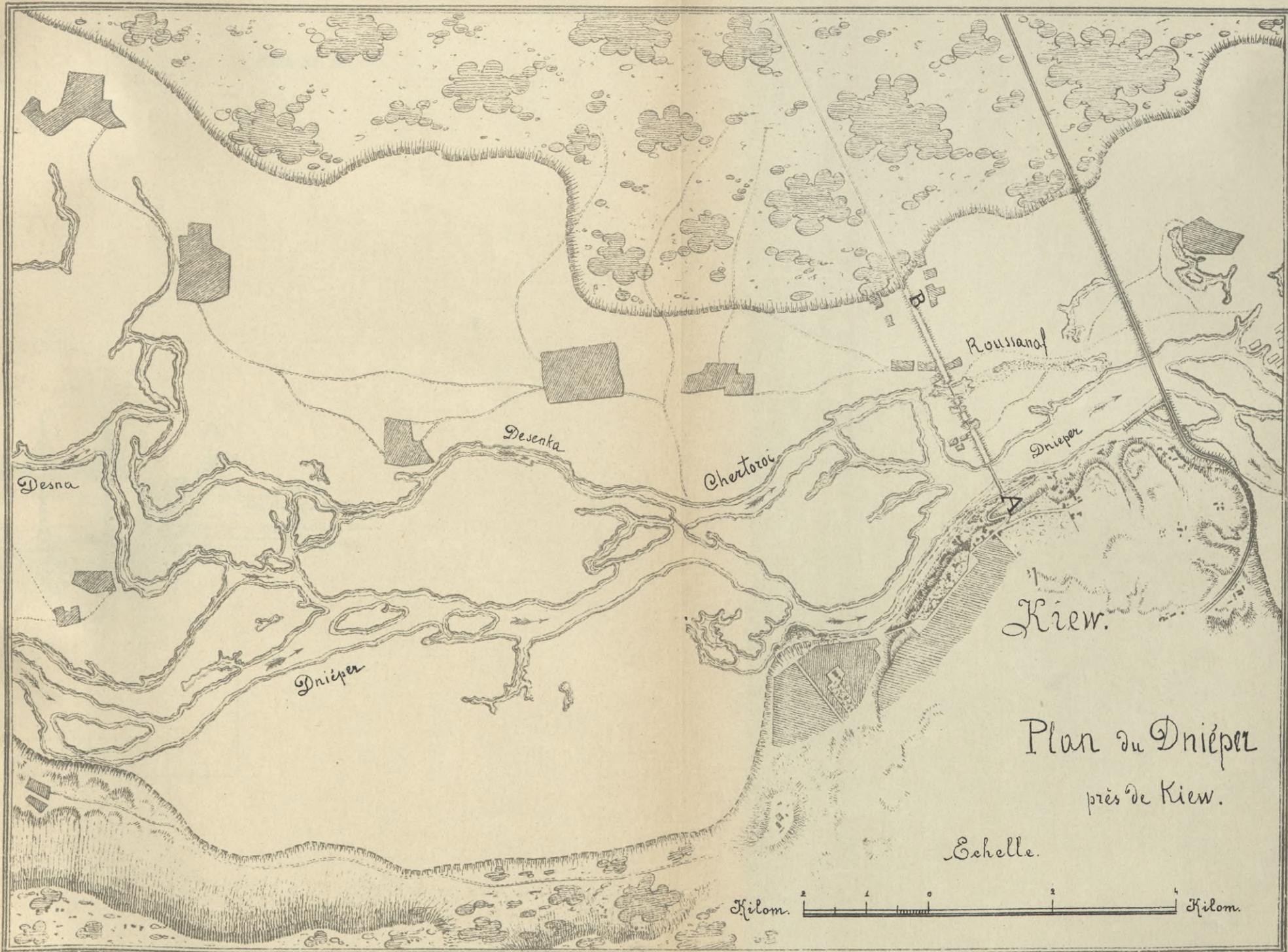
Fig. 5.

Meter erreicht und eine Oberfläche von 1000—10000 qm. hat, auf einander und nehmen den ganzen Querschnitt des Flusses ein, wodurch der Strom genöthigt ist, sich ein anderes Bett zu suchen, und der Boden sowie die Ufer stark mitgenommen werden. Diese ungünstigen Umstände verhindern jedoch nicht, dass die russischen Ingenieure an der Verbesserung ihres Flussgebietes weiter arbeiten, hauptsächlich an den Stellen, wo die Schifffahrt durch Versanden des Thalwegs mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen hat. Die gut gelungenen Beispiele von solchen theilweisen Regulierungen schwieriger Strecken sind in den letzten Jahren immer häufiger vorgekommen. Natürlich nimmt man sich bei der Aenderung der Schrägheit des Flussbettes über eine gewisse Länge in der zu regulierenden Strecke in Acht, den angrenzenden Sectionen keinen Nachtheil zu verursachen. Da diese Arbeiten bei uns noch ziemlich neu sind, haben wir noch keine Erfahrungen darin gemacht, welche der Wissenschaft von Nutzen sein könnten, doch verlieren wir die Hoffnung noch nicht, einst Material sammeln zu können, welche mit dazu beitragen dürfte, verschiedene Fragen, welche auf die Verbesserung von Wasserwegen Bezug haben, zu lösen; vielleicht finden unsere Collegen auf einem der folgenden Congresses die Bemerkungen, welche wir ihnen eventuell vorzulegen haben werden, von einigem Interesse.

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

L'approfondissement des eaux basses en mètres.	Austiefung des Niedrigwasserbettes in Metern.	Deepening of the bed in shallow places, in metres.
Basses eaux.	Niedrigwasser.	Shallow water.
Echelle.	Maasstab.	Scale.
Etat actuel des travaux pour la régularisation du Dniépre près de Kiew.	Gegenwärtiger Stand der Regulierungsarbeiten im Dnjepr bei Kiew.	Present state of the works for the regulation of the Dnieper near Kiew.
Moyennes eaux.	Mittelwasser.	Mean water-level.
Niveau des plus grandes eaux.	Höchster Wasserstand.	Highest water-level.
Plan du Dniépre près de Kiew.	Karte des Dnjepr bei Kiew.	Projection of the Dnieper near Kiew.
Pont.	Brücke.	Bridge.
Pont suspendu.	Hängebrücke.	Suspension bridge.
Profil sur l'axe du remblai.	Längsschnitt in der Achse des Erddammes.	Section through the centre of the embankment.





Kiew.

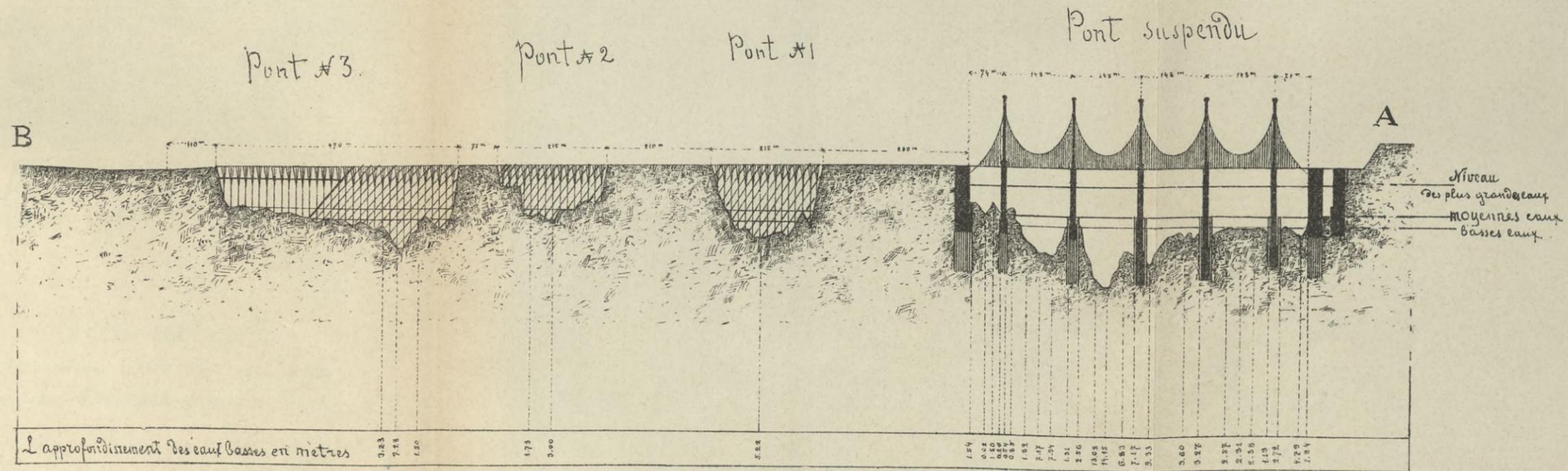
Plan du Dniéper  
près de Kiew.

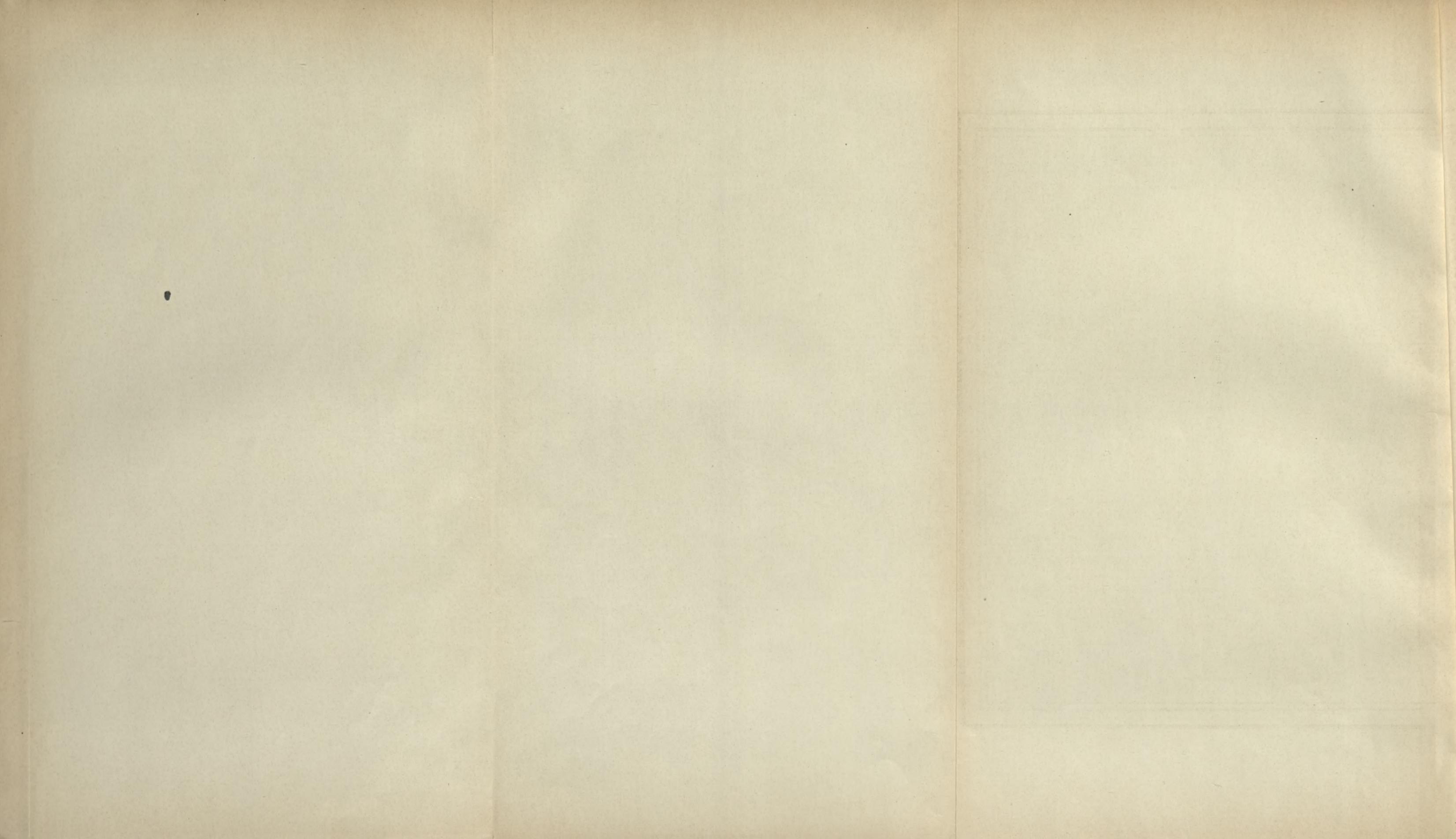
Echelle.

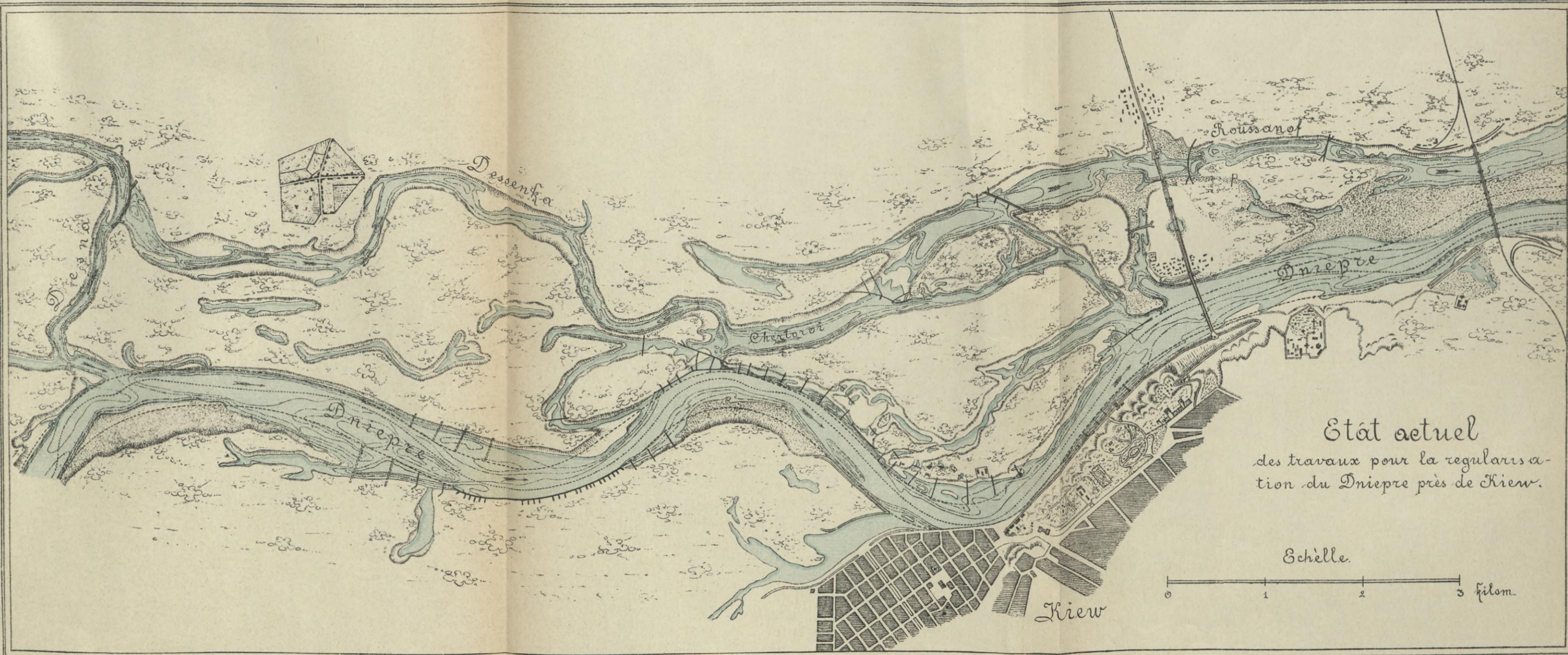




Le profil sur l'axe de remblai.







Etat actuel  
des travaux pour la regularisation  
du Dniepre près de Kiew.

Echelle.  
0 1 2 3 kilom.

