

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

15518

№

Schrank

Fach

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000301510



Königl. Ministerium
der
öffentlichen Arbeiten

Bibliothek

143

HANDBUCH

DER

INGENIEURWISSENSCHAFTEN

für

Eisenbahn-, Strassenbau- und Wasserbau-Ingenieure

in drei Bänden.

Unter Mitwirkung von Fachgenossen

bearbeitet und herausgegeben von

Edmund Heusinger von Waldegg,

Oberingenieur in Hannover und Redacteur des technischen Organs des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

L. Franzius, und Ed. Sonne,

Oberbaudirector in Bremen.

Baurath, Professor am Polytechnikum in Darmstadt.

Dritter Band.

W a s s e r b a u.

Herausgegeben von L. Franzius und Ed. Sonne.

Capitel IX.

Regulirung und Canalisirung der Flüsse

bearbeitet von

J. Schlichting,

Königl. Wasserbauinspector in Wesel (früher Tilsit).



Verlag von Wilhelm Engelmann.

1878.

G. 41

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

III 15518

Akc. Nr. 2138 / 49

Inhaltsverzeichnis.

Cap. IX. Regulirung und Canalisirung der Flüsse.

A. Regulirung.

	Seite
§ 1. Zweck der Regulirung	441
§ 2. Regulirungsaufgaben	442
a. Beseitigung erheblicher Unregelmässigkeiten des Flussbetts, der Ufer und der Richtung des Flusses	442
b. Befestigung der Ufer und Sicherung des Inundationsgebiets gegen die aus den Flussverhältnissen resultirenden Nachteile	444
c. Festlegung und Verminderung der Sinkstoffe	446
d. Beseitigung der Schiffahrtshindernisse	449
e. Beschränkung der Flussbreiten (Normalprofilbreiten)	450
§ 3. Vorarbeiten	457
§ 4. Regulierungsmittel. Verschiedene Arten derselben	458
§ 5. Allgemeine Anordnung, Ausführung und Wirkung der Regulirungswerke	460
a. Uferdeckwerke	460
b. Bühnen	461
c. Parallelwerke	469
§ 6. Vortheile und Nachteile der Regulirungswerke	475
§ 7. Vorschläge zur anderweitigen Regulirung der Flüsse	477
§ 8. Baumaterialien zur Herstellung der Regulirungswerke	480
§ 9. Bauconstructions zur Herstellung der Regulirungswerke incl. Materialbedarf	482
§ 10. Construction der Regulirungswerke	492
a. Uferdeckwerke	492
b. Bühnen	494
c. Grundswellen	498
d. Schlickfänge, Schlickzäune und Traversen	498
e. Parallelwerke	499
f. Coupirungen	500
§ 11. Durchstiche	503
§ 12. Flusspaltungen und Flusseinmündungen	509
§ 13. Fluschnellen	512
§ 14. Flusshäfen	514
§ 15. Hilfsarbeiten	516
§ 16. Unterhaltungsarbeiten	518

B. Canalisirung.

	Seite
§ 17. Zweck der Canalisirung	519
§ 18. Canalisirungsaufgaben	520
§ 19. Vorarbeiten	522
§ 20. Canalisirungs-Anlagen im Allgemeinen, Canalisirungsmittel	522
§ 21. Anordnung und Ausführung der Canalisirungswerke	523
a. Correction des Flussbetts und der Ufer	523
b. Leinpfade	523
c. Stauanlagen	524
d. Entwässerungsanlagen	532
e. Seitencanäle	532
§ 22. Fischpässe	535
§ 23. Unterhaltungsarbeiten	536
Literatur	536

IX. Capitel.

Regulirung und Canalisirung der Flüsse.

Bearbeitet von

J. Schlichting,

Königl. Wasserbauinspector in Wesel (früher Tilsit).

(Hierzu die Tafeln XXVIII bis XXXII und 16 Holzschnitte.)

Wenngleich Fluss-Regulirungen und Canalisirungen vielfach übereinstimmenden Zwecken dienen, und die Canalisirung sich eigentlich nur als eine besondere Aufgabe der Regulirung bezeichnen lässt, so unterscheiden sich Beide doch principiell wesentlich, indem die Regulirung vorzugsweise auf der Wirksamkeit der Strömung und möglichst gleichmässigen Vertheilung des Gefälles der Flüsse, die Canalisirung aber auf der Milderung der Strömung und der Concentration des Gefälles auf einzelne Querprofile der Flussläufe beruht. Dieserhalb ist die oft gebräuchliche Trennung auch hier beibehalten worden.

A. Regulirung.

§ 1. Zweck der Regulirung. Unter Flussregulirung im weitesten Sinne des Wortes versteht man die für Schifffahrt und Landescultur erforderliche, aus baulichen Anlagen resultirende Verbesserung des natürlichen Zustandes der Flüsse. Bei Regulirung derjenigen Flüsse, welche wegen ihrer zeitweise nur geringen Wassermengen oder wegen zu starken Gefälles oder sonstiger natürlichen Hindernisse eine Schiffbarmachung nicht mehr gestatten, handelt es sich in der Regel nur um Ent- und Bewässerungen der im Inundationsgebiet belegenen Terrains und um den Schutz derselben gegen Hochfluthen, bisweilen auch um Verwerthung des fliessenden Wassers zu gewerblichen Anlagen. Derartige, lediglich diesen Zwecken dienende Regulirungen sind von der nachstehenden Erörterung ausgeschlossen. Da ferner die kleineren natürlichen Wasserläufe in Cap. XII, die Gebirgsflüsse aber in Cap. X behandelt werden, soll hier nur von Flussregulirungen im engeren Sinne die Rede sein. Darunter werden diejenigen Regulirungen verstanden, welche einerseits die Schiffbarmachung der Haupt- und grösseren Nebenflüsse von der oberen Grenze ihrer Schiffbarkeit ab bis zum Eintritt in das Stau- und Fluthgebiet des Meeres, bezw. bis zur Einmündung in die Hauptflüsse und andererseits die Förderung der mit der Schiffbarmachung im engen Zusammenhange stehenden Landescultur-Interessen bezwecken.

Der Endzweck jeder derartigen Flussregulirung im Schifffahrts-Interesse besteht darin, den natürlichen Wasserlauf, dem durch die gesammten Verhältnisse begrenzten Grade seiner Schiffbarkeit entsprechend, mittelst baulicher Anlagen und

deren Wirkungen auf den Fluss so zu vervollkommen, dass er nicht nur bei höheren, sondern auch bei niedrigen Wasserständen, also für die ganze Dauer der Schifffahrtsperiode als Verkehrsstrasse zur Schifffahrt unbehindert benutzt werden kann.

Im Landescultur-Interesse aber bezweckt die Flussregulirung die Nutzbarmachung bzw. Verbesserung der im Inundationsgebiet belegenen Terrains und Grundstücke, sowie die möglichste Sicherung derselben gegen alle nachtheiligen Einwirkungen des Flusses. Sie fordert also die Beschaffung, bzw. Verbesserung der Vorfluth¹⁾ oder der Entwässerungsfähigkeit behufs Beseitigung und Verhinderung von Versumpfungen, sowie die Verminderung derjenigen Gefahren und Missstände, welche aus Hochwasser und Eisgang resultiren.

Bei der Verschiedenheit der Flüsse in Bezug auf Wassermenge, Gefälle, Gestaltung und Beschaffenheit des Flussbetts und des gesammten Flussgebiets u. s. w. können die entsprechend regulirbaren Wasserstrassen hinsichtlich ihrer Qualität in Bezug auf Schiffbarkeit nicht übereinstimmen; es ergiebt sich vielmehr fast für jeden Fluss, ja selbst für einzelne grössere Strecken desselben ein verschiedener Grad der Schiffbarkeit und eine Grenze derselben, die zu überschreiten ausser dem Bereich der Möglichkeit liegt.

Bis zu dieser Grenze aber, ohne Benachtheiligung der Landescultur, überall zu gelangen, muss als die Aufgabe jeder im Schifffahrts-Interesse unternommenen Flussregulirung angesehen werden. Dieses Ziel ist bis jetzt nur in sehr vereinzelteten Ausnahmefällen, im Allgemeinen aber, wie aus dem zeitigen Zustand der Flüsse und der bekannt gewordenen Literatur über diesen Gegenstand erhellt, nicht einmal annähernd erreicht worden.

§ 2. Regulirungsaufgaben. Aus der Kenntniss der allgemeinen Eigenschaften der Flüsse (vergl. Cap. V, A.) und aus den daraus abzuleitenden Folgerungen ergeben sich auch im Allgemeinen die Aufgaben, deren Lösung bei Flussregulirungen in Frage tritt. Diese Aufgaben bestehen im Wesentlichen:

- a) in Beseitigung erheblicher Unregelmässigkeiten des Flussbetts, der Ufer und der Richtung des Flusses,
- b) in Befestigung der Ufer und möglichsten Sicherung des Inundationsgebiets gegen die aus den Flussverhältnissen resultirenden Nachtheile,
- c) in Festlegung und Verminderung der Flusssinkstoffe,
- d) in Beseitigung der Schifffahrtshindernisse und
- e) in Beschränkung der Flussbreite (Normal-Profilbreite).

a. Beseitigung erheblicher Unregelmässigkeiten des Flussbetts der Ufer und der Richtung des Flusses. Alle derartigen Unregelmässigkeiten werden durch die Bewegung der Wasser- und Sinkstoffmassen und ihre Wirkung auf das Bett und die Ufer, sowie durch die Beschaffenheit und Gestaltung des Flussbetts bedingt. Da sie sich zum Theil auch noch nach durchgeführter Regulirung geltend machen, besteht die Aufgabe der letzteren nur darin, die vorhandenen Unregelmässigkeiten und ihre schädlichen Wirkungen möglichst zu vermindern. Ihre gänzliche Beseitigung, sofern solche überhaupt erreichbar ist, ruft häufig auch andere Unzuträglichkeiten hervor, welche dem Zwecke der Regulirung nicht minder nachtheilig sind, als die beseitigten

¹⁾ Vorfluth ist sowohl der (bei vorhandenem oder herzustellendem Gefälle erfolgende) Abfluss des Wassers von den Seitenterrains nach dem Wasserlauf, als auch der Abfluss in letzterem, ganz allgemein also die (durch Gefälle zu bewirkende) Abführung der Wassermassen von den Quellen nach dem Meer.

Uebelstände selbst. Es bezieht sich dieses namentlich auf Flusskrümmungen (vergl. S. 236). Offenbar geben sie zu vielfachen Störungen in der Wasserbewegung, zur Beschädigung der Ufer und zur Behinderung der Schifffahrt Veranlassung; trotzdem aber würde ihre völlige Beseitigung oft als ein Missgriff einer Regulirung zu bezeichnen sein, da den angegebenen Nachtheilen auch gewisse Vortheile gegenüberreten, welche darin bestehen, dass Flusskrümmungen als Stauanlagen wirken, den Abfluss des Wassers verzögern, das Gefälle mässigen, die Bergfahrt erleichtern, die Fahrtiefe vermehren und die nutzbare Dauer der Schifffahrtsperiode verlängern. (Vergl. § 11.)

Von einer Geradlegung des ganzen Flusslaufes lässt sich im Allgemeinen von vornherein absehen; sie wird nur in einzelnen Strecken dort in Aussicht zu nehmen sein, wo sich Durchstiche überhaupt nicht vermeiden lassen und wo deren Zweckmässigkeit ausser Frage steht. Selbst aber auch mit Durchstichen wird der gerade Flusslauf nur in der äusseren Gestaltung des Betts erreicht, während die Fahrrinne, also der für die Schifffahrt in Betracht kommende Lauf auch dann noch in Folge des steten Vorrückens der im Flussbett vorhandenen Sinkstoffe²⁾ (vergl. § 2, c) serpentiniert. Allerdings ist das Serpentiniren dann ein anderes und regelmässigeres als vorher; es fragt sich aber bis zu welchem Grade hier eine Verbesserung für die Zwecke der Regulirung nothwendig ist. Da mässige Krümmungen für die Schifffahrt kein Hinderniss bilden, empfiehlt sich, im Allgemeinen die Regel, auf Abflachung der Krümmungen im Wesentlichen nur durch die Regulirungswerke selbst hinzuwirken, künstliche Verlegungen des Flussbetts durch Abgrabung der Ufer oder Anlage von Durchstichen aber nur da in Aussicht zu nehmen, wo eine zwingende Nothwendigkeit vorliegt, oder mit mässigen Kosten eine erhebliche Verbesserung erreichbar ist.

Viel wichtiger als Geradlegung des Flussbettes und Abflachung der Uferkrümmungen ist die Beseitigung und Verhütung von Flussspaltungen (vergl. S. 237), da sie zur nachtheiligen Umgestaltung der Flussverhältnisse Veranlassung geben. Gewöhnlich erfolgt die Theilung in zwei, seltener, mit Ausschluss des Fluthgebiets, in mehrere Arme. Hierdurch entsteht zunächst ein Verlust an Fahrtiefe, indem sich das Abflussprofil um etwa das Anderthalbfache und oft noch mehr gegen früher verbreitert und ein Theil der Wassermenge für die Schifffahrt nutzlos zum Abfluss gelangt. Die Fahrrinne liegt meist nur in einem Arm, während der andere der Verflachung und Versandung anheimfällt. Blieben diese Verhältnisse constant, so würde mit der Zeit die Ausbildung des einen Arms als Hauptwasserlauf auf natürlichem Wege erfolgen können. Dem stehen aber die Einwirkungen des Hochwassers und namentlich der Umstand entgegen, dass die Fahrrinne der stetigen Veränderung in Bezug auf ihre Lage und Richtung unterworfen ist. Wie sich später ergeben wird, ist dies eine nothwendige Folge des stetigen Vorrückens der Sinkstoffbänke. So verlegt sich denn im natürlichen Zustande die Hauptströmung vielfach periodisch bald in den einen, bald in den anderen Flussarm und greift dementsprechend bald hier bald dort die Ufer an. In Folge dessen können je nach Beschaffenheit derselben die nachtheiligsten Veränderungen im Inundationsgebiet hervorgerufen werden, indem sich oft ein ganz neues Flussbett ausbildet. Sowohl die jetzige Gestaltung der Flussthäler, als auch historische Mittheilungen liefern hierfür vielfache Belege.

²⁾ Sämmtliche, im Flussbett vorhandenen Gerölle-, Geschiebe-, Kies-, Sand-, Schlick- und Schlamm-Massen welche je nach Ort und Flussgeschwindigkeit bald im Flussbett abgelagert ruhen, bald in der Fortbewegung begriffen sind, sollen hier ebenso wie im V. Cap. (vgl. § 10, S. 231) ganz allgemein „Sinkstoffe“ genannt werden.

Die Veranlassung zu Flussspaltungen ist sehr verschieden. Theils werden sie durch die Einmündung der Nebenflüsse und deren zerstörende Wirkung auf die direct unterhalb belegenen Ufer, theils durch die Gestaltung und Beschaffenheit des Fluss-thals, sowie durch den Angriff der Strömung auf niedrige Ufer, theils durch sehr erhebliche Krümmungen im Wasserlauf und durch die, bei grosser Breite desselben entstehenden mittleren Geschiebe-, Kies- und Sandbänke, welche sich mit der Zeit zu Inseln ausbilden, theils auch durch aussergewöhnliche Eisstopfungen und Hochfluthen hervorgerufen. In einzelnen Fällen werden sie sogar (vergl. § 11 Durchstiche), künstlich hergestellt, es machen sich ihre Nachtheile aber dann ebenfalls geltend. Abgesehen von diesen Fällen erfordert sowohl das Schiffahrts- als auch das Landescultur-Interesse bei jeder Flussregulirung die Beseitigung vorhandener und die Verhütung fernerer Spaltungen, da die Zusammenhaltung sämmtlicher Wassermassen in einem Bett, Vermehrung der Fahrtiefe, Sicherung der Inundationsterrains und Verlandung coupirter Nebenarme herbeiführt. Dementsprechend sind die Einmündungen der Nebenflüsse zu reguliren (vergl. § 11, S. 237 des V. Cap. und § 12 dieses Cap.), niedrige und der Strömung besonders ausgesetzte Ufer zu sichern, übermässige Flussbreiten einzuschränken, Eisstopfungen zu verhüten (vergl. S. 238) und event. baldigst zu beseitigen, sowie endlich alle schädlichen Nebenarme durch Coupirungen abzuschliessen. Bewirken letztere zunächst auch nur die Zusammenfassung der Wassermengen zur Zeit der niedrigen und mittleren Wasserstände, indem sich die Hochfluthen auch noch lange nach Ausführung der Coupirungen theilweise in die Nebenarme ergiessen, so erhöhen sich jedoch deren Flussbetten mit der Zeit derartig, dass die Hauptwassermengen im Wesentlichen durch den Hauptarm abfliessen, falls dieser ein entsprechendes Abflussprofil erhalten kann. Ist letzteres nicht der Fall, so sind Nebenläufe nicht zu entbehren und zweckgemäss zu reguliren. Letzteres kann auch dann nothwendig werden, wenn die Beseitigung der Flussspaltung namhafte Geldopfer erfordert oder mit anderweitigen erheblicheren Nachtheilen verbunden ist, wenn also beispielsweise Flussinseln in Cultur genommen und bebaut sind oder wenn die Coupirung des Nebenarms industrielle Etablissements, ganze Dörfer und Städte vom Fluss abtrennt u. s. w.

Bei manchen Flüssen, wie Rhein, Weichsel und Memel sind aus früheren Spaltungen im Laufe der Jahrhunderte völlig selbständige Flüsse entstanden, welche heute selbst in der Benennung von ihrem Hauptfluss abweichen. Vorzugsweise finden sich derartige Flussarme im Fluthgebiet des Meeres, bisweilen aber auch oberhalb desselben, deren Entstehung indessen auf den Einfluss des Meeres in früheren Zeiten zurückzuführen ist.

b. Befestigung der Ufer und Sicherung des Inundationsgebiets gegen die aus den Flussverhältnissen resultirenden Nachtheile. Schon aus den Erörterungen unter a. ergibt sich die Nothwendigkeit der Befestigung und Sicherung der Ufer. Sind es doch vorzugsweise die unbefestigten Ufer, welche im natürlichen Zustande des Flusses den regellosen Lauf und die stete Veränderung desselben in allen denjenigen Fällen hervorrufen und begünstigen, in denen sie dem Angriff des Wassers nicht zu widerstehen vermögen. Dies findet namentlich dann statt, wenn die Flüsse feine und wenig bindende Sinkstoffe, besonders reinen Sand führen und die Ufer demnach auch aus solchem Material gebildet sind, während thonige Ablagerungen dem Angriff des Wassers besser widerstehen.

Jede begonnene Unregelmässigkeit in der Gestaltung der Ufer veranlasst aber den Fluss zum verstärkten Angriff auf einzelne Strecken derselben, und es entsteht aus der dann folgenden Umgestaltung der Ufer der erhebliche Nachtheil, dass dem

Flüsse neue Sinkstoffe zugeführt werden, welche in Bewegung gerathen, Verflachungen unterhalb der Abbruchstelle erzeugen und beim weiteren Vorrücken noch auf grosse Entfernungen neue Unregelmässigkeiten veranlassen.

Bei Flüssen von geringer Breite, welche eine Einschränkung des natürlichen Betts nicht mehr gestatten, bildet die Befestigung und Sicherung der Ufer den hauptsächlichsten Theil der Regulirung; bei grösseren Flüssen dagegen handelt es sich wesentlich um Anlage solcher Einschränkungswerke, welche gleichzeitig sowohl auf die Erhöhung der Schiffbarkeit, als auch auf die Befestigung und Sicherung der Ufer hinwirken. Letzteres wird zum Theil schon dadurch erreicht, dass durch Einschränkungswerke ganz neue Ufer gebildet werden und dass diese nunmehr dem Angriff des Flusses entgetreten und die natürlichen Ufer entlasten. Je mehr die Einschränkungswerke in den Fluss hineinragen, desto wirksamer ist besonders beim Buhnensystem der Uferschutz. Da durch Einschränkung aber auch die Schiffbarkeit des Flusses erhöht wird, so empfiehlt es sich, wenn dieselbe Hauptzweck der Regulirung ist und Mittel nicht mangeln, die Bauwerke alsbald bis zur erforderlichen neuen Uferlinie anzulegen. Bei Verwendung von Buhnensystemen werden die Werke bisweilen zunächst nur in geringer Länge im Interesse des Uferschutzes erbaut und erst später verlängert, wenn es sich um Erhöhung der Schiffbarkeit des Flusses handelt. Da aber kurze Buhnen auch nur eine entsprechend kurze Uferstrecke schützen, sind von vorneherein mehr Bauwerke erforderlich, als die Regulirung des Flusses ihrem gesammten Zwecke nach verlangt. Der Uferschutz wird auf diese Weise daher kostspieliger und die Regulirung eine zeitraubendere.

Bei einzelnen grossen Flüssen, wie am Oberrhein, hat die Regulirung neben Fixirung der Landesgrenze lediglich die Förderung der Landescultur-Interessen erstrebt und sich demgemäss auch lediglich auf Befestigung und Sicherung der natürlichen, bezw. Bildung neuer Ufer durch Coupirung schädlicher Seitengewässer, sowie auf Anlage von Durchstichen beschränkt. Es bleibt somit dort die Regulirung im Schiffahrtsinteresse noch der Zukunft vorbehalten.

Bisher war nur von den eigentlichen Ufern, soweit sie zum bordvollen Fluss gehören, die Rede; eine zweckmässige Regulirung hat aber auch auf die Befestigung und Sicherung derjenigen Uferterrains, welche der Inundation vorzugsweise ausgesetzt sind, hinzuwirken. Dieses ist zum Theil schon durch Verwendung dieses Terrains zu Wiesenanlagen und Weidenpflanzungen oder im Allgemeinen durch Befestigung der Flächen mittelst kräftigen Pflanzenwuchses, welcher die Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers mässigt und die Ansammlung von Schlicktheilen bewirkt, erreichbar. Den wirksamsten Schutz erhält das Inundationsgebiet durch Eindeichung der Niederungen (vergl. Cap. XI), und ist hiermit gleichzeitig eine wesentliche Förderung der Flussregulirungszwecke zu verbinden, wenn bei Anlegung der Deiche auf deren zweckmässige Lage zum Flussbett und auf richtige Bemessung des Hochwasserprofils Bedacht genommen werden kann. Bei Deichanlagen erfordert das Landescultur-Interesse in erster Linie eine geregelte Vorfluth oder die gehörige Entwässerung des eingedeichten Inundationsterrains und die Beseitigung bezw. Verhütung von Versumpfungen. Letztere entstehen oft erst später als Folge der Deiche, da die durch dieselben geschützten Niederungen der Ueberfluthung nicht mehr ausgesetzt sind und dort eine Erhöhung der Thalsole durch Ablagerung der vom Flusse zugeführten Geschiebe und Schlickmassen nicht mehr stattfinden kann, während die Vorländer in der allmäligen Erhöhung mit der Zeit so

vorschreiten, dass sie nach einer längeren Reihe von Jahren über dem Niveau der Niederungen liegen. Oft lässt sich die Vorfluth durch die aus Regulirungen resultirenden Senkungen des Flusswasserspiegels, bezw. der Flusssohle beschaffen. Völlig constante Verhältnisse sind indessen in dieser Beziehung nach den bisherigen Erfahrungen (Deutsche Bauz. 1875, S. 274 und 1877, S. 261) nicht zu erwarten, da Regulirungen auch in manchen Strecken zeitweise Hebungen des Wasserspiegels und der Sohle hervorrufen. (Vergl. § 5, b.)

Thatsächlich liegen die Niederungen, welche Deiche aus älterer Zeit besitzen, vielfach weit unter dem Niveau der Vorländer und entbehren der natürlichen Vorfluth vollständig. Dann handelt es sich um Beschaffung künstlicher Entwässerung durch Anwendung von Schöpf- und Hebewerken, welche die in der Niederung in einzeln tief gelegenen Terrains vorhandenen oder dorthin durch systematische Entwässerungsgräben geleiteten Wassermassen bis über den Wasserspiegel des Flusses oder Meeres heben und sie auf dem kürzesten Wege abführen.

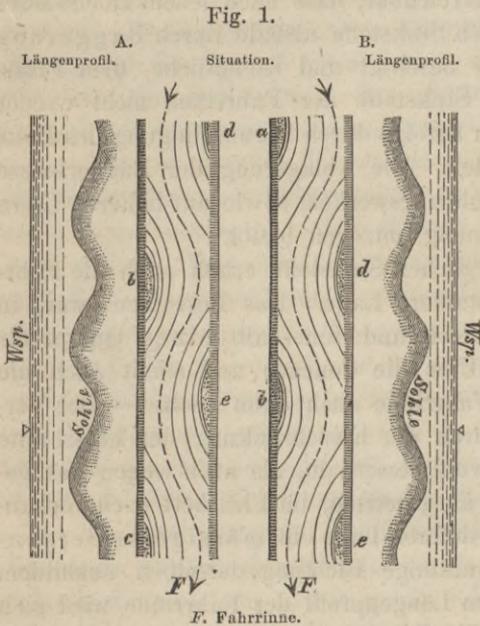
Den Flussbetten und Ufern sowohl, als auch den Inundationsterrains können auch aus Eisstopfungen sehr erhebliche und unberechenbare Beschädigungen erwachsen, wenn die Wassermasse durch das von zusammengeschobenen Eismassen gesperrte oder verengte Flussbett nicht mehr abzufließen vermag und sich dann seitwärts im Inundationsgebiet einen Ausweg eröffnet (vergl. S. 238). Auf derartige Eventualitäten ist bei Aufstellung des Regulirungsprojects besondere Rücksicht zu nehmen und zu beachten, dass eine regelmässige Gestaltung des Flussbetts und des Inundationsprofils das wirksamste Mittel zur Verhütung von Eisstopfungen bildet. Eisstopfungen können zwar aus mannigfachen Gründen selbst durch zufälliges Zusammentreffen verschiedener ungünstiger Ereignisse entstehen; das aber bestätigt die Erfahrung, dass sie in einzelnen Flussstrecken fast regelmässig alljährlich auftreten und dass sie dort eine Folge von Unregelmässigkeiten in den Flussverhältnissen sind. Derartige Unregelmässigkeiten resultiren aus sehr scharfen Krümmungen, älteren Deichanlagen mit wechselnden Breiten des Hochwasserprofils, Flusspaltungen, Sinkstoffbänken, namentlich aber aus übermässigen Profiltreibern und plötzlichem schroffen Wechsel derselben. Tritt der Fluss aus dem engeren in ein breiteres Profil ein, so ermässigt sich die Tiefe und auch die Geschwindigkeit des Wassers, und es sind dann zunächst die Bedingungen zur Ansammlung und Festsetzung der schwimmenden Eisschollen, demnächst aber auch — durch den stetigen Hinzutritt immer neuer — zur Bildung von Eisstopfungen gegeben, indem die noch schwimmenden Schollen auf die festgelagerten aufstossen und sich mit der Kraft ihrer Endgeschwindigkeit über-, unter- und nebeneinander schieben. Nicht selten füllen derartige Eisstopfungen auf Längen von mehreren Kilometern den grössten Theil des Abflussprofils bis zur Sohle des Betts aus, und ist dann die Räumung des Flussbetts durch Sprengung der Eismassen und Bildung eines offenen, angemessen breiten Canals in der Hauptflussrinne noch vor Eintritt des Eisgangs dringend nothwendig.

c. Festlegung und Verminderung der Sinkstoffe. Die im natürlichen Flussbett vorhandenen und ihm fort und fort durch Abschwemmungen der inunDIRTEN Oberflächen und durch Uferabbrüche zugeführten Sinkstoffe, welche namentlich unterhalb jedes Nebenflusses besonders massenhaft erscheinen, geben wesentlich in Folge ihres stetigen Vorrückens in der Richtung von der Quelle nach dem Meer (vergl. Cap. V., §§ 9 u. 11) zu fast allen Unregelmässigkeiten des Flusses Veranlassung. Ein befriedigender Erfolg ist daher von einer Regulirung nur dann zu erwarten, wenn dem Vorrücken

der vorhandenen und dem Hinzutreten neuer Geschiebe wirksam begegnet wird. Eine Verminderung lässt sich schon durch Befestigung der Ufer der in Betracht kommenden Flussbetten erreichen, während das Vorrücken der einmal im Flussbett vorhandenen Sinkstoffe, bei der Unmöglichkeit, sie ganz zu beseitigen, nur theilweise durch Festlegung verhindert werden kann. Hierdurch sowohl, als durch Baggerungen auf den Untiefen wird es möglich, die bewegliche Masse der Sinkstoffe wesentlich zu vermindern und die Veranlassung zu den wiederholt eintretenden Verflachungen des Flussbetts und zur steten erheblichen Verlegung der Fahrrinne zu beschränken.

In geraden Flussstrecken lagern die Sinkstoffe in grossen Bänken vereint, und es wechseln letztere meist in so regelmässiger Reihenfolge ab, dass auf eine Bank am linken Ufer zunächst eine solche am rechten Ufer und dann wieder eine am linken Ufer u. s. w. folgt. Bei niedrigen Wasserständen treten sie theilweise über dem Wasserspiegel hervor, während unter demselben die Böschungen der gegenüber liegenden benachbarten Bänke zusammentreten und dort im Flussbett die sogenannten Schwellen, Rücken oder Uebergänge bilden. Hier finden sich desshalb die Minimal-

tiefen, in den darauf folgenden Concaven der Serpentinien aber die Maximaltiefen des Flusses, und es stellt sich die Flussbettssole im Längenprofil der Fahrinnen nach Fig. 1 mit stetem Wechsel von Berg und Thal dar. Würden die Bänke dauernd festliegen, so könnte auch die Gestaltung der Flusssohle und die Lage der Fahrrinne annähernd constant erhalten werden. So lange sie aber stetig vorschreiten, indem ein Theil ihrer flussaufwärts belegenen Massen dem Wasseranfall ausgesetzt ist, in Bewegung geräth und erst unterhalb der Bänke unter dem Schutz derselben wegen der Abnahme der Geschwindigkeit des Wassers daselbst Ruhe findet, so lange bleibt auch die Veranlassung zur steten erheblichen Verschiebung der Fahrrinne und der Flusstiefen gegeben. Es geht daher die Situation des Flussbetts Fig. 1 A



nach einer gewissen Reihe von Jahren allmähig in die der Fig. 1 B über, um nach einer entsprechenden Zeitperiode wieder die erstere Gestaltung anzunehmen. Jede momentane Vertiefung der Schwellen durch Baggerung übt sonach, so lange die Bänke im Vorrücken bleiben, nur vorübergehende Wirkung aus, und es können derartige Arbeiten nur als ein Nothbehelf zur zeitweisen Vertiefung des Flussbettes angesehen werden. Die Schifffahrt verlangt aber eine dauernde Vertiefung und demgemäss gehört es zu den wesentlichsten Aufgaben der Regulirung, die Fahrtiefe auf den Schwellen oder Uebergängen dauernd zu vermehren. Dies lässt sich bis zu einem gewissen Grade dadurch erreichen, dass man den grössten Theil der Sinkstoffe, aus denen die längs der Ufer lagernden Bänke bestehen, durch Festlegung mittelst derjenigen Regulirungswerke, welche die Flussbreite beschränken sollen, am Vorrücken verhindert. Dann bleiben nur diejenigen Sinkstoffe, welche innerhalb des

nicht befestigten Flussbetts bereits vorhanden sind oder durch Uferabbrüche und Seitenflüsse neu zugeführt werden, dem Vorrücken ausgesetzt, und diese sind ihrer Masse nach um Vieles geringer als die mächtigen Bänke. Dann können aber auch den Schwellen überhaupt weniger Sinkstoffe zugeführt werden, als vorher; ihre Ausdehnung und Mächtigkeit wird also beschränkt, und schon hieraus resultirt eine Vermehrung der Fahrtiefe in den Uebergängen. Wird aber ausserdem noch durch Baggerungen auf Herstellung einer grösseren Tiefe daselbst und hierdurch sowohl, als durch Regulirungswerke auf Vermehrung der Geschwindigkeit des Wassers hingewirkt, so müssen ungleich günstigere Verhältnisse auf den Uebergängen eintreten, als wenn, wie bisher, die gesammte Masse der Sinkstoffbänke die Uebergänge zu passiren hat. Zur Zeit der niedrigen Wasserstände wird zwar oberhalb der einen gewissen Stau erzeugenden Uebergänge immer ein Theil der in Bewegung begriffenen Sinkstoffe angesammelt und erst bei höheren Wasserständen abgeführt werden können. Je grösser aber die Geschwindigkeit auf den Uebergängen ist, desto weniger können Ablagerungen von Sinkstoffen daselbst erfolgen.

Eine Verminderung ist ferner dadurch erreichbar, dass nach jedem Hochwasser die von den kleineren Seitenflüssen zugeführten Sinkstoffe alsbald durch Baggerung im Flussbett, in der Nähe der Einmündungen beseitigt und sämmtliche, dem Flussbett einmal durch Baggerung entnommenen Sinkstoffe der Fahrinne nicht wieder zugeführt werden, da andernfalls die erzielten Erfolge durch Verunreinigung des Betts an anderen Stellen wieder aufgehoben werden. Die Ablagerung der Baggermasse sollte also nur hinter oder zwischen den Regulirungswerken, sowie auf höheren Ufern derartig erfolgen, dass sie dauernd der Strömung entzogen bleibt.

Durch Festlegen eines Theils der beweglichen Sinkstoffe erhält auch die Fahrinne im eingeschränkten Flussbett eine constantere Lage. Das Bestreben zwar, in geraden Strecken ihre Lage stetig zu verändern und innerhalb eines Querprofils periodisch bald am linken, bald am rechten Ufer die Concave und somit auch die relativ grösste Tiefe auszubilden, behält die Fahrinne auch dann noch. — Der Verschiebung der Fahrinne sind aber schon durch die Einschränkung der Flussbreite engere Grenzen gezogen, und es muss sich sowohl dieserhalb, als auch wegen des geringeren Flächeninhalts der der Fortbewegung ausgesetzten, im Flussbett noch vorhandenen Sinkstoffbänke und wegen deren relativ tieferen Lage ein mässigeres Serpentiniren der Fahrinne, also eine mehr geradlinige Richtung derselben ausbilden. Auch der Wechsel zwischen Berg und Thal im Längenprofil der Fahrinne wird sich nach der Regulirung noch geltend machen, da die Concaven stets eine grössere Wassertiefe als die Schwellen behalten werden; es lässt sich aber dann eine, für die Schifffahrt und für die Wasser- und Sinkstoffbewegung günstigere Gestaltung des Längenprofils und des gesammten Flussbetts, sowie eine grössere Ausgleichung des früheren, verschiedenen relativen Gefälles in den einzelnen Strecken erwarten. Ueber die Wirkungen und Folgen der Festlegung und Verminderung der beweglichen Sinkstoffe kann endgültig nur die Erfahrung entscheiden, da eine systematische Anwendung der erörterten Principien in grösserem Maassstabe wohl noch nicht erfolgt ist. Bei manchen Flussregulirungen, wie an der oberen Mosel, hat man zwar auf eine Beseitigung der Sinkstoffe hingewirkt, die Regulirungswerke aber unzweckmässiger Weise nur dazu verwendet, die an einzelnen Stellen zur Zeit der Aufstellung des Projects gerade vorhandenen hinderlichen Sinkstoffe von einem Ort zum andern fortzutreiben, ohne zu beachten, dass dadurch das Schifffahrtshinderniss nur den Ort wechselt, aber

nicht beseitigt wird und dass die oberhalb befindlichen, beweglichen Bänke beim Vorrücken in kurzer Zeit die regulirte Strecke passiren und zur abermaligen Verflachung derselben beitragen müssen. Wesentlich dieser Methode ist denn auch der bisherige geringe Erfolg derartiger Regulirungen zuzuschreiben.

In nicht geraden Flussstrecken zeigen sich zwar Abweichungen von den Erscheinungen, welche vorstehend für gerade Strecken erörtert worden sind; immerhin müssen sich auch dort die Vortheile, welche aus der Festlegung der Sinkstoffbänke und der Verminderung der Sinkstoffe oben abgeleitet wurden, geltend machen. Allgemeine Regeln lassen sich hier nicht aufstellen, da jede derartige Flussstrecke bei der Regulirung specielle Erwägungen der localen Verhältnisse und dementsprechende Anordnungen erfordert. In starken Flusskrümmungen liegt beispielsweise auch im unregulirten Fluss die Concave und Fahrrinne dauernd an ein und demselben Ufer; es bilden sich dort keine Sinkstoffbänke; wohl aber zeigen sich solche, sowohl an den Ufern als auch mitten im Flusse unter- und oberhalb, da die Sinkstoffe, welche am stark concaven Ufer entlang vorrücken, abwärts fortgeführt werden und sich erst dort, wo die Geschwindigkeit des Wassers abnimmt, also unterhalb festsetzen, während oberhalb die Ablagerung eine nothwendige Folge des durch die Curve bewirkten Stauens und der hieraus resultirenden Abnahme der Geschwindigkeit ist. Hier kann also nur die Beobachtung der gesammten localen Verhältnisse zu einem Urtheil über die zweckmässigste Begegnung der Unregelmässigkeiten führen.

Dass in geraden Flussstrecken die gleichförmige Bewegung des Wassers und der Sinkstoffe am vollkommensten zu erreichen ist, leuchtet ein; trotzdem wird man die völlige Geradlegung eines Flusses bei seiner Regulirung weder erstreben können noch wollen. Dem steht meist sowohl die natürliche Flussgestaltung, als auch die schnellere Wasserabführung, welche für niedrige Wasserstände die Schifffahrts-Interessen beeinträchtigen würde, entgegen. Das Wesentliche, was zu erstreben bleibt, ist, den Fluss zwischen gut befestigten Ufern nach Möglichkeit von beweglichen Sinkstoffen zu befreien und dadurch die bisherige wiederholte Bildung von Untiefen zu verhindern oder doch wenigstens erheblich zu erschweren. Hierzu ist aber die Festlegung der vorhandenen Bänke und die Verminderung der beweglichen Sinkstoffe ein wirksames Mittel.

d. Beseitigung der Schifffahrtshindernisse. Ausser den aus der Bewegung der Sinkstoffe resultirenden Untiefen treten in den Flussbetten vielfach noch andere Schifffahrtshindernisse auf. Dazu gehören Flussschnellen, Fels- und Steinbänke, sowie auch vereinzelt im Flussbett lagernde Steinblöcke und Baumstämme, ferner ältere Wehre und Ueberreste derartiger Bauwerke und endlich noch bestehende Mühlenanlagen. Die möglichste Wegräumung derartiger Hindernisse ist ebenfalls Aufgabe der Flussregulirung. (Ueber Flussschnellen vergl. § 13.)

Fels- und Steinbänke, nicht minder ältere Wehre und solche, welche zu noch bestehenden Mühlen und Bewässerungsanlagen gehören, lassen sich je nach Umfang und Bedeutung oft nur theilweise, oft überhaupt nicht beseitigen, und es sind dann Vorkehrungen zu treffen, welche wenigstens die Ermöglichung der Schifffahrt zur Folge haben. Derartige natürliche oder künstliche Hindernisse heben die Regelmässigkeit des Gefälles auf, da sich dasselbe dort nicht gleichmässig auf eine längere Flussstrecke vertheilt, sondern an einzelnen Punkten derartig concentrirt, dass hier für die Schifffahrt unpassirbare Ueberfälle und Flussschnellen entstehen, in welchen das Wasser mit grosser Geschwindigkeit aber geringer Tiefe abfließt. Als nachtheilige Folgen

zeigen sich oberhalb erhebliche Geschiebeanlagen und Verflachungen des Flussbetts, unterhalb aber ganz unregelmässige Wasserbewegungen und Auskolkungen.

Je nach den örtlichen Verhältnissen erfordert die Schiffbarmachung des Flusses dort entweder umfassende Räumungsarbeiten oder die Anlage von Schiffsdurchlässen, Stau- und Kammerschleusen oder auch die Umgehung der unpassirbaren Flussstrecke mittelst eines besonderen, schiffbar herzustellenden Flussarmes, welcher das concentrirte Gefälle des Hauptflusses auf eine grössere Strecke des Nebenarmes vertheilt. In Fels- und Steinbänken sucht man gewöhnlich durch Sprengungen und Steinhebungen die Vertiefung des Flussbetts wenigstens für eine schmale, dem Schiffahrtsbedürfniss genügende Fahrrinne herzustellen; immerhin aber bleibt in derartigen Strecken die Abführung der Wasser- und Sinkstoffmassen eine mangelhafte.

In manchen Flüssen treten auch vereinzelte, in früherer Zeit abgelagerte Steinblöcke sowie bei Uferabbrüchen in das Flussbett gelangte Baumstämme und Baumwurzeln auf. Dieselben sind zeitweise von den Sinkstoffbänken bedeckt, werden bei deren Vorrücken und bei der hieraus folgenden Verlegung der Fahrrinne frei, ragen alsdann über dem Flussbett hervor und bilden nun, wesentlich wegen des plötzlichen, meist unerwarteten Erscheinens, gefährliche Schiffahrtshindernisse. In neuerer Zeit hat man auch bei Flüssen, in denen die Kettenschiffahrt eingerichtet ist, die Erfahrung gemacht, dass derartige Hindernisse in höherem Grade, als bisher auftreten, indem die bei der Benutzung in schleifende Bewegung versetzte Kette die im Flussbett lagernden Steine, Baumstämme und Wurzeln erfasst, sie hebt und in die Fahrrinne schleppt. Ueber die Art der Beseitigung der vorerwähnten Schiffahrtshindernisse vergl. § 15. Bei Aufstellung der Vorarbeiten zur Regulirung eines Flusses ist jedes einzelne, ermittelte Schiffahrtshinderniss einer eingehenden Erörterung zu unterziehen. Endlich wird noch erwähnt, dass in manchen Flüssen, wie beispielsweise in der Elbe (vergl. Deutsche Bauz. 1875, S. 285 und 293) auch vorhandene Schiffsmühlen und Fischereivorrichtungen Schiffahrtshindernisse bilden.

e. Beschränkung der Flussbreiten (Normalprofilbreiten). Zu den wesentlichsten Aufgaben jeder Flussregulirung gehört die Normirung der Normalprofilbreiten oder Normalbreiten (vergl. Cap. V, S. 237). Ganz besonders wichtig ist dies bei schiffbaren Flüssen, bei denen die Normirung denn auch in der Regel zu einer Beschränkung der Flussbreiten führt. Ist nach den in Betracht kommenden Verhältnissen eine Beschränkung statthaft und verfügt der schiffbar zu machende oder zu erhaltende Fluss über eine angemessene Wassermenge, so lässt sich auf diesem Wege, wie weiterhin noch nachgewiesen werden soll, unzweifelhaft seine Schiffbarkeit herstellen, bezw. erhöhen. Aus diesem Grunde wird auch in den zur Zeit bereits als regulirt geltenden Flüssen, mit Rücksicht auf ihre vielfach ungenügenden Fahrtiefen bei niedrigen Wasserständen, eine nochmalige Prüfung und eventuelle Modification ihrer zeitig gültigen Normalbreiten nothwendig oder doch zweckmässig sein, um so mehr, als letztere schon vor langer Zeit normirt worden sind und damals nur geringe Erfahrungen über Flussregulirungen vorgelegen haben. Auch die Rücksichtnahme auf Eisgang, ferner die Knappheit der verfügbaren Mittel und die daraus resultirende Regulirung an nur einzelnen, wenigen Stellen, sowie noch manche anderen Erwägungen sprechen dafür, dass man damals nur eine mässige Beschränkung der natürlichen Flussbreiten gewählt und das Maass derselben nur auf empirischem Wege ermittelt hat. Behufs Untersuchung der Wirkung der Beschränkung muss auf die hydrodynamische Formel (Gleichung 13. auf S. 245) $F = \frac{Q}{v}$ zurückgegangen werden.

Der Flächeninhalt F des vom durchfliessenden Wasser in Anspruch genommenen Profils hängt demnach lediglich von der Wassermenge Q und deren mittleren Geschwindigkeit v ab. Soll Q abfliessen, so hat jede Veränderung von F nothwendiger Weise eine solche von v zur Folge und ebenso umgekehrt, wenn obige Gleichung richtig bleiben soll. Bei der Einschränkung wird $F = b R$ (Gleichung 4. auf S. 241) zunächst durch Verkleinerung von b geändert, und es entsteht die Frage, wie sich nunmehr der zweite Factor von F , nämlich die mittlere hydraulische Tiefe R , beim Abfluss Q gestaltet. Ist die Flussbettsohle mit den Seitenwandungen innerhalb des eingeschränkten Profils unzerstörbar, eine Vertiefung also ausgeschlossen, so kann Q nur bei entsprechender Vergrößerung von v abfliessen. Dies ist aber nur durch Vermehrung des Gefälles, also im vorliegenden Falle nur dadurch möglich, dass sich der Oberwasserspiegel durch Stau so lange über dem Unterwasserspiegel erhebt, bis Q abfließt. Im eingeschränkten Profil sowohl, als oberhalb desselben muss sonach eine Vermehrung der Wassertiefe erfolgen, während der Wasserspiegel unterhalb des Profils, dort wo die durch den Ueberfall erzeugte grössere Stromgeschwindigkeit aufhört, in der früheren Höhe verbleibt, weil dort ganz dieselbe Wassermenge Q wie vorher abfließt. In der Regel besteht indess das Flussbett nicht aus einer festen Sohle, sondern aus beweglichen Sinkstoffen, welche nicht einmal der im uneingeschränkten Profil vorhandenen Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers widerstehen, sondern durch die Wirkungen desselben mehr oder weniger fortbewegt werden. Wird hier nun durch Beschränkung der Flussbreite ein Stau im Oberwasser und eine Vergrößerung der Stromgeschwindigkeit im Profil erzeugt, so muss auch eine vermehrte Fortbewegung der Sinkstoffe auf der Sohle oder eine Vertiefung der letzteren eintreten, welche sich bis auf eine gewisse Entfernung unter- und oberhalb des Ueberfalls fortsetzt. Hieraus folgt, dass die Beschränkung der Breite in jedem Falle innerhalb und in der Nähe eines eingeeengten Profils eine Vermehrung der Wassertiefe zur Folge hat, mag die Vermehrung nun aus dem Stau oder der Sohlenvertiefung, oder gleichzeitig aus beiden Momenten resultiren. In welcher Weise sich das Profil umgestaltet, und in wie weit die mittlere Tiefe und mittlere Geschwindigkeit oder beide Factoren vermehrt werden, lässt sich vor erfolgter Beschränkung nicht genau angeben; noch viel weniger, bis zu welchen Punkten ober- und unterhalb des Profils die Wirkung reicht. Das aber beweisen die bisherigen Flussregulirungen, dass Einschränkungswerke besonders im Anfange Stau erzeugen und eine Veränderung des Gefälles, der mittleren Geschwindigkeit und der Bewegung der Flusssinkstoffe zur Folge haben. Dass übrigens die Gesamtwirkung eine Vergrößerung der Wassertiefe hervorruft, zeigt sich bei jedem Fluss in engen Profilen, mögen diese natürlichen oder künstlichen Ursprungs sein. Wenn hiernach aber in der Beschränkung der Flussbreite ein Mittel zur Vergrößerung der Wassertiefe gegeben ist, und wenn die Erfahrung darüber entschieden hat, dass ein grosser Theil der ausgeführten Regulirungen mit ihren bisherigen, aus alter Zeit stammenden Normalbreiten, die für die Schifffahrt nothwendige Fahrtiefe thatsächlich noch nicht geschaffen hat, so erscheint die Forderung der Jetztzeit, auf eine Reduction der Normalbreiten überall dort hinzuwirken, wo schiffbare Flüsse einer Erhöhung ihrer Schiffbarkeit bedürfen und eine solche, ohne Benachtheiligung anderer Interessen erhoffen lassen, berechtigt.

Man versteht unter Normalprofilbreiten, ganz allgemein ausgedrückt, diejenigen Breiten des Flusses am Wasserspiegel, bei denen die regelmässige Abführung

der bezüglichen Wassermassen sowohl, als auch die Erreichung der sonstigen Regulirungszwecke erwartet wird.

Da sich weder für jeden Wasserstand, noch für jedes Querprofil eines Flusses die dazu gehörigen Normalbreiten herstellen lassen, so werden diese stets nur für einzelne Wasserstände, vielfach sogar nur für einen einzigen — den mittleren Wasserstand — sowie auch nur für längere, als gleichartig geltende Flussstrecken normirt. Bei Flussthälern jedoch mit Deichanlagen ist auch noch für den höchsten Wasserstand die Festsetzung der Normalbreite nothwendig. Sieht man aber hiervon ab, so versteht man unter Normalprofilbreite eines Flusses gewöhnlich nur die für einen mittleren Wasserstand normirte, durch Regulirungswerke begrenzte Breite am Wasserspiegel.

Ein Fluss mit richtigen Normalbreiten für alle Wasserstände soll jederzeit seine Wassermassen regelmässig abführen, weder ungewöhnliche Verflachungen des Betts, noch Abbrüche der Ufer veranlassen, ausserdem aber auch, falls bei der Regulirung die Schifffahrt in Frage tritt, eine den gesammten Verhältnissen der betreffenden Flussstrecke entsprechende Fahrrinne ausbilden.

Diesen Bedingungen kann nur ein Normalprofil genügen, welches für jeden Wasserstand weder zu eng noch zu weit ist und welches für jeden Wasserstand eine verschiedene Breite besitzt. Derartige Normalprofile lassen sich jedoch nur an einzelnen Stellen und meist nur im gewöhnlichen Flussbett herstellen, weil die bei Ueberfluthung der Ufer in Betracht kommenden, oft sehr breiten Inundations-Terrains den profil-mässigen Ausbau nur sehr selten gestatten. Man begnügt sich dieserhalb schon damit, das Normalprofil nur im eigentlichen Flussbett so auszubilden, dass es in demselben obigen Bedingungen genügt, die Normalprofilbreite dementsprechend also bei steigendem Wasser zu-, bei fallendem aber abnimmt. Bei schiffbaren Flüssen ist es am zweckmässigsten, mehrere Normalbreiten und zwar für den bordvollen Fluss, für die Höhe des mittleren Wasserstands und für diejenige des niedrigsten Sommerwasserstandes zu ermitteln, namentlich dann, wenn man für die Construction des Normalprofils genaue Anhaltspunkte gewinnen will. In manchen Fällen kann aber auch schon die genaue Ermittlung nur einer Breite und zwar derjenigen für einen niedrigen Sommerwasserstand genügen, indem sich nach den hierbei gewonnenen Resultaten annähernd auch die Normalbreiten für die übrigen vorgegebenen Wasserstände bemessen lassen. — Hier soll nur die Ermittlung der Normalprofilbreiten für einen Wasserstand näher erörtert werden, weil dies die Methode zur Ermittlung aller übrigen Breiten hinreichend genug klarstellt.

Gewöhnlich handelt es sich um Bestimmung der Normalbreite in der Höhe der Vegetationsgrenze zwischen Fluss und Land, und leitet man diese Breite dann in der Regel aus der für einen niedrigen Sommerwasserstand ermittelten Normalbreite ab.

Die Vegetationsgrenze liegt etwa in der Höhe des mittleren Sommerwasserstandes, d. i. das arithmetische Mittel der Sommermonats-Wasserstände einer möglichst vieljährigen Zeitperiode. — Soll die Normalprofilbreite für die Vegetationsgrenze normirt werden, so reichen in dieser Höhe die vorderen Kronenkanten der in das Flussbett hineintretenden Regulirungswerke bis an die sogenannten Streichlinien³⁾,

³⁾ Streichlinien sind die (im Situationsplan der Flussregulirkarten gewöhnlich punktirt gezeichneten) Linien, welche die Lage der durch Regulirung zu erhaltenden oder schon erhaltenen Flussufer in der Höhe des für die Normalbreite angenommenen Wasserstandes darstellen. Bisweilen können sie mit den natürlichen Uferlinien auf einzelnen Strecken zusammenfallen.

welche das Normalprofil dann für den mittleren Sommerwasserstand derartig begrenzen, dass nur innerhalb derselben sämmtliche, dementsprechende Wassermassen abfließen können. Ob die Normalbreite genau für den mittleren Sommerwasserstand oder für einen hiervon etwas abweichenden normirt wird, ist unwesentlich schon desshalb, weil der zuerst gewählte Wasserstand mit dem durch die Folgen der Regulirung bedingten Heben oder Senken der Flusssohle ebenfalls seine Höhe verändert (vergl. § 5, b und Deutsche Bauz. 1875, S. 277 und 325, sowie 1877, S. 261). Gewöhnlich wird die Normalbreite bei Buhnen in Höhe der Köpfe, bei Parallel- und Uferdeckwerken in Höhe der Kronen dieser Werke normirt; doch entsprechen diese Höhen bei den schon erbauten Regulirungswerken meist nur annähernd dem zeitigen mittleren Sommerwasserstande. (Vergl. die zweckmässigste Höhenlage der Regulirungswerke § 5, b und c).

Zur Berechnung der Normalprofilbreite dient die aus den oben angeführten Ausdrücken abgeleitete Formel (15. auf S. 245) $b = \frac{Q}{Rv}$. Im Allgemeinen resultirt der Werth für Q aus der Berechnung der Wassermenge, der für R aus den gesammten Verhältnissen der betreffenden Flussstrecke, namentlich aber aus dem Schiffahrtsbedürfniss, während der Werth für v entweder direct aus Q und dem durchschnittlichen Flächeninhalt einer grösseren Zahl gemessener Querprofile oder aus bekannten Formeln abgeleitet wird. Im Speciellen entsteht aber die Frage, wie die Werthe für einen bestimmten Wasserstand zu ermitteln sind und zwar zunächst derjenige für Q .

Bei schiffbaren Flüssen wählt man zweckmässig einen möglichst niedrigen Sommerwasserstand für die Ermittlung der diesem entsprechenden Normalbreite, weil die Aufgabe derartiger Regulirungen vorzugsweise darin besteht, die Schiffbarkeit für niedrige Wasserstände herzustellen. In der Regel ist man aber auf denjenigen niedrigen Sommerwasserstand angewiesen, welcher zur Zeit der Vorarbeiten gerade besteht. Wesentlich ist es, diejenige Zeit abzuwarten, in der der Fluss einen gewissen Beharrungszustand zeigt, weil sich dann die sichersten Endresultate erzielen lassen. Zur Ermittlung des Werths für Q berechnet man nicht nur die Wassermenge für diesen Wasserstand, sondern auch für verschiedene andere Wasserstände aus directen Geschwindigkeitsmessungen in mehreren, möglichst regelmässig gestalteten Querprofilen der betreffenden Flussstrecke (vergl. Zeitschr. f. Bauw. 1877, S. 75). Aus den so erlangten Resultaten ist sodann die Wassermengen-Curve des Flusses (vergl. Cap. V. B, § 15) zu construiren und derselben der Werth derjenigen Wassermenge zu entnehmen, welche der für die Berechnung der Normalprofilbreite gewählten Wasserstandshöhe entspricht.

Der Werth von v lässt sich entweder aus gemessenen Querprofilen und Q oder aus dem relativen Gefälle J , der mittleren Tiefe R und einem Coefficienten c ableiten. Bekanntlich sind zur Bestimmung von v unter Verwendung von J und c die verschiedenartigsten Formeln (vergl. Cap. V B, § 19 und 20), aufgestellt, welche indessen in den Endresultaten sämmtlich von einander abweichen. Zu einer für alle Flüsse gültigen Formel für v wird (vergl. Cap. V, S. 262 und Zeitschr. f. Bauw. 1877, S. 75) überhaupt nicht zu gelangen sein, da v wesentlich von der für jede Flussstrecke und jeden Wasserstand verschiedenen Sohlengeschwindigkeit, diese aber von dem Grade der Rauheit des Flussbetts abhängt. Die Sohlengeschwindigkeit steht aber auch nicht einmal in einem constanten, sondern nur in einem variablen Verhältniss zur Tiefe, und es muss dementsprechend auch der Werth für c für jeden

Fluss und Wasserstand variiren. Von welch zweifelhaftem Werth alle bekannten Formeln sind, möge folgendes Beispiel zeigen.

Für ein und dieselbe Flussstrecke erhält man nach Kutter (Die neuen Formeln für die Bewegung des Wassers, S. 64 u. 65) anstatt der durch directe Messung gefundenen mittleren Geschwindigkeit $v = 0^m,70$,

nach der Formel 40. auf S. 257 (Humphreys und Abbot)	$v = 0^m,808$,
„ „ „ 34. „ „ 255 (Eytelwein)	$v = 0^m,726$,
„ „ „ 43. „ „ 259 (Bazin)	$v = 0^m,689$,
„ „ „ 49. „ „ 263 (Kutter und Ganguillet)	$v = 0^m,679$,
„ „ „ 44. „ „ 260 (Gauckler)	$v = 0^m,545$.

Es lässt sich also innerhalb der weiten Grenzen von $0^m,545$ bis $0^m,808$ für v ein Werth finden, wie er dem Belieben des Suchers gerade am besten zusagt. — Hagen hat die wesentlichsten bis jetzt bekannt gewordenen Formeln für v an einer grossen Zahl zuverlässiger Geschwindigkeitsmessungs-Resultate geprüft und hiernach die Formel 46. auf S. 261 $v = 2,425 \sqrt{R} \sqrt[6]{J}$ ⁴⁾

aufgestellt, für welche durchweg die geringsten Fehlerquadrate gefunden wurden.

Wird beispielsweise nach den genauen Memel-Verhältnissen $R = 2^m$ und $J = \frac{1}{11768}$ eingesetzt, so ist nach

Hagen	$v = 0^m,719$ ⁵⁾ ,
Eytelwein	$v = 0^m,662$,
Gauckler	$v = 0^m,696$,

während durch directe Messung $v = 0^m,70$ gefunden wurde. Alle übrigen bekannten Formeln führen aber zu erheblichen Differenzen.

Hiernach empfiehlt es sich, bei Bestimmung der Normalprofilbreite eines Flusses die mittlere Geschwindigkeit in der in Betracht kommenden Strecke zunächst durch directe Messung bei einem Wasserstande, der dem zur Berechnung des Normalprofils gewählten Wasserstande möglichst nahe liegt, zu ermitteln und das so gefundene Resultat demnächst noch der Vollständigkeit und relativen Sicherheit wegen mit denjenigen Ergebnissen zu vergleichen, welche bei Anwendung der für zuverlässigst erachteten Formeln gefunden werden. So wurde bei Bestimmung der Normalprofilbreite für die Memel nach der Formel $b = \frac{Q}{Rv}$, worin für $Q = 237 \text{ kl}^m$ für $R = 2^m$ und für $v = 0^m,70$ eingesetzt und ausserdem das Endresultat wegen der fünffachen Böschung der Ufer noch um die Constante $= 14^m$ vermehrt worden ist, nachträglich auch die Hagen'sche Formel

$$b = \frac{Q}{R \cdot 2,425 \sqrt{R} \sqrt[6]{J}} \text{ ⁶⁾},$$

welche durch Einsetzung des entsprechenden Werths für v entsteht, angewendet und dabei $b = 178^m,82$ gefunden, während die Gauckler'sche Formel $b = 184^m,26$,

⁴⁾ Neuerdings hat Hagen (wie in Cap. V, S. 261 bereits gesagt wurde) in „Untersuchungen über die Bewegung des Wassers (Berlin 1876, Ernst und Korn)“ je nach der Tiefe des Wasserlaufs zwei Formeln entwickelt und zwar bei Tiefen bis $0^m,17$

$$v = 4,9 R \sqrt[3]{J} \dots \dots \dots 1.$$

und bei grösseren Tiefen $v = 3,34 R \sqrt[5]{J} \dots \dots \dots 2.$

⁵⁾ Nach vorstehender Formel 2. ist $v = 0,725$.

⁶⁾ Nach vorstehender Formel 2. ist $b = 177,56$.

die von Eytelwein $b = 193^m,14$ und die vom Verfasser aufgestellte Berechnung $b = 183^m,29$ liefert.

Wird der Werth für v aus Geschwindigkeitsmessungen in einzelnen Querprofilen ermittelt, so erhält man für jedes Querprofil einen verschiedenen Werth, und es fragt sich dann, welcher den gesammten in Betracht kommenden Verhältnissen der betreffenden Strecke voraussichtlich am besten entspricht und für die Bestimmung der Normalbreite am zweckmässigsten zu verwenden ist. Bekanntlich wechselt das Gefälle des Flusses und somit auch die mittlere Geschwindigkeit sehr häufig, und es bleibt dieser Factor selbst für ein und dasselbe Profil schon in Folge der Sinkstoffbewegung keineswegs constant. Ein Profil, welches jetzt für eine bestimmte Flussstelle genügt, wird sich dieserhalb schon nach kurzer Zeit als nicht mehr den Anforderungen entsprechend erweisen. Nimmt man trotzdem, wie es üblich und auch wohl zweckmässig ist, bei jedem Fluss für längere, nach den allgemeinen Wasserhältnissen gewählte Strecken nur ein Normalprofil an, so lassen sich für die hier in Frage kommende Schiffbarmachung brauchbare Resultate nur dann erzielen, wenn die Normalbreite für diejenigen Flussstrecken berechnet wird, in denen sich — von aussergewöhnlichen Stellen, wie bei Steinriffen, Flussschnellen u. s. w. abgesehen — zur Zeit der Aufstellung der Vorarbeiten versandete Profile, also die gewöhnlichen Sinkstoffschwellen vorfinden. Diese Rücksicht ist nothwendig, weil die Sinkstoffschwellen stetig vorrücken, mit der Zeit also, wenigstens in geraden Strecken, jede Flussstelle passiren.

Da die Sinkstoffschwellen in den oberen Lagen nur bei einer Geschwindigkeit, die den Widerstand der Sinkstoffe überwindet, abgewaschen und fortgeführt werden und zwar um so wirksamer, je grösser die Geschwindigkeit ist, empfiehlt es sich, letztere für die Berechnung der Normalprofilbreite möglichst gross anzunehmen. Beliebig lässt sie sich zwar nicht wählen, in den meisten Fällen aber doch mindestens so gross, als sie in annähernd regelmässigen Strecken des Flusses schon vor Beschränkung seiner Breite im Maximum vorhanden ist und von der Schifffahrt ohne Nachtheil bei der Bergfahrt überwunden werden kann. Direct auf den Sinkstoffschwellen finden sich solche regelmässigen Profile nicht vor, auch sind die daselbst rechtwinklig zur Flussrichtung aufgenommenen Profile zur Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit nicht geeignet, weil das Abflussprofil wegen des durch die Lage der Bänke hervorgerufenen serpentinartigen Uebergangs der Fahrinne von einem zum anderen Ufer nicht rechtwinklig zu dieser Rinne liegt. Man ist daher auf regelmässige Profile, welche sich in der Nähe der Schwellen in geraden Strecken vorfinden, angewiesen. Demgemäss ist bei dem zu Grunde gelegten Wasserstande eine grössere Anzahl von Querprofilen aufzunehmen und aus dem Flächeninhalt jedes einzelnen und der zugehörigen Wassermenge der jedesmalige Werth für v zu entwickeln. Das arithmetische Mittel sämmtlicher Werthe für v wird man nach dem oben Gesagten zur Berechnung der Normalbreite nicht verwenden, sondern nur das arithmetische Mittel der relativ grössten mittleren Geschwindigkeiten, da letztere am ersten die Vertiefung der Flusssohle erwarten lassen. In wie weit dieses in Wirklichkeit der Fall sein wird, lässt sich bei dem heutigen Stande der Wissenschaft mit Sicherheit nicht angeben; hierüber kann erst später die Erfahrung entscheiden.

Eine derartige Unsicherheit macht sich jedoch und vielleicht noch in höherem Grade auch dann geltend, wenn die zur Bestimmung der Normalbreite erforderliche

mittlere Geschwindigkeit aus dem Gefälle des Flusses bestimmt wird, da jede, selbst relativ kurze Flussstrecke ein verschiedenes Gefälle besitzt.

Ist Q und v bekannt, so bleibt nur noch der Werth für R zu suchen. Aus den Profilaufnahmen erhält man gleichzeitig die mittleren Tiefen des Flusses (vergl. Cap. V. B, § 14) in den verschiedenen Querprofilen. Da nun die in der Nähe der Sinkstoffschwellen gefundenen mittleren Tiefen die Schifffahrt bei niedrigen Wasserständen behindern und sich der Erfahrung gemäss als unzureichend erwiesen haben, wird man zur Ausbildung des Normalprofils jedenfalls eine grössere mittlere Tiefe wählen müssen. Von einzelnen Hydrotekten ist vorgeschlagen worden, der Berechnung des Normalprofils (vergl. Deutsche Bauz. 1875, S. 303) die sogenannte „theoretische“ mittlere Tiefe beim kleinsten Wasserstande des Flusses, d. i. das arithmetische Mittel der, aus dem graphisch aufgetragenen Längenprofil der Fahrrinne, mit Hilfe von Querprofilen gefundenen, durchschnittlichen grössten und desgleichen der, auf den Uebergängen vorhandenen durchschnittlichen kleinsten Tiefen zu Grunde zu legen. Die hieraus resultirende mittlere Tiefe erscheint indessen zu gross, weil sie lediglich die Maximaltiefen der einzelnen Querprofile berücksichtigt, alle übrigen Tiefen aber unbeachtet lässt. Die Normalbreite würde alsdann zu klein werden, und dieser Eventualität darf man sich bei der zur Zeit noch mangelhaften Kenntniss über die Wirkungen der Einschränkungswerke nicht wohl aussetzen. Man wird vielmehr einer solchen mittleren Tiefe den Vorzug geben, welche zunächst eine übermässige Beschränkung der Flussbreite sicher ausschliesst.

Entspricht nun auch die aus der Summe aller vorhandenen Tiefen, also die aus dem Flächeninhalt einer grossen Zahl von Querprofilen sich ergebende mittlere Tiefe für ein und denselben Wasserstand nur dem zeitigen Zustande und ist sie daher zur Erhöhung der Schifffahrt des Flusses nicht ausreichend, so führt doch ihre Ermittlung wenigstens dahin, das Verhältniss kennen zu lernen, welches zwischen der im unregulirten oder mangelhaft regulirten schiffbaren Flusse vorhandenen mittleren Tiefe und der nutzbaren Minimaltiefe in der Fahrrinne besteht. Aus diesem Verhältniss lässt sich aber annähernd der Schluss ziehen, ob und in wie weit diejenige mittlere Tiefe, welche das Schifffahrtsbedürfniss beansprucht, überhaupt zu schaffen ist. Das Schifffahrtsbedürfniss bedarf also bei Festsetzung des Werthes für R einer besonderen Berücksichtigung, und es bleibt in jedem einzelnen Falle zu erwägen, ob und welche Nachteile durch Vermehrung der mittleren Tiefe eintreten können.

Durch Einsetzen der so gefundenen Werthe für Q , v und R erhält man den Werth der Normalbreite b für den gewählten niedrigen Sommerwasserstand.

Kann aus den hierbei gewonnenen Resultaten mit genügender Sicherheit die zur Bestimmung für den niedrigsten, mittleren und für den Wasserstand des bordvollen Flusses nothwendige Modification der Werthe für Q , v und R nicht abgeleitet werden, dann bleibt nur übrig, ähnliche Ermittlungen für jeden der genannten Wasserstände anzustellen. Man darf indessen nach obigen Erörterungen zur Zeit keinesfalls auf absolut sichere Resultate rechnen, weil die Gesetze über die Bewegung des Wassers in Flüssen und über die Wirkung der Regulirungswerke bis jetzt noch nicht hinreichend genug aufgeklärt sind. Bleibt sonach die Jetztzeit noch auf weitere Erfahrungen angewiesen, so empfiehlt es sich auch, jede übergrosse Beschränkung der Flussbreite zunächst zu vermeiden, vielmehr einstweilen nur durch eine mässige Beschränkung auf Vermehrung der mittleren Tiefe in schiffbaren Flüssen, und zwar

allenfalls nur in einzelnen Versuchsstrecken, von ausreichender Länge hinzuwirken und zu berücksichtigen, dass eine spätere nochmalige Beschränkung leichter ausführbar ist, als die nachträgliche Erweiterung der Normalprofilbreite. Im Hinblick auf diese Eventualität wird man bis auf Weiteres bei Flussregulirungen eine Bauart wählen müssen, welche die nachträgliche Verschiebung der Regulirungswerke wenigstens auf einer Uferseite, je nach der Flussgestaltung der einzelnen Strecken, ohne grosse Kosten ermöglicht.

§ 3. Vorarbeiten. Gegenstand der Vorarbeiten ist es, festzustellen, ob und wie weit die Lösung der in § 2 angegebenen Aufgabe möglich und erreichbar ist, und dieses bedingt die sorgfältigste Ermittlung der speciellen Flussverhältnisse. Dementsprechend sind zunächst Situations- und Nivellementspläne, sowie zahlreiche Querprofile des Flusses derartig umfassend aufzunehmen und darzustellen, dass sich daraus die zeitige Gestaltung des Flussbetts und seines Inundationsgebiets mit Sicherheit ersehen lässt. Ausserdem sind noch Wasserstands-Beobachtungen, Geschwindigkeits- und Consumtionsmessungen erforderlich. Das Nähere über sämtliche hydrometrischen Arbeiten ist bereits in Cap. V unter C behandelt; es erübrigen daher hier nur noch Erörterungen über das Regulirungs-Project.

Soll dasselbe ein einheitliches werden, so muss zunächst ein generelles Project für die gesammte, bei der Regulirung in Frage kommende Flussstrecke aufgestellt werden. Die bisweilen geübte Methode, ohne generelles Project lediglich Stückprojecte für einzelne kurze, der Verbesserung zeitweise am meisten bedürftige Flussstrecken aufzustellen, empfiehlt sich nicht. Derartige Stückprojecte und die sich daraus entwickelnden Stückregulirungen haben, da sie meist nur die speciellen Verhältnisse der zu regulirenden kurzen Flussstrecke berücksichtigen können, zu manchen bisherigen geringen Erfolgen und zu dem Misstrauen gegen einen Theil der ausgeführten Regulirungen geführt. Bietet doch die Schiffbarkeit des Flusses auf einzelnen Strecken keine grossen Vortheile, so lange ober- oder unterhalb noch Hindernisse vorhanden sind. Durch Stückregulirungen werden aber die unterhalb belegenen, unregulirten Strecken direct verschlechtert, indem dort die oberhalb durch die Wirkung der Bauwerke fortgetriebenen Sinkstoffmassen zur Ablagerung gelangen und zur weiteren Verminderung der Fahrtiefe beitragen. Auch können die erbauten Werke nicht ihre volle Wirksamkeit bethätigen. Endlich sind sie auch einem erhöhten Angriff des Wassers ausgesetzt und erfordern dieserhalb eine kostspielige Unterhaltung. Alle diese Uebelstände vermeidet ein einheitliches generelles Project. Nur dann, wenn die Verhältnisse eines ganzen Flusses und ihr innerer Zusammenhang als ein einheitliches Ganze behandelt werden, lässt sich zu einem sicheren Urtheil über die anzuwendenden Regulirungsmittel und zu einer zweckgemässen Disposition der Regulirungsarbeiten gelangen. Mögen sich auch im Laufe der Zeit, da die Bauausführungen gewöhnlich Decennien erfordern, Abweichungen von dem zuerst aufgestellten generellen Projecte als nothwendig erweisen, und mögen auch die zunächst gewonnenen Erfahrungen nachträglich Modificationen bedingen; immerhin ist durch ein generelles Project, vorausgesetzt, dass solches überhaupt von richtiger Beurtheilung der Sache ausgeht, eine Basis gewonnen, welche Aufgabe, Ziel und Endzweck der Regulirung von vorneherein klarstellt und dementsprechend jedes planlose, partielle und daher einseitige Vorgehen verhindert, die Vervollkommnung der Grundidee aber jederzeit gestattet. Zwar können sich im Lauf der Zeit die äussere Gestaltung des Flussbetts und das Schiffahrtsbedürfniss ändern; es bleiben aber die wesentlichen Factoren —

Wassermassen, absolutes Gefälle, Sinkstoffe und allgemeine Beschaffenheit des Fluss-thals — nahezu wenigstens insoweit constant, dass zu einer nachträglichen principiellen Aenderung der Regulierungsprincipien des generellen Project, dessen sachgemässe Anordnung vorausgesetzt, keine Veranlassung vorliegt; es kann sich nur um Aenderung der Streichlinien, Berichtigung der Normalprofilbreiten und der Gestaltung des Normalprofils, sowie um Verbesserungen der Construction der Bauwerke handeln.

Das generelle Project bietet der Flussbauverwaltung aber auch den nicht zu unterschätzenden Vortheil, rechtzeitig allen etwa eintretenden, nachtheiligen Veränderungen des Flussbetts auf den in der Regulirung noch nicht begriffenen Strecken entgegenzutreten und günstige Momente auszunutzen, während ohne einheitlichen Plan dort in der Regel Nichts geschieht, und oft den Uferbesitzern Vieles gestattet wird, was sich nachher als ein Hinderniss für die weitere Regulirung erweist.

Endlich lässt sich auch nur durch Aufstellung eines einheitlichen Project für die gesammten Arbeiten ein Urtheil über die Gesamtkostensumme der Regulirung und über die planmässige Beschaffung der Geldmittel gewinnen, wengleich auch in dieser Beziehung bei Aufstellung der speciellen Projecte und Kostenanschläge für die Regulierungsarbeiten der einzelnen Flussstrecken Modificationen unausbleiblich sind.

Das auf Grund der Vorarbeiten aufzustellende generelle Project muss aus einer Denkschrift (Erläuterungs-Bericht), einem Kostenüberschlage, einem Situations- und einem Nivellementsplan, sowie aus einer grösseren Zahl von Querprofilen bestehen. Die Denkschrift erläutert eingehend Zweck, Aufgabe und Mittel der Regulirung; im Kostenüberschlage wird die zur Ausführung erforderliche Bausumme ermittelt, im Situationsplan die Lage der im Inundationsgebiet, speciell im Flussbett auszuführenden Regulierungswerke, im Nivellementsplan das Längenprofil des Flusslaufs, in den Querprofilen aber die zeitige Gestaltung des Flussbetts dargestellt.

Den allgemeinen Principien der generellen Projecte entsprechend, werden dann im Stückproject, erforderlichen Falls auf Grund neuer Aufnahmen der betreffenden Flussstrecke und der Querprofile, die speciellen Verhältnisse dieser Strecke erläutert, nothwendig werdende Modificationen motivirt, die Dimensionen und die genaue Lage der auszuführenden Bauwerke mit den Details ihrer Construction dargestellt, sowie auch die Baukosten genau ermittelt und die zur Bauausführung erforderlichen Dispositionen näher erörtert. Es besteht daher aus einem Erläuterungsbericht, einem Situationsplan, aus den nöthigen Querprofilen und Detailzeichnungen der Bauwerke, sowie aus einem Kostenanschlag und einem Baudispositionsplan.

Für jede Flussregulirung stellen sich die Baukosten, da diese von den speciellen Eigenschaften des Flusses, von den gewählten Regulierungswerken und dem zu verwendenden Baumaterial, im Allgemeinen also von rein localen Verhältnissen abhängen, so sehr verschieden, dass es für den Specialfall keinen practischen Werth hat, die Kosten bisheriger Ausführungen hier näher anzugeben, um so weniger, als zur Zeit wohl noch kein vollkommen regulirter Fluss existirt.

§ 4. Regulierungsmittel. Verschiedene Arten derselben. Von den zur Lösung der Regulierungsaufgaben (§ 2) anzuwendenden Mitteln sind die sog. Regulierungswerke, d. h. diejenigen Bauwerke, welche die Regulirung des eigentlichen Flussbetts bezwecken, besonders hervorzuheben. Sie sollen auch, da von den sonstigen Regulierungsmitteln in §§ 11, 12, 13 und 15 näher die Rede sein wird, hier ausschliesslich zur Erörterung gelangen.

Sämmtliche, bis jetzt bekannten Regulirungswerke sind — wenn aus den im § 1 angegebenen Gründen von den bei Flusscanalisirungen (Cap. IX. B) vorkommenden Bauwerken hier abgesehen wird — entweder Einschränkungs- oder aber Uferdeckwerke. Beide unterscheiden sich in mancher Beziehung. Zunächst principiell dadurch, dass Einschränkungswerke eine Beschränkung der Flussbreite bezwecken, Uferdeckwerke aber nicht, obwohl letztere auch stets eine gewisse Beschränkung hervorrufen. Während ferner Uferdeckwerke einen unmittelbaren Schutz der natürlichen Ufer gegen die Einwirkungen des fließenden Wassers veranlassen, wirken Einschränkungswerke, neben ihrem angegebenen Hauptzweck, nur mittelbar auf den Uferschutz hin. Endlich dienen Einschränkungswerke vorzugsweise den Schiffahrts-, Uferdeckwerke aber vorzugsweise den Landescultur-Interessen. Sind Uferdeckwerke auch zweifellos für die Schifffahrt von Vortheil, so vermögen sie doch zur Erhöhung der Schiffbarkeit nicht erheblich beizutragen; sie sichern aber die vorhandene Schiffbarkeit und sind zu diesem Zweck bei vielen kleinen Flüssen und selbst auch am Oberrhein in grossem Maasstabe angewendet worden.

Nach Allem kann die Regulirung mit Uferdeckwerken als ein für sich bestehendes System von Regulirungswerken angesehen und vom System der Einschränkungswerke unterschieden werden.

Die Einschränkungswerke sind entweder Bühnen oder Parallelwerke und hierzu, sowie zu den Uferdeckwerken gehören auch alle sonst noch bekannten Regulirungswerke. Flüsse, in denen nur eine Art der angegebenen Regulirungswerke ausschliesslich angewendet ist, gehören zu den Seltenheiten; es finden sich vielmehr fast in jedem bisher regulirten Flusse sowohl Uferdeck-, als auch Bühnen- oder Parallelwerke vor, je nachdem locale Bedürfnisse und Ansichten die Anwendung der verschiedenen Werke veranlasst haben.

Uferdeckwerke sind sämmtliche bauliche Anlagen, welche die in natürlichem Zustande nicht widerstandsfähigen Ufer gegen Beschädigung und Abbruch, oder allgemein gegen die nachtheiligen Wirkungen des fließenden Wassers unmittelbar sichern. Unter Bühnen werden alle diejenigen Flussregulirungswerke verstanden, welche vom festen Ufer aus und mit diesem verbunden unter rechtwinkliger, declinanter oder inclinanter Richtung zum Lauf des Flusses in denselben hineintreten, die Breite des natürlichen Flussbetts in einzelnen Querprofilen mehr oder weniger beschränken und bei niedrigen Wasserständen über dem Wasserspiegel hervortreten. Sofern letzteres nicht stattfindet, heissen die Bauwerke Grundschwellen. Sie durchziehen bisweilen den Fluss in seiner ganzen Breite, wenn die Hebung der Flussbettssole beabsichtigt wird. Treten die Bühnen nur wenig vor dem Ufer vor, so nennt man sie auch wohl, weil sie das Ufer mittelbar schützen, Schutzbühnen. Ausserdem unterscheidet man noch Sperrbühnen (Coupirungen), welche Flussarme und Nebenläufe absperren; Schöpfbühnen, welche bei Flusspaltungen von den Inseln aus aufwärts in den Fluss derartig vortreten, dass die Hauptwassermasse nur einem Flussarm zugewendet wird, und Trennungsbühnen oder Separationswerke, welche bei Regulirungen des Einlaufs der Nebenflüsse in die Hauptflüsse von den, durch beide gebildeten Inselzungen aus, sowie bei Flusspaltungen von den unteren Inselspitzen abwärts in den Fluss geführt werden. Unter den sonstigen provinziellen Bezeichnungen, Kribben, Schlechten, Stacken, Schlengen, Spickdämme, Wuhre und Höfter sind durchweg Bühnen zu verstehen. Bei einfacher, leichter Bauart werden sie auch Schlickfänge, Schlickzäune und Traversen genannt.

Parallelwerke endlich sind diejenigen Flussregulirungswerke, welche den Fluss in annähernd paralleler Richtung zum natürlichen Ufer oder Wasserlauf durchziehen, die Flussbreite auf die gesammte Länge der Werke hin beschränken, und mit dem natürlichen Ufer nur an einzelnen Stellen durch besondere buhnenartige Anschlusswerke verbunden sind. Sie werden Uferschutzwerke, sobald sie mit dem früheren Ufer durch künstliche oder natürliche Verlandung überall verbunden sind. Parallelwerke werden auch Streich- oder Richtwerke genannt.

§ 5. Allgemeine Anordnung, Ausführung und Wirkung der Regulirungswerke. In Bezug auf die allgemeine Anordnung der Regulirungswerke tritt bisweilen die Frage auf, ob mit der Regulirung im unteren oder im oberen Fluss begonnen werden soll. In der Praxis wird diese Frage wohl nur selten zu entscheiden sein. Locale Bedürfnisse, sowie Rücksicht auf die Beschaffung der Arbeiter und Materialien bedingen in der Regel die Errichtung verschiedener, örtlich möglichst getrennter Baustellen. Insofern jedoch die Schiffbarkeit des oberen Flusslaufs meist nur beschränkte Vortheile bietet, so lange die unteren Strecken keine genügende und entsprechende Schiffbarkeit besitzen, erscheint es rationell, bei solchen Flüssen zunächst im unteren Flusslauf und zwar dort, wo sich das Bedürfniss zur Verbesserung geltend macht, zu beginnen und nach oben vorzuschreiten. Man erreicht hierbei auch den Vortheil, dass die beim Vorschreiten der Regulirung von den oberen, im Bau begriffenen Werken fortgetriebenen Sinkstoffmassen sich alsbald in den Zwischenräumen, welche die unteren schon fertigen Werke bilden und welche zur Verlandung gebracht werden sollen, ablagern und nun nicht mehr zur Verflachung der Fahrinne, des Fluthgebiets und der Seehäfen beitragen können, während beim Vorschreiten der Bauten von oben nach unten eine wiederholte Fortspülung ein und derselben Sinkstoffmassen nothwendig wird und diese zur Verflachung der noch nicht regulirten unteren Strecken beitragen.

Weitere Bemerkungen hierüber sind in nachfolgender Erörterung der verschiedenartigen Regulirungswerke eingeflochten.

a. Uferdeckwerke. Die Art der in jedem einzelnen Falle anzuwendenden Uferdeckwerke hängt von der Stärke der Strömung, von der Beschaffenheit des natürlichen Ufers und auch von der beabsichtigten Benutzung desselben ab. Jedes fließende Wasser greift die Ufer an; in erhöhtem Maasse aber findet dieses statt, wenn diese unregelmässig gestaltet sind, indem dann Wirbel und ungleichförmige Wasserbewegungen entstehen, welche Ab- und Unterwaschungen der Ufer, falls diese nicht aus festem Gestein bestehen, herbeiführen. Die oberen Schichten der Ufer, ihrer Unterstützung beraubt, stürzen nach, und es erzeugen sich so die über Wasser sichtbaren, sog. Uferabbrüche. Demnach erfordert ein wirksamer Uferschutz die Abschwächung der Strömung und die möglichste Vermeidung von Wirbelbildungen. Beides lässt sich im Allgemeinen durch Herstellung regelmässiger Uferlinien und durch flache Böschungen erreichen. Erstere veranlassen eine gleichförmige Bewegung des Wassers, indem sich die Wasserfäden dann parallel am Ufer entlang, ohne an dasselbe anzustossen, fortbewegen können; gleichzeitig wird aber auch die Veranlassung zur Bildung derjenigen Wirbel, welche durch die Unebenheit der Ufer hervorgerufen werden, aufgehoben. Die flache Böschung vertheilt die Angriffe des Wassers und mildert die nachtheiligen Einflüsse etwaiger, nicht ganz zu beseitigenden, unregelmässigen Bewegungen und Wirbel, indem diese dann nicht mehr senkrecht über einander wirken können. Auch erhält die künstliche Deckung durch flache Ufer eine sichere Basis.

Vorzugsweise ist der Fusspunkt und die stets unter Wasser, bezw. am Wasserspiegel liegende Fläche der Uferböschung der Beschädigung ausgesetzt; es bedarf daher die untere Böschung bis etwa zu dem mittleren Wasserstande einer solideren Befestigung als die obere Fläche. Vor allem aber ist der Böschungsfuss zu sichern und eine Unterwaschung desselben durch eine Deckung zu schützen, welche nicht in fester Verbindung mit dem Ufer steht, vielmehr selbstthätig in etwa entstehende Vertiefungen nachsinken, sie ausfüllen und dadurch die Ausbildung nachtheiliger Kolke verhindern kann.

Die Neigung der Uferböschung wird in der-Regel durch Rücksichten auf die Kosten der Ausführung bestimmt, und dieserhalb unter Wasser meist nur ein- bis zweifach veranlagt. Oft erfordert indessen die Art der Benutzung des Ufers und die geringe Breite des oberen Uferstreifens eine steilere Böschung, und verwendet man alsdann zur Befestigung Bohlwerke und Futtermauern, die jedoch als eigentliche Flussregulirungswerke nicht anzusehen sind. Sie erfordern eine tiefe Fundamentirung, da sich an der steilen Uferwandung stets eine grössere Wassertiefe und grössere Strömung erzeugt, wodurch das Flussbett angegriffen und die Stabilität der Bauwerke beeinträchtigt werden kann. Wegen ihrer Eigenschaft, das Flussbett zu vertiefen, finden Bohlwerke und Futtermauern auch bei Fährrampen und Landungsplätzen Anwendung.

Am nothwendigsten sind Uferschutzwerke am concaven Ufer, doch auch in geraden Flussstrecken dann nicht zu entbehren, wenn die Beschaffenheit des Ufers Abspülungen befürchten lässt. In manchen Fällen wird man selbst convexe Ufer schützen müssen, obwohl dort im Allgemeinen der Angriff des Wassers nicht erheblich ist.

Sämmtliche Uferschutzwerke, mit den dazu gehörigen Uferregulirungen, wirken auf gleichförmigere Bewegung des Wassers und durch Vermeidung der Uferabbrüche auch auf Verringerung der beweglichen Sinkstoffmassen hin, sind also, insofern sie die aus Abbrüchen entstehenden Schiffahrtshindernisse beseitigen, auch für die Schiffahrt von Vortheil, wenngleich sie zur Erhöhung der vorhandenen Schiffbarkeit nicht erheblich beizutragen vermögen, weil die Profillbreite, Wassertiefe, mittlere Geschwindigkeit und Wirksamkeit der Strömung durch Uferschutzwerke keine wesentliche Veränderung erleiden.

Das grossartigste Beispiel von Flussregulirung mit Uferschutzwerken zeigt der Oberrhein. Die Regulirung hatte dort zwar nicht den Zweck, die Schiffbarkeit des Flusses zu erhöhen; es handelte sich vielmehr lediglich darum, die Landesgrenzen zu fixiren, bezw. die durch Convention vom Jahre 1817 und 1840 festgesetzten Uferlinien herzustellen, den vielfach getheilten Stromlauf in ein einziges Bett zusammen zu fassen und die im Inundationsgebiet belegenen Terrains vor Verwilderung und Versumpfung zu schützen. Durch Coupirung der schädlichen Seitengewässer, sowie durch Trennungsbuhnen, Streich- oder Separationswerke, welche die Verlängerung des natürlichen Ufers bilden, sind vielfach ganz neue Ufer entstanden. Ausserdem wurden zahlreiche Durchstiche und Geradlegungen des Flussbettes ausgeführt, so dass der Oberrhein eine sehr regelmässige Gestaltung des Flussbettes erhalten hat, welche für die regelmässige Bewegung des Wassers und der Sinkstoffe, insofern also auch für die Schiffahrt, vortheilhaft ist.

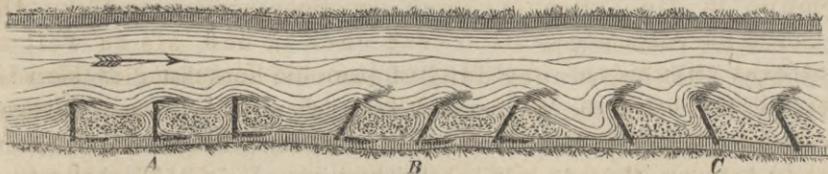
b. Buhnen. Bei Anordnung der Buhnen sind zunächst die neuen Ufer- oder Streichlinien, bis wohin die Werke vom natürlichen Ufer aus vorgetrieben werden sollen, festzusetzen. In dieser Beziehung ist die Gestaltung des Flussbettes zwar wesentlich bestimmend; man sucht jedoch dabei gleichzeitig, auf eine Abflachung bestehender Krümmungen und Erhaltung möglichst geradliniger Strecken hinzuwirken, und berücksichtigt auch die vorhandenen Tiefen des Flussbettes, insofern sich die Ausführungskosten bei Verwendung flacher Stellen zu den Bauwerken ermässigen lassen. Endlich

ist auch bei der Wahl der Streichlinien darauf zu achten, die Anlage von kurzen Buhnen zu vermeiden und diese durch Parallel- oder Uferdeckwerke zu ersetzen, welche eine regelmässigeren Wasserbewegung veranlassen und in Concaven auch einen besseren Uferschutz gewähren. Zudem tragen kurze Buhnen nicht wesentlich zur Einschränkung der Flussbreite bei und erzeugen nur geringe, oft auch gar keine Verlandungen. (§ 7.)

Im Allgemeinen sind Buhnen so anzuordnen, dass ihr eigentlicher Zweck — allmähliche Erzeugung neuer, die Flussbreite beschränkenden Ufer — erreicht wird. Dies kann nur geschehen, wenn sich zwischen den Buhnen vollständige Verlandungen oder sogenannte Alluvionen bilden, welche sowohl die natürlichen Ufer, als auch die Werke selbst zu schützen vermögen, und nach dem Flusse zu ein möglichst regelmässiges Ufer mit flachen Böschungen herstellen. Der letzten Bedingung entsprechend müssen die Buhnenköpfe solide Construction von dauerndem Bestand und vor Allem sehr flach veranlagte Böschungen erhalten. Für die Verlandung und den Uferschutz ist die Richtung der Buhnen zum Stromstrich von Einfluss. Nach allen bisherigen Erfahrungen hat sich die inclinante Richtung als die zweckmässigste erwiesen, so dass declinante Buhnen meist nur noch bei Einmündungen von Nebenflüssen u. s. w. und bei Anlage von Flusshäfen Verwendung finden. Namentlich ihre Eigenschaft, beim Ueberfall des Wassers die natürlichen Ufer anzugreifen und Theile der kaum gebildeten Alluvion wieder zu zerstören, macht sie zu Flussregulirungen ungeeignet. Eine allgemeinere Verwendung derselben findet zur Zeit nur noch bei amerikanischen Flüssen statt; doch verwendet man auch dort schon, wie neuerdings im Mississippi, versuchsweise inclinante Buhnen. Auch Buhnen mit rechtwinkliger Richtung zum Flusslauf leiden an diesen Uebelständen, da die Fahrrinne periodisch ihre Richtung verändert und dann zeitweise derartige Buhnen ähnlich wie declinante wirken. Dieserhalb und weil sie für die Alluvionbildung nicht wirksam genug sind, werden auch Buhnen mit rechtwinkliger Richtung in Deutschland nur selten angewendet. In Holland dagegen (Zeitschr. f. Bauw. 1872, S. 55) legt man die Buhnen stets senkrecht zur Regulirungslinie und in Krümmungen senkrecht zur Tangente der letzteren und ist der Ansicht, dass hierdurch ein regelmässigerer Uebersturz des Wassers und vollkommene Verlandungen als bei inclinanten Buhnen erzeugt und dass auch die Parallelströmungen längs der Werke sowohl, als auch die Umströmungen der Buhnenköpfe vermieden werden. Letzteres widerlegt sich indessen schon durch den oberhalb jeder Buhne entstehenden Stau, welcher einen Abfluss des Wassers aus den Intervallen der Buhnen nach dem uneingeschränkten Theil des Flusses bedingt.

Nach Hagen's Versuchen über die Wirkung der Buhnen bei verschiedener Richtung zum Lauf des Wassers in einem künstlichen Canal erzeugten sich, wie Fig. 2 darstellt, bei rechtwinkligen und declinanten Buhnen (A und B) die schraffirt

Fig. 2.



gezeichneten Uferabbrüche und es lehnten sich die punktirt dargestellten Alluvionen weder an das Ufer noch an die Bauwerke an, während bei inclinanten Buhnen (C) keine Uferabbrüche und regelmässige Alluvionen erfolgen; doch war bei diesen Werken

die Strömung vor dem Kopf am stärksten. Die Resultate dieses, mit der Erfahrung in Flüssen übereinstimmenden Versuchs lassen ebenfalls inclinante Buhnen als die zweckmässigsten erscheinen; sie weisen jedoch auf die Nothwendigkeit hin, die stärkere Strömung vor dem Kopf durch flache Böschungen zu mildern.

Eine allgemeine Regel für den Winkel, welchen die inclinanten Buhnen mit der Streichlinie bilden, lässt sich zur Zeit noch nicht angeben; die Gestaltung der Ufer bedingt vielmehr häufigen Wechsel. Man folgt daher in dieser Beziehung den Erfahrungsergebnissen und hat dementsprechend beispielsweise bei der Memel-Regulirung

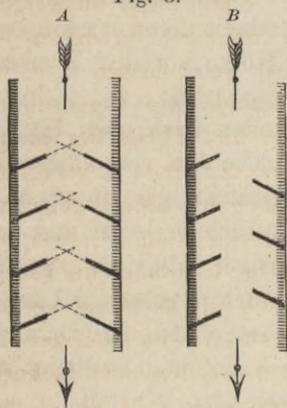
in geraden Strecken einen Winkel von 105 bis 110° ,

„ concaven „ „ „ „ 100 bis $102\frac{1}{2}^\circ$,

„ convexen „ „ „ „ 90 bis 100°

angenommen, weicht aber auch hiervon nach Erforderniss, namentlich beim Uebergang von einer Stromrichtung in die andere ab.

Fig. 3.



Werden an beiden Ufern des Flusses Buhnen angelegt, so pflegen sie nach Fig. 3, A in geraden Strecken derartig gerichtet zu werden, dass je zwei direct gegenüberliegen und ihre Verlängerungslinien sich in der Mitte des neuen Flussbetts durchschneiden. Auf diese Weise wirken beide Werke auf die Einengung der Flussbreite in ein und demselben Querprofil. Die in Fig. 3, B dargestellte Anordnung, nach welcher die Buhnen in geraden Strecken nicht direct gegenüberliegen, erscheint nicht zweckmässig, weil hierbei die Strömung in die Zwischenräume der Werke geleitet und dadurch die Bildung und Erhaltung der Alluvionen beeinträchtigt wird. In Curven liegen die Buhnen vielfach nicht gegenüber.

Die Entfernung der Buhnen von einander richtet sich nach der Normalbreite, Stärke und Richtung der Strömung, Buhnenlänge und Form des Flussbetts. In concaven Strecken muss sie wegen der dort am meisten gestörten Wasserbewegung eine geringere, als in geraden Strecken und in diesen wieder eine geringere, als in Convexen sein. Genau lässt sich die Entfernung noch nicht ermitteln, wenigstens sind alle derartigen, bis jetzt aufgestellten Regeln für die Praxis werthlos. Die Auffindung einer, für alle Verhältnisse passenden Regel wird auch durch die Eigenschaft der Fahrrinne, ihre Lage und Richtung in geraden und wenig gekrümmten Strecken in Folge des Vorrückens der Sinkstoffbänke stetig, wenn auch annähernd gesetzmässig zu verändern, sehr erschwert. Man folgt daher bei Bestimmung der Buhnenentfernungen den speciellen Erfahrungen und bemüht sich dabei, den Zweck der Alluvionbildung besonders im Auge zu behalten, vor Allem also das Eindringen der Strömung in die Zwischenräume der Buhnen zu vermeiden. Dieserhalb empfiehlt es sich im Allgemeinen die Werke eher zu nah, als zu weit von einander entfernt anzulegen. Nach Hagen kann die Entfernung in kleinen Flüssen $\frac{3}{4}$ der Normalbreite betragen, für grosse Flüsse, wie der Rhein, wird dagegen $\frac{1}{3}$ der Breite für zweckmässiger gehalten. Bei den in neuerer Zeit in der Memel erbauten Buhnen ist in geraden Strecken eine Entfernung von $\frac{5}{7}$ der Normalbreite mit der Modification festgesetzt worden, dass sich diese Entfernung bei kurzen Buhnen und in den Concaven um die Hälfte ermässigt, in Convexen aber, soweit es sich um Festlegung vorhandener Sinkstoffbänke handelt, um das Doppelte vermehrt. Wird die

Entfernung mit Rücksicht auf die Kosten der Ausführung zu gross gewählt, so macht sich meist später doch noch die Anlage von Zwischenwerken erforderlich.

Nach erfolgter Verlandung sind die Bühnen mit Ausschluss ihrer Köpfe jeder kostspieligen Unterhaltung entzogen, da dann die, alsbald nach Erbauung der Werke eintretenden nachtheiligen Wasserbewegungen in den Intervallen oberhalb, in der Richtung von der Wurzel nach dem Kopfe jedes Werkes aufhören und Beschädigungen an den vorhandenen Bühnen nur noch an deren Oberfläche eintreten können.

Nur die Köpfe bedürfen dauernd einer sorgfältigen Unterhaltung und diese ist nur dann eine relativ geringe, wenn die gesammten Constructionstheile solide und die vorderen Böschungen so flach sind, dass sich auch in deren Nähe Sinkstoffe ablagern können. Vermag der Kopf dem steten Angriff des Wassers nicht dauernd und mit Erfolg zu widerstehen, so kann auch die bereits ausgebildete Alluvion und schliesslich auch die ganze Buhne nicht Bestand haben. Die flachen Kopfböschungen sind ausserdem für die Ausbildung eines regelmässigen Flussbetts von ganz besonderem Einfluss, indem sie die Bildung der Wirbel theils verhindern, theils deren Wirkungen so abschwächen, dass keine nachtheiligen Vertiefungen oder Kolke vor den Werken entstehen. (Vergl. Deutsche Bauz. 1875, S. 222.)

Fig. 4.



Die Köpfe der Bühnen werden bisweilen auch nach Fig. 4 noch mit sogenannten Flügeln versehen, welche dem vorbeifliessenden Wasser zwar auf ihre Länge eine gleichmässiger Bewegung gestatten, den Stromangriff indessen nur örtlich verlegen und im Allgemeinen auf die Ausbildung regelmässiger Alluvionen nachtheilig einwirken. Derartige Flügel werden auch in grösserer Länge erbaut, wenn es sich darum handelt, die Strömung von den Intervallen der Bühnen abzuweisen; sie verhindern dann aber die Verlandung noch mehr, und erscheint in solchen Fällen die Anlage einer Zwischenbuhne zweckmässiger.

Auch von der Höhenlage der Buhne hängt der Erfolg der Alluvion ab. Dem Zweck, das für einen gewissen Wasserstand gewählte Normalprofil durch neue Ufer zu begrenzen, entspricht es, die Krone der Bauwerke über diesen Wasserstand so weit zu erheben, dass die sich bildende Alluvion eine Höhe erreichen kann, welche noch eine Bepflanzung gestattet. Pflanzungen können aber nur gedeihen, wenn sie während der Vegetationsmonate in ihrer Entwicklung nicht behindert werden; sie erfordern sonach eine Höhenlage, welche die Vegetationsgrenze etwas überschreitet. Aus diesem Grunde legt man die Bühnenkopfkronen bei der bis jetzt gebräuchlichen Constructionsort der Werke keinesfalls unter die Höhe der Vegetationsgrenze. Letztere kann beim durchschnittlichen mittleren Sommerwasserstande einer längeren, etwa 30jährigen Zeitperiode angenommen werden, und dieser lässt sich aus der sogen. Wasserstands-Curve (vergl. Cap. V, S. 223) ermitteln, indem die durchschnittlichen Monats-Wasserstände, welche unter dem absoluten mittleren Jahreswasserstande liegen, summirt und durch die Zahl der betreffenden Monate dividirt werden.

Dieser Wasserstand bleibt aber nicht dauernd constant; das Flussbett und mit ihm der Wasserspiegel kann sich in Folge der Regulirung und anderer Einflüsse mit der Zeit heben oder senken.⁷⁾ Eine Senkung benachtheiligt die Wirkung

⁷⁾ Ueber Senkungen des Wasserspiegels sind in der Zeitschr. des Bayer. Arch.- u. Ing.-Ver. 1870 einige statistische Notizen mitgetheilt. Bei der Elbe (Deutsche Bauz. 1875, S. 274) sind sowohl Hebungen als Senkungen constatirt worden, und ist der Schluss, dass das Flussbett in Bezug auf die Höhenlage der Sohle einem häufigen Wechsel unterworfen ist, wohl gerechtfertigt. (Vergl. auch Deutsche Bauz. 1877, S. 261.)

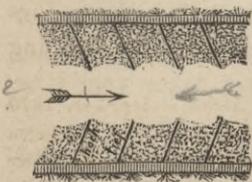
der Buhnen, wenn diese mit flachen, bis zum Flussbett reichenden Kopfböschungen versehen sind, nicht wesentlich; eine Hebung ist aber störend, indem sich dann über dem vorderen Theile der Buhne eine Strömung entwickelt, welche auf die Alluvionbildung daselbst hindernd einwirkt. Mit Rücksicht hierauf ist es zweckmässig, die Buhnenkopfkronen alsbald etwas höher anzulegen, als der mittlere Sommerwasserstand zur Zeit der Regulirung beträgt. Auch die Rücksicht auf die Ausführung der Werke und die gehörige Abdeckung der Krone macht diese höhere Lage wünschenswerth, oft sogar nothwendig, weil meist nur bei Wasserständen gebaut werden kann, welche tiefer liegen als die Krone, daher um so länger, je höher letztere gelegt wird. In Holland werden die Buhnenköpfe selbst $0^m,30$ über Mittelwasser gelegt.

Vom Kopf nach der Wurzel erhalten die Buhnen eine gewisse Steigung. Bei völlig horizontaler Lage der Buhnenkrone würde dieselbe bei allen, sie überragenden Wasserständen von einer gleichmässig hohen abfliessenden Wasserschicht bedeckt sein, und in Folge dessen die Alluvion überall ebenfalls nur eine annähernd gleichmässige Höhe erreichen können. Das natürliche Ufer erhält aber eine bessere Sicherung, je höher die Alluvion dort hinaufragt. Liegt nun die Buhnenkrone am Ufer höher als am Kopf, so bildet sich dort auch bei Ueberfluthung die relativ geringste Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers, und es wird in Folge dessen dort die Ablagerung der Sinkstoffe begünstigt. Auch bleibt durch die Ansteigung der Buhnenkrone die vorhandene Wassermasse für die Schifffahrt nutzbarer, als wenn bei horizontaler Buhnenkrone ein Theil des Wassers bei gewissen Wasserständen ganz ungenutzt abfliesst. Die Buhne tritt ferner bei vorhandener Steigung nicht plötzlich, sondern nach und nach aus dem Wasser hervor, was sowohl für die Sicherheit der Schifffahrt von Vortheil ist, als auch die Wassermassen nach der Mitte des Flussbetts drängt und dort eine Vertiefung desselben veranlasst.

Die Steigung der Buhnenkrone variirt vielfach, sie bewegt sich etwa in den Grenzen von 1:100 bis 1:200. Da sich die Wurzel der Buhne dem natürlichen, höher belegenen Ufer möglichst anschliessen muss, wird die Steigung dort oft erheblicher. Bei niedrigen Ufern dürfen diese nicht von der Buhnenkrone überragt werden, weil sich sonst bei höheren Wasserständen schädliche Ueberfälle bilden, welche das Ufer angreifen und die Buhne hinterwaschen. Es ist daher in diesem Falle die Steigung der Buhnenkrone entsprechend zu modificiren.

Die Alluvion soll nicht nur den Zwischenraum zweier Werke mindestens bis zur Höhe ihrer Kronen ausfüllen, sondern auch längs der Streichlinien ein neues, flaches, die Flussbreite durchweg einschränkendes Ufer bilden, dadurch die Wassermasse nach der Mitte des Flusses drängen und so auf die Ausbildung eines möglichst regelmässigen Flussbetts hinwirken. Von den Alluvionen hängt sonach der Erfolg der Regulirung ganz wesentlich ab und ist daher auf ihre Ausbildung besondere Sorgfalt zu verwenden. Hierzu bedarf es ausser einer rationellen Gesamtanlage der Buhnen vor Allem solider, flach abgeboechter Buhnenköpfe von dauerndem Bestande, da Sinkstoffablagerungen längs der Streichlinien nur dann veranlasst werden, wenn die Geschwindigkeit des Wassers daselbst eine mässige ist, und nur dann Bestand haben, wenn sie vor Fortspülung gesichert sind. Erfolgen nun auch diese Ablagerungen nicht genau in der Form der Streichlinien, so entstehen doch vielfach, etwa nach Fig. 5, so genügend regelmässige Uferlinien, dass längs derselben das Wasser ohne grosse

Fig. 5.



Störung abfließen kann. Nur an den Bühnenköpfen bleiben gewisse ungleichförmige Bewegungen bestehen; die Wirbel aber, welche vor erfolgter Alluvionbildung durch den Zusammenstoss zweier verschiedenen Wasserströmungen veranlasst wurden, sind beseitigt, weil oberhalb der Bühne von ihrer Wurzel nach dem Kopf auf der vollendeten, in der Höhe der Bühnenkrone liegenden Alluvion keine Strömung mehr stattfinden kann.

Immer erfolgt indessen die Alluvionbildung nicht so regelmässig, und wird es dann nöthig, durch leichte Zwischenwerke — Schlick- und Flechtzäune — sowie durch Pflanzungen, Spreutlagen, Rauhwehre und Sinkwalzen auf eine vermehrte Sinkstoffablagerung und Befestigung der bereits erfolgten, namentlich längs der neuen Uferlinien, hinzuwirken.

Wenn sich bei manchen bisherigen Flussregulirungen mit Bühnen nur mangelhafte Alluvionen erzeugt haben, so kann dies nicht den Bühnen im Allgemeinen, sondern lediglich der mangelhaften, vielfach irrationellen Anwendung derselben und dem Umstande zugeschrieben werden, dass auf die Alluvionbildung meist viel zu wenig Sorgfalt verwendet worden ist. Nach projectgemässer Ausführung der Bühnen hat man die Regulirung der betreffenden Strecke vielfach als beendet angesehen, während dies erst nach erfolgter Alluvionbildung der Fall ist, wozu es noch mehrjähriger, sorgfältiger Ergänzungsarbeiten bedarf.

Auch die Ausführung der Bühnen in Bezug auf ihre Erbauung in einem oder in mehreren Jahren ist für die Bildung der Alluvionen von Einfluss. Gewöhnlich tritt die Erscheinung auf, dass sich in der Nähe der Ufer zwischen den Werken zunächst nur geringe Sinkstoffmassen ablagern und dort tiefere Wasserbecken noch lange Zeit bestehen bleiben, während die übrigen Flächen der Intervalle bereits verlandet sind. Es lässt sich diese Erscheinung dadurch erklären, dass die in der Strömung befindlichen Sinkstoffe zwar seitwärts in die Intervalle der Bühnen gedrängt werden, dort aber in Folge der geringeren Geschwindigkeit alsbald zur Ablagerung gelangen und das Ufer nicht mehr erreichen. Hiernach darf man die Strömung des Wassers zwischen den Bühnen nicht plötzlich ganz aufheben. Dies geschieht aber für gewisse Wasserstände, wenn die Werke ohne Unterbrechung alsbald bis zur erforderlichen Höhe aufgeführt und hierdurch alle Strömungen des Wassers namentlich in der Nähe der Ufer verhindert werden. Zweckmässiger ist die Methode, die Bühnen zunächst nur im Unterbau bis über den niedrigen Wasserstand der Bauzeit auszuführen, sie so ein Jahr lang überall der Einwirkung der Strömung auszusetzen und dann erst im Oberbau zu vollenden. Da dieser, in Folge der Steigung der Bühnenkrone, am Ufer die grösste Höhe erreicht und daselbst zeitweise nicht mehr vom Wasser überfluthet wird, während solches auf dem übrigen Theil der Bühne noch statt hat, finden die in der Strömung vorhandenen Sinkstoffe dort die zur Ablagerung erforderliche Ruhe. Bleiben dennoch an den Ufern Wasserbecken bestehen, so empfiehlt es sich, dieselben mit leichten Werken zu durchziehen und so eine Verbindung des Ufers mit den anderen Ablagerungen herzustellen. Letzere dürfen nicht eher bepflanzt werden bis die Alluvion am Ufer vollendet ist, weil ihre Höhe durch Beflanzung immer mehr zunimmt und dann das Eindringen von Sinkstoffen nach den Wasserbecken am Ufer um so schwieriger wird. Die Beflanzung der Alluvion muss daher vom Ufer nach dem Fluss zu vorschreiten.

Im Interesse einer gleichmässigeren Verlandung zwischen den Bühnen ist auch der Vorschlag zu beachten, die Ausführung noch mehr zu verzögern und dieser-

halb zunächst aus Sinkstücken, Senkfaschinen oder Steinschüttungen nur Grundschwellen von geringer Höhe zu legen, diese erst nach erfolgter Verlandung durch eine neue Schicht zu erhöhen und in gleicher Weise fortzufahren, den Bau der Buhnen also erst nach einigen Jahren zu vollenden. So zweckmässig diese Methode in gewissen Fällen bei erheblichen Tiefen und gleichzeitig geringer Geschwindigkeit des Wassers auch ist, so lässt sie sich doch allgemein nicht verwenden, weil Grundschwellen von geringer Höhe schon bei mässiger Strömung unterwaschen werden, bei starker Strömung aber erhebliche Vertiefung und Verwilderung des Betts hervorrufen. Soll dieses möglichst vermieden werden, so muss sich die Grundschwelle eng an die Sohle des Betts anlehnen. Dieses ist aber nur durch grössere Mächtigkeit und sehr solide Construction der Grundschwellen zu erreichen.

Man verwendet sie gewöhnlich zur Verlängerung der eigentlichen Buhnen, behufs Schutz derselben und Befestigung des Flussbetts, sowie behufs weiterer Einschränkung des Niedrigwasserprofils, sodann zur Absperrung tiefer Rinnen und Seitengewässer oder auch zur theilweisen Verbauung von Nebenarmen der Flüsse, um dem Hauptarme mehr Wasser zuzuweisen, und endlich auch zur Hebung der Flussbettsohle. In letzterem Falle durchziehen sie den Fluss in seiner ganzen Breite, wie beispielsweise im Hauptarm der Rheinstromspaltung, dem sogenannten Budericher Canal bei Wesel. Dass sie eine solide Construction beanspruchen, haben die Erfahrungen in der Oder ergeben. Dort wurden vor Jahren von beiden Ufern Grundschwellen aus Senkfaschinen (§ 9) construirt und rechtwinklig in den Fluss hineingebaut in der Absicht, sie in den folgenden Jahren durch ähnliche Schichten von Senkfaschinen allmählich zu erhöhen und durch terrassenförmige, flache Anlage der Böschungen nach dem Fluss zu ein regelmässiges Bett herzustellen. Die Strömung zerstörte indessen die Grundschwellen sehr bald, und es fanden sich später die Senkfaschinen zerstreut im Flussbett vor, wo sie in einzelnen Fällen selbst Schiffahrtshindernisse bildeten. Grundschwellen wirken wie Grundwehre; sie erzeugen also einen unvollkommenen Ueberfall, welcher das Flussbett unterhalb angreift, während sich oberhalb Sinkstoffe ablagern. Durchzieht die Grundschwelle die gesammte Flussbreite, so hat sie die Erhöhung des Flussbetts zur Folge, indem sich nach und nach die oberhalb belegenen Tiefen mit Sinkstoffen bis zur Höhe der Schwellen und darüber hinaus anfüllen.

Während der Ausführung der Buhnen tritt in der Regel eine Vertiefung der Flussbettsohle ein, indem die fortschreitende Einengung des Profils unregelmässige Wasserbewegungen und eine Fortspülung der auf der Sohle lagernden Sinkstoffe veranlasst. Namentlich ist dies beim Bau mit Faschinen-Packwerk (§ 9) der Fall, weil hier die Senkung der einzelnen Faschinenlagen nur allmählich erfolgen kann. Bei starker Strömung ist die Vertiefung oft sehr erheblich, und es lassen sich die schwimmenden Faschinenlagen dann nur mit Steinen senken, weil Erde u. s. w. alsbald fortgespült wird. In solchen Fällen ist es zweckmässiger, das Flussbett so schnell als möglich mit einem Fundament aus Sinkstücken oder Senkfaschinen in genügender Stärke zu befestigen und unmittelbar darauf den weiteren Aufbau mit Packwerk bis zum Wasserstande der Bauzeit nachfolgen zu lassen. Jede Verzögerung oder Unterbrechung des Bauwerks ist hierbei nachtheilig.

In Bezug auf die Reihenfolge der Ausführung der Buhnen ist es üblich, mit der obersten jedes Systems (eine Reihe aufeinanderfolgender Werke auf beiden Ufern) zu beginnen, um hierdurch die nachfolgende unterhalb in geringerer Strömung erbauen zu können. Es kommen indessen auch Fälle vor, in denen die zeitige Fluss-

richtung oder sonst locale Verhältnisse die umgekehrte Anordnung bedingen. Da ein einzelnes Bauwerk die Strömung nicht immer abzuweisen vermag, führt man auch zuerst die beiden obersten Bühnen aus und lässt dann die beiden nächsten folgen. Diese Anordnung gewährt noch den Vortheil der zweckmässigeren Arbeitsvertheilung, indem die besseren, geübteren Arbeiter dann ausschliesslich zu den wichtigsten Leistungen bald an der einen, bald an der anderen Bühne verwendet werden können.

Die Wirkung der Bühnen besteht im Wesentlichen darin, dass sie durch Einschränkung der Flussbreite zunächst in einzelnen Profilen nach den Ausführungen unter § 2 e grössere Wassertiefe erzeugen, dass sie ferner in den Zwischenräumen der Werke die Bildung der Alluvionen veranlassen, indem der Mangel an Strömung daselbst, oder der geringere Grad derselben die Ablagerung der vom Flusse rollend oder schwimmend dorthin geführten Sinkstoffe bedingt, sowie auch darin, dass sie durch diese Alluvionen die natürlichen Ufer nach und nach umgestalten und neue Ufer bilden, welche die Flussbreite dann überall einschränken, auf die regelmässige Ausbildung des Flussbetts hinwirken und die Bühnen mit Ausschluss ihrer Köpfe der Einwirkung der Strömung und somit auch der kostspieligen Unterhaltung dauernd entziehen. Endlich ergibt sich auch als Folge der Bühnenanlage eine gleichmässigerer Vertheilung des Gefälles und die dauernde Festlegung eines grossen Theils der vorher beweglichen Sinkstoffmassen, sowie die hieraus resultirende Verringerung der Verflachungen des Flussbetts unterhalb.

Bühnen werden vorzugsweise in Norddeutschland, weniger in Süddeutschland zur Regulirung der Flüsse verwendet. Besonders zahlreich sind sie in den deutschen Hauptflüssen, Elbe, Oder, Weichsel und Memel, ebenso auch im Mittel- und Nieder-Rhein; doch sind dort auch vereinzelt Parallelwerke vorhanden. Nähere Mittheilungen hierüber finden sich in den Zeitschr. für Bauw. Jahrgang VI, VII, IX, XI und XV.

Da die Elbe in Preussen wohl als derjenige Fluss angesehen werden kann, bei dem die Regulirung mit Bühnen die erste Stelle einnimmt, mögen hier bezüglich dieser Strecke, von der in Fig. 2, Taf. XXVIII ein Theil oberhalb Magdeburg dargestellt ist, noch einige Erörterungen folgen:

Von der sächsischen Grenze bis zum Meer hat die Elbe eine Länge von rund 508^{km}. Hiervon gehören 407^{km} zu Preussen und 53^{km} gemeinschaftlich zu Preussen, Anhalt, Mecklenburg und Hamburg. Bei einem durchschnittlichen Gefälle von $\frac{1}{4800}$ bis $\frac{1}{6300}$ hat sie keine erhebliche Geschwindigkeit und als Sinkstoffe nur Sand und etwas Kies. Ihre Wassermenge beträgt zur Zeit der niedrigsten Wasserstände bei Torgau etwa 90 kb^m, zur Zeit der höchsten Fluthen daselbst 1800 kb^m und bei Magdeburg 4600 kb^m pro Secunde. Ihre meist durch Bühnen begrenzten Normalbreiten nehmen flussabwärts immer mehr zu. An der sächsischen Grenze beginnt die Normalbreite zur Zeit mit 100^m, erreicht an der Mündung der Saale 150^m, der Havel 188^m, der Aland 226^m, der Löcknitz 245^m, der Steknitz 283^m und wächst bis zum Meer auf 313^m.

Die Regulirung hat durch Beschränkung der Flussbreiten, Begrenzung des Inundationsgebiets mit hochwasserfreien Deichen, Beseitigung von Flusspaltungen und Flusskrümmungen, sowie durch Verwendung von Dampfbaggern eine wesentliche Verbesserung der Flussverhältnisse, namentlich auch eine namhafte Vermehrung der Fahrtiefe herbeigeführt. Die Bühnen werden aus Faschinen, theils auch aus Stein- und Kiesmaterial erbaut. Ihre Köpfe mit dreifacher Böschungsanlage liegen etwa in der Höhe des mittleren Wasserstandes, erhalten aber in neuerer Zeit in der Tiefe von 1^m,40 unter dem kleinsten Wasserstande noch Grundswellen, welche, aus Sinkstücken, Senkfaschinen und Steinen construiert, mit 12- bis 24fach veranlagter Böschung in den Fluss hineintreten, und so nicht nur eine weitere erhebliche Einschränkung des Niedrigwasserprofils, sondern auch eine rationelle Ausbildung des Flussbetts veranlassen. Auf der Zeichnung sind die Grundswellen punktirt angedeutet. Vom Kopf nach dem Ufer steigen die Bühnenkronen im Verhältniss von 1:200 an. Zum Schutz der Ufer gelangen ausser den Bühnen auch theils Deckwerke zur Verwendung.

Von besonderem Interesse sind die durch die Buhnen bereits erzielten Verlandungen, welche sich in Convexen durchweg zeigen, meist auch in geraden Strecken, und theilweise selbst in Concaven, falls diese mit längeren Werken ausgebaut sind. Durch Anlage von leichteren Zwischenwerken wird auf die Beförderung der Verlandungen hingewirkt und die Erhaltung derselben durch Weidenpflanzungen gesichert. Bis zum Jahre 1869 waren in der preussischen Elbe 14130 lauf. Meter Deckwerke und 4320 Buhnen bereits erbaut, deren Zahl sich inzwischen noch erheblich vermehrt hat, da die Regulierungsarbeiten in der Neuzeit energisch fortgesetzt werden. Ihre volle Beendigung, namentlich die Bildung eines den niedrigen Wasserständen entsprechenden regelmässigen Profils, welches allein den Ansprüchen der Schifffahrt auch im Hochsommer Genüge leisten kann, dürfte immer noch mehrere Decennien beanspruchen.

c. Parallelwerke. Bei Anordnung der Parallelwerke handelt es sich darum, die Flussbreite nicht wie beim Buhnensystem nur in einzelnen Profilen, sondern in längeren Strecken einzuschränken und innerhalb dieser Werke ein regelmässiges Fahrwasser herzustellen. Sie bilden alsbald neue Ufer, welche mit dem natürlichen nur an einzelnen Stellen in Verbindung stehen. Wo es Localverhältnisse gestatten, begnügt man sich, namentlich in kleinen Flüssen, mit dem Bau der Parallelwerke vor einem Ufer und legt an dem anderen nur Uferdeckwerke an. Wird indessen eine erhebliche Einschränkung erforderlich, so werden die Parallelwerke an beiden Ufern angeordnet, da der grosse Abstand der Werke vom Ufer die Gefahr der Hinterströmung erhöht, die Benutzung des Leinpfades erschwert und auch erhebliche Krümmungen des Fahrwassers bedingt.

Früher verwendete man Parallelwerke meist nur zur Verbesserung der Verhältnisse einzelner Flussstrecken und liess die zwischenliegenden Strecken uneingeschränkt. So wurden in der oberen französischen Mosel bis zur preussischen Grenze vor Jahren nach Fig. 1, Taf. XXVIII Parallelwerke nur dort erbaut, wo sich zur Zeit der Projectaufstellung Sinkstoffschwelen zeigten. Die Werke, welche zum Theil, wenn auch im beschädigten Zustande, noch heute bestehen, lehnen sich bald oben

Fig. 6.



und unten mit Curven an die beiderseitigen Ufer an, bald haben sie nach nebenstehender Fig. 6 nur einen oberen Anschluss und sind wohl auch nur vor einem Ufer vorhanden. Sie verengen den Fluss um etwa $\frac{3}{4}$ seiner Breite, bei Mittelwasser bis auf 25^m. In Folge dessen

wurden zwar innerhalb der Parallelwerke die Untiefen bald beseitigt; diese traten aber dann unter- und oberhalb der Werke im Fahrwasser auf, so dass nur eine örtliche Verlegung der Schifffahrtshindernisse erreicht worden ist.

Sodann haben Parallelwerke auch häufig in Strecken mit starkem Gefälle und unzureichender Fahrtiefe Anwendung gefunden, indem hierbei eine Vermehrung der letzteren, ohne gleichzeitige Senkung des Wasserspiegels in der oberhalb belegenen Flussstrecke, erstrebt wurde.

Derartige vereinzelte, oder in weiten Abständen von einander angelegte Werke vermögen indessen nur partielle Erfolge zu erzielen, und diese genügen keineswegs zur Schiffbarmachung eines ganzen Flusses. Dazu bedarf es vielmehr überall einer systematischen Einschränkung des Flussbetts.

Die Entfernung der Parallelwerke von einander ist derartig zu wählen, dass das Flussbett auf der gesammten zu regulirenden Länge im Wesentlichen durch die Werke selbst und nur in geringem Maasse durch die von denselben in den Zwischenräumen gebildeten Alluvionen eingeschränkt wird. Damit sich letztere aber nicht im

Fahrwasser der Zwischenräume ablagern, muss sich dort eine lebhaftere Strömung entwickeln. Die Entfernung der Parallelwerke bleibt sonach vom Gefälle, der Normalbreite, der Art der Sinkstoffe, der Wassermenge und von der Gestaltung des Flussbetts abhängig.

Zweckmässig erscheint es, die Werke so anzuordnen, dass sich abwechselnd bald an einem, bald am anderen Ufer unausgebaute Zwischenstrecken bilden, da ein Gegenüberliegen der letzteren in der Regel Sinkstoff-Ablagerungen in der Fahrrinne zur Folge hat. Annähernd findet sich eine solche Anordnung in einem für die untere Loire in früherer Zeit aufgestellten, jedoch nicht ausgeführten Project, von welchem Fig. 3, Taf. XXVIII eine kurze Strecke darstellt. Danach folgen die einzelnen Werke, unter Berücksichtigung der natürlichen Ufer und Sinkstoffbänke, in geringen Abständen von einander, und diese liegen meist nicht gegenüber. Die Werke bilden genügend zusammenhängende, fortlaufende neue Ufer und gestatten die Ablagerung erheblicher Sinkstoffmassen hinter denselben; sie ermangeln aber des gehörigen Anschlusses an die natürlichen Ufer, sind oft sogar nur oberhalb in die Bänke des Flussbetts eingebunden und dieserhalb der Gefahr der Hinterströmung und Zerstörung in hohem Grade ausgesetzt.

Anschlusswerke, welche die natürlichen Ufer mit den Parallelwerken verbinden und zu letzteren gewöhnlich rechtwinklig liegen, vermeiden diese Nachtheile. Ein Beispiel dieser Anordnung zeigt die Garonne von der Mündung des Lot bis zum Gironde-Departement (Ann. des ponts et chaussées 1848). Die Parallelwerke sind dort nach Lagrené in einem Abstand von 175^m bis 180^m (in starken Curven 200^m) im Fluss erbaut und mit den natürlichen Ufern durch zahlreiche, normal auf erstere gerichtete Anschlusswerke verbunden, welche nur 80 bis 100^m, bei starker Strömung sogar nur 40 bis 50^m von einander entfernt liegen. Auch in deutschen Flüssen, so an der Elbe, sind Anschlusswerke mit Erfolg verwendet worden, so dass sie als eine wesentliche Vervollkommnung dieser Regulirungsart angesehen werden können. Ihr grosser Nutzen besteht darin, dass sie den Uebersturz des Wassers über die Parallelwerke und die nachtheiligen Folgen von Hinterströmung bei höheren Wasserständen mässigen; sowie auch die Bildung der für den Bestand der Parallelwerke so wesentlichen Alluvionen befördern. Der Uebersturz des Wassers ist eine nothwendige Folge der Höhendifferenz, welche sich zwischen dem Wasserspiegel im eingeschränkten Flusslauf und demjenigen der abgeschlossenen Seitenbassins zur Zeit der Ueberfluthung der Werke bildet. Diese Höhendifferenz ist am bedeutendsten, wenn das Parallelwerk nur oben und unten mit dem Ufer in Verbindung steht und nur ein abgeschlossenes Bassin einfasst, bleibt aber auch dann noch erheblich, wenn das Parallelwerk bei grosser Länge nur am oberen Anfangspunkt mit dem Ufer verbunden ist, weil dort der Wasserspiegel im Bassin im Moment der Ueberfluthung um das absolute Gefälle des Flusses auf die Länge des Parallelwerks niedriger liegt, als im Fahrwasser. Der Uebersturz des Wassers greift aber die Bassinsohle in der Nähe des Parallelwerks und auch die innere Böschung desselben so heftig an, dass vielfach Beschädigungen und Zerstörungen der Werke eintreten. Durch zahlreiche Anschlusswerke wird die Differenz der Wasserspiegel, welche ohne solche beispielsweise in der oberen Mosel bei Werken von 1000^m Länge etwa 1^m,70 beträgt, eine geringere; sie kann aber noch mehr ermässigt werden, wenn an einzelnen Stellen das Parallelwerk ganz fehlt oder mit Oeffnungen versehen ist, welche die jederzeitige Verbindung des Fahrwassers mit jeder einzelnen Abtheilung des Seitenbassins her-

stellen. Bei dieser Anordnung vermögen die Sinkstoffe in die einzelnen Bassins einzutreten und die Verlandung derselben, welche andernfalls eine sehr langsame ist, zu beschleunigen. Es differiren dann die Wasserspiegelhöhen auch nur um die Grösse des entsprechenden Flussgefälles auf die Länge der betreffenden Abtheilung. Diese Differenz kann aber dadurch, dass man die Anschlusswerke etwas höher als die Parallelwerke legt, nahezu ganz aufgehoben werden.

Ein ferneres Mittel zur Milderung der Nachtheile der Ueberstürze besteht darin, dass man die Krone des Parallelwerks auf eine kurze Länge desselben etwas niedriger legt und so dem Eindringen des Wassers nach dem Bassin Vorschub leistet. In diesem Falle ist aber eine Befestigung und Abflachung der landseitigen Böschung des Parallelwerks an der Ueberfallstrecke erforderlich.

Der obere Anschluss des Parallelwerks mit dem Ufer, welcher in der Regel mittelst einer Curve erfolgt, und ähnlich einer declinanten Bühne wirkt, bedingt in Folge des Stauens im Oberwasser und auch wegen des heftigen Wasseranfalls, stets einen Uebersturz, und dieser ist nicht nur dem Parallelwerk daselbst wegen der eintretenden Auskolkungen der Flussbettsohle, sondern auch dem Ufer, wegen der in normaler Richtung zum Parallelwerk überstürzenden und so direct auf das Ufer gerichteten Wassermassen, verderblich. Letzteres würde sich durch eine inclinante Richtung des Werks in der Nähe des Ufers und demnächstigen Anlage einer angemessenen Curve als Uebergang zum Längswerk vermeiden lassen können, wobei ein Theil der Curve indessen, bis nach erfolgter Sinkstoffablagerung oberhalb des Werks, einem starken Wasserfall ausgesetzt bleibt.

Der untere Anschluss des Parallelwerks mit dem Ufer fehlt in neuerer Zeit ganz. Bei den Werken im Meuse-Fluss war ein solcher zunächst durch eine Curve hergestellt; es bildeten sich jedoch unterhalb in der Fahrrinne Versandungen, deren Beseitigung erst nach Abbruch des unteren Anschlusswerks erfolgte, indem die Strömung die abgelagerten Sandmassen nunmehr hinter die Parallelwerke verlegte.

Ausser dem Uebersturz sind es Hinterströmungen, welche den Bestand der Parallelwerke oft in Frage stellen. Bei Hochwasser verfolgt nämlich die Strömung nicht immer die eingeschränkte Fahrrinne, verlegt sich vielmehr häufig hinter die Werke, namentlich wenn diese in grosser Entfernung vom natürlichen Ufer liegen. In diesem Falle pflegen die Werke beschädigt oder auch durchbrochen und erhebliche Verwilderungen des Flussbetts veranlasst zu werden. Auch diesem Uebelstande begegnen zahlreiche Anschlusswerke insofern, als die Kraft der Strömung durch jedes einzelne derartige Werk gebrochen und theilweise zerstört wird. Sie befördern ferner die Ablagerung derjenigen Sinkstoffe, welche bei der Ueberfluthung der Parallelwerke letztere übersteigen und in jedem Anschlusswerk ein Hinderniss zum weiteren Vorrücken finden. Auch durch Verminderung der Flussgeschwindigkeit in den Seitenbassins tragen sie zur Ablagerung der Sinkstoffe daselbst bei.

Alluvionen können indess hinter den Parallelwerken nur langsam entstehen, weil die durch letztere abgeschlossenen Bassins nur für die Dauer der Ueberfluthung der Einwirkung der Strömung, also auch dann nur der Sinkstoffablagerung ausgesetzt sind. Für den Bestand der Werke aber und für Herstellung eines regulirten Flussbetts sind Alluvionen so wesentlich, dass auf ihre Bildung die grösste Sorgfalt verwendet werden muss. Erst dann, wenn Sinkstoffablagerungen die Seitenbassins vollständig ausfüllen und sich dadurch neue, das natürliche Ufer mit den Parallelwerken verbindende Uferflächen gebildet haben, werden die Werke dem Angriff des Wassers

und der Beschädigung im Wesentlichen entzogen, und es gelangt auch erst dann die Strömung zur vollen Einwirkung auf das eigentliche Fahrwasser.

Auch die Höhe der Parallelwerke ist von wesentlichem Einfluss auf die Alluvionbildung. Was in dieser Beziehung oben über Bühnen gesagt ist, gilt auch für Parallelwerke. Die Krone derselben muss ebenfalls die Vegetationsgrenze noch etwas überragen. Werden aber die Werke alsbald bis zu dieser Höhe angelegt, so vermögen die auf dem Flussbett rollend oder in geringer Höhe über demselben schwimmend fortgeführten Sinkstoffe die Werke nicht zu überschreiten, lagern sich dann ober- und unterhalb derselben oder im Fahrwasser oft in nachtheiliger Weise ab. Je niedriger daher die Werke liegen, desto mehr wird die Sinkstoffablagerung in den Seitenbassins befördert. Demgemäss ist es zweckmässig, Parallel- und ihre Anschlusswerke zunächst nur möglichst niedrig zu erbauen und sie so der Einwirkung der Strömung auszusetzen, eine Erhöhung aber erst vorzunehmen, wenn sich die Bassins mit Sinkstoffen angefüllt haben. Dabei sind die Anschlusswerke etwas höher anzulegen und dem natürlichen Ufer in dessen Nähe entsprechend anzupassen.

Bei der schon erwähnten Garonne-Regulirung wurden die Parallelwerke zunächst nur 1^m über dem *étiage* (der zur Zeit der Aufnahme des Flussnivellements bekannte kleinste Wasserstand, auf dem alle späteren französischen Projecte und Anlagen basiren, auch wenn nachträglich noch niedrigere Wasserstände eintreten) erbaut und die Höhe nach und nach bis auf 2^m,80 über dem *étiage* vermehrt, während die Höhe der Anschlusswerke noch 0^m,20 mehr betrug. Nach Lagrené sollen die Alluvionen dort, da die Garonne viel Sinkstoffe, namentlich Schlick, führt, in der kurzen Zeit von 6 Jahren schliesslich eine Höhe von 5^m über dem *étiage* erreicht haben. Dagegen sind an der sächsischen Elbe die Verlandungen noch wenig zufriedenstellend, und dies wird wesentlich der zu grossen Höhe der Parallelwerke zur Last gelegt.

Die Vegetationsgrenze bleibt, wie bereits oben bei den Bühnen erörtert wurde, nicht constant, weil der Wasserspiegel des Flusses Hebungen und Senkungen ausgesetzt ist. Dies kann bisweilen, wenn die Werke ihren Zweck dauernd erfüllen sollen, eine Erhöhung oder Tieferlegung derselben bedingen.

Die Steigung der Parallelwerke in ihren Längsbauten entspricht dem Gefälle des Flusses für die betreffende Länge. Der obere Theil des Werks, welcher den Anschluss mit dem natürlichen Ufer vermittelt, erhält eine grössere Steigung, und schliesst sich die Wurzel dem natürlichen Ufer möglichst an. Der untere Auslauf des Längswerks erhält, wenn er im Flusslauf endigt und mit dem Ufer nicht in Verbindung steht, flach abfallende Böschungen. Die Krone der Anschlusswerke steigt vom Längswerk nach dem natürlichen Ufer zu.

Die Ausführung der Parallelwerke beginnt mit dem oberen Uferanschluss und schreitet, nach Herstellung der Curven daselbst, im Längswerk in der Richtung des Flusses von oben nach unten vor. Ob hierbei ein gleichzeitiges Vorgehen auf beiden Ufern erforderlich wird, oder ob es zweckmässiger ist, zunächst nur ein Parallelwerk und dann erst das gegenüberliegende ganz oder theilweise auszuführen, hängt in jedem einzelnen Falle von der Anordnung der Werke und von der Gestaltung des Flusslaufs ab. Die Anschlusswerke werden in der Regel erst nach Herstellung der Längswerke unter deren Schutz im stillstehenden Wasser ausgeführt. Sofern Parallelwerke in nicht erheblicher Entfernung vom Ufer anzulegen sind, können Anschlusswerke ganz ausfallen und durch alsbaldige Hinterfüllung oder durch künst-

liche Herstellung der Alluvionen ersetzt werden. In diesem Falle verwandelt sich das Parallelwerk in ein Deckwerk.

Der Bau der Längswerke bedingt zunächst eine Störung und Veränderung in der Bewegung des Wassers. Oberhalb des curvenartigen Einbaues muss sich, ähnlich wie bei Bühnen, Stau erzeugen, und dieser hat an der jedesmaligen Baustelle des Längswerks eine grössere Flussgeschwindigkeit zur Folge. Sobald das Wasser aus dem engeren Profil in das breitere tritt, erfolgen dort heftige Umströmungen des Bauwerks und Vertiefungen der Flussbettsohle, zu deren Begegnung ähnliche Anordnungen wie beim Bühnenbau nothwendig werden können. Bisweilen sind indessen derartige Vertiefungen für den Bestand der Parallelwerke von Vortheil, indem sie alsbald eine tiefe Fundamentirung gestatten und dadurch spätere Senkungen der Werke verhindern. Tritt nämlich die Vertiefung der Flussbettsohle im Fahrwasser erst nach Erbauung der Werke ein, so werden diese unterwaschen und durch Nachsinken in die Vertiefungen beschädigt. Die flussseitige Böschung des Parallelwerks ist einem dauernden Angriff des Wassers ausgesetzt; doch bleibt dieser nicht gleichmässig und richtet sich zeitweise mit besonderer Heftigkeit, je nach der Richtung der Strömung, auf einzelne Stellen. Da diese vorher nicht zu bestimmen sind, muss die Construction des Werks überall eine sehr solide sein, und dies macht ihre Anlage kostbar. Namentlich muss die flussseitige Böschung eine Construction erhalten, welche etwa entstehende Vertiefungen des Flussbetts entweder verhindert oder sie selbstthätig beseitigt. Beides ist nur durch flache Böschungen mit Steinschüttungen oder Senkfascinen, also ähnlich wie bei den Bühnenköpfen, zu erreichen.

Für die Reihenfolge der Ausführung auf einander folgender Werke bleiben die speciellen Flussverhältnisse im Allgemeinen maassgebend. Kann das oberhalb gelegene Werk im Stau des unteren zur Ausführung kommen, so wird man letzteres zuerst und andererseits zunächst das obere Werk erbauen, wenn dadurch für das benachbarte untere Werk während der Ausführung eine geringere Strömung zu erzielen ist.

Die Wirkung der Parallelwerke äussert sich zunächst darin, dass sämtliche Wassermassen des Flusses bei niedrigen und mittleren Wasserständen in das neu gebildete Flussbett gedrängt und in diesem abgeführt werden. Da dieses überall nahezu gleiche Breite und im Wesentlichen parallele Ufer hat, so tritt auch eine nahezu gleichförmige Bewegung des Wassers — soweit solche im Flusse überhaupt möglich ist — ein, und es kann die Strömung, wenn die Ufer widerstandsfähig sind und bleiben, nur noch die Sohle angreifen, muss also eine entsprechende Vertiefung derselben, wenn sie aus beweglichen Sinkstoffen besteht, herbeiführen. Parallelwerke wirken aber ebenfalls als Stauwerke und erzeugen als solche eine grössere Wassertiefe. Da ausserdem die Einschränkung nach den Untersuchungen in § 2 e eine Vermehrung der mittleren Geschwindigkeit oder eine Vermehrung der mittleren Tiefe oder auch eine Vermehrung beider Factoren zur Folge hat, so findet in jedem Falle durch Parallelwerke eine Vermehrung der früheren Wassertiefe des Flusses statt, mag diese nun aus dem Stau oder aus der Vertiefung der Sohle oder aus beiden Factoren gleichzeitig resultiren. Jede Beschädigung der Werke verändert indessen die Wirkung derselben, und da sie ersterer dauernd und in hohem Grade ausgesetzt sind, bleiben die Erfolge, welche gewöhnlich mit Parallelwerken alsbald nach ihrer Erbauung erzielt werden, vielfach nicht constant.

Auf die Ausbildung der Ufer wirken sie nur sehr langsam hin, weil die abgeschlossenen Theile des Flussbetts der Strömung nur für die Dauer der Ueber-

fluthung also hauptsächlich nur bei Hochwasser ausgesetzt sind, und Sinkstoffablagerungen auch dann durch die Höhe der Werke verhindert oder doch sehr erschwert werden. Dass diese Uebelstände sich durch zweckmässige Anordnung der Parallelwerke mehr oder weniger beheben lassen, beweisen die Erfolge der Garonne-Regulirung. Dort hat sich nach Lagrené in Folge der Wirkungen der Parallelwerke das Gefälle des Flusses innerhalb der einzelnen Werke dem mittleren Flussgefälle genähert und auf den früheren Flussschnellen vermindert, während bei dem Anfangs gehobenen Wasserspiegel später eine Senkung zwischen den Parallelwerken, unterhalb derselben aber eine Erhöhung und unmittelbar oberhalb der Werke eine starke Strömung eingetreten ist. Beim *étiage* fand sich überall im Fahrwasser eine Minimaltiefe von 1^m,10 bis 1^m,65 anstatt der früher vor der Regulirung vorhandenen von 0^m,70 bis 0^m,80. Die Befürchtung, es werde sich der aus der Fahrrinne fortgespülte Kies und Sand unterhalb der eingeengten Strecken ablagern und dort Baggerungen nothwendig machen, hat sich nicht bewahrheitet; es ist demnach angenommen worden, dass sich die Sinkstoffe in den übergrossen Vertiefungen unterhalb angesammelt haben. In der Fahrrinne selbst sollen keinerlei Versandungen vorgekommen sein. Letzteres lässt darauf schliessen, dass die Flussgeschwindigkeit den Widerstand der Sohlensinkstoffe soweit überwindet, um diese in den oberen Schichten in steter Fortbewegung zu erhalten.

Schliesslich ist noch zu bemerken, dass Parallelwerke bei zweckmässiger Anordnung ebenfalls die Festlegung eines grossen Theils der vorher beweglichen Sinkstoffmassen des Flussbetts bewirken und hierdurch die Verflachung der unterhalb gelegenen Flussstrecken verringern.

Zu den Flüssen, deren Regulirung durch Parallelwerke erstrebt wird, gehört die Elbe in Sachsen, von welcher Fig. 16, Taf. XXIX einige Strecken bei Copitz und bei Dresden dargestellt sind. Die Arbeiten werden dort nach einem einheitlichen Plane vom Jahre 1860 ausgeführt. Derselbe bezweckt die Correction des Flussbettes, die Ausbaggerung der in demselben abgelagerten Sinkstoffe, soweit sie der Schifffahrt hinderlich sind und von der Strömung nicht fortgeführt werden, sowie endlich die Sicherung der Ufer.

Die Correction des 170 bis 270^m breiten Flussbetts erfolgt bis zur Höhe des mittleren Wasserstandes durch systematische Einschränkung des Flusses bis auf seine Normalbreite von 113^m durch Parallelwerke, zu deren Erbauung nach dem Profil zu Fig. 16 meist Steine und die aus dem Bett gebaggerten Kies- und Geröllemassen verwendet werden. Die Krone der Parallelwerke, früher auf 0^m,57 über Null A. P. zu Dresden normirt, wird gegenwärtig in Concaven 0^m,50 über, in Convexen aber zur Beförderung der Verlandungen 0^m,50 bis 1^m unter Null A. P. angenommen. Zu den Uferdeckungen benutzt man nicht mehr die früher gebräuchlichen Weidenanpflanzungen, sondern Steinpflaster oder Gerölle-Abdeckungen. Letztere sind namentlich in der Neuzeit als ein bewährtes Mittel in Gebrauch. Man stellt zu diesem Zwecke an den abbrüchigen Ufern flache Böschungen her und beschützt diese mit den aus dem Fluss gebaggerten groben Geröllen. Bis 1871 waren bereits 9628^m abbrüchige Ufer abgedeckt. Die gesammte Länge aller Deckwerke betrug 52000^m; auch waren zur Sicherung der Ufer und Leinpfade 262 Buhnen theils vom Staat, theils von Privaten erbaut.

Die Elbe hat in Sachsen eine Länge von rund 119^{Km} oder 238^{Km} Uferlänge, wovon 185^{Km} durch Parallelwerke ausgebaut werden sollen. Hierfür ist eine Summe von rund 9 Millionen Mark ausgeworfen, welche in Jahresraten von 210000 M. zur Verwendung gelangt, so dass die Durchführung der Regulirung 43 Jahre oder den Zeitraum bis 1903 erfordert. Bis 1871 waren so bereits etwa 2 Millionen Mark verwendet und 63^{Km} Parallelwerke erbaut, durch welche der Fluss auf 47½^{Km} Länge oder auf rund 40% seiner Gesammtlänge in Sachsen regulirt worden ist. Pro Kilometer Fluss berechnen sich die Kosten auf rund 450000 M.

Durch die angegebenen Regulierungsmittel, sowie durch Fortbaggerung der Untiefen hofft man eine hinreichende Schifffahrtstiefe, eine gleichmässige Vertheilung des Gefalles und eine, dem Schifffahrtsbetrieb entsprechende Flussgeschwindigkeit herbeizuführen. Nach der Denkschrift — die Elbcorrection in Sachsen, von Lohse (Dresden 1871) — ist in den regulirten Strecken nicht nur die

von den Elbuferstrecken in der Additional-Acte vom Jahre 1844 geforderte Minimal-Wassertiefe von 0^m,65 bei dem angenommenen Wasserstand von 1^m,41 unter Null A. P. zu Dresden überall vorhanden, sondern auch die nach dem Vorschlage der Schaucommission vom Jahre 1869 für die gesammte Elbe von Tetschen bis Hamburg zu schaffende Minimal-Wassertiefe von 0^m,94, welche bei dem genannten niedrigsten Wasserstande den Schiffen einen Tiefgang von 0^m,84 gestattet, fast durchgängig erreicht, meist sogar nicht unbeträchtlich überschritten, und es wird in der Denkschrift noch hinzugefügt, dass sich diese Minimaltiefe überall, wo sie in den regulirten Strecken noch nicht vollständig angetroffen werde, durch geringe locale Baggerungen herstellen und dauernd erhalten lasse. Nachträglich sind indessen in den Jahren 1874 und 1876 noch niedrigere Wasserstände und zwar bis 1^m,60 unter Null A. P. zu Dresden eingetreten.

Die Fahrwassertiefe betrug 1871 in den flachsten Stellen in Folge der Regulirung auf der Strecke von Postelwitz bis Pillnitz 0^m,31 und auf der Strecke von Hostewitz bis Strehla 0^m,27 mehr, als vor der Regulirung.

Die durch Parallelwerke abgeschnittenen Theile des Flussbetts werden theils auf natürlichem, theils auf künstlichem Wege zur Verlandung gebracht, in Weidencultur genommen und gelangen in fiscalischen Besitz. Die Grösse dieser Flächen wird nach durchgeführter Verlandung auf rund 500 Hectaren und der aus der Weidencultur dann zu erhoffende Reingewinn auf jährlich 90000 M. angegeben. Die aus dem Flussbett gebaggerten Sinkstoffe dienen theils zur Ausfüllung der genannten Flächen, theils zur Erbauung der Parallelwerke und theils zur Herstellung von Uferdeckwerken. Es sind daher 4 Dampfbagger von zusammen 42 Pferdekraft Nutzleistung im Betriebe. Dieselben haben in der Zeit von 1843 bis 1871 rund 2¹/₄ Millionen Kubikmeter Sinkstoffe aus dem Flussbett gefördert. Die durchschnittliche Tagesleistung eines jeden dieser Bagger war 267 kb^m, und es stellten sich die Kosten pro Kubikmeter mit Einschluss des Transports nach den Verwendungsstellen auf 37,08 Pfg., mit Einschluss der Betriebs- und Unterhaltungskosten der Dampfbagger aber auf 54,31 Pfg.

§ 6. Vortheile und Nachtheile der Regulirungswerke. Nach den Erörterungen in § 5 bieten sämmtliche Regulirungswerke den Vortheil, dass sie für den Flusslauf ein regelmässiges Bett gestalten und seine zerstörende Einwirkung auf die Ufer und die im Inundationsgebiet belegenen Terrains aufheben oder doch wenigstens ganz erheblich abschwächen. Das Landescultur-Interesse wird also durch jede Flussregulirung gefördert. Zur Erhöhung der Schiffbarkeit tragen jedoch nur diejenigen Regulirungswerke bei, welche auch noch eine Beschränkung der Flussbreite bezwecken, daher nur Buhnen und Parallelwerke. Uferdeckwerke sind nur insofern für die Schiffahrt von Vortheil, als sie eine gleichmässiger Bewegung des Wassers und der Sinkstoffe veranlassen, Abbrüche der Ufer verhindern und so auf Verminderung der Verflachungen des Flussbetts hinwirken.

Da es sich (vergl. § 1) hier nur um Regulirung schiffbarer Flüsse handelt, indem die nicht schiffbaren im Cap. X erörtert werden, und da Uferdeckwerke nach dem oben Gesagten bei der Wahl der Regulirungswerke, durch welche die Schiffbarmachung eines Flusses oder die Erhöhung seiner Schiffbarkeit zu erreichen ist, ausscheiden; so bleibt nur die Frage zu beantworten, ob hierzu Buhnen oder Parallelwerke geeigneter sind. Diese Frage wird oft lediglich nach denjenigen Erfolgen, welche in Wirklichkeit durch beide Regulirungsarten bisher erreicht worden sind, beantwortet, und es wird übersehen, dass dazu viele Misserfolge gehören, welche grösstentheils nicht der Art der Regulirungswerke, sondern der zweckwidrigen Anwendung der letzteren zur Last fallen. Sodann wird wohl auch einzelnen Eigenschaften der Regulirungswerke mehr oder weniger berechnete Bedeutung beigelegt, und danach bald diese bald jene Regulirungsart für die zweckmässiger erklärt, so dass zur Zeit unter manchen Hydrotekten bezüglich der Zweckmässigkeit der Buhnen und Parallelwerke noch sehr getheilte Ansichten bestehen. Eine Klärung derselben kann bei dieser Sachlage nur von einer ganz objectiven Beurtheilung und zwar nur dann erwartet werden, wenn dieselbe auf der gerechten Abwägung aller gesammten

Eigenschaften und Wirkungen der Regulirungswerke und auf denjenigen Erfolgen basirt, welche bei zweckmässigster Anordnung der Werke bereits erreicht worden sind und auch ferner zu erreichen sein werden. Ein derartiges Urtheil gelangt dann nach Ansicht des Verfassers dahin, dass beide Regulirungarten bei ihren wesentlichen Vortheilen und Nachtheilen wohl als ziemlich gleichwerthig angesehen werden können und dass die Schiffbarmachung jedes Flusses, dessen Sohle aus beweglichen Sinkstoffen besteht und dessen Wassermenge und Gefällsverhältnisse überhaupt eine Regulirung im Schiffsfahrtsinteresse zulassen, ebensowohl durch Buhnen als auch durch Parallelwerke erreichbar ist. Weitere Erwägungen über die Eigenschaften und Wirkungen der Regulirungswerke führen aber dahin, dass die zweckmässigste Regulirungsmethode in einer systematischen gleichzeitigen Verwendung von Buhnen und Parallelwerken gefunden werden kann, weil es dabei gelingt, ihre wesentlichen Nachteile zu beseitigen oder unschädlich zu machen. Diese Bauart möge das „combinirte Regulirungssystem“ genannt und im § 7 näher erörtert werden, während hier zunächst die aus § 5 resultirenden Schlussfolgerungen, bezüglich der Vortheile und Nachteile der in Rede stehenden Regulirungswerke, in gedrängter Kürze zusammenzustellen sind.

Vortheile der Buhnen. — Buhnen erfordern die geringste Gesamtlänge der Bauwerke und auch die geringste mittlere Bauhöhe derselben, ersteres, weil sie im Gegensatz zu Parallelwerken nur aus Querwerken bestehen und keine Längswerke haben, letzteres, weil ein erheblicher Theil der Werke in geringeren Wassertiefen liegt, als dies bei Parallelwerken der Fall ist. Die ersten Anlagekosten sind daher ein Minimum. Sodann erzeugen Buhnen in kurzer Zeit Alluvionen und diese bilden neue Ufer, welche das natürliche Ufer schützen, das Fahrwasser begrenzen, die Flussbreite durchweg einschränken und die Bauwerke mit Ausschluss ihrer Köpfe dem Flussangriff und der dauernden Unterhaltung entziehen. Die neuen Uferlinien bedürfen daher im Wesentlichen nur an einzelnen Stellen — den Buhnenköpfen — einer dauernden, mit grösseren Kosten verbundenen Unterhaltung. Es sind daher Buhnen auch in der Unterhaltung die billigsten Einschränkungswerke. Endlich gestatten sie eine, im Lauf der Zeit etwa nöthig werdende, weitere Beschränkung der Flussbreite, eine leichte Erhöhung der Werke, sowie auch ohne Schwierigkeit den jederzeitigen Uebergang zum Parallelwerks-System.

Nachteile der Buhnen. — Diese bestehen darin, dass solche Werke zunächst, und zwar von ihrer Erbauung ab bis nach Ausbildung der Alluvionen, unregelmässige Wasserbewegungen veranlassen, welche das Flussbett und die Bauwerke heftigen Angriffen und Beschädigungen aussetzen, dass sie ferner in der Nähe ihrer Köpfe die gleichförmige Bewegung des Wassers und den Parallelismus der Wasserfäden in einem gewissen Grade dauernd stören, dieserhalb aber, vorzugsweise in Concaven, bei geringer Länge der Werke nachtheilig sind, indem dort keine oder doch nur geringe Verlandungen erzeugt und weder neue Ufer gebildet, noch die natürlichen wirksam geschützt werden, und dass sich endlich die günstigen Erfolge ihrer Wirksamkeit erst nach erfolgter Verlandung ihrer Intervalle, also in einer späteren Zeit, als bei Parallelwerken ergeben.

Vortheile der Parallelwerke. — Dadurch, dass Parallelwerke alsbald neue Ufer herstellen und so die Flussbreite durchweg beschränken, gelangen sie sofort zur vollen Wirksamkeit und führen in kurzer Zeit zur Vermehrung der Fahrtiefe und

Herstellung eines möglichst regelmässigen Flussbetts. Sodann erzeugen sie gleichförmige Bewegung des Wassers in der Fahrinne, vorzugsweise aber Parallelismus der Wasserfäden längs der Werke, so dass nachtheilige Querströmungen für die Schifffahrt nicht eintreten. Dieserhalb sind sie für Concaven die zweckmässigsten Einschränkungswerke.

Nachtheile der Parallelwerke. — In der ersten Anlage sind Parallelwerke in Folge der grossen Ausdehnung der gesammten Längs- und Quer- oder Anschlusswerke und wegen der meist erheblichen Bauhöhe der ersteren, sowie in Folge ihrer nothwendigen soliden Construction die theuersten Regulirungswerke. Zu ihren weiteren Mängeln gehört die nur langsam erfolgende Verlandung der von den Werken abgeschlossenen Bassins, die bis zur Verlandung eintretende, ganz unvermeidliche, aus Uebersturz und Hinterströmung resultirende Beschädigung der Werke und oberen Ufer, sowie der dauernde Angriff der Strömung auf die flussseitigen Böschungen. Dieserhalb veranlassen Parallelwerke auch die relativ grössten Unterhaltungskosten auf einen erheblich längeren Zeitraum, als Buhnen. Sodann gestatten sie, ohne Preisgebung eines Theils ihrer Werke, weder den Uebergang zum Buhnensystem noch eine spätere, weitere Beschränkung der Normalbreite. Auch kann eine nachträgliche Veränderung der Höhe ihrer Kronen, wenn solches durch Hebung oder Senkung des Wasserspiegels oder zum Zweck besserer Alluvionbildung nöthig wird, nur mit grösseren Kosten bewerkstelligt werden.

§ 7. Vorschläge zur anderweitigen Regulirung der Flüsse. Die That- sache, dass unsere Flüsse zur Zeit der niedrigen Wasserstände meist nur einen geringen Grad von Schiffbarkeit besitzen, sowie das Streben, bessere Zustände zu schaffen, hat in der Neuzeit wiederholt zu Vorschlägen zur anderweitigen Regulirung geführt. Namentlich sind in dieser Beziehung in der Deutschen Bauz. 1872, S. 134, 170, 276, 299 u. 355, sowie 1873, S. 41, 138 u. 177 Aufsätze veröffentlicht worden, in denen sich sehr verschiedenartige Ansichten geltend machen. Sie basiren theils auf ganz neuen Principien, theils haben sie auch nur die Weiterentwicklung und Vervollkommnung der bekannten Regulirungsarten zum Gegenstande. Ein näheres Eingehen auf diese Artikel würde hier zu weit führen, ebenso auch die Erörterung über den Vorschlag, unsere sämmtlichen Flüsse fernerhin überhaupt nicht mehr zu reguliren, sondern durchweg zu canalisiren. Da jedoch die hierbei aufgestellten Behauptungen, dass die bekannten Regulirungssysteme nicht zum Ziele führen, unerwiesen geblieben, die mit letzteren schon erreichten Erfolge auch nicht zu be- streiten sind und da ferner bis jetzt noch keine Bauweise vorgeschlagen oder bekannt geworden ist, welche Buhnen und Parallelwerke zu ersetzen oder gar überflüssig zu machen geeignet erscheint, so fehlt zur Zeit jede Veranlassung diese Werke aufzu- geben; es muss vielmehr als die Aufgabe der Gegenwart bezeichnet werden, die Eigenschaften und Wirkungen der bekannten Regulirungswerke immer mehr und mehr zu erforschen und auf Grund der hierdurch gewonnenen Kenntniss eine weitere Ent- wicklung, Ausbildung und Vervollkommnung der Werke anzustreben.

Von diesem Gesichtspunkt aus gelangt der Bearbeiter dieses Capitels zu dem Vorschlag: „fernerhin zur Schiffbarmachung der Flüsse gleichzeitig Buhnen, Pa- rallel- und Deckwerke systematisch zu verwenden.“

Das so combinirte Regulirungssystem ermöglicht nämlich, wie weiterhin nachgewiesen werden wird, die zweckmässigste Ausnutzung der Vortheile und Ver- minderung der wesentlichsten Nachtheile der Buhnen und Parallelwerke.

Nach § 6 gehört zu den Vortheilen der Buhnen die Alluvionbildung, und es erfolgt diese ganz besonders vor convexen Ufern, vor concaven dagegen nur bei langen Buhnen. Da aber Buhnen, namentlich deren Köpfe, vorzugsweise in Concaven unregelmässige Wasserbewegungen veranlassen, welche längs der Streichlinien, oft bis tief in die Intervalle hinein die Bildung der Alluvionen stören und diese dauernd dem heftigen Angriff der Strömung aussetzen, so kann sich eine regelmässige Uferlinie und eine für die Schifffahrt günstige, regelmässige Wasserbewegung längs der durch Buhnen ausgebauten Concaven nicht ausbilden. Das Gegentheil ist aber bei Parallelwerken der Fall. Bei den convexen Ufern fallen die Nachteile der Buhnen nicht in's Gewicht, weil sich dort geringere Wassertiefe, geringere Strömung, also günstigere Bedingungen zur Alluvionbildung vorfinden und die Schifffahrt in der Regel die Convexe auch nicht benutzt. Hieraus ergiebt sich zunächst, dass Buhnen für den Ausbau des convexen, Parallelwerke für den Ausbau des concaven Ufers Vortheile bieten. Der Nutzen der Parallelwerke wird aber erheblich abgeschwächt, sobald sie vom Ufer weit entfernt liegen. Dann treten ihre Nachteile — mangelhafte Alluvionbildung, leichte Beschädigung durch Uebersturz und Hinterströmung, sowie Kostspieligkeit der Herstellung und Unterhaltung — auf. Sollen diese Nachteile vermindert, ja nahezu ganz vermieden werden, dann müssen die Parallelwerke dem Ufer möglichst nahe gelegt werden. Dies ist aber in Concaven auch meist erreichbar, wenn man von erheblichen Abflachungen derselben mehr, als bisher zuweilen gebräuchlich ist, Abstand nimmt. Der Vortheil solcher Abflachungen, auch Begradigungen genannt, ist noch für die Schifffahrt vielfach (ganz besonders beim Buhnensystem) ein zweifelhafter und harmonirt oft sehr wenig mit dem durch die Abflachung veranlassten Kostenaufwand. Kann die Schifffahrt die wohl in jedem schiffbaren Fluss vorhandenen erheblichen Curven ohne wesentliches Hinderniss passiren, dann bedarf es auch keiner bedeutenden und kostspieligen Abflachung anderer, weniger erheblichen Curven. Für die Gleichförmigkeit der Wasserbewegung kann es nicht wesentlich sein, ob der Krümmungsradius der Concave etwas grösser oder kleiner ist. Jedenfalls ist eine mit Buhnen ausgebaute Concave für die Wasserbewegung störender, als eine mit Parallelwerken ausgebaute Concave von erheblich geringerem Krümmungsradius.

Es erscheint hiernach wohl geeignet, bei der grossen Mehrzahl der in Flüssen vorhandenen natürlichen Curven nur auf eine Beseitigung der Unregelmässigkeiten hinzuwirken und die Streichlinien so anzuordnen, dass sie regelmässige Uebergänge von einer Richtung in die andere bilden, sich im grossen Ganzen aber den natürlichen Ufern möglichst anpassen. Auf diese Weise wird es in den meisten Fällen erreichbar sein, concave Ufer mit nahe vor denselben anzulegenden Parallel- und Deckwerken auszubauen, Buhnen aber daselbst, von geringen Ausnahmen abgesehen, ganz zu vermeiden. Geschieht dies, so muss die nothwendig werdende Beschränkung der Flussbreite durch Vorschiebung der Regulirungswerke auf dem convexen Ufer erfolgen und hierzu können zweckmässig nur Buhnen gewählt werden, weil diese dort sowohl im Bau als in der Unterhaltung billiger sind und auch eine bessere Ablagerung der Flusssinkstoffe, also eine günstigere Alluvionbildung veranlassen, als Parallelwerke, deren oben geschilderte Nachteile sich auch in der Convexen, bei entfernter Lage vom Ufer, geltend machen. Aus denselben Gründen werden auch in geraden Strecken Parallelwerke dem Ufer möglichst nahe, Buhnen dagegen überall dann anzulegen sein, wenn ein weiteres Vortreten der Streichlinien nothwendig wird.

Hiernach basirt das combinirte Regulirungssystem auf dem Princip: „Buhnen zum Ausbau aller convexen Ufer, Parallel- und Deckwerke zum Ausbau aller concaven Ufer zu verwenden, bei Regulirung gerader Strecken aber die Wahl der Werke von der Entfernung der Streichlinien vom Ufer abhängig zu machen.“ — In Wirklichkeit finden sich nun wohl, in Bezug auf die äussere Gestaltung der Ufer, gerade Flussstrecken öfter vor, die Fahrrinne selbst aber bewegt sich auch dort — wenigstens in allen Sinkstoffe führenden Flüssen, wie der Oberrhein beweist — stets in Serpentin, so dass also thatsächlich bei Flussregulirungen vorzugsweise nur Concaven und Convexen in Betracht kommen. Werden die convexen Ufer, den mit Berücksichtigung der Fahrrinne gebildeten Streichlinien entsprechend, mit längeren Buhnen ausgebaut, längs der concaven Ufer aber Parallel- und Deckwerke angeordnet, so wird dadurch der doppelte Vortheil erreicht, die an den Ufern vorhandenen Sinkstoffbänke grösstentheils festzulegen und die Fahrrinne für die Schifffahrt an den Parallelwerken entlang zu führen, von den Buhnen aber fern zu halten. Der Nutzen, welcher aus der Festlegung eines grossen Theils der Sinkstoffbänke für die Schiffbarkeit des Flusses erwächst, ist bereits in § 2 unter c erörtert. Diejenigen Sinkstoffe aber, die sich hierbei nicht festlegen lassen, vermögen bei Verwendung des combinirten Regulirungssystems in jeder Flussstrecke in die Intervalle der Buhnen einzudringen und sich dort abzulagern. Das System gestattet aber auch eine etwa nachträglich nothwendig werdende Einschränkung der Flussbreite, da bei demselben Parallelwerke und Buhnen nach der Uferseite in der Regel stetig abwechseln und Buhnen in den Convexen sich dann leicht verlängern lassen, während die Parallel- und Deckwerke in den Concaven nur an ihren Ausläufern geringe Modificationen beanspruchen.

Das combinirte Regulirungssystem lässt sonach die Ausnutzung der wesentlichsten Vortheile und die Vermeidung der wesentlichsten Nachtheile der Buhnen und Parallelwerke erwarten.

Schon jetzt sind übrigens die Anfänge dieses Systems in einzelnen, in der Regulirung begriffenen Flüssen zu erkennen, indem dort gleichzeitig Buhnen, Parallel- und Deckwerke verwendet werden, so dass das combinirte System nur als eine systematische Weiterentwicklung und Vervollkommnung des bereits Vorhandenen angesehen werden kann. Da es nach Ansicht des Verfassers ganz besonders zur Regulirung grosser Flüsse zweckmässig ist, hat es derselbe in Fig. 4 und 5, Taf. XXVIII versuchsweise in zwei Projecten für je eine Flussstrecke des Oberrheins und der Memel dargestellt.

Für den Oberrhein (Fig. 4) ist eine gerade Strecke mit einer zur Zeit vorhandenen Normalbreite von 240^m zwischen den Uferdeckwerken gewählt und die Entfernung zweier Kiesbänke von einem Ufer = 2000^m, ausserdem aber noch angenommen worden, dass es möglich sei, den Oberrhein, behufs Erhöhung seiner zeitigen, der Wassermenge wenig entsprechenden Schiffbarkeit, um etwa $\frac{1}{4}$ seiner jetzigen Normalbreite einzuschränken. Bei der Regelmässigkeit des Rheinbetts, der Kiesbänke und Fahrrinne lassen sich dann auch die Bauwerke des combinirten Regulirungssystems ganz systematisch anordnen, und es ergibt sich, dass die Fahrrinne mit Ausschluss der Uebergänge nur an den Deck- oder Parallelwerken entlang führt und dass letztere sich möglichst an die Ufer anschliessen bzw. hinterfüllen lassen, mit ihren Ausläufern aber in maximo nur 40^m vom Ufer entfernt liegen, und mit diesem durch inclinante Zwischenwerke, welche den Angriff des überstürzenden Wassers

*if würde die Anlage von Unterraftbauwerken (ganzen Gorn
in den Concaven des Strombetts im Vorzug geben. O.*

vom Ufer abhalten, verbunden sind. Die grösste Länge der Buhnen auf den Kiesbänken beträgt etwa 90^m. Einzelne dieser Buhnen und zwar die in der Zeichnung punktirten sind als Zwischenwerke von leichterem Construction, als die kräftigen Hauptwerke gedacht. Die Buhnen auf den Kiesbänken würden zunächst nur in Höhe derselben zu erbauen sein.

Fig. 5 zeigt im Project die Anwendung des combinirten Systems für die Strecke des Memel-Stroms zwischen den Nebenflüssen Szesuppe und Jura. Die Zeichnung ergiebt den völlig verwilderten Zustand der Memel daselbst und zeigt, dass sich das System auch in Flusskrümmungen ebensowohl wie in geraden Strecken verwenden lässt. Die Curven sind in der projectirten Weise für die Schifffahrt noch bequem zu passiren, so dass es einer weiteren Abflachung der am rechten Ufer belegenden Concaven durch erheblichere, kostspieligere Vortreibung des Parallelwerks nicht bedarf.

In Wirklichkeit ist übrigens diese Flussstrecke, wenn auch nicht so systematisch wie in der Zeichnung dargestellt, so doch in annähernd ähnlicher Weise mit Buhnen unter Verwendung einzelner Deckwerke, aber ohne Parallelwerke, innerhalb der letzten Jahre ausgebaut worden, und haben gerade die hierbei gemachten Beobachtungen und Erfahrungen, sowie die dort schon bis jetzt erreichten Erfolge Veranlassung zu dem Vorschlage gegeben, das combinirte Regulirungssystem an Stelle der getrennten Systeme der Buhnen und Parallelwerke weiterhin zu verwenden.

§ 8. Baumaterialien zur Herstellung der Regulirungswerke. Die Regulirungswerke werden im Wesentlichen entweder aus Stein- und Kies-Materialien oder aus Faschinen construiert und verwendet man hierbei folgende Baumaterialien: Bindeweiden, Faschinen, Pfähle, Beschwerungsmaterialien, Steine, Kies, Luntleinen und Draht.

Bindeweiden (auch Wippenbänder genannt) sind 2- bis 3-jährige etwa 1¹/₂^m lange, am Stammende 1 bis 1¹/₂^{cm} starke Weidenruthen von frischem, grünem und elastischem Holze. Am geeignetsten sind diejenigen, welche auf den Werdern der Flussufer wachsen, ungeeignet aber solche von sumpfigen und hochbelegenen Terrains, sowie auch Kopfweiden (Aeste der Weidenbäume). Werden besonders starke Bindeweiden, wie beispielsweise bei Anfertigung von Senkfaschinen, erforderlich, so zieht man Hasel-, Birken- und Eschenruthen den Weiden vor. Bindeweiden finden im frischen, grünen Zustande Verwendung beim Binden der Faschinen und Würste, sowie bei Anfertigung der Sinkstücke, Senkfaschinen, Sinkwalzen, Senkkörbe, Flechtbänder und Flechtzäune. Sie werden zuvor durch Drehen, welches die Holzfasern der Länge nach trennt, ohne sie zu zerreißen, zubereitet. Zu schnelles Trocknen der Bindeweiden lässt sich durch Aufbewahrung im Wasser vermeiden.

Ein Bund Bindeweiden von 0^m,30 bis 0^m,40 mittlerem Durchmesser enthält 120 bis 240 Ruthen je nach der Stärke der letzteren.

Faschinen. Ein Bündel Strauch von 0^m,25 bis 0^m,30 Stärke im mittleren Durchmesser, 3^m bis 4^m Länge und an 3 bis 4 Stellen mit Bindeweiden fest umbunden, wird eine Faschine genannt. Das Strauch kann aus allen Arten von Laub- oder Nadelhölzern bestehen, doch sind Weidenfaschinen am geeignetsten. Die grosse Mehrzahl der einzelnen Reiser oder Zweige, deren grösste Stärke am Stammende 4^{cm} beträgt, soll ungefähr die Länge der Faschine haben, kurzes Strauch aber gar nicht, oder doch nur wenig eingebunden werden. Eine fernere Bedingung ist, dass das zu den Faschinen verwendete Holz gesund und möglichst frisch, also nicht schon vertrocknet oder gar verrottet ist. Da die Dimensionen der Faschinen sehr verschieden sind, ist es zweckmässig, ihre Abnahme nicht nach Zahl, sondern nur nach kubischem

Inhalt zu bewirken. Zu diesem Zweck werden sie gewöhnlich in Haufen von 4^m Breite und 2^m,8 Höhe aufgesetzt und hiervon 0^m,30 als Sackmaass in Abzug gestellt. Der lauf. Meter eines solchen Haufens enthält also 10 kb^m. Gewöhnliche Faschinen werden zur Herstellung des Packwerks, der Sinkstücke und Senkfaschinen, sogen. grüne Weidenfaschinen, welche alsbald nach dem Schneiden zu verarbeiten sind, zu Pflanzungen, Spreutlagen, Rauhwehren und Flechtzäunen verwendet.

Pfähle. Man unterscheidet Bühnen-, Spreutlagen- und Pflaster-Pfähle. Sie werden von glatt spaltendem Holze oder aus gerade gewachsenen Stämmen ohne Aeste und Astlöcher, aus gutem Tannen-, Fichten- oder Weidenholz gefertigt, am Fussende zugespitzt und am Kopfende glatt abgeschritten.

Bühnenpfähle sind 1^m,25 bis 1^m,5 lang 5 bis 7^{cm} am Kopf stark,

Spreutlagenpfähle „ 1^m,0 „ 5 bis 6^{cm} „ „ „ ,

Pflasterpfähle „ 1^m,6 „ 12 bis 15^{cm} „ „ „ .

Bühnen- und Spreutlagenpfähle dienen zum Befestigen der Würste auf dem Packwerk, den Spreutlagen und Rauhwehren. Man sucht zuweilen ihre Wirksamkeit durch einen am Kopf der Pfähle durchgesteckten Holzpflöck oder daselbst angebrachten Kerb oder auch durch einen aus einem Seitenast gebildeten Haken zu vermehren. Es ist diese Herstellung jedoch zeitraubend und mühsam und man erreicht denselben Zweck, wenn man die Pfähle abwechselnd in schräger Richtung durch die Würste schlägt.

Pflasterpfähle werden bei Abpflasterung der Bühnenkronen als Einfassung des Pflasters zu dem Zweck verwendet, den Randsteinen an den Pfählen ein festes Widerlager zu geben.

Beschwerungsmaterial. Hierzu eignet sich mit Ausschluss von Torf jede Erdart, wenn auch reiner Sand weniger vortheilhaft ist, als schwere und fette Erde, Lehm, Lette und Thon. Da das Beschwerungsmaterial den Zweck hat, die schwimmenden Faschinenlagen zu belasten und dadurch zu senken, sowie auch die Zwischenräume in denselben auszufüllen, darf es nicht fortgespült werden. Dieserhalb sind schwere Lette und Kies besonders zweckmässig. Bei starker Strömung werden indess zur Belastung auch noch Steine verwendet, wenn mit dem übrigen Beschwerungsmaterial ein Senken der Faschinenlagen nicht zu erreichen ist.

Steine. Die beim Bau der Regulirungswerke erforderlichen Steine sind entweder Schütt- oder Pflastersteine. Erstere werden zur Herstellung der unter Wasser belegenen Theile der Regulirungswerke, ferner zur Belastung der Faschinenlagen des Packwerks, zum Senken der Sinklagen und Sinkstücke, zur Füllung der Senkfaschinen und Sinkkörbe, zur Abdeckung der Böschungen, wo diese dauernd der Strömung und dem Angriff ausgesetzt sind, sowie endlich auch zur Ausfüllung von Vertiefungen im Flussbett vor den Werken verwendet. Die Grösse der Schütt- oder Senksteine hängt von der Stärke der Strömung und auch von der Steinart ab. Pflastersteine bezwecken die Befestigung und Abdeckung der über Wasser belegenen Böschungen, Kronen und Köpfe der Werke. Als Schüttsteine eignen sich Bruchsteine jeder Art, als Pflastersteine nur solche von hartem, wetterbeständigen Gestein.

Kies wird zum Pflastern, zur Füllung von Senkfaschinen, zur Bildung des mittleren Kerns der Werke, zum Hinterfüllen, sowie auch als Beschwerungsmaterial beim Faschinenbau verwendet.

Luntleinen. Sie finden beim Bau von Sinkstücken und Senkfaschinen Anwendung, müssen aus rein und fein ausgehecheltem, guten (russischen) Hanf 8 bis 10^{mm} stark, aus 3 Fächern und gezwirnt, lose geschlagen gefertigt, auch mit gutem

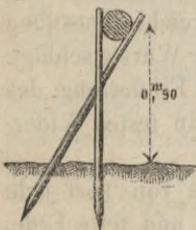
Kientheer mit Oel vermischt, getheert werden. Sie werden im getheerten Zustande nach ihrem Gewicht abgenommen und es wiegen 100 lauf. Meter etwa 6 bis 6,5^k.

Draht ersetzt bei Anfertigung von Senkfaschinen die Luntleinen und Weidenbänder. Er besteht aus Eisen, ist 3^{mm} stark und wird vor der Verarbeitung vorsichtig ausgeglüht und dann langsam abgekühlt, damit er seine Sprödigkeit verliert. 15 lauf. Meter wiegen etwa 1^k.

§ 9. Bauconstructions zur Herstellung der Regulirungswerke incl. Materialbedarf. Die beim Bau der Regulirungswerke gebräuchlichen, aus den Baumaterialien (§ 8) herzustellenden Constructionsteile sind: Faschinenwürste, Flechtbänder, Flechtzäune, Pflanzungen, Spreutlagen, Rauwehre, Steinpflasterungen, Packwerke, Sinklagen, Sinkstücke, Senkfaschinen und Senkkörbe.

Faschinenwürste, welche die Verbindung und Vereinigung einzelner Faschinenlagen zu einer zusammenhängenden Masse bezwecken, werden in jeder erforderlichen Länge 12 bis 18^{cm} stark aus grünen, oder doch noch elastischen, nicht zu starken, möglichst langen Faschinenreisern angefertigt. Letztere vertheilt man zu diesem Zweck auf der Wurstbank (Fig. 7) mit den Wipfelenden immer nach einer Richtung derartig, dass ein gehöriger Längenverband der einzelnen Reiser erzielt wird. Die so geordneten Reiser erhalten in Entfernungen von 0,20 bis 0^m,25 sehr fest angezogene Bänder aus Bindeweiden. Krumme Reiser werden mit dem Faschinenmesser auf einem Pfahl der Wurstbank halb durchgehauen oder geknickt, damit sie den späteren Krümmungen beim Verlegen der Würste folgen können. Aus diesem Grunde ist es zweckmässig, die Böcke der Wurstbank mit je einem senkrechten Pfahl zu versehen. Die Böcke, aus eingeschlagenen Bühnenpfählen bestehend, sind 1^m,50 von einander entfernt. Sie erhalten am Kreuzungspunkt der beiden Pfähle durch umschlungene Bindeweiden Befestigung.

Fig. 7.



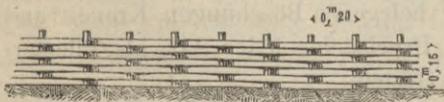
Flechtbänder. Statt der Würste werden auch Flechtbänder verwendet, welche nach Fig. 8 aus drei geflochtenen Strängen bestehen, deren jeder aus mehreren grünen Ruthen gedreht wird. Durch die Maschen der Flechtbänder lassen sich die Pfähle leicht eintreiben.

Fig. 8.



Flechtzäune. Auch sie ersetzen vielfach, so namentlich auf den Kronen der Regulirungswerke und bei Abdeckung der Uferböschungen mit grünem Weidenstrauch die Faschinenwürste und sind dort auch zweckmässiger, insofern sie dem darunter liegenden Strauchwerk einen festeren Halt geben. Bei dieser Verwendung werden nach Fig. 9 Spreutlagen- oder Bühnenpfähle in 20^{cm} Entfernung in Reihen über dem zu befestigenden Strauch derartig eingeschlagen, dass immer je 2 Pfähle nach derselben Richtung, die beiden folgenden aber in entgegengesetzter Richtung schräg stehen. Demnächst werden sie mit Strängen von 3 bis 4 grünen, im Verbande placirten Weidenruthen 15^{cm} hoch umflochten, die einzelnen Stränge fest zusammengespreut und die Pfähle schliesslich nachgetrieben.

Fig. 9.



Man verwendet Flechtzäune aber auch als Widerlager für Steinpflasterungen, sowie zur Herstellung von Schlickfängen und Schlickzäunen. Erfolgt ihre Anfertigung

vom Kahn aus, so werden die über Wasser zwischen eingeschlagenen starken Pfählen geflochtenen Ruthen mit hölzernen Gabeln herabgedrückt. Die Pfähle stehen dann aber durchweg vertical, um das Herabdrücken zu erleichtern.

Pflanzungen. Zu den Pflanzungen werden 3- bis 4-jährige, frisch gehauene Weidenruthen benutzt. Meist dienen die Pflanzungen zur Befestigung der auch als Ufer anzusehenden Alluvionen. Man unterscheidet Reihenspflanzung und Nesterpflanzung. Bei der ersteren werden grüne, von ihren Nebenzweigen befreite Weidenruthen, sog. Stecklinge von etwa 0^m,60 Länge in Entfernungen von 0^m,25 in inclinant zur Flussrichtung ausgehobenen Rinnen, mit den Stammenden nach unten gesetzt und die Rinnen demnächst mit der ausgehobenen Erde wieder zugefüllt. Die Rinnen liegen 0^m,60 bis 0^m,80 von einander entfernt. Bei der Nesterpflanzung werden ebenfalls in inclinanter Richtung zum Stromstrich in Entfernungen von 1^m Gruben von 0^m,30 Durchmesser gegraben und an den Rändern derselben je 6 bis 8 Stecklinge der vorbeschriebenen Art gepflanzt und bis zur Terrainhöhe mit Erde bedeckt. Die Nester der 0^m,60 bis 0^m,90 von einander entfernten Reihen liegen im Verbande, damit das über die bepflanzte Alluvion fließende Wasser keine geradlinigen Rinnen bildet. Die in der Erde befindlichen Augen der Stecklinge treiben Wurzeln, die oberen aber Zweige. Bei niedrigen Alluvionen ragen die gepflanzten Stecklinge etwa 0^m,20, bei höheren dagegen etwas weniger über dem Terrain hervor.

Je nachdem es der Wasserstand gestattet, pflanzt man sowohl im Herbst, als auch im Frühjahr, jedoch nur dann, wenn das Holz nicht im vollen Saft ist.

Die Art der Ausführung der Pflanzungen variirt übrigens vielfach. So werden am Niederrhein auch Stecklinge von 1 bis 1^m,5 Länge zur Bepflanzung tief gelegener Stellen in Sandbänken verwendet, ausserdem auch sog. Rauschen gepflanzt. Die Stecklinge stehen hierbei als lose Bündel von 0^m,20 bis 0^m,30 Stärke nebeneinander in Reihen. Die Pflanzgräben sind 0^m,50 tief und es ragen die Rauschen je nach der Terraingestaltung 0^m,40 bis 1^m über den Sandfeldern hervor.

Zuweilen bedient man sich der Pflanzungen auch zur Befestigung der eigentlichen Uferböschungen, es sind dort aber die sog. Spreutlagen und Rauhwehre zweckmässiger. Sie beginnen am Wasserstand der Bauzeit und reichen bis zu den höheren Wasserständen, wenn auch nicht bis zu den höchsten hinauf.

Die Construction der Spreutlage ist in Fig. 8, Taf. XXIX dargestellt. Normal zum Stromstrich werden auf der Uferböschung grüne, mit Nebenzweigen versehene, 3- bis 4-jährige gerade gewachsene Weidenruthen dicht nebeneinander ausgebreitet und durch parallel zum Stromstrich liegende, bepflanzte Faschinenwürste aus grünem Weidenholz in Entfernungen von 0^m,60 bis 0^m,80 befestigt. Jede einzelne Ruthe greift mit dem Stammende unter eine Wurst, welche in einer 0^m,20 tiefen Rinne in der Böschung liegt. Bei der Ausführung beginnt man mit der höchsten Ruthenlage, so dass die nächst tiefer liegende mit ihren Wipfeln die Stammenden der höheren bedeckt. Am Wasserspiegel sichern zwei Würste die Spreutlage und es erhält letztere durchweg eine 0^m,20 starke Schicht fruchtbarer Erde als Decke. Die Entfernung der Rinnenwürste beträgt bei ausreichend langen Ruthen 2^m, die der übrigen nur 0^m,60. In der Regel erfolgt die Ausführung im Herbst, zuweilen auch im Frühjahr. Spreutlagen gedeihen in den unteren Böschungen gut, da sie hier vom Fluss aus Nahrung ziehen, in den oberen Böschungen nur in soweit, als sie durch höhere Wasserstände und atmosphärische Niederschläge Nahrung erhalten. Vortheilhaft sind in dieser Beziehung die horizontalen Rinnen, weil sie den Abfluss des Wassers von den

Böschungen verzögern. Die Stärke der Spreutlage wird sehr verschieden angenommen, oft beträgt sie bis $0^m,15$, es genügt indessen schon eine Stärke von $0^m,05$ oder auch eine einzige Lage nebeneinander ausgebreiteter Weidenruthen.

Bei Rauhwehr liegen nach Fig. 9, Taf. XXIX lange Weidenruthen von gleicher Beschaffenheit, wie bei der Spreutlage, parallel zum Stromstrich in Rinnen, welche normal zu demselben laufen. Die Ruthen greifen mit ihren Stammenden unter die, in diesen Rinnen befestigten Würste und ragen mit ihren Wipfeln bis über die nächste, stromabwärts befindliche Rinne hinaus. Sämmtliche Ruthen werden ausserdem noch durch Würste befestigt, welche in Entfernung von $0^m,60$ bis $0^m,80$ normal oder auch declinant zum Stromstrich liegen, und schliesslich mit einer Schicht fruchtbarer Erde bedeckt. Bei kurzen Weidenruthen können die letztgenannten Würste entbehrt werden, doch sind dann die Rinnen tiefer auszuheben.

Ein Nachtheil der Rauhwehre besteht darin, dass die Ruthen auf dem oberen Theil der Böschungen beim Fallen des Wassers trocken liegen und die Rinnen zur schnellen Abführung der atmosphärischen Niederschläge beitragen. Auch für Rauhwehre genügt zum Zweck der Bepflanzung und Sicherung der Uferböschungen schon eine dünne Ruthenlage, vielfach werden jedoch mehrere Lagen übereinander angeordnet, um die nachtheiligen Wirkungen des Wellenschlages und Eisgangs zu mässigen. Ist die Stärke zu erheblich, so ersticken indess die auf der Böschung liegenden Ruthen und können somit den Zweck der Bepflanzung nicht erfüllen.

Es sei übrigens bemerkt, dass die Construction der Spreutlagen und Rauhwehre an den einzelnen Flüssen sehr variirt, in den mitgetheilten Zeichnungen ist daher nur das Princip der Construction dargestellt. — Auch bei Abdeckung der Kronen und Böschungen der Regulirungswerke finden Spreutlagen und Rauhwehre Anwendung und folgen bei Beschreibung jener Werke noch einige Erörterungen.

Steinpflasterungen werden in der gebräuchlichen Construction zur Bekleidung der Uferböschungen, sowie zur Abdeckung der Kronen der Regulirungswerke verwendet. Zur Bettung des Pflasters, namentlich dann, wenn es auf Faschinenpackwerk liegt, bedient man sich wohl auch statt des groben Kieses fetter Thonarten, blauer Lette u. s. w. Unmittelbar über dem Wasserstande der Bauzeit stützt sich das Pflaster auf Flechtzäune oder auf eingetriebene starke Pflasterpfähle.

Packwerk. Systematisch geschichtete, durch Würste, Pfähle und Beschwerungsmaterial eng mit einander verbundene Faschinenlagen nennt man Packwerk. Es wird beim Flussbau, namentlich in Gegenden, wo Steine selten und theuer sind, zur Erbauung aller Regulirungswerke verwendet. Bei Anfertigung von Packwerk wird zunächst auf der Oberfläche des Wassers eine schwimmende, durch Würste und Pfähle verbundene, nur an einer Seite auf festem Auflager ruhende Faschinenlage von mässiger Breite, Länge und Höhe hergestellt, diese im schwimmenden Theil mit Hülfe von Beschwerungsmaterial, unter Drehung an der Seite des Auflagers gesenkt, demnächst durch Abrammen comprimirt und durch immer neue, ähnliche, sich schräg über einander legende, in der Richtung des Bauwerks vorschreitende Lagen so lange verstärkt, bis sämmtliche Faschinenlagen in der Längen- und Breiten-Ausdehnung des Bauwerks von der Sohle des Flussbetts ab bis zur gewünschten Höhe über dem Wasserspiegel eine innig zusammenhängende Masse bilden.

Im Speciellen ist nachstehend die Bauweise an einem Beispiel, bei Herstellung einer Buhne, näher erläutert; etwaige Abweichungen hiervon werden bei den betreffenden anderen Bauwerken erwähnt.

Beim Bau einer Buhne aus Packwerk bildet zunächst das Ufer das feste Auflager für die erste, aus mehreren übereinander geschichteten Faschinen bestehende Faschinenlage, und es wird dort nach Fig. 6, Taf. XXVIII eine sog. Bühnenkammer von etwa 3 bis 5^m Breite und Länge, der Ufergestaltung und den Dimensionen des Bauwerks entsprechend, bis zum zeitigen Wasserspiegel ausgegraben, und in derselben sowohl, als im Flussbett, soweit es die Wassertiefe am Ufer gestattet, sodann eine Anzahl von Bühnenpfählen eingeschlagen, damit die ersten Faschinen, welche bei der sogenannten

Vorlage nach Fig. 7, Taf. XXVIII mit den Stammenden in der Kammer aufliegen und mit den Wipfeln in annähernd radialer Richtung in den Fluss hineinragen, einige Haltepunkte finden. Die zweite Faschinenlage ruht mit den Stammenden auf den bereits verlegten Faschinen und überragt diese mit ihren Wipfeln in der Richtung des Bauwerks um etwa $\frac{1}{3}$ der Faschinenlänge. Die Vorlage wird in dieser Weise so lange verlängert und entsprechend verbreitert, als die Strömung dies gestattet. Sobald aber einzelne Faschinen oder gar die ganze schwimmende Lage von der Strömung fortgeführt zu werden drohen, ist eine Verbindung durch Würste und die Verankerung derselben in der Kammer erforderlich. Die Würste liegen nach Fig. 7, Taf. XXVIII je nach der Strömung 1 bis 1^m,5 von einander entfernt und werden durch eingetriebene Pfähle in 0^m,30 bis 1^m Entfernung auf der Faschinenlage befestigt. Ist so die Vorlage fest an das Ufer gebunden, so wird die

Rücklage nach Fig. 8, Taf. XXVIII gefertigt, indem der auf der schwimmenden Vorlage stehende Holzleger oder Vorarbeiter die vorderste Fläche der Vorlage mit einer neuen Faschinenreihe radial bedeckt, die nächste etwas weiter zurücklegt und so fortfährt, bis die Stammenden die Kammer erreichen. Die Oberfläche der Rücklage zeigt sonst nur Wipfelenden. Nach demnächstiger Bewürstung der Rücklage, wobei Würste und Pfähle möglichst nahe zusammen liegen, wird das Beschwerungsmaterial durch Karren oder von Kähnen aus in einer Stärke von 0^m,20 bis 0^m,30 aufgebracht, in Folge dessen die schwimmende Lage zu sinken beginnt. Die ganze Stärke der Vor- und Rücklage incl. Beschwerungsmaterial (Fig. 9, Taf. XXVIII) beträgt nunmehr 1^m,20 bis 1^m,50, sie wird aber noch durch Abrammen mit eichenen, etwa 100^k schweren, von 6 bis 8 Arbeitern gehandhabten Rammen comprimirt. Eine zweckmässige, bewährte Ramme ist in Fig. 1, Taf. XXIX dargestellt. In der Regel senkt sich die Vor- und Rücklage beim Rammen bis zum Wasserspiegel.

Die Ramme besteht aus einem 1^m,20 hohen, unten runden und mit Eisenring beschlagenen, oben achteckig geformten, eichenen Rammklotz, welcher etwa in der Mitte mit 2 über einander liegenden, sich kreuzenden Hebelarmen, an denen 8 Arbeiter wirken, versehen ist. Diese Arme müssen so tief liegen, dass die Arbeiter beim Heben des Rammklotzes zum Niederbeugen veranlasst werden. Die Hubhöhe beträgt dann bis 1^m. Leichte Rammen sind weniger zu empfehlen, da mit ihnen eine gehörige Comprimirung des Packwerks nicht zu erzielen, diese aber zur Vermeidung von späteren, nachtheiligen Senkungen sehr nothwendig ist.

Ganz in derselben Weise, Fig. 10, Taf. XXVIII, erfolgt die Fertigung der weiteren Packwerkslagen, bis die Länge der Bauwerke erreicht ist. Die Breite der unteren Lagen wird nach der Kronenbreite des Bauwerks und nach der Wassertiefe derartig bemessen, dass die Seitenböschungen einfache Anlage erhalten. Gewöhnlich sind diese jedoch, namentlich bei wechselnden Tiefen steiler, weil vielfach sowohl hierauf, als auch auf die in Folge der Senkung des Packwerks eintretenden Vertiefungen der Flussbettsohle bei Bemessung der Breite der Faschinenlagen nicht genug gerücksichtigt wird.

Die vorderste Packwerkslage erhält zum Schutz gegen Unterwaschung des Bauwerks eine sog. Sinklage. Dieselbe hat gewöhnlich eine Stärke von 0^m,40 bis 0^m,60 und eine Länge und Breite von 8 bis 10^m, wobei jedoch Wassertiefe und Strömung maassgebend sind. Die Construction ist im Allgemeinen zwar diejenige des Packwerks, mit dem die Sinklage in so innigem Zusammenhange stehen muss, dass sie nur als Fortsetzung desselben angesehen werden kann, sie erhält indessen mehr Würste und Pfähle, auch wird die schwimmend angelegte, bewürstete und bepfähelte Sinklage, behufs ihrer Versenkung weniger mit Erde, als vielmehr mit Lette und Steinmaterial beschwert, da sie sich nur bei genügender Belastung auf das Flussbett auflegt und nur dadurch ihren Zweck, das Bauwerk am Kopf zu schützen und eine flache, vordere Böschung herzustellen, erfüllt. Nach Herstellung der Sinklage bleibt das Bauwerk längere Zeit, meist ein Jahr lang der Einwirkung des Flusses ausgesetzt und erhält dann erst die

Kronlage. Dieselbe besteht aus einer starken Rücklage, mit deren Anfertigung, Fig. 10, Taf. XXVIII, am Kopf der Bühnen begonnen wird. Sie bedeckt letztere bis zur Wurzel und hat den Zweck, der Bühnenkrone eine schützende Decke, eine angemessene Form und die erforderliche Ansteigung nach dem Ufer zu geben, sowie auch alle etwaigen Vertiefungen, welche sich durch Senkungen im Packwerk gebildet haben, auszugleichen. Grössere Senkungen sind jedoch vorher durch besondere Packwerkslagen auszufüllen, da die Kronlage nur so stark werden kann, dass die durchgeschlagenen Pfähle in dem unteren Packwerk noch festen Halt gewinnen können. Die für die Ränder zu verwendenden Faschinen müssen möglichst kurz sein, damit sie eine radiale Richtung erhalten. Die Kronlage wird sowohl mit Längswürsten, als auch mit Querswürsten versehen, und dann mit Beschwerungsmaaterial, am besten mit Lette oder fettem Lehm bedeckt und schliesslich ebenfalls abgerammt, wobei jedoch leichtere Rammen zu verwenden sind, um ein Durchschlagen der Pfähle durch die Würste zu vermeiden. — Mit der Kronlage ist das Packwerk beendet.

Eine ganz specielle Beschreibung der Anfertigung von Packwerk findet sich in: Hagen. Wasserbaukunst II. Th., 2. Bd., § 36; die vorstehende entspricht der Bauweise an der mittleren Oder und an der Memel.

Alle weiteren Bühnenarbeiten sollen bei specieller Erläuterung ihrer Constructionen zur Erörterung gelangen.

Sinkstücke. Ein Sinkstück ist ein aus systematisch geschichteten Faschinen hergestellter und durch Wurstroste und Luntleinen eng verbundener, grösserer Faschinenkörper. Man verwendet Sinkstücke zum Ausbau tiefer Stellen des Flussbetts, zur Befestigung grösserer Flächen desselben, sowie im Allgemeinen als Ersatz des Packwerks, wo dieses nicht ausführbar oder doch weniger zweckmässig ist. Oft tritt namentlich bei starker Strömung und grossen Tiefen durch das allmähliche Senken der Packwerkslagen eine erhebliche Vertiefung der Flussbettsohle ein, während das belastete Sinkstück sofort eine grössere Fläche der Sohle bedeckt und Vertiefungen daselbst, wenn auch nicht ganz, so doch wesentlich verhindert. Ein weiterer Vorzug der Sinkstücke vor Packwerk besteht darin, dass sie auf fester Rüstung im Trockenem sorgfältiger und auch bei höheren Wasserständen gebaut und verwendet werden können. Endlich lassen sie sich noch der Form des Flussbetts entsprechender herstellen und gestatten in gewissen Fällen auch eine raschere Förderung des Baues. Aus diesen Gründen werden sie zu Fundamentlagen für Bühnen, Parallel- und Deckwerke, zu Coupirungen,

Grundschwellen und zu den Köpfen der Werke verwendet, sind indessen wegen des zu ihrer Versenkung erforderlichen Steinmaterials, welches nur zum geringen Theil durch Lette ersetzt werden kann, etwas theurer als Packwerk.

Man baut Sinkstücke meist auf einer, entweder auf dem Ufer oder auf einem besonderen Schiff ruhenden, festen Holzrüstung, seltener auf einer auf dem Wasser schwimmenden Rüstung. Die Basis des Sinkstücks bildet in jedem Falle nach Fig. 2, Taf. XXIX ein aus Würsten hergestellter Rost mit quadratischen Feldern von etwa 1^m Seite.

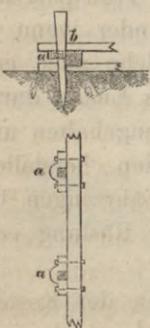
Erfolgt die Anfertigung des Sinkstückes auf der festen Rüstung am Ufer, so wird dort an passender Stelle der nach Fig. 3, Taf. XXIX aus Querschwellen, Längsbalken, Holzwalzen und darüber liegenden Längsbohlen bestehende Apparat mit einer Neigung von etwa 1:10 aufgestellt und über den Bohlen aus Würsten ein Rost construiert. Die Kreuzungen der Würste erhalten eine Befestigung durch Bindeweiden. Behufs Verbindung des unteren Rostes mit dem später über das Sinkstück zu legenden oberen Rost werden sämmtliche äusseren Kreuzungen des unteren Rostes und

Fig. 10.



auch die inneren abwechselnd noch mit Luntleinen fest verbunden, welche dieserhalb eine dementsprechende Länge haben müssen. Nachdem durch die mit Luntleinen versehenen Kreuzungen Pfähle getrieben, an diesen oben die Luntleinen nach nebenstehender Fig. 10 mittelst des sog. Doppelschlags befestigt sind, gelangen die Faschinen zur Verlegung und zwar in der ersten Schicht rechtwinklig zu den obersten Rostwürsten mit den Stammenden nach aussen, wobei jedoch im Innern für gehörige Abwechslung und Ueberdeckung der Stösse gesorgt werden muss. In der nächstfolgenden Schicht kreuzen die Faschinen die untern, indem auch hier die Stammenden derselben nach Aussen liegen. In dieser Weise wird mit Herstellung der weiteren Schichten fortgefahren, bis die Stärke des Sinkstücks von etwa 1^m bis 1^m,25 erreicht ist, sodann die oberste Schicht als Rücklage construiert, und diese mit dem oberen Wurstrost bedeckt. Demnächst erfolgt durch kräftiges Anziehen der Luntleinen und Befestigen derselben an den entsprechenden Kreuzungen des Rostes dessen Verbindung mit dem Sinkstück. Nachdem dann noch die oberen Ränder mit Würsten oder Flechtzäunen zum besseren Halt der Beschwerungsmaterialien versehen, auf das Sinkstück auch die zur späteren Anhängung desselben an zwei Schiffsfahrzeuge erforderlichen, vorher unter dem unteren Rost durchzuziehenden Tragetaue gelegt sind, kann mit dem Abrollen begonnen werden. Damit dieses jedoch nicht schon während der Anfertigung des Sinkstücks erfolgt, ist dasselbe mit dem Ufer durch ein starkes Haltetau verbunden.

Fig. 11.



Letzteres greift entweder durch das Sinkstück oder durch ein an ihm befestigtes starkes Flechtband aus Weidenruthen. Ausserdem wird das zu frühe Abrollen noch durch mehrere, vor die Walzen geschlagene Pfähle verhindert. Zu diesem Behuf erhalten die äusseren Längsbalken des Apparats nach nebenstehender Fig. 11 in Entfernungen von 1 bis 2^m Holznaggen *a* mit Oeffnungen für die Pfähle *b*, welche erst nach Beendigung des Sinkstücks gleichzeitig beseitigt werden, worauf es von selbst in Folge der Neigung des Apparats in den Fluss abrollt und nur noch am ebenfalls gelösten Haltetau hängt. Die hierbei mit in den Fluss gelangenden Walzen und Längsbohlen sind an den Enden zur Erleichterung des Herausziehens mit Luntleinen versehen.

An die Langseiten des Sinkstücks legen sich nunmehr nach Fig. 5, Taf. XXIX zwei mit Lette und Steinen belastete Fahrzeuge. In den Borden derselben sind an einzelnen Stellen durchreichende, starke Holzpflocke, an denen die Tragetaue des Sinkstücks befestigt werden. Jedes dieser Fahrzeuge hat noch ein besonderes Haltetau, welches je nach der Gestaltung des Ufers entweder an daselbst eingeschlagene Pfahlbündel oder an Ankern im Flussbett befestigt wird. Mit den drei vorhandenen Haltetauen lässt sich das meist mit den zum Stromstrich parallel stehenden Fahrzeugen verbundene Sinkstück zur Baustelle transportiren, dort mit Hilfe von aufgestellten Richtungsstangen genau in die gewünschte Stellung bringen und es kann dann, nach Eintreibung der auf den Rändern noch hervorragenden Pfähle mit Aufbringung des Lette- und Steinmaterials begonnen und diese Arbeit so lange fortgesetzt werden, bis das Sinkstück überall vom Wasser bedeckt ist. Durch gleichzeitige Lösung der Tragetaue sinkt es mit diesen im Moment auf das Flussbett nieder. Mit dem Aufziehen der Tragetaue und des Haltetaues ist die Arbeit beendet.

Die Hauptschwierigkeit besteht darin, das Sinkstück vor der Belastung in die richtige Stellung zu bringen und in dieser auch während der Belastung bis zum Moment des Sinkens zu erhalten, doch lässt sich solches mit umsichtigen, geübten Arbeitern durch die Haltetaue in genügendem Maasse erreichen. Bei Anordnung der Stellung des Sinkstücks ist auch darauf zu rücksichtigen, dass es im Moment des Sinkens durch die Strömung eine Fortbewegung erfährt, wodurch sich die frühere Lage immer etwas ändert. Die hierbei unvermeidlichen Unregelmässigkeiten, sowie auch die beim Vor- und Nebeneinanderlegen der Sinkstücke sich bildenden Zwischenräume und etwaigen Vertiefungen und Ungleichheiten in der Flussbettsohle daselbst, welche ein Unterwaschen bezw. ein weiteres Sinken zur Folge haben, sind durch kleine Sinkstücke, Senkfaschinen oder Steine zu beseitigen, damit der Oberbau überall ein festes Auflager vorfindet. Dieserhalb ist das Flussbett an der betreffenden Stelle vorher und auch nach erfolgter Versenkung des Sinkstücks sorgfältig zu peilen und in Bauzeichnungen darzustellen.

Um die Sinkstücke an jeder passenden, mit Faschinen besetzten Uferstelle anfertigen zu können und um die Schwierigkeiten ihres Transports nach der Gebrauchsstelle zu vermindern, werden sie auch auf der schwimmenden aber festen Rüstung, welche nach Fig. 4, Taf. XXIX auf einem grösseren, am Ufer angelegten Prahm ruht, angefertigt. Das Sinkstück wird nach seiner Vollendung mit dem Prahm an die Verwendungsstelle gebracht, auf das Wasser abgerollt, am Prahm befestigt und so lange schwimmend erhalten, bis sich ein zweites Fahrzeug mit Beschwerungsmaterial angelegt hat, sodann genau eingerichtet und versenkt.

In einzelnen Fällen, in denen die mangelnde Wassertiefe den Transport der belasteten Fahrzeuge bezw. der Sinkstücke überhaupt nicht gestattet oder wenn es sich nur um die Anfertigung weniger Stücke handelt, lassen sich solche auch entweder auf schwimmend im Wasser liegenden Balken, welche an ihren Enden durch einige aufgenagelte Bohlen in Abständen von 1^m nebeneinander zusammengehalten und nach Anfertigung des Sinkstücks unter demselben vorgestossen werden, herstellen, oder man construirt sie auch auf einem zwischen zwei verankerten Fahrzeugen befestigten Rost. Derartige Sinkstücke stehen indessen den auf fester Rüstung construirten an Qualität nach.

Endlich ist noch zu bemerken, dass man in einzelnen Gegenden der Kostenersparniss wegen auch Sinkstücke von der doppelten Stärke mit Zugabe noch eines

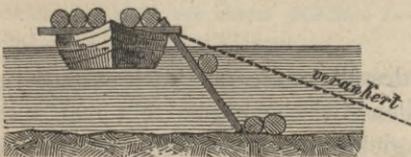
Mittelroste construirt, die Felder der Roste grösser anlegt und statt der Luntleinen gedrehte Weidenruthen benutzt. Dieselben bedingen indess grössere Wassertiefen und lassen sich auch nur dort verwenden, wo sie einem stärkeren Stromangriff nicht ausgesetzt sind.

Senkfaschinen. Eine im inneren Kern aus Beschwerungsmaterial, in der äusseren Umhüllung aus Strauchwerk bestehende, durch Luntleinen oder Eisendraht mehrfach fest umgürtete Faschine nennt man Senkfaschine. Sie findet bei Flussbauten eine ähnliche Verwendung wie das Sinkstück, im Allgemeinen also dort, wo es sich um Ausführungen unter Wasser handelt, zu denen Packwerk nicht verwendbar ist. In Folge ihrer soliden Construction und der Eigenschaft auf das Flussbett zu sinken, sind Senkfaschinen zum Ersatz von Sinkstücken und Steinschüttungen, ganz besonders aber zur Ausfüllung von Vertiefungen geringen Umfangs und in allen denjenigen Fällen geeignet, in denen ein Nachsinken des Materials in nachträglich entstehende Vertiefungen des Flussbetts erforderlich ist. Man verwendet sie daher zur Ausfüllung der Kolke vor den Regulierungswerken, zum Abschluss von Vertiefungen des Flussbetts vor Sinkstücken, zu Uferschutzwerken, Coupirungen, Grundswellen und auch zur Grundlage von Buhnen und Parallelwerken. Bei der Anfertigung erhalten sie sehr verschiedene Dimensionen. In Fig. 6, Taf. XXIX ist die gebräuchliche Anfertigung einer Senkfaschine von 5^m Länge und 1^m mittlerem Durchmesser dargestellt.

Auf einem, aus zwei eingegrabenen Streckbalken und vier darüber liegenden Holzwalzen bestehenden Gerüst werden bis zu den vor dem Gerüst stehenden Richtungspfählen, mit den Stammenden nach den letzteren gerichtet, Faschinen ausgebreitet und diese seitwärts durch eingeschlagene Pfähle gehalten.

Aus den Faschinen bildet man den Boden und die langen Seitenwandungen eines Koffers zur Aufnahme des Beschwerungsmaterials, während kurze Faschinenreiser die schmalen Seitenwandungen abschliessen. Als Beschwerungsmaterial zur Füllung des Koffers werden Steine und Kies, bisweilen auch noch Lette verwendet. Nach Einbringung dieser Materialien wird der Koffer oben mit Faschinen bedeckt und sodann die äussere Hülle in Entfernungen von 0^m,30 bis 0^m,60 mit Bändern von Luntleinen oder Eisendraht fest umbunden. Dies erfolgt mittelst sog. Würgekettten, auch wohl durch stärkere Taue, welche die Senkfaschinen umfassen und an den Enden mit Ringen versehen sind. Hierdurch gesteckte Wurst- oder Hebebäume, an denen je 1 bis 2 Arbeiter wirken, während andere mit schweren Holzhämmern auf die Faschinen schlagen, comprimiren letztere so lange, bis ein Band von Luntleinen oder Draht dicht neben der Würgekette umgeschlungen und befestigt ist. Gewöhnlich werden die äusseren Bänder zuerst, demnächst das in der Mitte und schliesslich die übrigen angebracht, ihre Enden aber unter die benachbarten Bänder gesteckt, damit sich die Verbindungsstellen nicht lösen können. Nach Beseitigung einer Pfahlreihe des Gerüsts lässt sich die Senkfaschine auf das Ufer oder auch alsbald auf ein mit Bohlen überdecktes Fahrzeug abrollen. Die Versenkung erfolgt in diesem Falle an der Gebrauchsstelle vom verankerten Schiff aus nach nebenstehender Fig. 12. Werden die Senkfaschinen zur Sicherung der Ufer und der Regulierungswerke verwendet, so lassen sie sich direct an der Gebrauchsstelle anfertigen und in den Fluss abrollen. Sie werden meist parallel, in einzelnen

Fig. 12.



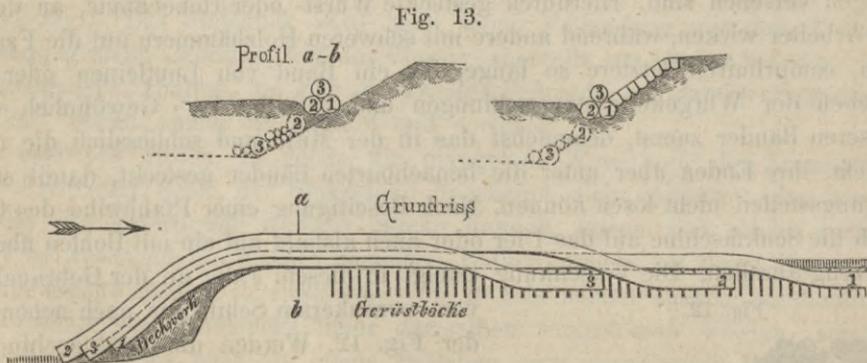
Fällen indessen auch in declinanter Richtung oder normal zum Stromstrich gelegt.

Zu den Senkfaschinen gehören noch die sog. Sinkwalzen, welche nach ihrem Erfinder Gumppenberg'sche *continuirliche Senkfaschinen* genannt werden. Sie sind bis jetzt — seit 1852 — vorzugsweise in Baiern bei Regulirung der Gebirgsflüsse namentlich am Lech zwischen Augsburg und Donauwörth, an der Wertach, Isar und der Donau in Schwaben zur Herstellung von Uferschutzwerken, Begrenzung der Normalstreichlinien, sowie auch theilweise zu Coupirungen und Grundschwellen verwendet worden, erscheinen indessen auch zur Regulirung schiffbarer Flüsse, namentlich zur Sicherung der Böschungsfüsse von Uferschutz- und Parallelwerken, sowie zur Festlegung von Sinkstoffbänken ganz besonders geeignet. Sie unterscheiden sich von den Senkfaschinen nur durch die grössere, oft 100 bis 200^m und darüber betragende Länge und allenfalls dadurch, dass der Kies- oder Steinkern in der Mitte noch durch eine Schicht von Faschinenstrauchwerk getrennt wird. Wegen der grösseren Länge sind sie den Senkfaschinen bisweilen vorzuziehen, stehen ihnen aber auch in mancher Beziehung nach. Ihr Vorzug vor den Senkfaschinen besteht darin, dass sie der Strömung keine Angriffspunkte bieten und von dieser nicht fortgerissen werden, ihr Nachtheil liegt in der schwierigeren Anfertigung und Versenkung, sowie darin, dass sie in Folge ihrer relativ grösseren Steifigkeit vorhandenen oder entstehenden Vertiefungen im Flussbett weniger gut zu folgen vermögen.

Nach v. Gumppenberg „Wasserbau an Gebirgsflüssen (Augsburg 1860).“ sollen sich gewöhnliche Senkfaschinen am Lech nicht bewährt haben, es ist indessen zu bemerken, dass diese dort mit vier Reihen fester, eingerammter Pfähle in Verbindung gebracht und daher in ihrer Wirksamkeit, insofern es sich um die selbstthätige Ausfüllung von Vertiefungen handelt, wesentlich behindert worden sind.

Die Anfertigung der Sinkwalzen erfolgt auf einem aus hölzernen Böcken bestehenden Gerüst, welches auf der Kiesbank oder dem Ufer unmittelbar neben dem zu sichernden oder herzustellenden Ufer errichtet wird. Hat das zu deckende Ufer Buchten oder sind Concaven zu durchbauen, so ist ein besonderer aus leicht eingerammten Pfählen und einem Gerüstboden bestehender Unterbau im Wasser aufzuschlagen, welcher die Böcke dann aufnimmt.

Nach v. Gumppenberg sind zur Deckung oder zur Bildung neuer Ufer stets 3 Sinkwalzen erforderlich, welche nach Fig. 13 in eine vorher hergestellte Rinne des



Flussbetts versenkt werden und nach Vertiefung desselben die im Profil punktirt gezeichnete Lage annehmen. Die hierbei entstehenden Zwischenräume füllt man nachträglich mit Stein- oder Kiesmaterial aus, auch giebt man der Böschung zuweilen Steinpflaster.

Bei der Anfertigung wird zunächst auf der Rüstung die 1. Sinkwalze (vergl. die Fig.) hergestellt und eine entsprechende Länge derselben in den Fluss abgerollt. Am oberen Anfangspunkt erhält sie eine Verbindung mit dem Ufer, wobei der Anschluss so zu wählen ist, dass die Strömung keinen nachtheiligen Einfluss auf die Sinkwalze auszuüben vermag. Letztere lehnt sich auch wohl an ein im Anschlusspunkt aus Packwerk erbautes Deckwerk an. Nach Versenkung des obersten Endes der 1. Walze erfolgt die Anfertigung und Versenkung der 2., bezw. der 3. in analoger Weise auf demselben Gerüst, jedoch nur in soweit, als dieses nicht von den vorhergehenden Walzen besetzt ist. Die oberhalb frei werdenden Böcke dienen zur Verlängerung des Gerüsts unterhalb. In dieser Weise schreitet die Anfertigung und Versenkung bis zum unteren Abschluss auf jede erforderliche Länge vor. Sobald die Versenkung bewirkt ist, werden die Sinkwalzen mit Kies überworfen und vor dieselben in Abständen von 3 bis 4^m noch starke Pfähle eingetrieben.

Bei grösseren Tiefen wurden früher auch wohl 4 und 5 Walzen verwendet, in neuerer Zeit soll man sich mit 2 derselben begnügen. Bisweilen giebt man ihnen noch eine Unterlage aus Faschinenstrauch und dort, wo ein Uebersturz des Wassers zu befürchten ist, werden sie mit einem Deckwerk aus Faschinen hinterbaut. Nach erfolgter Versandung der Sinkwalzen pflegt man die oberste durch Weidenstecklinge zu bepflanzen.

Eine Sinkwalze von 30^m Länge, 1^m Durchmesser erfordert 35,6 kb^m Faschinen und 3—4^k Eisendraht. Letzterer soll von weicher Qualität sein und nicht geglüht werden, da er hierbei zu leicht verbrennt.

Nähere Mittheilungen finden sich ausser in dem Gumpfenberg'schen Werke auch noch in „die Correction der Wildbäche“ von Hess (Halle 1876).

Senkkörbe. Eine allgemeine Anwendung haben Senkkörbe — mit Kiesmaterial gefüllte, von Weidenruthen zwischen stärkeren Stäben in verschiedenen Formen geflochtene, grosse Körbe — beim Flussbau bis jetzt nicht gefunden. Nur am Oberrhein hat man sie vor vielen Jahren zur Coupirung von Nebenarmen benutzt, ihre Bewährung wird indessen vielfach angezweifelt, da die leicht construirten Hüllen durch den schweren Kern beim Versenken und Aufschlagen auf das Flussbett häufig beschädigt werden und dann ein Herausrollen des Kerns erfolgt. Nach Défontaine, welcher mit Tulla vorzugsweise Senkkörbe verwendet hat, sollen dagegen nur 5% aller versenkten Körbe beschädigt worden sein. Derselbe gab ihnen entweder eine parallelepipedische oder eine dreiseitig prismatische, oder auch eine konische Form. Die Senkkörbe der ersteren Gattung waren 2^m lang, 1^m breit und 0^m,6 hoch. Ein derartiger Korb enthält 1,2 kb^m Kies und Steinmaterial, wog leer 210^k, gefüllt 2290^k und verdrängte 1,04 kb^m Wasser. Sein Gewicht im Wasser betrug noch 1249^k.

Die Seitenwandungen der dreiseitig prismatischen Körbe hatten 2^m Länge und 1^m,3 Breite. Am einfachsten in der Construction und auch am solidesten ist der konisch geformte, in Fig. 7, Taf. XXIX dargestellte Senkkorb von 3^m Länge und 0^m,80 mittlerem Durchmesser, zu dessen Anfertigung zehn starke Stäbe an ihren Enden zusammengebunden werden. Diese umschliessen einen, in der Mitte angebrachten hölzernen Reifen und werden von den Enden aus nach der Mitte zu mit Flechtwerk und Weidenruthen bis auf eine Oeffnung zum Füllen umflochten. Zum Schutz gegen Herausfallen des Füllmaterials erhalten die spitz zulaufenden Enden des Korbes noch eingeschobene Strohbündel. Dem nächst werden die Beschwerungsmaterialien eingebracht und nach Verschluss der Füllöffnung zwei Pfähle durch den Korb geschlagen, damit derselbe auf dem Flussbett ein festes Lager erhält. Die Versenkung geschieht von einem zwischen zwei Schiffen construirten Rüstboden aus mittelst einer daselbst befindlichen drehbaren Klappe.

Bei Ausführung der vorstehend erörterten Constructionen stellt sich der Materialbedarf folgendermassen. Es erfordert:

1 lf.^m Flechtzaun, 0,04 kb^m Faschinen und 4 Stück Pfähle.

1 Ar Nester oder Reihenspflanzung, 1,5 bis 2,5 kb^m grüne Faschinen.

- 1 lf^m Rausche. 0,2 kb^m grüne Faschinen.
 1□^m Spreutlage. 0,05—0,1 kb^m grüne Faschinen, 20 Bindeweiden, 4—6 Spreutlagenpfähle, 0,1—0,2 kb^m fruchtbare Erde.
 1□^m Rauhwehr. 0,05—0,15 kb^m grüne Faschinen, im Uebrigen wie Spreutlage.
 1□^m Pflaster 0^m,30 stark. 0,3 kb^m Pflastersteine, 0,2 kb^m Kies oder Lette.
 1 kb^m Packwerk. 1,13 kb^m Faschinen, davon 0^m,03 kb^m für Würste, 15—20 Bindeweiden, 5—8 Bühnenpfähle, 0,35—0,50 kb^m Beschwerungsmaterial.
 1□^m Sinklage 0^m,40 stark. 0,45 kb^m Faschineu, davon 0,015 für Würste, 20—25 Bindeweiden, 2—4 Bühnenpfähle, 0,15 kb^m Lette oder Thon, 0,20—0,25 kb^m Senksteine.
 1 kb^m Sinkstück. 1,1 kb^m Faschinen, davon 0,01 für Würste, 20—25 Bindeweiden, 2—3 Bühnenpfähle, 0,25 kb^m Senksteine, 4—5 lf^m Luntleinen.
 1 kb^m Senkfaschinen. 0,5—0,7 kb^m Faschinen, 0,6—0,7 kb^m Steine oder Kies, 6—8 lf^m Luntleinen oder 0,6—0,9^k Eisendraht.
 1 Senkkorb konischer Form 3^m lang, 0,6 Durchmesser in der Mitte. 300 Flechtweiden 1^m,5 lang, 0,5 Bund Flechtbänder, 2 Pfähle, 10 Stangen à 3^m lang, 0^m,05 stark, 0,5 kb^m Kies.

§ 10. Construction der Regulirungswerke. a. Uferdeckwerke. Dem im natürlichen Zustande nicht widerstandsfähigen Ufer wird schon durch eine Bekleidung mit Flach- oder Kopf-Rasen ein gewisser Schutz gewährt, welcher indessen bei Flüssen nur für die mit flachen Böschungen versehenen Uferflächen oberhalb der Vegetationsgrenze ausreicht, wenn die Strömung nicht erheblich ist. Wirksamer ist schon eine Bepflanzung mit Weiden, noch zweckmässiger aber eine Abdeckung mit Spreutlage, Rauhwehr oder Pflaster (vergl. § 9).

Derartige Uferdeckungen haben indess nur so lange Bestand, als die unter Wasser liegenden Böschungen dem Angriff des Wassers Widerstand leisten. Da dieses aber bei Ufern aus Kies, Sand, Lehm, Lette oder Erde dauernd nicht der Fall ist, befestigt man die unter Wasser liegenden Ufer durch sogenannte Deckwerke, welche aus Faschinen, aus Senkfaschinen oder auch aus Steinen hergestellt werden.

Deckwerke aus Faschinen. Das Deckwerk in Fig. 10, Taf. XXIX steht in inniger Verbindung mit dem Ufer. Letzteres wird zu diesem Zweck von der Kronenhöhe des Werks ab bis zum Wasserspiegel der Bauzeit so steil, als es die Beschaffenheit des Ufers gestattet, abgegraben. Die erste Schicht der zum Stromstrich etwas declinant liegenden Faschinen stützt sich mit ihren Stammenden auf die abgegrabene Uferbank und bildet die Vorlage des Packwerks, welches im Uebrigen ebenso wie für Bühnen beschrieben ausgeführt wird. Die Rücklagen erhalten jedoch zunächst Querwürste und darüber noch Längswürste. Erstere liegen declinant unter einem Winkel von 45° zum Stromstrich, letztere parallel zu demselben. Die Kronlage erhält nur Längswürste. Landseitig kann das Deckwerk auch lothrecht aufgeführt werden, wenn es das Ufer gestattet und das Werk sich an dasselbe anlehnen kann, die wasserseitige Böschung hat dagegen einfache Anlage und ist auch mit einer, mit dem Packwerk innig verbundenen und durch Steinmaterial beschwerten Sinklage versehen. Lehnt sich jedoch das Deckwerk in Folge von Unregelmässigkeiten des Ufers an dieses nicht an, so bildet es zunächst ein Parallelwerk. Es erhält dann nach Fig. 11, Taf. XXIX die landseitige Böschung von der Flussbettsohle bis über dem Wasser eine einfache, von da ab eine lothrechte Anlage und eine Hinterfüllung mit Kies, Sand oder Erde. Wasserseitig schützt die Sinklage das Deckwerk und auf der Krone pflegt man zum Schutz noch Spreutlage oder Rauhwehr zu verwenden.

Zweckmässiger ist die Construction der Deckwerke mit Sinkstücksgrundlage nach Fig. 12, Taf. XXIX, wie sie in neuerer Zeit bei der Memel-Regulirung Anwendung findet.

Die Sinkstücke werden dabei wasserseitig durch eine Reihe von Senkfaschinen und in der Böschung durch Steine gesichert, welche bei Vertiefungen nachrollen und bei rechtzeitiger Ergänzung die Ausbildung grösserer Kolke vor dem Deckwerk verhindern.

Deckwerke aus Senkfaschinen. Eine solidere Befestigung der unter Wasser liegenden Uferböschungsf lächen ist durch Senkfaschinen zu erreichen. Sie sind nicht nur dauerhafter, als Packwerk, sondern gewähren auch noch den Vortheil, dass sie ähnlich, wie Steinschüttungen selbstthätig etwa entstehende Vertiefungen beseitigen. Die Art der Deckung durch Senkfaschinen ist verschieden. Am Oberrhein bedecken nach Fig. 13, Taf. XXIX die in der Richtung des Flusses nebeneinander liegenden Senkfaschinen in Reihen mit normal zum Fluss gekehrten, durchgehenden Fugen die Böschungsf läche bis zur Flussbettsohle. Die erste auf dem Ufer gefertigte Senkfaschine wird an der Böschung bis zur Flussbettsohle herabgerollt; sie bildet alsdann das Widerlager für die nächstfolgende und so fort, bis die oberste nahezu den Wasserspiegel beim niedrigsten mittleren Monatswasserstand erreicht. Die oberste Senkfaschine wird mit 1^m breitem Bankett von Steinpflaster abgedeckt und letzteres bis über den höchsten mittleren Monatswasserstand bezw. bis zur Uferkrone auf der mit zweifacher Anlage versehenen Böschung fortgesetzt. Liegt die Uferkrone erheblich höher, so erhalten die oberen Böschungsf lächen Rasenbekleidung.

Bei dieser Construction gelangen etwaige Unregelmässigkeiten des Ufers unter Wasser zur Ausgleichung, indem die Senkfaschinen zunächst die dort vorhandenen Vertiefungen ausfüllen oder abschliessen. In manchen Fällen ist indessen das Ufer, namentlich an Abbruchstellen und bei vorhandenen Ueberresten von Flussbauwerken so unregelmässig, dass der Fuss des Deckwerks weit in den Fluss hineinragen muss, um eine haltbare Böschung unter Wasser herstellen zu können. Dies hat am Niederrhein zu der in Fig. 14, Taf. XXIX dargestellten Construction geführt, wobei zunächst der Böschungsfuss aus zwei Senkfaschinenlagen gebildet wird. Nachdem letztere mit Kies hinterfüllt sind, werden wiederum zwei Lagen in ähnlicher Weise hergestellt und so fort bis zum Wasserspiegel. Die Hinterfüllung setzt sich bis zur Uferkrone fort und schliesslich versieht man die Böschungen unter Wasser mit Steinbewurf, diejenigen über Wasser mit Bankett und Pflaster.

Eine anderweitige, ebenfalls am Niederrhein gebräuchliche Construction (Fig. 15) hat sich dort gut bewährt. Die Senkfaschinen liegen normal zur Flussrichtung und es tritt die untere Lage so weit in den Fluss hinein, dass sich eine Böschung von 1½ bis 2facher Anlage herstellen lässt. Das Versenken der Senkfaschinen erfolgt nach gehörigen Profilaufnahmen und Peilungen von einem verankerten Prahme aus derartig, dass die erste Faschine möglichst in die grösste Kolkentiefe gelangt und dieserhalb dann nicht fortrollen kann. Sie bildet das Widerlager für die nächste flussaufwärts folgende und so fort, bis die Schwelle auf eine gewisse Länge vorgeschritten ist. Sie wird demnächst mit Kies hinterfüllt und das Verfahren bis zum Wasserspiegel fortgesetzt; wobei die Länge der Senkfaschinen nach oben zu entsprechend abnimmt. Ueber die oberste Lage breitet man noch eine Schicht von Strauchfaschinen aus und befestigt sie mit aufgenagelten Würsten, sowie mittelst zweier das Bankett aufnehmenden Flechtzäune. Auch bei dieser Construction erhalten die äusseren Böschungen unter Wasser noch Steinbewurf und oberhalb ein Bankett und Pflaster.

Wo derartige Deckwerke einem starken Stromangriff ausgesetzt sind, werden sie noch in Entfernungen von 70 bis 90^m durch in normaler Richtung vortretende und

so flach abfallende Bühnenköpfe geschützt, dass sich vor denselben keine Wirbel und Kolke bilden können. Diese Köpfe haben nur eine Kronenbreite von 2^m und bestehen nach Fig. 15 b, Taf. XXIX durchweg aus Senkfaschinen und Steinbewurf.

Deckwerke aus Stein. Die solideste und zugleich in der Praxis am leichtesten ausführbare Deckung der Uferböschungen unter Wasser erfolgt durch Steinschüttungen. Indem die Steine sich dabei auf dem Flussbett und den Uferwandungen ohne Verbindung über einander ablagern, bei jeder entstehenden Senkung also nachfolgen können, sichern sie nicht nur das Ufer, sondern verhindern auch die Ausbildung von Kolken vor demselben. Bei starker Strömung und Eisgang werden allerdings auch Steine fortgeführt, welche sich aber jederzeit leicht ersetzen lassen, so dass grössere Zerstörungen vermeidbar sind. Man wählt zu den Deckwerken behufs Vermehrung des Widerstandes möglichst grosse Steine, da der Widerstand, welchen ein Stein der Strömung entgegensetzt, der 3. Potenz, der Druck des fliessenden Wassers auf den Stein aber nur der 2. Potenz seines Durchmessers proportional ist, (vergl. Cap. V, S. 231).

Die einfachste Deckung ist die in Fig. 17, Taf. XXIX dargestellte. Das Ufer wird so lange mit Steinen beworfen, bis die gewünschte Böschung erreicht ist. Zur Ersparung von Material wird auch je nach der Ufergestaltung nach Fig. 18 nur der Böschungsfuss aus Steinen geschüttet, dieser bis über Wasser mit Kies hinterfüllt und in der äusseren Böschung mit Steinbewurf gedeckt.

Muss das Deckwerk in Folge von unregelmässigen Uferabbrüchen u. s. w. noch weiter in den Fluss hineinragen, so ist die Construction Fig. 19 gebräuchlich. Der Böschungsfuss wird zunächst nur in mässiger Höhe aus Steinen hergestellt, sodann mit Kies hinterfüllt und in ähnlicher Weise der weitere Aufbau bis zum Wasserspiegel bzw. bis zur Uferkrone ausgeführt.

In einzelnen Fällen hat man den Böschungsfuss auch durch eingerammte Pfähle und Spundwände, die bis zum niedrigen Wasserstande hinaufreichen, zu schützen gesucht, es kann indessen diese Construction nicht empfohlen werden, da sie auf die Ausbildung nachtheiliger Vertiefungen am Fusse des Deckwerks hinwirkt und den plötzlichen unerwarteten Zusammensturz einzelner Theile desselben veranlasst.

Soweit eine Abpflasterung der über dem niedrigen Wasser liegenden Böschungsflächen stattfindet, muss das Pflaster so stark sein, dass es dem Stromangriff zu widerstehen vermag; es bedarf zu diesem Zweck ausser kräftigen Pflastersteinen noch einer angemessenen starken Unterbettung aus Kies oder Steinen.⁸⁾

b. Bühnen. Bei einer Bühne unterscheidet man Kopf, Wurzel und den zwischen beiden liegenden eigentlichen Bühnenkörper. Kopf ist der an der Streichlinie liegende, besonders solide construirte, Wurzel der mit dem natürlichen Ufer in inniger Verbindung stehende Theil der Bühne. Während der Kopf dauernd dem Angriff der Strömung ausgesetzt ist, wird die Wurzel und der Bühnenkörper nach erfolgter Verlandung der Einwirkung der Strömung bei niedrigen Wasserständen ganz, bei höheren aber sehr wesentlich entzogen. Damit der Ueberfall des höheren Wassers an der Wurzel keine Beschädigung des Ufers herbeiführt, ist der dort liegende Bühnen-

⁸⁾ Zu den Uferschutzwerken kann man auch die Futtermauern und die Bohlwerke rechnen, da dieselben indess zu eigentlichen Flussregulirungen nicht verwendet zu werden pflegen, so ist die Besprechung derselben nicht an dieser Stelle aufgenommen. Man findet das Betreffende im V. Capitel des ersten, sowie im XVI. Capitel dieses Bandes unseres Handbuchs. Ausserdem ist auf Hagen's Wasserbaukunst II. Theil, 1. Band, Abschnitt 1, zu verweisen.

theil möglichst in gleicher Höhe mit dem Ufer anzuordnen, letzteres aber flussauf- und abwärts mit der Buhne durch Eckbauten, welche sich auf angemessene Länge noch als Deckwerke fortsetzen können, zu verbinden. Die Buhnenkrone erhält als Schutz zur Verminderung von Zerstörungen der obersten Theile der Buhne durch Hochwasser und Eisgang Pflaster, Steinschüttungen, Spreutlage oder Rauhwehr. Weidenpflanzungen tragen wesentlich zur Beförderung der Alluvionbildung bei, indem sie die Geschwindigkeit des Wassers mässigen und Sinkstoffablagerungen veranlassen. Sobald die Alluvionen zwischen den Buhnen vollendet sind, hat der Buhnenkörper seinen wesentlichsten Zweck erfüllt und gelangt nur bei Beschädigung und Abwaschung der Alluvionen wieder in Wirksamkeit. Dieser Fall tritt aber, solange Kopf, Wurzel und Krone widerstandsfähig sind, bei rationell angeordneten Buhnensystemen nicht ein, es gehört sonach zur wesentlichsten Aufgabe des Buhnenbaues, die Wurzeln und Kronen der Werke, vor Allem aber ihre Köpfe widerstandsfähig herzustellen und dauernd in diesem Zustande zu erhalten. Das Baumaterial der Buhnen besteht aus gewöhnlichen Faschinen, aus Senkfaschinen und aus Steinen, in seltenen Fällen verwendet man wohl auch Bauholz dazu.

Buhnen aus Faschinen. In früherer Zeit wurde der Buhnenkörper durchweg aus Packwerk mit einer Kronenbreite von 2—4^m und mit Seitenböschungen von einfacher Anlage nach Fig. 21, Taf. XXIX erbaut, die Kronen aber, wie dies auch heute noch allgemein gebräuchlich ist, mit Spreutlage, Rauhwehr oder Pflaster abgedeckt. In Anbetracht der beim allmählichen Senken des Packwerks unvermeidlichen Vertiefungen der Flussbettssohle stellt man indessen in neuerer Zeit vielfach das Fundament der Buhne bei grösseren Wassertiefen nach Fig. 22, Taf. XXIX aus einer Lage, oder auch nach Fig. 23 aus mehreren Lagen von Sinkstücken her, welche ausser der raschen Abdeckung grosser Flächen des Flussbetts noch den Vortheil bieten, dass sie bei höheren Wasserständen versenkt werden können und dass sich bei ihrer Verwendung sonach die Bauzeit wesentlich verlängern lässt. Ueber die Ausführung des Packwerks und der Sinkstücke ist bereits oben (§ 9) das Nähere mitgetheilt, es bedarf daher hier nur noch einiger Erläuterungen über die Abdeckung der Kronen und die Construction der Buhnenköpfe.

Erfolgt die Sicherung der Krone durch Spreutlage (Fig. 21, Taf. XXIX) so werden die einzeln, dicht nebeneinander ausgebreiteten grünen Weidenruthen mit ihren Stammenden unter die an den Böschungsfüssen des Buhnenkörpers aufgenagelten doppelten Würste gesteckt, ihre Wipfel aber auf der Buhnenkrone übereinander gelegt. Die Ruthen haben dabei eine normale Lage zur Längsachse der Buhne und werden parallel zu dieser durch Würste in Entfernungen von 0^m,60 festgehalten. Zum Schutz erhält die Spreutlage eine dünne Schicht fruchtbarer Erde.

Bei Rauhwehr (Fig. 22, Taf. XXIX) wird in der Längsrichtung der Buhne in der aus Erdschüttung gebildeten Decke zunächst 1^m vom flussabwärts belegenen Rande der Krone eine Rinne zur Aufnahme der Stammenden der Weidenruthen ausgehoben. Einige aufgenagelte Längswürste befestigen diese Ruthen und es folgen dann in Entfernungen von je 1^m weitere, analog hergestellte Ruthenlagen, welche mit ihren Wipfeln die vorhergehenden Würste bedecken, so dass letztere nur an der Böschung stromaufwärts zu Tage treten. Auch hierbei liegen die Ruthen normal und die Würste parallel zur Buhnenachse.

Eine andere Construction der Rauhwehre besteht darin, die Ruthen in einer Schicht von 5 bis 10^{cm} Stärke parallel zur Buhne auszubreiten und durch übergezogene

Flechtzäune in Entfernungen von 1^m zu befestigen. Letztere liegen zur Stromrichtung declinant und werden mit den auch an den Rändern der Bühnenkrone hergestellten Flechtzäunen in innige Verbindung gebracht.

Bei Abpflasterung der Bühnenkrone (Fig. 24) pflegt man die Ränder der Krone mit einem, zwischen doppelten Flechtzäunen, aus Steinen gefertigten Widerlager zu versehen oder auch nur mit starken Pfählen einzufassen und den Zwischenraum mit grossen gesprengten Feldsteinen abzupflastern, die Fugen aber mit Steinzwicken, Kies, Lettè und Moos zu dichten.

Der wichtigste Theil der Bühne ist der Bühnenkopf, er erfordert daher auch die solideste Construction.

Die älteste, früher ganz allgemein gebräuchlich gewesene Construction besteht darin, die vordersten Packwerkslagen des Bühnenkörpers mit einer Sinklage zu versehen, diese mit Steinen gehörig zu beschweren und die über dem niedrigen Wasserstande liegenden Böschungen mit etwa zweifacher Anlage zwischen Flechtzäunen abzupflastern. Die Erfahrung hat indessen gelehrt, dass Sinklagen in grossen Tiefen den nöthigen Schutz nicht zu leisten vermögen, vielmehr sehr bald in Folge des heftigen Stromangriffs und der sich vor den steilen Köpfen bildenden Wirbel unterwaschen werden. Die Bühnenköpfe sinken dann in die Kolke nach und es wird die vordere Böschung auf diese Weise immer steiler. Hieraus resultirt eine Verstärkung der Wirbel und Kolke und schliesslich die völlige Zerstörung des Kopfes, dem bald die des Bühnenkörpers nachfolgt. Aus diesen Gründen geht man von dieser Construction in neuerer Zeit immer mehr und mehr ab und verwendet Sinklagen zu den Köpfen nur noch in geringen Wassertiefen, obwohl sie auch dort nicht zweckmässig sind, weil bei der steten Veränderung der Fahrrinne die momentan geringe Wassertiefe dauernd nicht bestehen bleibt.

Durch flache Kopfböschungen, welche die zerstörende Kraft der Wirbel sehr wesentlich mässigen, sowie durch Verwendung von Sinkstücken, Senkfaschinen und Steinen zu den Bühnenköpfen ist die Construction derselben wesentlich verbessert worden. In Fig. 1 bis 4, Taf. XXX sind Bühnenköpfe in der oberen Ansicht, im Längen- und Querprofil dargestellt, wie sie zur Zeit in der Weichsel, in der mittleren und unteren Oder sowie in der Memel ausgeführt werden.

An der Weichsel (Fig. 1) besteht der Kopf aus Packwerk mit 3^m,50 breiter Bühnenkrone und stützt sich auf drei Sinkstücke, welche das Flussbett sowohl vor dem Kopf, als auch oberhalb desselben abdecken. In der Längenrichtung erhält der Kopf über dem niedrigen Wasserstande eine fünffache, flussaufwärts eine dreifach veranlagte und flussabwärts eine steilere Seitenböschung sowie ein zwischen Pfahlreihen ausgeführtes Pflaster. Die äusseren Pfahlreihen werden mit Ausschluss der flussabwärts gelegenen noch durch Steinschüttungen gesichert.

An der mittleren Oder bei Glogau (Fig. 2) ruht der Kopf völlig auf Sinkstücken und es treten letztere soweit in den Fluss vor, dass sich unter dem niedrigen Wasserstande in der Längenrichtung des Werks eine Böschung von sechsfacher Anlage bildet, während der höher belegene Theil des Kopfes zwischen doppelten Flechtzäunen, der Zeichnung gemäss, aus behauenen Steinen sauber in Lette, Steingruss und Kies mit Böschungen von vierfacher Anlage abgepflastert wird. Da sich Sinkstücke mit der Zeit comprimiren, so sind Senkungen des Kopfs und somit auch Beschädigungen des Pflasters unvermeidlich. Eine einfache Schüttung des oberen Kopfs innerhalb der Flechtzäune würde die Ausführung erleichtern, ohne die Solidität der Construction zu beeinträchtigen. Der Bühnenkörper hat 2^m,50 Kronenbreite und Seitenböschungen von einfacher Anlage.

An der unteren Oder bei Frankfurt (Fig. 3) wird der über dem niedrigen Wasserstande liegende Bühnenkopf in ähnlicher Weise, wie der vorherbeschriebene, das Fundament aber aus Sinkstücken derartig hergestellt, dass sich in der Längenrichtung eine 15 bis 20fach veranlagte Böschung bildet. Vor den eigentlichen Kopfsinkstücken tritt noch eine aus einem schmalen Sinkstück gefertigte Grund-

schwelle vor, welche theils mit Senkfaschinen von 0^m,60 Stärke, theils mit Steinschüttungen bedeckt wird. Letztere setzen sich bis zur Flussbettssohle fort. Während die Köpfe zweier gegenüberliegenden Bühnen ein Normalprofil von 188^m begrenzen, nähern sich die vortretenden Schwellen bei etwa 3^m Wassertiefe des Flusses auf 100 bis 130^m. Die Construction ist zwar sehr kostspielig, hat indessen den grossen Vorzug, die Ausbildung der grössten Tiefe in der Mitte des Flussbetts zu veranlassen.

An der Memel (Fig. 4) ruht der Kopf ebenfalls durchweg auf Sinkstücken und wird nach der Zeichnung aus Steinschüttungen sowohl über, als unter dem Wasser derartig construirt, dass in der Längenrichtung von der Kopfkronen bis zum Flussbett eine fünffache Böschung entsteht. Die Steinschüttungen bedürfen in den ersten Jahren der Ergänzung, damit sie jederzeit die vor dem Kopf entstehenden Vertiefungen selbstthätig auszufüllen vermögen. Um Unterwaschungen und Senkungen der Sinkstücke zu vermeiden, werden flussauf- und abwärts bei starker Strömung noch Senkfaschinen neben die Sinkstücke gelegt. Die Bühne hat 4^m Kronenbreite, einfach veranlagte Seitenböschungen und erhält auf 11^m Länge in der Krone vom Kopf aus zwischen starken Pfählen eine pflasterartige Abdeckung mit grossen gesprengten und gehörig verzwickten Feldsteinen.

Bühnen aus Senkfaschinen. Sie sind bisher vorzugsweise im Nieder-Rhein nach Fig. 20, Taf. XXIX erbaut worden.

Der Bühnenkörper besteht in seinen Seitenwandungen aus Senkfaschinen, im mittleren Kern aus grobem Kies. Die Senkfaschinen liegen parallel zur Flussrichtung und zwar vom Flussbett bis 1^m unter dem niedrigen Wasser derartig neben und übereinander, dass sie äusserlich flussaufwärts eine anderthalbfache, flussabwärts eine 1¹/₂ bis 2fache Böschung, im Innern der Bühne aber Wandungen von bezw. 1¹/₂ und ¹/₂facher Anlage bilden. Nach Fertigung dieser Aussenwände erfolgt die Ausfüllung des mittleren Raumes mit Kies, sodann die Ueberbauung der Senkfaschinen mit Packwerk in Kranzlagen bis zum niedrigen Wasserstande und nach beendeter Kiesanfüllung die Abdeckung mit einer Strauchlage. Die Böschungen erhalten Steinbewurf und der obere Bühnenkörper wird von den beim niedrigen Wasserstande liegenden Banketts ab bis zur 2 bis 2^m,50 breiten Krone aus Kies hergestellt und durch Pflaster gesichert. Letzteres bildet auch die Abdeckung der Krone und hat eine Stein- oder Kiesschüttung als Unterlage. Der Kopf fällt vom gewöhnlichen Wasserstande ab bis zur Flussbettssohle mit einer 4 bis 6fachen vorderen Böschung und besteht in dem unter Wasser befindlichen Theil durchweg aus ebenfalls parallel zum Stromstrich nebeneinander liegenden Senkfaschinen, oberhalb aber aus Steinen. Auch hier sind die Böschungen noch mit Steinbewurf abgedeckt.

Bühnen aus Stein. — Wo Steinmaterial billig zu haben ist, verwendet man dieses zur Herstellung der Bühnen. Sie werden in der erforderlichen Stärke aus Steinen geschüttet, erhalten über dem niedrigen Wasserstande Banketts mit abgeplastertem Oberbau und flach abgeböschte Köpfe. Zur Ersparung von Steinmaterial findet gewöhnlich die in Fig. 24, Taf. XXIX dargestellte Construction mit äusseren Steinwandungen, innerem Kieskern, Banketts und gepflasterter Krone Anwendung. Der ganz aus Steinen bestehende Kopf kann hierbei jede Neigung erhalten und beim Nachsinken leicht ergänzt werden.

Steinbühnen erfordern eine sorgfältige Herstellung ihrer Wurzeln. Da sich Steine mit der Erde des Ufers nicht gehörig verbinden, treten leicht Hinterspülungen ein, denen durch Bepflanzung des Ufers an der Bühnenwurzel mit Weiden entgegenzutreten ist.

Ähnliche Constructions zeigen die Fig. 7 und 8, Taf. XXX, welche indessen häufiger zum Bau von Parallelwerken verwendet und daher sub e. noch erwähnt werden. Auch pflegt man bisweilen zur Ersparung von Steinmaterial sogenannte Senkkasten aus mit Steinen gefüllten Holzwandungen zu construiren, die jedoch

nur dort, wo Bauholz billig zu beschaffen ist, im Gebrauch sind, wegen der steilen Wandungen aber weniger zum Bühnenbau, als zu Uferschutzwerken geeignet erscheinen. Endlich ist noch zu erwähnen, dass in amerikanischen Flüssen Bühnen aus Pfahlreihen mit dazwischen geworfenen Faschinen und Steinen hergestellt werden. Gewöhnlich sind 6 Pfahlreihen vorhanden, welche im Querprofil der Bühne etwa 5^m von einander entfernt sind, während der Abstand der einzelnen Pfähle im Längenprofil des Werks 0^m,60 beträgt. Bis zum niedrigen Wasserstande liegen zwischen den Pfählen Faschinen und von da bis zum Mittelwasser, der Höhe der Pfahlköpfe, Steinschüttungen. Auf diesem mächtigen Unterbau ruht der aus grösseren Steinen gebildete Bühnenkörper mit 2^m,5 breiter Krone. Die Böschung flussaufwärts hat einfache, die abwärts gekehrte 1½fache Anlage. Derartige Bühnen finden sich im Mississippi bis zu 425^m Länge vor. (s. Deutsche Bauz. 1876, S. 531).

c. Grundswellen. Sie werden in der Weise wie der Unterbau der Bühnen, Parallelwerke und Coupirungen construirt. In der Regel muss aber eine solide Bauart gewählt werden, Man erbaut sie daher meist nur aus Steinen, Senkfaschinen oder Sinkstücken und giebt ihnen eine von der Strömung, dem Zweck und den localen Verhältnissen abhängige Breite und Höhe. Ueber ihre Anwendung, Ausführung und Wirkung vergl. § 5 b.

d. Schlickfänge, Schlickzäune und Traversen. Unter dieser Bezeichnung werden im Allgemeinen Bühnenartige Werke leichter Construction verstanden, welche theils um die Alluvionbildung zwischen Hauptbühnen zu befördern, um in Verlandungen vorhandene Wasserrinnen abzuschliessen und um flache Stellen im Flussbett oder niedrige Ufer, soweit sie von starker Strömung nicht getroffen werden, zur Verlandung zu bringen, theils auch zur Befestigung von Sinkstofffeldern in Convexen erbaut werden. Die Bezeichnungen variiren je nach der Gegend. So versteht man unter Traversen nicht nur leichte Nebenwerke sondern auch grössere Bühnen. Schlickfang ist wohl der gebräuchlichste Ausdruck für alle derartige Werke, wengleich sie nicht ausschliesslich Schlick sondern sämtliche Flussinkstoffe auffangen sollen.

In der Regel liegen Schlickfänge in den Intervallen der Bühnen und im Schutz derselben, als Nebenwerke bedürfen sie dann nur einer leichten Construction, da nachtheilige Folgen einer etwaigen Beschädigung und Zerstörung der Schlickfänge wegen der benachbarten Hauptwerke nicht eintreten können. In einzelnen Fällen werden Schlickfänge auch als selbstständige Werke zum Ausbau der Ufer und zur Regulirung kleiner Flüsse mit mässiger Strömung verwendet. Man giebt ihnen vielfach zunächst nur eine geringe Höhe, wartet die Verlandung ab und erbaut dann über oder neben den verlandeten Werken neue. Das Baumaterial besteht ebenfalls aus Faschinen, Senkfaschinen und Steinen.

Schlickfänge aus Faschinen. Die einfachsten Schlickfänge stellt man aus Flechtzäunen her, indem eingetriebene Pfähle über dem Wasserspiegel mit Weidenruthen umflochten und letztere mit hölzernen Gabeln herabgedrückt werden. Ein völliger Abschluss des Wassers lässt sich hierbei nicht erzielen, weil im Flechtzaun immer Lücken verbleiben, welche indessen den Uebersturz des Wassers vermindern und insofern sogar vortheilhaft sind. Trotz dieser Lücken mässigen die Flechtzäune die Geschwindigkeit des Wassers wesentlich und veranlassen daher auch Ablagerungen von Sand und grösseren Sinkstoffen. Nachtheilig sind aber diejenigen Lücken, welche zwischen der Flussbettssole und der untersten Ruthenlage entstehen, da sie auf Unterwaschung der Flechtzäune hinwirken. Man pflegt letztere dieserhalb zuweilen auf

einige kreuzweis über einander gelegte und durch Steine beschwerte Faschinenunterlagen aufzustellen, hiervon lässt sich indess bei geringer Tiefe und Geschwindigkeit absehen. Werden Schlickfänge aus Packwerk hergestellt und begrenzen ihre Köpfe die Streichlinie, so unterscheiden sie sich von Bühnen nur durch die geringere Kronenbreite, während der Kopf dann ebenso solide wie bei Bühnen construirt werden muss. Man stellt sie auch wohl ohne Seitenböschungen her, indem man zwei Flechtzäune in einem Abstände von 1 bis 2^m bildet und den Zwischenraum mit Packwerk ausfüllt, wobei die Faschinen in der Längsrichtung des Bauwerks liegen.

Eine andere Construction ist in Fig. 25, Taf. XXIX dargestellt. Im Abstände von 2^m werden zwei Reihen starker Pfähle in Entfernungen von ebenfalls 2^m schräg eingerammt und zwischen dieselben Faschinen in declinanter Richtung nebeneinander gelegt. Jede Faschinenlage ist mit Würsten und Beschwerungsmaterial zu versehen. Damit ein Auswaschen desselben möglichst vermieden wird, empfiehlt es sich, die Wipfelenden der Faschinen in einer Lage flussauf, in der nächstfolgenden aber flussabwärts zu legen. Die Krone erhält Abdeckung durch Spreutlage, Rauwehr oder Steinpflaster. Die Construction des Kopfes muss dabei dem speciellen Zweck des Schlickfanges entsprechen, beim Hervortreten bis zur Streichlinie also ebenfalls solide sein.

Schlickfänge aus Senkfaschinen. Sie beanspruchen nur wenig Material und gewähren den Vortheil, dass dieses sich selbstthätig senkt und entstehende Vertiefungen ausfüllt. Gewöhnlich erhalten die Senkfaschinen dabei nur eine geringe Stärke. Ist die Wassertiefe gering, so legt man nach Fig. 26, Taf. XXIX die Senkfaschinen zwischen zwei mit Handrammen eingetriebene Pfähle übereinander, bei grösserer Tiefe verwendet man nach Fig. 27 *a* drei derartige Pfahlreihen. Am Kopf ist es zweckmässig nach Fig. 27 *b* eine Böschung anzuordnen und die Wurzeln durch Steinschüttungen zu sichern.

Schlickfänge aus Stein. Bei starker Strömung oder in Gegenden mit billigem Steinmaterial wird auch letzteres zur Herstellung von Schlickfängen verwendet. Die Construction entspricht derjenigen der Bühnen mit mässigen Dimensionen. Eine zweckmässige Verwendung können Schlickfänge aus Stein als Verlängerung der die Streichlinie in Convexen begrenzenden Bühnen, zum Zweck der Festlegung der dort vorhandenen Kies- und Sandbänke finden. Auf letzteren würde in der nach dem höheren Ufer zu verlängerten Bühnenrichtung nur je eine Rinne von etwa 1 bis 2^m Breite und angemessener Tiefe auszuheben und die Ausfüllung mit Steinschüttungen bis zur Oberfläche der Kies- oder Sandbank zu bewirken sein.

Bei geringen Wassertiefen verwendet man zur Materialersparung, nach Fig. 28, Taf. XXIX, auch Flechtzäune mit Steinschüttungen, welche dann nur den Fuss sichern sollen. Die Steine geben den Flechtzäunen nicht nur mehr Solidität, sondern sind auch für die bessere Verlandung der Werke von Vortheil. Bei grösseren Tiefen werden nach Fig. 29 zwei Reihen Flechtzäune gebildet und dazwischen Steine eingebracht. Die Pfahlreihen sind oben durch Flechtbänder verbunden.

Endlich lassen sich Schlickfänge auch aus Bauholz herstellen. Dies geschieht namentlich in Italien mittelst bohlerwerksartiger Einbaue.

e. Parallelwerke. Die Construction der Parallelwerke unterscheidet sich nicht wesentlich von derjenigen der Bühnen, es bedarf daher hier nur geringer Erörterungen.

Wegen des starken Stromangriffs, dem Parallelwerke ausgesetzt sind, beanspruchen sie durchweg solidere Constructionen, als Bühnen. Die dem Fahrwasser

zugekehrte Böschung der Parallelwerke wird dauernd von der Strömung getroffen, die landseitige Böschung nur zeitweise während des Wasserübersturzes. Es können sonach auf beiden Seiten der Böschungen nachtheilige Vertiefungen des Flussbetts entstehen und dieserhalb muss die Construction die selbstthätige Ausfüllung der Kolke daselbst ermöglichen. Das Baumaterial dieser Werke besteht ebenfalls aus Faschinen, Senkfaschinen und Stein.

Parallelwerke aus Faschinen. Die Ausführung des Packwerks erfolgt ebenso wie bei Bühnen. Die Kronenbreite beträgt 3 bis 4^m, die flusseitigen Böschungen sind von 1 bis 1½ facher, die landseitigen zur Milderung des Uebersturzes von 1½ bis 2facher Anlage. Früher gab man den Parallelwerken beiderseitige Sinklagen zum Schutz der Böschungsfüsse, es ist indessen nach Fig. 5, Taf. XXX die Construction mit vortretenden Sinkstücksunterlagen, welche noch durch vorgelegte Senkfaschinen gesichert werden können, zweckmässiger. Soweit die Böschungen unter Wasser liegen, erhalten sie Steinbewurf und oberhalb, sowie in der Krone Spreutlage, Rauhwehr oder noch besser ein zwischen starken Pfählen ausgeführtes Pflaster aus grossen Steinen.

Parallelwerke aus Senkfaschinen sind bisher vorzugsweise am Rhein ausgeführt worden und zwar entweder nach der Construction in Fig. 15b u. 20, Taf. XXIX (am Niederrhein) oder nach Fig. 6, Taf. XXX (am Oberrhein). Bei der letzteren Construction bekleidet man nur die unter dem niedrigen Wasser liegenden Böschungen der auf den Kiesbänken herzustellenden Parallelwerke mit Senkfaschinen, schüttet den oberen Theil des Werks aus Kies und giebt ihm an der flusseitigen Böschung über Wasser und in der Krone Steinpflaster, an der anderen Böschung Weidenpflanzung. Die Senkfaschinen an der Flusseite sind mit Steinen, die übrigen mit Kies gefüllt.

Parallelwerke aus Stein. Bei billigem Steinmaterial werden Parallelwerke lediglich aus Steinschüttungen construiert und über Wasser abgepflastert. Zur Ersparung von Steinmaterial lässt sich nach Fig. 7, Taf. XXX die am Mittelrhein gebräuchliche Bauweise mit mittlerem Kieskern zweckmässig anwenden. In der Höhe des niedrigen Wasserstandes sind Banketts angeordnet, auf welche sich das Pflaster der Böschungen stützt. Aehnliche Constructionen finden sich in der oberen Mosel und in der Elbe, wobei nach Fig. 8, Taf. XXX jedoch die Böschungsfüsse in das Flussbett gesenkt werden. Um dies zu ermöglichen, wird von einer über der Baustelle errichteten leichten Holzbrücke aus, durch baggerartige Geräthe von beiden Böschungsfüssen der Kies oder Sand der Flussbettsohle nach der Mitte des Werks geschaufelt und dort aufgehäuft oder auch die Rinne durch Bagger hergestellt und demnächst die Steinschüttung ausgeführt. Die Anordnung hat den Vortheil, dass eine geringe Vertiefung des Flussbetts an den Böschungsfüssen ohne Nachtheil für die Solidität des Werks bleibt. Zweckmässig ist es jedoch auch hierbei den Böschungen eine 1½ fache Anlage zu geben.

f. Coupirungen. Die Zusammenfassung sämmtlicher Wassermassen in einen Flussarm bedingt den Abschluss von Nebenläufen, bei Flussspaltungen aber, von denen in § 12 noch weiter die Rede sein wird, den Abschluss einer der beiden Arme. Hierzu verwendet man Coupirungen — auch wohl Sperrbühnen genannt — d. h. Flussbauwerke, welche den Nebenlauf oder den Flussarm in der ganzen Breite des Querprofils durchziehen und ihn von der Sohle bis zu einer gewissen Höhe über derselben absperrern. Die Wirksamkeit einer Coupirung hängt zunächst von der Höhe und diese in jedem einzelnen Falle von dem speciellen Zweck der Coupirung ab, je nachdem letztere dem schiffbar herzustellenden Hauptarm mehr oder weniger Wasser zu-

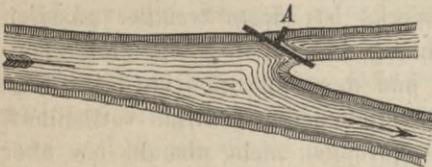
weisen soll. Oft genügt schon eine geringe Höhe und man lässt das Werk dann nur aus Durchlagen unter Wasser bestehen, meist aber erreicht die Krone nach Vollendung der Coupirung eine den niedrigen Wasserstand überragende Höhe. Es ist dies namentlich bei den Constructionen aus Packwerk und Sicherung der Kronen durch Weidenpflanzungen der Fall. Zur Zeit der höheren Wasserstände werden sämtliche Coupirungen überfluthet. Dies bedingt meist schon die Höhe der Ufer, wird aber auch aus dem Grunde nothwendig, um die abgesperrten Flussbetten zur Verlandung zu bringen. Würde die Coupirung den Hochwasserspiegel überragen, so könnten in das Bett des Unterwassers nur noch Schlicktheile, aber keine sonstigen Sinkstoffe gelangen, dort also keine Verlandungen entstehen. Schon bei niedriger Höhenlage vermindert die Coupirung die früher im betreffenden Flussarme in der Fortbewegung begriffene Masse der Geschiebe, indem das Bauwerk, als Stauanlage wirkend, oberhalb die Geschwindigkeit des Wassers mässigt und dort die Ablagerung der Sinkstoffe, soweit diese die Krone des Werks nicht zu überschreiten vermögen, veranlasst. In das Unterwasser gelangen Sand, Kies und Gerölle nur dann, wenn diese die Krone der Coupirung überschreiten. Je grösser aber die Höhendifferenz zwischen Flussbettsohle des Oberwassers und Krone des Werks ist, desto weniger passiren die genannten Sinkstoffe die Coupirung. Hiernach ergibt sich, dass die Verlandung im Flussbett oberhalb eher eintritt, als unterhalb und dass eine niedrige Höhenlage der Coupirungskrone für die Verlandung des abgeschnittenen Flussarms vortheilhaft ist, so dass es sich in vielen Fällen empfiehlt, Coupirungen nicht alsbald bis über den Wasserstand, sondern zunächst nur in geringer Höhe über dem Flussbett zu erbauen und erst dann zu erhöhen, wenn die Verlandung des coupirten Arms entsprechend vorgeschritten ist.

Die Verlandung ist auch durch die örtliche Lage der Coupirung bedingt. Liegt letztere in der Nähe der oberen Abzweigung des Nebenarms und die Krone über dem niedrigen Wasserstande, so erreicht der Unterwasserspiegel nur die Höhe, welche im Hauptflussarm dort, wo der Nebenarm in diesen wieder einmündet, vorhanden ist, liegt also immer tiefer, als der Oberwasserspiegel. Bei Ueberfluthung der Coupirung wird diese Höhendifferenz wesentlich ermässigt. Die Geschwindigkeit im Unterwasser ist aber auch dann noch etwas geringer, als im Hauptarm, weil an dem Bauwerk eine Concentrirung des Gefälles erfolgt und sich dort ein Uebersturz oder Ueberfall bildet, der einen Theil der lebendigen Kraft des Wassers zerstört, und hierdurch die Ablagerung von Sinkstoffen im Flussbett des Unterwassers begünstigt. Erhebt sich die Coupirung nur wenig über die Flussbettsohle, so findet bei Ueberfluthung eine derartige Ausgleichung der Wasserspiegelhöhen im Ober- und Unterwasser statt, dass das Stauwerk eine vermehrte Ablagerung von Sinkstoffen im Bett des Unterwassers nicht mehr zu bewirken vermag. In der Regel sind locale Verhältnisse für die Wahl der örtlichen Lage der Coupirung maassgebend, wenn auch im Allgemeinen die Anordnung des Bauwerks in der Nähe der unteren Mündung des Nebenlaufs in den Hauptarm für die zweckmässigste gehalten wird. Bei einer derartigen Lage treffen die durch den Uebersturz des Wassers erzeugten Kolke nicht mehr den Nebenarm, sondern den Hauptarm. Es ist indessen die Ausführung der Coupirung an der unteren Mündung des Nebenarms oft nicht thunlich, weil das Bauwerk zu seiner Sicherung stets fester Uferanschlüsse und höherer Ufer bedarf, diese aber an der unteren Mündung meist nicht vorhanden sind, namentlich dann nicht, wenn die Coupirung bei niedrigem Wasserstande den Nebenlauf völlig absperren, die

Krone also höher liegen soll. In diesem Falle erreicht das Oberwasser zeitweise die Höhe des Wasserspiegels im Hauptarm an der oberen Abzweigung, indem sich das Gefälle des Nebenarmes an der Coupierung concentrirt, sonach für letztere eine entsprechende Höhe bedingt, welche meist diejenige der natürlichen Ufer daselbst überragt. Man ist sonach gezwungen, das Bauwerk weiter oberhalb anzulegen und wählt oft etwa die Mitte des Nebenarms. Mit Rücksicht auf die Gefahr der Zerstörung derartiger Werke pflegt man indessen gewöhnlich deren zwei oder noch mehr in angemessenen Entfernungen hintereinander anzuordnen und als Baustellen in der Regel nicht Untiefen zu wählen, weil dort meist das grösste relative Gefälle vorhanden ist.

Coupierungen werden in normaler Richtung zum Flussbett oder noch zweckmässiger in einer Curve derartig angelegt, dass die beiden Enden von den Ufern aus in inclinanter Richtung in den Fluss hineintreten, wobei das überstürzende Wasser die Ufer weniger angreift. Soll die Coupierung am oberen Arm gleichzeitig als Lein-

Fig. 14.



pfad benutzt werden, so ist die in Fig. 14 dargestellte Lage nothwendig, wobei zur Vermeidung von Uferbeschädigungen beim Uebersturz des Wassers noch ein Anschlusswerk A ausgeführt wird. In ähnlicher Weise lassen sich Coupierungen in einzelnen Fällen auch als Separationswerke in der Richtung des verlängerten Ufers anordnen.

Bei Ausführung sämtlicher derartiger Werke kommt es darauf an, den Bau in kürzester Frist herzustellen, um Vertiefungen des Flussbetts möglichst zu vermeiden. Je mehr das Profil durch das fortschreitende Bauwerk eingeengt wird, desto höher steigt der Stau im Oberwasser, desto reissender wird die Strömung, desto erheblicher der Uebersturz. Auskolkungen des Flussbetts dicht unterhalb des Bauwerks sind eine nothwendige Folge der heftigen Wasserbewegungen. Man begegnet denselben durch Abdeckung des Flussbetts, sowie durch Herstellung einer flachen Böschung und eines Sturzbetts an der flussabwärts gekehrten Seite der Coupierung. Am zweckmässigsten ist es, den ganzen Flussarm zunächst mit einer Grundschwelle aus Sinklagen, Sinkstücken oder Senkfaschinen in angemessener Breite und Höhe zu durchbauen und diese namentlich dort, wo der Schluss des Werks beabsichtigt wird, besonders solide herzustellen.

Erfolgt die Ausführung durch Packwerk, so werden zunächst die beiderseitigen Uferanschlüsse gefertigt und demnächst die Packwerkslagen von beiden Ufern aus vorgetrieben. Bei geringer Strömung gelingt der Abschluss bisweilen lediglich mit Packwerk unter Verwendung von Steinmaterial zur Beschwerung der Lagen, oder auch mit Hülfe einiger Sinkstücke. Ist die Strömung indessen stärker, so wird nach vorheriger Herstellung fester Uferanschlüsse eine systematische Abdeckung des Flussbetts mit Sinkstücken nach Fig. 13, Taf. XXX nothwendig, welche zum Schutz gegen Unterwaschungen und zur Dichtung der Fugen flussauf und -abwärts noch mit Senkfaschinen umgeben werden. Auf diese Unterlage setzt sich das Packwerk auf, indem es gleichzeitig über die Sinkstücke flussaufwärts vortritt und etwaige Rinnen daselbst abschliesst. Mit dem Packwerk geht man zunächst gleichzeitig von beiden Ufern aus, später aber abwechselnd bald auf der einen, bald auf der andern Seite mit sehr flachen vorderen, durch Steine beschwerten Böschungen

vor. Zur Schliessung der Coupirung sind gewöhnlich noch Sinkstücke oder Senkfaschinen erforderlich. Nach erfolgtem Schluss erhält das Werk flussaufwärts einen Erddamm, abwärts eine Abdeckung der Böschung mit Senkfaschinen und Steinen, während die Krone durch Rauwehr oder Pflaster gesichert wird.

Eine andere Construction zeigt Fig. 14, Taf. XXX, wobei die durchgehende Schwelle aus Sinkstücken, der weitere Aufbau aus Senkfaschinen, in der Nähe der Ufer aber aus Packwerk hergestellt wird. Ein vorgelegtes Deckwerk mit Erddamm dient zur Verstärkung und Dichtung des Werks. Das Sturzbett wird aus Senkfaschinen mit Steinschüttungen gebildet. Die obersten Senkfaschinen des Coupirungskörpers erhalten eine Strauchlage als Abdeckung und darüber Pflaster.

Bei grösseren Coupirungen pflegen ganz allgemein Sinkstücke verwendet zu werden, da sie den Vortheil gewähren, erhebliche Flächen des Flussbetts schnell abzudecken. Die in Fig. 11 und 12, Taf. XXX dargestellten Coupirungen sind im Weichselstrom (s. Zeitschr. f. Bauw. 1858, S. 179) ausgeführt worden. Zwei bzw. mehr Sinkstücklagen bilden mit Ausnahme der Uferanschlüsse das Fundament und den Unterbau derartig, dass flussabwärts sehr flache Böschungen und weit vortretende Sturzbetten entstehen. Der Oberbau wird aus Packwerk hergestellt und oberhalb der Coupirung ein mächtiger Erddamm vorgelegt, welcher nach Fig. 11 noch mit einem Deckwerk aus Faschinen, nach Fig. 12 *b* aber nur durch eine mit Steinen beschwerte Sinklage versehen ist. Die Abdeckung der Krone erfolgt theils durch Pflaster auf Kies- und Steinunterbettung, theils auch durch Rauwehr, welche aber nicht nur mit Erde, sondern auch noch mit Steinen belastet ist. Fig. 12 *a* zeigt den Grundriss, Fig. 12 *c* den Längenschnitt einer dieser Coupirungen. Von sonstigen, in grösserem Umfange ausgeführten Coupirungen sind noch diejenigen im Rhein und Neckar bei Mannheim zu erwähnen, bei denen Senkfaschinen in grosser Zahl verwendet wurden. Eine specielle Beschreibung dieser Werke ist in der Allgemeinen Bauzeitung, 1871 enthalten.

Am einfachsten wird die Ausführung bei Verwendung von Steinmaterial, indem sich dieses leicht in jeder beliebigen Höhe im Flussbett anschlütten lässt. Dabei hat man jedoch für eine allmähliche Erhöhung des Werks in seiner ganzen Ausdehnung und für die gleichzeitige Anlage eines Sturzbetts zu sorgen. Zur Vermeidung des Einsinkens der Steine in das Flussbett wird dieses zuweilen noch mit einem Fundament aus Faschinensinklagen versehen. Flussaufwärts erhalten die aus Steinen erbauten Coupirungen ebenfalls zum Schutz gegen Durchsickerungen einen Erddamm und in der Krone, falls diese den Wasserspiegel überragt, Pflaster.

§ 11. Durchstiche. Zur Umgehung erheblicher Serpentinien und Abkürzung des natürlichen Flusslaufs werden bisweilen neue, künstlich herzustellende Flussbetten angelegt, welche man Durchstiche nennt. Obwohl durch dieselben Flusspaltungen (vergl. § 12) gebildet werden müssen und diese nach den Ausführungen in § 2 *a* in mancher Beziehung für die Flussverhältnisse von Nachtheil sind, so lassen sie sich doch in einzelnen Fällen nicht vermeiden, namentlich dann nicht, wenn die Serpentinien so bedeutend sind, dass sie die Schiffahrt in hohem Grade behindern oder sie ganz unmöglich machen. Auch das Landescultur-Interesse kann durch den aus Serpentinien resultirenden Stau geschädigt werden, insofern dabei tief gelegene Uferterrains bisweilen völlig versumpfen. Die Entwässerung und Trockenlegung derselben erfordert dann die Anlage von Durchstichen, da solche das Oberwasser zu senken vermögen. Endlich ist noch zu erwähnen, dass bei Gebirgsflüssen Durch-

stiche oft Anwendung finden. Da es sich bei den fraglichen Anlagen um die Ausbildung eines Hauptarms und die Verlandung der abgesechnittenen Serpentine handelt, ist unter Berücksichtigung der in beiden Armen verschiedenen relativen Gefälle die Breite des Durchstichs nach der Wassermasse, welche durch denselben abfließen soll, zu bestimmen, (vergl. § 12).

Die Wirksamkeit eines Durchstichs veranlasst gewöhnlich, namentlich zur Zeit der Anschwellung der oberen Flusstrecke eine schnellere Abführung der oberhalb vorhandenen Wassermassen und demgemäss auch eine Senkung des Wasserspiegels daselbst. Die schnellere Abführung der oberen Wassermassen basirt vorzugsweise auf der Vermehrung des relativen Gefälles im Durchstich, da sich das absolute Gefälle der Serpentine auf die meist viel kürzere Länge des Durchstichs vertheilt. Aus diesem Grunde ergiessen sich die bis dahin durch den langsamen Abfluss in der Serpentine, bis zu einer gewissen Höhe angestauten oberen Wassermassen theils mit grösserer Geschwindigkeit in den Durchstich, theils auch finden sie noch, wie früher, durch die Serpentine ihren Abfluss. Da aber auch die um den Durchstich vergrösserte Profilbreite ganz besonders bei Anschwellungen von oben auf die schnellere Abführung der Wassermassen hinwirkt, so tritt meist nicht nur zeitweise eine erhebliche Senkung des oberen Wasserspiegels ein, sondern es kann diese auch in dem Falle, dass sich der Durchstich wirklich zum Hauptarm ausbildet, mit geringen Schwankungen eine dauernde sein. Verlegt sich aber die Hauptströmung zeitweise in die Serpentine, so erfolgt demgemäss auch wieder eine Hebung des Oberwassers. Unterhalb des Durchstichs tritt eine wesentliche Veränderung des Wasserspiegels gewöhnlich nicht, sondern nur dann ein, wenn der unteren Flusstrecke zeitweise, wie alsbald nach Eröffnung des Durchstichs oder bei plötzlichen Anschwellungen der oberen Strecke mehr Wasser, als früher zugeführt wird. In diesem Falle hebt sich der Unterwasserspiegel entsprechend. Die grössere Endgeschwindigkeit, mit der die Wassermassen des Durchstichs in das unterhalb vereinigte Flussbett abfließen, ist nur auf eine geringe Länge für den unteren Flusslauf von Einfluss. Dagegen kann im Unterwasser eine Verflachung des Flussbetts oder eine Verminderung der Fahrtiefe auftreten, indem die aus dem Durchstich fortgetriebenen Sinkstoffe in der mit geringerer Geschwindigkeit versehenen Strecke unterhalb zur Ablagerung gelangen. Die Grösse der Wasserspiegelsenkung in der oberen Flusstrecke kann vorher meist nur annähernd ermittelt werden, da weder eine gleichmässige Vertheilung des Gefälles im Durchstich erfolgt, noch die Vertheilung der Wassermassen in beiden Armen constant bleibt und zur genauen Bestimmung dieser Factoren vorher jeder Anhalt fehlt. Zuverlässiger wird schon die Berechnung, wenn alsbald mit Eröffnung des Durchstichs ein Abschluss der Serpentine eintreten kann. Gewöhnlich bleiben aber beide Arme für den Abfluss der Wassermassen bestehen, und man wirkt nur auf eine allmähliche Verlandung der Serpentine und Ausbildung des Durchstichs zum Hauptarm hin.

Auf der Wasserspiegelsenkung des Oberwassers beruht die Verwendung der Durchstiche im Landescultur-Interesse, indem durch die Senkung die Vorfluth der benachbarten Uferländereien befördert und eine Trockenlegung derselben erzielt wird. Oft ist dies das einzige Mittel zur Entsumpfung ausgedehnter, tiefliegender Terrains. Durch die Senkung des oberen Wasserspiegels können bisweilen aber auch die Landescultur-Interessen geschädigt werden, insofern, als die Bewässerung der Uferländereien, erschwert und ihnen die zur Cultur erforderliche Feuchtigkeit ganz entzogen wird.

Im Schiffahrtsinteresse sind Durchstiche zwar ebenfalls in mancher Beziehung von Vortheil, sie werden indessen in Anbetracht ihrer Nachtheile meist nur zur Umgehung schwer passirbarer Serpentine verwendet. Die Nachtheile bestehen zunächst darin, dass die Wasserspiegelsenkung des Oberwassers nothwendigerweise dort eine Verringerung der Wassertiefe zur Folge hat, welche je nach der Beschaffenheit der Flusssohle eine dauernde sein kann. Auch im Durchstich macht sich wegen des grösseren relativen Gefälles und der dementsprechenden grösseren Geschwindigkeit des Wassers eine mangelhafte Wassertiefe namentlich dann geltend, wenn eine erhebliche Wassermasse unbenutzt durch die Serpentine abfliesst. Eine Verringerung der Fahrtiefe bleibt für die Schiffahrt gewöhnlich nachtheilig, ausserdem kann letztere aber auch durch die Vermehrung des relativen Gefälles, sowie für die Dauer der Ausführung des Durchstichs und bis zur vollen Ausbildung desselben zum Hauptarm beeinträchtigt, oft auch ganz unterbrochen werden, indem dann weder im Durchstich noch in der Serpentine die nöthige Fahrtiefe vorhanden ist. Endlich tritt noch in denjenigen Fällen, in denen während der Ausführung des Durchstichs eine hochwasserfreie Abschliessung desselben erforderlich wird, der Nachtheil auf, dass das Inundations-Profil beschränkt, die Gefahr der Hochfluth vermehrt und eine grössere Hochwassermasse als früher in die Serpentine geleitet, hierdurch aber eine Vertiefung derselben, also gerade das Gegentheil des Erstrebten, veranlasst wird.

Zu den Vortheilen der Durchstiche gehört die gleichmässige Fortbewegung der Wasser- und Sinkstoffmassen, die Festlegung eines Theils der Sinkstoffe, welche sich in den abgeschnittenen Serpentine ablagern, der Gewinn von culturfähigen Landflächen, die Verringerung der Länge der zu unterhaltenden Ufer, die Verminderung von Eisversetzungen, die Verwendung der Serpentine zu Flusshäfen, vor Allem aber die Abkürzung des Wasserweges und die Beseitigung erheblicher, die Schiffahrt behindernden Flusskrümmungen.

Es ist hiernach erklärlich, dass über die Zweckmässigkeit der Durchstiche im Allgemeinen zur Zeit die Ansichten der Hydrotecten noch sehr getheilte sind (vergl. Deutsche Bauz. 1873, S. 303 u. 313). Manche halten Durchstiche für absolut nothwendig, nach Anderen, namentlich amerikanischen Ingenieuren, verfehlen Durchstiche stets ihren Zweck, weil die Natur jedes Flusses eine gewisse Länge beanspruche, die sich von selbst wieder herstelle, sobald man sie durch Durchstiche verringere.

Weder das Eine, noch das Andere wird als Grundsatz zu acceptiren sein, wie sich denn überhaupt eine für alle Fälle zutreffende Regel für derartige Anlagen nicht wohl aufstellen, sondern nur empfehlen lässt, Durchstiche lediglich nach eingehendster und sorgfältigster Erwägung aller örtlichen Verhältnisse auszuführen.

Bei der Ausführung der Durchstiche stellt man das Normalprofil entweder alsbald vollständig oder nur theilweise her und überlässt in letzterem Falle der Strömung die weitere Ausbildung des Flussbetts. Demgemäss legt man nur einen Canal an, welcher bei geradlinigem Durchstich in der Mittellinie, bei Curven in der Nähe des convexen Ufers angeordnet zu werden pflegt. Derartige Canäle haben gewöhnlich für grosse Flüsse nur eine Breite von etwa $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{12}$, für kleine etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{2}$ der Normalbreite des Durchstichs. Viel zweckmässiger erscheint es indessen, wie auch bei kleinen Flüssen meist gebräuchlich ist, den Durchstich alsbald im vollen Normalprofil auszuheben, und den dabei gewonnenen Boden seitwärts so abzulagern, dass er dauernd der Fortspülung entzogen bleibt. Die Anlagekosten werden hierdurch allerdings erheblicher, als wenn man dem Flusse selbst den grössten

Theil der Arbeit überlässt. Im letzteren Falle gelangen aber in den unteren Flusslauf eine grosse Masse von Sinkstoffen, welche die Fahrinne auf lange Zeit hinaus verunreinigen, Untiefen bilden und zu steten Baggerungen Veranlassung geben. Die hieraus entspringenden Nachtheile und erheblichen dauernden Kosten erscheinen so wesentlich, dass der geringere Kostenaufwand der Anlage eines Canals nicht als Vortheil dieser Bauweise anzusehen ist. Dazu kommt auch noch der Nachtheil, dass hierbei eine regelmässige Ausbildung des Flussbetts und eine billige Anlage von Uferschutzwerken häufig nicht erreicht wird.

Die Ausschachtung des Durchstichs beginnt man am unteren Ende in einer solchen Tiefe, dass das Grundwasser abfliessen kann. Damit aber die Ausführung durch Hochwasser und Eis keine Unterbrechung oder Beschädigung erleidet, pflegt man den Durchstich — gewöhnlich mit Ausschluss der unteren Mündung — mit einem hochwasserfreien Abschlussdamm zu umgeben. Die Sohle des Durchstichs erhält gewöhnlich das Gefälle des zukünftigen Wasserspiegels. In der Regel wird die Ausschachtung nur bis zum niedrigsten Wasserstande fortgesetzt, obwohl die demnächstige, weitere Vertiefung durch Bagger aus den oben angeführten Gründen ebenfalls zweckmässig erscheint.

Die Durchstechung des oberen Abschlussdamms erfolgt vielfach bei höheren Wasserständen, nachdem vorher eine allmähliche Schwächung des Damms stattgefunden hat. Es ist dann aber die Niveaudifferenz der Wasserspiegel so bedeutend, dass sich die Wassermassen mit reissender Geschwindigkeit in den Durchstich ergiessen und Uferabbrüche oder sonstige Beschädigungen veranlassen. Der Zweck, durch die höhere Fluth eine sofortige Vertiefung des Durchstichs auf grössere Länge hin zu erhalten, wird dabei aber doch nicht erreicht, indem sich die beiden Wasserspiegel sehr bald ausgleichen. Zweckmässiger erscheint daher die Durchstechung und Beseitigung des oberen Abschlussdamms bei kleineren Wasserständen, eventuell nach Füllung des Durchstichs vom Unterwasser aus.

Die wesentlichste Bedingung des Erfolges der Anlage bleibt die Ausbildung des Durchstichs zum Hauptarm. Es kommt also darauf an, dem Durchstich möglichst viel Wasser zuzuleiten, der Serpentine aber möglichst viel zu entziehen und sie schnell zur Verlandung zu bringen. Zu den dementsprechenden Mitteln gehört die Verbreiterung der oberen Mündung des Durchstichs, die Einschränkung des Einlaufs der Serpentine, die gehörige Ausnutzung der Sinkstoffbänke im Oberwasser, die Bildung eines nach dem Durchstich gerichteten Canals in der Eisdecke kurz vor dem Eisgang, die Vertiefung des Durchstichs durch Baggerung und die Beförderung der Verlandung der Serpentine durch Anlage von Pflanzungen, Grundswellen und Coupirungen.

Von ausgeführten Durchstichen sind diejenigen 18 des Oberrheins auf der Strecke von der elsässisch-bairischen Grenze bis Germersheim zu erwähnen, deren Wirkungen (vergl. Deutsche Bauz. 1871, S. 384) in Verkürzung des alten Flusslaufs um etwa $\frac{2}{5}$, in Beschränkung der früher erheblichen Schwankungen der Gefälle, in Senkung des Hochwasserspiegels — beispielsweise bei Maxau um 2^m,04 — und in Senkung des Flussbetts, um 2^m,35. ebendasselbst, sowie im Gewinn ausgedehnter Landflächen — für Baiern allein 921,83^{Ha} — bestanden haben. Die Landescultur hat hierdurch diese Anlagen erheblich gewonnen, der Schifffahrt dagegen sind neben den Vortheilen, welche aus der Verkürzung der Wasserstrasse, der Beseitigung hinderlicher Serpentinien und gleichmässigeren Bewegung der Wasser- und Sinkstoffmassen resultiren, auch wesentliche Nachtheile erwachsen, indem das verstärkte Gefälle und die dementsprechend vermehrte Geschwindigkeit des Wassers die Bergfahrt sehr erschwert und die beschleunigte Abführung der Wassermassen sowohl eine Verminderung der Fahrtiefen als auch eine Verlängerung der Dauer der niedrigen Wasserstände veranlasst hat. Näheres

über die Verhältnisse dieser Durchstiche, ihre Ausbildung und Wirkung findet sich in Hagen's Wasserbaukunst, II. Theil, 2. Bd., S. 220.

Sodann sind an der Elbe zum Zwecke der Erleichterung der Schifffahrt mehrere Durchstiche ausgeführt worden, welche sämmtliche günstige Resultate ergeben haben sollen. Ihre Ausbildung ist in kurzer Zeit erfolgt, wesentlich wohl deshalb weil ihre Länge nur etwa $\frac{1}{3}$ derjenigen der Serpentinaen beträgt.

Der grösste Durchstich der Neuzeit ist der, zum Zwecke der Hebung der commerciellen Bedeutung Wiens ausgeführte und im Jahre 1875 eröffnete, sogenannte Donaudurchstich. (Vergl. Zeitschr. d. östr. Ing.- und Arch.-Ver. 1867 und 1871, sowie Deutsche Bauz. 1871, S. 372 und 1873 S. 340). Die Situation ist in Fig. 1, Taf. XXXII dargestellt. Es ergibt sich daraus, dass die Donau bei Wien aus verschiedenen unregelmässigen, dem steten Ortswechsel unterworfenen Wasserläufen besteht, in Folge dessen ausgedehnte Landflächen nicht nur der Cultur entzogen, sondern auch der steten Ueberschwemmung ausgesetzt wurden. Ganz besonders machte sich aber der Nachtheil geltend, dass sich dort die für den commerciellen Aufschwung Wiens erforderlichen Landungs- und Magazin-Plätze weder beschaffen noch sichern liessen. Man entschloss sich daher im Jahre 1869 zu einer durchgreifenden Regulirung der Donau nach dem Wex'schen Project. Dementsprechend wurden die gewöhnlichen Wassermassen nicht mehr durch die verschiedenen Wasserläufe, sondern durch ein einziges Bett nach dem Normalprofil abgeführt und zu diesem Zweck sowohl, als zur Abschneidung der Flusskrümmung zwei aufeinander folgende Durchstiche auf der Strecke längs Wien angelegt, die Hochwassermassen aber auf dem linken Ufer durch Deiche, auf dem rechten durch Erhöhung des Stromufers begrenzt. Letzteres beginnt behufs seiner Benutzung zu Lösch- und Ladeplätzen mit der Höhe von $+3^m,80$ a. P., steigt allmählich an und wird, 190^m vom Fluss entfernt, durch einen Schutzdamm abgeschlossen.

Ausser dem durch Durchstiche neu hergestellten Donaubett wird noch der bei Nussdorf oberhalb Wien am rechten Ufer abzweigende sogenannte Donau-Canal — ein die Kaiserstadt durchfliessender und unterhalb derselben wieder einmündender offener Flussarm — als Schifffahrtsstrasse und auch zur Abführung der gewöhnlichen Wassermassen benutzt, bei Hochwasser und Eisgang aber durch ein Sperrschiff oder Schwimmthor geschlossen. Die Sohle des Donaucanales soll durch Baggerung dauernd in der Tiefenlage von $2^m,20$ unter 0 a. P. erhalten werden.

Der oberste Durchstich von Nussdorf bis zur Stadlauer Eisenbahnbrücke, 6638^m lang, $284^m,5$ breit und $3^m,20$ unter 0 a. P. tief, ist in vollem Profil nach Fig. 1, Taf. XXXII, theils durch Ausgrabung im Trocknen, theils durch Baggerung hergestellt worden und verkürzt das natürliche 8135^m lange Donaubett nur um etwa $\frac{1}{8}$. Das absolute Gefälle beim mittleren Wasserstande wird auf $2^m,65$ angegeben. Die zu fördernden $12\frac{1}{4}$ Millionen Kubikmeter Erdmassen, von denen 43% im Trocknen, der Rest durch Bagger gehoben sind, wurden zur Verschüttung eines abzusperrenden Nebenarms der Donau und zur Erhöhung der niedrigen Terrains am rechten Ufer verwendet und dieses so nutzbar gemacht. Die Kosten der Erdförderung und Uferbefestigung sollen allein über 25 Millionen Mark betragen haben.

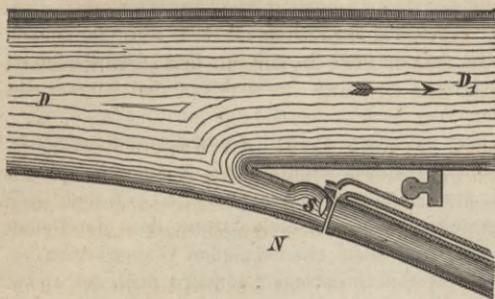
Der unterste Durchstich vom Steinspornhauften bis Albern unterhalb Wien ist 2548^m lang. Bei demselben wurde am rechten Ufer eine Rinne von 114^m Breite bis zur Tiefe von $2^m,53$ unter 0 a. P. ausgehoben, die Beseitigung des übrigen Normalprofilinhalts aber der Strömung unter der Annahme überlassen, dass eine etwaige Ablagerung von Sinkstoffen unterhalb keine wesentlichen Nachtheile herbeiführen werde.

Gleichzeitig mit diesen Arbeiten wurden die oberhalb Wien in der Donau am linken Ufer vorhandenen 13 Buhnen (Sporne) beseitigt, verschiedene Wasserläufe des alten Betts coupirt, längs des rechten, durch eine Futtermauer gesicherten Durchstichsufers zahlreiche Landungsplätze, Lösch- und Ladestellen, Schiffswerften und ganz neue Stadttheile, unterhalb auch noch ein geräumiger Hafen angelegt und die neuen Flussufer durch Erbauung der Reichsstrassenbrücke und einer zweiten Fahrstrassenbrücke in Verbindung gesetzt.

Von besonderem technischen Interesse ist ausser dem obersten Durchstich die nach dem Ritter von Engerth'schen Project an der Einmündung des Donaucanales bei Nussdorf ausgeführte Sperrschleuse mit dem zugehörigen Sperrschiff oder Schwimmthor.

Die Sperrschleuse liegt nach Fig. 15 (S. 508) 170^m unterhalb der Theilungsspitze und besteht aus zwei, mittelst Caissons auf pneumatischem Wege fundirten Widerlagern, zwischen denen der Canal in einer lichten Weite von $47^m,41$ auf $30^m,35$ Länge in einer Tiefe von $4^m,18$ unter 0 a. P. ausgehoben ist. Das Schwimmthor hat an der linken Schleusenmauer einen festen Anschlag, am rechten

Fig. 15.



Widerlager wird derselbe nach Fig. 10, Taf. XXX durch ein bewegliches Anschlagthor *B*, welches sich durch das Stemmthor *A* gegen die Schleusenmauer absteifen lässt, gebildet. *A* und *B* können durch die Zugstange *C* in der punktirten Weise zurückgezogen werden, so dass das Schwimmthor *S* dann canalabwärts treibt und den oberhalb etwa angesammelten Eismassen Abfluss gestattet. Für die Zeit der Ausserdienststellung liegt das Schwimmthor oberhalb der Sperrschleuse in einem daselbst entsprechend angeordneten Hafen am linken Ufer, und wird von da nach Bedarf an langen, starken Eisenketten zur Schleuse geführt.

Das Schwimmthor ist ein schmiedeisernes Schiff von 48^m,6 Länge, 5^m,69 Höhe und 9^m,48 mittlerer Breite und hat ein Gewicht von 365934^k. Die auf Eisstoss und Wasserdruck berechnete Construction gestattet ihm einen verschiedenen Tiefgang. Seine senkrechten Wandungen sind 12^{mm} stark, sein Boden ist aus Bessemerstahlblechen hergestellt. Ein, aus horizontal liegenden Gitterträgern construirtes Zwischendeck wird durch 4 verticale Wände in 5, mittelst Schieber in Verbindung zu setzende Kammern getheilt. Die gewöhnliche Eintauchung beträgt 1^m,27, welche für Eisgang als ausreichend erachtet worden ist. Durch Füllung der Kammern mit Wasser kann der Tiefgang jedoch entsprechend vermehrt und dadurch das Thor auch zur theilweisen Abhaltung des Hochwassers verwendet werden. Besondere, auf Dampfmaschinenbetrieb eingerichtete Pumpen dienen zur Beseitigung des Wassers aus den Kammern. Die Kosten des Sperrschiffs haben 380000 M. betragen.

Ueber die Zweckmässigkeit der Durchstiche wurden die Gutachten von vier hervorragenden Hydrotekten der Neuzeit und zwar: Hagen in Berlin, Tostain in Paris, Sexauer in Carlsruhe und Abernethy in London eingefordert, von denen sich die beiden letztgenannten für die Durchstiche aussprachen, während Hagen und Tostain für anderweitige Regulirung der Donau plaidirten und die Durchstiche aus finanziellen und sachlichen Gründen bekämpften, namentlich im Interesse der Sicherung der Fahrtiefen im Oberwasser der Donau und im Donaucanal, sowie zur Verminderung höherer Anschwellungen des Stroms während der Dauer der Durchstichsarbeiten, und endlich auch mit Rücksicht auf die geringe Abkürzung des natürlichen Stromlaufs und die dieserialb voraussichtlich nur geringe Einwirkung der Strömung auf die Ausbildung der Durchstiche zum Hauptarm und auf die Erhaltung hinreichender Fahrtiefen in demselben. Nachdem sich die österreichischen Hydrotekten aber den Ansichten der beiden übrigen Gutachter angeschlossen und namentlich hervorgehoben hatten, dass die Senkung des Oberwassers wegen der daraus resultirenden Senkung des Grundwassers in den tiefliegenden Stadttheilen Wiens ein so erheblicher Vortheil sei, dass die nothwendige Vertiefung des Donaucanals nicht in's Gewicht fallen könne, wurde der oberste Durchstich im Jahre 1870 unter der Leitung des Chefingenieurs Wex begonnen und innerhalb der nächsten fünf Jahre beendet. Zur Sicherung der Arbeiten gegen die Einwirkungen des Eises und Hochwassers ist der Durchstich mit hochwasserfreien Erddämmen umgeben und hierdurch das Inundations-Profil erheblich beschränkt worden.

Das neue Bett war durch zwei Dämme abgesperrt, den oberen sogen. Rollerdamm und den in der Mitte des Durchstichs liegenden Schwimmschuldamm. Nach Ausführung der Erdarbeiten und Uferschutzwerke erfolgte die Durchstechung des Rollerdamms am 14. April 1875, Nachmittags mittelst einer nur 0^m,60 breiten Furche. Da die Differenz des Ober- und Unterwassers 2^m,40 betrug, ergoss sich die Donau nach kurzer Zeit mit reissender Gewalt in den Durchstich. Zur Seite der Durchbruchsstelle waren in erheblicher Quantität Steinmassen aufgehäuft, welche eine Auskolkung der Sohle verhindern sollten. Die Oeffnung erweiterte sich immer mehr, so dass sie schon am folgenden Tage eine Breite von 100^m und am 19. April eine solche von 170^m hatte. Der reissende Ueberfall zerstörte das rechte Ufer auf 200^m Länge, doch gelang es durch gefällte Bäume dem weiteren Abbruch erfolgreich entgegenzutreten. Unterhalb des Damms hob sich der Wasserstand in der Zeit von 3 Stunden um 1^m,60 und dies hatte eine Niveau-Differenz des Ober- und Unterwassers am Schwimmschuldamm von etwa 3^m zur Folge. Man entschloss sich daher auch zur Durchstechung desselben und es erweiterte sich die Oeffnung bald bis auf 60^m, am 19. April hatte sie aber schon eine lichte Weite von 150^m. Beide Dämme wurden dann bis zum 11. Mai theils durch Fortspülung, theils durch Baggerung gänzlich beseitigt, doch konnten schon am 18. April grosse Dampfer den Durchstich be-

fahren. Die Eröffnung der Schifffahrt erfolgte erst nach Ausbaggerung der von den Dämmen herführenden Erdmassen am 30. Mai.

Als bald nach Eröffnung des Durchstichs wurde mit der Coupirung im alten Donaubett, woselbst sich der Wasserstand erheblich gesenkt hatte, begonnen. Dieses Bauwerk besteht aus einem durch Senkfaschinen geschützten Steindamm, welcher am linken Ufer beginnt, in der Höhe desselben — etwa 2^m über 0 a. P. — ausgeführt werden und nur eine Oeffnung von 40^m für den Einlauf des Wassers erhalten soll.

Die Wirkung des Durchstichs zeigte sich als bald in der Senkung des Wasserspiegels oberhalb, welche auf 0^m,60 angegeben wird. Man hofft jedoch auf eine Senkung des Hochwasserspiegels von 1^m, so dass dann die niedrigen Stadttheile Wiens der Inundation nicht mehr ausgesetzt sein würden. Ueber die gesammten Wirkungen des Durchstichs vermag erst die Zukunft endgültig zu entscheiden.

Ein bedeutender Durchstich (vergl. Deutsche Bauz. 1876, S. 455) ist zur Zeit in der Norder-Elbe oberhalb Hamburg noch in der Ausführung begriffen, dessen Zweck darin besteht, die für die Schifffahrts- und Fluth-Verhältnisse hinderliche Serpentine der Kalte Hofe nach Fig. 9, Taf. XXX zu beseitigen, den Flusslauf zu verkürzen, vor Allem aber, um den Wasserspiegel der vereinigten Elbe oberhalb zu senken und auf diese Weise der Norder-Elbe dauernd eine grössere Wassermasse zuzuführen, hierdurch aber und durch eine kräftigere Durchströmung dieses Flussarms diejenige Tiefe in demselben zu schaffen, welche namentlich dort, wo sich die Liegeplätze für Schiffe und die Rhede für die Häfen befinden, dringend nothwendig ist, durch Baggerung aber dauernd nicht beschafft werden kann.

Der Durchstich besteht aus 2 Theilen; der Hauptdurchstich geht in flacher Curve über die Kalte Hofe, der zweite über die Billwärder Insel.

Am unteren Ende ist mit der Herstellung eines Schutzdeiches begonnen und beabsichtigt man die Durchstiche, um den Erfolg des Unternehmens sicher zu stellen und Verflachungen unterhalb zu vermeiden, bis zur erforderlichen Tiefe vollständig auszuheben und das Bett zunächst bis zum oberen Ende der Kalte Hofe herzustellen, demnächst den Abschlussdamm daselbst zu durchstechen und nach erfolgter Einleitung des Flusses das alte Bett desselben mit Faschinenwerken und Steinen zu coupiren. Der Durchstich in der Billwärder Insel soll erst zur Ausführung gelangen, wenn der Hauptdurchstich den Fluss völlig aufgenommen haben wird. Ersterer führt alsdann die vereinigten Wassermassen der Dove- und Gose-Elbe dem letzteren direct zu.

Zur weiteren Sicherung des Erfolges und behufs Zusammenhaltung des Hochwassers sind noch Leitdämme auf beiden Ufern projectirt, welche auch das alte Flussbett an der Coupirungsstelle durchziehen sollen.

Für die Ausführung sind vier Jahre in Aussicht genommen und die Kosten der Erdarbeiten, der Faschinenwerke und Steinschüttungen mit rund 3¹/₂ Millionen Mark veranschlagt.

§ 12. Flusspaltungen und Flusseinmündungen. Schon in § 2 a ist von Flusspaltungen, ihrer Entstehung, ihren Nachtheilen und der Zweckmässigkeit ihrer Verhütung und Beseitigung die Rede gewesen. Zuweilen lassen sich indessen schon vorhandene Flusspaltungen nicht mehr beseitigen. Dieser Fall tritt beispielsweise ein, wenn sich auf der betreffenden Insel oder an den Ufern der Flusspaltung industrielle Anlagen, Dörfer und Städte befinden, deren Betriebs- und Verkehrsverhältnisse im Lauf der Zeit der bestehenden Flussgestaltung entsprechend angepasst worden sind.

Muss die Flusspaltung belassen werden, so handelt es sich um Regulirung derselben, meist sogar um die Schaffung oder Erhaltung der Schiffbarkeit in beiden Flussarmen. In der Regel ist zwar nur der eine Arm der Hauptarm, es kann dieser indessen zeitweise auch der Nebenarm werden, wenn dem nicht rechtzeitig entgegengetreten wird. Sollen möglichst constante Verhältnisse geschaffen werden, so besteht die Aufgabe der Regulirung darin, die aus dem oberen ungetheilten Fluss ankommenden Wassermassen dem vorher zu ermittelnden Bedürfniss gemäss zunächst an der oberen Inself Spitze auf beide Arme zu vertheilen, sie sodann in durchweg regulirten Flussbetten abzuführen und endlich ihre Wiedervereinigung an der unteren

Inselspitze in möglichst regelmässiger Weise zu veranlassen. Hierzu verwendet man oben Schöpfbuhnen, unten Trennungsbuhnen oder Separationswerke und zwischen beiden Uferdeck- und Einschränkungswerke. Das Wesentliche bleibt die Ermittlung des richtigen Normalprofils für jeden der beiden Flussarme. Haben letztere gleiche Länge, gleiches Gefälle und sollen sie auch gleiche Wassermassen abführen, so wird man auch das Normalprofil beider gleich gestalten und nur dafür sorgen müssen, dass jedem Arm dauernd die halbe Wassermasse auch wirklich zufließt. Meist liegen aber die Verhältnisse nicht so günstig. So differirt oft die Länge beider Arme, demgemäss auch das relative Gefälle und die Flussgeschwindigkeit. Sind beide Arme schiffbar herzustellen, dann gehört die Regulirung der Flusspaltung zu den schwierigsten Aufgaben der Hydrotechnik, und zwar vorzugsweise aus dem Grunde, weil sich die Vertheilung der Wassermasse an der oberen Inselspitze dauernd nicht so regelmässig und constant als erforderlich durchführen lässt. Bei dem steten Wechsel der Fahrinne, welcher aus dem Vorrücken der Sinkstoffbänke, aus Eisversetzungen oder aus sonstigen Unregelmässigkeiten der oberen Flusstrecke resultiren kann, wird bald dem einen, bald dem andern Arm mehr Wasser zugeführt, als seinem theoretisch festgestellten Normalprofil entspricht. Da die Schöpfbuhne sich nicht so leicht verlegen lässt, bleibt nur übrig durch Baggerungen sowohl an der Theilungsspitze, als auch im entsprechenden Flussarm für möglichste Beseitigung der Unregelmässigkeiten zu sorgen.

Die Bestimmung der Normalbreiten beider Arme erfolgt im Allgemeinen nach den Ausführungen in § 2 e. Sollen sich die Wassermassen beider Arme wie $m:n$ verhalten und sind die bezüglichen relativen Gefälle $= \alpha$ und $= \beta$, α , so verhalten sich nach Hagen die Normalbreiten wie $\left(\frac{n}{m}\right)^{2/3} : \sqrt[3]{\beta}$. Der längere Arm hat indessen stets ein geringeres Gefälle und eine geringere mittlere Geschwindigkeit, als der kürzere, ist dieserhalb auch vorzugsweise der Verflachung durch Sinkstoffablagerungen ausgesetzt. Er führt dann auch weniger Wasser ab und dies wirkt auf vermehrte Ausbildung des kürzeren Arms zum Hauptarm hin. Eine derartige Entwicklung lässt sich bis zu einem gewissen Grade dadurch vermeiden, dass man bei Bestimmung der Normalprofile für den längeren Arm eine grössere mittlere Tiefe wählt, als für den kürzeren und durch Baggerungen bzw. Vertiefung der Flusssole dafür sorgt, dass diese grössere Tiefe nicht nur bei der ersten Anlage alsbald hergestellt, sondern auch dauernd erhalten wird. Auf diese Weise lässt sich die mittlere Geschwindigkeit im längeren Arm vermehren, die Ablagerung von Sinkstoffmassen daselbst aber vermindern. Dass mit der grösseren Tiefe die Flussgeschwindigkeit zunimmt, zeigt sich bei Eintritt der Hochfluthen in jedem Fluss, nicht minder bei Vergleichung zweier Flüsse von annähernd gleicher Wassermasse und gleichem Gefälle, aber ungleichen Wassertiefen. Die vermehrte Druckhöhe, der weniger zur Geltung kommende Einfluss der Widerstände an der Flussbettssole, die geringere Zerstörung der lebendigen Kraft des fliessenden Wassers, wie überhaupt die gleichförmigere Bewegung desselben in tiefen Flussbetten erklären diese Erscheinung.

Zur Erhaltung der grösseren Tiefe im längeren Arm bedarf es jedoch noch weiterer Mittel. Dem kürzeren Arm muss die Fähigkeit, sein Bett immer mehr zu vertiefen, genommen werden. Man wird daher durch Anlage von Grundschnellen die Flusssole des kürzeren Arms in der, dem Schiffsbedürfniss entsprechenden Minimaltiefe befestigen und namentlich an der oberen Inselspitze mindestens eine

den kürzeren Arm durchziehende Grundschwelle anordnen müssen. Letztere hat ausser dem angegebenen Zweck auch eine Einschränkung des Abflussprofils zur Folge, und veranlasst dadurch für den Abfluss nach dem kürzeren Arm ein Hinderniss, welches einen Theil der aus dem ungetheilten Fluss oberhalb zufließenden Wassermassen in den längeren Arm drängt, namentlich dann, wenn diesem dort eine grössere Tiefe und ein möglichst grosses relatives Gefälle gegeben wird. Weiter unterhalb kann letzteres geringer sein, da auch ein solches zur Abführung der einmal im längeren Arm eingedrungenen Wassermassen genügt. Je geringer das relative Gefälle im längeren Arm im Vergleich zu demjenigen des kürzeren ist, desto schwieriger wird indessen die Schiffbarmachung und die Erhaltung derselben in ersterem. Dieserhalb pflegt man, wenn die Längendifferenz beider Arme erheblich ist, vor Allem auf möglichste Verringerung dieser Differenz hinzuwirken, wozu es jedoch meist der kostspieligen Verlegung eines Arms bezw. der Ausführung eines Durchstichs bedarf.

An der unteren Inselfspitze vereinigen sich die abfließenden Wassermassen beider Arme unter einem von der Richtung beider bedingten Winkel. Sucht man diesen auch durch Erbauung eines Separationswerks möglichst abzuspitzen, so sind doch unregelmässige Wasserbewegungen daselbst nie ganz zu vermeiden. Gewöhnlich ist schon die Geschwindigkeit der zusammenfließenden Wassermassen eine ungleiche, es bleibt aber auch die Richtung der Wasserfäden am Zusammenfluss keine constante, da sie von den nicht zu vermeidenden stetigen Aenderungen der Flussbettgestaltung abhängt. Als Folge dieser Störungen zeigen sich in der Regel in der Nähe des Zusammenflusses im kürzeren Arm Auskolkungen, im längeren aber Sinkstoffablagerungen, so dass hier dauernd Baggerungen erforderlich sind, wenn die Schifffahrt die jederzeitige Benutzung des längeren Arms bedingt.

Aehnlich liegen in dieser Beziehung die Verhältnisse bei Einmündung der Nebenflüsse und Seitengewässer (vergl. Cap. V, § 11 und Cap. X, § 16). Hier sind jedoch die Unregelmässigkeiten meist noch erheblicher, weil die Eigenschaften der Seitenzuflüsse von denen des Hauptflusses in der Regel mehr differiren, als dies bei Vereinigung beider Arme der Spaltung ein und desselben Flusses der Fall ist. Nicht nur steigen und fallen in letzterem die Wasserstände gleichzeitig, sondern es bleiben auch die Sinkstoffmassen gleichartigere. Der Seitenfluss dagegen gehört einem ganz anderen Flussgebiet an und ist also von diesem abhängig. Demgemäss fallen die Hochfluthen nicht immer gleichzeitig zusammen und dies bedingt zeitweise eine Ablagerung der Sinkstoffe des Seitenflusses im Hauptfluss, zeitweise die Ablagerung der Sinkstoffmassen des letzteren in ersterem. Sowohl dieser Umstand, als auch die meist verwilderte Flussbettgestaltung an der Mündungsstelle ist für die Regulirung der Flusseinmündung in hohem Grade nachtheilig. Zudem wird die Aufgabe derartiger Regulirungen — möglichst regelmässige Ueberführung der Wasser- und Sinkstoffmassen des Seitenflusses in den Hauptfluss und regelmässige Fortführung derselben in letzterem, sowie Verhütung von nachtheiligen Sinkstoffablagerungen in der Fahrrinne beider Flussbetten — in Wirklichkeit meist noch durch Hindernisse localer Natur erschwert. An den Einmündungen der Seitenflüsse, namentlich wenn letztere ebenfalls schiffbar sind, finden sich in der Regel bebaute Terrains, industrielle, ja selbst Städteanlagen und sonstige locale Verhältnisse vor, deren Umgestaltung gewöhnlich ganz ausgeschlossen ist.

Im Allgemeinen bleibt aber der Erfolg der Regulirung einer Flusseinmündung von der Richtung, in der die Wassermassen des Seitenflusses in den Hauptfluss ge-

langen, sowie von den Normalprofilen und der Erhaltung derselben in beiden Wasserläufen abhängig. An der durch Parallel-, Deck- und Separationswerke herzustellenden Vereinigungsstelle sind die Wasserbewegungen um so unregelmässiger, je mehr die Richtung der zusammenfliessenden Wasserfäden divergirt. Hiervon ausgehend hat man bei manchen bereits regulirten Einmündungen, so beispielsweise am Rhein bei Regulirung der Lahn- (Fig. 16, Taf. XXX), Ruhr- und Lippe-Mündung auf möglichst Parallelismus der zusammenfliessenden Wassertäden hingewirkt. Dies bedingt aber mit einer erheblichen Erweiterung der Normalbreite im Hauptfluss unmittelbar unterhalb der Mündung die Ablagerung von Sinkstoffen daselbst. Bei anderen regulirten Mündungen zeigt sich die Tendenz, den Seitenfluss unter einem spitzen Winkel (Fig. 5, Taf. XXVIII), bei noch anderen unter einem stumpfen, ja selbst unter rechtem Winkel in den Hauptfluss zu leiten, indem man hierbei von der Ansicht ausgegangen ist, die Strömung des letzteren werde auf diese Weise die zugeführten Sinkstoffe des Seitenflusses alsbald fortführen. Die Ansichten über die zweckmässigste Richtung beider Wasserläufe an der Mündung sind sonach zur Zeit noch getheilt. Das zweite, oben angegebene Regulierungsmittel beruht auf Herstellung richtiger Normalprofile. Hierdurch lässt sich an der Einmündung und in der Nähe derselben eine so kräftige Strömung erzeugen, dass dort die Ablagerung von Sinkstoffen verhindert wird. Letztere lagern sich dann zwar an anderen Stellen der Flussbetten ab, sie sind aber dort gewöhnlich nicht so nachtheilig, als an der Mündung. Ihre Beseitigung ist indessen auch dann nothwendig, weil anderenfalls die untere Flusstrecke durch die meist erheblichen Sinkstoffmassen des Seitenflusses dauernd geschädigt werden würde. Sonach sind Baggerungen zur Erhaltung der Normalprofile in beiden Wasserläufen auf angemessene, von der Oertlichkeit abhängige Längenausdehnung dauernd nothwendig, wenn man befriedigende Zustände schaffen will. Derartige Baggerungen sollten bei allen Flusseinmündungen mindestens nach Ablauf jeder Hochfluth, auf Grund jedesmaliger Ermittelung der Veränderung in der Flussbettgestaltung, angeordnet werden. Man würde hierdurch nicht nur die entstehenden Unregelmässigkeiten alsbald nach ihrem Auftreten beseitigen, sondern gleichzeitig auch zur weiteren Lösung der Aufgabe, Flusseinmündungen zweckmässig zu reguliren, beitragen können.

§. 13. Fluschnellen. Die Vertheilung des Gefälles ist in einem natürlichen Fluss in der Regel eine sehr ungleichmässige und es gehört zu den Aufgaben der Regulirung, auf die möglichste Beseitigung derartiger Ungleichheiten hinzuwirken. In manchen Fällen sind indessen die in einzelnen Strecken oder Profilen vorhandenen Gefälle so bedeutend, dass eine Beseitigung oder Ausgleichung derselben durch einfache Mittel nicht möglich ist. Derartige Flusstrecken mit starken Gefällen nennt man Fluschnellen. Sie können durch abnorme Gestaltung des Flusslaufs, durch Einmünden von Nebenflüssen, durch Felsbänke, Riffe und Steinablagerungen, sowie auch durch ältere Wehr- und Stau-Anlagen veranlasst werden. Die Schiffbarmachung derartiger Flusstrecken hängt in jedem einzelnen Falle von der Natur des Schiffahrtshindernisses ab und es lassen sich daher hier nur einige allgemeine Gesichtspunkte hervorheben.

Zu den Mitteln, Fluschnellen für die Schifffahrt passirbar zu machen, gehören: Vertiefungen des Flussbetts, Verlängerung der Fluschnellen, Einschränkungswerke, Umgehung der Fluschnelle, Schiffsdurchlässe, Stauschleusen und Kammer-schleusen.

Die Vertiefung des Flussbetts ist dort angezeigt, wo die von Nebenflüssen zugeführten Sinkstoffe oder Felsbänke, Riffe oder Steinablagerungen als Stauwerke wirken und ein starkes Gefälle auf eine verhältnissmässig kurze Strecke concentriren, wenn die hierdurch herbeigeführte Senkung des Oberwassers ohne Nachtheil für die Schifffahrts- und Landescultur-Interessen der oberen Strecke bleiben kann. Sehr häufig treten indessen derartige nachtheilige Folgen ein, und man wählt dann zu ihrer Vermeidung das Mittel der Verlängerung der Flussschnelle, indem man durch Stau erzeugende Einschränkungswerke unterhalb der Flusschnelle den Wasserspiegel zu heben und so das Gefälle auf eine grössere Länge zu vertheilen sucht. Je nach den zur Disposition stehenden Wassermassen und je nach der Gestaltung des Flussbetts kann es sich hierbei empfehlen, die Normalbreite von oben nach unten immer mehr einzuengen und dann wieder allmählich zu erweitern, so dass unterhalb die Sinkstoffe, welche aus der oberen Flussstrecke und durch Vertiefung der Flusschnelle abgeführt werden, zur Ablagerung gelangen und ebenfalls zur Verlängerung der Flusschnelle beitragen. Bühnen sind indessen wegen der unregelmässigen Wasserbewegung vor ihren Köpfen gewöhnlich zur Einschränkung nicht zweckmässig, an deren Stelle verwendet man besser Parallelwerke, obwohl sie die meist nothwendig werdende, nachträgliche Modificirung der Normalbreiten erschweren. Bisweilen werden die Einschränkungswerke auch noch in die Flusschnelle hinaufgezogen und hierdurch Vertiefungen der Sohle erstrebt, es führen indess, wie die Erfahrung ergeben hat, Einschränkungswerke, namentlich bei Flüssen mit geringen Wassermassen sehr oft nicht zum Ziel.

Dieserhalb sucht man auch durch Umgehung der Flusschnelle mittelst eines neu herzustellenden Seitenarms eine angemessene Vertheilung des Gefälles auf eine grössere Länge herbeizuführen. Der Seitenarm kann dabei als Schifffahrts canal oder auch als offener schiffbarer Nebenarm des Flusses ausgebildet werden, ist dann also eine künstliche Serpentine und mit den Nachtheilen einer Flusspaltung behaftet.

Ein Beispiel der letzten Art findet sich in der Oder oberhalb Oppeln. Die Flusschnelle, durch ein älteres, zu einer Mühlenanlage gehöriges Wehr gebildet, wird mittelst eines 2800^m langen Oderarms, der sogenannten Winske, welche den Lauf der betreffenden Oderstrecke um etwa ein Viertel verlängert, umgangen. An der oberen Abzweigung hat die Winske eine flussaufwärts gekehrte Richtung, so dass Sinkstoffe vom Fluss aus nur schwer hineingelangen können, während gleichzeitig das erhebliche Gefälle, welches als das stärkste des Flusses unterhalb Cosel bezeichnet wird, die Beseitigung etwaiger, in die Winske gelangender Sinkstoffe zur Folge hat. Ein seitliches Eindringen von Sinkstoffen und Schlicktheilen wird aber durch die dort vorhandenen Hochwasserdeiche nahezu ganz verhindert. Auf die Erhaltung einer ausreichenden Fahrtiefe sind ausserdem noch locale Verhältnisse von günstigem Einfluss. Die Stauhöhe im Oberwasser der dort 110 bis 120^m breiten Oder veranlasst nämlich eine jederzeitige reichliche Speisung der nur 22 bis 26^m breiten Winske und es vermögen die in dem mit parallelen Wandungen versehenen Bette schnell abfliessenden Wassermassen bei den befestigten Ufern nur die Sohle anzugreifen und auf eine Vertiefung derselben hinzuwirken. Es erfolgt daher bei jedem Hochwasser eine stetige Reinigung des Flussbetts und endlich soll die Strömung auch durchweg eine sehr gleichmässige sein.

Ein anderes Beispiel findet sich in der Werra, doch werden die Zustände daselbst weniger günstig dargestellt.

Wo die localen Verhältnisse die Anlage eines Seitenarms ohne Schleusen nicht gestatten, bildet man ihn als Seitencanal mit Schleusen aus. (Vergl. B. Canalisirung der Flüsse, §. 21.) In einzelnen Fällen ist eine Umgehung der Flussschnellen überhaupt nicht ausführbar und man verwendet dann wohl auch, wenn sich das Gefälle auf eine nur kurze Strecke concentrirt, sowie dort, wo Wehr- und Stau-

Anlagen schon vorhanden oder erforderlich sind, zur Schiffbarmachung der betreffenden Flussstrecken die auf dem Prinzip der Staubildung beruhenden, sogenannten Schiffsdurchlässe und Stauschleusen (vergl. Hagen, Wasserbaukunst, II. Th., 2. Bd., S. 131 und Cap. VI, §. 5 dieses Bandes). Namentlich in früherer Zeit waren die mit Wehranlagen verbundenen Schiffsdurchlässe gebräuchlich.

Das vollkommenste Mittel zur Passage von Fluschnellen bietet die Kammer-
schleuse, indem durch eine Wehranlage das Gefälle in einem Profil concentrirt, und durch zeitweises Heben und Senken des Wassers in der Kammer die Niveau-
differenz zwischen Ober- und Unterwasser aufgehoben wird. (Vergl. Cap. VI, § 5
und Cap. VIII, § 5.) Sind Wehranlagen auch für die Vorfluthsverhältnisse oft nach-
theilig, so lassen sich doch durch Anwendung der in neuerer Zeit sehr gebräuch-
lichen beweglichen Wehre die Nachteile wesentlich vermindern.

§ 14. Flusshäfen. Flusshäfen sind mit dem Fluss in Verbindung stehende, durch Dämme gesicherte Bassins, welche den Schiffen nicht nur zeitweise eine ge-
schützte Lage gewähren, sondern auch das Verladen und Löschen der Schiffsfrachten
erleichtern sollen. Dienen Flusshäfen auch zur sicheren Bergung der Fahrzeuge
während der Zeiten, in denen die Schifffahrt wegen Hochwasser, Eisgang und Eis-
stand nicht betrieben werden kann, so nennt man sie Winterhäfen, im Gegensatz
zu Sommerhäfen, welche einen derartigen Schutz nicht gewähren. Endlich können
Flusshäfen auch Flosshäfen sein, welche die Aufnahme der Holzflösse bezwecken.
(Vergl. Flosshafen bei Mannheim, Allgemeine Bauz. 1871, S. 70.) Theils dienen der-
artige Häfen zur bequemeren Landung der Flösse, theils zu deren sicheren Bergung
bei Hochwasser und Eisgang, theils auch zum Umbau der Flösse. Hier sollen spe-
cieller nur die Winterhäfen besprochen werden, da sich aus den bezüglichlichen Erör-
terungen auch die für die Anlage und Construction der Sommerhäfen und Flosshäfen
erforderlichen Modificationen leicht ableiten lassen.

Winterhäfen erfüllen ihren Zweck, wenn sie Schutz gegen Hochwasser und
Eisgang gewähren, von jeder Durchströmung befreit bleiben, die erforderliche Wasser-
tiefe besitzen, gegen Verflachung der Sohle und Einfahrt möglichst gesichert und
vom Fluss aus jederzeit bequem zugänglich sind.

Vor Allem erfordert sonach die Lage des Hafens ganz besonders günstige
Localverhältnisse, welche indessen selten vereint angetroffen werden. In der Regel
wird die Längachse des Hafens parallel zur Flussrichtung und seine Einfahrt am
unteren Ende angelegt. Besonders zweckmässig ist die Lage am concaven Fluss-
ufer, da sich hier gewöhnlich eine hinreichende Wassertiefe vorfindet, und diese
nicht nur für die jederzeitige Verbindung zwischen Fluss und Hafen, sondern auch
für die Sicherung der Einfahrt gegen Sinkstoffablagerungen von Vortheil
ist. Immerhin lassen sich letztere nur selten ganz vermeiden. Zur möglichsten Be-
gegnung dieses Uebelstandes kehrt man die Hafeneinfahrt derartig flussabwärts,
dass der mit steiler Böschung versehene Hafenkopf oder der Auslauf des oberen
Hafendamms in declinanter Richtung in den Fluss hineintritt und die Streichlinie
begrenzt. Der Hafenkopf veranlasst dann in der Hafeneinfahrt, ähnlich wie bei
declinanten Bühnenköpfen, Wirbel und Wasserbewegungen, welche die Ablagerung
von Sinkstoffen daselbst verhindern oder doch vermindern können. Die flussauf-
wärts gekehrte Richtung der Hafeneinfahrt ist unzuweckmässig, weil sie die directe
Zuführung von Sinkstoffen in den Hafen veranlasst und auch für die Einfahrt der
zu Thal fahrenden Schiffe gefährlich ist. Bisweilen liegt der Hafenkopf zur Fluss-

richtung parallel und bildet dann nur die Verlängerung des die Streichlinien begrenzenden und als Separationswerk zwischen Fluss und Hafen construirten Hafendammes. Derselbe schliesst die Anlage nach der Flusseite gegen Hochwasser und Eisgang ab, muss sich also hier über den höchsten Wasserstand erheben, sich aber auch landwärts an hochwasserfreie Terrains anlehnen, damit keine Umströmung erfolgen kann. Sind hochwasserfreie Ufer nicht vorhanden oder zu entfernt gelegen, so ist die Situation für die Anlage eines Winterhafens nicht günstig, es würde dann die gesammte Hafenanlage mit hochwasserfreien Dämmen zu umgeben sein und hieraus für höhere Wasserstände eine Flusspaltung resultiren, welche den Flussverhältnissen nachtheilig werden kann. Es ist auch zu erwähnen, dass hochwasserfreie Hafendämme bisweilen eine nachtheilige Beschränkung des Inundationsprofils veranlassen können.

Die Construction der Hafendämme muss durchweg solide sein, namentlich aber in den der Strömung und dem Eisgang ausgesetzten Theilen, also in den äusseren Böschungen und dem Hafenkopf. Letzterer wird meist durch Pflaster und Steinschüttungen gesichert, welche sich zuweilen an Bohlwerke anlehnen, um für die Hafeneinfahrt die nöthige Wassertiefe zu schaffen und Beschädigung der Fahrzeuge durch zu flach liegende Steine zu verhindern. Den äusseren Böschungen giebt man 2 bis 3 fache Anlage und eine Sicherung wie sie bei Parallelwerken gebräuchlich ist, den inneren eine 1 bis 2 fache Anlage. Die Krone des Hafendammes wird in der Regel als Zufuhrweg benutzt und durch Rampen, Treppen und Zugänge mit dem um den inneren Hafen in geringer Höhe über dem mittleren Wasserstande anzulegenden Verkehrswege verbunden, sowie auch mit Schiffshaltern zur Befestigung der Fahrzeuge versehen.

Ein wesentliches Erforderniss eines Flusshafens ist ferner die Erhaltung seiner Tiefe. Dies bedingt die Vermeidung jeder Durchströmung, weil hierdurch Sinkstoffe in den Hafen gelangen, welche sich in dem breiteren Profile desselben ablagern und die Sohle verflachen. Aus diesem Grunde ist auch der Vorschlag, am oberen Ende des Hafens eine zweite Oeffnung anzulegen und diese zeitweise zum Zweck der Spülung zu benutzen, nicht zweckmässig, dagegen würden sich in gewissen Fällen hochliegende, mit Schützvorrichtungen versehene Einlassöffnungen behufs Erneuerung des Wassers und Vermeidung seiner Fäulniss empfehlen lassen, alle übrigen fliessenden Wasserläufe aber sind vom Hafen fern zu halten und durch Verlegung direct dem Flusse zuzuführen. Trotzdem erhöht sich die Sohle stetig, indem bei jedem höheren Wasserstande Erd- und Schlicktheile im Wasser enthalten sind und diese dort zur Ablagerung gelangen. So sollen die Rheinhäfen jährlich im Durchschnitt um 0^m,20 verflachen und nach 3 Jahren regelmässig eine Vertiefung erfordern.

Bei der ersten Anlage erhält die Sohle eine solche Tiefenlage, dass beladene Fahrzeuge auch bei niedrigen Wasserständen im Hafen liegen können und dort mindestens die Minimaltiefe des Flusses vorfinden. Vielfach ist zwar der Wasserstand für die Zeit der Benutzung der Anlage ein höherer, doch treten zuweilen in manchen Flüssen während des Winters auch niedrige Wasserstände ein und diese können bei Eisversetzungen oberhalb des Hafens sogar sehr niedrige werden. Da indess die Schiffe im Winter meist unbeladen sind, so genügt es in der Regel die Sohle so tief zu legen, dass beladene Schiffe beim mittleren, niedrigen Sommerwasserstande die nöthige Fahrtiefe finden.

Die Grösse der Flusshäfen richtet sich nach der Grösse und Zahl der darin zu bergenden Schiffe bzw. Flösse, wobei auch der zur freien Bewegung der Fahrzeuge bei Aufstellung, sowie bei Aufeisung derselben während des Winters erforderliche Raum in Anschlag zu bringen bleibt.

In Fig. 15 bis 18, Taf. XXX sind einige Flusshäfen dargestellt. Der Elbhafen bei Wittenberge (Fig. 15) liegt in der Mündung der Nebenflüsse Karthane und Stepnitz und bietet Raum für 150 Elbkähne. Nach der durch Buhnen regulirten Elbe zu ist er durch einen hochwasserfreien Deich und an der Einfahrt durch ein Separationswerk begrenzt. Gegen die Zweckmässigkeit würde sich anführen lassen, dass die an der Einfahrt angeordnete inclinante Buhne zur Verflachung der ersteren beiträgt und dass der Hafen in Folge der von den Nebenflüssen zutretenden Sinkstoffe häufige Baggerungen erfordert. Seine Lage war indessen wegen der dort nothwendigen Zollabfertigung der Fahrzeuge geboten. Die betreffenden Zollrevisions-Anstalten liegen am rechten Ufer.

Fig. 16 zeigt den Rheinhafen bei Ober-Lahnstein oberhalb der Einmündung der Lahn in den Rhein. Die Streichlinien werden von den punktirt gezeichneten Grundschwelen begrenzt.

Der vor Jahren erbaute Memel-Hafen bei Ragnit (Fig. 17) ist von hochwasserfreien, sich an das hohe Uferterrain anlehnenden Dämmen geschlossen, welche bei dem übermässig breiten Inundationsprofil ohne Nachtheil bleiben. Der Hafen nimmt 32 grössere Fahrzeuge auf, seine Einfahrt ist indessen zu breit, und die Sohlentiefe nicht ausreichend, auch wirkt die Einmündung eines kleinen Wasserlaufs in den Hafen nachtheilig.

Nach Fig. 18 ist ein grösserer, für 75 Fahrzeuge bestimmter Hafen für die Memel an der russischen Grenze bei der Grenzstadt Schmalleningken projectirt worden, dessen Ausführung bevorsteht, sobald die zur Anlage erforderliche Grenzverlegung zwischen Preussen und Russland bewirkt sein wird. Zunächst soll dann mit Coupirung und Verlegung des Swentoie Baches, welcher zur Zeit die Landesgrenze bildet und das in Aussicht genommene Hafenterrain durchzieht, begonnen werden. Der hochwasserfreie Hafendamm wird sich beim Zollamt an das höhere Ufer anlehnen, an der Wasserseite durch ein Deckwerk aus Faschinenpackwerk, sowie durch Steinschüttungen, ausserdem aber noch durch ein System von Buhnen oberhalb gesichert werden. Die äusseren Böschungen des Hafendammes sind mit 3 facher, die inneren mit 2 facher Anlage projectirt. Das an der inneren Böschung angeordnete Bankett erweitert sich in der Nähe des Zollamts zu Zoll-Revisionsplätzen, welche mit den Strassen der Stadt in Verbindung stehen. Die Kosten der Anlage werden rund 200 000 M. betragen.

Als grössere Hafenanlagen sind noch zu erwähnen diejenigen zu Mannheim und Ruhrort, von deren Beschreibung indess hier wegen Mangel an Raum Abstand genommen werden muss.

§ 15. Hilfsarbeiten. Die Hilfsarbeiten sind bereits, auch in Beziehung auf den Flussbau, in einem anderen Bande dieses Handbuchs speciell erörtert, sollen daher hier nur ganz im Allgemeinen erwähnt werden. Es handelt sich dabei vorzugsweise um diejenigen Arbeiten, welche zur Vertiefung der Fahrrinne, zur Entfernung der in derselben vorhandenen Schiffahrtshindernisse, sowie auch zur Beseitigung von Eisstopfungen erforderlich sind. Das gebräuchlichste Mittel zur Vertiefung der Fahrrinne ist das der Baggerung, welches für die Dauer der Regulirungsarbeiten sowohl zur Unterstützung derselben, als auch zur zeitweisen Beseitigung von Untiefen nur selten entbehrt werden kann, welches aber — wie vielfach irrthümlich angenommen wird — keineswegs die Regulirungsarbeiten zu ersetzen vermag, da durch Vertiefung der Sohle zwar das Hinderniss fortgeräumt, nicht aber die Ursache desselben gehoben wird. Dagegen werden nach Beendigung der Regulirung Baggerungen nur noch in einzelnen Fällen, wie bei Vertiefung der Flusshäfen und bei Entfernung der von den Nebenflüssen zugeführten Sinkstoffe nothwendig sein.

Ueber die Construction, Anwendung und Wirksamkeit sämmtlicher Bagger-Apparate vergl. auch Hagen, Wasserbaukunst, IV. Th., 4. Bd., § 72 bis 79 und Lagrené, Cours de Navigation intérieure. Bd. II, S. 165—177.

Ein ferneres Mittel zur Vertiefung der Flusssohle ist die Auflockerung derselben, wobei der Strömung die Fortführung der gelockerten Sinkstoffe überlassen

bleibt. Schon die Verstärkung der Strömung durch Einengung (vergl. Möraths ambulante Schiffsbühne, Archiv für Seewesen 1870, S. 174) bewirkt eine derartige Auflockerung, sie wird aber auch direct durch Anker, Rechen und Pflüge, welche über die Flusssohle gezogen werden, sowie durch besonders zu diesem Zweck construirte sogenannte Kratzmaschinen herbeigeführt. Eine Maschine dieser Art ist im Mittelrhein im Gebrauch (Zeitschr. f. Bauw. 1865, S. 110) und besteht im Wesentlichen aus einer, mit vortretenden Dornen besetzten stellbaren Walze, welche durch ein zwischen zwei Fahrzeugen hängendes Schiffmühlenrad bewegt wird. Eine Kratzmaschine anderer Construction ist im Engineering (1870) mitgetheilt. Dieselbe findet bei der Regulirung des Mississippi und dessen Nebenflüssen Anwendung, indem man bei den starken Sandbewegungen Baggerungen für unvortheilhaft hält. Dass es sich dort um Beseitigung erheblicher Sinkstoffmassen handelt, geht daraus hervor, dass die Minimaltiefe bei niedrigem Wasser auf den Sandbarren im oberen und unteren Lauf des Mississippi nur 0^m,6 und im Ohio Fluss nur 0^m,3 beträgt. Die Maschine besteht aus einem, am hinteren Schiffsrande angebrachten, stellbaren Rechen, dessen Zinken aus 9 kräftigen Kratzern construiert sind, (vergl. auch Malézieux, Travaux publics des états-unis d'Amérique. S. 274).

Durch Baggern und Auflockern lassen sich nur abgelagerte Sinkstoffe beseitigen, grössere Steine werden dagegen durch Haken, Zangen, Klauen, Zugketten, Steinkörbe und Hakenkeile gehoben. Ist die Grösse der Steine erheblich oder besteht die Flusssohle aus Felsen, so sind zur Vertiefung Sprengarbeiten erforderlich. Man treibt zu diesem Zweck in die Steine oder Felsen Bohrlöcher ein, füllt sie mit Sprengmaterial, entzündet dies durch Zündschnüre oder galvanische Batterien und beseitigt dann das durch die Explosion zerkleinerte Steinmaterial mittelst der oben angegebenen Apparate. In neuerer Zeit werden zu den Sprengarbeiten auch Taucherglocken und Taucherschachte verwendet. (Näheres über Sprengungen findet sich Hagen, Wasserbaukunst. II. Th., 3. Bd., § 53 und im VI., X., XVII. und XVIII. Bande der Zeitschr. f. Bauw., sowie in der Zeitschr. für prakt. Baukunst 1864 und in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1872, S. 222.)

Ausser den zur Vertiefung der Flusssohle erforderlichen, vorstehend erwähnten Arbeiten treten zuweilen auch noch andere auf, welche die Beseitigung sonstiger Schiffahrtshindernisse bezwecken. Dazu zählen versunkene Baumstämme, deren Heben mit Ketten und Windevorrichtungen erfolgt, sowie auch untergegangene Schiffe. Aus letzteren wird gewöhnlich, wenn möglich, zunächst die Ladung gehoben und demnächst erst mit der Hebung des Fahrzeugs begonnen. Dieserhalb sucht man unter dasselbe Ketten zu bringen, diese mit zwei, seitwärts aufgestellten Schiffen in Verbindung zu setzen und dann durch Aufwinden und Ziehen das Fahrzeug nach flacheren Stellen zu schleifen, wo es wieder flott gemacht oder doch leicht beseitigt werden kann. Gelingt die Hebung auf diese Weise nicht, so wird das gesunkene Schiff auch wohl durch Sprengung oder durch sonstige Mittel zerstört und in einzeln zu hebende Theile zerlegt.

Zu den Hilfsarbeiten gehören endlich noch die zur Beseitigung von Eisstopfungen erforderlichen Arbeiten. Eisstopfungen können nicht nur den landwirthschaftlichen Interessen in hohem Grade nachtheilig werden, sondern auch bedeutende Schiffahrtshindernisse veranlassen, indem die Sperrung des Abflussprofils zuweilen die Bildung eines neuen Flussbetts und die Versandung des alten zur Folge hat. Man sucht einem derartigen Ereigniss dadurch zu begegnen, dass man vor Eintritt

des Eisgangs in der Eisdecke, oft auf langen Strecken, einen angemessen breiten Canal durch Handarbeit und Sprengung mittelst Pulver und Dynamit herstellt und diesen offen erhält. Bedingung für die Anlage eines derartigen Canals ist das Vorhandensein von Vorfluth am unteren Ende, da sich andernfalls dort die gelösten Eismassen wieder zusammenschieben und neue Stopfungen bilden. (Nähere Mittheilungen über Eissprengungen finden sich im XI., XV. und XIX. Jahrgang der Zeitschr. f. Bauw., sowie in der Zeitschr. des Arch- und Ing.-Ver. zu Hannover. 1863, S. 234 und 1866, S. 49.)

§ 16. Unterhaltungsarbeiten. Nach Beendigung der Flussregulirungen hängt die Erhaltung des guten Zustandes der Flüsse und deren Bauwerke wesentlich von derjenigen Sorgfalt ab, welche auf die sogenannten Unterhaltungsarbeiten verwendet wird. Diese sind sowohl technischer als auch administrativer Natur.

In technischer Beziehung sind nicht nur sämmtliche Flussbauwerke und Anlagen auf Grund specieller örtlicher Ermittlungen dauernd in gutem, baulichen Zustande zu erhalten, sondern auch noch diejenigen kleineren Regulirungsarbeiten auszuführen, welche zur Ausbildung der Alluvionen und Befestigung der neuen Ufer, sowie zur Erhöhung der Wirksamkeit der vorhandenen Bauwerke beizutragen vermögen.

Die Uebersicht über diese Arbeiten, sowie überhaupt die gesammte Verwaltung eines regulirten Flusses wird durch ein geordnetes Flussinventarium erleichtert, da dieses dem Bauleiter die jederzeitige Controle der ihm von seinem Aufsichtspersonal und dem betheiligten Publikum gemachten Angaben über alle auf den Fluss bezüglichen Verhältnisse gestattet, und ausserdem auch ein Mittel zur Sammlung statistischen Materials und Verwerthung desselben zum Nutzen der Schiffahrt und Landescultur bietet. Das Inventarium besteht aus einer speciellen Beschreibung des Flusses, seiner Eigenschaften, Bauwerke, Anlagen und Verkehrsverhältnisse, sowie aus den Flusskarten, Bauplänen, Längen und Querprofilen, hydrometrischen und sonstigen Ermittlungen. Namentlich ist darin zu erörtern die geschichtliche Entwicklung des Flusses und seiner Regulirung, der Flösserei- und Schiffahrts-Verkehr, die Grösse und Benennung der gebräuchlichen Fahrzeuge, der Inhalt der auf den Fluss und seine Benutzung bezüglichen gültigen Landes-Gesetze, Polizei-Verordnungen und Instructionen, die Organisation der Bauverwaltung, Flusspolizei und Competenz derselben, der Verlauf etwa eingetretener Unglücksfälle, die Grösse und Topographie des Flussgebiets, die Länge, Eintheilung oder Stationirung des Flusses, die Begrenzung seiner Ufer, die örtliche Lage der Grenz- und Kilometer-Steine und aller Fixpunkte, die Höhe derselben über dem Normalpegel, die Lage der verschiedenen Flusspegel, die Wasserstandcurve jedes einzelnen mit Angabe der Normal-Wasserstände, die Wassermasse, Tiefe und Breite des Flusses, die Ermittlung seiner Normal-Profile für Hoch-, Mittel- und Niedrigwasser, das absolute und relative Gefälle, das Verhältniss der Krümmungsradien der Streichlinien, die Grösse der Alluvionen und die Construction der einzelnen Regulirungswerke, baulichen Anlagen, Dienstgebäude, Geräte, Bagger und Schiffsgefässe. In das Flussinventarium sind auch Angaben über die Kosten der Regulirung und die fortlaufenden Einnahmen und Ausgaben aufzunehmen. Soll es seinen Zweck dauernd erfüllen, so ist es in bestimmten Perioden von Zeit zu Zeit nach dem jedesmaligen Stande zu berichtigen und current zu erhalten.

Zur technischen Unterhaltung eines Flusses gehört auch die regelmässige Aussteckung der Fahrrinne bezw. der in derselben vorhandenen Schiffahrtshinder-

nisse durch Fahrtzeichen, welche die jedesmalige Lage der Fahrrinne angeben, bezw. das Vorhandensein etwaiger Schifffahrtshindernisse in derselben, oder auch zeitweise unter Wasser befindliche Regulierungswerke markiren. Diese Fahrtzeichen sind sehr verschiedener Art. An der mittleren Oder bedient man sich hierzu einfacher Weidenzweige; dieselben werden mit ihren Stammenden in die Flusssohle fest eingesteckt und ragen mit ihren Wipfelenden und zwar je nach der Seite der Fahrrinne mit oder ohne Buschwerk über dem Wasser hervor. An der Memel sind dagegen sogenannte Fusen — starke 4 bis 5^m lange Stangen, welche mit im Fluss versenkten Steinen durch kurze Ketten verbunden sind und über dem Wasser hervortreten, im Gebrauch. Vor Eintritt des Eisgangs werden die Fusen mit den Steinen ausgehoben und in Verwahrung genommen. Durch verschiedene Färbung der Stangen wird die Begrenzung der rechten oder linken Seite der Fahrrinne markirt, oder auch dadurch, dass die Fusen der einen Seite Strauchbüschel erhalten und die der anderen nicht. Die Fahrtzeichen bedürfen bei dem steten Wechsel der Fahrrinne häufiger Umlegung, werden auch durch Schiffe, namentlich aber durch Flösse oft verschleppt, so dass besondere Lootsen anzustellen sind, welche für die jederzeitige richtige Lage der Fahrtzeichen zu sorgen haben.

In administrativer Beziehung erstrecken sich die Unterhaltungsarbeiten auf Erlass und Durchführung aller polizeilichen Anordnungen, welche zum Schutz der Bauwerke und zur Sicherung des Flösserei- und Schifffahrtsverkehrs, sowie auch zur Wahrung der Rechte und Ausübung der Pflichten des Staats, der Uferbesitzer und aller sonstigen Beteiligten erforderlich werden. Ein näheres Eingehen auf Specialien ist hier nicht beabsichtigt, es sollen vorstehende, ganz allgemein gehaltene Andeutungen nur auf den Umfang der Unterhaltungsarbeiten und darauf hinweisen, dass dieselben, auch nach durchgeführter Regulirung, zur Erhaltung des guten Zustandes der Flüsse und zur Benutzung derselben wesentlich und erforderlich sind.

B. Canalisirung.

§ 17. Zweck der Canalisirung. Flusscanalisirungen bezwecken vorzugsweise die Herstellung bezw. die Erhöhung der Schiffbarkeit der Flüsse, sie vermögen aber auch gleichzeitig zur Förderung der Landescultur-Interessen und zur Hebung der Industrie beizutragen.

Im Schifffahrtsinteresse handelt es sich bei derartigen Canalisirungen im Wesentlichen um eine durch Stauanlagen herbeizuführende Vermehrung der Fahrtiefe und Milderung der Strömung zur Zeit derjenigen niedrigen und mittleren Wasserstände, bei denen die betreffenden Flüsse im natürlichen Zustande die erforderliche Fahrtiefe nicht besitzen, und solche auch durch anderweitige Regulirung, in Folge unzureichender Wassermassen oder zu starker Gefälle oder aus sonst localen Gründen, nicht erhalten können. Da feste Stauanlagen für die gesammten Flussverhältnisse meist nachtheilig sind, indem sie den Abfluss der Wassermassen behindern, den Wasserspiegel heben und die Ueberfluthung des Inundationsgebiets vermehren, haben Flusscanalisirungen erst mit der Erfindung der sogenannten beweglichen Wehre (vergl. VII. Cap. § 5, S. 351), welche sich beim Eintritt höherer Wasserstände beseitigen lassen, eine grössere Bedeutung und eine allgemeinere Anwendung im Schifffahrtsinteresse gefunden.

Insofern bei Canalisirungen auch die Verbesserung der natürlichen Flusszustände durch Zusammenfassen der Wassermassen in ein Bett, durch Vertiefung und

regelmässige Gestaltung desselben, durch Befestigung der Ufer und Sicherung der Inundationsterrains erstrebt und erreicht wird, sind sie den Landescultur-Interessen förderlich, ganz besonders aber dann, wenn die durch Stauanlagen zu bewirkende Hebung des Wasserspiegels zur Zeit der niedrigen und mittleren Wasserstände für die Bewässerung hoch gelegener Uferterrains nutzbar gemacht werden kann. Entwässerung der letzteren wird dagegen durch Flusscanalisirungen in der Regel erschwert und dies schliesst oft die Verwendung dieses Systems ganz aus, namentlich in denjenigen Fällen, wo die Behinderung der Vorfluth und die Hebung des Grundwasserstandes dem Uferterrain dauernd nachtheilig werden. Flusscanalisirungen erfordern dieserhalb auch in der Regel tief eingeschnittene Flussbetten.

Endlich lassen sich die zur Canalisirung erforderlichen Stauwerke, in Folge der Concentration des Flussgefälles auf einzelne Querprofile, durch Ausnutzung der lebendigen Kraft des an der Wehrstelle abfliessenden Wassers auch zur Bewegung von Wasserrädern und Turbinen, somit also zum Betriebe industrieller Anlagen verwenden.

§ 18. Canalisirungsaufgaben. Da der canalisirte Fluss, namentlich bei Verwendung beweglicher Stauanlagen, zeitweise durch Beseitigen der letzteren die Eigenschaften des regulirten Flusses annimmt und seine Wirkungen auf das Flussbett, die Ufer und die Inundationsterrains dann im Wesentlichen analog sind, so stimmen die in § 2 sub a bis incl. d erörterten Regulirungsaufgaben mit denen der Canalisirung überein. Nur die Anlage des Leinpfads oder Treidelweges bedingt einige Modificationen, insofern derselbe das Uferterrain oft überragt und sowohl zu nachtheiligem Uebersturz des Wassers, als auch zur Behinderung der Vorfluth des Inundationsgebiets Veranlassung geben kann. Die nöthigen Erörterungen folgen in § 21 sub b. Einer Beschränkung der Flussbreiten zu Zwecken, wie sie bei Regulirungen in Frage treten, bedarf es bei Canalisirungen nicht, wenn auch bisweilen wegen besonderer localen Verhältnisse eine Beschränkung nothwendig werden kann. Dieser Fall tritt beispielsweise dort ein, wo es sich darum handelt, niedrige Uferflächen vor Ueberstauung zu sichern.

Die eigentliche Aufgabe der Canalisirung im Gegensatz zu denjenigen der Regulirung ist die Beschaffung der erforderlichen Wassertiefe durch Stauanlagen. Während nämlich bei Regulirung die Wirksamkeit der Strömung zur Ausbildung des Flussbetts und Erzeugung der nöthigen Fahrtiefe benutzt und die möglichst gleichmässige Vertheilung des Gefälles erstrebt wird, sucht die Canalisirung die Strömung durch Concentration des Gefälles auf einzelne Querprofile des Flusses zu mässigen und die Vermehrung der Fahrtiefe durch erhebliche Stauerzeugung zu erreichen.

Den hieraus für Schifffahrt, Landescultur und Industrie entstehenden Vortheilen, lassen sich jedoch auch erhebliche Nachtheile gegenüberstellen. Namentlich machen sich letztere bei festen Stauwerken geltend, weniger bei beweglichen, sind aber auch bei letzteren noch so erheblich, dass schon dieserhalb eine allgemeine Verwendung des Canalisirungs-Systems zur Schiffbarmachung aller Flüsse ausgeschlossen ist. Die Nachtheile der Stauanlagen bestehen in Beschränkung des Abflussprofils, Aufhebung oder Erschwerung der Vorfluth, Vermehrung der Ueberschwemmungsgefahren, stetiger Erhöhung des Flussbetts und Verzögerung des Schifffahrtsbetriebs.

Die Beschränkung des Abflussprofils durch eine Stauanlage hat die Erhebung des Oberwassers und mit der Verminderung des relativen Gefälles auch

diejenige der mittleren Geschwindigkeit daselbst zur Folge. Da aber die Wassermasse dieselbe bleibt, ist zur Abführung derselben eine Vergrößerung des Abflussprofils im Oberwasser nothwendig. Das Flussbett ist aber in der Regel durch Treidelwege und sonstige Uferbauten begrenzt, es muss sich also die Vergrößerung des Abflussprofils in einer weiteren Hebung des Wasserspiegels geltend machen. Hierdurch wird der Grundwasserstand oft so gehoben, dass die zur Entwässerung erforderliche Vorfluth nicht mehr vorhanden und auch die Cultur der Uferflächen nicht mehr möglich ist. Sollen letztere vor Versumpfung bewahrt bleiben, so beansprucht ihre Entwässerung die meist kostspielige Anlage von längeren, bei der nächsten Wehranlage unterhalb einmündenden Abzugsgräben und Canälen.

Aber auch bei Hochwasser ist die Hebung des Wasserspiegels von Nachtheil, insofern die Hochfluthen durch die Stauwerke ebenfalls, wenn auch in geringerem Grade, in ihrem Abfluss behindert werden und eine grössere Höhe erreichen, als ohne Stauanlage. Es vermehren sich in Folge dessen die Ueberschwemmungsgefahren und es können diese auch dadurch herbeigeführt werden, dass sich beim Eisgang an der Wehrstelle Eisstopfungen bilden, welche das Flussbett dort absperren, den Wasserabfluss verhindern und den Fluss zum Austreten veranlassen, so dass unter Umständen ganz neue Flussbetten und Durchbrüche der Hochwasserdeiche entstehen können.

Den nachtheiligsten Einfluss auf die gesammten Flussverhältnisse übt die Stauanlage durch die stetige Erhöhung des Flussbetts aus. Schon die Ermässigung der Geschwindigkeit im Oberwasser bedingt dort eine vermehrte Ablagerung der Sinkstoffe. Sodann behindert der feste Wehrrörper, welcher selbst bei beweglichen Wehren die Flussbettsohle stets mehr oder weniger überragt, die Fortbewegung der Sinkstoffe, indem diese theilweise den höheren Wehrrücken nicht zu überschreiten vermögen. Endlich tritt letzterer auch noch der Ausbildung einer tiefen Fahrrinne entgegen, in welcher im nicht canalisirten Fluss die grösste Sinkstoffbewegung stattfindet. Aus diesen Gründen bleiben oberhalb der Stauanlage grosse Massen von Sinkstoffen liegen, welche zunächst die tiefen Stellen ausfüllen, mit der Zeit aber auch das gesammte Flussbett innerhalb der Stauweite immer mehr erhöhen. Dass das Hochwasser dieses nicht zu verhindern vermag und dass solche Ablagerungen die Höhe des festen Wehrrückens vielfach schon jetzt überragen, beweisen die zeitweise eintretenden Versandungen des letzteren und die steten Baggerungen, welche in bereits ausgeführten canalisirten Flusstrecken zur Vertiefung der Fahrrinne bisher — obwohl diese Ausführungen der neueren Zeit angehören — nothwendig geworden sind, sich in der Folge auch noch immer mehr geltend machen werden. (Vergl. „Zur Schiffbarmachung der Flüsse“ vom Verfasser. Berlin, Ernst und Korn 1876.) Für die Folge dürfte sich denn auch die Nothwendigkeit ergeben, die Wehrrücken nach und nach in gewissen Zeiten periodisch zu erhöhen, wenigstens dort, wo es durch Baggerung nicht gelingt, der Flussbetherhöhung wirksam entgegenzutreten. Durch Anlage von Freiarchen und Grundablässen vermag man zwar die Sinkstoffablagerung an einzelnen Stellen zu mildern, immerhin aber wirken derartige Anlagen nur auf Flussbettflächen von geringer Ausdehnung und können daher nicht als ausreichende Mittel zur Beseitigung der oben geschilderten Uebelstände angesehen werden. Mit der Erhöhung der Flussbettsohle hebt sich auch der Wasserspiegel und es müssen in Folge dessen die Seitenterrains immer mehr der Vorfluth entzogen, die Inundationsgrenzen immer weiter nach dem Binnenlande zurückverlegt und den Ueberschwemmungen immer grössere Flächen geopfert werden.

Aus diesen Gründen lässt sich das Canalisirungs-System nur für solche Flüsse empfehlen, welche entweder so tief eingeschnittene Betten besitzen, dass eine Erhöhung derselben auf lange Zeit hinaus voraussichtlich ohne Nachtheil bleibt, oder welche wegen Wassermangels oder sonstiger Verhältnisse zur Regulirung ungeeignet sind.

Endlich ist auch noch der Nachtheil, welcher in canalisirten Strecken aus der Verzögerung des Schiffahrtsverkehrs erwächst, zu erwähnen. In manchen Fällen wird zwar der Nachtheil, dass die Thalfahrt langsamer erfolgt und die Anwendung von Zugkräften bedingt, durch den aus der Ermässigung der Strömung resultirenden Vortheil der erleichterten Bergfahrt aufgewogen, immerhin aber bleibt der zur Passage der Wehrstellen erforderliche Aufenthalt, namentlich bei Flüssen mit lebhaftem Schiffahrtsverkehr, störend, wenn man erwägt, dass die Stauwerke meist in relativ kurzen Zwischenräumen aufeinander folgen.

§ 19. Vorarbeiten. Bezüglich der Vorarbeiten gilt auch hier das in § 3 bereits Erwähnte. Das Projekt wird alsbald für die gesammte, schiffbar herzustellende Flussstrecke angefertigt, da hier von einzelnen Stückprojekten noch weniger die Rede sein kann, als bei Flussregulirungen.

Die Kosten der Canalisirung eines Flusses hängen sehr wesentlich von Localverhältnissen ab, es lassen sich daher keine allgemein verwendbaren Einheitssätze oder Kostenangaben, sondern nur diejenigen einzelner Ausführungen mittheilen. Die Kosten der Canalisirung der Saar von der früher preussisch-französischen Grenze bis Louisenthal sind bezüglich der Ufer und Leinpfadbauten, Baggerungen, Schleusen und Wehre in einer Abhandlung von L. Hagen in der Zeitschr. f. Bauw. 1866 speciell angeführt. Bei Canalisirung der Mosel von Frouard bis Pont à Mousson auf 19 180^m Länge haben die Ausführungskosten im Ganzen 2 172 000 M. oder durchschnittlich pro Kilometer 113 242 M. und auf der Strecke von Pont à Mousson bis zur jetzigen deutschen Reichsgrenze bei Arnaville auf 13 640^m Länge im Ganzen 1 988 000 M. oder durchschnittlich pro Kilometer 145 752 M. betragen.

Diese Kosten vertheilen sich in folgender Weise:

Gegenstand der Leistung.	Baukosten	
	1. auf der Strecke von Frouard bis Pont à Mousson. Mark	2. auf der Strecke von Pont à Mousson bis Arnaville. Mark
1. Erd- und Böschungs-Arbeiten	578 665,76	592 349,45
2. Kunstbauten	768 701,99	497 811,85
3. Eisenconstructionstheile der Brücken, Wehre und Schleusenthore	69 600,00	32 000,00
4. Wehr- und Schleusenwärterhäuser	34 400,00	16 800,00
5. Grunderwerb	428 000,00	579 200,00
6. General-Ausgaben und Baggerarbeiten	292 632,25	269 838,70
Summa	2 172 000,00	1 988 000,00

§ 20. Canalisirungsanlagen im Allgemeinen. — Canalisirungsmittel.

Bei manchen zur Canalisirung geeigneten Flüssen lässt sich zur Herstellung einer schiffbaren Wasserstrasse fast ausschliesslich das Flussbett verwenden, bei der Mehrzahl sucht man jedoch einzelne Flusstrecken, namentlich solche, in denen grosse Serpentinien und Schiffahrtshindernisse auftreten, durch Seitencanäle zu umgehen. Ein Beispiel der ersten Art, auf welches hier wiederholt Bezug genommen wird,

bietet die Canalisirung der Saar von Saargemünd bis Louisenthal (Zeitschr. f. Bauw. 1866), während als Beispiel der zweiten Art die Canalisirung der Mosel von Frouard bis Metz (Canalisation der Mosel von Arnaville bis Metz vom Verfasser — Berlin, Ernst und Korn, und Zeitschr. f. Bauw. 1874) angeführt wird.

Die letztgenannte Art verdient im Allgemeinen den Vorzug, lässt sich aber in manchen Fällen nicht anwenden, da tief eingeschnittene Flussbetten die Anlage kostspieliger Seitencanäle erfordern, letztere auch in engen und dichtbebauten Flusstälern bisweilen überhaupt nicht ausführbar sind. Derartige locale Verhältnisse sind beispielsweise für die Saar maassgebend gewesen, während sich das Moselthal von Frouard bis Metz für die Anlage von Seitencanälen günstig erwiesen hat.

Beim Vergleich canalisirter Flüsse mit Schiffahrtscanälen werden erstere bisweilen vorgezogen, da sie die bestehenden industriellen Etablissements in den Flusstälern weniger hindern, in der Regel geringere Baukosten, in engen Flusstälern auch geringere Schwierigkeiten bei der Ausführung veranlassen und wegen der kürzeren Dauer der Eissperrung eine längere Schiffahrtsperiode als Canäle gestatten. Andererseits stehen canalisirte Flüsse den Canälen nach, weil bei ersteren Strömung, hohe Wasserstände und starke Gefälle mehr Betriebsstockungen, Wehr- und Schleusen-Anlagen mehr Versandungen hervorrufen und gewöhnlich auch eine weniger günstige Ausnutzung der Zugkräfte erfolgt. Endlich ist es noch ein Nachtheil der Canalisirungen, dass sie oft die Beseitigung vorhandener Mühlen zur Folge haben, was, wenn auch durch Wehre neue concentrirte Gefälle geschaffen werden, doch meist Entschädigungen hervorruft. In der Regel geben sonach bei der Wahl zwischen Canalisirung und Anlage eines Schiffahrtscanals rein locale Verhältnisse den Ausschlag.

Unter den Canalisirungsmitteln sind vor Allem die Stauanlagen zu nennen. Ausserdem gehören dazu die Bauwerke zur Correction des Flussbetts, die Leinpfade, die Entwässerungsanlagen und die Seitencanäle.

§ 21. Anordnung und Ausführung der Canalisirungswerke.

a. Correction des Flussbetts und der Ufer. Bezüglich der Correction des Flussbetts und der Ufer gilt im Wesentlichen das in § 2 sub a bis incl. d Gesagte, aus welchem sich alle nothwendigen Modificationen ableiten lassen.

b. Leinpfade (vergl. Cap. VI, § 8 und Cap. VIII, § 9). Der Leinpfad soll für die Dauer der Schiffahrtsperiode jederzeit eine sichere Passage gestatten, seine Höhenlage ist daher so zu wählen, dass er nicht nur bei normaler Anstauung des Flusses, sondern auch bei mittleren und etwas höheren Wasserständen noch benutzt werden kann. Dies bedingt zuweilen die Erhöhung des natürlichen Ufers, woraus erhebliche Nachtheile insofern entstehen können, als die Vorfluth der Uferterrains behindert und durch den bei höheren Wasserständen eintretenden Uebersturz des Wassers Beschädigungen und Zerstörungen des Leinpfads und der Seitenterrains veranlasst werden. Zur Vermeidung dieser Uebelstände verlegt man den Leinpfad vielfach auf die meist vorhandenen, höheren Ufer, stellt auch wohl zwei Leinpfade für niedrige und höhere Wasserstände her und nennt dann den niedrigen den Sommerleinpfad. Liegt der Leinpfad höher als das Uferterrain, so sind zur Entwässerung der Seitenterrains Durchlässe, bisweilen auch Brücken erforderlich. Letzteres pflegt meist bei den Mündungen der Seitengewässer einzutreten. Derartige Brücken liegen gewöhnlich nicht hochwasserfrei und haben dann einen Oberbau, welcher entweder bei Eintritt des Hochwassers beseitigt oder so mit dem Unterbau befestigt

wird, dass ein Fortschwimmen nicht erfolgen kann. Man schützt diese Brücken möglichst gegen Eisgang, namentlich, wenn sie ganz aus Holz construirt sind. Da sie bedeutende Lasten nicht zu tragen haben, kann ihre Construction eine einfache sein, sie wird aber eine complicirte, wenn es sich um Ueberbrückung schiffbarer Seitenflüsse oder Hafeneinfahrten handelt. Ganz besondere Schwierigkeiten bietet die Anlage der für die Schifffahrt erforderlichen Brückenöffnung. Klapp- oder Wippbrücken sind wegen der geringen Höhe und der Eintauchung ihrer belasteten Hebelsarme, Portalbrücken wegen ihrer leichten Zerstorbarkeit durch Hochwasser und Eisgang, sowie auch wegen der Behinderung des Leinenzuges nicht verwendbar. Am zweckmässigsten erweisen sich in solchen Fällen Drehbrücken. Wegen der vielfachen Nachtheile der Brücken werden sie auch wohl durch Fähren ersetzt.

Der Anlage des Leinpfads treten ferner in sumpfigen Terrains Schwierigkeiten entgegen. Sand und Kiesschüttungen werden dort durch die Hochfluthen bald fortgespült, man verwendet daher zweckmässiger Steinschüttungen, giebt diesen eine gepflasterte Krone und stellenweise zum Abfluss des Seitenwassers muldenförmige Rinnen.

Ein wesentliches Erforderniss des Leinpfads ist die Befestigung der wasserseitigen Böschung. Je nachdem diese mehr oder weniger das Flussufer bildet ist sie gegen die Einwirkung des Wassers, der Strömung, des Wellenschlages und des Eisgangs entsprechend zu sichern, so dass die Ausführung von Uferschutzwerken (vergl. § 5 und 10) in derselben Weise, wie bei Flussregulirungen nothwendig wird. In einzelnen Fällen kann sich zum Schutz des Leinpfades selbst die Verwendung von kurzen Bühnen erforderlich machen.

An der Saar ist der Leinpfad auf dem linken Ufer angelegt, und dieses durchweg regelmässig ausgebaut, während das rechte nur in erheblichen Buchten und Concaven Bühnensysteme erhalten hat. Der Fuss des mit $2\frac{1}{2}$ facher Anlage versehenen Leinpfadufers ist durch Steinbankett gesichert, auf welches sich ein Böschungspflaster bis $0^m,60$ über dem niedrigsten Wasserstande bei geöffnetem Wehr stützt; von da ab bis über dem normalen Stauwasserspiegel sind Rasen und Weiden zum Schutz der Böschungen gegen Wellenschlag gepflanzt.

Die $3^m,75$ bis $4^m,70$ breite, durch Kiesdecke befestigte Krone des Leinpfads hat ein Querfälle von $0^m,10$; unter Brücken ermässigt sich die Breite bis auf $3^m,15$.

Die wasserseitigen Böschungen sind zum Schutz gegen das aus dem Seitenterrain durchsickernde Filterwasser mit Steinrigolen und Drains, welche vom Leinpfad bis zum Uferfuss reichen und in quelligem Boden in geringen Entfernungen liegen, versehen. Diese Anlagen haben sich dort zur Verhütung von Beschädigung des Leinpfads durch Sickerwasser sehr wirksam erwiesen.

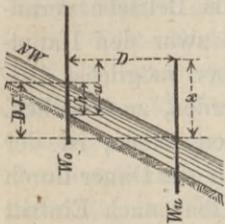
c. **Stau-Anlagen.** Die allgemeine Anordnung bei Canalisirung eines Flusses besteht darin, durch Stauanlagen, welche den Fluss in gewissen Abständen auf seine ganze Breite durchziehen, einzelne getrennte Haltungen oder Bassins herzustellen, in diesen den Wasserspiegel der Höhe der einzelnen Stauvorrichtungen entsprechend zu heben, dadurch die Wassertiefe zu vermehren, das natürliche Gefälle auf die Länge jedes Bassins im Wesentlichen auf die betreffende Stauanlage zu concentriren und durch den Ueberfall des Wassers nach der benachbarten, tiefer gelegenen Haltung wieder aufzugeben. Die so hervorgerufene Höhendifferenz zwischen zwei benachbarten Haltungen muss durch die Schifffahrt überwunden werden können, es muss die Stauanlage ausserdem aber auch den Abfluss der Wassermassen des Flusses gestatten. Dementsprechend sind für die Construction jeder Stauanlage verschiedene Bedingungen gegeben.

Zunächst soll sie den zur Herstellung der Schifffahrtstiefe nothwendigen Stau erzeugen. Da die Schifffahrt überall einer gewissen Minimal-Fahrtiefe bedarf, ist die Stauhöhe so zu bemessen, dass in der ganzen Ausdehnung jeder einzelnen

Haltung, also auch am oberen Wehr derselben diese Minimaltiefe vorhanden ist. Berechnet man wie bei Flusscanalisierungen gebräuchlich ist, die Stauweite nur nach dem hydrostatischen Stau, betrachtet man also den gestauten Wasserspiegel als eine horizontale Linie, obwohl sich in Wirklichkeit der hydraulische Stau geltend macht, jene Linie daher eine vom Gefälle abhängige Curve ist, so muss die Krone der unteren Stauanlage oder die Wehroberkante so hoch liegen, dass eine durch sie gezogene und verlängerte Horizontale sich am nächst belegenden oberen Wehr um so viel über den ungestauten Wasserspiegel des Flusses daselbst erhebt, als zur Erhaltung der Minimaltiefe an der schon vorhandenen Wassertiefe noch fehlt. Beträgt letztere beispielsweise dort $0^m,80$ und erfordert die Minimaltiefe 2^m , so hat jene Horizontale den ungestauten Wasserspiegel im Unterwasser des oberen Wehrs um $1^m,20$ zu überragen.

Zwischen dem Flussgefälle, der Stauhöhe und der Entfernung des unteren Wehrs vom oberen bestehen gewisse Beziehungen. — Ist nach Fig. 16:

Fig. 16.



- D die Entfernung der beiden Wehre,
 J das mittlere relative Gefälle des Flusses pro laufendem Meter bei niedrigem, ungestautem Wasserstande auf die Länge D ,
 x die Höhe der Oberkante des unteren Wehrs über dem ungestauten niedrigen Wasserstande,
 h die natürliche Wassertiefe am oberen Wehr und
 w die Minimaltiefe, welche die Schifffahrt erfordert,
 so ergibt sich $w = x - D \cdot J + h$
 $x = w + D \cdot J - h$.

Zweckmässiger ist es, wenn man $x - D \cdot J + h$ noch etwas grösser als w annimmt, da eine geringe Vermehrung der Fahrtiefe die Wahl des Orts für das obere Wehr erleichtert. Aus demselben Grunde pflegt man auch nur den hydrostatischen Stau zu Grunde zu legen, wodurch sich die wirkliche Stauhöhe am oberen Wehr ebenfalls noch etwas vermehrt.

Vorstehende Gleichungen dienen gewöhnlich zur Bestimmung der nutzbaren Stauweite oder der Entfernung zweier auf einander folgenden Stauanlagen, wenn die übrigen Factoren durch Messung gegeben, bzw. durch locale Verhältnisse bedingt sind. Namentlich kommen hierbei die Rücksichten auf die Landescultur, welche der Stauhöhe und somit auch der nutzbaren Stauweite oft ganz bestimmte, unüberschreitbare Grenzen setzen, in Betracht. Dieserhalb ist bei Flüssen mit starkem Gefälle die Entfernung zweier Stauanlagen oft nur gering. In einzelnen Fällen, wie bei der canalisirten Lahn, hat man diese Entfernung zu gross angenommen, und die in Folge dessen streckenweise fehlende Wassertiefe durch Regulierung der betreffenden Flusstrecken mittelst Buhnen und Parallelwerken herzustellen gesucht. Dass dieses jedoch, namentlich bei einem Fluss, wie die Lahn mit so geringer Niedrigwassermasse und so starkem Gefälle nicht zum Ziele geführt hat, ergibt sich aus der zeitigen, mangelnden Fahrtiefe daselbst.

Ist das Flussbett tief eingeschnitten wie z. B. an der Saar von Saargemünd bis Louisenthal, so können nachtheilige Einwirkungen des gestauten Wassers auf die hoch belegenden Uferterrains nicht eintreten, und es lassen sich dann, wie aus dem in Fig. 2, Taf. XXXI dargestellten Nivellement dieses Flusses erhellt, längere Haltungen anordnen. Die Thalsohle liegt dort so hoch, dass durchschnittlich nur an einem Tage im Jahre die Wiesen inundirt werden.

Für die Bestimmung der Entfernung zweier Stauanlagen ist das relative Gefälle der zwischen beiden liegenden Flusstrecke ein wesentlicher Factor. Da dieses meist schon auf kurzen Längen differirt, pflegt man der Berechnung der Entfernung das mittlere Gefälle der betreffenden Haltung zu Grunde zu legen, falls die dort vorhandenen Differenzen nicht zu erheblich sind. Bei Fluschnellen dagegen und Strecken mit besonders starkem Gefälle muss die Entfernung nach den besonderen Verhältnissen ermittelt werden.

Eine zweckmässige Wahl des Orts der Stauanlagen vermag in dieser Beziehung oft Fluschnellen ganz unschädlich zu machen. Für den Ort der Stauanlagen sind ausser dem Gefälle meist noch andere locale Verhältnisse maassgebend, wie die Gestaltung des Flussbetts, der Sohle und des Inundationsgebiets, sowie die Lage von Ortschaften, Mühlen und Fabriketablissemens.

Im Allgemeinen pflegt man Wehre weder in besonders engen, noch in sehr breiten Profilen anzulegen, weil sie im ersten Falle das Abflussprofil zu erheblich beschränken, im letzten Falle wegen der Länge grosse Kosten und bei Anwendung von beweglichen Stauconstructions auch erschwerte Bedienung im Betriebe veranlassen. Mit Vortheil benutzt man vorhandene Flusspaltungen und zwar den Hauptarm zum Wehr, den Nebenarm zur Schiffspassage, vermeidet aber möglichst Ortschaften, um Entschädigungsansprüchen, die dort meist erhoben werden, zu entgehen.

Die zweite Bedingung, welcher die Stauanlagen zu genügen haben, ist der Abfluss der Wassermassen des Flusses. Diese erleiden zwar auf die Dauer durch Stauwerke keine Verringerung, sondern es macht sich nur unmittelbar nach Eintritt der Wirksamkeit der Anlage eine Verzögerung im Abfluss geltend und auch nur so lange, bis die Haltung oberhalb bis zu der dem veränderlichen Zufluss entsprechenden Stauhöhe angefüllt ist. Ist dies geschehen, so führt der Fluss dieselbe Wassermasse wie früher ab. Hieraus ergibt sich, dass auch das angestaute Wasser eine gewisse Geschwindigkeit behält, die Oberfläche also keineswegs eine Horizontale, sondern eine geneigte Linie bildet. Die Abführung der Wassermasse erfordert eine entsprechende mittlere Geschwindigkeit, welche aber erheblich geringer ist als vor der Anstauung.

Endlich muss die Stauanlage auch noch die Passage der Schifffahrt gestatten, also Vorkehrungen zur Ueberwindung der Höhendifferenz zwischen Unter- und Oberwasser besitzen. Diesem Zwecke entsprechen Kammerschleusen und diese sind sonach eine Nothwendigkeit für jede Stauanlage, welche von der Schifffahrt passirt oder umgangen werden muss. Die Benutzung der Kammerschleusen verursacht einen gewissen Aufenthalt, der namentlich dann sehr störend wird, wenn die Schleusen in geringen Entfernungen von einander liegen, wie solches vielfach in canalisirten Flüssen der Fall ist. Zur Vermeidung dieses Aufenthalts erhält die Stauanlage in neuerer Zeit bei Verwendung beweglicher Wehreconstructions ausser der Kammerschleuse meist noch einen Schifffahrtsdurchlass (*passe navigable* wörtlich: schiffbare Durchfahrt), welcher indessen von den im § 13 und Cap. VI, § 5 erwähnten und dort nur zur Ueberwindung sehr starker Gefälle dienenden sogen. Schiffsdurchlässen unterschieden werden muss. Bei Anlage der hier in Betracht kommenden Schifffahrtsdurchlässe handelt es sich nur um Ueberwindung relativ geringer Höhendifferenzen, indem diese Durchlässe hier nur den Schiffen und Flössen bei geöffnetem Wehr die Passage desselben ohne Benutzung der Schleuse gestatten sollen. Bei mittleren und höheren Wasserständen vermindert sich die Höhendifferenz zwischen

Ober- und Unterwasser, so dass dann die Schiffe ohne Mühe den Durchlass benutzen können, er ist aber auch bei niedrigem Wasser nöthigenfalls passirbar, wenn man ihn durch drehbare Klappen oder sonst bewegliche Stauconstructionstheile schliesst und nach Ansammlung des Wassers oberhalb öffnet.

Den vorstehend erörterten Erfordernissen der Stauanlagen kann in verschiedener Weise entsprochen werden und zwar unterscheiden sich die Anordnungen insofern, als feste oder bewegliche Wehre zur Verwendung gelangen.

Bezüglich der Ausführung, Wirkung und Construction dieser Bauwerke wird auf Cap. VII verwiesen, hier soll nur von der Anordnung der Stauanlagen im Allgemeinen die Rede sein. Von den festen Wehren, welche in der Ruhr ursprünglich zu Fischereizwecken angelegt, später aber auch unter entsprechender Aenderung zur Schiffbarmachung des Flusses verwendet worden sind, ist eins in Fig. 3, Taf. XXXI dargestellt. Es bestand aus zwei mit den Ufern verbundenen, declinanten, massiven Einbauten, welche sich flussabwärts immer mehr näherten und bei *a* nur eine, mit Fischnetzen verstellbare Oeffnung frei liessen. Später schloss man diese zu Schifffahrtzwecken ab und legte am rechten Ufer eine Kammerschleuse an.

Feste Wehre erhalten, um das Abflussprofil möglichst wenig zu beschränken, und die zerstörende Wirkung des Ueberfalls zu mässigen bezw. auf eine grössere Fläche des Flussbetts zu vertheilen, eine grosse Länge, sind daher meist nicht rechtwinklig zum Flusslauf, sondern in schräger Richtung zu demselben in der verschiedensten Form angelegt. So erstrecken sich die älteren Mühlenwehre auf der Ruhr nach Fig. 1, Taf. XXXI in schräger Richtung in grosser Längenausdehnung von einem Ufer zum andern. Im gegebenen Falle schloss das Wehr früher von *A* bis *C* ohne jede Unterbrechung den Fluss vollständig ab. Später ordnete man zu Schifffahrtzwecken einen Umgehungscanal mit Kammerschleuse an, öffnete dieserhalb das Wehr bei *B* und demnächst auch zur Verhütung von Sinkstoffablagerungen bei *B*, sowie zur Fortspülung derjenigen, welche sich unterhalb der Schleuse ansammelten, noch bei *D*. Die nachtheiligen Wirkungen dieser Wehranlage zeigen sich in den vom überstürzenden Wasser erzeugten Uferabbrüchen, sowie in den Verflachungen des Flussbetts, welche sich besonders in den hoch gelegenen und bereits bewachsenen Kiesablagerungen unterhalb der Mitte der einzelnen Wehrtheile bemerkbar machen. Es tritt dabei aber auch der Nachtheil hervor, dass der Schiffahrtscanal mitten im Fluss abzweigt und das Fahrzeug hierdurch einer heftigen Strömung daselbst ausgesetzt wird. Letztere ist so erheblich, dass grössere Schiffe, um bei der Thalfahrt in den Canal einlaufen zu können, an Tauen vom rechten Ufer aus langsam herabgelassen werden müssen. Viel zweckmässiger ist es, das Wehr so anzuordnen, dass es nicht neben dem Fahrwasser liegt und dieses in keiner Weise benachtheiligt. Auch empfiehlt es sich, dem Wehr entweder, wie bei Coupirungen, eine flussaufwärts gekrümmte Richtung zu geben oder die in Irland vielfach gebräuchliche Anordnung nach Fig. 8, Taf. XXXI zu wählen, wonach das Wehr von beiden Ufern aus inclinant ansteigt. Eine Beschädigung der Ufer durch das überstürzende Wasser ist dann nicht zu befürchten.

Feste Wehre finden wegen ihrer erheblichen Nachtheile nur noch in seltenen Fällen bei Flusscanalisirungen Anwendung, man benutzt vielmehr in der Jetztzeit fast ausschliesslich bewegliche Wehre, besonders seitdem die von Poirée erfundenen und demnächst vielfach vervollkommneten Nadelwehre, sowie ähnliche bewegliche Constructionen ihre Zweckmässigkeit dargethan haben. Auch in Amerika, wo

festen Wehren bei Flusscanalisirungen früher ganz allgemein im Gebrauch waren, will man nunmehr, wie beispielsweise am Ohio Fluss, zu den beweglichen Wehren übergehen. Anfangs verwendete man nur für Stauhöhen bis zu 1^m,50 bewegliche Wehre, ihre weitere Ausbildung gestattet indess schon jetzt viel grössere Höhen. So sind die Stauanlagen der unteren Seine, z. B. im Wehr bei Port Villez schon mit 4^m Stauhöhe ausgeführt worden. Der massive Wehrrücken erhebt sich dabei stets mehr oder weniger über das Flussbett. Bei der Saar-Canalisirung beträgt diese Erhebung oft 2^m, bis zu einem gewissen Grade ist sie übrigens stets nothwendig, weil das Flussbett nicht regelmässig gestaltet ist und der feste Wehrrücken den Unregelmässigkeiten nicht zu folgen vermag. Gewöhnlich wird für die Höhenlage des Rückens die mittlere Höhe der Flussbettssole angenommen. Der Rücken lässt sich zwar für einzelne Theile des Wehrs in verschiedener Höhe anordnen, dies bedingt aber einen so erschwerten Betrieb, dass man von diesem Mittel selten Gebrauch macht.

Die Höhe der beweglichen Wehre ist, wie schon früher bemerkt, auch wesentlich von der Höhe der Ufer abhängig, welche gewöhnlich nicht überfluthet werden dürfen. Damit nun die normale Stauhöhe weder erheblich über- noch unterschritten wird, müssen die beweglichen Constructionstheile eine gewisse Regulirung des Abflusses gestatten. Bei den Nadelwehren erreicht man dieses beispielsweise durch die Nadeln. So entfernt man einzelne derselben, wenn eine Ueberschreitung des Normalstaus um mehr als 0^m,10 zu befürchten steht und vertheilt diese Oeffnungen möglichst auf die ganze Länge des Wehrs. Andererseits handelt es sich bisweilen aber auch um Mässigung des Wasserabflusses und man erreicht dieses durch enges Zusammenstellen oder Verdoppelung der Nadeln oder auch durch complicirtere Construction derselben, bisweilen sogar durch künstliche Dichtung der Fugen mittelst Vorschütten von Kohlenasche. Letzteres Mittel soll bei einem Wehr in der Werra bei Oeynhausen mit Erfolg angewendet worden sein. Die Höhe der beweglichen Wehrconstructionstheile kann bei den einzelnen Wehranlagen eines canalisirten Flusses variiren, gewöhnlich wird dies jedoch vermieden, weil die Uebereinstimmung der Constructionstheile eine billigere Herstellung gestattet und auch den Betrieb, sowie etwaige Reparaturen vereinfacht.

Auch bei Verwendung beweglicher Wehre ist, wie schon früher bemerkt wurde, eine stetige Erhöhung der Flussbettssole überall dort zu erwarten, wo die Beseitigung der Sinkstoffablagerungen durch Baggerungen nicht erfolgt oder nicht erfolgen kann.

Die derartigen Erfahrungen in Frankreich haben in neuerer Zeit dahin geführt, den Canälen oft den Vorzug zu geben, namentlich seitdem die Tendenz, die Fahrtiefe der Wasserstrassen zu vergrössern, immer mehr hervortritt (vergl. Cap. VIII, § 4). Eine Wassertiefe von 2^m,20 oder eine Fahrtiefe, d. i. Tiefgang für die Fahrzeuge, von 2^m wird jetzt dort von verschiedenen Seiten als Minimum für eine Schifffahrtsstrasse gefordert, während man sich 1840 bei Canalisirung der unteren Seine zwischen Paris und Rouen noch mit einer Minimal-Fahrtiefe von 1^m,30 anstatt der im natürlichen Zustande vorhandenen von 0^m,80 beim niedrigen Wasserstande begnügen wollte, bei der wirklichen Ausführung 1846 dann eine solche von 1^m,60 in Aussicht nahm, diese aber schon 1854 durch 2^m und 1872 bereits durch 3^m Fahrtiefe ersetzte.

In Bezug auf die Anordnung der Stauanlagen ist zu bemerken, dass bei Verwendung beweglicher Wehre in kleinen Flüssen gewöhnlich nur ein bewegliches Ueberfallwehr und eine Kammerschleuse angelegt wird, während in grösseren

Flüssen noch ein Schiffahrtsdurchlass, bisweilen auch noch, wie in der unteren Seine eine zweite ähnliche Oeffnung mit etwas höher gelegenen festen Wehrrücken hinzutritt. In grossen Flüssen kann eine Stauanlage auch mehrere bewegliche und feste Ueberfallwehre, Schleusen und Schiffahrtsdurchlässe erhalten.

Zu jeder Stauanlage gehören ausserdem die zur Bildung des Flussbetts und der Leinpfade, sowie zum Betriebe erforderlichen besonderen baulichen Nebenanlagen, wie Landpfeiler, Uferschutzwerke, Schleusenwärterhäuser etc.

Die in Frankreich bei Ausführung von Canalisirungen im Flussbett gebräuchlichste Anordnung der Stauanlagen ist in Fig. 9, Taf. XXXI dargestellt, auch in Fig. 10 ein Profil durch die Längsachse einer Stauanlage mitgetheilt, welche für Canalisirung der Mosel unterhalb Metz projectirt, wegen des Widerspruchs der Adjacenten indess nicht ausgeführt worden ist. Man beabsichtigte durch 7 derartige Werke auf der 33^{km},4 langen Moselstrecke von Metz bis Diedenhofen, welche ein absolutes Gefälle von 13^m,60 besitzt, eine Minimal-Wassertiefe von 1^m,60 zu schaffen. Das Ueberfallwehr sollte ein bewegliches sein und auch der Schiffahrtsdurchlass über festem Wehrrücken zeitweise durch Nadeln abgeschlossen werden. Die Höhenlage der einzelnen Theile und ihre Dimensionen erhellen aus der Zeichnung.

Ueber die jetzt bei Canalisirungen allgemein gebräuchliche Construction der einzelnen Theile der Stauanlagen ist Folgendes zu erwähnen.

Das bewegliche Ueberfallwehr hat in der Regel zum Fluss eine normale Lage, seltener eine schräge Richtung. Seine Lage ist neben dem Schiffahrtsdurchlass, von dem es durch einen Pfeiler getrennt wird. Auf der entgegengesetzten Uferseite ordnet man die Schleuse an. In einzelnen Fällen, so auch an der Maas bei Lüttich ist das rechtwinklige bewegliche Ueberfallwehr nicht in einer Linie über den Fluss geführt, es liegt vielmehr die Hälfte 113^m oberhalb, und es sind die im Fluss vorhandenen Endpfeiler beider Wehre durch ein festes Ueberfallwehr verbunden, welches in der Mitte des Flusses die Längsrichtung desselben verfolgt, und mit seinem festen Rücken 0^m,10 unter der normalen Stauhöhe bleibt. Zur Verbindung beim Betriebe dient eine auf umlegbaren Stützklappen oder Wehrrippen angeordnete Laufbrücke. Sobald das Oberwasser steigt, fliesst die Wassermasse über das feste Ueberfallwehr ab. Bei nur mässiger Ansteigung des Wassers bedarf es einer Beseitigung der Nadeln aus den Nadelwehren nicht. Derartige Anlagen sind aber kostspielig, in kleinen Flüssen auch nicht anwendbar, weil die nahen Ufer dann normal vom Uebersturz getroffen werden.

Die Höhe des Rückens eines festen Ueberfallwehrs bestimmt man in Frankreich in verschiedener Weise. Je nach localen Verhältnissen liegt er bald unter, bald über dem niedrigsten Wasserstande, bisweilen auch, wie bei der unteren Seine, nur etwas niedriger als die normale Stauhöhe. Meist ist indessen der Rücken über dem niedrigsten Wasserstande angeordnet, beispielsweise bei der Saône um 0^m,20, bei der oberen Seine um 0^m,50, bei der Marne um 1^m,10. Gewöhnlich bedingt die Wassermasse des Flusses die Höhenlage, deren Ermittlung übrigens mit grosser Sorgfalt erfolgen muss.

Von der Höhe des festen Wehrrückens hängt auch die lichte Weite des Ueberfalls wesentlich ab. Auf der Saône wurde die lichte Weite so ermittelt, dass sich bei ungeschlossenen Wehr und niedrigem Wasserstande nur eine Höhendifferenz von 0^m,10 zwischen Ober- und Unterwasser ergab. Die beweglichen Ueberfallwehre

haben dementsprechend eine lichte Weite von 85 bis 120^m erhalten, bei der oberen Seine beträgt sie dagegen nur 60 bis 70^m.

Der Schiffahrtsdurchlass liegt stets rechtwinklig zum Fluss. Sein fester Wehrrücken darf keine höhere Lage erhalten, als der höchste Punkt der Flusssohle in der Fahrrinne, es muss also dort mindestens die Minimalfahrtiefe vorhanden sein. Zweckmässiger ist sogar noch eine etwas tiefere Lage des Rückens. In der oberen Seine, in der Yonne und Marne liegt der Rücken 0^m,60, in der unteren Seine und in der Saône 0^m,80 unter dem niedrigsten Wasserstande, erhebt sich daher dort durchweg nur wenig über die Flusssohle.

Einige französische Ingenieure ordnen in einzelnen Fällen den Rücken auch bis zur Höhe des kleinsten Wasserstandes an, und zwar zu dem Zweck, niedrigere Verschlüsse verwenden zu können.

Die lichte Weite des Schiffahrtsdurchlasses richtet sich nach dem Schiffahrtsbedürfniss, ist jedoch wegen der Kostspieligkeit möglichst zu beschränken. Eine lichte Weite von 25 bis 35^m wird in Frankreich als Minimaldimension angenommen. Auf der oberen Seine haben die Schiffahrtsdurchlässe 40 bis 55^m und auf der Saône 50^m lichte Weite.

Neben dem Schiffahrtsdurchlass befindet sich bisweilen noch eine zweite Oeffnung mit höherem Rücken, so am Wehr bei Bezons (untere Seine). Die Weite des Schiffahrtsdurchlasses beträgt dort 48^m,30, die der zweiten, danebenliegenden Oeffnung aber 47^m,20, bei einer Höhendifferenz beider Rücken von 0^m,40. Das Wehr bei Martot, das letzte der unteren Seine, hat in beiden Oeffnungen eine lichte Weite von 250^m.

Die Kammerschleuse kann in der Stauanlage selbst oder auch daneben im Seitenterrain liegen. Befindet sie sich im Flussbett, so wird sie bei Hochwasser entweder geschlossen oder auch geöffnet und im letzten Falle zur Abführung der Fluthen mit verwendet. Dieserhalb legt man bisweilen die Schleusendempel des Ober- und Unterwassers — wie z. B. bei 11 Schleusen der oberen Seine geschehen — in gleicher Höhe an. Wo aber Gefälle erforderlich ist, liegt der Dempel im Oberhaupt höher. Meist bedingt dies auch die Höhe der Flussbettsohle im Oberwasser. Ueber den Schleusendempeln muss mindestens die Minimalfahrtiefe vorhanden sein, man legt daher den Oberdempel gewöhnlich noch etwas tiefer als die Flusssohle. Die lichte Weite der Schleuse ist vom Schiffahrtsbedürfniss abhängig (vergl. Cap. VIII, § 4).

Nicht immer lässt sich die Schleuse im Flussbett anordnen, weil sie dort das Profil beschränkt und den Abfluss der Hochwassermassen behindert; sie erhält daher auch oft ihre Lage im Seitenterrain in einem zu diesem Zweck künstlich hergestellten Umgehungsanal. Der weitere Vortheil dieser Lage besteht darin, dass sich ober- und unterhalb der Schleuse ruhige Wasserbassins bilden, welche der Schiffspassage von Nutzen sind und ihr zeitweise als Häfen dienen. Bald liegt die Schleuse unten, bald oben im Umgehungsanal. Bei der oberen Lage treten indessen leicht Versandungen des Oberhauptes ein, so dass die Erbauung im unteren Theile des Umgehungsanals im Allgemeinen wohl zweckmässiger ist. Man zieht sie dann um ihre Länge vom unteren Ausmündungspunkt des Canals zurück, um unterhalb der Schleuse noch eine ruhige Wasserfläche zu erhalten und Versandungen des Unterhauptes zu vermeiden.

Umgehungscanäle bedingen aber erhöhte Kosten für Terrainwerb, Aushebung des Canalbetts, Erbauung eines besonderen Landpfeilers, sowie für die Sicherung des Obercanals.

Fig. 6 und 7, Taf. XXXI, zeigen die Stauanlagen in der Saar. Schiffahrtsdurchlässe sind dort nicht vorhanden. Um keine Beschränkung des Abflussprofils herbeizuführen, hat man im einen Falle das Bett an der Wehrstelle noch verbreitert, im andern einen Umgehungscanal gewählt, in welchem nach Fig. 6 die Schleuse am unteren Auslauf liegt. Bei der Lage der Schleuse im Flussbett, nach Fig. 7, ist die in demselben liegende Schleusenmauer oberhalb und unterhalb erheblich verlängert, und so künstlich eine Insel oder ein kurzer Umgehungscanal gebildet, eine Anordnung, welche sich auch in der canalisirten Maas bei Lüttich, an der Ill-Schleuse in Strassburg und bei mehreren Schleusen in Paris vorfindet.

Von ausgeführten Flusscanalisirungen möge die der Saar, von Saargemünd bis Louisenthal, welche bezüglich ihrer Anordnungen und der dabei gemachten Erfahrungen von besonderem Interesse ist, unter Hinweis auf die oben genannten ausführlichen Mittheilungen in der Zeitschr. f. Bauw. 1866 an dieser Stelle, die der Mosel-Canalisirung dagegen sub e — Seitencanäle — etwas näher erörtert werden. Das Gefälle von 12^m,10 bei mittlerem Wasserstande ist auf 5 Stauanlagen von verschiedener Stauhöhe vertheilt. Das mittlere relative Gefälle beträgt 1:2883. Die durch die Canalisirung erstrebte Minimal-Fahrtiefe ist 1^m,41 = 1^m,57 Minimal-Wassertiefe, die Schleusen und Umgehungscanäle sind jedoch auf 1^m,88 Fahrtiefe angelegt. Dabei haben die Schiffe 34^m,5 Länge, einen nutzbaren Laderaum von 25 bis 28^m und eine Ladungsfähigkeit von 160^T. Beim niedrigsten Wasserstande (0^m,26 am Pegel zu Saarbrücken) führt die Saar 7,7 bis 9,2 kb^m beim mittleren Sommerwasserstande (0^m,78 a. P.) 18,5 kb^m und beim höchsten Stande (5^m a. P.) 310 bis 340 kb^m Wasser, im letzteren Falle mit 1^m,25 mittlerer Geschwindigkeit pro Secunde ab. Ihr Flussbett ist von Saargemünd bis Saarlouis 5 bis 6^m in das Thal eingeschnitten, dieserhalb also zur Canalisirung besonders geeignet, hat aber nur eine Breite von 26 bis 30^m. Das Durchflussprofil der Wehröffnungen wurde so bestimmt, dass bei bordvoller Saar durch die Wehre kein merkbarer Aufstau stattfindet. Die durch die Nadeln bei 3 Wehren aufgestaute Wassermasse soll etwa 770 000 kb^m betragen. Durch zeitweises Schliessen einzelner Wehre wurde der Wasserstand während der Bauausführung unterhalb um 0^m,62 auf die Dauer von 4 Stunden gesenkt, so dass Vertiefungen des Flussbetts und sonstige Arbeiten unter günstigen Verhältnissen bewirkt werden konnten. Die Vertiefung der Sohle erfolgte durch Handbagger. Nur das linke Flussufer hat einen regelmässigen und gesicherten Leinpfad erhalten. Die Ausführung der Stauanlagen begann mit der Fundirung der Schleusen gegen Ende des Sommers, während der darauf folgende Winter zur Herstellung des oberen Umgehungscanals — wo dieser erforderlich war — verwendet wurde. Letzteren hielt man durch einen oberen Damm vom Fluss getrennt und beseitigte das nach der Schleuse abgeleitete Grundwasser durch eine Kreiselpumpe daselbst, sofern sich ein natürliches Gefälle nicht beschaffen liess. Nach Ablauf des nächsten Hochwassers begann man den Bau des Wehrs, führte zunächst die Landpfeiler aus und demnächst nach und nach die mit Fangedämmen abgeschlossenen Wehrtheile. War einer derselben beendet, so erhielt er alsbald seine Montirung mit den Wehrböcken und nahm dann, nach Beseitigung seiner Fangedämme die Wassermasse der Saar auf. Kurz vorher wurde der Fluss oberhalb der noch nicht begonnenen Wehrtheile durch Steinschüttungen coupirt und unter dem Schutz derselben die weitere Fundirung des betreffenden Theils ausgeführt. Nach Beendigung beseitigte man die Steinschüttungen. Es gelang auf diese Weise die Schiffahrt während der gesammten Ausführung der Stauanlagen nicht zu unterbrechen, indem stets ein Theil der Wehrstelle passirbar blieb. Einzelne Hochfluthen führten zwar Unterbrechungen und Reparaturen an den Fangedämmen herbei, veranlassten aber keine sonstigen grösseren Uebelstände.

Bei Saarbrücken (Fig. 7, Taf. XXXI) erforderte der Kohlenbetrieb die Anordnung eines Hafens und besonderer Sturzbahnen. Auf letzteren werden die Kohlen aus den Eisenbahnwagen direkt in die Schiffe verladen. Die Hafeneinfahrt ist abweichend von der gebräuchlichen Anordnung flussaufwärts gelegt, es war dies durch Rücksichten auf den Eisenbahnbetrieb auf der Kohlenhalde geboten. Um die Strömung möglichst vom Hafen abzuweisen, hat man die Mündung des letzteren flussabwärts geneigt und durch Anlage eines hochwasserfreien Richtwerks oberhalb auf Beseitigung der Uebelstände hingewirkt.

d. Entwässerungsanlagen. Die Hebung des Wasserspiegels der Flüsse durch Stauanlagen ist für tief gelegene Uferstrecken und Inundationsterrains meist nachtheilig, indem nicht nur die Vorfluth behindert, sondern auch der Grundwasserstand gehoben und hierdurch eine Aenderung der Cultur dieser Terrains veranlasst werden kann. Die Vorfluths- und Culturverhältnisse sind gewöhnlich im Lauf der Zeiten den natürlichen Wasserständen des Flusses genau angepasst, so dass durch Hebung derselben das zur Entwässerung erforderliche Gefälle ganz oder theilweise aufgehoben wird. Liegen die Ufer höher, so dass eine dauernde Ueberfluthung derselben nicht zu erwarten ist, so kann immer noch der Grundwasserstand dauernd oder auch nur zeitweise gehoben und hierdurch die Benutzung der Ländereien in der früheren Weise beeinträchtigt werden. Machen sich derartige Nachtheile ganz besonders bei festen Wehren geltend, so treten sie doch auch bei beweglichen Stauwerken auf, weil bei letzteren eine künstliche Hebung des Wasserstandes vorzugsweise im Sommer, also gerade in der Zeit der Nutzung der Uferländereien erfolgt.

Es ergibt sich hieraus die Nothwendigkeit, die Nachtheile, welche durch die Canalisirung für die Cultur- und Vorfluthsverhältnisse erwachsen können, bei Aufstellung des Projekts einer eingehenden Erwägung zu unterziehen und eventuell zu ermitteln, auf welche Weise den Seitenterrains eine geregelte Vorfluth zu erhalten ist. Das wesentlichste Mittel zur Entwässerung der Seitenterrains und zur Senkung des, durch den künstlichen Stau gehobenen Grundwasserstandes besteht in der Anlage von Entwässerungsgräben und deren Ausmündung im Unterwasser der nächsten Stauanlage unterhalb, oder in Verlegung der bestehenden Gräben nach tiefer gelegenen Wasserläufen mit natürlichem Gefälle. Locale Verhältnisse sind hierbei in der Regel allein maassgebend, es ist jedoch zu bemerken, dass die Herstellung neuer Entwässerungsgräben meist die Anlage von Brücken und Durchlässen in bestehenden Communicationswegen oder von gemauerten, oft sehr langen Canälen oder auch, bei schwachen Gefällen in offenen Gräben, eine Abpflasterung ihrer Betten zur Folge hat, und dass hierdurch sowohl, als durch Terrainerwerb und Befriedigung aller Ansprüche der Grundbesitzer gewöhnlich erhebliche Kosten zu erwachsen pflegen.

In einzelnen Fällen legt man zur Entwässerung der Seitenterrains auch Wasserhebwerke an, welche die nach einem tief belegenen Bassin durch Entwässerungsgräben geleiteten Wassermassen dem Flusse zeitweise zuführen. Schliesslich ist noch zu erwähnen, dass sich die Schwierigkeiten der Entwässerung oft auch durch zweckmässige Wahl des Orts der Stauanlagen erheblich verringern lassen.

e. Seitenanäle. Durch Anordnung von Seitenanälen ist man in der Lage, gekrümmte Flusstrecken und solche, in denen sich Schiffahrtshindernisse vorfinden oder deren Benutzung zur Schiffahrt aus sonstigen Gründen unthunlich ist, ganz zu umgehen. Die Speisung der Seitenanäle erfolgt jedoch durch den Fluss, es bedingt dies also Stauanlagen in dem letzteren. Derartige Stauanlagen bedürfen aber weder einer Kammerschleuse noch eines Schiffahrtsdurchlasses, wenn die abgeschnittenen Flusstrecken fernerhin nicht mehr zur Schiffahrt benutzt werden sollen. In einzelnen Fällen verwendet man indessen den Flusslauf auch nach Anlage von Seitenanälen noch zur Flösserei oder bei höheren Wasserständen auch wohl zur Schiffahrt und kann dann den Schiffahrtsdurchlass bzw. die Kammerschleuse nicht entbehren. Hier von abgesehen besteht aber die für Seitenanäle erforderliche Stauanlage nur aus

einem Ueberfallwehr, welches entweder ein festes oder ein bewegliches sein kann. In der Neuzeit werden vorzugsweise letztere angewendet.

Die Lage des Wehrs ist gewöhnlich nicht unmittelbar an der Abzweigungsstelle des Seitencanals, sondern mehr unterhalb und zwar selten in geringerer Entfernung als 200^m. Letztere beträgt indessen auch 1 bis 2^{Km}. Diese Anordnung bietet den Vortheil, Versandungen des Obercanals zu vermeiden und oberhalb des Wehrs für den Einlauf der Schiffe in den Seitencanal ruhige Wasserflächen zu erhalten. Aus diesem Grunde erbaut man das Wehr selbst dann mindestens 50^m unterhalb der Abzweigung des Canals, wenn dieser, wie in bebauten Ortschaften bisweilen nothwendig wird, im Flussbett selbst angelegt und eine Strecke in demselben entlang fortgeführt werden muss. Die Nothwendigkeit einer derartigen Anlage ist z. B. nach Fig. 5, Taf. XXXI bei Canalisirung der Mosel in Pont à Mousson aufgetreten, während die Wehre der übrigen Strecke von Frouard bis Millery und auch von da bis Metz die zuerst beschriebene Lage nach Fig. 4 erhalten haben. Im Uebrigen gelten bezüglich der Wahl des Orts der lichten Weite des Wehrs und der Höhe des festen Wehrrückens, sowie der beweglichen Stauconstructionstheile die unter c. gegebenen Erörterungen.

Die für die Seitencanäle der canalisirten Mosel von Frouard bis Metz (Zeitschr. f. Bauw. 1874) ausgeführten Stauanlagen sind nach Fig. 3, Taf. XXXII angelegt. Jedes Wehr hat einen Mittelpfeiler mit Fischpass (vergl. § 22) erhalten. In einzelnen Fällen ist das Nadelwehr mit einer festen Brücke überbaut, dessen Sohle den festen Wehrrücken bildet.

Die Lage, Länge und Anordnung der Seitencanäle hängt in jedem einzelnen Falle von Localverhältnissen ab. Durch Anstauung des Flusses wird ihnen an der oberen Abzweigung die zur Schifffahrt erforderliche Wassermasse zugeführt. Von ihrer Wassermasse geben sie an die untere Flusstrecke nur so viel ab, als die Durchschleusung der Schiffe und der hiermit in Verbindung stehende Wasserverlust bedingt. Zur Sicherung gegen Strömung, Eisgang und Versandung erhält jeder Seitencanal eine sog. Schutzschleuse, zum Schutz gegen Hochfluthen wird er durch hochwasserfreie Dämme abgeschlossen und zur Ueberwindung des absoluten Gefälles des abgeschnittenen Flussarms mit einer oder auch mehreren Kammerschleusen versehen.

Die Schutzschleuse liegt im Obercanal in geringer Entfernung von der Abzweigungsstelle. Ihrem Zwecke entsprechend handelt es sich hierbei nur um Vorrichtungen, welche die Strömung bei hohen Wasserständen abhalten. Da eine Gefälle-Concentration dort nicht bezweckt wird, eine Kammer zur Hebung und Senkung des Wasserstandes also nicht nöthig ist, hat die Schutzschleuse nur ein Schleusenthor, welches bei Hochfluthen geschlossen wird.

Die allgemeine Anordnung der Schutzschleuse erhellt aus Fig. 2, Taf. XXXII. Ausser dem Schleusenthor sind zu dessen Entlastung und zeitweisen Reparatur noch zwei Verschlüsse durch Dammbalken angeordnet und es sind die benachbarten Sohlenflächen und Böschungen des Canals durch Steinschüttungen beziehungsweise Pflasterungen gesichert. Die Thore sowohl, als die Seitenmauern der Schutzschleuse müssen den höchsten Wasserstand überragen, es darf aber auch weder eine Umströmung der Schutzschleuse, noch vom Flusse aus ein Uebersturz des Wassers in den Seitencanal eintreten. Dieserhalb ist die Schutzschleuse landseitig mit einem sogenannten Schutzdeich — einem hochwasserfreien Damme — mit dem natürlichen hochbelegenen Ufer zu verbinden und der Seitencanal nach dem Fluss zu mit

einem hochwasserfreien Canaldamm zu versehen, welcher an der Schutzschleuse oder auch an der oberen Abzweigung des Canals beginnt und den letzteren, soweit er der Ueberfluthung ausgesetzt ist, eventuell also bis zu seiner unteren Ausmündung begleitet. Wird nun auf diese Weise der Seitencanal auch der Strömung und dem Uebersturz des Wassers entzogen, so tritt doch gewöhnlich bei Hochwasser durch Rückstau eine Erhebung des Normalwasserspiegels ein, indem die in der unteren Ausmündung des Canals in den Fluss liegende Kammerschleuse in der Regel nicht mit Fluththoren versehen ist und der landseitige Canaldamm auch nicht hochwasserfrei liegt. Dieser Rückstau ist dem Canal zwar meist nicht von grossem Nachtheil, kann aber immerhin, namentlich bei Ueberfluthung des landseitigen Canaldammes, Beschädigungen des Leinpfades und der Seitenterrains, sowie auch Versandungen des Betts zur Folge haben, so dass, wo dies zu befürchten ist, ein vollständiger Abschluss des Seitencanals wohl zweckmässiger erscheint.

Erfordert der Seitencanal nur eine Kammerschleuse, so liegt diese unweit der unteren Ausmündung und zwar in einer solchen Entfernung von derselben, dass Versandungen unmittelbar am Unterhaupt nicht eintreten können. Sind dagegen mehrere Kammerschleusen nothwendig, so erhält eine derselben ebenfalls die angegebene Lage, während diejenige der übrigen von den Gefälle- und sonstigen localen Verhältnissen abhängt. Durch die Anlage der Seitencanäle werden nicht nur die bestehenden Communicationswege vielfach durchschnitten, sondern auch die Wasserläufe, welche in den Fluss einmünden, unterbrochen, so dass besondere bauliche Anlagen zur Aufrechterhaltung des Verkehrs und der Vorfluth nothwendig werden. Diese bestehen in Brücken über und unter dem Canal, sowie in Aquaducten und Durchlässen. In dieser Beziehung und in allem, was hier nicht zur Erörterung gelangt, unterscheidet sich der Seitencanal der Flusscanalisierung nicht von sonstigen Schiffahrtscanälen, es wird daher auf Cap. VIII, sowie auf die, aus Fig. 4 u. 5, Taf. XXXI erhellende allgemeine Anordnung der Seitencanäle verwiesen.

Bezüglich dieser in neuerer Zeit ausgeführten Canalisirung der Mosel von Frouard bis Metz ist noch Folgendes zu bemerken:

Von der gesammten Länge der Mosel von Frouard bis Metz = $58^{\text{km}},60$ ist etwa $\frac{5}{6}$ mit $48^{\text{km}},15$ durch Seitencanäle umgangen worden, so dass die Schiffahrtsstrasse nur auf $10^{\text{km}},45$ Länge im Flussbett liegt. Die auf der Strecke von Frouard bis Ars auf dem linken Ufer angeordneten 5 Seitencanäle, sowie die von da bis Metz auf dem rechten Ufer vorhandene längere Canalhaltung haben eine gesammte Länge von $38^{\text{km}},02$, so dass sich für die gesammte Schiffahrtsstrecke eine Länge von $48^{\text{km}},47$ ergibt.

Von Frouard bis Ars beträgt das absolute Gefälle der Mosel $22^{\text{m}},30$, welches durch 9 Kammerschleusen von $2^{\text{m}},20$ bis $2^{\text{m}},75$ Gefälle aufgehoben wird, während zur Ueberwindung des Gefälles von $4^{\text{m}},80$ zwischen Ars und Metz noch zwei, an der unteren Ausmündung der Canalhaltung liegende Kammerschleusen dienen. Die Mosel führt bei Metz bei niedrigstem Wasserstande 15 kb^{m} , bei höchstem über $1000 \text{ kb}^{\text{m}}$, im letzteren Falle mit einer mittleren Geschwindigkeit von $1^{\text{m}},50$ pro Secunde ab. Das Profil der Seitencanäle hat 12 bis 15^{m} Sohlenbreite, $1\frac{1}{2}$ fach veranlagte innere und äussere Böschungen, einen Hauptleinfeld von 4^{m} und am andern Ufer einen Nebenleinfeld von 3^{m} Kronenbreite, sowie, der normalen Wassertiefe entsprechend, bis zu den je $0^{\text{m}},50$ breiten Banketts eine Tiefe von 2^{m} . Die Leinfeldkrone liegt in der Regel $0^{\text{m}},70$ über den genannten Banketts, erhebt sich aber überall dort entsprechend höher, wo der flussseitige Canaldamm gleichzeitig den hochwasserfreien Deich bildet und überragt dann den höchsten Wasserstand um 1^{m} . Bei Frouard ist die canalisirte Mosel durch einen besonderen Verbindungscanal und 3 Kammerschleusen mit dem etwa 8^{m} höher belegenen Rhein-Marne Canal verbunden. Alles Weitere ergibt sich aus den Zeichnungen, es erübrigt nur noch, darauf hinzuweisen, dass das Nadelwehr No. 2 unterhalb Marbache mit einer massiv gewölbten Brücke überbaut ist und 3 Mittelpfeiler erhalten hat, sowie, dass bei Pont à Mousson der Seitencanal auf 1200^{m} Länge im Flussbett der Mosel angelegt und von dieser durch einen hochwasserfreien Damm getrennt ist.

§ 22. **Fischpässe.** Einige Fischarten, wie beispielsweise Lachse und Forellen, haben die Gewohnheit zur Laichzeit aus den unteren Mündungen der Flüsse in die oberen Flusstrecken bis zu den Quellenbächen aufzusteigen, um dort an geschützten Stellen zu laichen. Später kehrt die junge Brut regelmässig zu den Mündungen und zur See zurück, nährt sich dort und sucht bei vorgeschrittenem Alter wieder die früheren Laichplätze auf; Aale gehören ebenfalls zu den Wanderfischen, obwohl sie auch in den seichten Nebengewässern, welche sich an den Flussmündungen vorfinden, zu laichen pflegen. Wenn nun auch grössere Fische, namentlich Lachse mit Leichtigkeit über Hindernisse von 1 bis $1\frac{1}{2}^m$, ja selbst über solche von 2^m Höhe hinwegspringen, vorausgesetzt, dass sie unterhalb genügende Wassertiefe vorfinden, so behindern doch die bei Flusscanalisirungen gebräuchlichen Stauanlagen, nicht minder die in unregulirten Flüssen vorkommenden, oft das ganze Bett durchziehenden und Wasserfälle bildenden Felsenriffe das Aufsteigen der Fische. Es erfordert daher das Interesse der Fischzucht an solchen Stellen besondere bauliche Anlagen, welche den Wanderfischen die Uebersteigung der Hindernisse ermöglichen. Derartige Anlagen nennt man Fischpässe, Fischleitern oder auch Fischtrepfen. Sie beruhen auf dem Prinzip der zweckmässigeren Vertheilung des durch das Hinderniss concentrirten Gefälles und bestehen im Wesentlichen aus einer zwischen Seitenmauern hergestellten, schmalen Rinne mit treppenförmig gestalteter oder flach geneigter Sohle.

Die ersten derartigen Anlagen erbaute man im Jahre 1834 in Irland und in der Schweiz. Demnächst wurden sie, in Anbetracht ihrer Zweckmässigkeit, im Wege der Gesetzgebung 1842 in England, 1865 in Frankreich und 1874 in Preussen für die Ausführung von Stauanlagen vorgeschrieben.

Wird die Rinne durch einzelne durchgehende Querwände — auch Sparren und Zungen genannt — in mehrere Kammern zerlegt, so lassen sich bei entsprechender Höhenlage der einzelnen Querwände eben so viele kaskadenartig abfallende Bassins bilden, und es vermögen die Wanderfische dann leicht durch Springen von Bassin zu Bassin aus dem Unter- in das Oberwasser zu gelangen. Diese Art der Fischpässe — nach dem sogenannten *jumping* oder Sprungsystem — ist die älteste, während man in neuerer Zeit dem *running* oder Schwimmsystem, wobei die Fische schwimmend die Anhöhe ersteigen, den Vorzug giebt. Bei der letzten Anordnung wird in der Rinne dadurch ein längerer, serpentinenartiger Lauf hergestellt, dass die Querwände abwechselnd nur an einem Ende mit der Seitenmauer verbunden sind, am anderen Ende aber eine kleine Durchlassöffnung frei lassen. Das Gefälle wird also hier auf eine grössere Länge vertheilt und gemässigt. Diese Anordnung ist zur Zeit die gebräuchlichste, nachdem die Erfahrung gelehrt hat, dass den Fischen, namentlich den Lachsen, die Ersteigung der Anhöhe auf der geneigten Ebene bequemer ist, als das Ueberspringen der Querwände. Die nöthigen Ruhepunkte finden die Fische hierbei in den Winkeln, wo die Querwände mit der Seitenmauer verbunden sind.

Da Fischpässe vorzugsweise für den Durchgang der Lachse bestimmt sind, muss die Breite der Oeffnungen in den Sparren mindestens $0^m,30$ betragen, während bei Fischpässen, welche nur für den Zug der Forellen dienen, eine geringere lichte Weite genügt.

Die Länge des Bauwerks richtet sich nach der Höhendifferenz zwischen Ober- und Unterwasser und der Steigung der geneigten Ebenen. Eine Steigung von 1:8 genügt vollkommen, es reichen sogar solche von 1:5 und 1:6 schon aus. — Die lichte Weite der Rinne beträgt gewöhnlich $1^m,20$ bis $1^m,50$ und die Entfernung der Querwände $1^m,30$ bis $1^m,50$. Die Höhe der letzteren ist so zu wählen, dass sie bei gewöhnlichem Wasserstande nicht überfluthet werden. Meist genügt eine Höhe von $0^m,30$. Die Sohle der oberen Eingangsöffnung pflegt man um $0^m,30$ bis $0^m,60$ tiefer als den Wehrrücken zu legen, dort auch ein Schütz anzubringen, mit welchem sich der Zug der Fische beliebig absperren lässt.

Bei der Gewohnheit der Lachse und Forellen, die stärkste Strömung und grösste Wassertiefe zu verfolgen, ist die Lage des Fischpasses in der Mitte des Flusses die zweckmässigste. Hier finden die Fische auch die grösste Ruhe und sind am meisten gegen Diebstahl gesichert. Stauanlagen erhalten daher in der Regel in dem Mittelpfeiler den Fischpass. Ist das Wehr mit einer Brücke

überbaut, so wird die Fischleiter unmittelbar neben einem Mittelpfeiler angelegt. Bedingen die Flussverhältnisse eine andere Lage, so ist dort für Strömung und ausreichende Wassertiefe zu sorgen und lässt sich dieses durch eine etwas tiefere Lage des daneben liegenden Wehrrückens erreichen.

Ausser den Lachs- und Forellenpässen werden bisweilen auch noch besondere Aal-Treppen oder -Rinnen in den Stauanlagen erforderlich. In der Regel wandern nur junge Aale flussaufwärts und diese vermögen, da sie nicht die kräftigen Bewegungsglieder der Lachse und Forellen haben, in starker Strömung nicht aufzusteigen, suchen vielmehr möglichst seichtes Wasser an den Ufern ausserhalb des Stromstrichs auf. Dieserhalb legt man Aaltreppen bei Wehranlagen neben die Landpfeiler und construirt erstere nur als schmale Rinnen von 0^m,30 lichter Weite ohne Querwände. Auch sorgt man dafür, dass sie vom Oberwasser nur einen mässigen Wasserzfluss erhalten. Um den Aalen das Aufsteigen zu erleichtern, werden in den Rinnen lange Stroh- oder Weidenbänder befestigt, an denen sich die Fische hinaufschlängeln.

Die in England gebräuchliche Construction der Fischpässe ist in Fig. 5, Taf. XXXII dargestellt, während diejenige von Fig. 6 in den französischen Flüssen, speciell auch in den Nadelwehren der canalisirten Mosel angetroffen wird. Eine erhebliche Länge hat nach Fig. 4, Taf. XXXII der Fischpass bei dem Wasserfall des Ballysadarflusses bei Sligo in Irland erhalten, woselbst ein Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser von 9^m zu überwinden war. Endlich ist noch in Fig. 8, Taf. XXXI ein Wehr des unteren Bannflusses bei Portna in Irland mit einer Lachstreppe in der Mitte und zwei Aalrinnen an den Ufern dargestellt. Die unterhalb befindlichen Aalwehre dienen zum Fangen dieser Fische.

Weitere Angaben über Fischpässe sind enthalten in Lagrené, Cours de navigation, Paris 1873; Coumes, Rapport sur la pisciculture, Paris 1862; Fastenau, Circular No. 5 des deutschen Fischerei-Vereins, Berlin 1872; Michaëlis, Wasserbauanlagen in Irland, Zeitschr. f. Bauw. 1866 und Deutsche Bauz. 1876.

§ 23. Unterhaltungsarbeiten. Bezüglich der Unterhaltungsarbeiten gilt im Allgemeinen das im § 16 Erörterte, es erübrigt hier nur noch darauf hinzuweisen, dass die Unterhaltung eines canalisirten Flusses noch mehr Sorgfalt erfordert, als die eines regulirten. Dies bedingen sowohl die zahlreich vorhandenen, dem Angriff der Strömung stets ausgesetzten Kunstbauten, namentlich die Wehr- und Schleusenanlagen, als auch die immer wiederkehrenden Baggerungsarbeiten. Bei den Kunstbauten treten regelmässig in gewissen Zeitperioden, sodann aber auch in Folge von Beschädigungen durch Hochfluthen und Eisgänge aussergewöhnliche Reparaturen auf und diese haben dann gewöhnlich eine Störung des Schiffahrtsbetriebes zur Folge. Behufs möglicher Vermeidung derartiger Störungen wählt man zu den nothwendigen Reparaturen die Zeit, während welcher der Schiffsverkehr ruht. Lässt sich dieses nicht durchführen, so ist wenigstens durch öffentliche Bekanntmachungen die Dauer der Unterbrechung dem schiffahrtstreibenden Publikum vorher anzuzeigen.

Vor Allem gehört zur Unterhaltung canalisirter Flusstrecken eine ausreichende Zahl von Baggerapparaten, da Baggerungen zur Beseitigung von Versandungen in der Nähe der Wehre und Schleusen, sowie zur Erhaltung der Tiefe in der Fahrrinne dauernd, namentlich aber nach jedem Hochwasser erforderlich sind.

Literatur.

1. Amelung. Schiffbare Flüsse in Hessen-Darmstadt. Darmstadt 1845.
2. Becker. Zur Kenntniss der Oder. Berlin 1868.
3. „ Die Oder. Berlin 1864.
4. Bericht der Donau Regulirungs-Commission. Wien 1868.
5. Bertram. Zur Weichselregulirung. Elbing 1873.
6. Binnenflussbau in Baden. Carlsruhe 1863.

7. Correction der Donau in Schwaben. Dillingen 1874.
8. Correction des Rheins. Carlsruhe 1863.
9. Dalmann. Stromcorrection. Hamburg 1856.
10. Donau-Regulirung bei Wien. Wien, Hof- und Staatsdruckerei 1875.
11. Dumas. Inondations. Paris 1857.
12. Eytelwein. Construction der Fäschinwerke. Berlin 1800.
13. Fessel. Schiffbarmachung der Oder. Oppeln 1872.
14. Flussregulirung in Schlesien. Troppau 1874.
15. Grandi. Regulirung der Flüsse. Wien 1811.
16. Grim. Donau-Regulirung. Wien.
17. v. Gumpfenberg-Pöttmes. Wasserbau an Gebirgsflüssen. Augsburg 1854.
18. Grebenau. Der Rhein vor und nach seiner Regulirung. 1869.
19. Hagen. G. Wasserbaukunst. Th. II. Die Ströme. Berlin 1871/74.
20. Henz. Ruhrstrom. Essen 1840.
21. Hübbe. Reisebemerkungen. Hamburg 1844.
22. Kink. Denkschrift über die Donau-Regulirung bei Wien. 1865.
23. Krantz. Bericht über Wasserstrassen in Frankreich. Wien 1875.
24. „ Amélioration entre Paris et Rouen. Paris 1872.
25. Lagrené. Cours de navigation intérieure. Paris 1869.
26. Lohse. Elbstromcorrection. Dresden 1871.
27. Meissner. Ufer- und Strombau. Hamburg 1838.
28. Meyer. Schiffbarmachung des Rheinfalls. St. Gallen 1840.
29. Milberg. Elbcorrection. Hamburg 1875.
30. Minard. Construction des ouvrages de la navigation. Liège 1851.
31. „ Cours de construction. Paris 1841.
32. Mylius. Schiffbarmachung der oberen Oder. Celle 1866.
33. Nobiling. Rheinstrom. Berlin 1856.
34. Pasetty. Donauregulirung in Oesterreich. Wien 1862.
35. Pechmann. Flussbau. München 1832.
36. Public works in the united states of America. London 1841.
37. Reinoldt. Ueber niederländische Wasserbaukunde.
38. Schemerl. Schiffbarmachung der Ströme. Wien 1787.
39. „ Art, Flüsse zu bauen. Wien 1803.
40. „ Erfahrungen über Strombau. Wien 1809.
41. Schlichting, J. Canalisation der Mosel. Berlin 1874.
42. „ Zur Schiffbarmachung der Flüsse. Berlin 1876.
43. Schwarz. Regulirung der Donau. Wien.
44. Silberschlag. Abhandlung der Hydrotechnik.
45. Walter. Flussregulirungen in Schlesien. Troppau 1874.
46. Wex. Donaustrom, Hauptverkehrsstrasse nach dem Orient. Wien 1863.
47. Winkler. Technischer Führer durch Wien. Wien 1873.
48. Woltmann. Schiffbarmachung der Flüsse. Hamburg 1826.
49. van der Wyck. Der Mittelrhein. Mannheim 1825.
50. Zeitschrift für Bauwesen. Nachrichten über die Ströme des preussischen Staats. 1856, S. 307. 1857, S. 141. 1859, S. 181. 1861, S. 155. 1862, S. 21. 1864, S. 367 und 1870, S. 39.

Fig.1. Parallelwerke in der oberen Mosel.

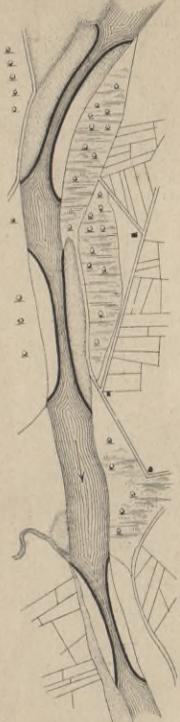


Fig.2. Regulirung der Elbe in Preussen 1:20000.



Fig.3. Projectirte Parallelwerke in der Loire.

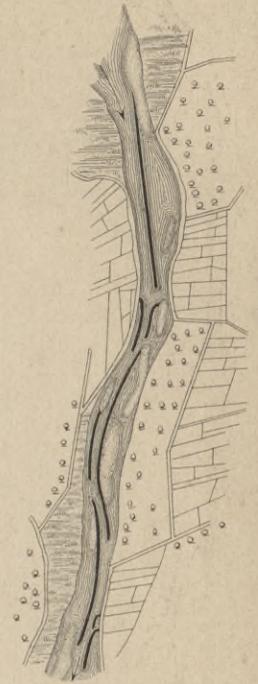


Fig.2 II

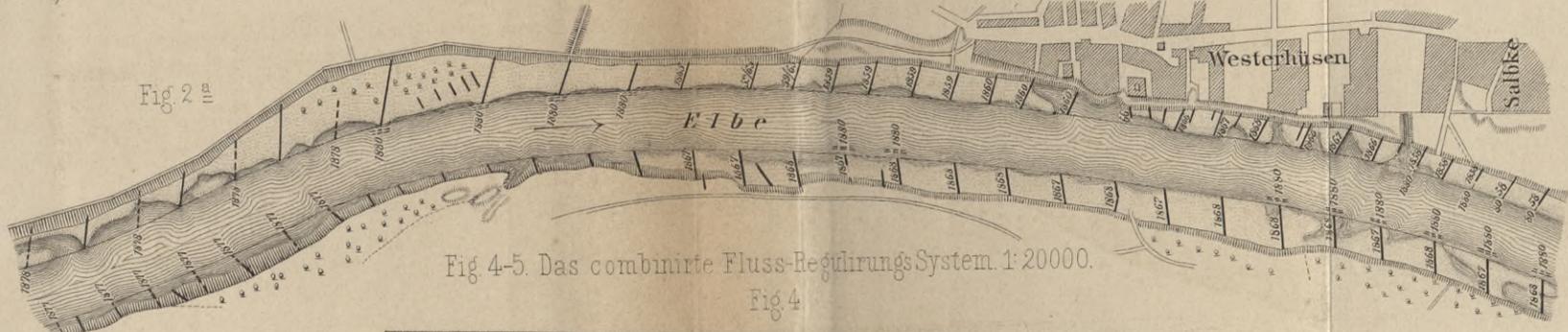


Fig 4-5. Das combinirte Fluss-Regulirungs System. 1:20000.

Fig 4



Fig 5

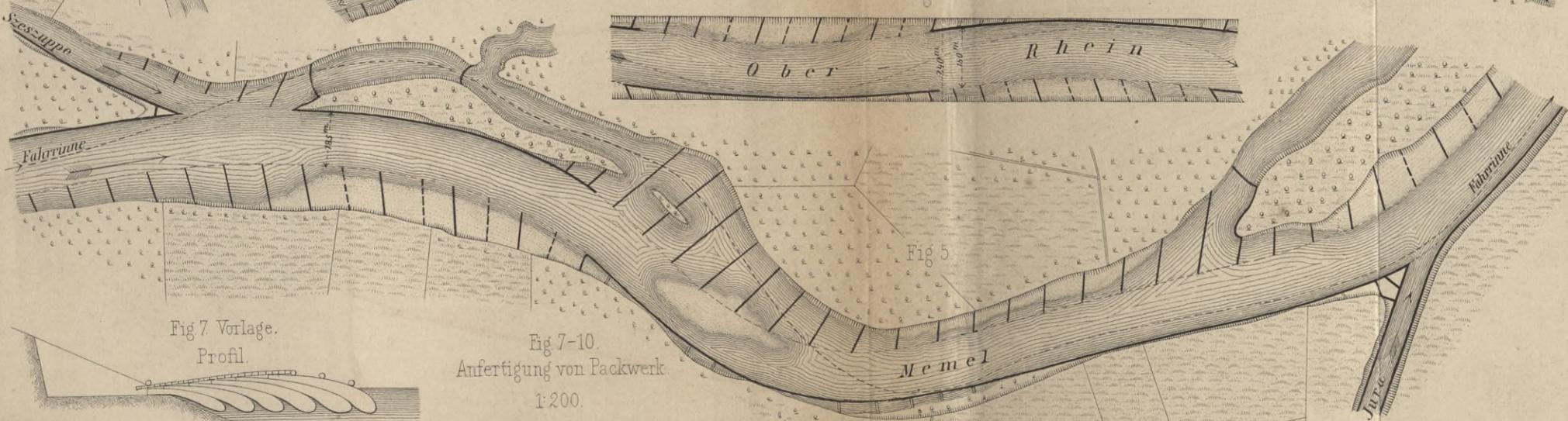
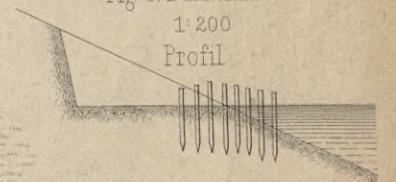


Fig 6. Bühnenkammer 1:200 Profil



Grundriss

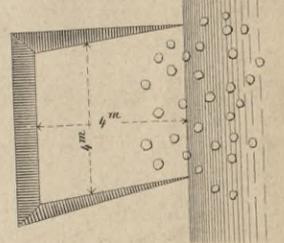


Fig 7. Vorlage. Profil.

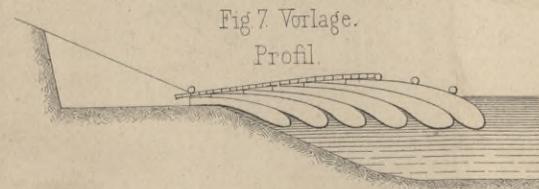


Fig 7-10. Anfertigung von Packwerk. 1:200.

Grundriss

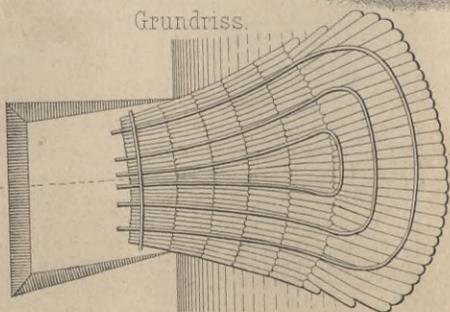


Fig 8. Vor- u Rücklage.

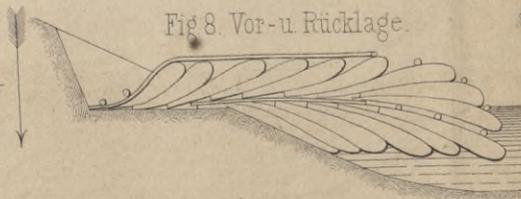
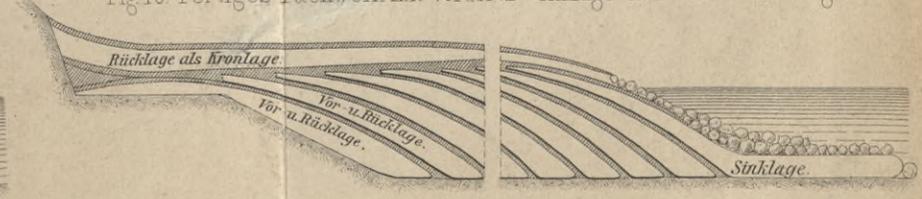
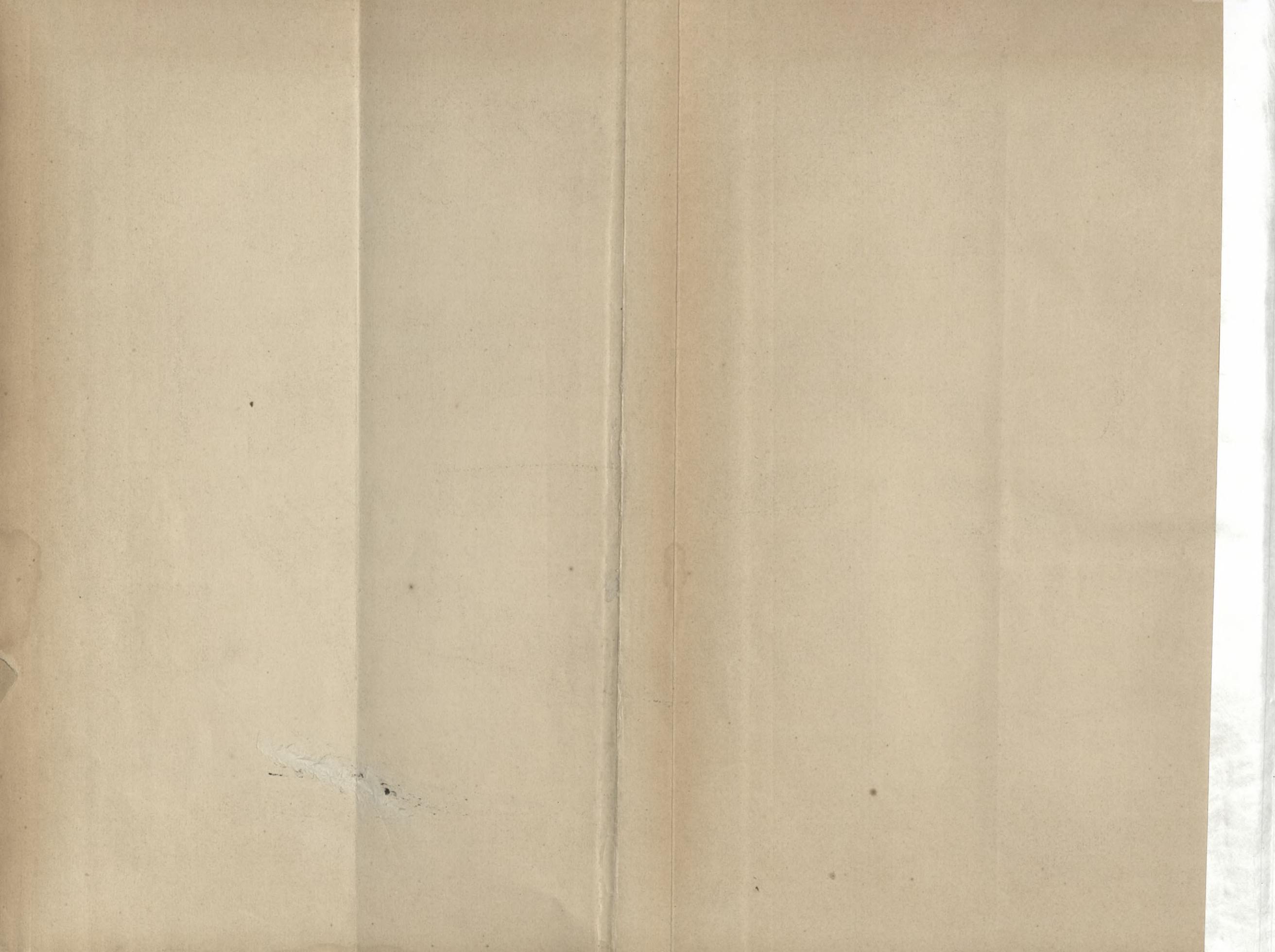


Fig 9. Vor-Rücklage und Beschwerungs-material.



Fig 10. Fertiges Packwerk mit vorderer Sinklage und oberer Kronlage.





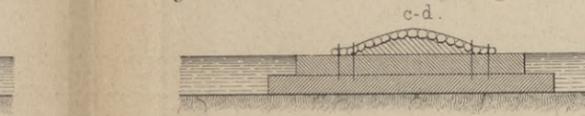
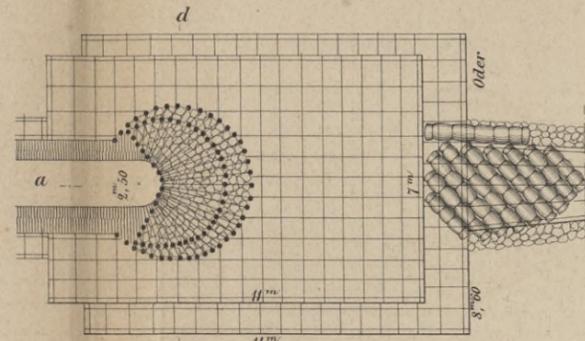
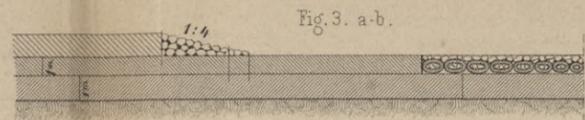
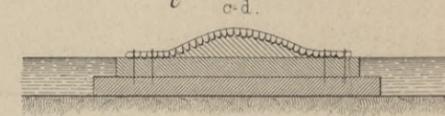
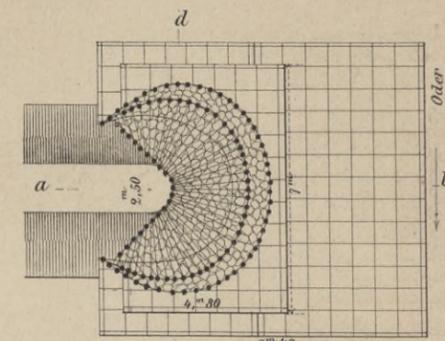
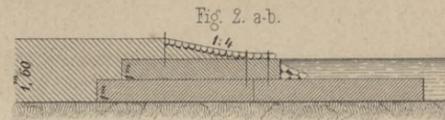
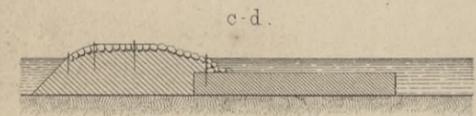
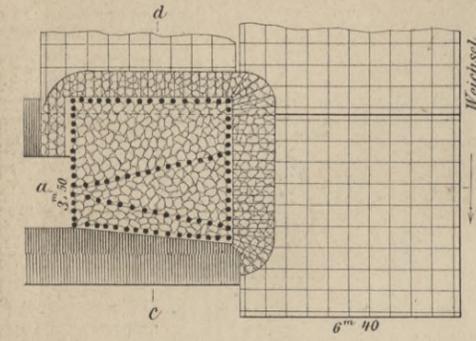
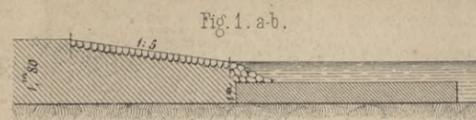


Fig. 1-4. Bühnenköpfe. M. 1:333,3.

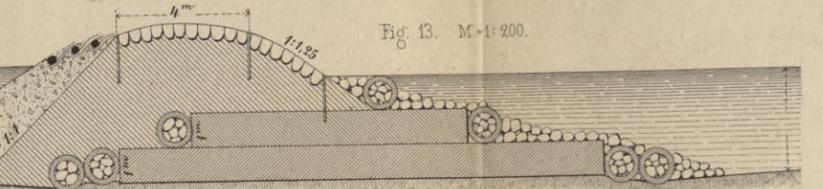
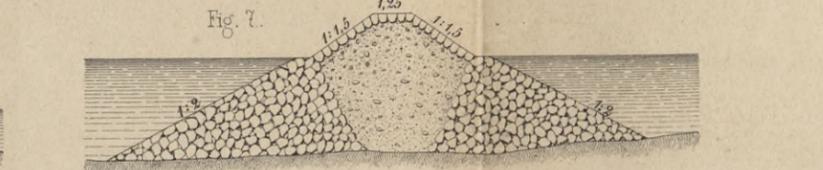
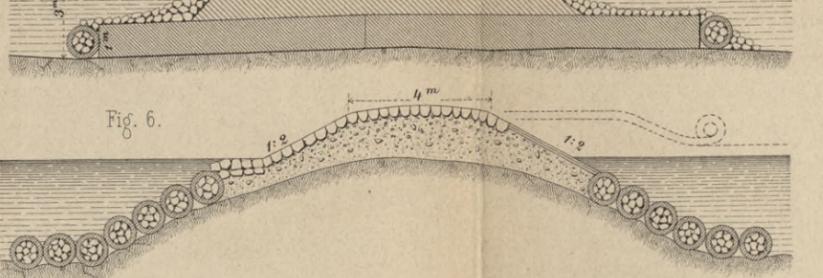
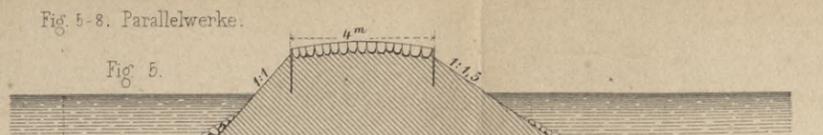
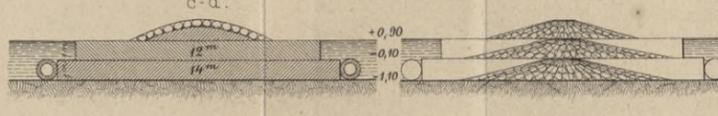
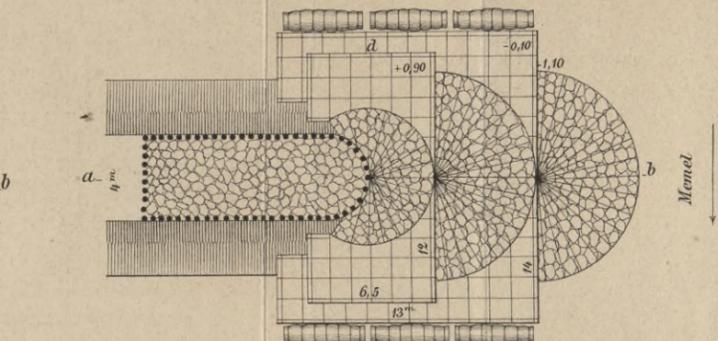
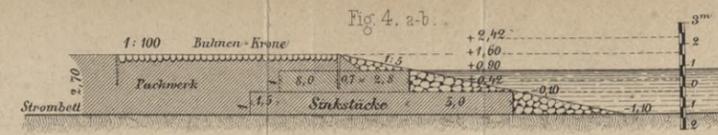


Fig. 18. Projectirter Memel-Hafen bei Schmalleringken. 1:5000.

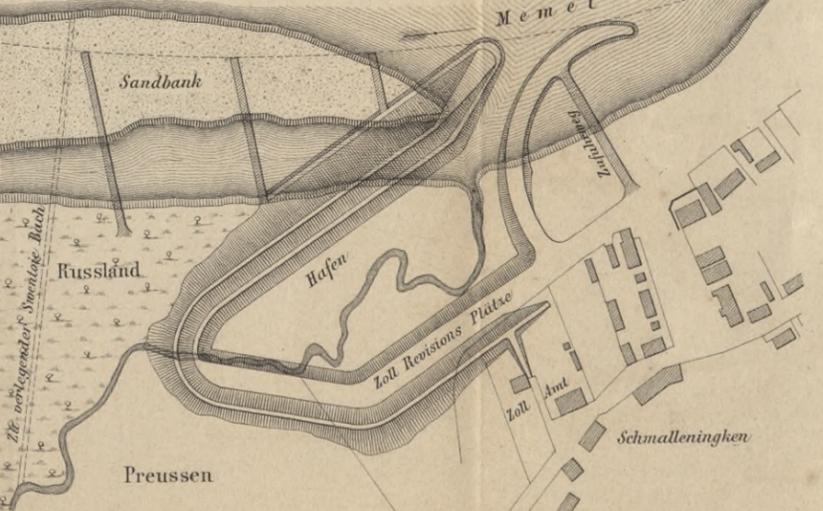


Fig. 9. Elbe-Durchstich bei Hamburg.

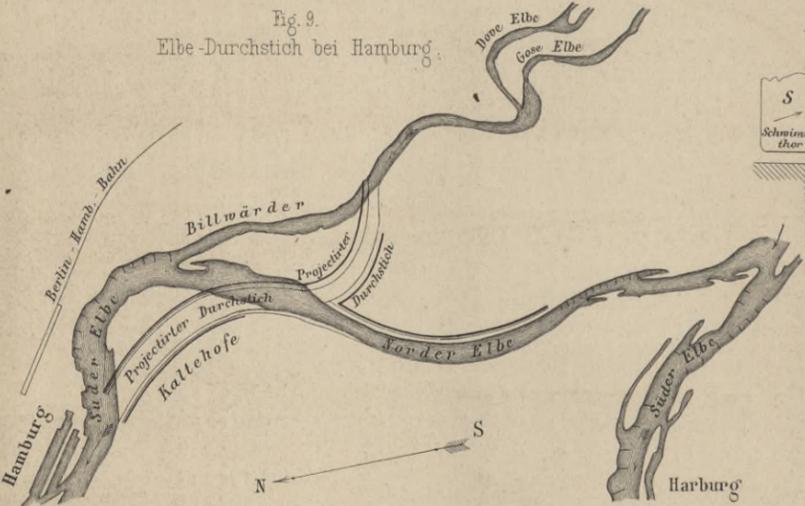


Fig. 10. Anschlag des Schwimmthores im Donaukanal.

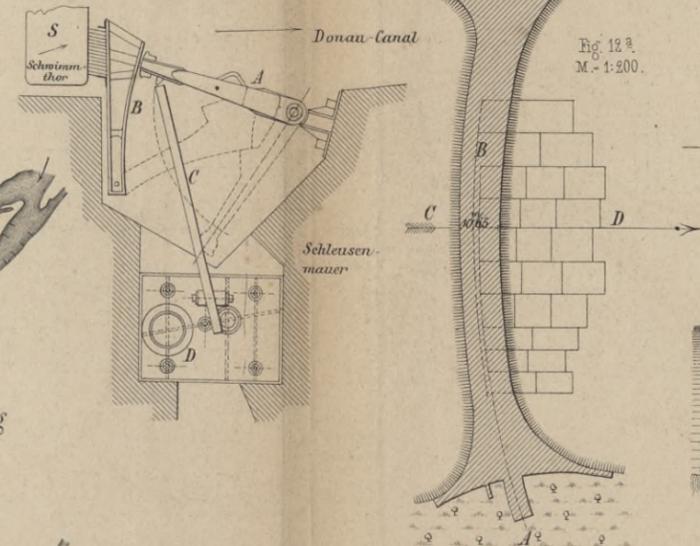


Fig. 12. M. 1:200.

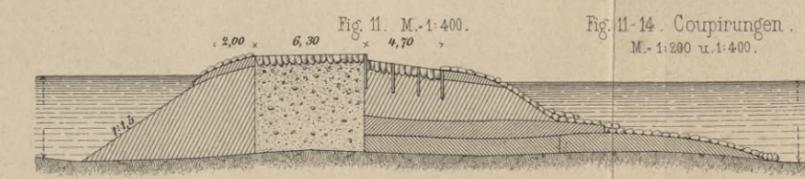


Fig. 12. M. 1:200. A-B

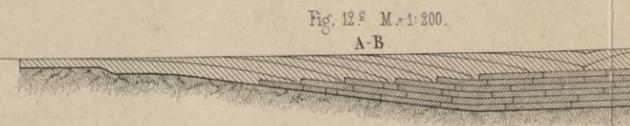


Fig. 12. M. 1:400.

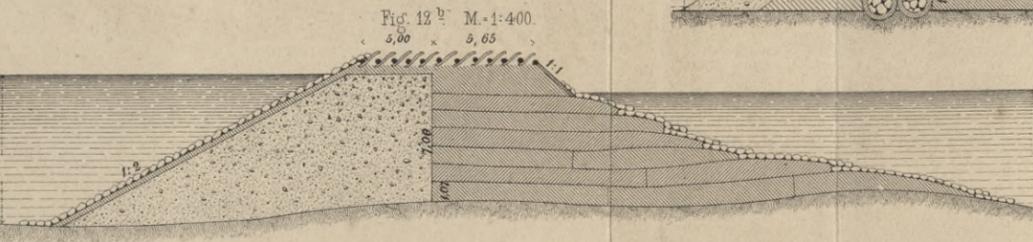


Fig. 17. Memel-Hafen bei Ragnit. 1:5000.

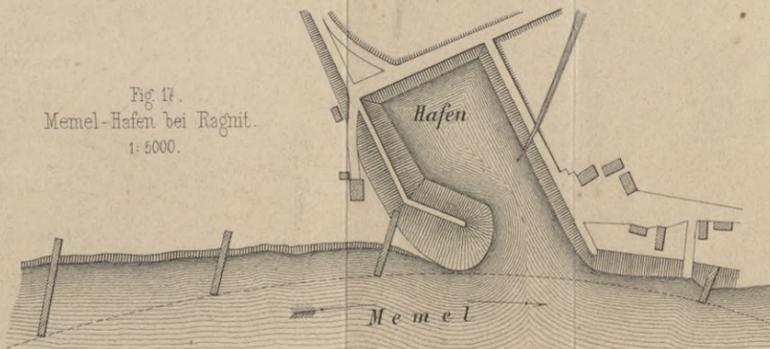


Fig. 15-18. Flusshäfen.

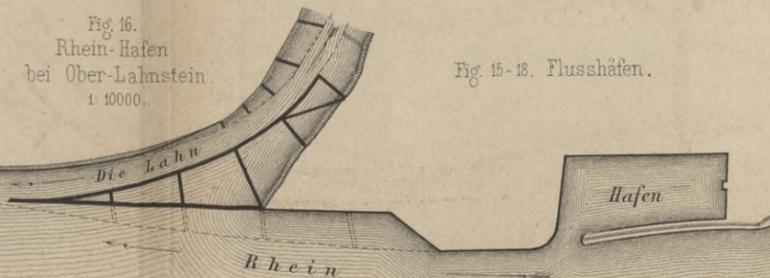
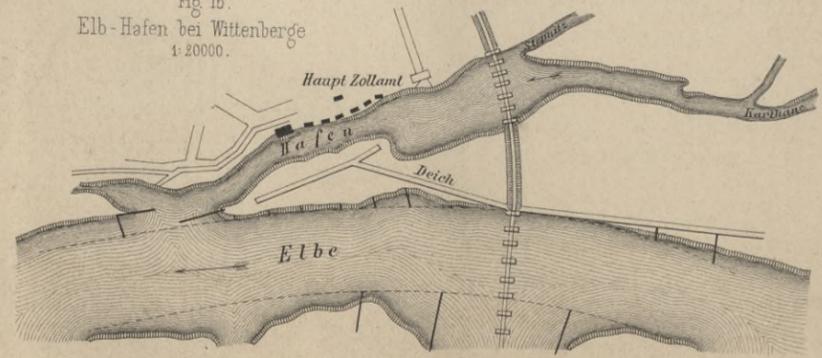


Fig. 15. Elb-Hafen bei Wittenberge. 1:20000.



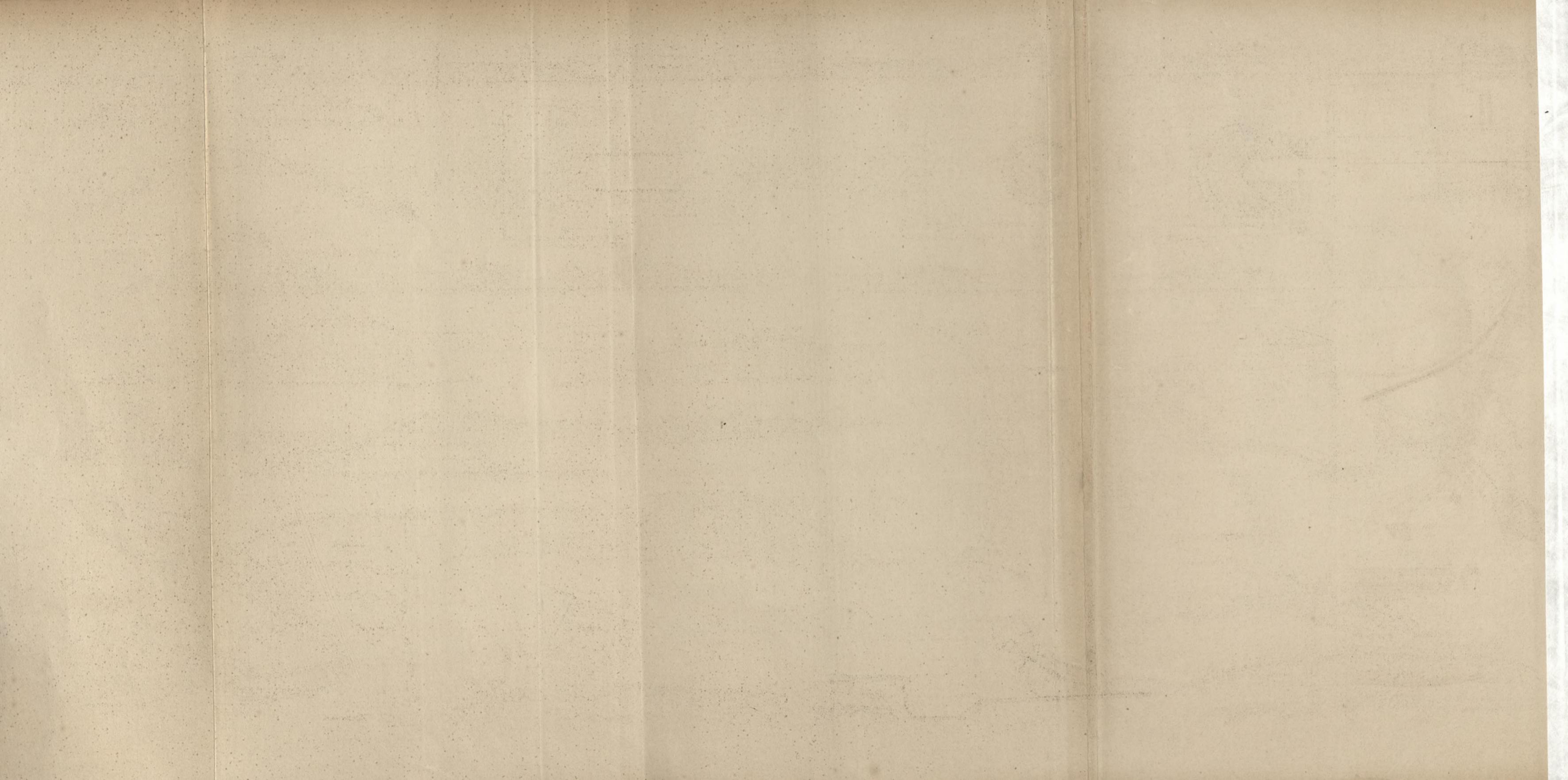
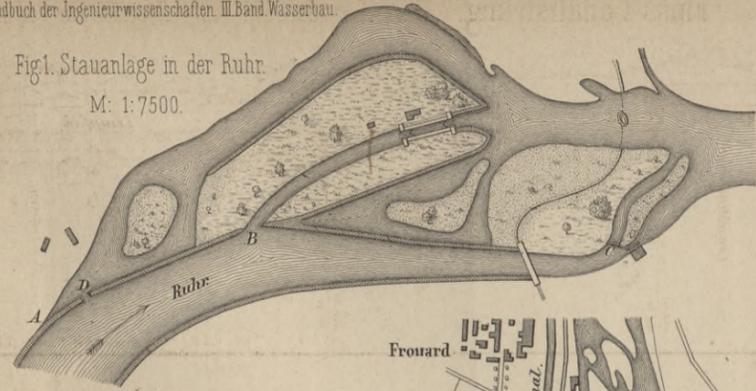


Fig. 1. Stauanlage in der Ruhr.

M: 1:7500.



Fluss-Canalisierung. Fig. 2. Längenprofil einer Strecke der canalisierten Saar.

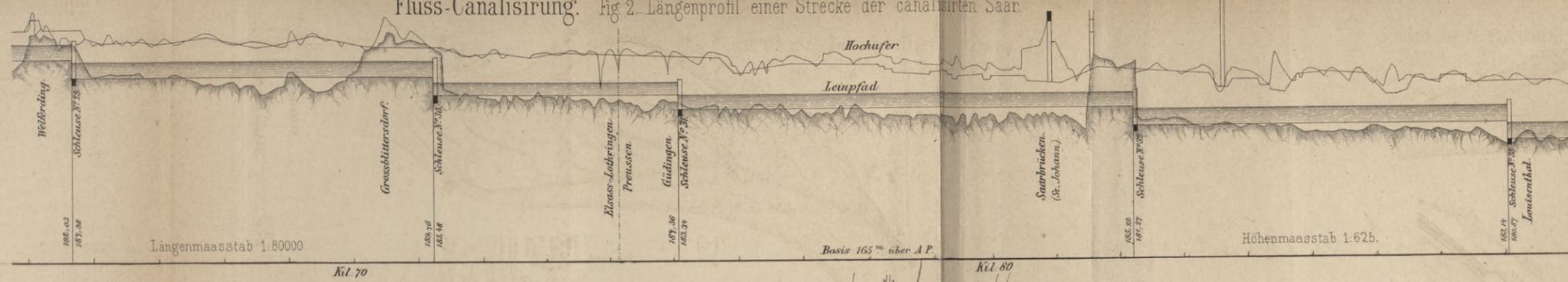


Fig. 3. Stauanlage in der Ruhr.

M: 1:7500.

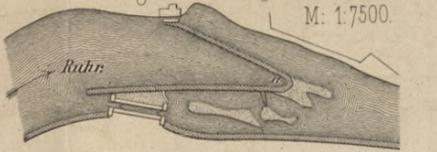


Fig. 4. Canalisierung der Mosel zwischen Frouard und Millery.

Maasstab 1:20000.

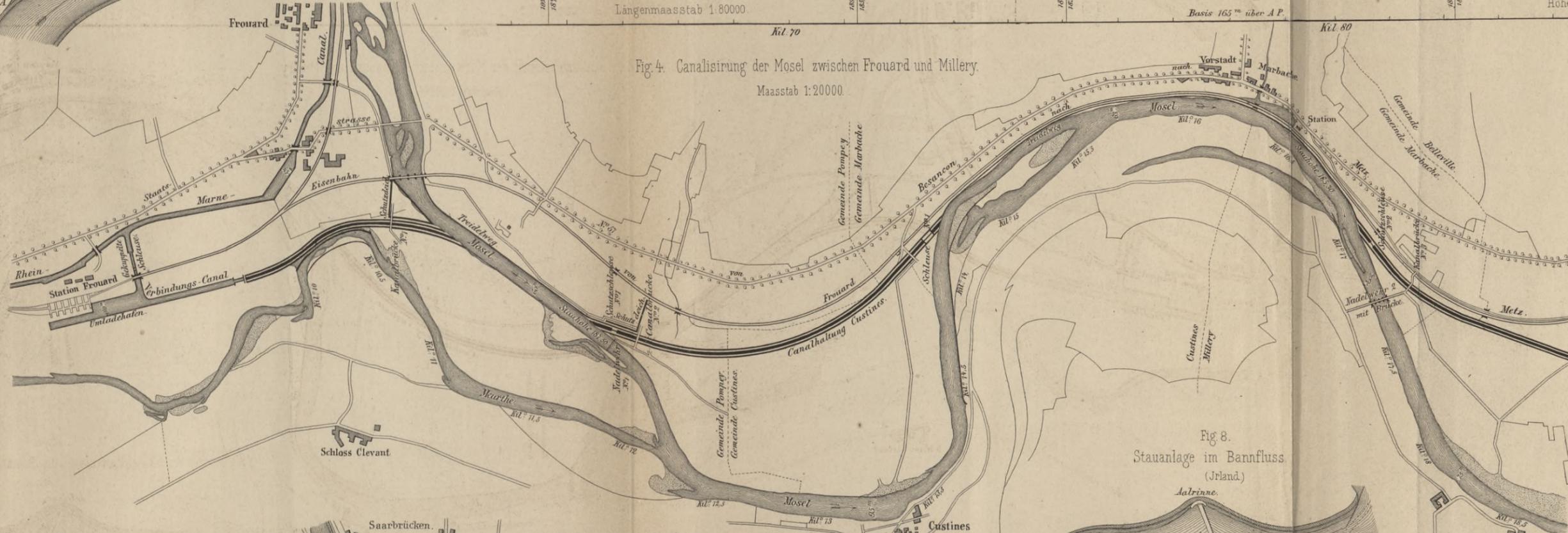


Fig. 5. Canalisierung der Mosel bei Pont à Mousson.

Maasstab 1:20000.

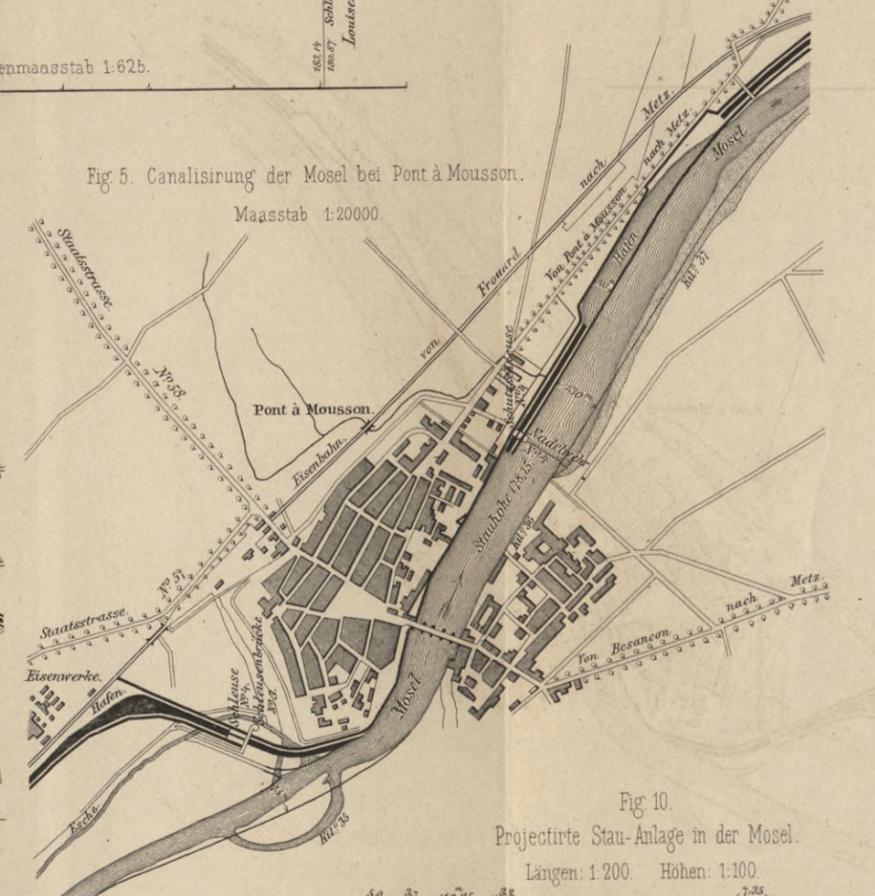
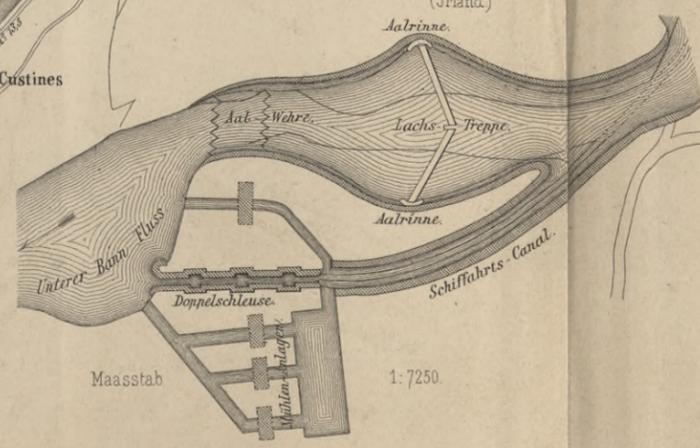


Fig. 8. Stauanlage im Bannfluss (Jrland).



Maasstab 1:7250.

Fig. 9. Stauanlage in der Seine M: 1:4000.

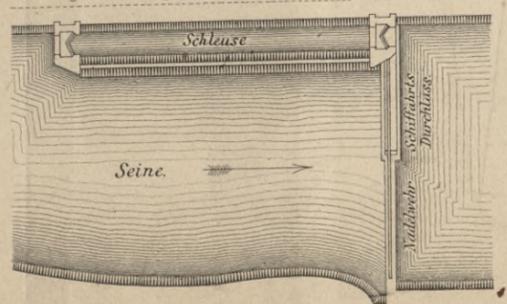


Fig. 10. Projectirte Stau-Anlage in der Mosel.

Längen: 1:200. Höhen: 1:100.

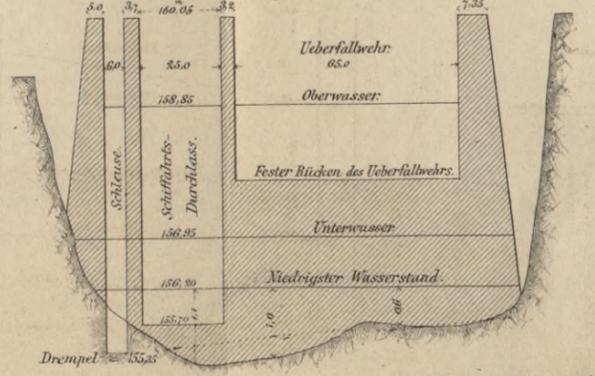


Fig. 6. Stauanlage in der Saar.

M: 1:10000.

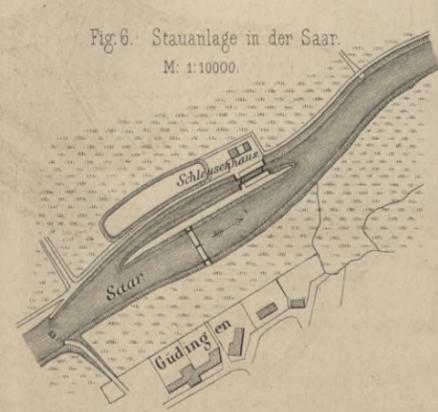
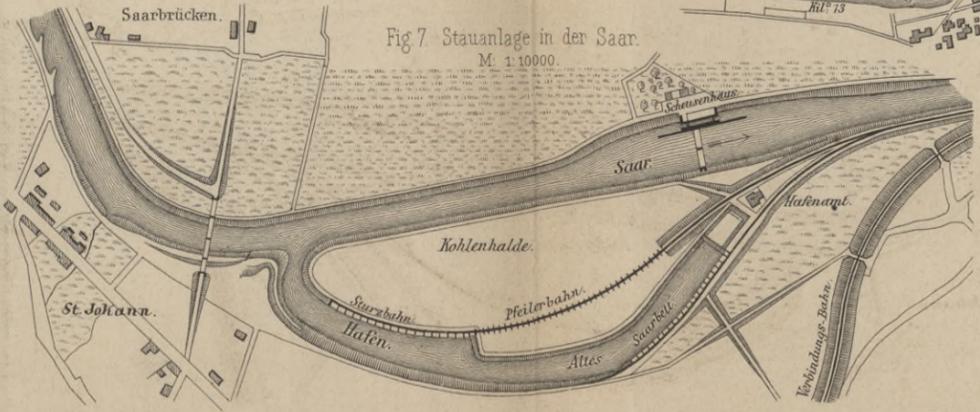


Fig. 7. Stauanlage in der Saar.

M: 1:10000.



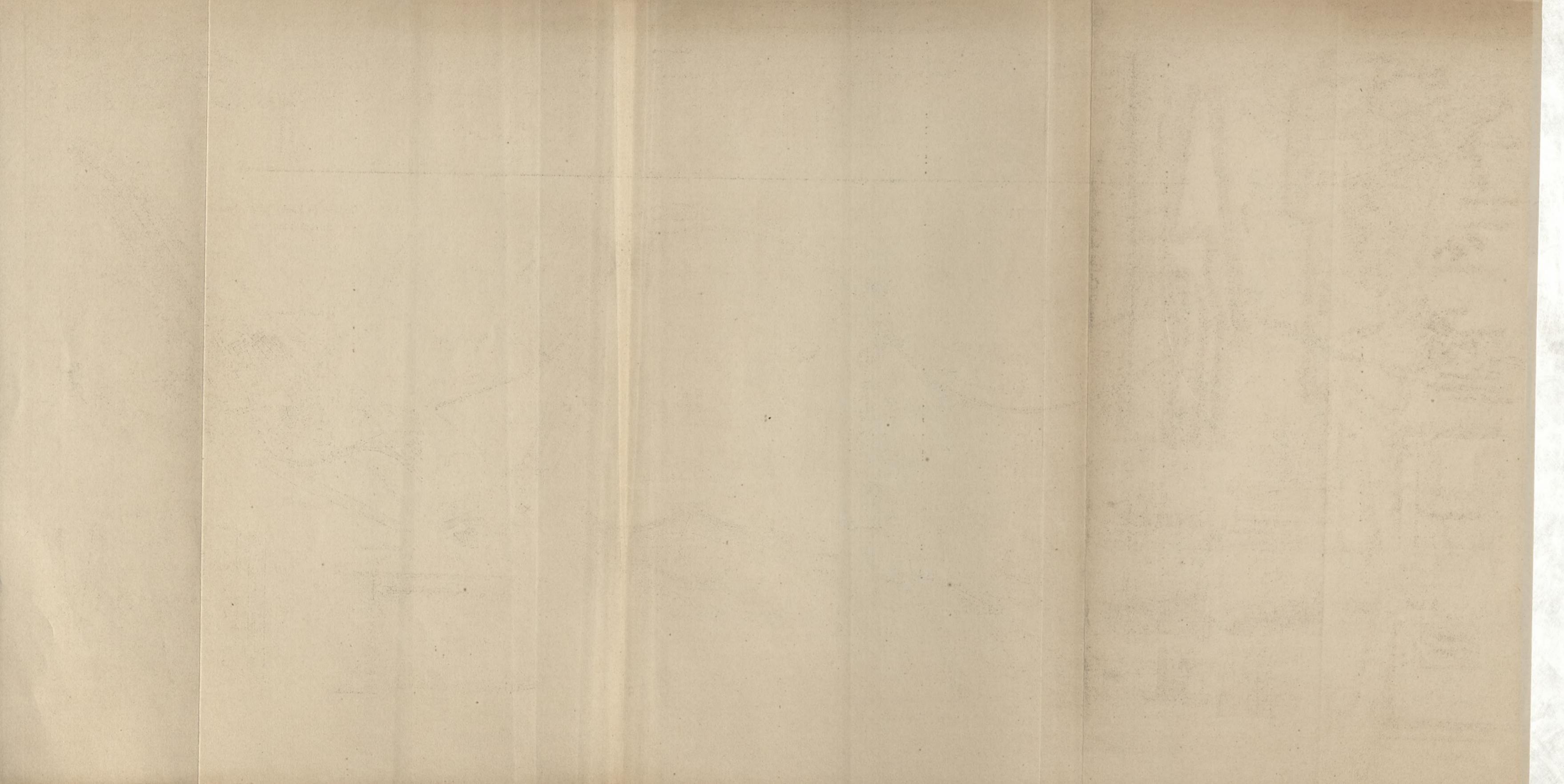


Fig. 1. Donau-Canal u. Durchstich bei Wien.

M: 1:70000.

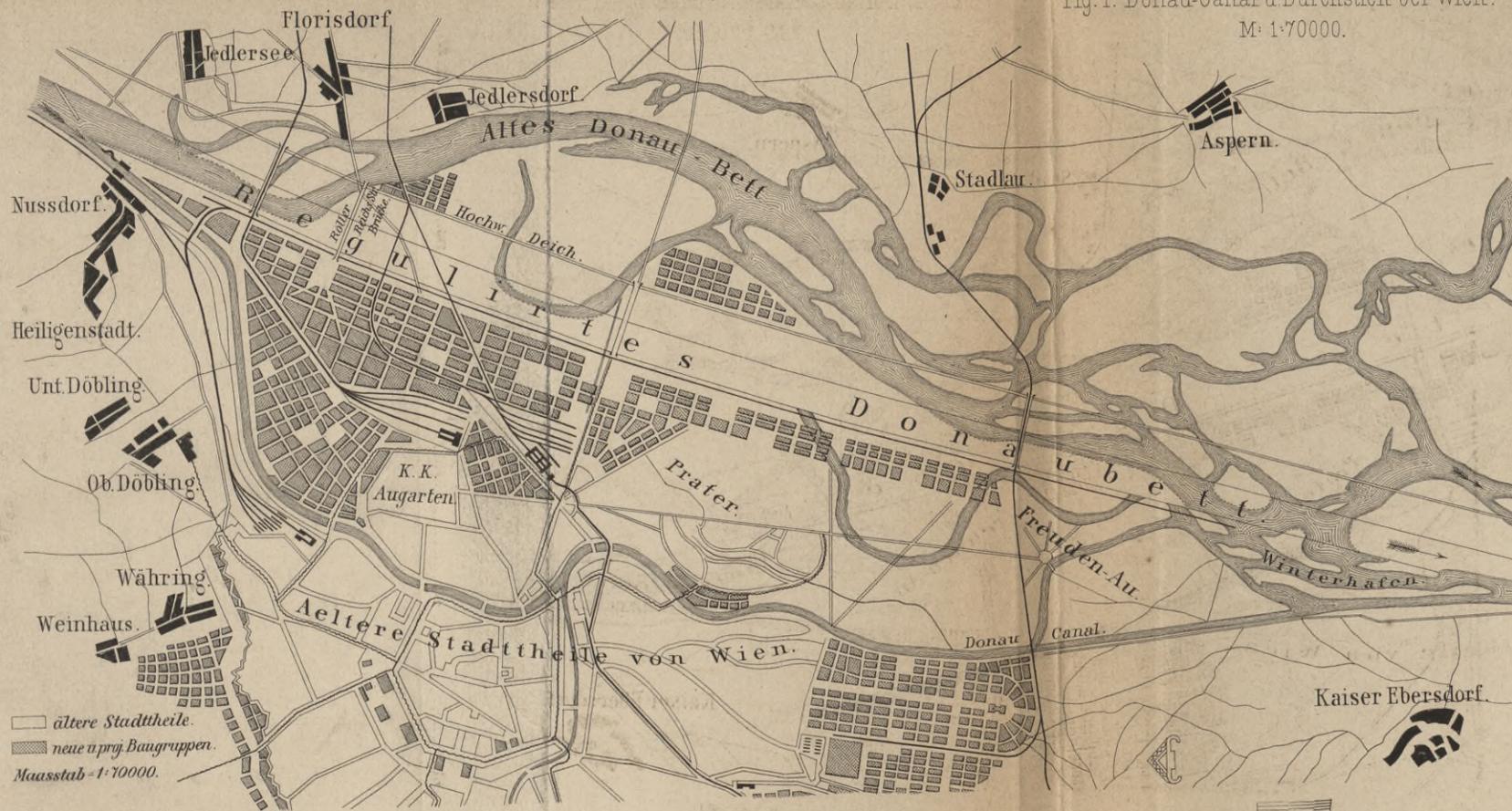


Fig. 2. Anordnung der Schutzschleusen.

M: 1:1000.

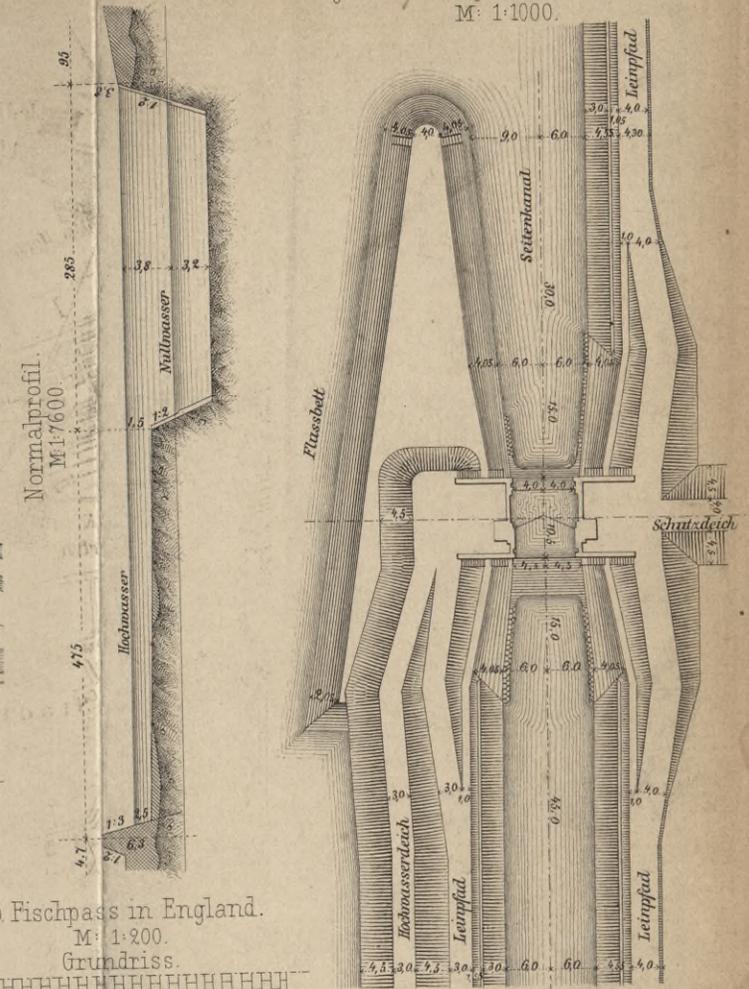


Fig. 3. Anordnung der Nadelwehre.

Grundriss. M: 1:400.

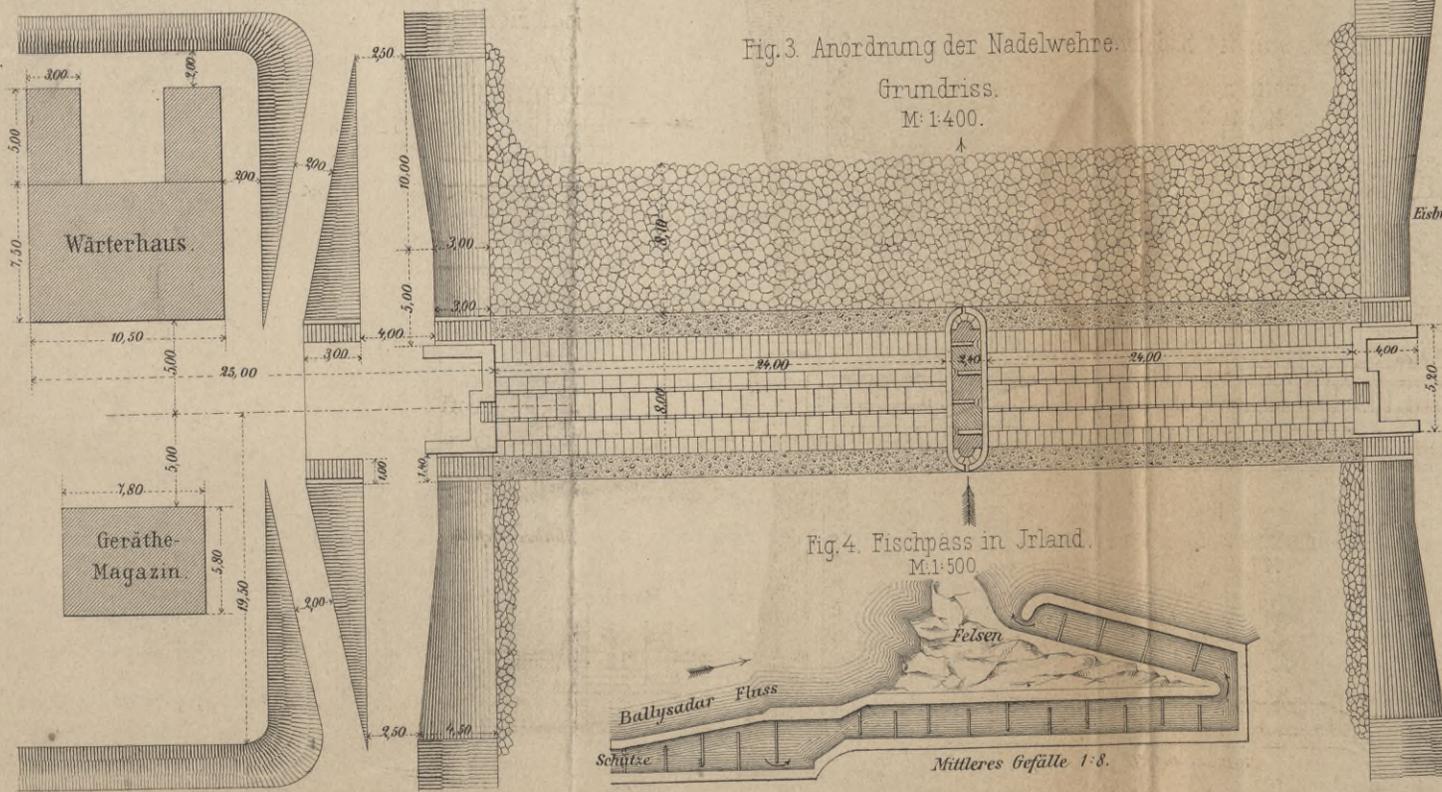
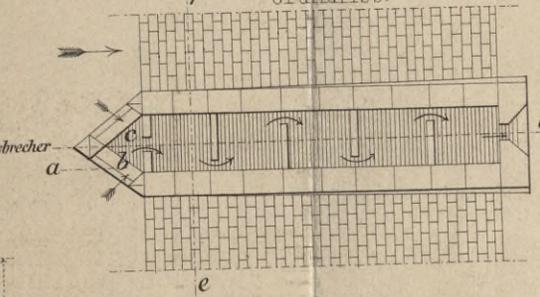


Fig. 5. Fischpass in England.

M: 1:200. Grundriss.



Profil a-b u. c-d.



Mittleres Gefälle 1:5.

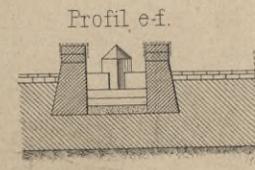
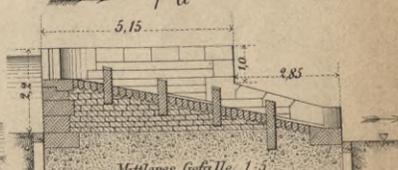
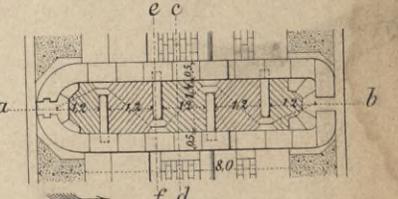
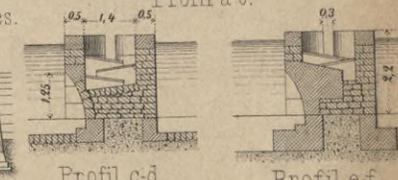


Fig. 6. Fischpass in Frankreich.

M: 1:200. Grundriss.



Mittleres Gefälle 1:5.



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000301510