

XV. Kapitel.

Schiffahrtskanäle.

Bearbeitet von

Ed. Sonne,

und

R. Rudloff,

Geh. Baurat, Professor an der techn. Hochschule in Darmstadt.

Hafenbau-Inspektor in Bremerhaven.

(Hierzu Tafel XV bis XVII und 69 Textfiguren.)

§ 1. Arten. Nachdem über die Entstehung und die allgemeine Gestaltung der Schiffahrtskanäle an anderer Stelle das Erforderliche gesagt ist, kann hier sofort von den verschiedenen Arten die Rede sein. Man kann bei Einteilung der Kanäle das Augenmerk entweder auf ihren Zweck und ihre Verwendung oder aber auf die Höhenverhältnisse des Geländes und die hiervon abhängigen Höhenlagen der Kanalspiegel richten.

Nach Zweck und Verwendung unterscheidet man folgende drei Arten:

1. Seeschiffahrtskanäle. Die Anforderungen, welche an diese zu stellen sind, ergeben sich aus der Größe und Form der Seeschiffe, sowie aus den Eigentümlichkeiten der Seeschiffahrt.

2. Kanäle, welche ausschließlich der Binnenschiffahrt und der Flößerei dienen. Diese Art der Kanäle ist die am weitesten verbreitete.

Jeder Schiffahrtskanal ist flossbar, es findet sich indessen nicht überall Gelegenheit zum Flößen. Auf manchen Kanälen aber wird die Flößerei in ausgedehnter Weise betrieben, so z. B. auf dem Bromberger Kanale, einem Verbindungsgliede zwischen Weichsel und Oder.

3. Kanäle, welche neben der Schiffahrt auch sonstige Zwecke haben.¹⁾ Hierbei kommt namentlich die Verwendung der Schiffahrtskanäle zur Entwässerung und Bewässerung der Ländereien in Betracht. Von derartig benutzten Kanälen findet ein allmählicher Übergang zu den schiffbaren Entwässerungs- und Bewässerungskanälen statt.

¹⁾ Litteratur. Dünkelberg. Die Schiffahrtskanäle in ihrer Bedeutung für die Landesmelioration (Bonn 1877). — Hefs. Die Bedeutung des Rostock-Berliner Schiffahrtskanals für die landwirtschaftlichen Interessen der Provinz Brandenburg (Rostock 1877). — Der Franzens-Kanal. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 418 und Verh. van het kon. inst. van ing. 1849. — Vuigner. Rivière et canal de l'Oureq (Paris 1864). — III. internationaler Binnenschiffahrts-Kongress zu Frankfurt a. M. 1888. Vorberichte von Hagen, Thiel, de Mas und Léon Philippe über den Nutzen der Schiffbarmachung der Flüsse und der Anlage von Schiffahrtskanälen für die Landwirtschaft. Ferner: Verhandlungen der allgemeinen und Abteilungs-Sitzungen (Frankfurt a. M. 1889), S. 231 u. 311.

Über Moorkanäle insbesondere: Bericht über die Voruntersuchung zum Hunte-Ems-Kanal (Oldenburg 1847). — Franzius. Die wasserbaulichen Anlagen der Stadt Papenburg. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1866, S. 259. — Verhandl. des Centralver. f. Hebung deutscher Schiffahrt 1877, S. 11.

Die Entwässerungen werden in Gegenden, woselbst Wasser in Überflufs vorhanden ist, durch Schiffahrtskanäle kräftig gefördert. Der Nutzen, den solche Kanäle der Landwirtschaft dort stiften, ist mitunter ebenso grofs, wie der Nutzen für den Verkehr. In den Mitteilungen über die in Norddeutschland ausgeführten und daselbst geplanten Kanäle findet man Einzelheiten.²⁾

Insbesondere sind hier die Moorkanäle (Veenkanäle) zu nennen, welche wie ihr Name besagt, in Torfmooren angelegt werden. Man sticht den Torf auf einer breiten Fläche, in deren Mitte der Kanal nach und nach vorgetrieben wird, verschifft ihn nach den Verbrauchsorten und macht die neben dem Kanale liegenden Streifen urbar. Namentlich in Holland, aber auch in Ostfriesland, Oldenburg und dem Bremischen werden auf diese Weise ausgedehnte Landstriche der Kultur gewonnen, welche sonst fast wertlos sein würden. Lageplan, Längenprofil und Querprofil von Moorkanälen findet man in den Figuren 4, 5, 9 und 10 auf Tafel XV. Einzelheiten werden im Kapitel „Meliorationen“ besprochen.

Die Verwendung der Schiffahrtskanäle für Bewässerungszwecke kommt in Deutschland selten in Betracht, auch stellen sich bei uns einer solchen aus naheliegenden Gründen erhebliche Schwierigkeiten entgegen.

Als Beispiel derartiger Anlagen sind zu nennen: Der bei Hanekenfähr oberhalb Lingen aus der Ems abzweigende Kanal, durch welchen ein Teil des Ochsenbruches bewässert wird, der Kanal neben der Breusch (in der Gegend von Strafsburg), dessen Wasser gleichfalls teilweise zur Wiesenbewässerung benutzt wird, der Franzens-Kanal zwischen Donau und Theifs, sowie der Kanal von Pavia nach Mailand. Schiffbare Bewässerungskanäle sind u. a. der Naviglio grande und der Campine-Kanal in Belgien. Die oben erwähnten Schwierigkeiten haben dahin geführt, dafs man bei dem gröfsten italienischen Bewässerungskanal der Neuzeit, dem Cavour-Kanal, auf Schiffbarkeit von vornherein verzichtete, und dafs der für Schiffahrt und Bewässerung angelegte Kanal von Bereguardo jetzt nur noch für letztere benutzt wird. Immerhin wird die Mehrzahl der italienischen Schiffahrtskanäle auch zur Bewässerung (oder zur Entwässerung) benutzt. —

Einzelne Kanäle werden gleichzeitig für Verkehrszwecke und für die Wasserversorgung bezw. die Speisung anderer Kanäle gebraucht. — Hier sind beispielsweise namhaft zu machen: Der flossbare Speisegraben zwischen der Saar und dem Rhein-Marne-Kanal, ferner der Kanal de l'Ourcq, welcher für die Wasserversorgung von Paris angelegt ist, daneben aber auch kleinere Schiffe trägt.

Über die Verwendung des Wassers des Rhein-Schie-Kanals für Zwecke der Entwässerung der Stadt Haag vergl. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1888, S. 118.

In technischer Hinsicht haben die Kanäle, welche auch für Bewässerungen und ähnliches benutzt werden, die Eigentümlichkeit, dafs sie mit Gefälle angelegt werden müssen, während die Wasserspiegel der eigentlichen Schiffahrtskanäle nahezu horizontal sind.

Hinsichtlich der Höhenverhältnisse des Geländes und der hiervon abhängigen Höhenlage der Kanalspiegel hat man drei Arten von Kanälen zu unterscheiden: die Kanäle in den Niederungen, diejenigen, welche die Thalsohlen nicht verlassen, und diejenigen, welche Wasserscheiden überschreiten.

Die Kanäle in Niederungen, also vorzugsweise in den Küstenländern und in der Nähe der Strommündungen, bilden daselbst vielmaschige Netze, welche sich auch in die Städte und die Ortschaften hinein verzweigen. Die Figuren 9 und 10 auf Tafel XV

²⁾ Durch den Weser-Elbe-Kanal wird beispielsweise der auf der Wasserscheide liegende 90 000 Morgen grofse Drömling entwässert werden können. Auch aus dem Bau des Dortmund-Ems-Kanals wird die Landwirtschaft voraussichtlich einen grofsen Nutzen gewinnen, indem im Emsgebiet die Möglichkeit gröfserer Entwässerungsanlagen von Hochmooren geboten wird. Ferner wird es möglich sein, durch die Strecke Oldersum-Emden die Entwässerungsverhältnisse der betreffenden Gegend wesentlich zu verbessern. — Man vergleiche aber auch das, was Nördling in: Die Selbstkosten des Eisenbahntransports und die Wasserstrafsenfrage (Wien 1885) auf S. 121 u. ff. über die Nebendienste der Schiffahrtskanäle sagt.

führen die Gestaltung solcher Kanäle vor. Noch ausgebildeter treten dieselben in Venedig und in holländischen Städten auf. Die einzelnen Zweige nennt man in Holland Grachten, in Hamburg haben sie den Namen Fleete. Eine Eigentümlichkeit der Kanäle in Niederungen ist, daß sie entweder aus einer einzigen Haltung mit horizontalem Wasserspiegel bestehen oder, daß infolge der muschelförmigen Aushöhlung mancher Niederungen die Strecken, welche den Strommündungen zunächst liegen, mitunter einen höheren Wasserstand haben, als die in größerer Entfernung liegenden. Ferner haben die fraglichen Kanäle keinen ziemlich gleichbleibenden Wasserspiegel, sondern der Entwässerungsverhältnisse wegen genau vorgeschriebene Hoch- und Niederwasserstände, vergl. T. XV, F. 8^b.

Die Kanäle, welche in Thalsohlen liegen, führen den Namen Seitenkanäle. — Die Seitenkanäle werden nicht selten in der Weise hergestellt, daß sie einen schiffbaren Fluß an einer Stelle verlassen und an einer anderen Stelle wieder in denselben einmünden. Sie bilden alsdann einen Teil der bei Kanalisierung der Flüsse vorkommenden Ausführungen, vergl. das betreffende Kapitel, woselbst diese Seitenkanäle eingehender besprochen werden. Kurze Seitenkanäle mit nur einer Schleuse, welche den Zweck haben, ein Schiffahrtshindernis, z. B. ein Wehr zu überwinden, nennt man wohl Umgehungskanäle.

In anderen Fällen gehen die Seitenkanäle von einer geeigneten Stelle eines schiffbaren Flusses aus, verfolgen das Thal über die Grenzen der Schiffbarkeit des Flusses hinaus und schließens sich einem Scheitelkanale (s. unten) an. — Das Längenprofil der Seitenkanäle ist stets treppenförmig mit einseitigem Gefälle. An ihren unteren Mündungen liegt das Niederwasser des Flusses tiefer, das Hochwasser aber höher, als der Wasserspiegel der benachbarten Kanalstrecke.

Die Kanäle, welche eine Wasserscheide überschreiten, werden Scheitelkanäle, auch wohl Verbindungskanäle genannt. Sie verfolgen so weit möglich die Thäler der von schiffbaren Flüssen abzweigenden Wasserläufe und ersteigen mittels Schleusen die Hochebenen, auf denen sich dann die Scheitelstrecken des Kanals befinden. Das Längenprofil zeigt somit die letzteren als horizontale Linien und an jeder Seite derselben eine Abtreppe. Im einzelnen gestaltet sich die Anlage verschieden, je nachdem der Kanal in ebener Gegend oder im Hügellande ausgeführt wird.

Im Hügellande fällt die Mehrzahl der Haltungen ziemlich kurz aus und die Schleusentreppen erhalten eine große Zahl von Schleusen. Da mit Vermehrung der Anzahl der Schleusen die Bau- und die Betriebskosten eines Kanals erheblich wachsen, so sind es namentlich die Kanäle des Hügellandes, deren Lebensfähigkeit seit Erfindung der Eisenbahnen ernstlich in Frage gestellt ist. Im Anschluß an die östliche Schleusentreppe des Rhein-Marne-Kanals befinden sich auf 9831 m Länge 24 Schleusen, der durchschnittliche Abstand beträgt somit 410 m, einzelne Schleusen liegen nur 100 bis 200 m voneinander entfernt. Die Schleusentreppe des Saar-Kohlen-Kanals zeigen die Figuren 1 und 2 der Tafel XV. — Unter den neueren Kanalentwürfen befinden sich nur wenige mit Überschreitung von hochliegenden Wasserscheiden, als Beispiel möge der Donau-Oder-Kanal genannt werden.

Scheitelkanäle in ebener Gegend haben eine geringere Anzahl von Schleusen und somit lange Haltungen, wie z. B. der durch F. 5, T. XV dargestellte Hunte-Ems-Kanal. Diese Kanäle sind ungleich lebensfähiger als die Kanäle des Hügellandes.

Die im Vorstehenden besprochenen Kanäle sind sämtlich auf künstliche Weise, im wesentlichen durch Ausgrabung entstanden, sie haben dementsprechend beschränkte

Breiten. In Küstenländern, namentlich auch in den Niederlanden, kommen außerdem noch Kanäle vor, bei deren Herstellung kleinere Flüsse durch mit Schleusen versehene Dämme von ihrem Hauptfluß oder von der See abgeschlossen (durchdeicht) werden. So ist beispielsweise die Amstel abgedammt und an der Abdammungsstelle ist die Stadt Amsterdam entstanden. Kanäle der genannten Art werden in Holland „Busenkanäle“ genannt; man kann sie auch zu den kanalisierten Flüssen in weiterem Sinne des Wortes rechnen.

Eine dritte Art der Einteilung der Schiffahrtskanäle ergibt sich, wenn man bei ihnen nach Maßgabe ihrer größeren oder geringeren Leistungsfähigkeit und Wassertiefe drei Klassen unterscheidet. Als Mittelwert der Wassertiefe wird bei neueren Kanälen in Deutschland, ebenso auch in Frankreich bekanntlich 2 m angenommen, sodafs man die betreffenden Kanäle als solche zweiter Klasse zu bezeichnen hat. Örtliche Verhältnisse können eine Vergrößerung dieser Tiefe und somit die Herstellung von Kanälen erster Klasse veranlassen, ein Fall, welcher in Deutschland namentlich im Gebiete des Niederrheins nahe liegt. Mitunter gestatten die Umstände aber eine Verringerung des angegebenen Maßes und somit die Anlage von Kanälen dritter Klasse. Hierzu sind namentlich die Kanäle zu rechnen, welche nur dem örtlichen Verkehr dienen, sodann in der Regel diejenigen, deren Schwerpunkt in der Förderung landwirtschaftlicher Zwecke liegt, endlich die Mehrzahl der Nebenkanäle (Zweigkanäle).

Zur Anlage von Zweigkanälen geben u. a. Fabriken, welche sich in der Nähe von Kanalhäfen befinden, Veranlassung; auch Schiffswerften, welche bei jedem Kanal von Bedeutung zu entstehen pflegen, erfordern die Anlage eines kleinen Zweigkanals. Im Anschluß an die Moorkanäle findet man Zweigkanäle stets in großer Anzahl, dieselben heißen alsdann „Wicken“ oder „Inwicken“. Bei ihrer Anlage ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Anzahl der über die Wicken zu erbauenden Brücken nicht zu groß, und andererseits darauf, daß der Landverkehr zwischen den einzelnen Häusern der Moorkolonie nicht zu sehr erschwert wird. Unter den verschiedenen Ausführungen entspricht die in F. 10, T. XV dargestellte diesen Anforderungen am besten.

A. Seekanäle.³⁾

Von Rudolf Rudloff.

§ 2. Arten und allgemeine Anordnung. Seekanäle werden entweder als Verbindungskanäle zur Kürzung oder Umgehung längerer oder gefährlicher Seewege, oder aber als Sackkanäle zur künstlichen Verbindung von Binnenplätzen mit der See angelegt. Als Sackkanäle erfüllen sie in Bezug auf die Schifffahrt den gleichen Zweck wie schiffbare Strommündungen.

In flachen Uferländern, wie Holland, Ostfriesland u. s. w. giebt es für kleinere Seeschiffe eine große Zahl von Seekanälen, welche einen allmählichen Übergang zu den Seekanälen für größere und größte Seeschiffe bilden.

Die Zahl der großen Seekanäle ist bislang eine beschränkte, und ihre Erbauung fällt in die neueste Zeit, als wegen Einführung der Dampfkraft in die Schifffahrt und infolge des Wettbewerbs der Mittelpunkte des Welthandels, ganz besonders aber wegen des Bedürfnisses, die Seewege möglichst tief ins Binnenland zu führen, beständig die Verbesserung alter und die Schaffung neuer Verkehrswege selbst für die größten Fahrzeuge angestrebt und durch den gewaltigen Aufschwung der Technik auch ermöglicht wurde.

³⁾ Litteratur am Schluß des Kapitels.

Da die Erbauung eines Kanals die Bethätigung so ziemlich aller Zweige des Ingenieurwesens erheischt, so wird hier von einem Eingehen auf die bei den Seekanälen in Betracht kommenden Einzelheiten und Kunstbauten nicht die Rede sein können, zumal diese an anderen Stellen ihre Erledigung finden. Beispielsweise sei hinsichtlich der Richtung, Gestaltung und des Schutzes der Einfahrten auf die Kapitel „Seehäfen“ und „Seezeichen“, hinsichtlich der Schleusen auf das XIV. Kapitel, hinsichtlich der Uferdeckungen auf den Flufsbau, auch auf § 13 dieses Kapitels verwiesen. Der Zweck des vorliegenden Abschnittes ist vielmehr, ein Bild der allgemeinen technischen Anordnung und der Gröfsenverhältnisse der Seekanäle zu geben und dies an den wichtigsten bisher ausgeführten, als auch an den in Ausführung begriffenen Kanälen unter Hinweis auf besondere charakteristische Eigentümlichkeiten zu erläutern.

Arten. Man kann in technischer Beziehung unterscheiden:

1. Seekanäle, welche wie die Mehrzahl der längeren Binnenschiffahrtskanäle in mehreren Haltungen treppenartig angelegt sind. Die Teilung in mehrere Haltungen geschieht hauptsächlich zur Verminderung der Erdarbeiten bei Überwindung höherer Gebirgszüge und ähnlicher Hindernisse. So gehören die älteren Seekanäle, wie beispielsweise der Languedoc-Kanal, der Caledonische Kanal, der Eider-Kanal u. s. w., zu oben genannter Klasse.⁴⁾ Auch neuere Kanäle, namentlich der Manchester-Seekanal, mußten aus örtlichen Gründen mit mehreren Haltungen gebaut werden.

2. Seekanäle mit einer einzigen, von der See durch eine bzw. zwei Endschleusen getrennten Haltung. Zu dieser Art gehören unter anderen der Nord-Ostsee-Kanal, der Amsterdamer Seekanal und der Kanal von Saint Louis.⁵⁾

Größere Unterschiede im Meeresspiegel an den Mündungen des Kanals, und zwar ständig vorhandene oder regelmäfsig unter Einwirkung der Ebbe und Flut auftretende, oder unregelmäfsig durch den Einfluß starker Winde entstehende, haben zum Schutze der anliegenden Ländereien oder zwecks Vermeidung zu starker Strömungen im Kanal zur Abschleusung nach der See hin geführt. — Kanäle mit Abschleusung an einem oder beiden Enden bilden daher auch bei den neueren Kanälen in allen denjenigen Fällen die Regel, wo der Kanal in ein Meer mündet, welches einer stärkeren Ebbe und Flut unterworfen ist.

3. Seekanäle, welche mit der See in völlig freier Verbindung stehen, bei denen die unter 2. genannten Umstände, welche zur Abschleusung führten, in geringem Mafse oder gar nicht vorhanden sind. Hierzu gehört der Suez-Kanal, der Kanal von Korinth und der Panama-Kanal, so wie er zeitweilig geplant war. Die Kanäle dieser Klasse sind unter sonst gleichen Verhältnissen für die Schifffahrt am dienlichsten, da jeder Aufenthalt infolge Schleusung durch die Einfahrtsschleusen vermieden ist. Ihre Anlage ist aber nur in besonders günstigen Fällen möglich, und ist daher auch die Möglichkeit der Herstellung des Panama-Kanals ohne Endschleuse stark in Zweifel gezogen worden.

Querschnitte. Hinsichtlich des Querschnitts hat man bei den Seekanälen zwei Arten zu unterscheiden, nämlich die einschiffigen und die zweischiffigen Kanäle.

Der Querschnitt eines Seekanals hängt von der Gröfse und Geschwindigkeit der

⁴⁾ Einzelheiten sind in der 2. Auflage dieses Werks, Kap. XIX, S. 226 angegeben. Eigenartig ist der daselbst besprochene Nordholländische Kanal, dessen Haltungen nicht etwa zur Überwindung einer Terrainsteigung, sondern umgekehrt zur Senkung des Kanalspiegels unter die Wasserstände aufserhalb des Kanals dienen.

⁵⁾ Über den Kanal von Saint Louis vergl. Kap. XIX der 2. Auflage, S. 231. Andere Seekanäle mit einer Haltung durchqueren die niederländischen Inseln Voorne, Walchern, Süd-Beveland u. a.

in demselben verkehrenden Schiffe, sowie von der Beschaffenheit der Bodenarten ab, in welchen derselbe gebaut wird.

In der Regel beträgt der Inhalt eines einschiffigen Kanalquerschnittes das Vier- bis Sechsfache vom größten eingetauchten Schiffsquerschnitt. Bei zweischiffigen Kanälen verlangt man, daß zwischen den Körpern zweier größten Schiffe ein Spielraum von mindestens 1,50—2,00 m vorhanden sein muß, ohne daß dieselben sich den Kanalböschungen um mehr als 0,50 m nähern, welches Maß auch als Mindestmaß für den Spielraum zwischen Kiel und Kanalsohle gilt.

Die neueren großen Kanäle sind unter Berücksichtigung eines größten Tiefganges der in ihnen verkehrenden Schiffe von 8,00—8,50 m und einer größten zulässigen Geschwindigkeit von 5,00 Knoten i. d. Stunde, d. h. rund 2,60 m i. d. Sekunde angelegt worden, und man kann für einschiffige Kanäle eine Sohlenbreite von rund 22,00 m und für zweischiffige eine solche von rund 36,50 m als normal ansehen.

Bei der Bestimmung der Kanalböschungen wird außer der Bodenart noch das Abdeckungsmaterial der Ufer, sowie insbesondere der Umstand zu berücksichtigen sein, ob in demselben starker Wellenschlag zu erwarten ist. Um Abrutschungen der oberen Teile der Böschungen zu verhindern, wird in der Regel in Nähe des Wasserspiegels eine Berme angelegt.

Bei der Durchquerung von Fels schränkt man das Profil auf das Notwendigste ein, indem man die Böschungen möglichst steil anlegt, und das an Breite Verlorene dem Querschnitt durch Tieferlegung der Sohle teilweise wieder zugiebt.

Ausweichstellen, wie sie bei den einschiffigen Kanälen notwendig werden, um ein Kreuzen und Überholen der Schiffe zu gestatten, werden zweckmäßig symmetrisch zur Mittelaxe des Kanals und nicht einseitig angelegt, um zu verhindern, daß die aneinander vorbeifahrenden Schiffe infolge ungleichmäßigen Ausweichens des Wassers gegeneinander schlagen.

Als Hauptabmessungen der Schleusen bei den größeren Kanälen kann als lichte Weite 25,00 m und als größte Nutzlänge 225,00 m gelten. In der Regel legt man, um Kanalsperrungen nach Möglichkeit zu verhindern, Doppelschleusen an.

Krümmungen. Was die Krümmungen der Kanallinien anbelangt, so ist zu bemerken, daß bei Kurven über 2500,00 m Radius eine Verbreiterung des Kanalbettes nicht nötig wird. Bei Radien von und unter 2500,00 m ist eine Verbreiterung erforderlich, welche man vom Scheitel nach den Tangentenpunkten hin auslaufen läßt; sie wurde beim Nord-Ostsee-Kanal nach der Formel $b = 26 - \frac{\text{Krümmungshalbmesser}}{100}$ bestimmt.

Hauptabmessungen neuerer Seekanäle.

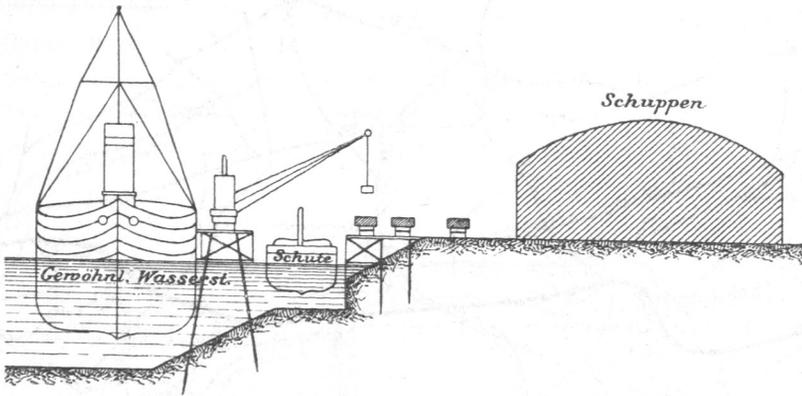
	Länge km	Sohlenbreite		Tiefe		Wasserquerschnitt	
		in Erdarten m	in Fels m	in Erdarten m	in Fels m	in Erdarten qm	in Fels qm
Suez-Kanal vor der Erweiterung	160,00	22,00	—	8,0	—	311,0	—
„ nach „ „	160,00	34,84	—	8,5	—	447,64	—
Panama-Kanal	74,00	22,00	24,00	8,5	9,0	306,0	234,00
Manchester-Seekanal	571,3	36,6	36,6	7,92	7,92	384,0	300,00
Kanal von Korinth	6,31	22,0	22,0	8,00	8,00	—	188,80
Nord-Ostsee-Kanal	98,5	22,0	—	8,5	—	384,0	—
Nicaragua-Kanal	275,0	36,6	24,38	7,93	9,4	416,00	229,00
Ems-Jade-Kanal	73,0	8,5	—	2,10	—	26,67	—

in dem stark gekrümmten und sich oft ändernden Niedrigwasserschlauche des Flusses und ist auf dieser Strecke noch von der Ebbe und Flut abhängig. Unterhalb Eastham befinden sich indessen infolge der Einschnürung des Flutbeckens bei Liverpool erhebliche Tiefen, welche den Verkehr mit den größten Schiffen zu jeder Zeit gestatten.

Ursprünglich bestand die Absicht, den eigentlichen Kanal nur bis Warrington zu bauen und von hier aus in dem Mersey-Becken einen mit Steindämmen eingefassten Tiefwasserschlauch *SS* (Fig. 1) herzustellen. Obschon die Steindämme und sonstigen Einfassungen nur bis zu Niedrigwasserhöhe reichen sollten, widersetzte sich Liverpool diesem Vorhaben; man sprach die Befürchtung aus, daß dadurch schädliche, das Fassungsvermögen des Flutbeckens stark beeinträchtigende Verlandungen entstehen könnten, welche nachteilig auf die Tiefenverhältnisse der Barre von Liverpool einwirken würden. Man mußte daher diesen Plan aufgeben und den Kanal bis Eastham, außerhalb des Mersey-Flutbeckens, anlegen.

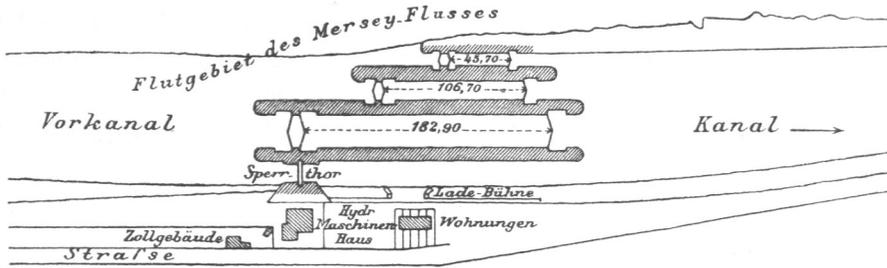
Da Manchester verhältnismäßig hoch gegenüber dem Meeresspiegel liegt und die Hafenanlagen im Innern der Stadt angelegt werden sollten, so konnte von der Herstellung eines Kanals mit einer Haltung nicht die Rede sein; man entschied sich vielmehr, von Warrington ab mittels vier Schleusenanlagen eine Kanalisierung und Geradlegung der unterhalb Manchester gelegenen Strecke des Irwell und Mersey vorzunehmen. Die Gefälle der Schleusen betragen, von Manchester her aufgeführt, 3,96 m, 4,58 m, 4,88 m und 5,03 m; es sind Doppelschleusen, von denen eine 19,81 m, die andere 13,71 m breit ist, während die Längen 182,90 bzw. 106,70 m betragen. Neben jeder der Doppelschleusen befinden sich Schleusenwehre, welche bei Hochwasserständen im Fluß das überschüssige Wasser ungehindert ablaufen lassen.

Fig. 2. Querschnitt der Pier-Anlage Saltport.



Zwischen Warrington und Eastham verfolgt der Kanal in einer Haltung das linke Ufer des Mersey-Flutbeckens, dem er sich häufig so weit nähert, daß er mittels Dammanlagen von ihm abgeschlossen werden muß. Die Dämme sind aus dem Material des Kanalaushubs hergestellt und bestehen größtenteils aus Thon und Bruchsteinen. Da wo sie auf weichen Untergrund aufgelagert sind, ist ihr Fuß durch Spundwände eingeschlossen. Unterhalb Runcorn kreuzt diese Kanalstrecke die Mündung des Weaver-Flusses; dieser wird durch Aufstauung mit dem Kanal in Verbindung gebracht; diese Vereinigungsstelle (Saltport) dient als Umladestelle für den Seegüter- und Binnenschiffverkehrsverkehr, s. Fig. 2. Außerdem weist die untere Haltung drei Verbindungen mit bestehenden Hafenanlagen, den Häfen von Weston Point, Runcorn und Warrington auf; der Übergang aus dem Kanal nach denselben wird durch Schleusenanlagen vermittelt.

Fig. 3. Lageplan der Eastham-Schleusen.



Die bei Eastham gelegenen drei Haupteingangsschleusen des Kanals (Fig. 3) sind 182 bzw. 105 bzw. 45 m lang und 24,38 bzw. 15,24 bzw. 9,14 m breit.

Der normale Wasserstand des Kanals liegt in der unteren Haltung auf 1,5 m unter Hochwasser gewöhnlicher Springtiden; steigt das Wasser im Mersey über denselben hinaus, so findet ein Einströmen des Wassers durch die geöffneten Schleusen, durch die neben den Schleusen angelegten Schützenwehre, sowie außerdem durch in den Abschlusdämmen angelegte Überfallwehre in die Kanalhaltung statt und füllt diese allmählich bis zur gleichen Höhe wie im Mersey. Bei eintretender Ebbe strömt das Wasser vermittels dieser Wehre und der bis zum Abfallen auf den normalen Wasserstand geöffneten Schleusen wieder in den Mersey ab. Während dieser Zeit hat die Schifffahrt ungehinderten Eintritt in den Kanal. Nach weiterem Fallen des Mersey werden die Thore der Schleusen geschlossen, und die Schiffe müssen dann wieder geschleust werden.

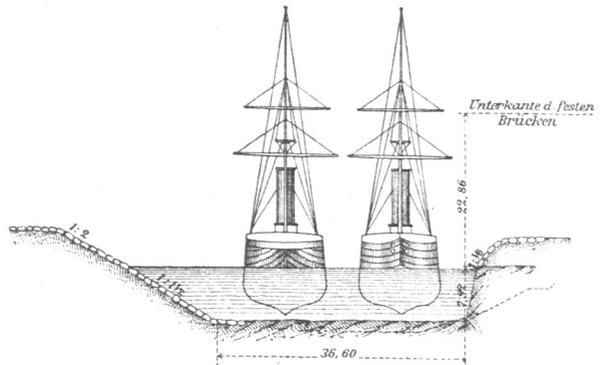
Die Sohlenbreite des gewöhnlichen Kanalprofils (Fig. 4, links) beträgt 33,60 m, die normale Wassertiefe 7,92 m. Innerhalb der Schleusen beträgt jedoch die Kanaltiefe mit Rücksicht auf etwaige spätere Vertiefungen 0,90 m mehr.

Fig. 4. Querschnitte. M. 1:1000.

Der Kanal, welcher selbst für die größten Schiffe zweischiffig ist und bei jeder Schleusenanlage eine Wendestelle besitzt, wurde teils in weicheren Erdarten, teils in Fels ausgeführt. Im ersteren Falle wurde die Böschung unter Wasser in 1:1½ angelegt und mit Bruchsteinen abgedeckt, über Wasser dagegen im Verhältnis 1:2 ausgeführt. In Felsstrecken beträgt die Dossierung 6:1.

Die großen, mindestens 2000 m betragenden Halbmesser der Krümmungen des Kanals machten Erweiterungen unnötig.

Einen erheblichen Aufwand verursachte die Überführung der Eisenbahnen und Straßen teils mittels hoher fester, teils mittels niedriger beweglicher Brücken. Besonders bemerkenswert ist die Überführung des Bridgewater-Kanals bei Barton durch eine Kanal-Drehbrücke. Die lichte Durchfahrts Höhe unter den Überführungen beträgt bei den beweglichen Brücken rund 4,90 m, bei den festen dagegen 22,86 m und bedingt bei großen Segelschiffen das Herablassen der Stengen.



Die Kosten des unter dem Ingenieur Leader Williams ausgeführten Unternehmens haben rund 300 Millionen Mark betragen.

Nicaragua-Kanal. Der Nicaragua-Kanal, dessen Erbauung mit nordamerikanischem Kapital namentlich nach dem Mißerfolge des Panama-Kanal-Unternehmens der Verwirklichung bedeutend näher gerückt ist, soll, wie der Panama-Kanal, den Stillen mit dem Atlantischen Ocean verbinden und für die größte Schifffahrt eingerichtet werden.

Fig. 5. Übersichtsplan. M. 1:2 000 000.



Die Verbindung beider Ozeane soll, wie aus Fig. 5 ersichtlich, mit Benutzung des für die Schifffahrt sehr geeigneten Nicaragua-Sees erfolgen, wodurch die Kanalstrecke von vornherein um beinahe ein Drittel ihrer Länge verkürzt wird. Ferner ist der wasserreiche Abfluß dieses Sees, der Rio San Juan, der Kanalanlage günstig; derselbe soll durch eine etwa 18 m betragende Aufstauung vermittels eines Dammes bei Ochoa unter Beibehaltung eines kleinen Spiegelgefälles von 1,2 m dem Kanal nutzbar gemacht werden. Weiter nach Osten hin wählte man eine Linie, welche die Thäler der kleinen linksseitigen Nebenflüsse des Rio San Juan in ihren oberen Strecken quer durchschneidet. Die Thäler dieser Flüsse, des Machado, des San Francisco und des Descado, sollen nach unten hin durch starke Staudämme abgeschlossen werden. Es entstehen so ausgedehnte und tiefe Becken, deren Verbindung die Durchstechung schmäler, immerhin 30—40 m hoher Wasserschleiden erfordert.

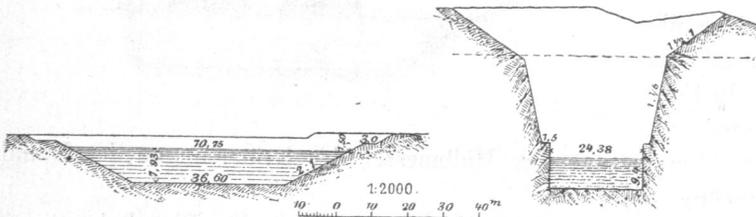
In ähnlicher Weise soll der auf der westlichen Seite zwischen dem Nicaragua-See und dem Stillen Ocean sich befindliche Tola-Fluß aufgestaut werden.

Zur Erreichung des Nicaragua-Sees, dessen Spiegel ungefähr 33,50 m über den

Fig. 6. Querschnitte.

In Erdarten.

In Fels.



mittleren Spiegeln beider Meere liegt, dienen auf jeder Seite drei Kammerschleusen. Die Mündungen des Kanals in beide Meere, und zwar bei Greytown in den Atlantischen, und bei Brito in den Stillen Ocean, sollen als Häfen

ausgebaut werden. Das Profil des Kanals ist bis auf einige in Fels eingehauene Strecken zweischiffig angenommen, s. Fig. 6.

Der Ausbau des Kanals einschließlic der Herstellung der beiderseitigen Endhäfen erfordert eine Bodenbewegung von rund 54 Millionen cbm, wovon 12 Millionen cbm Fels und 42 Millionen cbm Erde sind. Diese Massen sind im Vergleich mit der

großen Länge des Kanals und in Anbetracht des hügeligen Geländes als geringe zu bezeichnen. Die veranschlagten Kosten belaufen sich, soweit sie sich übersehen lassen, auf etwa 400 Millionen Mark.

Das Charakteristische des Kanalprojektes sind die gewaltigen, aus Erde und Felsstücken herzustellenden Sperrdämme, sowie die großen, durch die Aufstauung der Nebenflüsse des Rio San Juan entstehenden Seen, welche große Flächen trockenen Landes unter Wasser setzen. Sollte die durch die Aufstauung des Rio San Juan bedingte Stauung des Rio San Carlos auf den Widerstand der anwohnenden Grundbesitzer stoßen, so ist eine Verlegung seiner Mündung unterhalb des Dammes von Ochoa in den Rio San Juan vorgesehen.

Die Gesamtlänge des Kanals beträgt 275 km, wovon rund 250 km auf die Scheitelstrecke entfallen.

Von den sechs Schleusen, welche eine Nutzlänge von 198 m und eine Nutzbreite von 24,4 m erhalten sollen, haben fünf von Osten nach Westen gezählt, folgendes Gefälle: 9,5 m, 9,2 m, 13,7 m, 13 m, 13 m; die westlichste Schleuse hat je nach dem Wasserstande des großen Oceans Gefälle von 6,4 bis 8,9 m.

Die Schleusenthore sollen mit Rücksicht auf Erdbeben als Schiebethore ausgebildet werden.

Ems-Jade-Kanal (s. Tafel XVI, Figur 3^a—3^c). Der Zweck dieses in den Jahren 1880—1887 erbauten, gleichzeitig der Küsten- und der Binnenschifffahrt dienenden Kanals liegt hauptsächlich in der Erschließung der gewaltigen Moore des Regierungsbezirks Aurich gegen die Küsten hin. Dabei trägt der Kanal wesentlich zur Hebung der Schifffahrt und Verbesserung der Gesundheitsverhältnisse der Stadt Emden bei und bietet dem Kriegshafen von Wilhelmshaven in mancher Beziehung erhebliche Vorteile.

Die Kanallinie (T. XVI, F. 3^a) geht von der neuen Emdener Hafenanlage aus, ist unter teilweiser Benutzung eines älteren Treckfahrt-Kanals bis Aurich geführt, überschreitet hier die etwa 5 m über gewöhnlicher Flut liegende ostfriesische Geest und mündet bei Wilhelmshaven in das neue Hafenbecken. Bei der Tracierung des Kanals mußte auf zahlreiche Wasserläufe und Entwässerungen, sowie auf die neuen Hafenanlagen in Emden und Wilhelmshaven und ganz besonders auf den bei letzterer Stadt befindlichen Kriegshafen Rücksicht genommen werden.

Die Kanalstrecke ist 73 km lang und mußte trotz der Überwindung geringer Geländeschwierigkeiten in fünf Haltungen angelegt werden, deren Schleusen eine Durchfahrtsweite von 6,5 m und eine Tiefe von 2,1 m besitzen. Aus F. 3^b, T. XVI ergibt sich das Längenprofil des Kanals. — Die Speisung der Scheitelhaltung erfolgt aus dem Moore und dessen „Meeren“ durch Stichgräben, die ihrerseits in einen zur Kanalaxe parallel laufenden Sammelgraben münden. Diese Sammelgräben dienen als eigentliche Recipienten und sind nur an einzelnen Stellen mit dem Kanal verbunden, wodurch die Anlage vieler kostspieliger und für die Schifffahrt unbequemer Brücken vermieden ist, welche sonst bei Einmündung eines jeden Stichgrabens erforderlich geworden wären. Die Scheitelstrecke ist höher als ursprünglich geplant angelegt worden, weil man befürchtete, das Moor zu rasch und zu tief zu entwässern, und außerdem tiefe Einschnitte in den wenig standfesten Boden scheute. Immerhin liegt diese Strecke noch im 8 bis 10 m tiefen Einschnitt, dessen Böschungen in 1:1½ ausgeführt sind. In den im tieferen Moorland gelegenen Strecken sind Leinpfad und Fahrweg, ersterer 3 m, letzterer 10 m breit, durch Auftrag gebildet, s. F. 3^c. Der Kanalquerschnitt hat 8,50 m Sohlenbreite, 2,10 m Wassertiefe bei Niedrigwasser und mit 1:2 angelegte Böschungen.

Nur bei Wilhelmshaven, wo auf einen Küstenverkehr größerer Fahrzeuge gerechnet wurde, ist der Kanal auf 3 m vertieft und entsprechend verbreitert worden.

Die unter Wasser gelegenen Teile der Böschungen sind durch Ziegelschötter gesichert. Eine 0,10 m unter Niedrigwasser angelegte Berme von 1 m Breite soll den Wellenschlag brechen und ist zu diesem Zwecke mit Schilf und Binsen bepflanzt worden. Die an manchen Stellen durchlässigen Kanalböschungen, insbesondere die zum Schutze des tieferliegenden Geländes geschütteten Dämme, sind, um ein Durchsickern des Kanalwassers möglichst zu verhindern, mit einem 0,60 cm starken Klaimantel bedeckt. Da die größten im Kanal verkehrenden Schiffe von 28 m Länge und 5,6 m Breite einander überall ausweichen können, so sind besondere Ausweichstellen nicht angelegt worden. Die gebräuchlichsten Torfschiffe von 14,80 m Länge können im Kanal sogar an jeder Stelle drehen, nur die größeren Fahrzeuge müssen zu diesem Behufe die Häfen aufsuchen, deren außer bei Emden und Wilhelmshaven noch zwei, je einer bei Aurich und Abbikhaven angelegt sind. Als besonders beachtenswerte Bauwerke sind die Kesselschleuse bei Emden (s. Kap. XIV, S. 59) und ein Aquadukt bei Mariensiel hervorzuheben. Letzterer, eine trogartig aushebbare Kanalbrücke, dient zur Überführung des Kanals über das Bett der Made, während diese selbst unter dem Kanal dükertartig hindurch geleitet wird. Treten jedoch besonders hohe Wasserstände oder Eisgänge in der Made auf, so kann man die Kanalbrücke wasserfrei machen und so hoch heben, daß das Made-Wasser ungehindert abfließen kann.

Die Gesamtkosten des Kanals einschließlic einer wesentlichen Verbesserung der Emdener Entwässerung belaufen sich auf 13967500 M.

Einen großen Aufschwung wird der Verkehr des Ems-Jade-Kanals voraussichtlich nach Fertigstellung des Kanals von Dortmund nach den Emshäfen nehmen, denn dieser wird es ermöglichen, die westfälischen Kohlen ohne Umladung auf dem billigen Wasserwege bis nach Wilhelmshaven zu transportieren.

§ 4. Seekanäle mit einer Haltung.

Amsterdamer Seekanal. Die Stadt Amsterdam, welche an einer zipfelartigen Bucht der Zuider See, dem Y, erbaut ist, war durch diese direkte Verbindung mit dem Meere nur für Schiffe bis zu 4 m Tiefgang zugänglich. Die Notwendigkeit einer besseren Verbindung mit der See führte zu dem im Jahre 1825 fertiggestellten, 96 km langen Nordholländischen Kanal, welcher am Helder, der nördlichen Spitze der Provinz Nordholland, endigend Amsterdam mit der Nordsee verbindet. Es stellte sich jedoch bald heraus, daß auch dieser Kanal hinsichtlich seiner Querschnittsabmessungen und seiner nicht unerheblichen Länge, zumal bei dem starken Wettbewerb Rotterdams, den Anforderungen der Neuzeit nicht mehr gewachsen war. Zur besseren und kürzeren Verbindung Amsterdams mit der See wurde daher im Jahre 1863 der Bau des neuen Amsterdamer Seekanals beschlossen und im Jahre 1874 vollendet. Dieser Kanal, welcher die Einschnürung der nordholländischen Halbinsel quer durchschneidet, ist an beiden Enden durch Kammerschleusen abgeschlossen, also als Kanal mit einer einzigen Haltung gebaut. Mit der Anlage des Kanals war die Trockenlegung des von ihm durchschnittenen Y's und des Wyker-Meerres von zusammen 5700 ha verbunden, s. Fig. 7. Der Kanal, welcher nur durch 6,7 km festes Land zu führen war, wurde als Rezipient für die Entwässerungsgräben der an seinen beiden Seiten trockengelegten Flächen, nicht minder für die Entwässerung des aus dem Haarlemer Meer entstandenen Polders eingerichtet. Dieser Nebenzweck der Kanalanlage war bestimmend für den Normalwasser-

stand des Kanals, der auf $-0,5$ m Amsterdamer Pegel festgesetzt wurde, während der gewöhnliche Hochwasserstand an der Mündung des Kanals in der Nordsee $+0,9$ m und der Ebbewasserstand daselbst $-0,5$ m beträgt. In der Zuider-See dagegen beträgt der gewöhnliche Hochwasserstand $+0,12$, der Niedrigwasserstand $-0,24$ m Amsterdamer Pegel.

Trotz der geringen Höhenlage des Kanalwasserspiegels mußte der Kanal seitlich gegen die etwa um 4 m tiefer liegenden Polderflächen durch Dämme, bestehend aus Sand und Klai, abgeschlossen werden (Fig. 8). Das Wasser der neun Abzweigungen des Kanals, welche teils der Schifffahrt, teils der Abwässerung dienen, sowie das zur Entwässerung der Polder in den Kanal eingeführte Wasser wird an der Zuidersee-Schleuse mittels eines großen Schöpfwerkes abgeführt, vergl. Kap. XIII, Fig. 3, S. 6. Außerdem ist an der Nordsee-Schleuse ein verschließbares Gerinne zum Ablassen von Wasser bei niedriger Nordsee-Ebbe angeordnet.

Fig. 7. Übersichtsplan.



Fig. 8.

Profil im freien Wasser.



Fig. 9.

Profil im Durchstich.



Der Kanal sollte ursprünglich eine Sohlenbreite von 27 m und eine Wassertiefe von 7 m erhalten (Fig. 9), sodafs ihn bei normalem Wasserstande $6,5$ m tief gehende Schiffe hätten befahren können. Noch vor der Eröffnung vergrößerte man, ohne sonst an dem Profil etwas zu ändern, die Tiefe auf $7,7$ m und gestattete 7 m tief gehenden Schiffen die Durchfahrt durch den Kanal. Seit 1889 ist man damit beschäftigt, eine weitere Änderung des Kanalquerschnittes vorzunehmen. Man vertieft denselben auf $8,5$ m und giebt ihm eine Sohlenbreite, welche auf $\frac{3}{4}$ der Länge, d. h. in den normalen Kanalstrecken 25 m, auf den übrigen Strecken aber 32 m beträgt. Dementsprechend sollen 8 m tief gehende Schiffe in den Kanal eingelassen werden. Für das Kreuzen größter Schiffe sind Ausweichstellen vorgesehen.

Die ursprünglichen Schleusenanlagen für die Schifffahrt bestehen an der Nordsee-Mündung aus je zwei nebeneinander liegenden Kammerschleusen, von denen die größte

120 m Länge und eine lichte Breite von 18 m hat, vergl. T. VII, F. 1—3, während an der östlichen Mündung zwei große und eine kleine Kammerschleuse hergestellt sind. Im Zusammenhang mit der Vertiefung des Kanals ist aber an der Nordsee-Mündung der Bau einer neuen großen Kammerschleuse des Kanals in Ausführung begriffen; dieselbe erhält eine nutzbare Länge von 225 m und eine Breite von 25 m. Ihr Drempel liegt auf — 10 m, d. h. 9,5 m unter dem normalen Kanalwasserstand. Sie wird daher 9 m tief gehenden Schiffen die Einfahrt in den Kanal gestatten können, wenn dieser, was nicht ausgeschlossen ist, noch weiter vertieft werden sollte. Da die alten Nordsee-Schleusen eine ziemlich ungünstige Lage haben, und der hohe Seegang sich bis an dieselben heran erstreckt, so hat man für die neue Schleuse eine geschütztere Lage gewählt, indem man dieselbe in einen Seitenkanal legt, welcher $2\frac{1}{2}$ km lang, unterhalb der alten Schleuse vom Hauptkanal abzweigt und oberhalb wieder einmündet.⁶⁾

Die Kosten der ursprünglichen Kanalanlage beliefen sich auf 60 Millionen Mark, von denen jedoch etwa 20 Millionen für den Erlös der durch die Trockenlegung gewonnenen Ländereien in Abzug zu bringen sind. Sonstige Einzelheiten u. a. in Wiebe und Kunze, Zeitschr. f. Bauwesen 1872 und 1881.

Nord-Ostsee-Kanal. Die Zweckmäßigkeit eines Schifffahrtskanals, welcher unter Umgehung des sehr gefährlichen und längeren Seeweges um Jütland die Nordsee und die Ostsee auf kürzestem Wege unter Durchquerung der cimbrischen Halbinsel verbindet, ist schon in frühester Zeit eingesehen, und der Gedanke, einen solchen Kanal herzustellen, ist von verschiedenen dänischen Königen eifrig verfolgt worden. Die Durchführung scheiterte hauptsächlich an dem Widerstande der dänischen Hauptstadt, welche sich durch eine solche Anlage in ihrem Schifffahrtsverkehr mit Recht stark beeinträchtigt glaubte. Obwohl nun am Ende des vorigen Jahrhunderts durch den einen Eider-Kanal eine der kleinen Schifffahrt dienende Verbindung zwischen beiden Küsten Schleswig-Holsteins geschaffen war, tauchten doch bald ernste Bestrebungen für die Herstellung eines leistungsfähigen und der großen Seeschifffahrt zugänglichen Kanals auf. Dieser längst gehegte Plan fand seine Verwirklichung, als die Regierung des deutschen Reiches für den Bau des Nord-Ostsee-Kanals eintrat, um für die deutsche Seemacht eine kurze, sichere und vom Auslande unabhängige Verbindung zwischen beiden Meeren, insbesondere zwischen den beiden Kriegshäfen Wilhelmshaven und Kiel herzustellen.

Die endgiltige Genehmigung von seiten der Reichsregierung erfolgte im Jahre 1886, sodafs im Jahre 1888 mit dem Bau begonnen werden konnte; die Vollendung wird voraussichtlich im Jahre 1895 stattfinden.

Als Ausgangspunkt der 98,65 km langen Kanalstrecke wurde an der Nordsee das an der unteren Elbmündung gelegene Brunsbüttel, und an der Ostsee der Kriegshafen von Kiel gewählt. Von einem Einmünden des Kanals in die Eckernförder Bucht wurde trotz der hierdurch bedingten Abkürzung und der Überwindung geringerer Geländeschwierigkeiten abgesehen, weil aus strategischen Gründen die Einmündung in die Kieler Bucht den Vorzug verdiente.

Von Kiel her schmiegt sich der Kanal dem tiefausgeschnittenen Thale, in welchem der Eider-Kanal angelegt war, bis in das Gebiet der oberen Eider an, deren Lauf er teilweise verfolgt. Bei Rendsburg tritt er in das niedrig gelegene Gebiet der unteren Eider ein, welches der Ebbe und Flut ausgesetzt ist, und wird gegen diesen Fluß durch hohe Dämme abgeschlossen. Dem Laufe des Flüsches Gieselau folgend, durchschneidet

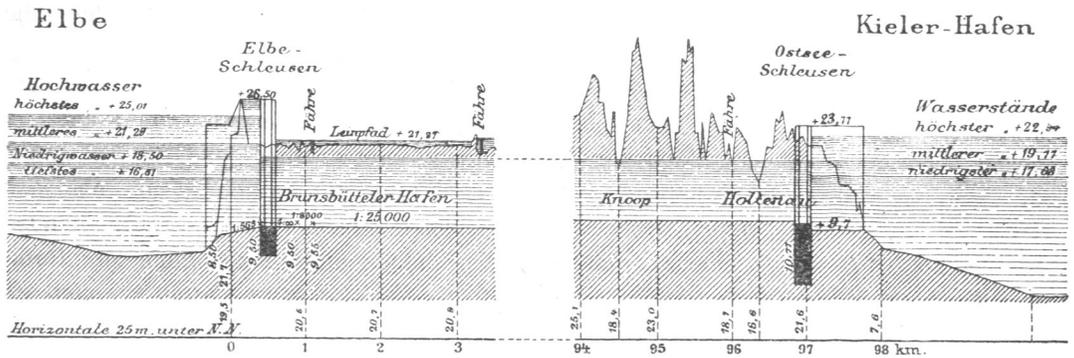
⁶⁾ Näheres s. Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 22.

er bei Grünthal die von einem 23 m über dem Kanalspiegel liegenden hohen Geestrücken gebildete Wasserscheide. Von da ab durchsetzt er die Kudensee-Niederung, eine teilweise unter dem mittleren Elbwasserstande liegende Moorgegend, und mündet bei Brunsbüttel in die Elbe.

Der Kanal, welcher trotz nicht geringer Geländeschwierigkeiten eine einzige Haltung erhalten konnte, mußte, da an der Mündung in die Elbe ein erheblicher Flutwechsel stattfindet und in der Ostsee die Winde nicht unbeträchtliche Schwankungen des Meeresspiegels erzeugen (Fig. 10)⁷⁾, an beiden Mündungen mit Endschleusen abgeschlossen werden, und zwar bei Kiel durch die Holtenauer, und an der Elbe durch die Brunsbütteler Doppelschleusen.

Fig. 10. Längenprofile der Mündungen des Nord-Ostsee-Kanals.

Längen 1:100 000 (1 km = 10 mm), Höhen 1:1000.



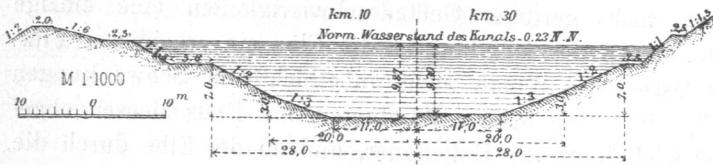
Als normaler Wasserspiegel des Kanals gilt der mittlere Ostseespiegel, welcher von dem Spiegel der Nordsee bei gewöhnlicher halber dortiger Tide nur unerheblich abweicht. Während die Ostsee-Schleusen in der Regel offen stehen und nur bei Wasserständen von 0,5 m über bzw. unter Mittelwasser geschlossen werden, öffnen sich die Nordsee-Schleusen bei jeder Ebbe und lassen das Wasser des Kanals je nach der Tide bis zu einem tiefsten Stande von 0,5 m unter der Ordinate des gewöhnlichen Ebbewasserstandes in die Elbe abfallen. Bei niedrigeren Wasserständen werden die Schleusen geschlossen; ihr Abschluß erfolgt außerdem bei steigendem Wasser, um zu verhindern, daß das sehr schlickhaltige Elbwasser in den Kanal eintritt, und um das Aufnahmevermögen des Kanalbettes für die Abwässerung der anliegenden tief gelegenen Marschländereien möglichst groß zu erhalten. Bei jeder gewöhnlichen Tide strömen 3 bis 4 Millionen cbm Wasser mit einer größten Geschwindigkeit von rund 1,5 m durch die Elbe-Schleusen ab und bewirken in dem Vorhafen eine Beseitigung des während der Flut gefallenen Schlickes. Lassen außerordentlich hohe Wasserstände in der Nordsee ein Öffnen der Thore der Elbe-Schleusen nicht zu, so findet die Abwässerung durch die Ostsee-Schleusen statt. Mit Rücksicht auf diese eigentümlichen Verhältnisse ist die Kanalsohle nach den Elbe-Schleusen zu auf 60 km Länge mit einem Gesamtgefälle von 1,70 m angelegt, vergl. Fig. 10.

In Fig. 11, S. 362 ist der Querschnitt des Kanals dargestellt; er besitzt bei 8,5 m Mindesttiefe eine Sohlenbreite von 22 m. Der Kanal ist für die größten Schiffe, bei-

⁷⁾ Ein vollständiges Längenprofil des Kanals s. Brennecke. Offizielle Karte vom Nord-Ostsee-Kanal. Berlin 1890, auch Fortschr. der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, Tafel I.

spielsweise für die großen Kriegsschiffe, einschiffig, für die Handelsschiffe, welche die Ostsee befahren, jedoch zweischiffig, da der Kanal in einer Tiefe von 6,5 m, welche

Fig. 11. Querprofil.



dem Tiefgang der größten die Ostsee befahrenden Schiffe entspricht, bereits eine Breite von 34 m besitzt. Die unterste Kanalböschung ist mit Rücksicht auf eine spätere Vertiefung des Kanals auf 9 m bei niedrigstem Wasser-

stande in 1:3 angelegt. Für das Begegnen größter Schiffe sind sechs Ausweichstellen von 450 m Länge bei einer Sohlenbreite von 60 m angeordnet; die Hauptausweichstellen bilden die tiefen Seen der oberen Eider.

Der kleinste Halbmesser bei Krümmungen ist zu 1000 m festgesetzt; über die Querschnittsverbreiterung im Scheitel der Kurven vergl. S. 352.

Die Endschleusen an beiden Kanalmündungen sind als Doppelschleusen angelegt, um namentlich bei Reparaturen eine Sperrung des Kanals zu verhüten. Die Nutzlänge derselben beträgt 150 m und die lichte Weite 25 m. Ihre Drempel sind so tief angelegt, daß bei niedrigstem Kanalwasserstande ein Einfahren von 8,5 m tief gehenden Schiffen in den Kanal noch möglich ist. Diese Schleusen, nicht minder eine bei Rendsburg erbaute, 12 m weite Schleuse, welche die Verbindung einer Abzweigung des Nord-Ostsee-Kanals mit der Untereider für Schiffe bis zu 4,5 m Tiefgang vermittelt, sind im XIV. Kapitel ausführlich besprochen.

Bemerkenswert ist die Herstellung des Kanalquerschnittes in den sehr weichen und tiefen Mooren. Da man bei einem einfachen Aushub in diesen Strecken mit Recht ein Einrutschen und Ausfließen der Böschungen befürchtete, so mußten zur Herstellung eines festen seitlichen Abschlusses an den Böschungskronen Sanddämme geschüttet werden, die sich nahezu bis auf den festen Untergrund eindrückten. Zwischen diesen wie Stützmauern wirkenden Sandkörpern konnte alsdann das Kanalprofil ausgehoben werden.⁸⁾ Es waren 78 Millionen cbm Boden (ausschließlich Erdarten) zu bewegen; der durchschnittliche Erdaushub in einem Monate belief sich auf rund 1 Million cbm.

Als größere Brücken sind zwei den Kanal in hohen Bogen überspannende feste Eisenbahnbrücken bei Grünthal und Levensau, sowie drei Drehbrücken hervorzuheben.

Die Kosten des Kanals stellen sich voraussichtlich auf 156 Millionen Mark.

§ 5. Seekanäle ohne Schleusen.

Suez-Kanal. Der Suez-Kanal, welcher als eine völlig offene Meeresstraße das Mittelmeer mit dem roten Meer verbindet, nimmt trotz der Einfachheit seiner Anlage durch die Kühnheit des Unternehmens und die Geschicklichkeit in der Ausführung unter allen neueren Werken der Ingenieurkunst einen hohen Rang ein; er verdankt seine Entstehung der Energie des Franzosen Ferdinand von Lesseps. Seine Bedeutung liegt hauptsächlich in der Abkürzung eines der wichtigsten Handelswege der ganzen Erde, des Weges zwischen dem westlichen Europa und Ostindien, dessen Länge durch den Suez-Kanal von zehn bis zwölf Tausend auf etwas über 6000 Seemeilen eingeschränkt worden ist, was einer durchschnittlichen Ersparnis von etwa 36 Reisetagen der Dampfer

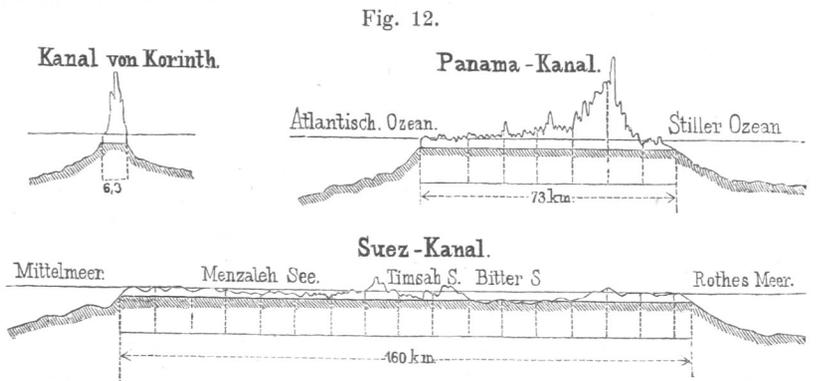
⁸⁾ Vergl. u. a. Fortschr. der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 20.

entspricht. Daneben hat der Kanal die Entwicklung eines lebhaften Verkehrs zwischen den Mittelmeerländern und dem Orient zur unmittelbaren Folge gehabt.

In Fig. 12 ist das Längenprofil des Kanals in einfachen Linien dargestellt; demselben sind die Profile von Korinth und Panama zur Vergleichung beigelegt.

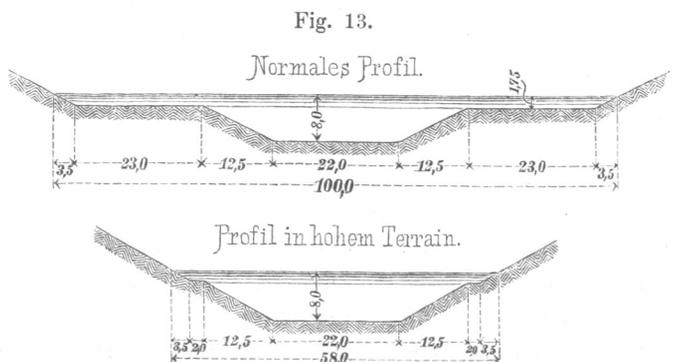
Noch vor Beendigung der Ausführung wurden eine Anzahl technischer Fragen und Zweifel lebhaft erörtert, welche schliesslich eine befriedigende Lösung gefunden

haben. So wurde unter anderem behauptet, dass wegen der fast übereinstimmenden Spiegelhöhen beider Meere das Kanalwasser an gefährlicher Stagnation leiden würde, dass der Kanal dadurch verschlammten, in den Bitterseen auch durch



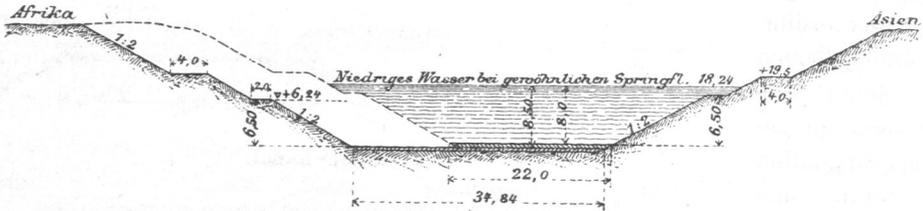
Salzablagerung und namentlich durch Sandwehen unfahrbar werden müßte. Es ist beachtenswert, in wie weit diese Befürchtungen eingetroffen sind. Durch sorgfältige, seit 1872 angestellte Beobachtungen ist festgestellt, dass vom Mai bis Oktober infolge der vorherrschenden Nord- und Nordwest-Winde der Spiegel des Mittelmeeres gehoben und der des roten Meeres gesenkt wird, sodass im September eine Differenz von 0,4 m entsteht, welche einen Strom von Nord nach Süd erzeugt. Im Winter sind diese Umstände entgegengesetzt, sodass der mittlere Spiegel des roten Meeres um 0,3 m höher als der des Mittelmeeres liegt. Die Strömungen zwischen Port Said und dem Timsah-See haben eine Geschwindigkeit bis zu 0,6 m und zwischen Suez und den Bitterseen eine solche bis zu 1,27 m i. d. Sekunde, indem der Flutwechsel bei Suez für gewöhnlich 0,8 m bis 1,5 m, bei Sturm bis 3,24 m beträgt, während bei Port Said am Mittelmeer die gewöhnliche Flut nur bis 0,44 m und die Sturmflut bis 0,95 m steigt. In den 30 000 ha großen Bitterseen findet nur noch eine 2—3 cm starke Flutschwankung statt; auch ist die Ebbe-Strömung wegen der Verdunstung daselbst geringer als die Flutströmung. Das Eintreiben von Sand und Schlamm durch diese Strömungen ist sehr unbedeutend, ebenso ist die Wirkung der Sandwehen an einigen Stellen höchstens zu 0,1 m Höhe innerhalb eines Jahres auf der Sohle zu rechnen, also durch Baggerungen leicht zu bewältigen. Endlich hat die Erfahrung gezeigt, dass die Salzablagerung, welche vor der Ausführung des Kanals in den Bitterseen in größerem Mafse vorhanden war, infolge der Ein- und Ausströmung von frischem Seewasser abgenommen hat, und zwar in den ersten sechs Jahren nach Eröffnung des Kanals um rund 66 Millionen cbm.

Der Kanal war ursprünglich mit 22 m Sohlenbreite ausgeführt (Fig. 13) und für das Begehen



zweier größten Schiffe alle 10 km mit Ausweichstellen versehen. Bei der Mindesttiefe des Kanals von 8 m wurden Schiffe bis zu 7,50 m Tiefgang zugelassen. Schon Ende der siebziger Jahre stellte es sich als notwendig heraus, dem immer mehr wachsenden Verkehr auf dem Kanal durch Erweiterung des Profils Rechnung zu tragen, um eine kürzere Fahrzeit und eine größere Betriebssicherheit zu erreichen. Besonders störten die häufigen Strandungen der Schiffe auf den Kanalböschungen, sowie das Zusammenstoßen von Schiffen an den unzuweckmäßigerweise einseitig angelegten Ausweichstellen.

Fig. 14. M. 1:1000.



In Fig. 14 ist das gegenwärtige normale Profil des Kanals dargestellt, wie es aus der einseitigen Erweiterung des durch punktierte Linien angedeuteten früheren Profils zu Ende der achtziger Jahre entstanden ist. Auf der Strecke zwischen den großen Bitterseen und Suez ist wegen der dortigen durch die Ebbe und Flut des roten Meeres veranlaßten stärkeren Strömung eine besondere Verbreiterung der Sohle um 10 m vorgesehen. In den Seestrecken hat man eine mindestens dem normalen Profile entsprechende Rinne ausgebaggert, welche durch Baken und kleine Leuchttürme bezeichnet ist. Die früher unbefestigten Ufer wurden da, wo es sich als besonders notwendig erwies, mit einem Pflasterstreifen von 1 m über Hochwasser bis 2 m unter Niedrigwasser versehen.

Bei seinen gegenwärtigen Abmessungen ist der Kanal für Schiffe von 7,8 m Tiefgang unter allen Umständen befahrbar. Nachdem an Stelle der früheren Ausweichstellen die Erweiterung des Kanals auf seiner ganzen Länge getreten ist, erfolgt jetzt die Begegnung zweier Schiffe derart, daß das südwärts fahrende Schiff an den zu diesen Zwecken in Abständen von $63 \text{ m} = \frac{1}{30}$ Seemeile längs des Kanals an beiden Ufern angebrachten Haltepfählen festlegt und darauf das nordwärts fahrende Schiff vorbeifahren läßt. Von dem sogenannten Sog des letzteren wird das inzwischen losgeworfene Schiff nach der Kanalmitte hin zugetrieben, wo es seine Fahrt ohne weiteres wieder fortsetzen kann.

Die Wirkung obengenannter Erweiterung war für den Betrieb im Kanal eine so günstige, daß, nachdem auch Nachtbetrieb bei elektrischem Licht eingeführt wurde, beispielsweise im Jahre 1891 die durchschnittliche Aufenthaltsdauer eines Schiffes im Kanal 23 Stunden 31 Minuten bei 17 Stunden 40 Minuten eigentlicher Fahrzeit betragen hat, während die Schiffe früher zum Passieren des Kanals mehr als 40 Stunden gebrauchten. Die Ostindien- und Australienfahrer des Norddeutschen Lloyd durchfahren den Kanal neuerdings, falls kein Begegnen mit anderen Schiffen stattfindet, in ungefähr 15 Stunden. Beim Begegnen mit anderen Schiffen kommen in der nördlichen Hälfte des Kanals je 15—20 Minuten hinzu; in der südlichen, der Ebbe und Flut ausgesetzten Strecke dauern die Begegnungen indessen immer noch $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden.

Es muß auch hier hervorgehoben werden, daß die Profilabmessungen des Suez-Kanals für die später gebauten Seekanäle vorbildlich geworden sind, indem das ur-

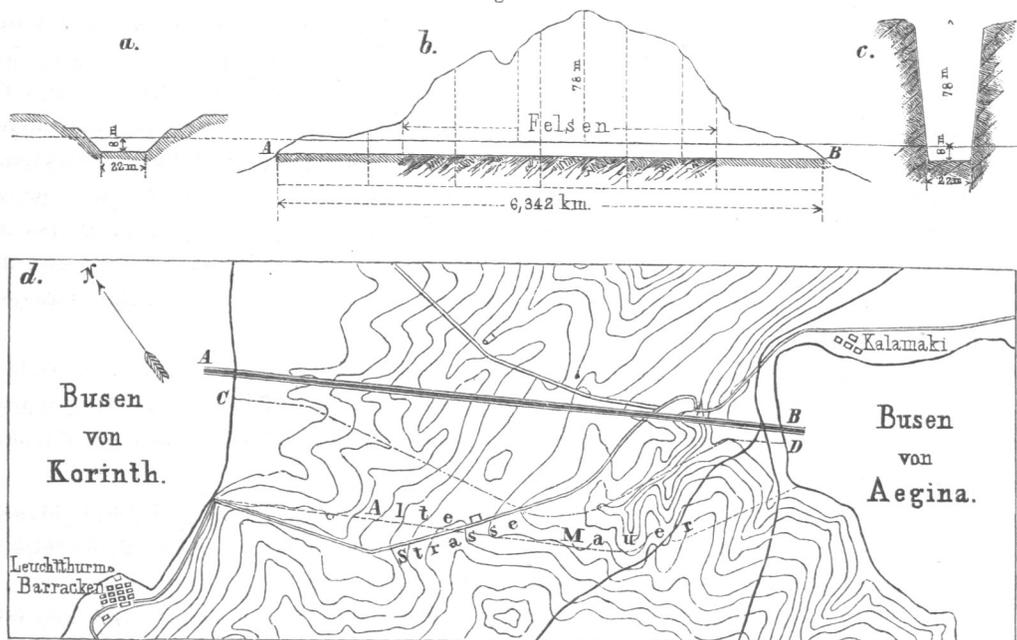
sprüngliche Profil des Kanals den einschiffigen, und sein erweitertes Profil den zweischiffigen Kanälen zu Grunde gelegt wurde.

Von großer Bedeutung für den Kanal ist die Verbindung desselben mit dem Nil durch den im alten Thale Gosen entlang geführten Süßwasserkanal. Derselbe liegt ungefähr an derselben Stelle, an der sich seit etwa 600 Jahren v. Chr. bis zum Jahre 800 n. Chr. ein das rote Meer mit dem Nil verbindender Schiffahrtskanal befunden hat. Der jetzige Süßwasserkanal mündet zunächst bei Ismailia, geht jedoch von dort weiter bis nach Suez, ist etwa 1,50 m tief mit 8 m Sohlenbreite und dient nebenbei der Schiffahrt. Sein Hauptzweck ist jedoch die Speisung der ganzen Seekanal-Anlagen und Hafenstädte mit Süßwasser, welches sonst gänzlich fehlen würde, da es in jenen Gegenden selten regnet. Von Ismailia bis Port Said läuft eine Rohrleitung, welche in je 4 km Entfernung an besonderen Anlagestellen Wasserbehälter besitzt, aus denen anliegende Schiffe, namentlich die kleineren Schleppdampfer, mittels Schläuchen bequem Wasser entnehmen können.

Die Herstellungskosten des Kanals belaufen sich einschliesslich seiner Verbreiterung auf rund 500 Millionen Mark.

Kanal von Korinth. Der Kanal von Korinth, dessen Anlage nahezu an seiner heutigen Stelle bereits von Kaiser Nero geplant, und wie mehrfach vorhandene Spuren beweisen, auch schon begonnen war, durchschneidet als offener Seekanal die etwa 6,3 km breite Landenge gleichen Namens. Der Kanal bildet eine unmittelbare Verbindung zwischen dem Busen von Korinth und dem Busen von Ägina, welche beispielsweise die Route von Triest nach Athen um 185 Seemeilen, und diejenige von Genua oder Marseille ebendahin um etwa 95 Seemeilen verkürzt.

Fig. 15.



Der Kanal, dessen Erbauung seitens des ungarischen Generals Türri angeregt wurde, ist im Jahre 1881 begonnen und im Jahre 1893 dem Verkehr übergeben worden. Die mittlere Höhe der Landenge über dem Kanalwasser beträgt 40 m, ihre höchste Erhebung ist 78 m, vergl. Fig. 15 a.

Die zu bewegenden Bodenmassen, welche sich auf 12,3 Millionen cbm beliefen, bestanden im wesentlichen aus wenig hartem, schon verwittertem Fels; nur an den Mündungen des Kanals war im ganzen auf 2 km Länge leichter Alluvialboden wegzuräumen. Infolge der felsigen Bodenbeschaffenheit erhielt der Kanal steile, mit 5:1 geneigte Böschungen. Da man indessen ein Loswaschen dieser steilen Böschungen und eine dadurch bedingte Versandung des Kanals befürchtete, so entschloß man sich nachträglich die Böschungen mit bis 1,5 m über den Kanalspiegel hinauf reichenden Verkleidungsmauern zu versehen. Auch über die genannte Höhe hinaus haben stellenweise Verkleidungen der Böschungsf lächen stattfinden müssen.

Die Breite der Kanalsole beträgt 22 m, die Wassertiefe 8 m. Als Mindestradius sind für Krümmungen 2000 m angenommen.

An den Kanal mündungen sind zum besseren Schutze der Einfahrten Molen angelegt worden. An Kunstbauten sind zwei über den Kanal gespannte Brücken zu erwähnen, welche den jetzt zur Insel gewordenen Peloponnes mit dem Festlande verbinden.

Nach den neuesten Nachrichten soll infolge der durch Wind erzeugten starken Strömungen der Verkehr mit großen Schiffen im Kanal ein außerordentlich schwieriger sein. Außerdem hegt man Bedenken wegen der Haltbarkeit der in verwittertem Fels ausgeführten steilen Böschungen.

§ 6. Der Panama-Kanal. Wenngleich die Ausführungsarbeiten des Panama-Kanals nach dem im Jahre 1888 erfolgten Zusammenbruch der Panama-Gesellschaft zur Zeit einen Stillstand erfabren haben, den die Nordamerikaner zur Förderung ihres nationalen Unternehmens, des Nicaragua-Kanals, eifrig ausgenutzt haben, so soll doch auch der Panama-Kanal mit Rücksicht auf die Möglichkeit einer Wiederaufnahme der Arbeiten hier kurz beschrieben werden.

Zur Vorgeschichte dieses Kanals sei kurz erwähnt, daß ein Durchstich der Landenge von Central-Amerika zwecks Herstellung einer schiffbaren Verbindung zwischen dem Atlantischen und Stillen Ocean wegen der hieraus für die Schiffahrt, sowie für die benachbarten Gebiete sich ergebenden sehr großen Vorteile bereits von den spanischen Eroberern geplant und seitdem nie aus den Augen der Schiffahrt treibenden Völker gelassen war. Der entscheidende Schritt zu seiner Verwirklichung wurde gethan, nachdem das Vertrauen in solche Unternehmungen durch das Beispiel des die allgemeinen Erwartungen so glänzend übertreffenden Suez-Kanals geweckt war, und der Begründer desselben, Ferdinand von Lesseps, sich an die Spitze des Panama-Unternehmens stellte.

Für die Wahl der von Lesseps vorgeschlagenen Linie Panama-Colon entschied man sich erst endgiltig, nachdem mehrere andere Linien geprüft und verworfen waren, unter denen die wichtigsten außer der des obengenannten Nicaragua-Kanals folgende waren (vergl. Fig. 16):

1. Die Tehuantepec-Linie in Mexiko, welche bei 240 km Länge und 120 Schleusen eine Durchfahrtszeit von 12 Tagen beansprucht hätte, weshalb Eads hierfür eine Schiffseisenbahn projektiert hatte.
2. Die kürzeste der Linien, San Blas, welche nur 53 km Länge und nur eine Flutschleuse gehabt hätte, aber infolge eines unter der hohen Wasserscheide auszuführenden Tunnels von 16 km Länge zu teuer gekommen wäre.
3. Die Atrato-Linie mit 290 km Länge, 3 Schleusen und drei Tagen Durchfahrtszeit.

Die von Wyse und Reclus bestimmte und zur Ausführung angenommene Trace hat ihren Ausgangspunkt am Atlantischen Ocean bei der Stadt Colon in der Bucht von Limon, wo der Atlantische Ocean ein nur 30—40 cm betragendes Flutintervall aufweist. Widrige Winde kommen an dieser Stelle selten vor und Versandungen sind wegen des an der felsigen Küste entlang streichenden Küstenstromes nicht zu befürchten.

Die Kanallinie schmiegt sich auf ungefähr 44 km Länge dem Laufe des reisenden und große Geschiebemassen mitführenden Chagres-Flusses an, dessen Lauf an vielen

Stellen durchschneidend, und kreuzt darauf die Wasserscheide, deren höchster Gipfel, der Culebra, noch nahezu 100 m über dem mittleren Meeresspiegel liegt. Von da ab verfolgt der Kanal das Thal des Rio Grande und wird bei der Stadt Panama noch 6 km weit im Stillen Ocean fortgesetzt, wo ein zwischen 3 und 6 m schwankendes Flutintervall vorhanden ist. Trotz des erdigen Meeresgrundes sind auch hier Barrenbildungen infolge fehlender Küstenströmung nicht vorhanden.

Obschon die Mehrzahl der mit der Projektierung des Kanals betrauten Techniker sich mit Rücksicht auf die umfangreichen Felsarbeiten für einen Schleusenkanal erklärten, so entschied man sich doch schliesslich auf Lesseps' Veranlassung für die Beseitigung der Schleusen (vergl. Fig. 12, S. 363), und liefs sogar den Bau einer anfangs vorgesehenen Flutschleuse fallen, nachdem man die aus dem Flutwechsel sich ergebenden Stromgeschwindigkeiten im Kanal rechnermässig zu höchstens 1,17 m i. d. Sek. ermittelt hatte. Ausser den ungeheuren und kostspieligen Felsarbeiten mufs als der schwierigste Punkt in der ganzen Bauausführung die Ableitung des Chagres-Flusses bezeichnet werden. Man beabsichtigte den während der tropischen Regenzeit gewaltig anschwellenden und die Kanallinie vielfach kreuzenden Chagres-Flufs, dessen unmittelbare Einführung in den Kanal wegen der von ihm mitgeführten erheblichen Geröllmassen nicht angänglich war, da, wo er sich von den Quellen herkommend, zum erstenmale dem Kanal nähert, mittels eines etwa 58 m hohen, beiderseits viermalig geböschten Erddammes von 50 m Kronenbreite abzufangen und aufzustauen, wodurch ein Sammelbecken von ungefähr 600 Millionen cbm Fassungsvermögen entstanden wäre, dessen Wasser in geordneter Weise teils an den Kanal, teils durch einen in Fels gebrochenen Tunnel an das neue Flußbett abgegeben werden sollte. Das Kanalprofil sollte in erdigen Strecken 22 m Sohlenbreite, 50 m Wasserspiegelbreite und 8,5 m Mindesttiefe besitzen (Fig. 17 a, S. 368), während in felsigen Strecken, wo die Böschungen nahezu senkrecht angelegt werden sollten, eine Sohlenbreite 24 m und eine Wassertiefe von 9 m vorgesehen war (Fig. 17 b). Für das Begegnen von Schiffen waren, als man noch Endschleusen herzustellen beabsichtigte, 5 bis 6 Ausweichstellen vorgesehen. Als diese Schleusen indessen aufgegeben waren und man unter dem Drucke der inzwischen eingetretenen Geldnot an eine Vertiefung des Kanalbettes nach dem Stillen Ocean zu um

Fig. 16. M. 1 : 25 000 000.

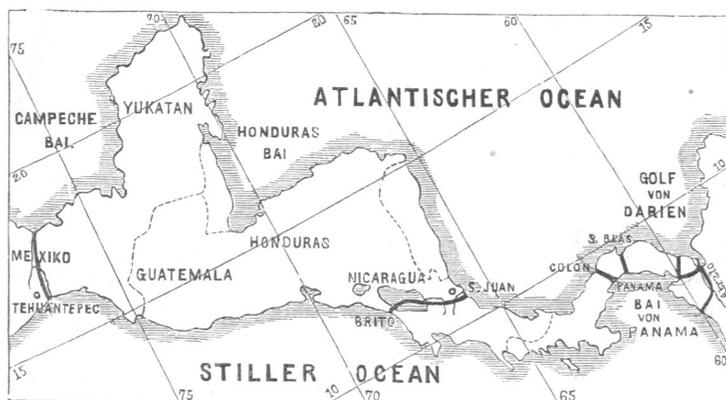
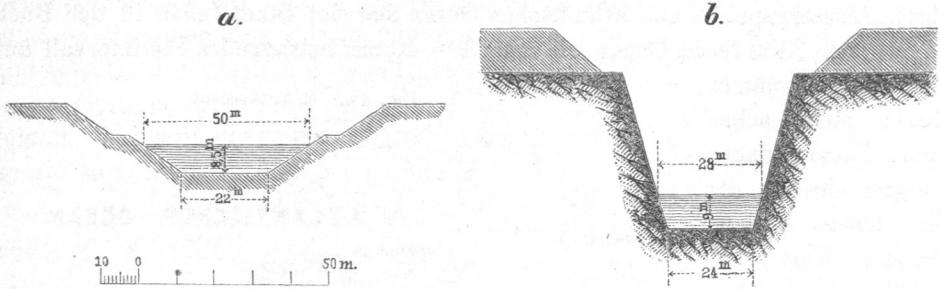


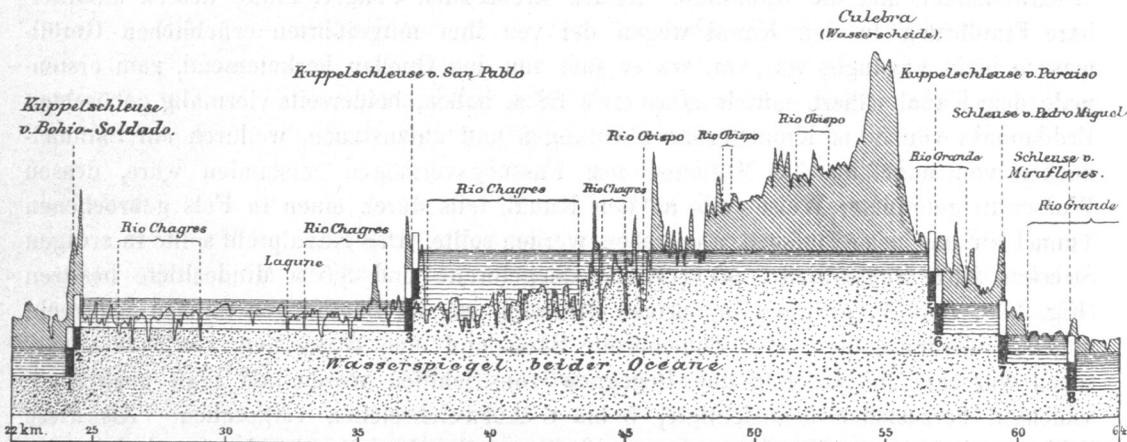
Fig. 17. Querprofile.



das Maß der dortigen Fluthöhe zunächst nicht denken wollte, glaubte man den Schiffahrtsbetrieb folgendermaßen einrichten zu können: Die vom Stillen Ocean kommenden Schiffe sollten bei Flut und halber Tide in den Kanal einfahren, während die aus dem Atlantischen Ocean einlaufenden Schiffe so fahren sollten, daß sie den Stillen Ocean bei halber Ebbe erreichen würden. Diese Fahrordnung bedingte die Anlage einer einzigen 5 km langen Ausweichestelle, die vom Atlantischen Ocean ungefähr 26 km entfernt gelegen hätte. Als im Jahre 1887 die Geldnot sich steigerte und die Fertigstellung eines Kanals ohne Schleusen aufgegeben werden mußte, zog man die Ausführung eines Schleusenkanals mit einer über die Wasserscheide führenden Schleusentreppe von neuem in Erwägung. Der Wasserspiegel der Scheitelhaltung sollte 49 m über dem gewöhnlichen Meeresspiegel liegen und von jeder Seite her mittels je 5 Schleusen mit je 11 m Gefälle erstiegen werden.⁹⁾ Die Schleusen sollten eine Nutzlänge von 180 m und eine nutzbare Breite von 18 m erhalten, mit Rücksicht auf Erdbeben aus Mauerwerk in Eisen-gerippe bestehen und aus demselben Grunde mit Schiebethoren ausgerüstet werden, vergl. Kap. XIV, S. 250. Während dieses neue Projekt von den Beteiligten noch geprüft wurde und besonders die Sicherheit der mit einem Gefälle von 11 m vorgesehenen Schleusen in Zweifel gezogen worden war, erfolgte zu Ende des Jahres 1888, nachdem der Bau eine Milliarde Franken verschlungen hatte, die schon lange vorausgesehene finanzielle Katastrophe, welche dem Unternehmen des Panama-Kanals ein urthümliches Ende bereitete.

Fig. 18. Längenprofil des mittleren Teils des Panama-Kanals. (Neuester Plan.)

Längen 1 km = 3,5 mm, Höhen 1 : 2500 (1 m = 0,4 mm).



⁹⁾ Längenprofil dieses Schleusenkanals u. a. in dem mehrfach erwähnten Hefte der Fortschr. d. Ing.-Wiss.

Im Jahre 1890 wurde auf Veranlassung des Liquidators der Panama-Gesellschaft der Plan für einen Schleusenkanal nochmals geprüft; hierbei gestaltete sich das Längsprofil, wie Fig. 18 zeigt. Ähnlich wie bei dem Plane für den Nicaragua-Kanal hat man die Gefälle an wenigen Stellen vereinigt, wodurch sich längere Haltungen und mehrere große Wasserbecken bilden würden. Für die Kuppelschleuse von Bohío-Soldado ist ein Gefälle von $2 \times 8 = 16$ angenommen, bei der Schleuse von Miraflores (Flutschleuse) ist das mittlere Gefälle 8 m, im übrigen würden Gefälle von 11 m zur Anwendung kommen. Im ganzen weist dieser neueste Plan 6 Haltungen auf, während der i. J. 1887 entworfene Plan deren 11 zeigt.

B. Kanäle für die Binnenschifffahrt.

(Binnenkanäle.)

Von Eduard Sonne.

§ 7. Geschichte.¹⁰⁾ Die Schifffahrtskanäle des Binnenlandes sind bekanntlich aus den Kanälen, welche im Flachlande und namentlich in eingedeichten Niederungen für die Zwecke der Entwässerung angelegt wurden, hervorgegangen, aber auch aus den Bewässerungskanälen wärmerer Gegenden.

Die Niederlande besitzen Kanäle seit sehr langer Zeit (die geschichtlichen Nachrichten über die Herstellung eigentlicher Schifffahrtskanäle reichen bis in das 13. Jahrhundert zurück), und wenn dies Land zu den Zeiten Karls des Kühnen und Karls des Fünften hinsichtlich der Entwicklung seines Handels und seiner Gewerbtätigkeit, demzufolge auch hinsichtlich seines Reichtums allen anderen Ländern der Erde überlegen war, so verdankte es dies aufser seinem Seehandel der Ausbildung seiner Wasserstraßen. In den Niederlanden ist der Kanal Jahrhunderte lang der Hauptvermittler des Binnenverkehrs gewesen. Noch jetzt giebt es daselbst Polder, für welche die Kanäle den Lastenverkehr ausschliesslich vermitteln; an Stelle des Landfuhrwerks werden kleine Kähne benutzt.

In Italien waren es hauptsächlich die zum Teil von Alters her bestehenden Bewässerungskanäle, welche man als Schifffahrtskanäle benutzte, und in Italien ist im 15. Jahrhundert die Kammerschleuse erfunden worden, vergl. Kap. III, S. 274.

Frankreich. Die schiffbaren Entwässerungskanäle der Niederungen des nördlichen Frankreichs sind wohl ebenso alt, wie die in den Niederlanden. Eine größere Verbreitung des Kanalbaues wurde aber erst durch die Kammerschleuse möglich; die erste französische derartige Schleuse soll im Jahre 1515 gebaut sein. Nunmehr konnten auch im Hügellande Schifffahrtskanäle ausgeführt werden und die Franzosen haben hierin schon im 17. Jahrhundert Großes geleistet.

Von den älteren französischen Kanälen sind u. a. zu nennen: Der Kanal von Briare, eröffnet 1642, welcher die Loire mit der Seine verbindet, als der erste Kanal mit einer Scheitelstrecke, und der Kanal du Midi zwischen der Garonne und dem Mitteländischen Meere, 1668 bis 1684 erbaut, 240 km lang und 99 Schleusen enthaltend. Als der Hauptsache nach aus dem vorigen Jahrhundert stammend mögen erwähnt werden: Der Kanal von Burgund zwischen Seine und Saône, angefangen 1773, vollendet 1832 und der Kanal von St. Quentin, welcher die Flussgebiete der Schelde, der Sambre, der Somme und der Oise miteinander in Verbindung setzt, bereits 1724 angefangen, in

¹⁰⁾ Litteratur am Schlusse des Kapitels.

voller Ausdehnung aber erst 1810 vollendet. Der zuletzt genannte ist beachtenswert als der erste französische Kanal, welcher einen Tunnel erhielt.

In England entwickelte sich der Kanalbau namentlich während der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts. Der Bridgewater-Kanal in der Gegend von Manchester (vergl. Fig. 1, S. 353), epochemachend wie später die Eisenbahn von Liverpool nach Manchester, wurde 1776 vollendet. Derselbe ist 60 km lang und hat 10 Schleusen. Der Trent-Mersey- oder Grand-Trunk-Kanal, 1777 vollendet, hat 91 Schleusen bei 150 km Länge. Es sind dies nur einige wenige Glieder des Kanalnetzes, mit welchem England in kurzer Zeit zu großem Vorteil für seine Industrie überspannt wurde. Der englische Kanalbau erwies sich zudem als ein gewinnreiches Unternehmen. Noch i. J. 1825 wurden Aktien verkehrsreicher Kanäle mit mehr als dem Zehnfachen ihres Nennwertes bezahlt.

Deutschland wird nicht selten als ein Land bezeichnet, woselbst für den Bau von Schiffahrtskanälen überhaupt wenig geschehen sei, auch scheiterte in früherer Zeit in der That mancher Kanalentwurf und sogar die Vollendung einzelner in Angriff genommenen Kanäle an der deutschen Kleinstaaterei. Man sollte indessen nicht unberücksichtigt lassen, daß in Mittel- und Süddeutschland die örtlichen Verhältnisse dem Kanalbau sehr hinderlich sind und daß im nördlichen Deutschland Ausführungen von Bedeutung beschafft wurden. Abgesehen davon, daß Teile von Ostfriesland und Oldenburg auf den Wasserverkehr in ähnlicher Weise angewiesen waren, wie die Niederlande, wurden im nordöstlichen Deutschland bereits im 14. Jahrhundert der Stecknitz-Kanal, welcher sich an die mit Stauschleusen versehene Delvenau anschließt, und im 16. Jahrhundert einzelne Strecken, so z. B. ein Kanal zur Verbindung der Elbe mit der Havel, hergestellt. Aus dem 17. Jahrhundert stammen der 24 km lange Friedrich-Wilhelms-Kanal, auch Mühlroser Kanal genannt, zwischen Spree und Oder (1662 bis 1668 erbaut) und andere; der erstere war schon im 16. Jahrhundert begonnen, gelangte jedoch damals nicht zur Vollendung. Auch der Finow-Kanal zwischen Oder und Havel wurde bereits im 17. Jahrhundert zum größten Teil erbaut, verfiel aber während des dreißigjährigen Krieges und konnte erst 1746 wieder eröffnet werden. Er ist 45 km lang und hat 15 Schleusen. Unter Friedrich dem Großen wurde der ältere Plauen'sche Kanal zwischen Havel und Elbe erbaut, überhaupt wurden damals die schiffbaren Verbindungen zwischen Elbe, Oder und Weichsel hergestellt. Hagen bemerkt mit Recht, daß die Binnenschiffahrtslinien in Preußen an Ausdehnung den Unternehmungen des Auslandes nicht nachstehen, und daß bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts die preussischen Kanäle zu den wichtigsten gehörten, die es überhaupt gab.

In Österreich wurde im vergangenen Jahrhundert, so viel bekannt, nur ein Kanal, der 62 km lange Wiener-Neustädter (angefangen 1791, vollendet 1804) ausgeführt. (Für die Schiffahrt wird dieser Kanal jetzt nicht mehr benutzt.)

Entwicklung des Kanalbaues im laufenden Jahrhundert. In unserem Jahrhundert ist Deutschland anfangs hinsichtlich des Kanalbaues zurückgeblieben, während derselbe in England, Frankreich, den Niederlanden, Schweden und Nordamerika kräftig gefördert wurde.

In Frankreich wurden alle größeren Flüsse, soweit dies früher noch nicht geschehen war, miteinander in Verbindung gesetzt, und es sind u. a. namhaft zu machen: Der Kanal von Nivernais (zwischen Loire und Yonne, 174 km lang) wegen der großartigen Arbeiten auf seiner Scheitelstrecke; der Rhein-Rhône-Kanal, unter Louis Philipp erbaut, 323 km lang mit 172 Schleusen; der Rhein-Marne-Kanal, 1853 vollendet, 315 km lang mit 180 Schleusen und der 1866 vollendete, jetzt in Deutschland liegende Saar-

Kohlen-Kanal, welcher sich im See von Gondersingen (*Gondrexange*) an den Rhein-Marne-Kanal und andererseits an die kanalisierte Saar anschliesst. Frankreich besafs im Jahre 1873 innerhalb seiner jetzigen Grenzen 2736 km eigentliche und 536 km Kanäle mit fließendem Wasser (*canaux assimilés aux rivières*), also schiffbare Bewässerungskanäle und dergleichen; diese Längen werden jedoch sehr verschieden, hie und da erheblich gröfser angegeben, von Nördling beispielsweise zu 4754 km für den Anfang d. J. 1870 (s. dessen „Wasserstraßenfrage“, S. 42). Im Jahre 1882 ist der Ost-Kanal vollendet, welcher unter Benutzung einer Strecke des Rhein-Marne-Kanals eine 480 km lange Verbindung zwischen der Maas, der Marne und der Saône herstellt. Hierin sind indessen drei Strecken kanalisierter Flüsse einbegriffen. Die höchste Scheitelstrecke liegt 361 m über dem Meeresspiegel.

Die französischen Kanäle sind mit geringen Ausnahmen in der Hand des Staates, während die Eisenbahnen Frankreichs großen und mächtigen Gesellschaften gehören; die ersteren sind somit als Dämpfer der Übermacht der Eisenbahnen besonders wichtig. Man hat sie in Frankreich wohl die „Moderatoren und Regulatoren“ der Eisenbahn-Transportpreise genannt. Diese Umstände tragen dazu bei, die großen Aufwendungen zu erklären, welche dort unausgesetzt für Schiffahrtskanäle gemacht werden.

In England wurden auch im ersten Viertel des laufenden Jahrhunderts Kanäle in ziemlicher Anzahl erbaut, es trat jedoch daselbst bald der Eisenbahnbau, dem sich die Franzosen bekanntlich erst später zuwendeten, in den Vordergrund. Die Länge der Kanäle in Großbritannien und Irland wird zu 4560 km, mitunter noch höher angegeben. Eine genaue Ermittlung stöfst hier wie in anderen Ländern auf große Schwierigkeiten. Für die Kanäle Englands bestimmt nachgewiesen ist durch v. Weber eine Länge von rund 3000 km.

In England sind die Kanäle und die Eisenbahnen durchweg in den Händen von Gesellschaften. Anfangs waren die Bahnen den Kanälen untergeordnet und dienstbar. Als jedoch die ersteren kräftig genug geworden waren, um den durchgehenden Verkehr zu beherrschen, fehlte es den Eisenbahngesellschaften nicht an Mitteln, den Wettbewerb der Kanäle, soweit er ihnen unbequem war, zu beseitigen. Es begann ein „Vernichtungskrieg“ der Eisenbahnen gegen die Kanäle. Manche derselben wurden von den Bahngesellschaften angekauft, andere in ein Abhängigkeitsverhältnis gebracht, einzelne sogar beseitigt.¹¹⁾ Diese Erwerbungen, welche im Laufe der Zeit fast die Hälfte der englischen Kanäle unter die Botmäßigkeit der Eisenbahnen brachten, lösten das englische Kanalnetz in einzelne machtlose Glieder auf, welche größtenteils in dem technisch unvollkommenen Zustande ihrer Erbauung geblieben sind. Gesetze, welche zum Schutze und zur Stärkung des Kanalverkehrs erlassen wurden, kamen zu spät. Immerhin ist auf günstig belegenen Strecken der englischen Kanäle noch heute ein bedeutender Verkehr vorhanden.

In den Niederlanden hat man an der Vervollkommnung und Ausdehnung der Kanäle unausgesetzt gearbeitet, sodafs daselbst die Maschen des Kanalnetzes sich dichter schliefsen, als in irgend einem anderen Lande. Die Länge der eigentlichen Schiffahrtskanäle der Niederlande (wahrscheinlich einschließlic der Seekanäle) betrug nach amtlicher Veröffentlichung am 1. Januar 1878 2840 km, die Anzahl der in denselben befindlichen Kammerschleusen 220. Die nur für die kleine Schiffahrt brauchbaren, zum Teil vereinsamt liegenden Kanäle sind hierbei jedenfalls nicht mitgerechnet.

¹¹⁾ Man vergl. die betreffende Karte in v. Weber. Wasserstraßen Nord-Europas. Berlin 1880.

Auch Belgien hat ein Kanalnetz von Bedeutung, dessen Gestaltung noch nicht abgeschlossen ist. Die Gesamtlänge der belgischen Kanäle wird zu 960 km angegeben, wovon 730 km größeren und 230 km kleineren Querschnitts.

Schweden. Nicht minder wurde in Schweden, woselbst die ersten Anfänge des Kanalbaues bereits aus dem 17. Jahrhundert stammen, eine Reihe bedeutender Schleusenstraßen zur Verbindung der zahlreichen Binnenseen des Landes untereinander und mit dem Meere hergestellt. Obwohl die Gesamtlänge der Kanäle vergleichsweise unbedeutend ist (sie beträgt nach v. Weber nur 258 km), so sind sie doch von hervorragender Wichtigkeit. In diesem Lande sind die Kanäle das Eigentum von Gesellschaften, während die Hauptlinien der Eisenbahnen seitens des Staates gebaut sind und von ihm betrieben werden. Die Regierung hat aber die Herstellung der Kanäle in wohlverstandem Interesse des Landes auf mannigfache Weise unterstützt. Zwischen Bahnen und Kanälen findet eine Wechselwirkung statt, wie wenig andere Länder eine solche aufzuweisen haben; auf der Mehrzahl der letzteren ist der Verkehr im Steigen begriffen.

Unter den russischen Kanälen sind die Ladoga-Kanäle hervorzuheben; dieselben ziehen sich in doppelter Linie an der Südseite des Ladoga-Sees auf eine Länge von 168 km entlang; man hat hier, anstatt ältere Kanäle zu erweitern, neben ihnen eine zweite Kanalverbindung zwischen dem Svir-Flusse und der Newa hergestellt.

Nord-Amerika. Hervorragend sind ferner die Leistungen der vereinigten Staaten Nord-Amerikas auf dem Gebiete des Kanalbaues; für kein anderes Land war aber die Ausbildung der dem Massentransport dienenden Verkehrsmittel von gleicher Wichtigkeit. Im Jahre 1870 zählte man in den vereinigten Staaten 81 Kanäle mit 7580 km Gesamtlänge; unter ihnen sind einige, welche von den Staaten hergestellt sind und von diesen unterhalten werden.

Im übrigen liegen die allgemeinen Verhältnisse der Schiffahrtskanäle in Nord-Amerika ähnlich wie in England, auch hier haben dieselben unter der Konkurrenz der Eisenbahnen schwer zu leiden. Die Anzahl der Kanäle, welche infolge dieser Konkurrenz eingegangen sind, ist nicht gering, während andere, z. B. diejenigen, welche die Kohlenlager des Alleghany-Gebirges mit den Städten Baltimore, New-York und Philadelphia verbinden, mit gutem Erfolg betrieben werden.

In Deutschland waren die Folgen der napoleonischen Kriege, das gerechtfertigte Bestreben, den Eisenbahnbau kräftig zu fördern und traurige Erfahrungen in Betreff des Betriebes einiger ausgeführten Kanäle einer energischen Thätigkeit auf dem Gebiete des Kanalbaues lange Zeit sehr hinderlich. Unter den in der ersten Hälfte des laufenden Jahrhunderts hergestellten Kanälen ist der Main-Donau-Kanal (Ludwigs-Kanal) zu nennen, welcher 141 km lang ist und 87 Schleusen hat. Derselbe wurde 1836 begonnen und in den vierziger Jahren vollendet. In Preußen gelangten im Jahre 1864 die Arbeiten von dem 175 km langen Elbing-Oberländischen Kanale zum Abschluß und 1873 diejenigen an dem 51 km langen König-Wilhelms-Kanale, welcher den Memel-Fluß mit der Stadt Memel verbindet. Im Havel-Gebiete und namentlich in der Nähe Berlins wurden verschiedene neue Kanäle ausgeführt, von denen der 10,3 km lange, 1850 vollendete, jetzt innerhalb der Stadt liegende Landwehr-Kanal der bekannteste ist. Zu Anfang der 80er Jahre wurde der 14 km lange Kanal Zehdenick-Liebenwalde, ein Seitenkanal der Havel erbaut. Der 74 km lange Ems-Jade-Kanal zwischen Emden und Wilhelmshaven, welcher unter den Seekanälen besprochen ist, den man aber auch zu den Binnenkanälen rechnen kann, wurde im Jahre 1887 vollendet. Moorkanäle wurden in ziemlicher Anzahl und u. a. im mittleren Ems-Gebiete in Angriff genommen, zu ihnen

gehört auch der Hunte-Ems-Kanal. Nach Angaben aus dem Jahre 1874 sollen damals in Deutschland 1876 km Kanäle vorhanden gewesen sein.

Von den neuesten umfangreichen Ausführungen und Entwürfen wird an anderer Stelle gesprochen werden.

Die Frage, ob es zweckmäfsig sei, den deutschen Schiffahrtskanälen eine gröfsere Ausdehnung zu geben, ist noch heute eine bestrittene. Wenn man ihre Beantwortung an der Hand der Geschichte versucht, so mufs man berücksichtigen, dafs weder die Verhältnisse Frankreichs, woselbst besondere Gründe für Hebung der Schiffahrtskanäle vorliegen, noch diejenigen Englands und Amerikas, woselbst mächtige Eisenbahngesellschaften die weitere Ausbildung der Kanäle gehindert haben, für Deutschland mafsgebend sein können. Das Land, dessen Verhältnisse den unseren am nächsten stehen, ist Schweden. Gleichwie in Schweden sind die Haupteisenbahnen in der Hand von Staaten, welche sich eine gleichmäfsige Förderung aller Verkehrsmittel angelegen sein lassen; ebenso wie dort sind — zum wenigsten im nördlichen Deutschland — die Vorbedingungen für eine weitere Entwicklung und eine gedeihliche Wirksamkeit der Schiffahrtskanäle vorhanden.

§ 8. Voruntersuchungen. Die technischen Voruntersuchungen, welche nach Ermittlung der Verkehrsverhältnisse und vor der Bearbeitung des Entwurfs eines künstlichen Verkehrsweges anzustellen sind, betreffen sowohl den Bau wie den Betrieb. Grundlagen für den Bau sind: die wesentlichen Breiten- und Höhenabmessungen, die bei der Linienführung anzuwendenden Krümmungshalbmesser, ferner die Steigungsverhältnisse oder bei Schiffahrtskanälen die Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Haltungen. Diese Gegenstände nennt man in ihrer Gesamtheit Tracierungs-Elemente und es ist zweckmäfsig, die Ergebnisse der bezüglichen Ermittlungen nebst sonstigen Punkten, welche die Gestaltung des Entwurfs wesentlich beeinflussen, in einem Programm zusammenzufassen.

Breiten und Tiefen, bezw. Höhen. Von den oben erwähnten Hauptabmessungen und ihren Beziehungen zu den Abmessungen der Fahrzeuge ist bei vorläufiger Besprechung der Schiffahrtsanlagen (Kap. X, C.) die Rede gewesen; hier mögen die Ergebnisse kurz zusammengestellt werden.

Als eine zweckmäfsige Wassertiefe neuer deutscher Schiffahrtskanäle mittleren Ranges ist je nach der Gröfse des zu erwartenden Verkehrs 2,0 oder 2,5 m anzunehmen, und als lichte Höhe zwischen Wasserspiegel und Unterkante der Brückenträger 4,0 m bezw. 4,5 m; eine Höhe von 3,7 m kann als zur Not zulässig bezeichnet werden.

Hinsichtlich der Weiten der Schleusen und der Breiten der Wasserquerschnitte ist man in den Reichslanden an die französischen Hauptabmessungen (Schleusenweite 5,2 m, Wasserquerschnitt nach F. 6, T. XV, jedoch mit 2 m Wassertiefe) gebunden; in den übrigen Teilen Deutschlands sind gröfsere Abmessungen am Platze. Als normales Mafs der Weite von Schleusen in Kanälen zweiter Klasse kann 8,6 m bezeichnet werden. Die Schlagschwellen der Schleusen sind 0,5 m tiefer, als die Sohlen der angrenzenden Kanalstrecken zu legen. Bei 2,5 m Wassertiefe ergibt sich die Ladefähigkeit 1,75 m tief gehender Kanalkähne zu 600 t. Die nutzbare Länge der Kammern sei 55 m (Oder-Spree-Kanal) bis 67 m (Dortmund-Ems-Kanal).

Der Wasserquerschnitt der Kanalstrecken sollte mindestens das Vierfache des gröfsten eingetauchten Querschnitts von Kähnen mittleren Tiefgangs betragen. Die Kernform des Wasserquerschnitts ist ein Trapez; Abweichungen von dieser Form werden in

§ 13 besprochen werden. Als Beispiele sind zu nennen: der Oder-Spree-Kanal: 2 m Wassertiefe, untere Breite 14 m, woraus sich bei zweimaliger Böschung eine obere Breite von 22 m ergeben würde, ferner der Dortmund-Ems-Kanal: 2,5 m Wassertiefe, Breiten 18 bzw. 28 m. Anordnungen, welche es leicht machen, den Wasserquerschnitt bei Steigen des Verkehrs zu vertiefen und zu erbreitern, sind zu empfehlen.

Bei Bestimmung aller Hauptabmessungen eines Kanals muß auf die Größe des Verkehrs Rücksicht genommen werden, denn eine Vergrößerung des Kanalquerschnitts hat eine Verminderung der Zugkraft und somit der Transportkosten im Gefolge. Dieser Vorteil wird um so größer und eine Mehrausgabe für den Bau wird um so mehr gerechtfertigt sein, je bedeutender der Verkehr ist. Eine Untersuchung hierüber findet man bereits in: Voruntersuchungen über den Hunte-Ems-Kanal (Oldenburg 1847), S. 26.

In einem Vorbericht für den VI. internationalen Binnenschiffahrts-Kongress im Haag (1894) weist Größe auf Grund eingehender Ermittlungen nach, daß für Hauptkanäle mit großem Verkehr eine Vergrößerung des Wasserquerschnitts bis auf etwa das Fünffache des Schiffquerschnitts für die Verzinsung des Anlagekapitals, sowie für Verringerung der Betriebs- und Unterhaltungskosten vorteilhaft sein würde.

Der Genannte sagt ferner:

In Rücksicht auf die Kreuzung der Schiffe ist bei Kanälen mit Schnellbetrieb zu empfehlen, als kleinste Breite in der Ebene der größten Tauchtiefe für 300 Tonnen-Schiffe die zweifache größte Breite der Schiffe + 5,0 m anzunehmen und für je 100 Tonnen Mehrtragfähigkeit diese Breite um 0,5 m zu vergrößern.

Sodann:

Das Mindestmaß der Wassertiefe unter dem Boden des beladenen Kanalschiffs ist je nach der größten Tragfähigkeit der Schiffe und nach der Betriebsart zu bemessen.

Bei einer Tragfähigkeit von

empfehltsich
für Schraubetrieb für andere Betriebsarten

200 t	40 cm	30 cm
1000 t	80 cm	50 cm

(Zwischenwerte ergeben sich durch Einschaltung.)

Wenn nach Obigem die neueren deutschen Kanäle eine ziemlich feste Gestaltung anzunehmen beginnen, so sind doch die Fälle nicht selten, in welchen infolge örtlicher Verhältnisse teils größere, teils kleinere Abmessungen angezeigt sind. Das erstere ist namentlich bei den mit dem Niederrhein in Verbindung stehenden Kanälen am Platze. Der sogenannte Merwede-Kanal, welcher Amsterdam mit dem Rhein verbindet, weist dementsprechend erheblich größere Maße auf (Wassertiefe 3,1 m, Sohlenbreite 20 m (s. F. 8^a, T. XV); Lichthöhe unter Brücken 6,5 m; die Mehrzahl der Schleusen hat 12 m Weite, die Kammern sind 25 m weit und haben 120 m nutzbare Länge). Selbst für den Elbe-Trave-Kanal zwischen Lauenburg und Lübeck sind als Schleusenweite 11 m und für die Kammern eine nutzbare Länge von 75 m und eine Breite von etwa dem Einundeinhalbfachen der Thorweite in Aussicht genommen. Der Wasserquerschnitt erhält bei 2 m Tiefe 20—22 m Sohlenbreite und zweimalige Böschungen. Die lichte Höhe unter den Brücken wird 4,2 m sein.

Zu den Kanälen, für welche kleinere Abmessungen genügen, gehören u. a. die Moorkanäle. Bei den ostfriesischen Moorkanälen ist die Wassertiefe etwa 1,5 m, die Schleusen haben eine Weite von 4—4,2 m und eine nutzbare Länge von 15—16 m.¹²⁾ Zu diesen Kanälen kann auch der Ems-Jade-Kanal gerechnet werden, insofern er die großen Moore des Regierungsbezirks Aurich erschließt. (Wassertiefe (rund) 2 m, Sohlenbreite 8,5 m, die mittleren Schleusen haben 6,5 m Weite und 33 m Kammerlänge.)

Es sei noch bemerkt, daß die Abmessungen der Schleusenammern durch die Anforderungen des Betriebes wesentlich beeinflusst werden. In dieser Beziehung scheint

¹²⁾ Deutsche Bauz. 1883, S. 506.

festzustehen, daß bei Kanälen mit starkem Verkehr in erster Linie die Beförderung einzelner Kähne mittels kleiner Schleppdampfer ins Auge zu fassen ist. Für den Dortmund-Rhein-Kanal beispielsweise wird jede andere Art des Betriebes als aussichtslos bezeichnet. Die Abmessungen der Kammern sind deshalb in der Regel so zu bemessen, daß gleichzeitig mit dem Kanalkahn ein zugehöriger Schlepper geschleust werden kann.

Grundlagen für die Linienführung. Die Mittellinie eines Kanals pflegt sich, wie bei Straßen und Eisenbahnen, aus geraden Linien und Kreisbögen zusammzusetzen. Die Halbmesser der Kurven richten sich nach der Länge der Schiffe. Bei einer Schiffslänge von 34,50 m hat man bei älteren Kanälen, z. B. bei dem Rhein-Marne-Kanal, Halbmesser bis 100 m abwärts zur Anwendung gebracht.

Man kann die in der Regel einzuhaltenden Kleinstwerte der Halbmesser aus den Untersuchungen über die Erbreiterung der Kanäle in Kurven ableiten, von welchen in § 11 die Rede sein wird. Wenn man die an genannter Stelle ermittelten Kanalbreiten als Ordinaten und die Kurvenhalbmesser als Abscissen aufträgt, so erhält man eine der Hyperbel ähnlich gestaltete Kurve. Man kann an derselben eine Stelle bezeichnen, woselbst die Erbreiterungen anfangen stark abzunehmen, und die entsprechende Abscisse als einen zweckmäßigen kleinsten Halbmesser bezeichnen. Durch dies Verfahren ergibt sich derselbe

bei Schiffen von	35	45	55 m Länge
in runden Zahlen zu	200	250	300 m.

Hiernach wäre der bei Schifffahrtskanälen in der Regel anzuwendende kleinste Halbmesser der Kurven etwa gleich dem 6fachen der Schiffslänge.

Es handelt sich übrigens hierbei um ein Maß, welches sich nicht scharf bestimmen läßt. Durch Vergrößerung der Halbmesser wird der Betrieb erleichtert, neueren Entwürfen hat man deshalb auch größere Werte als die angegebenen zu Grunde gelegt; beim Elbe-Trave-Kanal sind beispielsweise 600 m, d. i. etwa das Achtfache der größten Schiffslänge, als kleinster Halbmesser angenommen. Gröhe empfiehlt einen solchen von 500 m. Im allgemeinen haben sich für die neueren Schifffahrtskanäle ungefähr dieselben Werte herausgestellt, welche sich bei Haupteisenbahnen bewährt haben.

Die Kunstbauten (Schleusen, Brücken u. s. w.) haben auf die Linienführung insofern Einfluß, als es sich empfiehlt, bis etwa 150 m vor und hinter diesen Bauwerken Krümmungen in der Regel zu vermeiden.

Höhen- und Gefälleverhältnisse. Für die Höhenlagen der Haltungen sind in der Nähe der Kanalmündungen die Wasserstände der anschließenden Wasserläufe maßgebend; bei Festlegung der Höhenlage von Scheitelstrecken ist auf ihre Speisung Rücksicht zu nehmen, die letztere ist aber auch bei Zwischenstrecken nicht selten in Betracht zu ziehen; durch ein tiefes Einschneiden des Kanals in den Grund und Boden wird die Speisung mitunter wesentlich erleichtert. Hagen empfiehlt bei Kanälen im Hügellande in den oberen, schwieriger zu speisenden Strecken ein kleineres Schleusen-gefälle anzuordnen, als in den unteren.

Auf das Gefälle der Schleusen, also auf den Höhenunterschied der Wasserspiegel zweier benachbarten Haltungen, haben noch andere und sehr verschiedene Umstände Einfluß. Mitunter werden zwar die Gefälle durch die örtlichen Verhältnisse ohne weiteres fest bestimmt, gewöhnlich kann man aber verschiedene Anordnungen treffen, indem man die Zahl der Schleusen vermehrt oder einschränkt. Durch größere Gefälle, also durch Verminderung der Zahl der Schleusen, werden die Gesamtkosten für diese

Bauwerke vermindert, dagegen nehmen hierbei die Ausgaben für die Erdarbeiten in der Regel zu; man kann somit ein Gefälle (Normalgefälle) ermitteln, bei welchem die Baukosten ein Minimum werden.

Ausschlaggebend für die Wahl der Schleusengefälle ist aber heutzutage der Umstand, daß größere Gefälle den Betrieb wesentlich erleichtern, weil sie mit längeren Haltungen Hand in Hand gehen. Die Schleusen vermehren die Transportkosten, weil daselbst Zeitverluste unvermeidlich sind, nicht minder steigern sie die Unterhaltungskosten eines Kanals. Sie beeinträchtigen die Regelmäßigkeit des Transports und erschweren die Anwendung der Dampfkraft. Da aber die Einführung der letzteren eine Lebensfrage für Kanäle mit starkem Verkehr geworden ist, so muß man jetzt mehr als früher auf Verringerung der Anzahl der Schleusen und auf die Herstellung langer Haltungen Bedacht nehmen. Wo bei geringer Längenerstreckung große Höhenunterschiede zu überwinden sind, hat man, namentlich wenn die Speisung schwierig ist, die Gefälle soweit möglich an einem Punkte zu vereinigen und diejenigen Hilfsmittel anzuwenden, von welchen in § 25 des XIV. Kapitels die Rede gewesen ist.

Wenn es möglich ist, den zu einer Gruppe gehörenden Schleusen ein und dasselbe Gefälle zu geben, so erreicht man übrigens namhafte Vorteile durch Vereinfachung des Baues und der Unterhaltung, mitunter auch für die Speisung des Kanals.

Bei dem Rhein-Marne-Kanal beträgt das Normalgefälle der Schleusen 2,60 m, etwa ein Sechstel der Schleusen ist mit 2,72 m Gefälle ausgeführt. Außerdem kommen fünf Schleusen mit kleineren Gefällen von 2,49 bis 1,50 m vor. Das zuletzt genannte geringe Gefälle ergab sich bei der letzten Schleuse in der Nähe der Ill. — Das durchschnittliche Gefälle der Schleusen des Erie-Kanals beträgt 2,81 m, das größte 4,72 m, das kleinste 0,91 m. Bei dem Marne-Saône-Kanal beträgt das durchschnittliche Gefälle der Schleusen an der Marne-Seite 3,5 m; hier haben Schleusen ein und desselben Abschnitts thunlichst das gleiche Gefälle erhalten, beispielsweise 3,67 m bei neun zusammengehörenden Schleusen. Bei dem Entwurf für einen oberrheinischen Schiffahrtskanal wurden 3 m als günstigstes Schleusengefälle ermittelt, man fand aber, daß innerhalb der Grenzen 2,5 und 3,5 m bei den Bau- und den Betriebskosten des Kanals ein wesentlicher Unterschied nicht entsteht. Drei Schleusen des Oder-Spree-Kanals in der Gegend von Fürstenberg haben (rund) 4 m, die Wernsdorfer Schleuse hat aber nahezu 5 m Gefälle. Die Mehrzahl der Schleusen des Kanals du Centre (Belgien) hat 4,20 m Gefälle. Mehrere Schleusen des französischen Kanals du Centre haben gelegentlich eines Umbaues 5,2 m Gefälle erhalten.

Die Schleusen der Kanäle in den Niederungen haben nicht selten sehr kleine Gefälle, so z. B. in den Niederlanden, wo solche von 0,3 bis 0,8 m nicht selten sind. Es kommt auch vor, daß die Schleusen nur in gewissen Zeiten des Jahres gebraucht werden, gewöhnlich aber offen stehen, man vergleiche F. 8^b, T. XV. Dagegen haben die Schleusen in den schiffbaren Bewässerungskanälen Italiens sehr große Gefälle, im Kanal Pavia-Mailand bis 4,8, im Kanal Paderno sogar bis 6,2 m. Übrigens wird auch der Dortmund-Ems-Kanal eine Schleuse von 6,1 m Gefälle erhalten.

Bei Haltungen von geringer Länge kann man die Sohle unbedenklich horizontal anlegen, bei längeren Haltungen ist dies im allgemeinen nicht üblich. Der Umstand, daß bei starkem Wasserverbrauch sich eine große Wassermenge im Kanale bewegen muß, weist für lange Haltungen auf die Anordnung eines Sohlengefalles hin. Wichtiger ist, daß eine geneigte Kanalstrecke sich bei Ausbesserungen leichter und vollständiger trockenlegen läßt.

Der Kanal Brüssel-Charleroi soll in seiner Scheitelstrecke ein Sohlengefälle von 0,037 m, die Strecke des Erie-Kanals von Lockport nach Rochester sogar ein solches von 0,083 m f. d. Kilometer haben. Bei einem älteren Entwurfe des Weser-Elbe-Kanals ist der mittlere Teil der Scheitelstrecke zwischen den Speisegräben aus der Leine und der Ocker horizontal gelegt, rechts und links derselben hat man jedoch 0,157 m Gefälle auf etwa 60 km Länge angeordnet. Es ist somit ein Sohlengefälle von nicht ganz 0,003 m f. d. Kilometer angenommen. Man wird indessen in der Regel das Gefälle der Hauptsache nach in der Wasserspiegellinie stattfinden lassen. An der Scheitelstrecke des Rhein-Marne-Kanals wurde dies Gefälle

beispielsweise zu 0,004 bis 0,008 m f. d. km und die dem letzteren entsprechende Wassergeschwindigkeit zu 0,14 m beobachtet. Der Oder-Spree-Kanal hat in der Gegend von Fürstenwalde ein Sohlengefälle von 0,01 m, in den übrigen Strecken ein solches von 0,007 m f. d. km erhalten.

Aus dem bis hierher Besprochenen geht hervor, daß der Betrieb der Schiffahrtskanäle die baulichen Anlagen wesentlich beeinflusst. Mehr noch tritt der Betrieb bei Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit eines Kanals in den Vordergrund, denn die Grundlagen für diese Untersuchungen sind Ermittlungen über die beim Schleusen stattfindenden Zeitverluste und über die Fahrgeschwindigkeit der Schiffe. Auch für die baulichen Anlagen ergeben sich aus diesen Ermittlungen wichtige Folgerungen; die Fahrgeschwindigkeit beispielsweise hat großen Einfluß auf die Uferbefestigungen, vergleiche § 13.

Zeit für das Durchschleusen. Die zum Schleusen erforderliche Zeit betrug bislang nach Beobachtungen am Rhein-Marne-Kanal und am Saar-Kohlen-Kanal in der Regel 15 Minuten, die eigentliche Arbeit konnte in 10 Minuten ($2\frac{1}{2}$ für das Einfahren der Schiffe, $4\frac{1}{2}$ für das Entleeren der Kammer, 3 für das Ausfahren) beschafft werden. Hierbei haben die Schleusen 5,2 m Lichtweite, 35 m Länge von Schlagschwelle zu Schlagschwelle und 2,60 m Gefälle. Es entstehen aber bei den Schleusen leicht mancherlei Aufenthalte, sodafs man bislang durchschnittlich mindestens 20 Minuten für die Schleusung eines einzelnen Schiffes zu rechnen pflegte. Aus diesen Angaben folgt, daß unter Einhaltung der gewöhnlichen Arbeitszeit und unter gewöhnlichen Verhältnissen mittels gewöhnlicher Schleusen nur 30 bis 40 Schiffe täglich geschleust werden würden. Bei starkem Verkehr genügt dies nicht, weshalb man in neuerer Zeit bestrebt ist, die Zeit für das Schleusen durch zweckmäßige Anordnungen abzukürzen. Auch ohne Doppelschleusen kann man durch sorgfältige Ausbildung der zum Füllen und Entleeren der Kammern dienenden und der Vorrichtungen zur Bewegung der Thore (worüber das XIV. Kapitel zu vergleichen ist), namentlich aber durch gute Handhabung des Schleusendienstes und durch Zuhilfenahme der Nachtzeit viel erreichen.

Hebwerke ermöglichen eine namhafte Zeitersparnis, sind also auch hierdurch den Schleusentreppen überlegen. Berechnungen, welche für den Dortmund-Rhein-Kanal angestellt sind, haben ergeben, daß die Zeit, welche erforderlich ist, um ein Schiff zu Berg und ein Schiff zu Thal zu schleusen, bei diesem Kanal für Hebwerke 30 Minuten, für eine Kammerschleuse aber 44 Minuten betragen dürfte.

Nach neueren Erfahrungen sind auf dem Kanale von St. Quentin in 24 Stunden nicht selten 80 Schiffe (beladen und leer) geschleust worden und an der ersten Schleuse des Saar-Kohlen-Kanals wurden in einem Tage ohne Verstärkung des Personals 59 leere Schiffe geschleust. Eine wesentliche Abkürzung der Schleusungsdauer ist auch auf dem Kanale von Burgund ermöglicht, worüber S. 157 des XIV. Kapitels zu vergleichen ist.¹³⁾

Fahrgeschwindigkeit. Als zweckmäßige, aber nicht zu überschreitende Fahrgeschwindigkeit beladener, durch Dampfkraft beförderter Kähne auf freier Strecke

¹³⁾ Litteratur. Ermittlungen über die beim Schleusen von Schiffszügen erforderliche Zeit s. Werneburg. Kettenschiffahrt auf dem kanalisiertem Main, S. 39 u. 43. Ferner: Fontaine et Demur. Sur la durée de l'éclusage au canal du centre des bateaux chargés à 300 tonnes. Ann. des ponts et chaussées 1881, II, S. 139. — Tijdschr. van het kon. inst. van ing. 1880/81, 4. Lf., S. 95. — Bazin. Dauer der Durchschleusung und Beförderung der Schiffe auf dem Kanal von Burgund. Ann. des ponts et chaussées 1885, März u. Aug. Vergl. auch Wochenbl. f. Bauk. 1886, S. 48 und Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 68. — Barbet. Über die Drempeltiefe der Schleusen in Bezug auf die Einfahrtdauer der Schiffe und über den Einfluß der Lage der Thorschützen im Oberhaupte auf die Dauer der Schleusenfüllung. Ann. des ponts et chaussées 1885, Okt. S. 727 bis 743; Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1888, S. 224.

werden bei neueren Untersuchungen 5 km i. d. Stunde (1,39 m i. d. Sekunde) angenommen, durch eine gröfsere Geschwindigkeit steigen die Schiffswiderstände, somit die Betriebskosten erheblich. Bei Kanälen mit lebhaftem Verkehre ist zu berücksichtigen, dafs jene Geschwindigkeit bei der Kreuzung zweier Schiffe ermäßigt werden mufs. Hiertüber sind u. a. für den Dortmund-Rhein-Kanal Untersuchungen angestellt, auf welche verwiesen wird.¹⁴⁾ Man hat gefunden, dafs bei diesem Kanal infolge der Schiffskreuzungen nur auf eine mittlere Geschwindigkeit von 3,5 km i. d. Stunde (0,96 m i. d. Sekunde) gerechnet werden kann. — Eingehendere Ermittlungen über diesen Gegenstand hat Gröhe in dem bereits erwähnten Vorbericht für den VI. internationalen Binnenschiffahrts-Kongrefs gemacht, und namentlich auf Grund solcher Ermittlungen gelangt er zu den auf S. 374 erwähnten Ergebnissen bezüglich der Gröfsen des Wasserquerschnitts.

Erheblich gröfser als die oben erwähnte ist die Geschwindigkeit, mit welcher Dampfer (meistenteils Schraubendampfer) auf niederländischen Kanälen den Verkehr von Personen und den Verkehr mit Stückgütern u. dergl. vermitteln. Durchschnittlich sind 7 km i. d. Stunde vorgeschrieben. Nähere Angaben werden gelegentlich Besprechung der Uferbefestigungen (§ 13) gemacht werden. Die vorschriftsmäßigen gröfsten Geschwindigkeiten werden indessen meistens überschritten, es ist aber sehr schwierig, diese Überschreitungen festzustellen. Neuere Beobachtungen lassen übrigens vermuten, dafs es weniger auf die Fahrgeschwindigkeit, als auf die Kraft ankommt, mit welcher die Maschine arbeitet, insofern es sich um den Angriff der Ufer handelt.¹⁵⁾

Im allgemeinen sind die Grundlagen, auf welchen die besprochenen Voruntersuchungen beruhen, ziemlich schwankend. Theoretische Erörterungen, wie solche bei Strafsen und Eisenbahnen über die Abwägung der Baukosten gegen die Betriebskosten angestellt werden und bei diesen zu wichtigen, wissenschaftlich begründeten Ergebnissen führen, werden bei künstlichen Wasserstrafsen auch dann noch auf Schwierigkeiten stofsen, wenn über den Betrieb der neueren Kanäle längere Erfahrungen vorliegen. Als einen Notbehelf kann man beim Vergleich verschiedener Kanallinien sogenannte Betriebslängen bilden, indem man für jede Schleuse etwa 2 km Kanallänge rechnet.

§ 9. Generelle Tracierung.¹⁶⁾ Es mufs zunächst daran erinnert werden, dafs die Lage der Endpunkte eines lebensfähigen Schiffahrtskanals durch die Mittelpunkte der Gewinnung und des Verbrauchs (der Produktion und der Konsumtion) grofser Massen bedingt wird. Massengewinnungsplätze sind hauptsächlich die Gegenden reichen Bergbaues, insbesondere der bergmännischen Gewinnung von Kohlen und Eisen. Plätze für den Verbrauch grofser Massen sind vorzugsweise die Grofsstädte und bedeutende Hafenstädte, letztere auch wegen der Überführung der Gegenstände auf Seeschiffe.¹⁷⁾ Außerdem sind Schiffahrtskanäle als Verbindungen zwischen Wasserstrafsen ersten Ranges und als Verbindungen zwischen diesen und der See an richtiger Stelle. Dem

¹⁴⁾ Duis und Prüsmann. Der westliche Teil des Rhein-Weser-Elbe-Kanals (Dortmund-Rhein-Kanal), Berlin 1893 (nicht im Buchhandel), S. 22 der Erläuterungen. Auszug in den Mitteilungen des „Centralvereins“. 1893, Okt.

¹⁵⁾ v. Horn. Einwirkung der Dampfschiffahrt auf den Querschnitt der Kanäle. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 484.

¹⁶⁾ Die Bezeichnungen „generelle bezw. specielle Tracierung“ sind hier einstweilen beibehalten. Deutsche Wörter (z. B. allgemein statt generell, ausführlich statt speziell) sind verschiedene in Vorschlag gebracht, ohne dafs sie sich bislang einzubürgern vermocht hätten. Der Verfasser möchte „vorläufig“ und „genau“ empfehlen.

¹⁷⁾ Vergl. Meitzen. Die Frage des Kanalbaues in Preussen. Leipzig 1885.

Techniker pflegen auch in diesen Fällen die Endpunkte der Kanallinien der Hauptsache nach als etwas Gegebenes vorzuliegen.

Die Aufgabe der generellen Tracierung besteht nun bei einem Schiffahrtskanale wie bei anderen Verkehrswegen darin, auf Grund der Voruntersuchungen und gestützt auf ausgedehnte Geländeaufnahmen von genügender Genauigkeit unter den zwischen gegebenen Endpunkten möglichen Linien diejenige zu ermitteln und der Hauptsache nach festzulegen, welche sowohl den technischen Anforderungen, wie denjenigen des Verkehrs am besten entspricht. Um die Eigentümlichkeiten der vorkommenden Arbeiten und Erwägungen zu zeigen, sollen bestimmte Fälle besprochen werden, welche zugleich Aufschluß über die allgemeine Lage und Gestaltung einiger neueren, namentlich deutschen Schiffahrtskanäle geben.¹⁸⁾

Es sei hier eine Übersicht über die preussischen Binnenkanäle eingeschaltet, welche nach den Ausführungen in einer Denkschrift der Staatsregierung v. J. 1882 damals in Betracht gezogen wurden.

Die betreffenden Linien sind:

Westöstliche Kanalverbindung.

1. Rhein-Maas-Kanal.
2. Rhein-Weser-Elbe-Kanal.
3. Verbesserung der Wasserwege durch Berlin.
4. Oder-Spree-Kanal (Berlin-Kienitz).

Südnördliche Verbindung.

5. Elbe-Spree-Kanal.
6. Abzweigung nach Schwedt.

Anschlußkanäle.

7. Elbe-Trave-(Stecknitz-)Kanal.
8. Kanalverbindung Rostock-Berlin.
9. Kanal Leipzig-Elbe.
10. Donau-Oder- und Oder-Lateral-Kanal.

Die damals auch genannte Kanalisierung des Mains unterhalb Frankfurt ist bekanntlich ausgeführt, an Stelle des „Oder-Lateral-Kanals“ tritt die Kanalisierung der betreffenden Strecke der Oder.

Deutsche Seitenkanäle. Am einfachsten gestalten sich die fraglichen Arbeiten bei Seitenkanälen (Thalkanälen).

So waren beispielsweise für den Saar-Kohlen-Kanal, dessen Linienführung zum Teil durch F. 2, T. XV dargestellt ist, nicht allein die beiden Endpunkte (Saargemünd und der See von Gondersingen (*Gondrexange*) von vornherein gegeben, sondern auch die allgemeine Lage des Kanals, indem derselbe bis in die Gegend von Saar-Union auf das Saar-Thal und von dort ab auf das Thal der Naubach angewiesen war. In solchen Fällen handelt es sich im wesentlichen nur um die Wahl derjenigen Seite des Thales, welche für den Kanalbau am günstigsten ist. Auch in dieser Beziehung werden beim Saar-Kohlen-Kanal schwierige Fragen wohl nicht entstanden sein, weil allein schon die Rücksicht auf Vermeidung eines Aquadukts über die Saar die Wahl der linken Thal-seite veranlaßt haben dürfte. Unter angemessener Berücksichtigung der Gestaltung des Grund und Bodens und der Bodenbeschaffenheit wird man auch in anderen Fällen die richtige Thalseite bald auswählen.

Das Längenprofil eines Kanals, welcher wie der größte Teil des Saar-Kohlen-Kanals dem Laufe eines Baches oder Flusses folgt, stützt sich auf ein Nivellement der betreffenden Thalsohlen und es hat keine Schwierigkeit, die Anzahl und die Lage der Schleusen in ihren Grundzügen zu ermitteln, sobald über das Gefälle der letzteren Annahmen gemacht sind.

¹⁸⁾ Litteratur am Schlusse des Kapitels.

Ein neueres Beispiel bietet der Entwurf eines oberrheinischen Schiffahrtskanals. Der obere Endpunkt dieses Kanals würde die Stadt Straßburg sein, womit zugleich seine Lage an der linken Seite des Rheins gegeben ist. Bezüglich des unteren Endpunkts schwankt die Wahl zwischen Speyer und Ludwigshafen. Die linksseitigen Hochgestade des Rheins, auch die Lage der Ortschaften in der Rheinebene weisen darauf hin, den Kanal in der Regel in ziemlicher Entfernung vom Rhein anzulegen. Bei 99,5 km Länge desselben würde sein Gesamtgefälle vom Ill-Rhein-Kanale bis zum Normalwasserstande der vorletzten Haltung bei Speyer 40,4 m betragen; dasselbe ist auf 15 Schleusen ungleichmäßig verteilt. — Die Ausführung dieses Kanals ist bekanntlich zur Zeit in weite Ferne gerückt.

Kanalstrecken, deren allgemeine Lage durch die Richtung von Flüssen bestimmt ist, weisen ferner der sogenannte Dortmund-Ems-Kanal und der Dortmund-Rhein-Kanal auf; von diesen wird weiter unten gesprochen werden.

Deutsche Scheitelkanäle. Etwas verwickelter sind die Aufgaben der generellen Tracierung, wenn eine Wasserscheide zu überschreiten ist. Die Lage der Scheitelhaltung wird nicht selten durch die tiefste im Bereiche der Kanallinie befindliche Einsattelung bestimmt. Nach Ermittlung dieser Stelle muß sorgfältig untersucht werden, ob sich für die Scheitelstrecke Speisewasser in ausreichender Menge findet. Bei Moor-kanälen und bei Kanälen in Niederungen bereitet diese Angelegenheit allerdings keine Schwierigkeiten. Ein Beispiel ist der Hunte-Ems-Kanal (F. 4 u. 5, T. XV), bei dessen Linienführung aber andere lehrreiche Erwägungen anzustellen waren. Das Nähere läßt sich nicht ohne Karte erörtern, weshalb auf den Bericht über die betreffenden Voruntersuchungen (Oldenburg 1847) zu verweisen ist.

Unter den neueren Scheitelkanälen im Flachlande ist zunächst der Oder-Spree-Kanal namhaft zu machen, s. T. XVI, F. 1^a u. 1^b. Ein wesentlicher Zweck desselben: Erleichterung des Transports der oberschlesischen Kohlen nach Berlin, wies darauf hin, den Anschluß an die Oder nach Fürstenberg zu legen, also ziemlich weit oberhalb der Stelle, woselbst der auf S. 370 erwähnte Friedrich-Wilhelms-Kanal in die Oder mündet. Als westlicher Endpunkt wurde der von der Dahme durchflossene Seddin-See gewählt, welcher eine natürliche, gut schiffbare Wasserverbindung mit Berlin hat. Im übrigen handelte es sich darum, außer einem Teil des Laufs der Spree auch einen Teil des Friedrich-Wilhelm-Kanals und einige Seen zu benutzen. Auf eine Gesamtlänge von 87 km entfallen (rund) 50 km neugegrabene Kanalstrecken; der bestehende Kanal war auf 12 km Länge zu erweitern. Die Höhenverhältnisse (s. F. 1^a, T. XVI) können ziemlich günstig genannt werden, indem nur acht Schleusen zu bauen waren. — Dieser Kanal ist i. J. 1890 vollendet.

Bei dem Elbe-Trave-Kanal, welcher die Elbe mit der Ostsee in Verbindung bringt, waren die Endpunkte Lauenburg und Lübeck von vornherein gegeben; eine zweckmäßige Lage des Kanals war durch eine seit Jahrhunderten bestehende, die Flüßchen Delvenau und Stecknitz benutzende Wasserstrasse angezeigt. Man hat indessen nicht versäumt, verschiedene Linien und sogenannte Varianten zu studieren; unter den ersteren mag die Wackenitz-Linie, welche das Mecklenburger Land berührt, genannt werden. Auch bei diesem Kanal kommen mäßige Höhenunterschiede in Betracht. Bei 67 km Kanallänge liegt die Scheitelstrecke (in runden Zahlen) nur 8 m über dem mittleren Wasserstande der Elbe und 12 m über der Ostsee. Dementsprechend genügen an der Westseite drei und an der Ostseite sechs Schleusen von mäßigem Gefälle. — Die Ausführung des Elbe-Trave-Kanals ist jetzt (1894) eingeleitet.

Kanäle zwischen Rhein, Ems, Weser und Elbe. Die Kanäle, welche die Flüsse Rhein, Ems, Weser und Elbe miteinander in Verbindung setzen, sind im Zusammenhange zu besprechen, obwohl der Stand der Arbeiten für die einzelnen Strecken ein sehr verschiedener ist. An dem Kanal von Dortmund nach den Emshäfen (dem sogenannten Dortmund-Ems-Kanal) sind die Bauarbeiten seit dem Jahr 1892 im Gange, die Ausführung des Dortmund-Rhein-Kanals ist von der preussischen Regierung (bis jetzt ohne Erfolg) beantragt, für die sonstigen Kanalstrecken liegen ältere und neuere Entwürfe vor.

In technischer Hinsicht sind zu unterscheiden:

1. Ein Seitenkanal im Gebiete des Rheinstromes,
2. Scheitelstrecken zwischen Rhein, Ems und Weser, sowie zwischen Weser und Elbe,
3. Seitenkanäle längs der Ems,
4. Die Verbindungen der Weser und der Elbe mit jenen Scheitelstrecken,
5. Verschiedene Zweigkanäle.

Als zweckmäßige Endpunkte haben sich am Rhein Duisburg-Ruhrort und an der Elbe die Gegend von Magdeburg in Übereinstimmung mit älteren Entwürfen herausgestellt, auch die Stelle, woselbst die Weser gekreuzt wird, hat eine wesentliche Verschiebung nicht erfahren; diese Kreuzung wird bei Minden stattfinden, also da, wo die Weser in die norddeutsche Ebene tritt. Im übrigen zeigen die aus verschiedener Zeit stammenden Entwürfe eine stetige Verringerung der Anzahl der Schleusen, also eine Bevorzugung langer Haltungen.

Für den Rhein-Weser-Kanal wurde noch in den 60er Jahren eine Überschreitung des Teutoburger Waldes in der Gegend von Bielefeld untersucht, jedoch wegen zu großer Meereshöhe (etwa 104 m) trotz vergleichsweise geringer Längenerstreckung aufgegeben. Immerhin wies ein anderer damals aufgestellter Entwurf, bei welchem der Teutoburger Wald umgangen wurde, zwischen Rhein und Weser noch 20 Schleusen in 250 km Kanallänge auf. Der heute vorliegende Entwurf dagegen hat nur fünf Schleusen und drei Schiffshebewerke; zwei der letzteren liegen nebst zwei Schleusen im Rheingebiet, woselbst nach Bearbeitung einer großen Zahl von Linien die an der Südseite des Emscher-Flusses ermittelte als die bauwürdigste bezeichnet ist. Über die umfangreichen Vorarbeiten, welche zur Bevorzugung dieser Linie geführt haben, giebt die bereits erwähnte Arbeit von Duis u. Prüsmann Aufschluß.

Von der Höhenlage und Länge der an den südlichen Emscher-Kanal sich anschließenden Scheitelstrecke wird weiter unten die Rede sein; in geringer Tiefe unter derselben konnte eine Linie ermittelt werden, welche es gestattet, eine schleusenfreie Strecke von 140 km Länge herzustellen. Dies ist die sogenannte Mittelland-Haltung (vergl. F. 2^b, T. XVI), in welcher der „Mittelland-Kanal“, wie die nach Weser und Elbe führenden Kanäle in ihrer Gesamtheit neuerdings genannt worden, von dem Rhein-Ems-Kanal abzweigt. Der Spiegel der Mittelland-Haltung liegt in einer Höhe von (rund) 50 m über N. N.

Rücksichten auf die Herstellung langer Haltungen sind auch Veranlassung, daß man beim Entwurf des Weser-Elbe-Kanals eine nördliche, an der Grenze der norddeutschen Ebene sich hinziehende Linie vor einer andern bevorzugt, welche Braunschweig, Oschersleben und Magdeburg berührend allerdings den örtlichen Verkehr erleichtern würde. Der Anschluß der erstgenannten Linie an die Elbe liegt bei Wollmirstedt südlich von Magdeburg, der Mündung des seit längerer Zeit bestehenden Plauer- oder Ihle-Kanals gegenüber, welcher die Havel mit der Elbe verbindet. Die Höhe des Kanalspiegels der Scheitelstrecke, welche eine Länge von 165 km erhalten hat, ist 57,5 m über N. N.; mittlere Wasserstände der Elbe liegen an der Mündungsstelle etwa 40 m über N. N. Der neueste Entwurf weist bei etwa 220 km Länge zwischen Weser und Elbe nur 9 Schleusen auf, während früher deren 13 in Aussicht genommen waren.

Um die großen Längenerstreckungen der Haupthaltungen des Mittelland-Kanals zu erreichen, hat man darauf verzichtet, selbst größere Städte unmittelbar zu berühren, wenn ihre Höhenlage ungünstig war, und hat für dieselben Zweigkanäle in Aussicht genommen. Man hat ferner behufs Einschränkung der Zahl der Schleusen bei Flussskreuzungen und selbst bei der Weser durchweg Kanalbrücken (Aquadukte) trotz ihrer bedeutenden Kosten in Aussicht genommen.

Der Dortmund-Ems-Kanal erfordert eine etwas ausführlichere Besprechung. Die in den Gebieten des Rheins und der Ems liegende, in F. 2^a nur zum Teil gezeichnete Scheitelstrecke dehnt sich (F. 2^b, T. XVI und Fig. 19, S. 382) von Herne bis Münster aus, sie hat eine Länge von 67 km, der Wasserspiegel liegt auf 56 m über N. N., somit etwa 34 m höher, als mittlere Wasserstände des Rheins bei Ruhrort (22 m über N. N.) und etwa 56 m höher, als das Niedrigwasser der Ems bei Papenburg.

Bei Herne wird ein Sammelhafen hergestellt, in dessen Nähe der Anschluß des nach dem Rhein führenden Kanals stattfinden wird. Unfern Henrichenburg zweigt von der Scheitelstrecke ein bei Dortmund endigender Zweigkanal ab, Wasserspiegel bei Dortmund 70 m über N. N. An Stelle von vier Kammerschleusen, mittels welcher der Höhenunterschied von 14 m nach Maßgabe eines älteren Entwurfs (F. 2^a, T. XVI) überwunden werden sollte, wird ein Schiffshebewerk erbaut werden, vergl. Fig. 19 und Kapitel XIV, § 25. Die Speisung der Scheitelstrecke muß aus der Lippe, entweder mittels eines Pumpwerks oder mittels eines Speisekanals, erfolgen.

Oberhalb Münster, woselbst die Ems nahezu erreicht ist, senkt sich der Kanal mittels zweier Kammerschleusen in die obenerwähnte Mittelland-Haltung (50 m über N. N.), von dieser Haltung sind 34 km dem Dortmund-Ems-Kanal und dem Mittelland-Kanal gemeinschaftlich. Bis Bevergern, woselbst der letztgenannte Kanal abzweigt, war die Lage durch Rücksichten auf diese Abzweigung bestimmt.

Fig. 19 zeigt die Längenprofile der Strecken Herne-Lüdinghausen und Dortmund-Henrichenburg, wie sie sich durch genaue Bearbeitung des Entwurfs ergeben haben.

Bei Bevergern beginnt der Kanal den Charakter eines Seitenkanals anzunehmen, er erreicht die Ems in der Nähe von Lingen, verläßt dieselbe aber alsbald wieder und schließt sich dann bis Meppen

Fig. 19 u. 20. Dortmund-Ems-Kanal.

Fig. 19. Längenprofile Herne-Lüdinghausen und Dortmund-Herrichenburg.

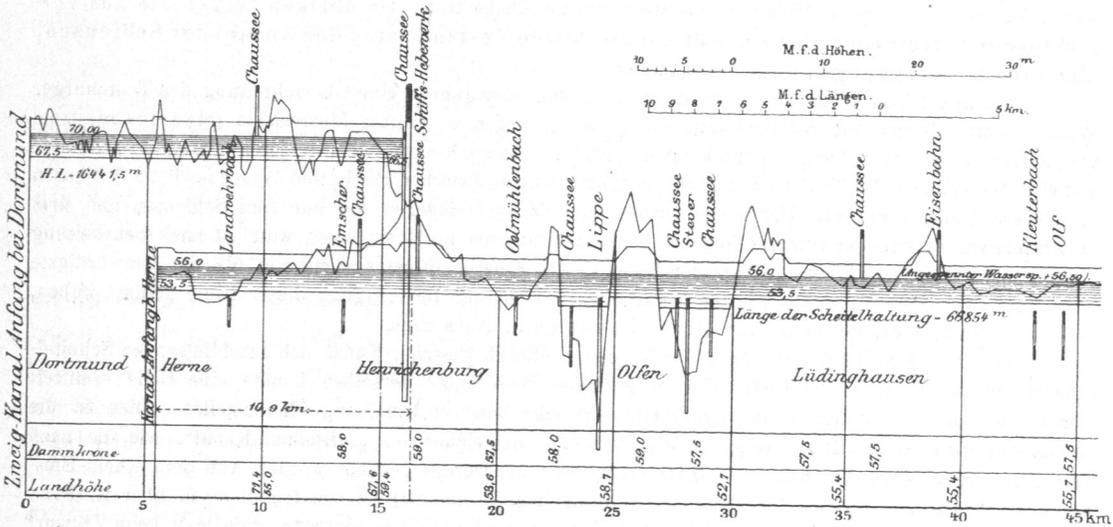
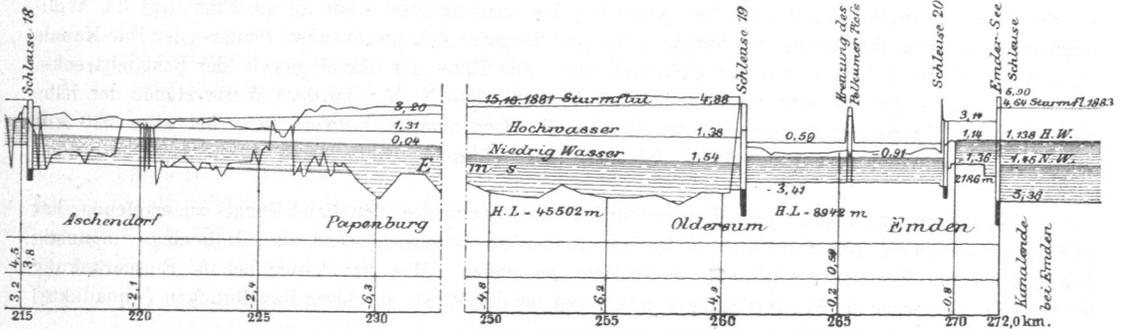


Fig. 20. Längenprofil Aschendorf-Emden.



der Lage des seit längerer Zeit bestehenden, jetzt zu erweiternden sogenannten Haneken-Kanals an. Auch die Strecke Meppen-Papenburg war früher als Seitenkanal behandelt (F. 2^b, T. XVI). Rücksichten auf die Landwirtschaft (Schonung wertvoller Wiesen und Erhaltung der Überflutung der Niederungen durch die Hochwasser der Ems) haben veranlaßt, daß man hier einer Kanalisierung der Ems den Vorzug gegeben hat, deren letzte Schleuse bei Herbrunn unfern Aschendorf liegen wird. Von hier bis Oldersum wird die freie Ems benutzt.

Die Herstellung eines Kanals zwischen Oldersum und Emden (vergl. F. 2^b, T. XVI und Fig. 20) ist erforderlich, weil dort der Wellenschlag auf der Ems schon so stark ist, daß Kanalkähne im freien Flusse nicht mit Sicherheit würden fahren können. — Es sei noch bemerkt, daß die Gesamtlänge der Wasserverbindungen zwischen Dortmund, Herne und Emden 283 km ist; hiervon sind 187 km gegrabener Kanal, 62 km kanalisierte Ems und 34 km freie Ems.

Bei dem Kanale von Dortmund nach den Emshäfen zeigt sich die mehrfach besprochene Erscheinung einer Zunahme der Länge der Haltungen recht deutlich. Der vorläufige Entwurf, dessen Längenprofil in F. 2^a, T. XVI wiedergegeben ist, zeigt von Dortmund bis Papenburg auf 220 km Länge 26 Schleusen, was einer durchschnittlichen Länge der Haltungen von 8,6 km entspricht. — Bei der Ausführung erhalten der Kanal bzw. die kanalisierte Ems bis Papenburg eine Länge von 230 km, bis Herbrunn bei Aschendorf beträgt die Länge 215 km. Hierauf entfallen ein Hebewerk und 18 Schleusen,

woraus sich eine durchschnittliche Länge der Haltungen von etwas mehr als 11 km ergibt.

Aus der Besprechung der Linienführung des Dortmund-Ems-Kanals und des Mittel-land-Kanals ergibt sich, daß man bei sachgemäß behandelten neueren Kanalentwürfen die großen Kosten nicht scheut, welche die Einschränkung der Zahl der Schleusen, die Überführung eines Kanals selbst über größere Flüsse und das Aufsuchen kurzer, die Endpunkte soweit möglich unmittelbar verbindender Linien für den Bau mit sich bringen. Dies ist ohne Zweifel ein richtiges Verfahren. Die neuen Kanäle entnehmen ihre Berechtigung aus der Voraussetzung eines sehr bedeutenden Verkehrs und haben Einschränkung der Transportkosten großer Massen zum Ziel. In erster Linie steht somit die Verringerung der Betriebskosten, ein billiger Bau erst in zweiter Linie.

Daß die Kosten des Betriebs bei einem neuen Kanale von der Art der besprochenen viel geringer sein werden, als bei der Mehrzahl der bestehenden Kanäle, geht aus einem Vergleich der betreffenden Längenprofile und Querschnitte ohne weiteres hervor. Dies ist von Sympher im Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 383 (Die französischen Wasserstraßen und der Dortmund-Ems-Kanal) schriftlich und durch beachtenswerte bildliche Darstellungen näher begründet.

Kanäle in Frankreich, Holland und Belgien. Unter den neueren Kanälen außerhalb Deutschlands sind der Marne-Saône-Kanal in Frankreich, der Merwede-Kanal in Holland und der Kanal du Centre in Belgien hervorzuheben. Ersterer, teils Seitenkanal teils Scheitelkanal, ist seit längerer Zeit im Bau und war im Jahre 1892 noch nicht ganz vollendet. Die Gesamtlänge ist 153 km. Von den beachtenswerten Einzelheiten wird weiter unten an verschiedenen Stellen die Rede sein.

Der Merwede-Kanal, auch Rhein-Kanal genannt, verbindet Amsterdam mit dem Lek und weiter mit der Stelle der Waal, woselbst dieser Fluß nach Aufnahme der Maas den Namen Merwede annimmt.¹⁹⁾ Ein älterer, von den Ständen der Niederlande aber nicht genehmigter Plan nahm eine von Utrecht in südöstlicher Richtung laufende Linie in Aussicht, welche die Waal bei Dodewaard (etwa in der Mitte zwischen Tiel und Nymwegen belegen) erreicht haben würde. Den Ausschlag für die ausgeführte Linie dürfte der Umstand gegeben haben, daß dieselbe eine Verbindung nicht allein mit dem Rhein, sondern auch mit den Wasserstraßen Belgiens gewährt. Nach Feststellung der Endpunkte war die allgemeine Lage im wesentlichen durch bestehende, aber wenig leistungsfähige Kanäle gegeben, bei den berührten Städten wurden jedoch erhebliche und zum Teil sehr kostspielige Linienänderungen erforderlich. Die Länge des Kanals beträgt ausschließlich der an den Endschleusen befindlichen Vorhäfen (rund) 70 km. Die Höhenverhältnisse sind günstig; sie gehen aus F. 8^b, T. XV hervor. Einen Lageplan findet man u. a. in den Ann. des ponts et chaussées 1890, Pl. 15. Das Bestreben, lange Haltungen herzustellen, zeigt sich auch hier: eine bei Nigtevecht (in der Gegend von Amsterdam) anfangs geplante Schleuse wurde bei der genauen Bearbeitung des Entwurfs beseitigt; hierdurch ist die Zahl der Schleusen auf sechs beschränkt worden. — Der Kanal ist i. J. 1893 dem Verkehr übergeben.

Der belgische Kanal du Centre wird zwei durch Industrie und Bergbau hervorragenden Gegenden, in welchen die Kanäle von Charleroi und von Condé liegen, größere Verkehrsgebiete eröffnen, indem er jene Kanäle miteinander in Verbindung bringt. Er verfolgt die Thäler zweier kleinen Flüsse und hat eine Länge von nur 21 km. Beachtenswert ist er hauptsächlich wegen des bedeutenden Gefälles. Der Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel des Kanals von Condé bei Mons und eines bislang bei La Louvière endigenden Zweigkanals des Kanals von Charleroi, an welchen der Kanal du Centre sich anschließt, beträgt 89,5 m, sechs Schleusen und vier Hebewerke sind erforderlich, um diese Höhe zu überwinden. Da bereits i. J. 1866 eine Teilstrecke vollendet war, dürfte der Kanal zur Zeit (1894) fertig sein. Die Kenntnis der Betriebskosten dieses Kanals wird für die Entscheidung über die Bauwürdigkeit neuerer Kanäle mit starken Gefällen von großer Bedeutung sein.

¹⁹⁾ Beiläufig sei bemerkt, daß in der Nähe der genannten Mündung eine Abdämmung des jetzigen Laufs der Maas stattfinden wird, sobald das große Unternehmen einer Verlegung ihrer Ausmündung nach dem Holländisch Diep sich der Vollendung genähert hat. In jenem Sperrdamme wird behufs Aufrechterhaltung der Schifffahrt zwischen Belgien einerseits, Rotterdam und Amsterdam andererseits die auf S. 241 besprochene Fächerschleuse erbaut werden.

Geplante Kanäle. Von den zahlreichen Kanalentwürfen, welche zur Zeit vorliegen, kann hier nur in aller Kürze gesprochen werden.²⁰⁾

Die Frage, auf welche Weise der Stadt Leipzig die Vorteile einer Wasserstrasse verschafft werden könnten, steht mehr als 20 Jahre auf der Tagesordnung. Es sind vier wesentlich verschiedene Anschlüsse an die Elbe möglich, von denen einer durch Vermittelung der Saale stattfinden würde. Beachtenswert ist hier namentlich die Abwägung der Vorteile und Nachteile der verschiedenen Linien gegeneinander. Wegen des weiteren sei auf Havestadt u. Contag, Die Leipziger Kanalfrage (Leipzig 1892), verwiesen.

Ein Donau-Oder-Kanal würde eine ziemlich hochliegende Scheitelstrecke erhalten. Nach dem neuesten Entwurf²¹⁾ würde seine Länge von Wien bis Oderberg 274 km betragen; Wien 160, Scheitel 283,5, Oderberg 202 m über dem Meere. Nördling begründet in seinem bereits erwähnten Buche²²⁾ zahlreiche Bedenken gegen den Bau neuer Kanäle mit hochliegenden Scheitelstrecken und namentlich auch gegen den Bau eines Donau-Elbe-Kanals (Scheitel 550 m über dem Meere), Bedenken, welche bei dem neuerdings verfolgten Plane, den Donau-Main-Kanal (Scheitel 418 m über dem Meere) zeitgemäß umzugestalten, nicht unberücksichtigt bleiben dürften.

Gelegentlich des internationalen Binnenschiffahrts-Kongresses zu Frankfurt a. M. (1888) ist über den Nutzen der Schiffahrtskanäle für die Landwirtschaft eingehend verhandelt. Das Ergebnis dieser Verhandlungen, welches hauptsächlich die Tracierung und die Vorarbeiten beim Entwerfen neuer Kanäle betrifft, war folgendes: „Bei der Kanalisierung von Flüssen und bei der Anlage von Kanälen ist, soweit es ohne Schädigung des Hauptzwecks, nämlich der Herstellung einer bequemen und leistungsfähigen Schiffahrtsstrasse geschehen kann, auf die Melioration der neben dem Flusse gelegenen und der durch die Kanäle durchschnittenen Grundstücke so viel wie möglich Rücksicht zu nehmen. Zu diesem Zwecke ist bei der Aufstellung der Projekte der Einfluß der auszuführenden Arbeiten auf die Verhältnisse des Tag- und Grundwassers besonders zu beachten, ferner zu erwägen, in welchem Umfange man den speciellen landwirtschaftlichen Bedürfnissen gerecht werden kann.“

Reihenfolge der Arbeiten. Die Reihenfolge der einzelnen Arbeiten der generellen Tracierung ist bei Kanälen zunächst dieselbe wie bei Eisenbahnen; es handelt sich um Rekognoszierung, Herstellung von Übersichtskarten, Nivellements, Entwerfen verschiedener Kanallinien, Darstellung genereller Längenprofile und überschlägliche Ermittlung der Kosten des Baues und des Betriebes der Linien, endlich um einen Vergleich derselben hinsichtlich ihrer Bauwürdigkeit. Außerdem sind geologische und Bodenuntersuchungen wie beim Eisenbahnbau anzustellen. Wegen der Einzelheiten der im Vorstehenden bezeichneten Arbeiten wird auf das I. Kapitel des ersten Bandes dieses Handbuchs (2. Aufl.), S. 50 u. ff. verwiesen.

Dem Kanalbau eigentümlich sind außer den Ermittlungen des Wasserbedarfs (§ 16) die Untersuchungen über die Beschaffung des Speisewassers. Bei diesen handelt es sich um Beobachtung der atmosphärischen Niederschläge und der Grundwasserverhältnisse (Kap. I dieses Werks), um Bestimmung der Abflussmengen der dem geplanten Kanäle benachbarten Bäche und Flüsse (Kap. II), um Ermittlung der zweckmäßigsten Speiseanlagen (vergl. § 17 dieses Kapitels), endlich um Untersuchungen bezüglich des Einflusses, welchen die Ausführung der letztgenannten Anlagen auf bestehende Mühlen u. s. w. hat. Über diesen Punkt geben u. a. die beim Entwurf eines Mosel-Saar-Kanals ange-

²⁰⁾ Litteratur am Schlusse des Kapitels. — Von den Plänen für Kanalverbindungen zwischen Berlin und Rostock, ferner zwischen der Spree und der mittleren Elbe einerseits, der unteren Oder andererseits ist jetzt wenig die Rede; in der 2. Auflage dieses Werks ist über dieselben Einiges mitgeteilt.

²¹⁾ Mitteilungen des „Centralvereins“, 1893, November.

²²⁾ Die Selbstkosten des Eisenbahn-Transports und die Wasserstrassenfrage in Frankreich, Preußen und Österreich. Wien 1885.

stellten Ermittlungen (s. Knobloch. Mosel-Saar-Kanal, S. 23) ferner Graeff. Canaux et chemins de fer, S. 228 beachtenswerte Aufschlüsse.

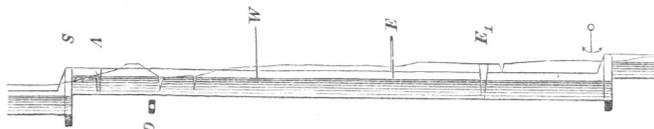
Die Darstellung des generellen Entwurfs erfolgt etwa in der Weise der Figuren 1 u. 2 auf Taf. XV. Die Höhenzahlen sind für die Sohle und außerdem für den normalen Wasserspiegel des

Kanals einzutragen. Als Symbole für die einzelnen Bauwerke kann man die aus Fig. 21 ersichtlichen wählen.

In derselben bezeichnen: S eine

Schiffsschleuse, — A eine Ablaufschleuse, — D einen Durchlaß, — W eine Wegeüberführung, — E eine Eisenbahnüberführung, — E_1 einen Einlaß. Der Anker bezeichnet einen Hafen. Die Schleusen werden mit fortlaufenden Nummern versehen, dieselben Nummern sind für die oberhalb der Schleusen befindlichen Haltungen anzuwenden. Man vergleiche auch die Figuren 19 und 20, S. 382.

Fig. 21.



§ 10. Specielle Tracierung. Die generelle Tracierung dient zur Beurteilung der Bauwürdigkeit eines Kanals, dagegen sollen durch die specielle Tracierung die Grundlagen für die Ausführung des Baues gewonnen werden. Dementsprechend ist bei der letzteren unter Zugrundelegung der Ergebnisse der generellen Arbeiten und mit Hilfe genauer Aufmessung des Geländes die Lage des Kanals und seiner Bauwerke endgiltig festzustellen, auch die Mittellinie des Kanals örtlich festzulegen. Ähnliche Arbeiten sind bei der Tracierung von Speisegräben, von Be- und Entwässerungskanälen u. s. w. vorzunehmen.

Bei der Festlegung der Linie sind zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem der Kanal auf einem Gelände mit merklicher Querneigung oder in ebener Gegend zu führen ist. Im erstgenannten Falle bieten die Höhenverhältnisse des Geländes einen Anhaltspunkt für die Tracierung, im zweiten treten die Rücksichten auf den Grundriß in den Vordergrund und diejenigen auf die Höhenverhältnisse in den Hintergrund. Die im ersten Falle zu beobachtenden Regeln sind im Nachstehenden gegeben, sie werden bei neueren Schiffahrtskanälen vergleichsweise selten zur Anwendung kommen, haben aber trotzdem außer einem sogenannten akademischen deshalb einigen Wert, weil bei der Tracierung von Speisegräben und anderen offenen Wasserleitungen ein ähnliches, aber durch die Gefälle der Wasserspiegel beeinflusstes Verfahren am Platze ist.

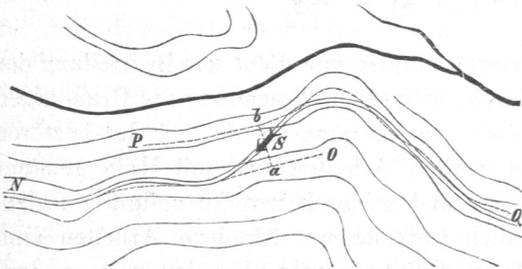
An Thalebeneben oder überhaupt bei merklicher Querneigung des Geländes läßt sich die Kanallinie mit Hilfe einer Leit- oder Nulllinie (s. § 10, Kap. I des ersten Bandes, 2. Aufl.) ermitteln, es muß jedoch zuvor der Höhenunterschied zwischen ihr und der Kanalsohle festgestellt werden. Zu diesem Zwecke zeichnet man die Linien AB , A_1B_1 u. s. w. (F. 6, T. XV), welche den Querneigungen des Geländes entsprechen, derart in das Kanal-Querprofil ein, daß die Auftragsflächen und die Einschnittsflächen einander decken und bestimmt die Abstände CM , CM_1 u. s. w. Die Lage der Punkte M , M_1 ... ist von jenen Querneigungen, jedoch in geringem Grade, abhängig. Man addiert nun den für eine gegebene Querneigung geltenden Abstand CM zu der Höhenzahl h der Kanalsohle und erhält durch Ermittlung derjenigen Terrainpunkte, welche die Höhe $h + CM$ haben, Punkte der Leitlinie. In der Regel wird man hierbei eine mittlere Querneigung einführen und somit CM konstant annehmen können. Wenn hierbei, wie es früher üblich war, zwischen Leinpfad und Fußpfad unterschieden

wird, so ist der erstere an der dem Bache oder Flusse zugekehrten Seite des Kanals anzunehmen und der Fußpfad zunächst der Thallehne, weil jener bei solcher Lage trockener liegt und weil die Ausnutzung der an dem Abhange etwa anzulegenden Steinbrücke u. s. w. durch einen zwischen ihnen und dem Kanale liegenden Leinpfad erschwert sein würde.

Auf obigem Wege ergibt sich die für die Bewegung der Erdmassen vorteilhafteste Linie. Die Rücksichten auf die Erdarbeiten können indessen nicht unbedingt maßgebend sein und man hat nicht selten Veranlassung, eine etwas tiefere Lage des Kanals, bei welcher die Einschnittsmassen die Auftragsmassen überwiegen, zu wählen. Erhebliche Abweichungen der Kanalaxe von der Leitlinie ergeben sich selbstverständlich u. a. an allen Stellen, woselbst der Kanal einen natürlichen Wasserlauf überschreitet.

Falls nun der Kanal den Weg eines natürlichen Wasserlaufs verfolgt und an der Lehne des betreffenden Thaies liegt, so ist es zweckmäßig denselben nicht weiter von

Fig. 22.



der Thalsole zu entfernen, als unbedingt erforderlich ist. Andererseits müssen die Kanalstrecken aber auch außerhalb des Bereichs des Hochwassers des Baches liegen. Bezeichnet (Fig. 22) *NO* die Leitlinie einer oberen Strecke, so hat man unterhalb derselben eine zweite Leitlinie *PQ* aufzusuchen, deren Höhenlage durch ein zweckmäßiges Schleusengefälle gegeben ist. Auf der Linie *PQ* wird nun

unter Berücksichtigung der Inundationsgrenze ein Punkt *b* so bestimmt, daß der Leinpfad eines an dieser Stelle gedachten Kanals mindestens hochwasserfrei liegen würde. In der Mitte der Linie *ab*, welche die kürzeste Verbindung zwischen den Leitlinien *NO* und *PQ* darstellt, kann die Schleusenmitte vorläufig angenommen werden. Die Schleusenaxe ist alsdann so zu legen, daß oberhalb und unterhalb der Schleuse eine gerade Linie von angemessener Länge entsteht (vergl. § 8, S. 375), worauf im übrigen die Axe des Kanals unter Benutzung der Leitlinie in bekannter Weise ermittelt wird.²³⁾

Wenn die nach Obigem unter vorzugsweiser Berücksichtigung der Höhenverhältnisse und der Erdmassenausgleichung ermittelte Lage der Schleuse auch denjenigen Anforderungen entspricht, welche sich aus dem Grundrisse (also beispielsweise aus der Lage benachbarter Wege, Wasserläufe und Gebäude), ferner aus der Beschaffenheit des Baugrundes u. s. w. ergeben, so ist die Schleuse als endgiltig festgelegt anzusehen. Die zuletzt genannten Verhältnisse bedingen aber häufig die Wahl eines anderen Platzes. Man kann dann entweder die Hilfslinie *ab* (Fig. 22) thalwärts verlegen oder eine Änderung des Schleusengefälles vornehmen, wodurch sich die Lage der Leitlinie *PQ* und somit auch die Lage der Schleuse verändert.

Ein Verfahren zur Ermittlung derjenigen Kanalmittellinie, welche bei welligem Gelände die geringsten Erdarbeiten mit sich bringt, hat Brennecke angegeben.²⁴⁾ Hierbei werden bei verschiedenen miteinander zu vergleichenden Linien die auszuhebenden Massen mittels sogenannter Flächenprofile ermittelt und durch „Verschiebungsprofile“ wird dieser Ermittlung eine zweckentsprechende Grundlage gegeben. Ein Verschiebungs-

²³⁾ Vergl. Graeff. Construction des canaux et des chemins de fer, S. 28.

²⁴⁾ Brennecke. Über die Ermittlung der geringsten Erdarbeiten bei Kanalbauten. Zeitschr. d. Arch.-u. Ing.-Ver. zu Hannover 1889, S. 489.

profil entsteht, indem an verschiedenen geeigneten Stellen eines hinreichend langen Querprofils des Geländes die Flächeninhalte an diesen Stellen gezeichneter Kanal-Querprofile ermittelt und nach einem Flächenmaßstab, wie beim Flächenprofil, aufgetragen werden. Alsdann werden in einem Lageplan die Verschiebungsprofile an die Richtungslinien der Gelände-Querprofile gezeichnet und auf diese Weise zusammengestellt. Man bekommt hierdurch ein Bild von dem Einfluß, welchen jede Änderung der Lage einer vorläufig angenommenen Kanalaxe auf die Erdarbeiten ausübt, und kann die auszuhebenden Erdmassen mittels der nunmehr in kurzer Zeit zu zeichnenden Flächenprofile für sämtliche Versuchslinien sehr schnell ermitteln.

Im Flachlande und gewöhnlich auch in den Thalsohlen bestimmt sich die Lage der Kanalaxe, wie oben bereits angedeutet ist, vorzugsweise durch Rücksichten auf den Grundriß. Man kann, wie bei der Tracierung von Straßen und Eisenbahnen in ebener Gegend, gerade Linien von größerer Länge verfolgen, bis die Örtlichkeit die Einlegung einer Kurve verlangt, und hat wie bei jenen auf den Grunderwerb, auf die Bodenbeschaffenheit, auf die Wegeübergänge u. s. w. Rücksicht zu nehmen. Für die Lage der Schleusen sind die den Kanal kreuzenden Wasserzüge, die Ortschaften, mitunter aber auch die Stellen, woselbst vorhandene Wege den Kanal kreuzen, maßgebend; letzteres, weil es unter Umständen zweckmäßig ist, eine Wegebrücke und das Unterhaupt einer Schleuse zu vereinigen. Mitunter zeigt das Längenprofil des Geländes eine Stelle mit starker Absenkung, welche als Ort für die Schleuse besonders geeignet erscheint. Man wird ferner bei den in Rede stehenden Verhältnissen auf den Ausgleich der Erdmassen nur geringes Gewicht legen können, besonders dann, wenn man den Kanal zur Verringerung des Wasserverlustes möglichst tief in das Terrain einschneiden muß.

Die Kreuzung des Kanals mit einer Eisenbahn verlangt eine tiefe Lage des ersteren oder eine hohe Lage der letzteren. Die Fälle, in denen man den Kanal über eine Bahn hinwegführen könnte, sind heutigen Tages sehr selten. Falls man nun den Kanal nicht so tief legen kann, wie die Lichthöhe oberhalb des Wasserspiegels solches erfordert, so wird eine Veränderung der Höhenlage der Bahn, mitunter auch eine Verlegung derselben unvermeidlich. Beim Bau des Merwede-Kanals sind beispielsweise drei bedeutende Bahnverlegungen vorgenommen, bei welchen neue Strecken von zusammen nahezu 12 km Länge hergestellt werden mußten. — Von der Lage der Kanalhäfen und der Mündungen der Kanäle in einen Fluß wird in § 19 die Rede sein.

Auch an dieser Stelle muß wegen sämtlichen Einzelheiten der Arbeiten, welche bei der speciellen Bearbeitung eines Kanals wahrzunehmen sind, auf den ersten Band (2. Aufl.), Kap. I, S. 115 u. ff. verwiesen werden.

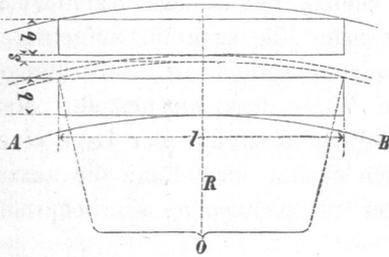
§ 11. Querprofile. In Anschluß an das in § 8 über die Hauptabmessungen des Wasserprofils der Schifffahrtskanäle Gesagte ist hier zunächst zu besprechen, in welchen Fällen Abweichungen von den normalen Sohlenbreiten und den normalen Wassertiefen am Platze sind.

Vergrößerungen und Einschränkungen der Sohlenbreite. In gekrümmten Strecken findet eine Vergrößerung der Sohlenbreite statt, falls ihre Mittellinien nicht etwa sehr große Radien haben.

Die zu wählenden Breiten berechnen sich mit Mocquery (s. Ann. des ponts et chaussées 1880, II, S. 118) aus der Formel:

$$B = \sqrt{\left[b + s + \sqrt{(R + b)^2 + \frac{l^2}{4}} \right]^2 + \frac{l^2}{4}} - R,$$

Fig. 23.



worin (Fig. 23) bezeichnen: B die Sohlenbreite des Kanals, R den Radius der inneren Sohlenkante AB , l die Schiffslänge, b die Schiffsbreite, s den Spielraum zwischen zwei sich begegnenden Schiffen.

Setzt man in dieser Formel $l = 45$ m, $b = 6$ m, $s = 2$ m, so erhält man für

$R = 100$	200	300	450	600	800	1000	m
$B = 18,5$	$16,5$	$15,6$	$15,1$	$14,8$	$14,6$	$14,4$	m
oder abgerundet							
$18,5$	$16,5$	$15,5$	$15,0$		$14,5$		m

Bei Radien, welche größer sind als 1000 m, kommt die normale Sohlenbreite (14 m) zur Anwendung.

Weniger weit geht der Entwurf des Elbe-Trave-Kanals. Unter Berücksichtigung des Umstandes, daß der Verkehr sich anfangs in mäßigen Grenzen halten dürfte, hat man hier das Maß der Erbreiterung so bemessen, daß zwei sich begegnende größte Schiffe in den Krümmungen mit 0,5 m Spielraum zwischen sich, sowie zwischen Schiff und Böschung aneinander vorbeifahren können, nachdem das eine sich so lange am konkaven Ufer festgelegt hat, bis das andere vorbeigeschleppt ist. Hieraus hat sich beispielsweise für 74 m lange und 10,6 m breite Fahrzeuge und eine normale Sohlenbreite von 22 m bei 600 m Halbmesser eine Breite von 24 m ergeben.

Derome und Andere bestimmen die vergrößerte Breite B aus der doppelten Höhe eines Kreisbogens, dessen Sehne die Länge der größten auf dem Kanale verkehrenden Schiffe ist und setzen dementsprechend

$$B = \sqrt{l^2 + (B_1 + 2R)^2} - 2R,$$

worin B_1 die normale Breite.

Noch einfacher ist die in Frankreich geltende amtliche Formel

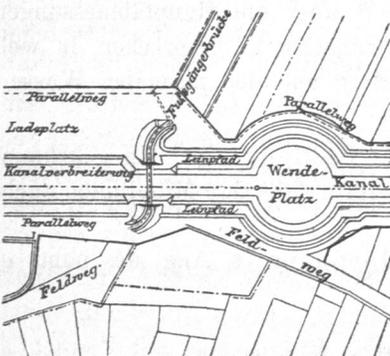
$$B = 10 + \frac{380}{R}.$$

Die Erbreiterung wird am besten dadurch bewerkstelligt, daß man den inneren Bogen dem Mittelpunkte nähert. Die Längen der Übergangskurven dürften mit durchschnittlich 100 m ausreichend bemessen sein.

Eine Erbreiterung des Kanalprofils und zwar in ansehnlicher Längenerstreckung ist ferner da unentbehrlich, wo ein Wechsel der Betriebsart stattfindet, wo beispielsweise

der Betrieb mit einzelnen Fahrzeugen in einen Betrieb mit Schiffszügen übergeht. Ein solcher Fall liegt u. a. beim Marne-Saône-Kanal an beiden Seiten des Scheiteltunnels vor. Nicht minder bedingen Wendeplätze eine Erbreiterung; beim genannten Kanale sind solche in 10—15 km Entfernung angelegt. Fig. 24 zeigt Beides.

Fig. 24. Marne-Saône-Kanal.
Kanalverbreiterung und Wendeplatz.
M. 1:2000.



Andere Arten einer Erbreiterung, welche bei älteren Kanälen eine Rolle spielen, werden bei neuen nur selten vorkommen. Man hat mitunter eine Vergrößerung der Sohlenbreite vorgenommen, um die zur Bildung von Kanaldämmen erforderlichen Massen zu gewinnen, hat auch wohl unter Benutzung eines kleinen Querthals ein Becken ge-

bildet, wie Fig. 25 angiebt. Dagegen sind Erbreiterungen in Kanalhäfen und in Kanalründungen unentbehrlich, auch vor und hinter den Schleusen in der Regel am Platze. Von diesen wird weiter unten eingehender die Rede sein.

Einschränkungen der Sohlenbreiten waren früher bei Kunstbauten allgemein üblich, mitunter kommen sie auch bei tiefen Einschnitten vor. Im Einschnitt von Liverdun ist der Rhein-Marne-Kanal beispielsweise mit 6 m Sohlenbreite ausgeführt, während das Normalmafs 10 m beträgt. Neuerdings sucht man derartige Beschränkungen, soweit es ohne allzugrofse Kostenvermehrung geschehen kann, zu vermeiden, immerhin pflegt man Tunnel und Kanalbrücken (Aquadukte) auch jetzt noch einschiffig, also mit verminderter Breite, auszuführen, vergl. § 14.

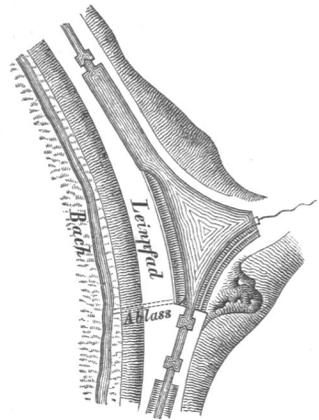
Vergrößerung der Wassertiefe. Bei der Wassertiefe kann selbstverständlich nur eine Vergrößerung des normalen Mafses in Frage kommen. Solche Vergrößerungen kommen vor, wenn trotz Einschränkung der Wasserspiegelbreite der Wasserquerschnitt unverändert erhalten werden soll, ferner behufs Aussparung von Platz für thonige, das Kanalbett dichtende Niederschläge; in letzterer Beziehung sind sie sehr zu empfehlen und um so mehr, als die Wassertiefen sich nicht selten durch Niederschlag von Schlamm von selbst verringern. Bei den Scheitelstrecken ist eine Vergrößerung der Tiefe, oder richtiger gesagt, eine zeitweilige Erhöhung des Wasserspiegels am Platze, um diese Strecken als Speisebecken verwenden zu können. Diese Anordnung ist beispielsweise beim Dortmund-Ems-Kanal getroffen, s. F. 2^a, T. XVI. Nach Ausweis derselben Figur erhalten die im Auftrage liegenden Strecken dieses Kanals in der Regel ein Meter mehr Wassertiefe, als die im Abtrage liegenden und zwar behufs Verringerung der zur Dammschüttung erforderlichen Erdmassen. Es ist anzunehmen, dafs für die Schüttungen ein sehr gutes Material zur Verfügung steht, anderenfalls könnte der genannte Vorteil durch Erschwerung der Speisung infolge stärkerer Versickerung leicht aufgehoben werden. Eine mäfsige Vergrößerung der Tiefe ist aber in Auftragsstrecken unter allen Umständen zweckmäfsig.

Form und Abmessungen der äufseren Teile des Querprofils. Die Ausgestaltung des Trapezes, welches die Kernform des Wasserprofils bildet, und die Lage der Böschungen im Bereiche des Wellenschlages hängen so innig mit der Konstruktion der Uferbefestigungen zusammen, dafs es sich empfiehlt, die betreffende Besprechung dem § 12 vorzubehalten. Es soll deshalb hier nur von den aufserhalb des Wassers liegenden Teilen des Querprofils die Rede sein, bei welchen die Böschungsneigungen sich leicht und nach bekannten Regeln bestimmen.

Bei älteren Kanälen liegen die Leinpfade meistens in ziemlich gleicher Höhe und gewöhnlich 0,5—0,7 m über dem Wasserspiegel. Ausnahmen kommen vor bei sehr breiten Kanälen mit starkem Wellenschlage, ferner bei Seitenkanälen, um den Leinpfad hochwasserfrei zu legen, jedoch kann man das Hochwasser im letztgenannten Falle auch durch eine Verwallung abhalten.

An der inneren Kante des Leinpfads hat man bei älteren Kanälen ein Schutzwällchen (eine „Verkammelung“, s. F. 6, T. XV) ausgeführt. Diese Anordnung diente in früheren Zeiten, als man auf den Kanälen eine rasche Beförderung mit Pferden zu bewerkstelligen versuchte, zur Sicherung der Zugtiere, auch wurde sie mitunter

Fig. 25. M. 0,0001.



in einer recht dauerhaften Weise getroffen, s. Fig. 26 u. 27. Bei neueren Ausführungen sind die Schutzwällchen aus naheliegenden Gründen verschwunden.

Fig. 26. Ourcq-Kanal. M. 0,008.

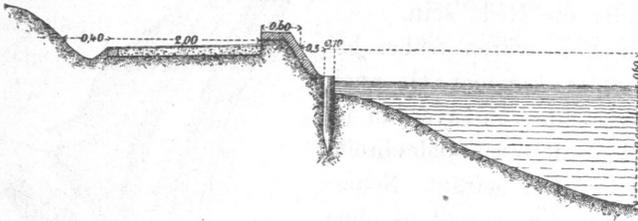
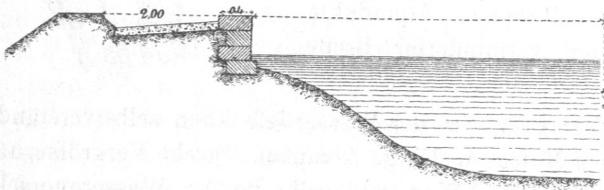


Fig. 27. Forth u. Clyde-Kanal. M. 0,008.



Neuere Ausführungen zeigen noch andere Verbesserungen, welche aus der Erwägung entsprungen sein dürften, daß es unbedenklich ist, den Längenschnitten der Leinpfade schwache Steigungen und Neigungen zu geben. Die hiermit Hand in Hand gehende, stellenweise höhere Lage der Leinpfade ermöglicht aber eine erhebliche Einschränkung der Erdarbeiten. Demnach liegen die Leinpfade des Oder-Spree-Kanals (F. 1^d, T. XVI) oft in der Höhe des Geländes und beim Dortmund-

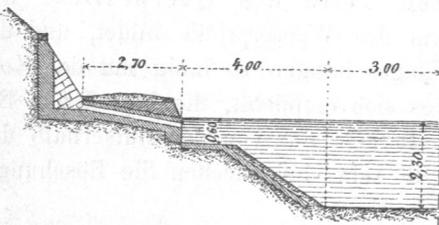
Ems-Kanal hat man die Leinpfade in Abträgen nahezu 2 m höher gelegt als bei Aufträgen, s. F. 2^d, T. XVI, vergl. auch Fig. 19, S. 382. Beim Elbe-Trave-Kanal sind den Leinpfaden verschiedene, den örtlichen Verhältnissen angepaßte Höhenlagen, beispielsweise wie in Fig. 35, S. 397, gegeben.

Als Breite der Leinpfade findet man bei älteren Kanälen oft 4–4,5 m und dem Leinpfade gegenüber liegt ein Fußpfad von 2,5–3,0 m Breite. Es empfiehlt sich, die Breite der Leinpfade auf 3,5 m einzuschränken und einen Unterschied zwischen Leinpfad und Fußpfad nicht zu machen, man vergleiche die vorhin genannten Querprofile. Auch beim Marne-Saône-Kanal ist ein Unterschied zwischen beiden Pfaden nicht gemacht.

Die Leinpfade erhalten eine einseitige Querneigung derart, daß das Tagewasser nicht in den Kanal fließt, nur ausnahmsweise findet man sie mit Wölbung ausgeführt.²⁵⁾

In Einschnitten sind an der Außenseite der Leinpfade Seitengräben anzulegen, deren Breite man bei tiefen Einschnitten mit üblichen Mitteln so viel wie möglich ein-

Fig. 28. Kanal von St. Quentin. M. 0,005.



schränkt. Wenn die Einschnittsböschungen ein brauchbares Wasser liefern, bedarf der Graben keines durchgehenden Gefälles; alsdann muß für die Ableitung des Grabenwassers durch kleine in die Kanalböschung ausmündende Entwässerungskanäle gesorgt werden, s. Fig. 28. Am Fusse der Dammböschungen werden in der Regel sogenannte Schweifgräben angelegt. Dieselben haben das Sickerwasser aufzunehmen, welches sich in größerer oder geringerer Menge zu zeigen pflegt, vergl. F. 6, T. XV (links).

Es muß als zweckmäßig bezeichnet werden, wenn bei Anordnung des Querprofils von vornherein eine Vergrößerung des Wasserprofils etwa in der Weise angebahnt wird, wie dies beim Oder-Spree-Kanal (F. 1^d, T. XVI) geschehen ist.

²⁵⁾ Die Einzelheiten der Befestigung der Leinpfade sind ausführlich besprochen in Vuigner. Rivière et canal de l'Ourcq (Paris 1862), S. 60.

Hinsichtlich der Bepflanzung der äußeren Böschungen gilt im wesentlichen das, was aus dem Eisenbahnbau bekannt ist. Pflanzungen von Pappeln und dergl. neben den Leinpfaden waren bei den älteren französischen Kanälen allgemein üblich; es hat sich herausgestellt, daß sie nicht allein entbehrlich, sondern mitunter schädlich sind (Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 265). Obstbaumpflanzungen hat man u. a. am Ludwigs-Kanal anscheinend mit gutem Erfolge ausgeführt. In England beschränkt man sich darauf, an den Grenzen des Kanalgeländes niedrige Hecken herzustellen.²⁶⁾

§ 12. Erdarbeiten. Dichtung des Kanalbetts.

Erdarbeiten. Für die Erdarbeiten gelten zunächst die allgemeinen Regeln des Erdbaues (vergl. das III. Kapitel des ersten Bandes dieses Handbuchs, 2. Aufl.), die Aufträge müssen aber mit besonderer Sorgfalt hergestellt werden. Die Anwendung von Arbeitsbahnen und Erdtransportwagen ist entweder ganz auszuschließen oder nur unter nochmaliger Verkarrung und schichtenweiser Einebnung des Bodens zuzulassen. Wenn die Dämme aus durchlässigem Boden gebildet werden müssen, so sind Wände und Schichten von Thonschlag oder dergl. in der Erdschüttung anzuordnen, wovon weiter unten die Rede sein wird. Sonstige bei den Erdarbeiten des Kanalbaues zu beachtende Regeln ergeben sich aus der Besprechung der Ausführung der Deiche.²⁷⁾ An Stelle des sogenannten Reitens der Deiche werden Scheibenwalzen mit Erfolg benutzt; Näheres an den unten genannten Stellen.²⁸⁾

In Frankreich unterscheidet man einfache Schüttungen, gestampfte Schüttungen und Schüttungen mit ausgewählten Bodenarten. Die einfache Schüttung erfolgt in horizontalen Lagen von etwa 25 cm Stärke. Gestampfte Schüttungen müssen in 20 cm starken Lagen zur Ausführung kommen. Die lose aufgebrauchten Schichten werden leicht angefeuchtet und dann so lange mit Handrammen gestampft, bis die Höhe auf etwa 13 cm vermindert ist. In Schüttungen mit ausgewählten Bodenarten verwendet man Thon und Sand, die vor ihrer Ausbreitung in 10 cm starken Lagen zu einem gleichmäßigen Gemenge verarbeitet werden.²⁹⁾

Es sollen auch einige eigenartige Arbeiten kurz erwähnt werden. — Über den Bau von Kanaldämmen, welche in Moorboden und zum Teil unter Benutzung von Baggermaschinen hergestellt werden mußten, sind Erfahrungen beim Bau des Merwede-Kanals gemacht.³⁰⁾ Schwierigkeiten verwandter Art waren bei der Führung des Oder-Spree-Kanals durch den Wernsdorfer See zu überwinden.

Der Untergrund des Wernsdorfer Sees besteht aus einer 1—5 m starken Moderschicht und die Befürchtung lag nahe, daß der leicht flüssige Moder bei Wind in die Fahrrinne hineingelange; es war deshalb erforderlich, die Rinne an beiden Seiten mit Packwerkskörpern abzugrenzen. An der Dorfseite geschah dies durch ein Packwerk von 1 m Kronenbreite, in dessen Mitte eine Öffnung von 70 m Länge gelassen wurde, um Schiffsverkehr zwischen Kanal und Dorf zu ermöglichen, s. F. 1^o, T. XVI. Bis zur Höhe der Moderschicht ist die Öffnung mit Sinkstücken ausgefüllt. Ein Leinpfad ist an dieser Seite nicht angelegt, aber auf der anderen Seite befindet sich ein solcher; hier hat man hinter einem Pack-

²⁶⁾ Näheres über Pflanzungen siehe Hagen. Wasserbaukunst II. Teil, 3. Bd., S. 588.

²⁷⁾ Man vergl. auch Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1882, S. 215 (Über die Herstellung von Kanaldämmen).

²⁸⁾ Basse. Über die Dichtung des Bodens. Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 190. — XVI. Kap. des vierten Bandes dieses Werkes (1. Aufl.), S. 6. — V. Binnenschiffahrts-Kongress zu Paris (1892). Procès verbaux des séances des sections, S. 86 (Anwendung der Dampfkraft zum Bewegen der Scheibenwalzen, falls größere Arbeiten zu beschaffen sind).

²⁹⁾ Sonstige Einzelheiten s. Keller. Der Marne-Saône-Kanal. Zeitschr. f. Bauw. 1882, S. 329, 447.

³⁰⁾ Dämme und Deiche im Moorboden. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 153.

werkskörper eine Erdschüttung hergestellt, in welcher sich fünf kleinere und von Holzbrücken überspannte Öffnungen befinden, s. die Abbildung.

Bei der Herstellung von Moorkanälen, beispielsweise beim Hunte-Ems-Kanal, kommt mitunter ein eigentümlicher Erdarbeitsbetrieb mit Maschinen, mit gleichzeitiger Gewinnung von Torf, zur Anwendung und zwar nach einem Verfahren, welches eine Erfindung der Engländer Trevithik und Hodges ist. Auf einer in der Längsaxe eines Schiffes liegenden, von einer Dampfmaschine getriebenen Welle sitzt auf der vorderen Seite des Schiffes eine radial eingeschnittene, schwach schraubenförmig gestaltete, am Umfang zugeschärfte Scheibe, welche so groß ist, daß durch die Umdrehung derselben ein für die Weiterbewegung des Schiffes ausreichendes Profil hergestellt wird. Die geschnittenen Stücke werden durch Eimer, welche rings an der Scheibe befestigt sind, gehoben und in einen Trog über Bordhöhe ausgeschüttet. Mittels Schrauben und Elevatoren wird die Masse alsdann in einen etwa 9 m über dem Schiffsdeck angebrachten Misch- und Quetschapparat geschafft und geht dann in geneigten Trögen zur Ausbreitung auf das Kanalufer.³¹⁾

Eine ähnliche Maschine, welche die gewonnenen Massen nicht verarbeitet, sondern an der Seite des Kanals ausschüttet, ist in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1885 (Entwässerungs- und Kanalisations-Arbeiten im Hochmoore) besprochen und abgebildet.

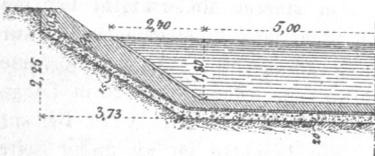
Dichtung des Kanalbetts. Bei Kanalstrecken, welche in Aufträgen liegen, namentlich in solchen, welche aus durchlässigem Boden hergestellt werden mußten, treten auch bei sorgfältiger Ausführung der Erdarbeit nach Einlassen des Wassers in das Bett erhebliche Versickerungen ein, falls nicht besondere Vorkehrungen getroffen sind. Es kommt aber auch vor, daß man in den Einschnitten zerklüfteten Fels, Kies, Sand u. dergl. antrifft und nur diejenigen Einschnitte werden von Versickerungen ganz oder nahezu frei sein, bei welchen der Grundwasserspiegel und der Wasserspiegel des Kanals ungefähr die gleiche Höhe haben. Die Versickerungen verursachen nun, wie in § 16 näher nachgewiesen werden wird, unter Umständen sehr große Wasserverluste, auf der anderen Seite ist aber die Gewinnung des Speisewassers oft schwierig. Es folgt, daß eine Verringerung der Wasserverluste durch Dichtung des Betts eine Sache von großer Bedeutung ist. Dasselbe gilt auch von vielen Speisegräben; diese sind hinsichtlich der Dichtung ähnlich zu behandeln, wie die Kanäle.

Die Dichtungsarbeiten teilen sich in zwei Gruppen, je nachdem die Ausführung ein wasserfreies Kanalbett erfordert oder nicht. Zu der ersten Gruppe gehören namentlich die Beton-Dichtung und die Dichtung mittels Mörtelpflasters.

Beton-Dichtung. Eine Betonierung kann mit Erfolg nur in Einschnitten und auf solchen Dämmen angewendet werden, die sich vollständig gesetzt haben. Dieselbe

Fig. 29. Rhein-Marne-Kanal.

Dichtung mit Beton. M. 0,005.



wird gewöhnlich so hergestellt, wie Fig. 29 zeigt. Die Betonschicht, deren Stärke je nach Umständen 0,10 bis 0,20 m beträgt, wird in Schiffahrtskanälen zur Verhütung von Beschädigungen in der Regel mit einer Erdschicht überdeckt, welche man 0,20 bis 0,30 m stark macht. In Speisegräben ist eine derartige Überdeckung nicht erforderlich. Wenn der Untergrund

sehr feucht und quellig ist, so muß derselbe drainiert werden, bevor der Beton aufgebracht wird. — Falls sich die Undichtigkeiten nur an der einen Seite des Kanals befinden, so wird die Betonierung nur teilweise ausgeführt und dann mit einem etwas stärkeren Streifen (von 30 cm Breite und ebensoviel Höhe) abgeschlossen. Mancherlei sonstige Einzelheiten, welche die Ausführung der Betonierung, ihren Anschluß an Mauerwerkskörper u. s. w. betreffen, sind ausführlich erörtert durch Malézieux (Ann. des ponts et chaussées 1856, I, S. 133) und durch Graeff (Canaux et chemins de fer,

³¹⁾ Jahresbericht des technischen Vereins zu Oldenburg 1869, S. 42.

S. 133). Auch die Verhandlungen des Binnenschiffahrts-Kongresses zu Paris bringen beachtenswerte Einzelheiten über die Beton-Dichtung.³²⁾

Wenn bei Vermehrung der Wassertiefe eines Kanals die Betonschale ergänzt werden muß, so kann dies entweder durch Ansetzen eines Streifens an dieselbe (Fig. 30, rechts) oder durch Anwendung eines kleinen Damms von fetter Erde (daselbst, links) bewerkstelligt werden. Beides ist bei den am Rhein-Marne-Kanal ausgeführten Arbeiten an verschiedenen Stellen ge-

schehen. Das erstgenannte Verfahren erfordert eine sehr sorgfältige Ausführung und ist ziemlich kostspielig, das letztgenannte dürfte somit in den meisten Fällen genügen.

Früher hat man in Frankreich mitunter einen sandigen Boden, welchen man in Lagen von 10 cm Stärke aufbrachte, mit Kalkmilch tränkte und sorgfältig stampfte (Sandbeton), benutzt. Auf 1 cbm Erde rechnete man 0,005 bis 0,010 cbm Kalk. Die auf diese Weise hergestellten und dem Kanalprofile entsprechend gestalteten Schalen (Fig. 31), welche 40 bis 60 cm stark gemacht wurden, sollen einer schützenden Erdschicht nicht bedürfen. Es ist nicht ausgeschlossen, zu den in Rede stehenden Schalen auch Thonschlag in Stärken von 20 bis 40 cm zu verwenden.³³⁾

Mörtelpflasterung ist namentlich bei italienischen Kanälen in großer Ausdehnung und mit Erfolg ausgeführt. Man verwendet kleine Pflastersteine, welche in ein Bett von dünnem Mörtel derart versetzt werden, daß die Fugen sich von untenher gut ausfüllen, oben werden dieselben sorgfältig verstrichen. Die Stärke einer solchen Bekleidung ist etwa 20 cm, wovon 3 cm auf das Mörtelbett entfallen.³⁴⁾ —

Mitunter können die Dichtungsarbeiten, wie bereits angedeutet ist, auf die Seiten des Kanalbettes beschränkt werden. Am wirksamsten sind alsdann regelrechte steile Mauern; auch sind solche bei älteren italienischen Kanälen nicht selten hergestellt. Neuerdings wird man diese Anordnung nur da treffen, wo besondere Umstände eine steile Begrenzung des Bettes veranlassen. Ein Fall dieser Art liegt beispielsweise in den Tunnel-Voreinschnitten des Marne-Saône-Kanals vor, woselbst die Kanalbetten behufs Einschränkung der Erdarbeiten steile Begrenzungen erhalten haben.

Wenige Kosten erfordern die in Fig. 32 u. 33 dargestellten Anordnungen. Zu den Körpern, deren Querschnitte schräg schraffiert sind, wird sich Thonschlag (Puddle, s. Kap. VI, § 13) am besten eignen; sie sind, wie der Beton, mit einer Schicht ge-

Fig. 30. Rhein-Marne-Kanal. Erhöhung der Beton-Dichtung. M. 0,008.

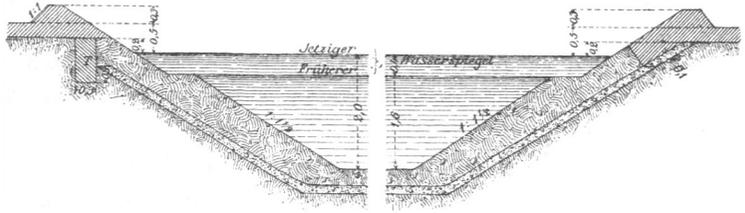
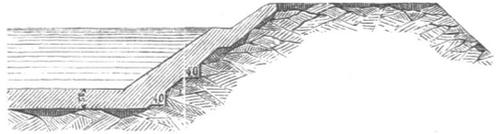


Fig. 31.



³²⁾ Procès verbaux des séances des sections, S. 69.

³³⁾ Man vergleiche hierzu das Querprofil des geplanten oberrheinischen Schiffahrtskanals. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 50.

³⁴⁾ Näheres in einem Vorbericht von Bompiani und Luigi für den Binnenschiffahrts-Kongress in Paris 1892. Dieser Bericht, welcher sämtliche zur Wasserdichtung der italienischen Kanäle dienenden Mittel behandelt, bringt auch beachtenswerte Einzelheiten über die Beton-Dichtung. — Über Dichtungsarbeiten am Verdon-Kanal vergl. Ann. des ponts et chaussées 1881, II, S. 26.

Fig. 32.

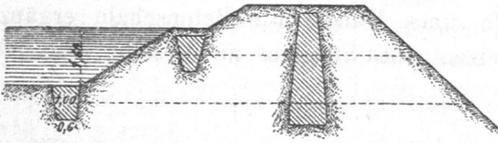
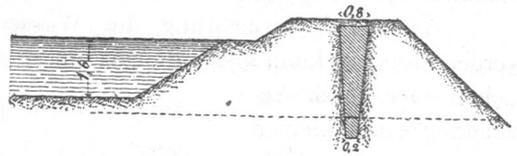


Fig. 33.



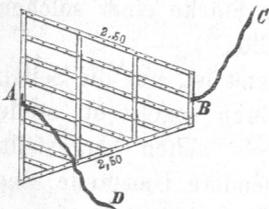
wöhnlichen Bodens zu überdecken. Eine Dichtung kleinerer Stellen der Kanaldämme (Fig. 32, links) ist namentlich da zu empfehlen, wo sich Auftragsmassen an den gewachsenen Boden anschließen, weil sich an diesen Stellen leicht Wasseradern bilden. Fig. 33 zeigt, wie zu verfahren ist, wenn die Dichtung bei wassergefülltem Kanal vorgenommen werden muß. Die alsdann herzustellen schmalen und tiefen Gräben kann man mit Hilfe der beim Drainieren gebräuchlichen Werkzeuge ohne Schwierigkeit ausführen.³⁵⁾

Dichtung mit getrübttem Wasser. Wenn das Kanalbett nicht wasserfrei ist, auch nicht wasserfrei gemacht werden kann, kommt hauptsächlich unreines, viel Sinkstoffe enthaltendes Wasser zur Anwendung. Mitunter erfolgt die Dichtung sogar durch unreines Speisewassers ohne Nachhilfe, dann allerdings nur in ziemlich langer Zeit. In der Regel wird das unreine Wasser mittels thonigen Bodens künstlich hergestellt; in neuerer Zeit ist dies u. a. beim Oder-Spree-Kanal in großem Maßstabe geschehen.

Die Arbeit hat sich dort in folgender Weise herausgebildet: Nachdem an verschiedenen Stellen des Ufers Thon angefahren war, wurden aus den für die Schleusen beschafften Dammbalken zahlreiche Flöße gebildet. Auf diese wurde Thon gekarrt, bis das Wasser die Oberfläche der Balken bespülte. Während Fortbewegung der Flöße schaufelten auf denselben stehende Arbeiter Wasser auf den Thon und bewirkten so dessen Abfließen durch Lücken, welche zwischen den Balken gelassen waren.

Dichtung mit Sand. Aber auch ein anderes Verfahren, bei welchem man Sand in den Kanal wirft und denselben mit einer Egge aufrührt, verdient unter Umständen Beachtung. Man benutzt einen quarzigen groben Sand, wenn größere Zwischenräume im Erdkörper vorhanden sind, andernfalls giebt man einem feinen, lehmigen oder thonigen Sande den Vorzug. Auf das laufende Meter eines Kanals von mittlerer Größe rechnet man 0,2 bis 1,0 cbm Sand. Die Egge muß gekrümmte Zinken haben und gehörig beschwert sein; ihre Gestalt geht aus Fig. 34 hervor. Das Pferd ist an das Seil *BC* gespannt, während mittels des Seiles *AD* zwei Arbeiter der Egge die erforderliche Lage und Richtung geben. — Wenn Stellen von geringer Ausdehnung gedichtet werden sollen, so kann man statt der Egge große Schlammkratzen, die von Arbeitern bedient werden, verwenden.

Fig. 34



Bezüglich der Wahl zwischen den verschiedenen Dichtungsarten kann als Anhaltspunkt dienen, daß am Platze sind: Dichtung mit Sand oder getrübttem Wasser bei geringen Verlusten an zahlreichen Stellen, Dichtung mit Thonschlag bei starken Verlusten an einzelnen Stellen, Dichtung mit Beton bei starken Verlusten an zahlreichen Stellen. Hierin kommt die Beschaffenheit des Bodens, aus welchem das Kanalbett gebildet ist, zum Ausdruck und man hat beobachtet, daß bei thonigem Boden die Dichtung mitunter

³⁵⁾ Ausführliches hierüber, sowie über die anderen Arten der Dichtung, ferner auch Angaben über die einschlägige ältere Litteratur findet man: Hagen. Wasserbaukunst II. Teil, 3. Bd., S. 629.

schwieriger ist, als bei sandigem, weil in jenem leicht größere, schwer zu schließende Zwischenräume entstehen.

Hauptsächlich ist aber, wie bei allen Ausführungen, bei welchen es sich um die Verwendung großer Massen handelt, Rücksicht darauf zu nehmen, ob diese Massen mit mäßigen Kosten beschafft werden können. In der Regel wird die Dichtung mit gerühtem Wasser am wenigsten kostspielig, oft aber auch weniger wirksam sein, als andere Dichtungsarten.

Wenn die örtlichen Verhältnisse schwierig sind, füllt man die einzelnen Kanalstrecken probeweise mit Wasser und entscheidet über die zu ergreifenden Maßregeln auf Grund der hierbei beobachteten Wasserverluste. Bei diesen Beobachtungen ist nicht allein das Sinken des Wasserstandes in jeder Kanalstrecke zu ermitteln, sondern es sind unter Umständen auch durch leichte Fangdämme Abteilungen in den Strecken herzustellen, letzteres, wenn es sich darum handelt, die Stellen, woselbst Wasserverluste stattfinden, genauer kennen zu lernen. Ferner kann man aus der Ergiebigkeit kleiner, am Fufse der Dammböschungen hergestellter Versuchsgräben auf die Dichtigkeit der entsprechenden Teile des Kanals schließen.

Bei Kanälen im Hügellande verursacht eine versuchsweise Anfüllung des Kanals mitunter langwierige und mühevollere Ergänzungsarbeiten, und es vergehen unter ungünstigen Verhältnissen Jahre, bis die Wasserverluste eines Kanals genügend eingeschränkt sind. Hierzu liefern die Arbeiten am Rhein-Marne-Kanal ein Beispiel, indem namentlich an der Schleusentreppe der Vogesen nicht allein Dichtungsarbeiten jeder Art, sondern auch verschiedene schwierige Reparaturen infolge von Dambrüchen vorkamen, worüber die ausführlichen Mitteilungen von Graeff (Canaux et chemins de fer, S. 150) zu vergleichen sind. Beim genannten Kanal wählte man Betonierung, wenn der Wasserverlust f. d. lfd. m mehr als 3 cbm in 24 Stunden betrug, und Dichtung mit Thonschlag bei 2 bis 3 cbm Wasserverlust. Einen Verlust von 0,3 cbm erachtete man als auf die Dauer zulässig und sah auch bei 0,5 cbm Verlust zunächst von der Vornahme von Dichtungsarbeiten ab, weil die Erfahrung zeigt, daß bei einem so geringen Verlust der Kanal im Laufe der Zeit oft von selbst dichter wird.

Die Dichtung der Kanalbrücken und der Anschlüsse derselben an die Dämme ist im V. Kapitel des zweiten Bandes (Aquadukt- und Kanalbrücken) besprochen. Hier sei auf die neueren Ausführungen aufmerksam gemacht, welche Keller in der mehrfach erwähnten Arbeit über den Marne-Saône-Kanal beschreibt. — Von der Dichtung der zunächst der Schleusen liegenden Stellen des Betts wird in § 15 die Rede sein. Mit besonderer Sorgfalt sind die im Oberwasser der Schiffshebewerke von ziemlich hohen Aufträgen getragenen Betten zu behandeln, weil die Ausbildung von abwärtsfließenden Wasseradern den Bestand des Hebewerks gefährden kann.

§ 13. Uferbefestigung. Die Befestigung der Kanalufer hängt, wie in § 11 bereits hervorgehoben wurde, mit der Gestaltung des Wasserprofils so eng zusammen, daß auch die letztere an dieser Stelle zu besprechen ist. Es kommt jedoch hierbei der untere Teil des Wasserprofils in der Regel nicht in Betracht. Je nach Beschaffenheit des Bodens (sandig, thonig, torfig u. s. w.) giebt man den Böschungen desselben Neigungen zwischen 1:2½ und 1:1 und bei Felsboden noch steilere. Die Stellen, woselbst Böschung und Sohle zusammentreffen, sollten ein wenig ausgerundet werden; man hat auch vorgeschlagen, mit der Ausrundung ziemlich weit zu gehen und von vornherein die Form herzustellen, welche sich bei längerer Benutzung des Kanals zu bilden pflegt, vergl. F. 3, T. XV und Fig. 37, S. 397. Aber die Form des oberen Teils des Wasserprofils ist in hohem Grade von der Art der Befestigung der Ufer abhängig, und diese muß bei geringer Fahrgeschwindigkeit der Schiffe anders behandelt werden, als bei größerer Geschwindigkeit derselben und beim Eintreten sonstiger ungünstigen Umstände;

im letztgenannten Falle ist zu unterscheiden zwischen einer nachträglichen Befestigung der Ufer und der Befestigung während des Baues.³⁶⁾

Uferbefestigung und Wasserprofil bei geringer Geschwindigkeit der Schiffe. Auch bei geringer Fahrgeschwindigkeit entstehen in den Kanälen durch die Schiffe, zum Teil auch durch den Wind Strömungen und Wellen. Selbst kleine Wellen greifen aber den oberen Teil der Böschungen des Wasserprofils und die darüber liegenden Stellen im Laufe der Zeit merklich an und die bekannten Einwirkungen des Frostes vergrößern diese Beschädigungen. Auch das Einsetzen von Schiffsstangen und das Betreten der über dem Wasser liegenden Teile der Böschungen durch Vieh verursachen eine Veränderung ihrer ursprünglichen Form. Nicht minder leiden die Böschungen nicht selten dadurch, daß leere Kähne dieselben streifen. Es ergibt sich, daß ein Uferschutz nie ganz entbehrt werden kann.

Ein einfaches und weit verbreitetes Mittel, um die bedrohten Streifen der Böschungen gegen jene Angriffe zu schützen, besteht nun in der Anordnung einer mit Schilf oder dergl. bepflanzten Berme, welche in der Höhe des Wasserspiegels (F. 6, T. XV) oder ein wenig tiefer liegt; oberhalb derselben werden die Böschungen mit Rasen bekleidet. Diese Berme gewährt noch den Vorteil, daß Erdmassen, welche über Wasser abrutschen, nicht sofort in den Kanal gelangen. Früher war für die Bermen eine Breite von 0,5 m üblich, es kann jedoch empfohlen werden, dies Maß zu vergrößern, zumal die Bermen ihre ursprüngliche wagerechte Lage nur selten beibehalten. Der Oder-Spree-Kanal hat deshalb in Anschluß an eine in Wasserspiegelhöhe liegende 0,5 m breite Berme eine dreimalige Böschung erhalten, welche bis 0,6 m unter den Spiegel reicht, s. F. 1^d, T. XVI.

Beim Elbe-Trave-Kanal beabsichtigt man die in der Höhe des gewöhnlichen Wasserstandes beginnenden, dann schwach ansteigenden und mit „Reth“ zu bepflanzenden Bermen noch mehr auszubilden und ihnen eine Breite von 3 bis 5 m zu geben. Der Übergang von den Bermen in die zweimalige Kanalböschung wird durch eine 0,3 m unter Wasser endigende flache Erdböschung vermittelt, s. Fig. 35. Bei diesem Kanal wird Dampfbetrieb nicht ausgeschlossen sein, der Anwendung festerer Uferdeckungen steht aber die Bodenbeschaffenheit entgegen.

³⁶⁾ Litteratur. Graeff. Canaux et chemins de fer, S. 292. — Malézieux. Travaux publics des états-unis d'Amérique en 1870, S. 358 u. 360. — Stevenson. The principles and practice of canal and river engineering (Edinburgh 1872). — Herschel. Die Zerstörungen der Böschungen und der Sohle der Flüsse und Kanäle durch das Wasser. Journ. of the Franklin Inst. 1878, Juli, S. 26. — v. Weber. Wasserstraßen Nord-Europas. Berlin 1880. S. 138. — v. Horn. Befestigung der Kanalufer in den Niederlanden (nach Tijdschr. van het kon. inst. van ingenieurs 1888/89). Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 725.

V. internationaler Binnenschiffahrts-Kongress zu Manchester (1890). 10. Abhandlung unter „Engineering“. Wells. Über die besten Mittel zum Schutze der Ufer gegen die Wirkungen des durch Dampfschiffe erzeugten Wellenschlags.

V. Binnenschiffahrts-Kongress zu Paris (1892). Vorberichte über die Befestigung der Kanalufer von Schlichting, Peslin, Van der Sleyden und Hörschelmann. — Procès verbaux des séances des sections (Paris 1892), S. 5 u. ff.

Rehder. Entwürfe zu einem Elbe-Trave-Kanal zwischen Lauenburg und Lübeck (Lübeck 1892). S. 21, Uferbefestigung.

v. Horn. Einwirkung der Dampfschiffahrt auf den Querschnitt der Kanäle. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 484.

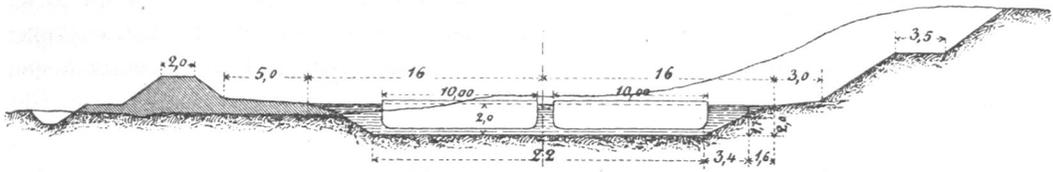
VI. Binnenschiffahrts-Kongress im Haag (1894). Vorbericht von Gröhe über den Bau der Schiffahrtskanäle, welche einen Schnellbetrieb zulassen. Desgl. von Wortmann über die Sicherung der Kanalufer in Niederland.

Fig. 35. *Elbe-Trave-Kanal.*

Querprofile unterhalb der Donnerschleuse. M. 0,002 (1:500).

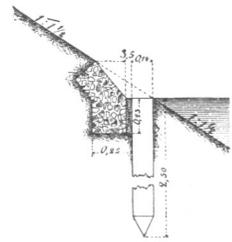
In den Wiesen.

In den Höhen.



Da, wo der Boden wenig widerstandsfähig ist, kann man durch Flechtzäune oder durch Packwerk nachhelfen. Die ersteren werden namentlich in Holland bei leichten Beschädigungen nicht selten verwendet. Ebendasselbst, namentlich aber bei dem Finow-Kanal, dem Oder-Spree-Kanal u. a. hat man Packwerke, und zwar sowohl starke, wie leichte in großer Ausdehnung ausgeführt. Diese Befestigung verursacht geringe Kosten, ist aber hinsichtlich der über Wasser liegenden Lagen von ziemlich kurzer Dauer. An den Böschungen französischer Kanäle bestehen die leichteren Deckwerke da, wo bepflanzte Bermen den Dienst versagen, aus mäfsig starken, in 0,8 m Abstand eingeschlagenen Pfählen, gegen welche eine Bohle gelegt wird, um einen gewöhnlich aus Backsteinbrocken hergestellten Körper zu stützen. Fig. 36 zeigt die bewährte Anordnung einer solchen sogenannten *Tunage*.

Fig. 36. M. 0,02.



Uferbefestigungen, welche infolge Vergrößerung der Fahrgeschwindigkeit der Schiffe nachträglich angebracht werden. Die Vergrößerung der Fahrgeschwindigkeit, welche mit der Anwendung von Dampfschiffen Hand in Hand geht, steigert die Angriffe, welchen die Ufer ausgesetzt sind, erheblich. Die Wellen werden höher, greifen deshalb auch in größerer Tiefe an, und die Strömungen neben den Schiffen werden kräftiger, dabei finden die Bewegungen des Wassers in sehr verschiedenen Richtungen statt. Es kommt aber nicht allein die Geschwindigkeit, sondern auch die Gröfse des Verkehrs in Betracht. Wenn dieser lebhaft ist, wenn massige Kähne verwendet werden, wenn außerdem noch mit erheblich wechselnden Wasserständen zu rechnen ist, sind die oben besprochenen Uferbefestigungen auf die Dauer unzureichend und das Wasserprofil erleidet eine erhebliche Veränderung, bis kräftige Befestigungen ausgeführt werden.

Fig. 37. *Kanal von Dokkum nach Gerbenalles-Verlaat.* M. 0,005 (1:200).

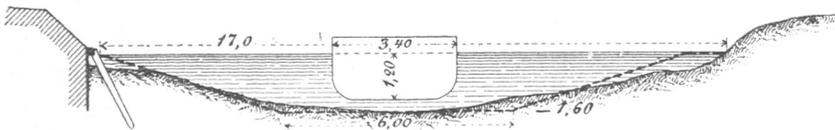
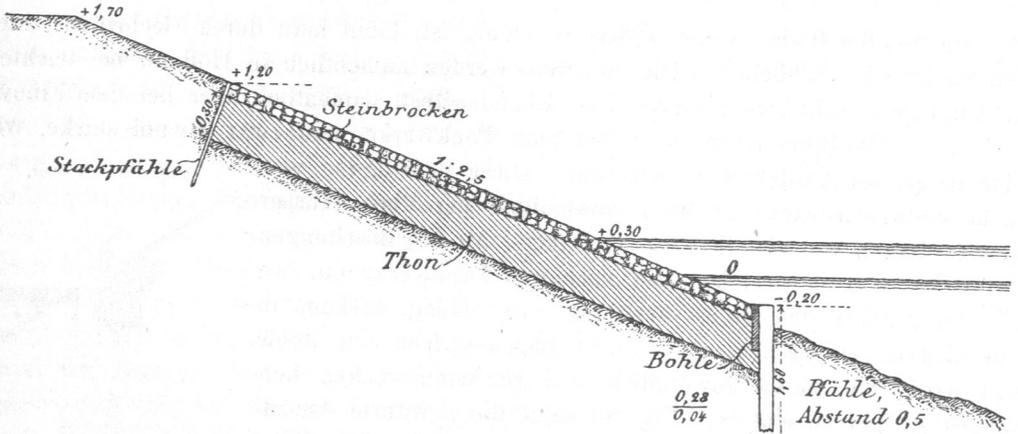


Fig. 37 zeigt die Veränderung des Wasserprofils eines holländischen Kanals, dessen Form sich bei Kanälen mit Dampftrieb oft wiederholt. An den Ufern bildet sich fast durchweg ein steiler Abhang aus, welcher in 0,20 bis 0,75 m Tiefe unter Wasser endigt; an diesen Abhang schließt sich eine mehrere Meter breite, schwach geneigte Berme, dann folgen Stellen, deren ursprüngliche Formen weniger verändert sind. Bei Seekanälen treten dieselben Erscheinungen auf, aber die Abmessungen sind größer.

Über die unter diesen Umständen ausgeführten Uferbefestigungen liegen zahlreiche Mitteilungen vor (vergl. Anm. 36, S. 396), besonders über die Ausführungen an holländischen Kanälen, welche seit längerer Zeit mit Dampfschiffen befahren werden. Aus der neuesten betreffenden Arbeit von Wortmann, in welcher einige vierzig Arten besprochen werden, seien hier einige Beispiele aufgenommen. Er teilt die Befestigungen wie nachstehend ein, bemerkt aber mit Recht, daß eine scharfe Grenze zwischen den verschiedenen Arten nicht gezogen werden kann.

Fig. 38. Meppelerdiep. M. 0,002 (1:50).



a. Eine verstärkte (armierte) Böschung mit durchbrochenem Fusse zeigt Fig. 38 vom Meppelerdiep (Sohlenbreite 20 m), woselbst den Dampfern 7,5 km i. d. Stunde gestattet sind. Der Boden ist sandig. Die Befestigung besteht aus Steinbrocken auf einer Lage Thon, sie wird gestützt durch eine Reihe tanener, 1,60 m langer Pfähle, deren zwei auf das Meter kommen, und eine gegen diese Pfähle gelebnte Bohle.

Fig. 39. Süd-Willems-Fahrt (Brabant).

M. 0,02 (1:50).

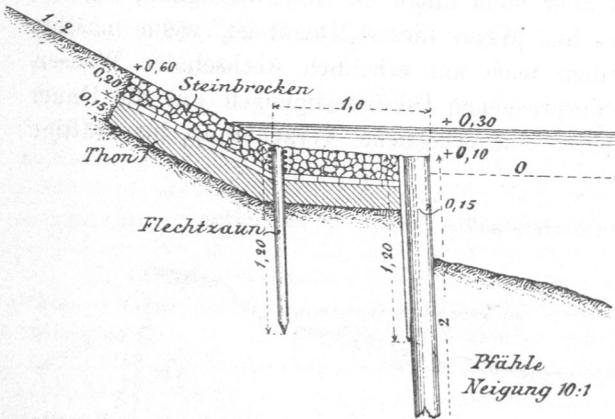
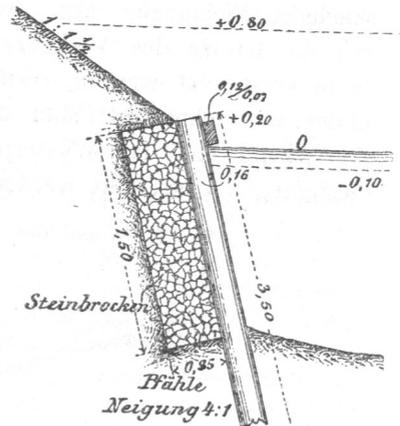


Fig. 40. Kanal von Groningen nach Lemmer.

M. 0,02.

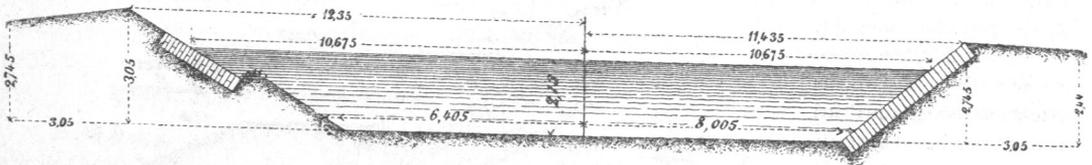


b. Verstärkte Böschung mit geschlossenem Fusse von der Süd-Willems-Fahrt (Brabant), Sohlenbreite 10 m, Fig. 39. Den Dampfern sind 7,2 km i. d. Stunde gestattet. Sandiger Boden. Befestigung: Auf einer Plattlage ist unterhalb des gewöhnlichen Wasserstandes aus Steinbrocken eine Berme von 1 m Breite gebildet, sie wird durch eine Pfahlwand gestützt, deren Fugen mit Latten gedeckt sind. Zwischen der Berme und der in gleicher Weise befestigten Böschung liegt ein Flechtzaun. Der in der Zeichnung als Unterlage angedeutete Thon befindet sich nur an einzelnen Stellen.

Auf Grund der mit den besprochenen Anordnungen gemachten Erfahrungen bevorzugt Wortmann im allgemeinen die Anordnungen, von welchen unter e. und f. Beispiele vorgeführt sind, wenigstens für die lockeren Bodenarten der niederländischen Kanäle. Er hebt aber hervor, daß die Holzwände dicht sein müssen, weil andernfalls der dahinter liegende Sand nach und nach weggespült wird, und daß in den vor den Wänden liegenden Flächen nicht selten Vertiefungen eingetreten sind, welche längere Pfähle und Bohlen erforderlich machten, als anfangs verwendet waren; die Holzwände seien deshalb bis zur Kanalsohle hinabzuführen. Hinsichtlich des Kostenpunkts, welchen der Genannte eingehend berücksichtigt, ist auf seinen Bericht zu verweisen. Hier sei nur bemerkt, daß eine armierte Böschung, welche ebenso wirksam ist, wie die vorhin genannten Konstruktionen, teurer ist als die letzteren.

Bei weniger ungünstigen Bodenverhältnissen dürften aber auch die wenig kostspieligen Anordnungen Beachtung verdienen, bei welchen in Wasserhöhe Steinbrocken verwendet werden; diese haben den nicht zu unterschätzenden Vorteil, daß sie bei Unterspülung und Versackung einfach durch Nachschütten ergänzt werden können.

Fig. 44. Querprofile des Erie-Kanals
im Jahre 1835. M. 0,005 (1:200). im Jahre 1849.



Aus anderen Ländern liegen spärlichere Nachrichten vor. Über die am Ourcq-Kanal und am Forth-Clyde-Kanal getroffenen Anordnungen sind die Figuren 26 u. 27, S. 390, zu vergleichen.³⁷⁾ Beim Erie-Kanal hat man anfangs die Befestigung eines Streifens zur Ausführung gebracht (Fig. 44, links), wobei eine Berme beibehalten wurde. Später hat man vorgezogen, die Böschungen in ihrer ganzen Ausdehnung zu befestigen (daselbst rechts), wobei man dieselben steiler anordnen konnte. Eine vollständige Armierung der Böschungen kommt auch in Rußland bei einem der Ladoga-Kanäle vor, hier wird ein starkes nach bekannten Regeln behandeltes Pflaster von einem Steinwurf gestützt. Hörschelmann (vergl. Anm. 36) macht auch über sonstige Befestigungen russischer Kanäle Mitteilungen. Im allgemeinen wird man jene vollständigen und deshalb kostspieligen Armierungen als sehr zweckmäßig nicht bezeichnen können.

Bei den Befestigungen, welche aus Holz und Stein gebildet werden, muß das Holz stets von Wasser bedeckt sein. Hierdurch wird jedoch die Ausführung nicht wesentlich erschwert. Wenn sie sich nicht gelegentlich einer Kanalsperre beschaffen läßt, sind leichte Fangdämme anzuwenden; letztere soll man in Frankreich mit Erfolg aus Eisen hergestellt haben.

Erwähnung verdienen auch die von Peslin eingeführten, oberhalb steiler Steinbekleidungen angebrachten „Hakenlöchersteine“ oder Schiffstangensteine, jedoch muß wegen der Einzelheiten auf seinen Vorbericht (s. Anm. 36) verwiesen werden.

³⁷⁾ Der in Anm. 36, S. 396 näher bezeichnete Bericht von L. B. Wells bringt bezüglich der englischen Kanäle wenig Neues. Beachtenswert ist darin der Auszug eines Kommissions-Berichts, welcher im Jahre 1884 über den Uferschutz am Suez-Kanale erstattet wurde.

Uferbefestigung und Wasserprofil bei neuen Kanälen mit Dampftrieb. Aus den mitgeteilten Erfahrungen lassen sich für den Neubau von Kanälen Ergebnisse ableiten; es ist jedoch mehr als fraglich, ob es sich empfiehlt, die vorhin besprochenen Uferbefestigungen bei neuen Kanälen ohne weiteres zur Anwendung zu bringen, obwohl dies beim Merwede-Kanal geschehen ist. Hinsichtlich der Form des Wasserprofils erscheint eine Anlehnung an die Formen, welche die Dampfschiffe in unbefestigtem Boden ausbilden, zweckmäßig (steile Böschung, Unterwasser-Berme, darunter gewöhnliche Kanalböschung), weil die Wellen steile Böschungen weniger benachteiligen, als flach geneigte³⁸⁾ und weil das Wasserprofil bei gleichem Flächeninhalte eine geringere obere Breite erhält, woraus sich Ersparnisse bei den Erdarbeiten und beim Grunderwerb ergeben. Man darf jedoch nicht unberücksichtigt lassen, daß die von einer steilen Wand ablaufenden Wellen den Grund und Boden vor der Wand um so stärker angreifen, je steiler die Wand ist, auch nicht, daß man bei Anwendung steiler Wände als obere Begrenzungen neuer Kanäle in den Einschnitten eine Erdschüttung gegen festgelagerte Erdmassen eintauschen würde. Es kommt noch hinzu, daß steile Wände stärker sein müssen, als Böschungsbekleidungen, weil erstere einen namhaften Erddruck erleiden.

Die Frage, wie der obere, den Wellen und Strömungen am meisten ausgesetzte Teil der Böschungen bei neuen Kanälen am besten zu befestigen sei, ist zur Zeit noch eine offene. Man hat sowohl beim Nord-Ostsee-Kanal, wie beim Haneken-Kanal (vergl. S. 382) verschiedene Anordnungen versuchsweise ausgeführt, über welche teils im Centralbl. d. Bauverw. 1891, teils in Schlichtings Vorbericht für den Pariser Kongress Näheres mitgeteilt ist.

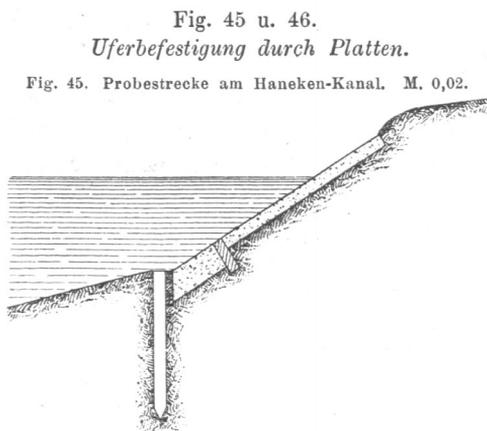
Die versuchsweise hergestellten Uferbefestigungen des Nord-Ostsee-Kanals sind mit Steinen verschiedener Art bekleidete Böschungen in Neigungen von $1 : 1\frac{1}{2}$ und $1 : 2$. Am Fusse sind die Armierungen verstärkt, eine Pfahlreihe war wegen der breiten Unterwasser-Berme, welche dieser Kanal bekanntlich erhalten hat, entbehrlich. Über die hierbei gemachten Erfahrungen ist bis jetzt wenig bekannt geworden, aus den Verhandlungen des Pariser Kongresses ist jedoch zu entnehmen, daß sich glatte Oberflächen mehr zu empfehlen scheinen, als raue und daß man bei den Uferbekleidungen des genannten Kanals, dessen Wasserspiegel regelmäßig wiederkehrenden Schwankungen unterliegt, zahlreiche offene Fugen zweckmäßig findet, zumal dieselben auch dem Grundwasser freien Lauf gewähren.

Von den älteren am Haneken-Kanal hergestellten Versuchsstrecken sei die in Fig. 45 dargestellte hervorgehoben; bei dieser sind Cementplatten verwendet, welche auf einem Fundament von Cementsand (1 Teil Cement, 7 Teile Sand) ruhen. Die Platten haben eine Breite von 50 cm, eine Länge von 125 cm, eine Stärke von 8 cm und sind unter Verwendung von 1 Teil Schlackencement und 3 Teilen Sand (granulierte Schlacke) durch Einstampfen in Formen hergestellt.

Die mit der Befestigung durch Cement-Platten in einer Zeit von vier Jahren gemachten Erfahrungen sind günstig; auf Grund derselben hat Gröhe in einem Vorbericht für den Binnenschiffahrts-Kongress im Haag das Folgende als Hauptbedingungen für eine zweckmäßige Uferbefestigung des Dortmund-Ems-Kanals bezeichnet:

- a. Das Material muß frostbeständig und von genügender Festigkeit sein, auch eine möglichst glatte Oberfläche haben.

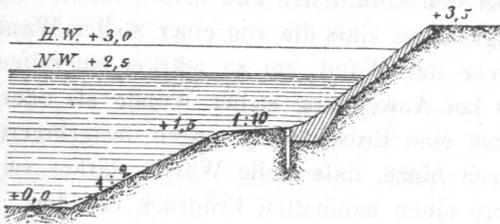
³⁸⁾ Man vergleiche hierzu das XVI. Kapitel, § 10 (Anlaufen der Wellen) und das XVIII. Kapitel, § 10 (Parallele Schutzwerke) in der dritten Abteilung dieses Werks (2. Aufl.).



- b. Die Uferdeckung muß geringen Verschiebungen, bezw. Versackungen folgen können, ohne daß Brüche eintreten, also aus einzelnen Teilen zusammengesetzt sein und gleichzeitig möglichst wenig Fugen besitzen, welche einen Angriff auf das Bettungsmaterial gestatten.
- c. Reparaturen müssen sich leicht und möglichst unabhängig von den Witterungseinflüssen ausführen lassen.

Für das Wasserprofil empfiehlt der Genannte die oben besprochene Form und gelangt zu nachstehendem, in Fig. 46 dargestellten Gesamtergebnis:

Fig. 46. Vorschlag.



Zum Schutze der Kanalufer gegen den Wellenangriff empfiehlt sich die Anlage einer Berme von genügender Breite (mindestens 1,5 m) und in genügender Tiefe (nicht weniger als 0,8 m) unter der Niedrigwasserlinie, sowie die Befestigung des über der Berme liegenden Ufers durch natürliches oder künstliches Steinmaterial mit möglichst glatter Oberfläche und geringer Zahl von Fugen.

Der Neigungswinkel zwischen der Böschungslinie und der Horizontalen ist zwischen 30 und 40 Grad anzunehmen.

Die Figur zeigt, daß die vorgeschlagene Uferbefestigung durch ein leichtes Pfahlwerk begrenzt wird und dieser Teil ist vielleicht am wenigsten gelungen. Das soll indessen hier nicht eingehend erörtert werden; überhaupt ist wegen aller Einzelheiten auf die gründliche Besprechung im genannten Vorbericht zu verweisen. Es scheint übrigens aus Obigem hervorzugehen, daß hinsichtlich der endgiltigen Gestaltung des Wasserprofils des Dortmund-Ems-Kanals (F. 2^a, T. XVI) das letzte Wort noch nicht gesprochen ist.

Im Jahre 1894 ist am Dortmund-Ems-Kanal eine ganz neue Art Uferdeckung probeweise ausgeführt worden, bei welcher eine große Betondecke durch Cement-Erdanker befestigt ist. Der Erfinder hat hierüber das Nachstehende freundlich mitgeteilt.

Der Cement-Erdanker mit metallischer Einlage ist von Professor Möller-Braunschweig im Frühjahr 1894 konstruiert und der Firma Drenckhahn & Sudhop daselbst patentiert. Die Figuren 47a u. 47b zeigen eine Anwendung der Cement-Erdanker im Ufer-Deckwerk des genannten Kanals bei Lingen. Zunächst wurde eine für die örtlichen Verhältnisse zweckmäßige Böschung in der Neigung 1:1¼ hergestellt. Darauf sind in Entfernungen von 45 bzw. 50 cm horizontale Langdrähte aufgebracht und an den Enden vorläufig befestigt. In Entfernungen von je 50 bzw. 75 cm voneinander wurden alsdann mittels einer spitzen Eisenstange und Holzschlägel Löcher von 55 cm Tiefe in den Boden geschlagen, in diese wurde je ein Hakendraht (Fig. 47b) so in das Loch gesetzt, daß der Haken über den Langdraht greift. Nunmehr wurden die Löcher mit Mörtel (1 Cement und 1 Sand) vergossen. Am folgenden Tage werden Steinchen unter den Draht geschoben, um diesen vom Boden abzuheben, damit eine Einbettung des Drahtes in den jetzt in 5 cm Dicke aufzustampfenden Beton erreicht werde. Der Beton wird dann festgeschlagen und derart abgerieben, daß die Oberfläche zwar im Korn etwas rauh bleibt, im übrigen aber eben und dicht wird.

Es ist darauf zu achten, daß die Drähte satt im Cementmörtel liegen, damit sie vor Rostbildung geschützt und mit der Decklage verbunden sind. Statt der Decklage aus Beton läßt sich auch eine Rollschicht aus Klinkern oder Steinpflaster verwenden.

Die Herstellung eines Cement-Erdankers kostet etwa 15 Pfennige, derselbe leistet bei 55 cm Länge auf Zug einen Widerstand von 150 kg und von 600 kg bei 1½ m Länge (Durchmesser des Cementkörpers 5 cm). Die Stärke der Drahteinlage beträgt bei dem kürzeren Anker 4, dem längeren 6 mm. Die Einlage besteht aus unverzinktem Eisendraht, letzterer hält sich im Cementmantel dauernd blank und rostet nicht.

Fig. 47. Uferschutz mit Cement-Erdankern. D. R.-P.

Fig. 47 a. Querschnitt. M. 0,02 (1:50).

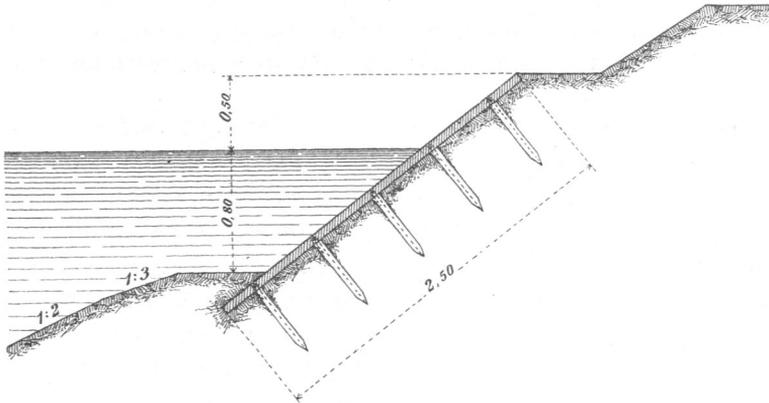
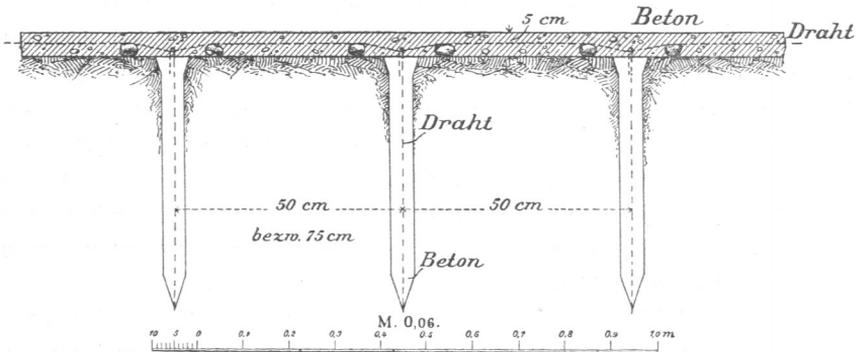


Fig. 47 b. Längenschnitt.



Eine Betondecke von 5 cm Stärke, mit je 2 Cement-Erdankern f. d. qm befestigt, zeigt eine Widerstandsfähigkeit von 400 kg f. d. qm gegen Abheben; dieselbe widersteht daher den Angriffen des Wellenschlags, der Wirkung des Eises und dem Auftreten anderer Kräfte.

Als ein besonderer Vorteil ist hervorzuheben, daß ein Beton-Schutzwerk sich mit so wenig Fugen herstellen läßt, als man eben erreichen will; denn die Fugen sind es gerade, welche eine Unterwaschung zulassen, indem Regenwasser, Wellengang oder die Strömungen den Boden durch etwa vorhandene klaffende Fugen hindurchtreiben. Die Drahteinlage bewirkt, daß selbst dort, wo durch äußere Kräfte ein Zerspringen der Platte eintritt, das Ganze noch fest zusammenhält. Mit Rücksicht auf diesen Umstand ist auch ein Verzinken der Langdrähte gerechtfertigt.

Wenn die Betonplatte im Bereich wechselnder Wasserstände zur Ebbezeit herzustellen ist, muß dieselbe mit schnell bindendem Cementmörtel oder Gips übergossen werden, auf welchen Jutestoff gedrückt wird; hierdurch wird die Oberfläche des frischen Betons zur Flutzeit vor dem Angriff der Wellen vorläufig geschützt.³⁹⁾

Im allgemeinen ist durch die Ausführungen, welche in Vorstehendem besprochen sind, die in Rede stehende Frage ihrer Lösung näher gekommen, aber nicht endgiltig beantwortet. Von der mehrfach besprochenen Form des Wasserprofils kann man letzteres wohl sagen, in diesem Punkte bestehen erhebliche Meinungsverschiedenheiten nicht mehr. Inwieweit sich aber die an unseren neuen Kanälen in großem Maßstabe aus-

³⁹⁾ Die Cement-Erdanker erscheinen für mancherlei andere Anwendungen geeignet. Ausgeführt wurden dieselben bereits für eine Stützmauer am Ufer der Ilse in der Nähe des Bahnhofs Börssum, für die Fundament-sicherung einer Mauer am Ostsee-Strande bei Bad Glücksburg u. s. w.

zuführenden Uferbefestigungen bewähren, kann nur durch längeren Betrieb festgestellt werden, und wenn dann bestimmte Anordnungen als für die betreffenden Kanäle besonders geeignet befunden sind, wird man dieselben nicht ohne weiteres dahin übertragen können, wo andere Verkehrsverhältnisse, andere Bodenarten, andere Grundwasserhältnisse vorliegen und wo die Bezugsquellen für Holz- und Steinmaterial andere sind.

§ 14. Brücken. Düker. Tunnel. Die nachstehende Besprechung der Brücken, Düker und Tunnel muß sich auf Hervorhebung der Hauptabmessungen und einiger aus den Eigentümlichkeiten des Kanalbaues entspringenden Punkte beschränken.

Die für Schiffahrtskanäle auszuführenden Brücken zerfallen in drei Hauptarten. Wenn der Kanal über andere Wasserläufe hinweggeführt wird, entstehen Kanalbrücken (Aquadukte) und Durchlässe oder bei beschränkten Höhenverhältnissen Düker. Ausnahmsweise kommen Kanalbrücken auch bei der Kreuzung des Kanals mit einer StraÙe vor. Gewöhnlich liegt aber der Kanal so tief, daß für StraÙen und Eisenbahnen Brücken herzustellen sind, welche den Kanal überspannen.

Kanalbrücken. Bei den Kanalbrücken, welche in einer nicht empfehlenswerten Nachbildung der französischen Bezeichnung „*pont canal*“ auch Brückenkanäle genannt werden, wird das im wesentlichen rechteckige Wasserprofil in der Regel nur für ein Schiff bemessen. Die Fläche des Profils sollte nicht erheblich kleiner sein, als das Doppelte des eingetauchten Hauptquerprofils eines Schiffs, um dies zu erreichen kann man der Wassertiefe der Strecken etwas zugeben. Bei den Kanalbrücken des Marne-Saône-Kanals hat das Wasserprofil 6,7 m Breite und 2,2 m Tiefe (Sohlenbreite der Strecken 9,7 m, Tiefe derselben wie vorhin). Die Kante des Leinpfads pflegt etwa 0,5 m über dem Wasserspiegel zu liegen. Als Breite desselben genügen in der Regel 2 m, es kommen jedoch auch größere Breiten bis 3 m vor.

Wegen der Einzelheiten und wegen der Konstruktion ist auf das V. Kapitel des zweiten Bandes dieses Werks (2. Aufl.) zu verweisen; jedoch mag eine Kanalbrücke, welche für den Ems-Jade-Kanal ausgeführt ist (s. S. 358), auch an dieser Stelle erwähnt werden.

Bei Kanalbrücken über StraÙen wird das Bett gewöhnlich wie bei den vorhin genannten gestaltet, jedoch kann man in diesem Falle auch das Wasserprofil der Strecken beibehalten. Eine beachtenswerte hierher gehörige Anordnung zeigen einige massive Brücken des französischen Ost-Kanals, bei welchen die im Bereiche der Kanalsohle in üblicher Weise profilierte Durchfahrtsöffnung sich nach beiden Seiten hin bis zu den Aufsenkanten der Pfade trompetenartig erweitert.⁴⁰⁾

Düker. Wenn der Kanal einen kleineren natürlichen oder künstlichen Wasserlauf kreuzt, und wenn er, wie es oft der Fall ist, so tief liegt, daß ein Durchlaß gewöhnlicher Art nicht hergestellt werden kann, kommen Düker zur Anwendung. Bei diesen sind zwei Gruppen zu unterscheiden, je nachdem Rücksichten auf Speisung und Entlastung des Kanals zu nehmen sind oder nicht. Von Bauwerken der ersten Gruppe werden in § 5 einige Beispiele gegeben; die Bauwerke der zweiten Gruppe sind im IV. Kapitel besprochen worden. Es möge hier jedoch auf einige neuere Ausführungen des Merwede-Kanals und des Oder-Spree-Kanals hingewiesen werden. Ganz eigenartig

⁴⁰⁾ Cahen. La construction des ponts sous canal. Ann. des ponts et chaussées 1881, I, S. 93. — Vergleiche auch: Ausführung einer Eisenbahn-Durchfahrt unter einem bestehenden Kanale (Dundas-Aquadukt). Zeitschrift d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover, IV. Bd. S. 427.

ist ein hierher gehöriger Entwurf für die Kreuzung der Ill mit dem geplanten ober-rheinischen Schiffahrtskanal.⁴¹⁾

Straßen- und Eisenbahnbrücken. Brücken, welche den Kanal überspannen, kommen als Straßenbrücken häufig (beim Rhein-Marne-Kanal in durchschnittlich 1,7 km Entfernung voneinander), seltener als Eisenbahnbrücken vor. Wenn die Örtlichkeiten es irgend gestatten, sind feste Brücken zu wählen, jedoch lassen sich bewegliche Brücken — namentlich in ebenen Gegenden — nicht immer vermeiden. Einige Bemerkungen über die beweglichen Brücken sind in Kap. XIV, S. 340 gemacht; hier soll nur von den festen Brücken die Rede sein. Ihre Lichthöhe ist bereits an anderer Stelle besprochen.

Bei Bestimmung der Lichtweiten hat man früher eine erhebliche Einschränkung des Kanalprofils als zulässig erachtet. Erfahrungen, welche beim Bau des Rhein-Marne-Kanals gemacht wurden, führten dahin, bei einer Schleusenweite von 5,2 m unter den Brücken eine Wasserspiegelbreite von 5,50 m und für den Leinpfad 2 m, für den Fußpfad 1,5 m Breite anzunehmen. Von anderer Seite wurde empfohlen, den Wasserspiegel nach dem Einundeinhalbfachen der Schiffsbreite zu bemessen oder aber den Wasserquerschnitt gleich dem Doppelten des eingetauchten Hauptquerschnitts des Schiffes anzunehmen. Man hat ferner früher oft nicht für erforderlich gehalten, den Fußpfad unter der Brücke hindurch zu führen und mitunter selbst den Leinpfad beseitigt. Bei neueren Ausführungen sind aber höhere Anforderungen zu stellen, die Weiten sind der Regel nach für zwei Schiffe zu bemessen und die Pfade sind an beiden Seiten durchzuführen.

Bei den größeren Lichtweiten der Brücken für neuere Kanäle kann man eine Öffnung oder zwei Öffnungen anordnen. Die Entscheidung erfolgt nach bekannten Regeln des Brückenbaues. Bei einer Öffnung kann man die Leinpfadskanten lotrecht über die Sohlenkanten des Kanals legen und erhält dann eine Lichtweite, welche etwa 3 m mehr mißt, als die Sohlenbreite des Kanals. Rehder nimmt beim Elbe-Trave-Kanal (Sohlenbreite 20–22 m) 26 m als Weite zweischiffiger Brücken an.

Beim Oder-Spree-Kanal (Sohlenbreite 14 m, später 16 m) hat Mohr Brücken mit zwei Öffnungen bevorzugt und jeder Öffnung eine Lichtweite von 10 m gegeben. Die Leinpfade ruhen auf wagerecht eingemauerten I-Eisen, der Übergang ihrer Grundrisslinien in die Richtungen der Streckenpfade wird durch die Brückenflügel (Winkelflügel) vermittelt, vergl. Fig. 48, S. 406. Zum Schutz der bedrohten Ecken der Brücken-Leinpfade sind Dükdalben angebracht. Da, wo die Fluchten der Landpfeiler und der Flügel zusammentreffen, befinden sich lotrechte eiserne Leitwalzen (Tauschoner). Wegen der in Aussicht stehenden demnächstigen Vertiefung des ganzen Kanalbettes sind die Kanalsohlen im Bereiche der Brücke auf reichlich 100 m Länge in 2,5 m Tiefe angelegt. Dem eisernen Überbau hat man je nach der Bedeutung der überführten Wege Breiten von 4,5 bis 6 m gegeben.

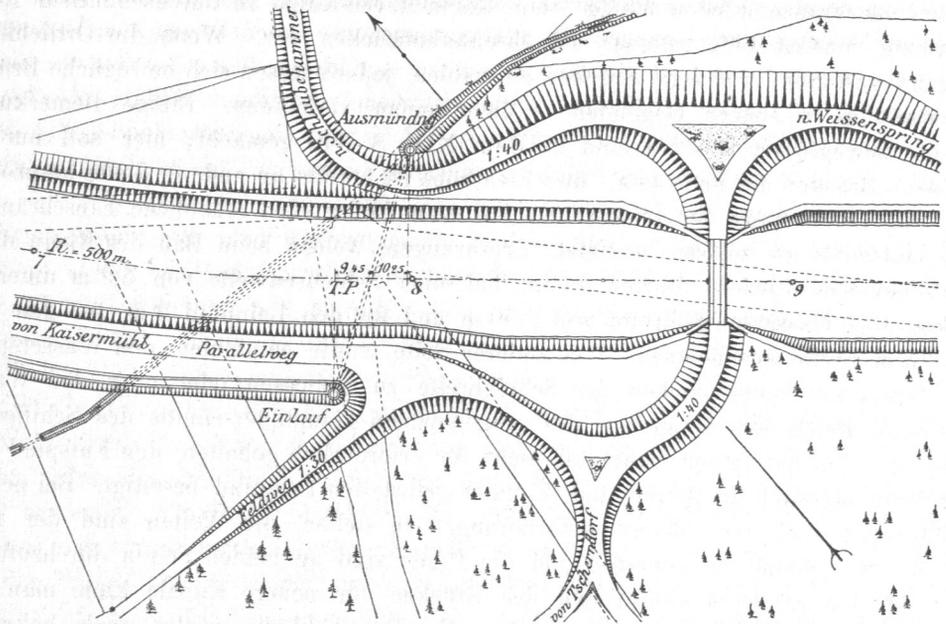
Es mag noch bemerkt werden, daß für den Überbau der Brücken sich im allgemeinen Balkenträger empfehlen, obwohl man beim Marne-Saône-Kanal Bogenträgern den Vorzug gegeben hat. Die ersteren haben den Vorteil, daß die lichte Höhe der Brücke nötigenfalls ziemlich leicht vergrößert werden kann.⁴²⁾

⁴¹⁾ Düker unter dem Merwede-Kanal zur Ableitung der Kanalwasser der Stadt Amsterdam. Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 125. — Dieselben und Düker für die Poldergräben, welche den genannten Kanal kreuzen. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 695. — Kreuzung des oberrheinischen Schiffahrtskanals mit der Ill. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 51. — Billige Düker des Oder-Spree-Kanals. Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 440.

⁴²⁾ Näheres betr. Straßen- und Eisenbahnbrücken über Kanäle und Beispiele ausgeführter Brücken findet man an folgenden Stellen: Zeitschr. f. Bauw. XXIV. Bl. 54. — Graeff. Canaux et chemins de fer, S. 58. —

Fig. 48.

Oder-Spree-Kanal. Wegebücke, Brückenrampen und Dümer zwischen Schlaubehammer und Fürstenberg.
M. 1 : 2000.



Die örtlichen Verhältnisse pflegen eine ansehnliche Länge der Brückenrampen, nicht selten auch eine Verzweigung derselben mit sich zu bringen; hiervon giebt Fig. 48, in welcher auch ein Düker vorkommt, ein vom Oder-Spree-Kanal entnommenes Beispiel. Die Brückenrampen stehen oft mit Parallelwegen in Verbindung; diese sind aber auch an anderen Stellen der Kanäle aus denselben Gründen wie bei Eisenbahnen anzulegen. In geeigneten Fällen ist es nicht ausgeschlossen, die Parallelwege mit den Leinpfaden zu vereinigen, obwohl dies früher wenig üblich war; beim Oder-Spree-Kanal scheint es an verschiedenen Stellen geschehen zu sein. Gelegentlich des Binnenschiffahrts-Kongresses zu Frankfurt a. M. wurde jene Vereinigung und die Gestattung freier Bewegung landwirtschaftlicher Fuhrwerke auf den Leinpfaden von Oberingenieur de Mas warm empfohlen.

Es sei noch erwähnt, dafs unter Umständen der örtliche Verkehr mittels einer Fähre über den Kanal geführt werden kann, was u. a. in den Niederlanden nicht selten geschieht.

Tunnel.⁴³⁾ Kanaltunnel (unterirdische Strecken) werden meist nur für ein Schiff eingerichtet mit mindestens 1 m Spielraum zu beiden Seiten. Ein Pfad ist auch dann nicht zu entbehren, wenn die Schiffe in Zügen durch Dampfkraft oder mittels elektrischen Betriebs befördert werden; er dient alsdann zur Untersuchung des Zustandes des Tunnels

Minard. Cours de construction. Rivières et canaux, S. 358 und 362. — Die Kanalisierung der oberen Saar. Zeitschr. f. Bauw. 1866, S. 40. — Zeichnungen neuerer Brücken über Kanäle, daselbst Bd. XXIV, Bl. 39 u. 53. — Hefs. Der Rhein-Marne-Kanal. Allg. Bauz. 1871, S. 86. — Brücken der kanalisierten Mosel. Zeitschr. f. Bauw. 1874, Bl. 53 u. 54. — Brücken des Oder-Spree-Kanals. Daselbst 1890, S. 376 u. 439.

⁴³⁾ Hagen. Wasserbaukunst, Zweiter Teil, 3. Bd., S. 649. — Vogesen-Tunnel. Deutsche Bauz. 1871, S. 123. — Knobloch. Der Mosel-Saar-Kanal (Wien 1879), S. 42 (Beispiel eines in neuerer Zeit geplanten Kanaltunnels). — Keller. Der Marne-Saône-Kanal. Zeitschr. f. Bauw. 1882, S. 329, 457.

und man läßt ihn auf einzelnen Stützen ruhen, um das Wasserprofil nicht zu schmälern. Die Voreinschnitte hören beim Rhein-Marne-Kanal mit 15–17 m Tiefe, bis auf den Wasserspiegel gemessen, auf.

In neuerer Zeit ist unter der Wasserscheide zwischen Marne und Saône ein Kanaltunnel von 4600 m Länge ausgeführt; die Voreinschnitte hören bereits bei 12,5 m Tiefe auf. Auch dieser Tunnel ist einschiffig; bei 2,9 m mittlerer Tiefe hat das Wasserprofil 8 m obere und 7,6 m untere Breite, mißt also (rund) 22,5 qm. Nimmt man für die größten Kähne 5 m Breite und 1,8 m Tiefgang an, so mißt das Wasserprofil des Tunnels das 2 $\frac{1}{2}$ -fache des größten eingetauchten Schiffsquerschnitts. Im übrigen ist auf das IX. Kapitel des ersten Bandes dieses Handbuchs (2. Aufl.) zu verweisen.

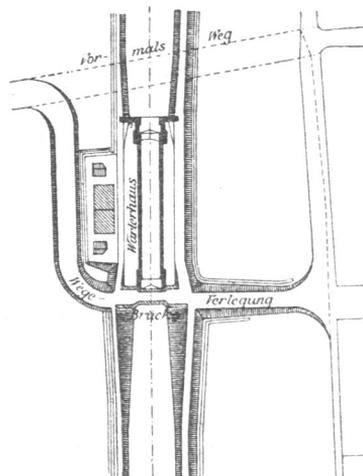
Kanaltunnel dürften in unserer Zeit voraussichtlich sehr selten werden; es soll aber nicht unerwähnt bleiben, daß der Tunnelbau (auch der Erdbau) durch die Kanalbauten des vergangenen Jahrhunderts wesentlich gefördert sind und daß ihnen auch der Brückenbau viel verdankt.

§ 15. Schleusen und ihre Umgebungen. Hochbauten. Unter Bezugnahme auf § 2 u. 3 des XIV. Kapitels ist zunächst an die Gestaltung der verschiedenen Arten von Schleusen zu erinnern, welche in Binnenkanälen vorkommen. Am weitesten verbreitet ist die Kammerschleuse mit zwei das Oberwasser (Binnenwasser) kehrenden Thoren. Schleusen mit einem Haupt kommen an den oberen Mündungen von Seitenkanälen in einen Fluß als Schutzschleusen zur Abhaltung des Hochwassers vor. An den unteren Mündungen der Seitenkanäle wird das Thor, welches das Hochwasser abhält, gewöhnlich an die letzte Kammerschleuse angeschlossen: es entstehen Schleusen mit drei Thoren, zwei Thore kehren das Binnenwasser, eins das Aufsenwasser. Rücksichten auf die verschiedene Größe der Schiffe, namentlich aber auf Schiffszüge, führen zur Anordnung von drei das Binnenwasser kehrenden Thoren. Dieselbe Anzahl von Thoren, auch dieselbe Stellung derselben hat die Kuppelschleuse, welche mit zwei Kammern in verschiedenen Höhenlagen versehen ist. Schleusen mit vier Thoren, von denen zwei das Binnenwasser, zwei das Aufsenwasser kehren, sind in Binnenkanälen selten, aber nicht ganz ausgeschlossen. Bei lebhaftem Verkehr werden zwei nebeneinander liegende Schleusen (Doppelschleusen) erforderlich; beispielsweise sind für den Merwede-Kanal Doppelschleusen hergestellt und für den westlichen Teil des Rhein-Weser-Kanals sind solche in Aussicht genommen.

Auf die mannigfaltige Gestaltung der Kammern und auf seltener vorkommende Schleusenarten soll hier nicht eingegangen werden; beides ist an den genannten Stellen eingehend besprochen. Es mag aber daran erinnert werden, daß das Längenprofil der Kanalschleusen gewöhnlich einen Absatz (eine Fallmauer) zeigt, nur vereinzelt kommen Kanalschleusen mit durchweg wagerechten Böden vor.

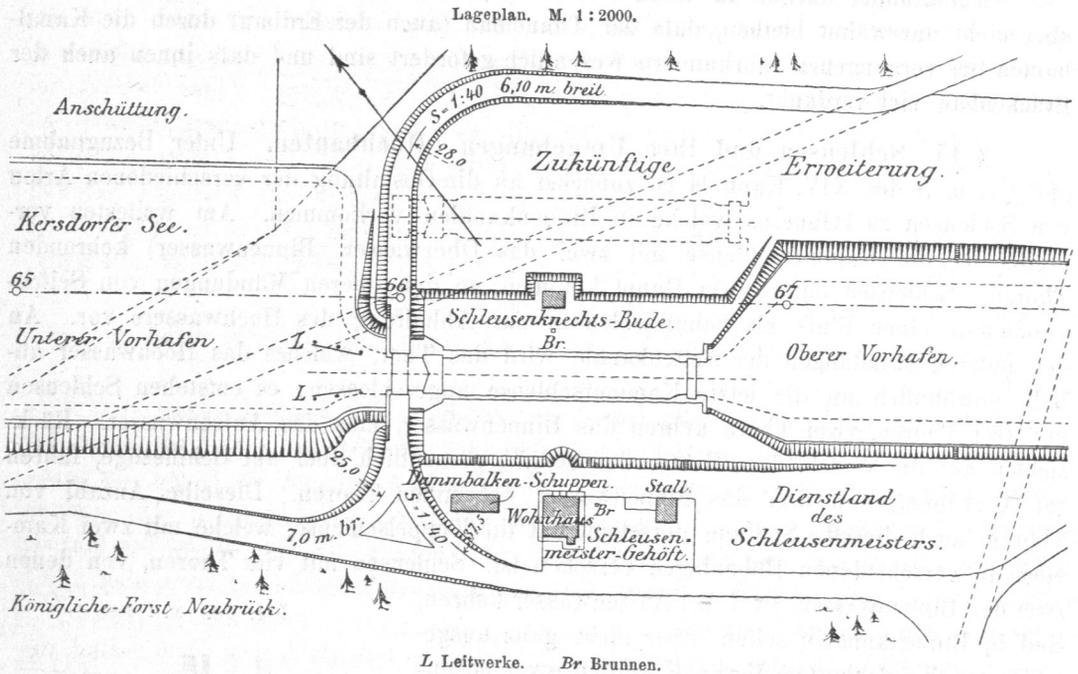
Von der Lage der Schleusen im großen und ganzen und von ihrem Gefälle ist in den Paragraphen 8 bis 10 die Rede gewesen; hier ist auf einige bezügliche Einzelheiten einzugehen. Die früher allgemein übliche Anordnung Fig. 49 wird man bei neuen Kanälen mit lebhaftem Verkehr wohl nicht mehr ausführen. Bei diesen ist es unvermeidlich, daß sich

Fig. 49. M. 1:2880.



mitunter z. B. im Frühjahr bei Wiedereröffnung der Schifffahrt eine grössere Anzahl von Kähnen oder Flößen vor der Schleuse einfänden, und es empfiehlt sich, sowohl oberhalb wie unterhalb derselben einen geräumigen Vorhafen anzulegen, zumal die Vorhäfen auch die Erbauung einer zweiten Schleuse anbahnen, falls eine solche bei Zunahme des Verkehrs erforderlich wird. Ferner dienen diese Häfen dem örtlichen Verkehr, auch zum Aufstellen von Dienstschiffen u. dergl. Hierbei ergibt sich nun ein ansehnlicher Abstand der Schleusenaxe von der Kanalaxe, s. Fig. 50. Bei dem Entwurfe eines ober-rheinischen Kanals ist die Schleusenaxe aus anderen Gründen gegen die Kanalaxe verschoben, s. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 51.

Fig. 50. Oder-Spree-Kanal. Kersdorfer Schleuse nebst Umgebung.



Bei Bestimmung der Längen und Breiten der Vorhäfen kann man die Hauptabmessungen der Schiffe zu Rate ziehen, muß jedoch auch auf die Bewegungen Rücksicht nehmen, welche die Schiffe zu machen haben, wenn sie in die Schleuse einfahren, sowie darauf, daß diese Vorhäfen unter Umständen als Wendepunkte zu benutzen sind. Der obere Vorhafen der Wernsdorfer Schleuse hat im Kern 180 m Länge und 50 m Wasserspiegelbreite, bei drei Vorhäfen, welche gelegentlich der Erweiterung des Plauerkanals ausgeführt sind, betragen jene Abmessungen bezw. 110, 140, 160 m und 35, 50, 50 m. Die Begrenzungen der Vorhäfen sind in die Begrenzungen der Strecken allmählich überzuführen (vergl. F. 1°, T. XVI), auch an den Oberhäuptern der Schleusen empfiehlt sich eine allmählich eintretende Verengung des Hafens, andernfalls wird die Bekleidung der Sohlen der Vorhäfen, welche in der Nachbarschaft der Schleusen behufs Einschränkung der Versickerungen oft erforderlich ist, sehr kostspielig.

Am Unterhaupt ist eine Befestigung der Sohle des Vorhafens wegen der Strömungen und Wirbel, welche beim Leeren der Kammern entstehen, stets erforderlich; beim Oder-Spree-Kanal ist diese Befestigung etwa 30 m lang und durch ein mit Steinen belastetes, 1 m starkes Packwerk beschafft. In dieser und den benachbarten Stellen der

Vorhäfen findet ein allmählicher Übergang von der Wassertiefe der Strecken in die Tiefenlage der Schleusendempel statt. — Das Einfahren der Schiffe in die Schleusen wird erleichtert, wenn hier Leitwerke (*LL*, Fig. 50) oder Dükdalben angebracht werden.

Es ist zweckmäßig, die Böschungen der Vorhäfen, welche sich zunächst der Schleuse befinden, gleichfalls und zwar mit Steinen zu armieren; die Vergrößerung ihres Neigungswinkels, welche hiermit Hand in Hand gehen kann, bringt eine Einschränkung der Länge der Flügel der Schleusen, also eine teilweise Deckung der Kosten der Bekleidung, mit sich.

Neben den Schleusen befinden sich zunächst zwei geräumige, von der Schleuse weg entwässernde freie Plätze für den Verkehr der Beamten, der Leinreiter u. s. w., ferner zur Vornahme von Unterhaltungsarbeiten u. dergl. Dann folgt in etwas höherer Lage an der einen und zwar in der Regel an der dem nächsten bewohnten Orte zugekehrten Seite das Schleusenmeister-Gehöft, während an der anderen Seite eine Schleusen-knechts-Bude ihren Platz finden kann (Fig. 50). Die Breite jener Plätze beträgt bei neueren Ausführungen an der erstgenannten Seite 20—25 m, an der anderen etwa 15 m. Von der Ausstattung des Gehöfts wird weiter unten die Rede sein. Den Plätzen schliessen sich die Leinpfade an; an der Unterwasserseite sind dieselben mit kräftiger Neigung (8% oder ähnliches) in die neben der unteren Haltung liegenden Pfade zu führen. Die Lage ihres Grundrisses ist ziemlich willkürlich und nur von den Örtlichkeiten abhängig, weil ein kleiner Umweg die Benutzung nicht benachteiligt.

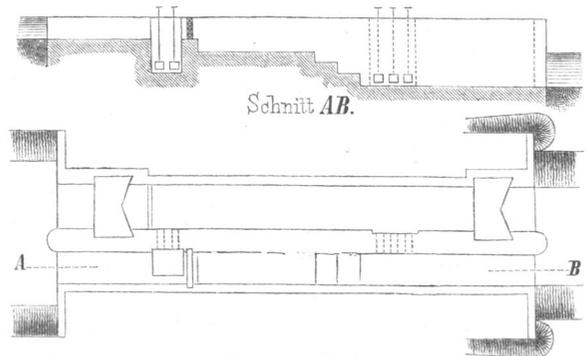
Das bis hierher Besprochene kommt in der Umgebung fast aller Schleusen vor; unter Umständen treten noch folgende Anlagen hinzu:

a. Wegebrücken. Wenn der Kanal in der Nähe der Schleuse einen Weg oder eine StraÙe kreuzt, so wird die betreffende Überführung gern mit dem Oberhaupt der Schleuse vereinigt, vergl. Fig. 49, S. 407. Der Überbau braucht dann nur für eine Schiffsbreite bemessen zu werden und auch an Mauerwerk wird gespart. Die kleinen Brückenrampen, welche entstehen, sind zwar dem Verkehr, welcher längs des Kanals stattfindet, ein wenig hinderlich, dieser nicht schwerwiegende Übelstand kann aber durch Treppenanlagen gemildert werden.

b. Durchlässe. Wenn in der Nähe der Schleuse ein Bach von dem Kanal gekreuzt wird, kann eine Verlegung der Kreuzung nach dem Oberhaupt der Schleuse zweckmäßig sein; alsdann ist unter dem Oberhaupt ein Durchlaß oder ein Düker anzulegen. Beim Marne-Saône-Kanal ist dies an verschiedenen Stellen geschehen und zwar mitunter derart, daß mit jener Anlage Vorrichtungen zur Speisung der oberen und zur Entlastung der unteren Strecke verbunden sind, vergl. Fig. 63, S. 426. In Deutschland findet man Düker u. a. unter den Oberhäuptern der Schleusen des mittleren Emsgebiets, s. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 166 und F. 16 u. 17, T. VI.

c. Speisekanäle. Die Speisekanäle, welche neben den Schleusen, nicht selten auch im Mauerwerk derselben angelegt werden, um Wasser aus der oberen in die untere Haltung überzuführen, sollen hier nur vorläufig erwähnt und in § 17 eingehender besprochen werden. Eine verwandte Anordnung zeigt Fig. 51.

Fig. 51.



Dieselbe gehört einem schiffbaren Bewässerungskanale an und ist getroffen, um das Bewässerungswasser unabhängig vom Schleusenbetriebe aus einer Haltung in die andere leiten zu können, nebenbei gestattet sie, die Kammer von der Langseite der Schleusenmauern her zu füllen und ebenso zu entleeren, vergl. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1873, Bl. 567.

Hochbauten. Unter den Hochbauten, zu welchen der Bau eines Schiffahrtskanals Veranlassung giebt, sind zunächst diejenigen des Schleusenmeister-Gehöfts zu nennen. Die Beschreibung eines solchen giebt Mohr, Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 382. Hier seien unter Hinweis auf Fig. 50, S. 408 die Grundflächen der einzelnen Gebäude in runden Zahlen angegeben:

Schleusenmeister-Wohnhaus ⁴⁴⁾	10 $\frac{1}{2}$ \times 9 m,
Stallgebäude	6 $\frac{1}{4}$ \times 5 m,
oder, wenn ein Geräteraum für die Verwaltung damit verbunden wird	11 \times 9 m,
Schleusenknechts-Bude	5 $\frac{3}{4}$ \times 4 $\frac{1}{4}$ m,
Dammbalkenschuppen bei 8,6 m Schleusenweite	12 \times 4 $\frac{1}{2}$ m.

Die angegebenen Gröfsen von Wohnhaus und Stallgebäude genügen auch für Bühnenmeister und Baggermeister.

An Hauptorten sind ausserdem sogenannte Bauhöfe zu errichten. Der Bauhof des Oder-Spree-Kanals zu Fürstenwalde hat einen Schuppen für Kohlen, Geräte und zum Arbeiten unter Dach (32 \times 12 m Grundfläche), ferner eine Schmiede (14 $\frac{1}{2}$ \times 10 m Grundfläche), worin ausser dem Raum für das Schmieden eine Dreherei, eine Eisenkammer und eine Kohlenkammer. Ebendasselbst ist auch ein Bootsschuppen (17 $\frac{1}{2}$ \times 5 m Grundfläche) erbaut, in welchem ein Boot vor Regen geschützt und schwimmend liegen kann. Die Gehöfte, welche sich an den Seitenkanälen kanalisierter Flüsse befinden, sind, nebenbei bemerkt, mit einem geräumigen Geräte- und Arbeitsraum auszustatten, in welchem die zahlreichen Reservestücke, Werkzeuge u. s. w. für die Nadelwehre be- reit gehalten werden.

Aufser den genannten Hochbauten werden noch kleine Maschinengebäude erforderlich, wenn die Bewegung der Schleusenthore u. s. w. durch Presswasser erfolgt. — Von den neben den Kanalhäfen anzulegenden Gebäuden wird in § 19 die Rede sein.

§ 16. Wasserverbrauch und Wasserverluste. Den Wasserbedarf eines Kanals zum voraus zu bestimmen ist eine ebenso schwierige wie wichtige Aufgabe: sie ist schwierig, weil der Bedarf von sehr verschiedenen Umständen abhängig ist und wichtig, weil es Vorbedingung für genügende Speiseanlagen ist, dafs der Wasserbedarf nicht zu gering angeschlagen werde. Die betreffenden Untersuchungen haben übrigens nicht allein für die Schiffahrtskanäle Bedeutung; Speisegräben, Bewässerungskanäle u. s. w. unterliegen ähnlichen Verhältnissen wie jene und von dem, was weiter unten über die Verluste durch Versickerung und Verdunstung gesagt werden wird, gilt Manches auch für jene.

Zu unterscheiden sind Wasserverbrauch und Wasserverluste. Ein Wasserverbrauch findet namentlich beim Durchschleusen der Schiffe statt; er wächst mit dem Verkehr, sowie mit der Gröfse und dem Gefälle der Schleusen. Wasserverluste entstehen durch

⁴⁴⁾ Zeichnung einer gröfseren Schleusenmeisterwohnung s. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1866, Taf. 347. Man vergleiche auch Kap. XIV, S. 342.

Versickerung, Verdunstung u. s. w.; sie wachsen mit der Länge des Kanals und der Gröfse des Wasserprofils, sind aber außerdem von der Bodenbeschaffenheit, der Art der Dichtung des Kanalbetts u. s. w. abhängig.

Wasserverbrauch. Es sei zunächst bemerkt, daß im Nachstehenden Schleusen gewöhnlicher Bauart zu Grunde gelegt sind. Hebewerke und verwandte Einrichtungen verbrauchen weit weniger Wasser als jene; bei Hebewerken kann unter Umständen sogar eine Speisung der oberen Strecken aus den unteren eintreten. Zahlenangaben über den Wasserverbrauch der Hebewerke findet man in § 25 des XIV. Kapitels.⁴⁵⁾

Bei Ermittlung des Wasserverbrauchs der Kammerschleusen kommt zunächst die am höchsten gelegene Strecke, bei Scheitelkanälen also die Scheitelstrecke, in Betracht. Wenn es sich um eine vorläufige Einschätzung dieses Verbrauches handelt, kann folgendermaßen verfahren werden: Nach Maßgabe des zu gewärtigenden Verkehrs macht man eine Annahme über die Anzahl der Schiffe n , welche täglich und durchschnittlich den Kanal voraussichtlich befahren werden.⁴⁶⁾ Bezeichnet man dann den Kubikinhalte einer Schleusenfüllung, d. h. das Produkt der zwischen den Schlagschwellen gemessenen Länge, der mittleren Breite und dem Schleusengefälle mit M , so beträgt unter der Voraussetzung, daß die Hälfte der Schiffe bei den Schleusen, die andere Hälfte aber in den Kanalstrecken kreuzt, der Wasserverbrauch der Schleusen — wie leicht nachzuweisen ist — täglich und durchschnittlich an jeder Seite der Scheitelstrecke eines Kanals $\frac{3}{4} n M$.

Obige Voraussetzung ist allenfalls zulässig, wenn die Schiffe einzeln getreidelt werden. Bei der Benutzung von Schiffszügen kann man voraussetzen, daß dieselben gewöhnlich in den Kanalstrecken kreuzen und kann (wie beispielsweise bei dem Entwürfe des Berlin-Rostocker Kanals geschehen ist) annehmen, daß bei den Schleusen etwa 20% der Schiffe einander begegnen. Andererseits wird bei sehr lebhaftem Verkehr mit Einzelfahrzeugen die Voraussetzung gerechtfertigt sein, daß mehr als die Hälfte der Schiffe bei den Schleusen kreuzt.

Es ist aber zu beachten, daß die Einschätzung des Wasserverbrauchs einer Scheitelstrecke nach der Formel $\frac{3}{4} n M$ nur dann einigermaßen zutrifft, wenn der Verkehr in beiden Richtungen ziemlich gleich ist. In dem gewöhnlicheren Falle, daß der Thalverkehr den Bergverkehr oder aber der letztere den Thalverkehr überwiegt, kommen bei Bestimmung des Wasserverbrauchs aufser der Füllmasse M noch die von den Schiffen verdrängten Wassermengen in Betracht.

Wenn S eine Wassermenge vom Gewicht des Schiffsgefäßes und L eine solche vom Gewicht der Ladung bezeichnet, so verliert beim Schleusen eines leer bergauf gehenden Schiffes das Oberwasser $M + S$, dagegen gewinnt dasselbe beim Schleusen eines mit demselben kreuzenden und beladen zu Thal gehenden Schiffes $S + L$. Der gesammte Verlust beträgt deshalb nur $M - L$. Es folgt hieraus, daß unter den angegebenen Verhältnissen der Wasserbedarf für das Schleusen der Schiffe sich ermäßigt. (Näheres s. Hagens Wasserbaukunst II. T. 3. Bd. S. 481.) In ähnlicher Weise berechnet sich der Verlust des Oberwassers, wenn die Schiffe mit voller Ladung thalwärts und teilweise beladen zu Berge fahren. Wenn jedoch der Bergverkehr überwiegt, ver-

⁴⁵⁾ Bei dem Entwürfe des westlichen Teils des Rhein-Weser-Kanals von Duis und Prüssmann, für welchen mehrere Hebewerke in Aussicht genommen sind, ist der Wasserverbrauch gleich dem Achtfachen des Gewichts der durchgeschleusten Frachtmengen geschätzt. Es sei gleich hier bemerkt, daß die Verluste zu 0,015 cbm f. d. km Kanallänge und die Sekunde (1,3 cbm f. d. m und Tag) angenommen sind.

⁴⁶⁾ Es wurde angenommen beim Rhein-Marne-Kanal $n = 45$, beim Berlin-Rostocker Kanal $n = 25$, beim Mosel-Saar-Kanal $n = 30$, beim Rhein-Weser-Kanal (älterer Entwurf) $n = 40$.

größert sich der Wasserverbrauch erheblich. — Allgemeiner sind diese Verhältnisse von Löhmann untersucht; auf die von ihm abgeleiteten analytischen Ausdrücke wird hiermit verwiesen.⁴⁷⁾

Bei eingehenden Ermittlungen über den Wasserverbrauch ist Folgendes zu berücksichtigen:

1. Je nach dem in den einzelnen Abschnitten des Jahres stattfindenden Verkehr ist der Verbrauch bald kleiner, bald größer als der durchschnittliche. Während des Winters ist der Verkehr nur gering, zeitweilig sogar unterbrochen, im Frühling entwickelt er sich in der Regel kräftig, namentlich bezüglich der Flößerei.

Auf den elsafs-lothringischen Kanälen entfielen nach Angaben aus den Jahren 1874 und 1875 auf die Monate Dezember, Januar und Februar durchschnittlich je 2 bis 3% des gesamten Schiffsverkehrs, auf die Monate März, April, Oktober und November je 7 bis 10%, auf die übrigen Monate (Mai bis September) aber je 11 bis 12%. Zur Zeit der größten Frequenz wurden somit etwa 15% Schiffe mehr als durchschnittlich befördert. (Näheres s. Statistische Mitteilungen, herausgegeben v. d. stat. Bureau d. kais. Oberpräsidiums zu Straßburg, VI, S. 64.) Durch Beobachtungen an der kanalisiertem Yonne hat man gefunden, daß daselbst zur Zeit des größten Verkehrs die Durchschnittszahl der passierenden Schiffe um 50 bis 70% überschritten wird. (Siehe Ann. des ponts et chaussées 1851, I, S. 334.)

Am Oder-Spree-Kanal waren i. J. 1893 in der Kersdorfer Schleuse durchschnittlich täglich 20 Schleusungen vorzunehmen; am 7. April 1894, als dem Tage, welcher seit Eröffnung des Kanals den lebhaftesten Verkehr aufwies, fanden aber 38 Schleusungen statt.

2. Es kommt unter Umständen vor, daß Schiffe nicht die ganze Länge des Kanals durchfahren; alsdann ist der Ermittlung des Wasserverbrauchs die Strecke zu Grunde zu legen, welche voraussichtlich den größten Verkehr hat.

3. Wenn unterhalb der am höchsten liegenden Strecke, bezw. der Scheitelstrecke sich Schleusen befinden, welche größere Gefälle haben als die Schleusen jener Strecken, so ist bei den in Rede stehenden Ermittlungen das größte der vorkommenden Gefälle maßgebend.

4. Gekuppelte Schleusen verbrauchen mehr Wasser als einfache. Sobald nämlich bei einer gekuppelten Schleuse ein zu Berg fahrendes Schiff ankommt, nachdem ein zu Thal fahrendes dieselbe verlassen hat, so verbraucht dasselbe soviel Wasser, wie zum Anfüllen sämtlicher Schleusenkammern erforderlich ist. Hierüber sind die eingehenden Untersuchungen Hagens (Wasserbaukunst II. T. 3. Bd. S. 487) zu vergleichen. Löhmann (vergl. Anm. 47) hat indessen nachgewiesen, daß der Wasserverbrauch der gekuppelten Schleusen unter Umständen nicht übermäßig groß ist.

5. Durch kurze Haltungen entsteht eine Vermehrung des Wasserverbrauchs. In einer kurzen Haltung ändert sich nämlich der Wasserstand durch Abgabe oder Hinzutreten einiger Schleusenfüllmassen in empfindlicher Weise und es müssen mitunter die fehlenden oder die überschüssigen Wassermassen aus höher liegenden Strecken entnommen bezw. an tiefer liegende abgegeben werden, ohne für das Schleusen der Schiffe nutzbar gemacht zu sein.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß es unmöglich ist, den Wasserverbrauch eines Schiffahrtskanals zum voraus genau zu bestimmen, anders liegt die Sache, wenn der Kanal dem Betriebe übergeben ist und wenn der Verkehr sich entwickelt hat.

Vom Oder-Spree-Kanal liegen bezügliche Angaben aus den Jahren 1892—1893 vor⁴⁸⁾, von welchen hier aufgenommen sei, daß dort i. J. 1893 während einer Betriebszeit von 308 Tagen durchschnittlich

⁴⁷⁾ Löhmann. Wasserbedarf beim Durchschleusen der Schiffe. Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 296.

⁴⁸⁾ VI. Binnenschiffahrts-Kongress (Haag 1894). Bericht von Schultz über Wasserverbrauch und Speisung, sowie Dichtungsarbeiten am Oder-Spree-Kanale. Vergl. auch die in Anm. 49 näher bezeichneten Vorberichte von Denys und Leboucq.

und täglich 51 Schiffe in Bewegung waren, und dafs, wie bereits erwähnt, an der Kersdorfer Schleuse durchschnittlich und täglich 20 mal geschleust wurde. Diese verhältnismäfsig geringe Zahl der Schleusungen erklärt sich daraus, dafs auch kleinere Kähne vorkamen, von denen je zwei in der Schleusenammer Platz fanden.

Ein grofser und ungewöhnlicher Wasserverbrauch tritt ein, wenn der Kanal zum ersten Male mit Wasser gefüllt wird und in beschränkter Weise bei Beendigung von Kanalsperren, welche mit Trockenlegung einzelner Strecken verbunden waren. Die hierzu erforderlichen Wassermengen lassen sich berechnen, nicht aber die bei solchen Gelegenheiten stattfindenden ansehnlichen Verluste; auf diese ist weiter unten zurückzukommen.

Wasserverluste. Auch bezüglich der Wasserverluste hat man vorläufige (generelle) und eingehende Ermittlungen zu unterscheiden. Bei ersteren rechnet man mit Durchschnittszahlen für lange Kanalstrecken, bei letzteren geht man auf Einzelheiten ein.

Generelle Annahmen über die Wasserverluste macht man auf Grund von Beobachtungen, welche an ausgeführten Kanälen angestellt sind. Für ältere Kanäle mittlerer Gröfse hat Hefs (Die Kanäle des Staates New-York nebst Bemerkungen über den Wasserverbrauch der Schiffahrtskanäle. Zeitschr. f. Bauw. 1867, S. 549) Folgendes gefunden: Unter gewöhnlichen Verhältnissen sind die Wasserverluste zu 0,40 bis 0,70 cbm täglich f. d. lf. m zu veranschlagen, wobei die gröfseren oder kleineren Zahlen je nach Umständen zu wählen sind. Wenn jedoch die Haltungen in geringer Höhe über dem Grundwasser oder zum Teil in demselben liegen, wenn gröfsere Einschnitte in undurchlässigem Boden vorkommen oder wenn eine künstliche Dichtung (namentlich eine solche mit Beton) ausgeführt ist, so genügt die Annahme eines Wasserverlustes von 0,2 cbm. Auf der anderen Seite sind bei Haltungen, welche ihrer Lage nach gröfseren Wasserverlusten ausgesetzt sind, etwa 1,3 cbm täglich f. d. lf. m zu veranschlagen. Es empfiehlt sich bei Benutzung dieser Zahlen die Originalmitteilung, welche ausführlichere Angaben enthält, zu vergleichen.⁴⁹⁾

Die vorliegenden neueren Mitteilungen bestätigen die obigen Angaben nur bezüglich der kleineren der angegebenen Zahlen. Sehr oft dürften die Wasserverluste höher einzuschätzen sein. Wenn man die Angaben zusammenstellt, welche Denys über die Verluste in Strecken von mindestens 20 km Länge macht, so erhält man für 1,60 m Wassertiefe einen täglichen Verlust von durchschnittlich 0,93 cbm f. d. m (kleinster 0,40, gröfster 1,80 cbm), bei 2 m Wassertiefe sind die entsprechenden Zahlen 1,85, 1,00, 2,50.

Die im Vorstehenden gemachten Angaben beziehen sich gröfstenteils auf Kanäle, welche teils ältere französische Profile, teils das französische Normalprofil haben; bei Kanälen mit gröfseren Abmessungen sind die Verluste bedeutender und es entsteht die wichtige Frage, in welchem Grade dieselben mit Vergröfserung des Profils wachsen. Hierüber haben Bloch und Willgerodt Untersuchungen angestellt.⁵⁰⁾

⁴⁹⁾ Andere Angaben über Wasserverluste siehe: Engineering 1878, Juli, S. 78 (Wasserverluste des Erie-Kanals). — Gérardin. Moteurs hydrauliques et travaux exécutés pour l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne (Paris 1872), S. 95. — Knobloch. Mosel-Saar-Kanal (Wien 1879), S. 7. — Ann. des ponts et chaussées 1880, I, S. 357. — Picard. Alimentation du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est (Paris 1880), S. 7 u. 273.

V. Binnenschiffahrts-Kongress (Paris 1892). Vorberichte von Denys (Speisung der Kanäle, besonders in Ost-Frankreich) und von Leboucq (Speisung der Kanäle Belgiens). — Procès verbaux des séances des sections (Paris 1892), S. 54.

⁵⁰⁾ Bloch. Note sur les recherches des dépenses d'eau par infiltration et imbibition dans un canal après un changement de sa section mouillée. Ann. des ponts et chaussées 1880, II, S. 66. — Willgerodt. Entwurf zu einem oberrheinischen Schiffahrtskanal. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 24 (Wasserverbrauch u. s. w. S. 57).

Bloch versucht nachzuweisen, daß die Verluste, insbesondere die Versickerung, infolge einer Vermehrung der Wassertiefe im Verhältnis der Quadratwurzeln der Tiefen wachsen. Bei einer Steigerung der Tiefe von 1,50 auf 2 m ergibt dies eine Vermehrung der Verluste um 15%. Größer schätzt er den Einfluß der Verbreiterung eines Kanals. Die Sohlenbreite des Kanals von Berry soll von 5 m auf 10 m gebracht und die Wassertiefe in angegebener Weise vergrößert werden; der künftige Wasserverlust wird den früheren, wie Bloch annimmt, voraussichtlich um 90% übersteigen.

Willgerodt stützt seine Angaben über die Zunahme der Verluste infolge Vergrößerung der Wassertiefe auf Versuche. Er gelangt zu dem Ergebnis, daß jene Verluste sich verdoppeln, wenn die Wassertiefe eines Kanals von 10 m Sohlenbreite von 1,6 auf 2 m gesteigert wird, und daß sie sich bei einer Steigerung der Tiefe auf 3 m vervierfachen. Wenn außerdem eine Vergrößerung der Sohlenbreite stattfindet, wachsen die Verluste (schätzungsweise, aber äußerstenfalls) in dem Maße, wie die Breite zunimmt. Er folgert, daß ein Kanal von 3 m Wassertiefe und 24 m Sohlenbreite zehnmal mehr Wasser verlieren kann, als ein Kanal von 1,6 m Wassertiefe und 10 m Sohlenbreite unter sonst gleichen Umständen.

Eine hierher gehörige Beobachtung über Wasserverluste hat Leboucq (s. dessen Vorbericht, S. 17) mitgeteilt. Der Verfasser hat versucht, dieselbe für die Beantwortung der vorliegenden Frage zu verwenden, muß sich jedoch an dieser Stelle auf Ergebnisse beschränken. Die Verluste bei 1,6 m Wassertiefe gleich 1 setzend ist er geneigt,

die Verluste bei	2,0	2,5	3,0 m	Tiefe und unveränderter Sohlenbreite
gleich	1,5	2,4	3,5	anzunehmen,

bei großen Tiefen also nahezu so hoch, wie Willgerodt ermittelt hat. Den Einfluß der Sohlenverbreiterung möchte er geringer anschlagen, als Jener und er glaubt, daß ein Kanal von 3 m Wassertiefe und 24 m Sohlenbreite voraussichtlich nicht mehr als etwa siebenmal so viel Wasser verlieren wird, wie ein Kanal von 1,6 m Wassertiefe und 10 m Sohlenbreite unter sonst gleichen Umständen.

Bei eingehenden Untersuchungen über die Wasserverluste hat man Verdunstung, Versickerung und Verluste an den Schleusen zu unterscheiden, aber auch darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Verluste einigermaßen von den Witterungsverhältnissen abhängig sind.

Verdunstung. Die Verdunstung des Wassers übt in unseren Gegenden auf die Wasserverluste vergleichsweise nur geringen Einfluß aus; sie wächst mit der Größe des Wasserspiegels und der Zunahme der Wärme, vergl. Kap. I, § 8. Bei preussischen Kanalentwürfen nimmt man eine tägliche Verdunstungshöhe von 4 mm an, jedoch nur für die Dauer der sechs Sommermonate, das sind jährlich 720 mm. Bei 23 m Wasserspiegelbreite (Oder-Spree-Kanal) entspricht dies einem täglichen Verluste von durchschnittlich (rund) 0,05 cbm für 1 m Kanallänge. Holländische Ingenieure schätzen den Verlust, welchen ein Kanal während eines heißen Sommers durch Verdunstung erleidet, auf 900 mm Wasserhöhe. Noch höhere (wohl zu hohe) Ansätze kommen bei belgischen Kanälen vor.

Weil die Verdunstung hauptsächlich im Sommer auftritt, hat man auch bei den Wasserverlusten, ähnlich wie beim Wasserverbrauch, zwischen durchschnittlichen und größten Verlusten zu unterscheiden, zumal auch die Versickerungen vom Witterungswechsel beeinflusst werden. Der Boden neben dem Kanale wird häufig von dem Wasser desselben feucht erhalten und die bei warmem Wetter neben dem Kanale verdunstenden Wassermassen ersetzen sich aus ihm.⁵¹⁾

Versickerung. Die Menge des versickernden Wassers ist außerordentlich verschieden. Es kommen Kanalstrecken vor, in denen eine Versickerung überhaupt nicht stattfindet und selbst solche, in denen sich das Wasser durch unterirdische Zuflüsse vermehrt. Ersteres ist bei den Moorkanälen in der Regel der Fall, auch beim Elbe-Trave-Kanal war auf Versickerungen nicht Rücksicht zu nehmen. Ferner kann, wie

⁵¹⁾ Zahlenangaben findet man u. a. Graeff. Construction des canaux et des chemins de fer, S. 225 und Zeitschr. f. Bauw. 1867, S. 542.

bereits nachgewiesen ist, die Versickerung durch sorgfältige Dichtung des Kanalbetts wirksam bekämpft werden. Andererseits giebt es aber Kanalstrecken, welche täglich einen bedeutenden Teil ihres Inhalts an den Boden abgeben, alsdann findet aufser der eigentlichen Versickerung noch eine Quellenbildung statt. Hieraus ergibt sich, dafs bei eingehenden Ermittlungen die Kanalstrecken in kurzen Abschnitten zu untersuchen sind.

Aus dem Vorbericht von Denys ist zu entnehmen, dafs in einigen wenige Kilometer langen Teilstrecken des Mosel-Abhangs des französischen Ost-Kanals Versickerungen von täglich 10, 15, 25 cbm f. d. m vorkommen, während sie sich in benachbarten Strecken auf etwa 1,5 cbm beschränken, jedoch ist über jene Strecken mit sehr starken Verlusten Näheres nicht angegeben. Vollständigere Mitteilungen, bei welchen wenigstens die Bodenart namhaft gemacht ist, liegen nur in beschränkter Anzahl vor.

Einige Beispiele sind: Der Zweigkanal von Nancy, welcher die südlichen Strecken des französischen Ost-Kanals mit dem Rhein-Marne-Kanal unmittelbar verbindet. Er wird das französische Normalprofil haben, ist 10 km lang und liegt in undurchlässigen Mergeln. Die täglichen Sickerungsverluste werden zu 1,5 cbm f. d. m angegeben. Eine besondere Dichtung scheint nicht vorgenommen zu sein.

Der Kanal von der Lys nach der Yperlée (Belgien). Länge $15\frac{1}{2}$ km, französisches Normalprofil. Der Boden ist überall thonig oder „vegetabilisch“. Man rechnet für die tägliche Versickerung 36 mm, für die Verdunstung 4 mm Wasserhöhe. Das giebt für erstere etwa 0,65, für letztere etwa 0,07, zusammen 0,72 cbm f. d. m.

Bei dem Entwurfe eines Kanals, welcher Berlin mit der mittleren und unteren Oder verbinden und 2 m Wassertiefe erhalten würde, sind die durch Versickerung entstehenden jährlichen Wasserverluste gleich dem vierfachen Wasserinhalt der über dem Grundwasserstande in Dammschüttungen liegenden Strecken (obgleich diese eine besondere Dichtung erhalten sollen) und gleich dem doppelten Wasserinhalt der zum Teil im Grundwasser liegenden Strecken angenommen. Die Verdunstung ist auch hier mit 4 mm täglicher Wasserhöhe für die Dauer der sechs Sommermonate in die Rechnung eingeführt. Ähnlich ist auch bei anderen preussischen Kanalentwürfen verfahren. Für ein Querprofil wie beim Oder-Spree-Kanal ergibt sich aus Obigem die tägliche Versickerung in dem ungünstigeren Falle zu (rund) 0,40 cbm f. d. m, die Verdunstung, wie bereits erwähnt, zu 0,05 cbm, zusammen 0,45 cbm. Bei 2 m Wassertiefe und ansehnlicher Sohlenbreite ist das sehr wenig. Jene Regel ist wahrscheinlich aus Beobachtungen abgeleitet, welche an Kanälen mit kleineren Profilen angestellt sind, und nach dem, was auf S. 414 gesagt ist, erscheint es nicht zulässig, dieselbe auf Kanäle großen Profils zu übertragen.

Verluste an den Schleusen. Die Verluste an den Schleusen sind eigentümlicher Art. Infolge von Undichtigkeiten an den Schleusenthoren und an den sonstigen Verschlufsvorrichtungen der Schleusen strömt nicht selten Wasser von einer Strecke in die andere; hierdurch entsteht für die Scheitelstrecke ein Verlust. Das dieser Strecke verloren gehende Wasser kommt aber den tiefer liegenden Strecken zu Gute, deshalb ist nur der Teil desselben als ganz verloren zu betrachten, welcher in jenen Strecken durch Entlastungsüberfälle oder infolge von Mängeln an der untersten Schleuse abfließt. Hieraus rechtfertigt es sich, wenn für die betreffenden Wassermengen mäfsige Ansätze gemacht werden, mitunter werden diese Mengen überhaupt nicht berücksichtigt.

Gérardin (vergl. Anm. 49) rechnet für eine Scheitelstrecke 800 cbm täglich, für die Scheitelstrecke des Kanals von der Lys nach der Yperlée sind 1000 cbm und für die des Marne-Saône-Kanals 4000 cbm täglich angesetzt.

Die fraglichen Verluste wachsen u. a. mit dem Gefälle der Schleusen und dürften deshalb bei neuen Kanalentwürfen oft höher einzuschätzen sein, als bei älteren. Sie sind ferner bei Anwendung von Drehschützen gröfser, als bei Zugschützen und erreichen bei ersteren unter Umständen eine unerwartete Höhe. Hierzu ist die in Anm. 48 bezeichnete Mitteilung über den Oder-Spree-Kanal zu vergleichen.

Die im Vorstehenden gemachten Zahlenangaben gelten nicht für die ersten Jahre des Kanalbetriebs, in diesem pflegen namentlich die Sickerverluste erheblich gröfser zu sein, als in späterer Zeit, unter Umständen auch die Verluste an den Schleusen. Besondere Verluste traten bei der erstmaligen Füllung des Kanals ein, weil alsdann das

Erdreich und selbst die Mauern ansehnliche Wassermengen aufnehmen. Für die östlichen Strecken des Rhein-Marne-Kanals hat Graeff (Canaux des chemins de fer, S. 223) bei einem späteren täglichen Verlust von 0,40 bis 0,60 cbm f. d. m die täglichen Verluste kurz nach dem Einlassen des Wassers zu 1,20 bis 1,50 cbm und die Verluste während der ersten Monate des Betriebes zu 0,80 bis 1 cbm f. d. m ermittelt. Vollständiger sind die hierher gehörigen Angaben Dölls, Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 272.

Wasserverluste in Speisegräben. Über die Verluste in Speisegräben scheinen vergleichsweise selten Beobachtungen angestellt zu sein. Eine Ermittlung dieser Verluste fand beispielsweise bei Ausführung des Speisegrabens zwischen Vacon und Mauvages (s. § 17) statt. Dieser Graben hat 1,67 qm Wasserquerschnitt, Sohle und Wandungen sind mit Beton bzw. mit schwachem Mauerwerk bekleidet. Nachdem das Steinmaterial einigermaßen mit Wasser gesättigt war, fand man bei 0,80 m Wassertiefe einen täglichen Wasserverlust von 0,79 cbm f. d. lfd. m und bei 0,60 m Wassertiefe 0,276 cbm. Von diesen Verlusten muß namentlich der erstere in Anbetracht der Armierung des Profils als groß bezeichnet werden, er macht bei (rund) 8000 m Länge des Speisegrabens und bei einer Ergiebigkeit desselben gleich 0,75 cbm in der Sekunde fast 10% der durchfließenden Wassermenge aus. Noch größer waren die Verluste in einem nahezu 43 km langen Speisegraben des französischen Ost-Kanals zwischen Remiremont a. d. Mosel und Bouzey. Hier kam anfangs kaum ein Drittel des aus der Mosel entnommenen Wassers am Endpunkte des Grabens an, dann erlangte man infolge von Dichtungsarbeiten 90000 cbm von 150000 und noch später 60000 cbm von 90000 (Vorbericht von Denys, s. Anm. 49). Einige Ergänzungen des im Vorstehenden Gesagten lassen sich aus den Angaben entnehmen, welche im Kapitel „Meliorationen“ über die Wasserverluste in Bewässerungskanälen gemacht sind.

Auf die Einschränkung des Wasserverbrauchs und der Wasserverluste der Schiffahrtskanäle muß man in der Regel mit allen zu Gebote stehenden Mitteln hinarbeiten. Hieraus folgt für die Kanalstrecken die Notwendigkeit einer sorgfältigen Ausführung der Erd- und Dichtungsarbeiten, von denen im § 12 dieses Kapitels die Rede gewesen ist. — Bei den Schleusen hat jener Umstand zu einer Reihe von Anordnungen Veranlassung gegeben, wegen deren das XIV. Kapitel, § 24 zu vergleichen ist.

Die großen Schwierigkeiten der Kanalspeisung steigern sich dadurch, daß es oft nicht leicht ist, die Frage zu beantworten, ob es in einem gegebenen Falle vorteilhafter erscheint, Kosten für die Verminderung der Wasserverluste aufzuwenden oder mehr Wasser zu beschaffen. Die hierher gehörigen Untersuchungen sind zur Zeit keineswegs abgeschlossen, auch bedürfen die Beobachtungen über die Wasserverluste einer Vervollständigung unter genauer Angabe der Einzelheiten.

§ 17. Anlagen zur Speisung der Kanäle. Im vorigen Paragraph wurde nachgewiesen, daß eine einigermaßen zutreffende Vorherbestimmung des Wasserbedarfs eines Schiffahrtskanals ausgeschlossen ist. Man wird nun die Anlagen für die Speisung zwar so gut wie möglich anordnen, wird aber von vornherein untersuchen müssen, auf welchen Wegen Erweiterungen derselben möglich sind. Diese Untersuchungen haben sich auf alle erreichbaren Bezugsquellen zu erstrecken und sind während des Baues fortzusetzen, weil derselbe über Boden- und Grundwasserhältnisse mancherlei Neues zu Tage zu fördern pflegt. — Die fraglichen Ermittlungen vereinfachen sich wesentlich, wenn die Versickerungen infolge der Lage des Kanals unberücksichtigt bleiben dürfen. Derartige günstige Verhältnisse liegen, wie bereits erwähnt, u. a. beim Elbe-Trave-Kanal

vor und es ist wegen der betreffenden gründlichen Voruntersuchungen über Wasservorräte und Zulänglichkeit der Kanalspeisung auf die mehrfach erwähnte Schrift (Entwürfe für einen Elbe-Trave-Kanal) zu verweisen.

Die Speiseanlagen haben den Wasserverbrauch des Kanals zur Zeit des größten Bedarfs zu decken, obwohl dieselbe oft mit der Zeit der geringsten Ergiebigkeit der natürlichen Gewässer zusammenfällt. Die Speisung eines Kanals und die Wasserversorgung einer Stadt sind somit nahe verwandt, nur handelt es sich in ersterem Falle um die Beschaffung weit größerer Wassermassen, als in letzterem. In beiden Fällen aber entnimmt man das Wasser bald oberhalb der Verbrauchsstelle und läßt dasselbe mit natürlichem Gefälle zufließen, bald ordnet man Pumpwerke an, um das Wasser von tiefer gelegenen Punkten bis zur Verbrauchsstelle zu heben. In beiden Fällen hat man ferner nicht allein auf die regelmäßige Zuleitung einer gewissen Wassermenge Rücksicht zu nehmen, sondern der Verbrauchsschwankungen wegen auch auf die Aufspeicherung von Wasser. — Bei der Besprechung der Speiseanlagen sollen der Reihe nach die Entnahmestellen, die Leitung des Wassers nach dem Kanal (die Speisegräben) und die Einführung desselben in den Kanal (die Speiseschleusen) untersucht werden.⁵²⁾

1. Entnahme des Wassers.

Die Entnahme des Wassers erfolgt entweder aus natürlichen Wasserläufen, sei es unmittelbar, sei es durch Vermittelung eines Pumpwerks, oder aus Seen, oder aus künstlich hergestellten Speisebehältern.

Unmittelbare Entnahme aus natürlichen Wasserläufen. Bei dieser Art der Entnahme wird in dem Wasserlaufe unterhalb der Stelle, woselbst ein Speisegraben abzweigt, in der Regel ein Wehr erbaut, um den Wasserspiegel zu erhöhen und die Schwankungen des Spiegels zu verringern, während ein zweites vor dem Speisegraben angelegtes Stauwerk dazu dient, die einströmende Wassermenge zu regeln und den Graben bei größeren Ausbesserungen abzuschließen. In dem Flusse oder Bache werden je nach Umständen feste oder bewegliche Wehre, beispielsweise Nadelwehre, hergestellt, vor dem Speisegraben gewöhnlich Schützenwehre. Wegen der Einzelheiten ist das III. Kapitel, auch § 3 des VI. Kapitels zu Rate zu ziehen. Beiläufig sei bemerkt, daß das Wehr für den in F. 4, T. XVII angedeuteten Speisegraben von Sorcy im erstgenannten Kapitel durch Fig. 31, S. 254 vorgeführt wird.

Entnahmestellen zweiten Ranges ergeben sich mitunter da, wo ein natürlicher Wasserlauf den Speisegraben oder den Kanal kreuzt; von diesen wird weiter unten die Rede sein.

Pumpwerke. Wenn die Höhenlage der zu speisenden Kanalstrecke die Anlage eines Pumpwerks erheischt, betreibt man dasselbe womöglich mit hydraulischen Motoren und nimmt nur bei Mangel von Wasserkraft Dampfmaschinen zu Hilfe. Die Pumpwerke

⁵²⁾ Litteratur. Picard. Alimentation du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est. Paris 1880. (Ausführliches und mit großer Sorgfalt ausgestattetes Werk.)

Pugnière. L'alimentation du canal de l'Est. Ann. des ponts et chaussées 1882, I, S. 593 (vergl. Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 9).

Derselbe Gegenstand ist behandelt in: Ann. industr. 1882, Jan.-März, S. 8, 196 u. a. — Engineering 1882, März, S. 272. — Deutsche Bauz. 1885, S. 499. — Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 76. — Wochenbl. f. Bauk. 1886, S. 83. — Deutsche Bauz. 1886, S. 95. — Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1886.

Anwendung der elektrischen Kraft auf die Speisung von Schleusenkanälen. Schiff 1889, S. 6.

Speiseanlage für den Morris-Kanal. Scientific american 1891, I, S. 326.

Vorberichte von Denys und Leboucq für den Binnenschifffahrts-Kongress zu Paris (1892).

stehen mit einem Druckrohre in Verbindung, welches das Wasser einem Speisegraben übergiebt. Wenn dieselben mit Erfolg arbeiten sollen, so müssen Werke von großer Leistungsfähigkeit und nicht etwa eine Reihe kleinerer Werke, welche das Wasser von einer Haltung zur anderen heben, angelegt werden, vergl. Kap. XIV, S. 306. Ausgeführt wurden kleine Wasserhebungen u. a. für den Kanal zwischen Sambre und Oise, jedoch mit schlechtem Erfolge bezüglich des Kostenpunktes.

Als Beispiele größerer Ausführungen sind zu nennen: Die Pumpwerke zu Lockport, durch welche der Kanal zwischen dem Illinois- und dem Michigan-See während des Sommers gespeist wird (s. Malézieux. Travaux publics des états-unis d'Amérique en 1870, S. 298), diejenigen des Kanals von der Aisne nach der Marne, welche das Wasser auf 20,2 m Höhe heben, worauf dasselbe in einer 7600 m langen Leitung der Scheitelstrecke zufließt (Deutsche Bauz. 1874, S. 2 und Ann. des ponts et chaussées 1872, Dez., auch Gérardin. Théorie des moteurs hydrauliques, applications et travaux exécutés pour l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne. Paris 1872), namentlich aber die Pumpwerke, welche für den Rhein-Marne-Kanal und den französischen Ost-Kanal in den Thälern der Mosel und der Maas hergestellt und von Picard ausführlich beschrieben sind.

Die geographische Lage der beiden Turbinen-Pumpwerke bei Pierre la Treiche und Valcourt, sowie des Dampfpumpwerks bei Vacon nebst der Lage der zugehörigen Speisegräben ist aus der kleinen Karte F. 3, T. XVII zu erkennen. Das Werk bei Pierre la Treiche ist in F. 7^{a-s} eingehender dargestellt. Die Wasserkraft wird durch die kanalisierte Mosel mittels des in F. 7^b angedeuteten Nadelwehres geliefert. Der in der Nähe desselben abzweigende, mit einem Hochwasserdamme versehene Seitenkanal dient der Schifffahrt, zugleich aber auch der Leitung des Wassers für die Turbinen und des Speisewassers für die Pumpen. Die hierdurch entstehende Strömung soll nur in der Schutzschleuse ein wenig lästig sein. Die Wasser treten aus dem Kanal zunächst in ein ziemlich großes, vor dem Maschinenhause liegendes Becken (s. F. 7^c). Sechs von zwei Turbinen in Bewegung gesetzte Pumpen führen das Speisewasser zuerst einem großen Windkessel und sodann dem Druckrohre zu, dessen Längenprofil und Lage aus F. 7^{a u. b} ersichtlich ist. Die Turbinen arbeiten mit 2,50 m durchschnittlichem Gefälle und fördern dabei 6,5 cbm i. d. Sekunde; Saug- und Druckhöhe betragen zusammen 40,2 m.

Der Anschluß des Druckrohres an ein kleines Ablagerungsbecken, welches den Anfangspunkt des Speisegrabens bildet, ist durch F. 7^{e-s} dargestellt. Dies Becken kann durch Dammbalken (s. F. 7^c) abgeschlossen werden. Derartige Abschlüsse befinden sich an verschiedenen Stellen des Speisegrabens, um bei Ausbesserungen einzelne Strecken desselben trockenlegen zu können und um das Wasser im Graben behufs Feuchthaltung des Bodens anzustauen, wenn kein Bedürfnis zur Benutzung des Pumpwerks vorhanden ist.

Pumpwerke, welche in Belgien u. a. für den Kanal von Roulers nach der Lys und für den Kanal zwischen der Lys und der Yperlée angelegt sind, werden in einem Bericht von Leboucq eingehend besprochen; hier kann jedoch auf die betreffenden Einzelheiten nicht eingegangen werden.

Für den Oder-Spree-Kanal ist ein Pumpwerk bei Neuhaus erbaut. Eine Dampfmaschine von 120 P. S. treibt eine Kreiselpumpe mit lotrechter Welle, die Hubhöhe ist gering (0,82 m im Mittel), das Werk kann bis 2,3 cbm i. d. Sekunde fördern.

Seen und künstliche Speisebehälter. Zur Aufspeicherung von Speisewasser sind Binnenseen selbstverständlich am besten geeignet und es findet sich nicht selten Gelegenheit, dieselben in dieser Weise nutzbar zu machen. Beispiele liegen in Norddeutschland bei ausgeführten Kanälen (z. B. beim Oder-Spree-Kanal), nicht minder bei geplanten (Elbe-Trave-Kanal, Berlin-Rostocker Kanal u. a.) vor. Die schwedischen Kanäle werden fast ausnahmslos aus Binnenseen gespeist.

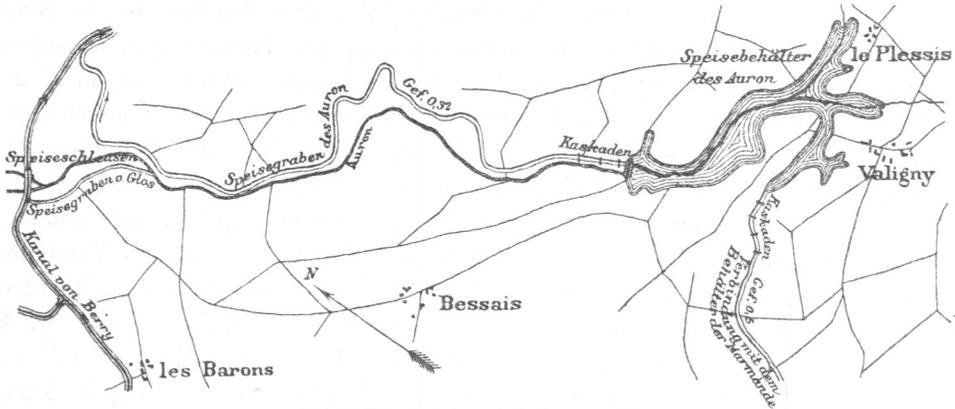
Auch die Scheitelstrecken der Kanäle eignen sich für den genannten Zweck und man hat alsdann zwischen dem normalen und dem angespannten Wasserspiegel derselben zu unterscheiden, vergl. F. 2^a, T. XVI und Fig. 19, S. 382 (Querprofil bezw. Längenprofil eines Teils der Scheitelstrecke des Dortmund-Ems-Kanals). Wegen der erheblichen Schwankungen im Wasserbedarf der Schifffahrtskanäle ist die Aufspeicherung ansehnlicher Wassermengen in den Scheitelstrecken dann unbedingt erforderlich, wenn natürliche Seen nicht zu Gebote stehen oder künstliche Behälter nicht ausführbar sind.

Diese Speisebehälter gehören zu den in Bachthälern angelegten Sammelbehältern, von deren Gröfse und deren Abflussmengen in § 4 des V. Kapitels die Rede ist, während die abschließenden Staudämme nebst Zubehör in § 7 des III. Kapitels besprochen wurden. Hier sind nur einige allgemeine Bemerkungen zu machen.

Die Untersuchungen werden sich in der Regel so gestalten, dafs zunächst die Stelle für den Speisebehälter gewählt wird, denn die hierbei zu machenden Anforderungen sind so schwierig zu erfüllen, dafs ihnen gegenüber alle anderen in den Hintergrund zu treten pflegen. Alsdann handelt es sich um die Bestimmung der Lage und der Höhe des Abschlußwerkes, wobei für die Höhe einerseits Rücksichten auf die zur Verfügung stehenden Grundstücke, andererseits solche auf die Gröfse des zum Speisebehälter gehörenden Niederschlagsgebietes entscheidend sind. Ferner kommt die Menge der atmosphärischen Niederschläge in Betracht. Wenn nun der Kubikinhalt eines Behälters in dieser Weise ermittelt ist, so hat man unter Berücksichtigung der Verdunstung des gesammelten Wassers und der sonstigen Verluste zu untersuchen, für wie viele Tage Vorrat derselbe enthält. Erscheint hiernach die Wassermenge, welche aus einem Behälter entnommen werden kann, ungenügend, so wird man — in der Regel unterstützt durch die Erfahrungen des Betriebes — zur Anlage eines zweiten, dritten u. s. w. schreiten.

Der angegebene Weg hat in vielen Fällen dahin geführt, dafs die Anzahl der zu einem Kanale gehörigen Speisebehälter im Laufe der Zeit namhaft vergrößert ist. So haben sich beispielsweise für den Kanal von Burgund fünf Behälter mit zusammen 20145 000 cbm Inhalt als ungenügend erwiesen, sodafs in neuerer Zeit noch der Speisebehälter von Panthier mit 8000 000 cbm Inhalt angelegt werden mußte. Für die Vogesenstrecke des Rhein-Marne-Kanals wurde zunächst der Raum des Sees von Gondrexange durch Erhöhung des Abschlußwerkes auf 6280 000 cbm gebracht, sodann wurden die Behälter von Réchicourt für etwa 4000 000 cbm und von Paroy für 1700 000 cbm (s. Ann. des ponts et chaussées 1880, Febr.) angelegt. Unter normalen Verhältnissen sollten die Wasser der Speisebehälter nur zum Ausgleich bei ungewöhnlichem Verbrauch dienen, manche Kanäle sind aber während des grössten Theils der Schiffsfahrtszeiten auf Speisung aus Behältern angewiesen.

Fig. 52. Speisebehälter und Speisegräben für den Kanal von Berry. M. 1 km = 0,0125 m.



Die Gefälle sind in m f. d. km angegeben.

Die Zuleitungen werden in der Regel durch die Bäche, in deren Thälern die Behälter liegen, gebildet, es ist aber nicht ausgeschlossen, auch das Wasser eines benachbarten Baches zu benutzen und dasselbe durch unterirdische Leitungen zuzuführen.⁵³⁾ Die Ableitung des Wassers findet durch Speisegräben statt, welche unter Umständen nach einem anderen, tiefer liegenden Behälter geführt werden, vergl. Fig. 52, aus wel-

⁵³⁾ Vergl. Picard. Alimentation etc. S. 288.

cher ein für den Kanal von Berry ausgeführter Behälter und die Anordnung der zugehörigen Gräben ersichtlich sind.

Es sei noch bemerkt, daß dem Binnenschiffahrts-Kongress zu Paris (1892) eingehende Mitteilungen über in verschiedenen Ländern ausgeführte Speisebehälter gemacht sind.⁵⁴⁾

2. Speisegräben und Speiseschleusen.

Speisegräben, auch wohl Zubringer genannt, pflegen bei jedem Kanale, falls derselbe nicht im Grundwasser liegt, in größerer Zahl vorzukommen und man hat einerseits für die Scheitelstrecke einen oder mehrere Hauptspeisegräben anzulegen, andererseits die tiefer liegenden Strecken mit Speisegräben zweiter Klasse auszustatten. Eine dritte Art leitet das Wasser von einer Haltung zur andern.

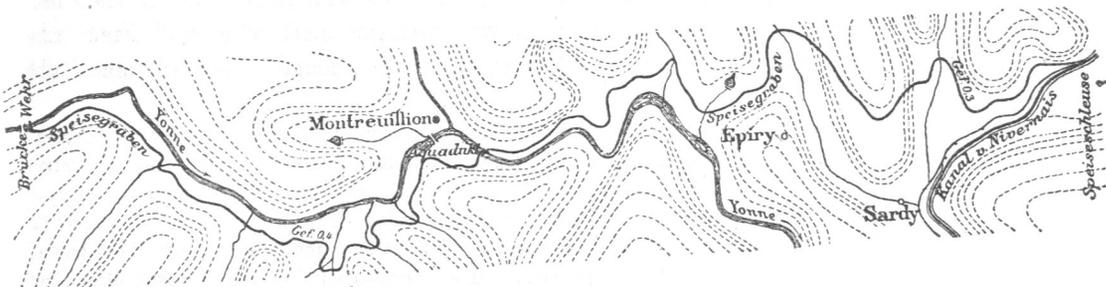
Die Ergiebigkeit der Speisegräben soll den Bedarf der zugehörigen Strecken auch in Zeiten eines sehr starken Verbrauchs decken, es ist aber auch auf die zeitweilige Ausschaltung eines benachbarten Speisegrabens und darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Wiederanfüllung trockengelegter Haltungen in nicht zu langer Zeit, etwa in drei Tagen, bewerkstelligt werden kann. Bei Bestimmung der Ergiebigkeit der Speisegräben dürfen auch die in dem Graben stattfindenden, oft sehr starken Wasserverluste (vergl. § 16) nicht außer Betracht bleiben.

Bei Gräben, welche in gewöhnlichen Bodenarten liegen, kann die mittlere Wassergeschwindigkeit zu 0,3 bis 0,5 m in der Sekunde angenommen werden, man muß indessen berücksichtigen, daß dieselbe sich leicht verdoppelt, wenn eine aufsergewöhnliche Inanspruchnahme des Grabens, z. B. bei Wiederanfüllung von Kanalstrecken, eintritt. Strecken mit befestigten Böschungen und Rohrleitungen gestatten größere Geschwindigkeiten, ferner ist bei ihnen der Kostenersparung wegen auf Einschränkung des Querschnitts hinzuwirken. Hieraus folgt, daß für die letztgenannten Strecken stärkere Gefälle am Platze sind, als für jene Gräben. Wenn die kilometrischen Gefälle beliebig gewählt werden können, würde man beispielsweise bei Erdprofilen 0,10 m, bei gemauerten Böschungen und geschlossenen Leitungen 0,20 m, bei Tunneln 0,60 m annehmen können (Vorbericht von Denys, vergl. Anm. 52). Näheres findet man in § 2 des IV. Kapitels (Wasserleitungen). Die Ermittlung der Form und der Abmessungen des Querprofils, wenn das Gefälle gegeben ist, oder die Bestimmung des Gefälles und des Querprofils, wenn die örtlichen Verhältnisse in Betreff des ersteren einen Spielraum lassen, erfolgt mit Hilfe der Untersuchungen des genannten Kapitels, auf welche hier verwiesen werden muß. Auch auf die Behandlung der Gräben behufs Verringerung der Wasserverluste, auf die an manchen Stellen empfehlenswerte Anwendung überdeckter Profile, auf die Thalüberschreitungen, auf die Brücken und Durchlässe u. s. w. kann hier nicht eingegangen werden. Alles dies ist sämtlichen Wasserleitungen mit natürlichem Gefälle gemeinsam. Indessen mögen einige beachtenswerte Beispiele kurz besprochen werden, zunächst einige Hauptspeisegräben, welche nicht selten Bauten von großer Ausdehnung sind.

Der Hauptspeisegraben des Kanals von Nivernais, dessen Lage aus Fig. 53 hervorgeht, hat eine Länge von 28 km und ist mit einem Aufwande von 1120000 M. erbaut. Bei den Thalüberschreitungen sind gemauerte Wasserleitungsbrücken verwendet. Der Graben ist für 1,25 cbm Ergiebigkeit bemessen

⁵⁴⁾ Vorberichte von Bouvier (Die Wasserbehälter Süd-Frankreichs), von Cadart (Behälter des Haute-Marne-Departements), von Barois (Behälter in Englisch-Indien), von Pelletreau (Considerations sur les grandes barrages en maçonnerie), von Hörschelmann (Wasserbehälter in Rußland).

Fig. 53. Speisegraben der Scheitelstrecke des Kanals von Nivernais. M. 1 km = 0,010 m.



Die Gefälle sind in m f. d. km angegeben.

und hat 0,80 m normale Wassertiefe. Als Profile wählte man die durch Fig. 54 und 55 dargestellten Formen und zwar Fig. 54 bei durchlässigem Felsboden und Fig. 55 zur Ausführung in leichten Bodenarten. Da, wo der Graben an steilen Abhängen herzustellen war, wurde ein geschlossenes Profil statt des offenen angeordnet, um das schlammführende Tagewasser abzuhalten. Eine eingehende Beschreibung findet man in: *Mémoire sur les travaux de la rigole dérivée de l'Yonne pour l'alimentation du point de partage du canal du Nivernais*. Ann. des ponts et chaussées 1851, I, S. 289.

Fig. 54.

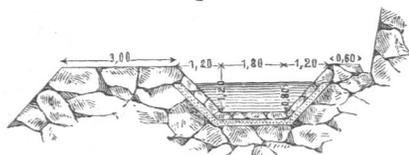
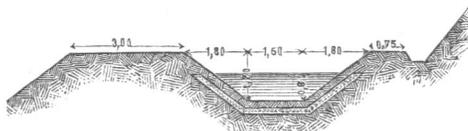


Fig. 55.



Als Beispiel eines in neuerer Zeit ausgeführten Hauptspeisegrabens ist derjenige zwischen Pierre la Treiche und Foug zu nennen, vergl. T. XVII, F. 3, sowie F. 7^a u. 7^b (Teile des Lageplans bzw. des Längenprofils des 13,5 km langen, durch ein Pumpwerk gespeisten Grabens). Die Ergiebigkeit des in der Zeichnung dargestellten Teils ist 0,6 cbm; das Normalquerprofil hat 1,0 m Sohlenbreite, 0,95 m Wassertiefe und 1 $\frac{1}{2}$ malige Böschungen; diese Tiefe beträgt 0,1 m mehr, als jener Ergiebigkeit wegen erforderlich, damit letztere auch dann noch vorhanden ist, wenn der Graben etwas verschlamm- und bewachsen sein wird. Das Gefälle ist 0,2 m f. d. km. Das Profil des ersten Stücks des Grabens ist auf 203 m Länge bekleidet (F. 7^d), weil daselbst ein zerklüfteter Felsboden vorhanden war. Die bedeutenderen Thalübersetzungen sind durch Düker bewerkstelligt. Bei dem Speisegraben zwischen Vacon und der Scheitelstrecke von Mauvages (vergl. F. 3, T. XVII) haben sich indessen bei geringer Tiefe der Thäler in vereinzelt Fällen gemauerte Wasserleitungsbrücken vorteilhafter erwiesen als Düker.

An längeren Speisegräben kann man mitunter eine Wassergewinnung zweiten Ranges ins Werk setzen, dies ist beispielsweise der Fall, wenn dieselben von Mühlgräben gekreuzt werden oder auch bei der Kreuzung eines Baches mit dem Speisegraben. Wenn Bach und Speisegraben an solchen Kreuzungsstellen in ein und derselben Höhe liegen, so wird unterhalb im Bache ein Schützenwehr angelegt, dessen Fachbaum sich in der Höhe der Kanalsohle befindet. Die Oberkante der Schützen erhebt sich etwa 0,10 m über den normalen Wasserspiegel des Speisegrabens. Das Schütz wird gezogen, wenn der Bach ungewöhnlich große Wassermengen und zu viel Sinkstoffe führt. Das Stauwerk dient zugleich als Abflussschleuse, wenn der Speisegraben bei Ausbesserungen trockengelegt werden soll.

Ein eigenartiges Bauwerk, welches dem genannten Zwecke dient, ist in einem 3,4 km langen Graben erbaut, der sein Wasser zunächst an den Speisebehälter von Panthier abgibt. Große Höhenunterschiede führten hier zur Anwendung von Kaskaden und diese zu einer sinnreichen Gestaltung der Wasserentnahme aus einem kreuzenden Bach; wegen der Einzelheiten mufs auf die Quelle verwiesen werden.⁵⁵⁾

⁵⁵⁾ Bazin. Les travaux d'agrandissement du réservoir de Panthier (Canal de Bourgogne). Ann. des ponts et chaussées 1880, II, S. 241.

Für die Speisegräben zweiter Klasse gilt die Regel, daß die Herstellung zahlreicher Gräben von mäfsigem Querschnitt den sonstigen Verwendungen der in Anspruch genommenen Wasserläufe (Mühlenbetrieb u. s. w.) weniger nachteilig und auch aus anderen Gründen in der Regel vorteilhafter ist, als die Anlage einer kleinen Zahl grosser Gräben.⁵⁶⁾

Als Beispiel ist der Speisegraben von Sorey (F. 4, T. XVII) anzuführen. Derselbe hat die Wasserverluste einer 4800 m langen Kanalstrecke des französischen Ost-Kanals zu decken, welche zu 1,25 cbm täglich f. d. lfd. m beobachtet sind, er hat daher in der Regel nicht mehr als 0,07 cbm i. d. Sekunde zu führen. Man hat dem mit 0,1 m f. d. km geneigten Speisegraben nichtsdestoweniger ein ziemlich grosses Querprofil (1,25 m Sohlenbreite bei 1,25 m normaler Wassertiefe und 1½ maligen Böschungen, entsprechend einer Ergiebigkeit von 1,2 cbm) gegeben, um die entleerten Haltungen rasch füllen zu können. Die Lage desselben wurde teils durch Rücksichten auf einen angemessenen Platz für die Wassergewinnung, teils durch einen vorhandenen Weg, an dessen Seite der Graben geführt ist, festgelegt. (Näheres in: Picard. Alimentation etc., S. 155 u. 299.)

Eine dritte Art von Speisegräben leitet, wie erwähnt, das Wasser von einer Haltung zu einer anderen. Dies wird beispielsweise erforderlich, wenn unterhalb einer Schleuse mit kleinerem Gefälle eine solche mit erheblich grösserem Gefälle liegt und wenn zwischen beiden eine erneute Speisung des Kanals sich nicht beschaffen läßt. Oberhalb der ersten Schleuse kann man diese Gräben durch ein Überfallwehr abschliessen, dessen Krone in der Höhe des normalen Wasserspiegels liegt, sodafs der Überflufs der oberen Strecke der tiefer liegenden zuströmt; besser ist es, an jener Stelle ein Schützenwehr zu erbauen.

Gräben dieser Art sind bei dem Entwurf eines oberrheinischen Schiffahrtskanals für viele Schleusen in Aussicht genommen (Centrbl. d. Bauverw. 1889, S. 51). — Eine sehr ausgedehnte Anlage wurde für den französischen Kanal du Centre ausgeführt.⁵⁷⁾

Statt solcher Speisegräben kann man in einer der Seitenmauern der Schleusen einen Speisekanal anlegen; mit einem solchen ist u. a. die Schleuse bei Grosse Tränke des Oder-Spree-Kanals ausgestattet.

Speiseschleusen. Die Speiseschleusen oder Einlafsschleusen treten in drei verschiedenen Fällen und dementsprechend in drei Gestalten auf: an den Mündungen von Speisegräben in den Kanal, an den Kreuzungen eines Wasserlaufs mit demselben und da, wo das Wasser eines den Kanal entlang fließenden Baches oder Flusses dem ersten unmittelbar zugeführt werden soll. Namentlich in letztgenanntem Falle sollten die Schleusen in mäfsigen Abständen angelegt werden; bei den hierher gehörigen Strecken des Marne-Saône-Kanals ist der durchschnittliche Abstand etwa 6 km. — Soweit möglich sind die Speiseschleusen, um ihre Wartung und Bedienung zu erleichtern, in der Nähe der Schleusenwärter-Gehöfte zu erbauen und zwar an der äufseren Kante der Leinpfade.

Speiseschleusen, welche an den Mündungen von Speisegräben liegen, sind nichts anderes als Schützenwehre, sie sperren den Graben teilweise ab, wenn seine Ergiebigkeit den Bedarf übersteigt. In der Nähe dieser Einlafsschleuse liegt eine Ablaufschleuse, an welche sich ein Entlastungsgraben anschliesst, der das überflüssige oder ein zu viele Sinkstoffe führendes Wasser dem nächsten natürlichen Wasserlaufe zuweist.

Von Zeichnungen solcher Bauwerke findet man bei Picard eine Auswahl, eines derselben ist durch F. 1^{a-c}, T. XVII dargestellt. Dasselbe befindet sich übrigens nicht an dem Ende eines Speisegrabens, sondern an einem Behälter, welcher zwischen dem Sammelbecken von Paroy und dem Rhein-Marne-Kanal eingeschaltet ist. Die Anordnung der Einlafsschleuse, deren Weite so bemessen ist, daß

⁵⁶⁾ Vergl. Graeff. Canaux et chemins de fer, S. 207, und Hefs. Der Rhein-Marne-Kanal. Allg. Bauz. 1861, S. 98, auch Keller. Der Marne-Saône-Kanal. Zeitschr. f. Bauw. 1882.

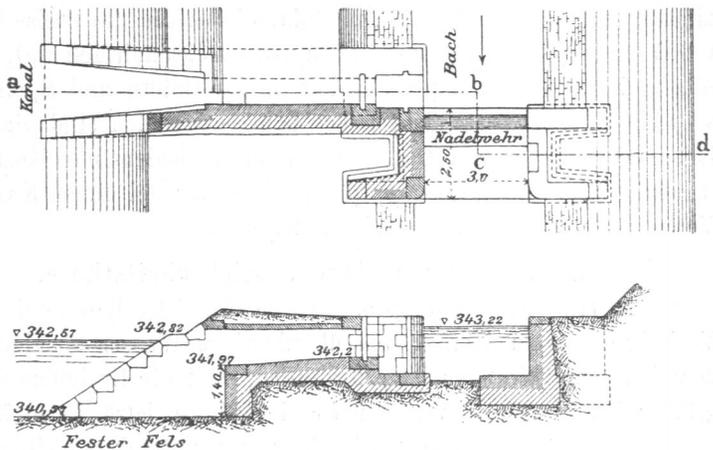
⁵⁷⁾ Fontaine. Les écluses à grande chute (5,20 m) du canal du centre. Ann. des ponts et chaussées 1892, II, S. 783. (Rigole régulatrice des biefs de Rully, S. 799.)

die benachbarten Kanalstrecken nach stattgehabter Entleerung in wenigen Tagen wieder gefüllt werden können, und die Anordnung der Ablaufschleuse gehen aus den Durchschnitten F. 1^a u. 1^b, sowie aus dem kleinen Grundrisse, welcher sich in dem Lageplan F. 1^c befindet, mit genügender Deutlichkeit hervor und es ist hier nur zu bemerken, daß die Ablaufschleuse sich von verwandten Bauwerken durch einen festen, über den Schützen befindlichen Teil unterscheidet, dessen Oberkante 0,015 m über dem Wasserspiegel des Kanals liegt. Diese Anordnung ist eine Folge der Herstellung jenes Zwischenbehälters, welcher hauptsächlich dazu dient, die Wassermassen aufzufangen und nutzbar zu machen, die infolge des Wellenschlags über das wehrartige Abschlußwerk des Sammelbeckens (F. 1^e) getrieben werden.

Speiseschleusen der zweiten Art werden gewöhnlich auch für die Entlastung des Kanals nutzbar gemacht; der folgende Paragraph wird einige Beispiele bringen.⁵⁸⁾

Bei Erbauung von Speiseschleusen der dritten Art wird man den Bach oder Fluß, dessen Wasser dem Kanale zugeführt werden soll, nötigenfalls durch ein unterhalb der Schleuse liegendes Wehr anstauen, bei Niedrigwasser etwa um 0,4 m über den normalen Wasserspiegel des Kanals. Die Verschlussvorrichtung der Speiseschleuse besteht auch hier aus Schützen, außerdem sind Dammfalze anzuordnen. Wegen der Einzelheiten ist auch hier auf § 9 des III. Kapitels (Schützenwehre) zu verweisen.

Fig. 56. Speiseschleuse mit Stauwerk.
Grundrißs und Längenschnitt a b c d. M. 0,005 (1 : 200).



(Die Nadeln und ihre obere Stütze sind nicht gezeichnet.)

Fig. 57. Längenschnitt a b c d.

Querschnitte e f und g h.

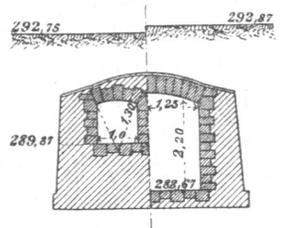
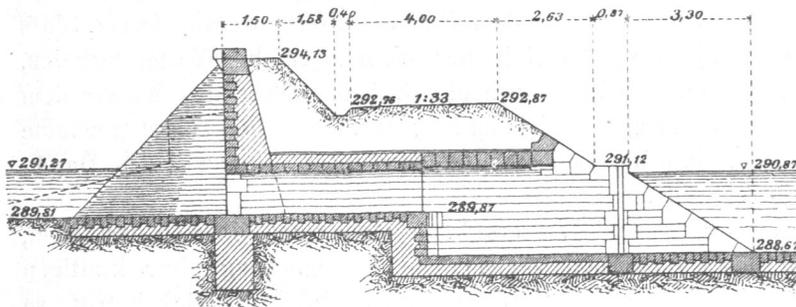
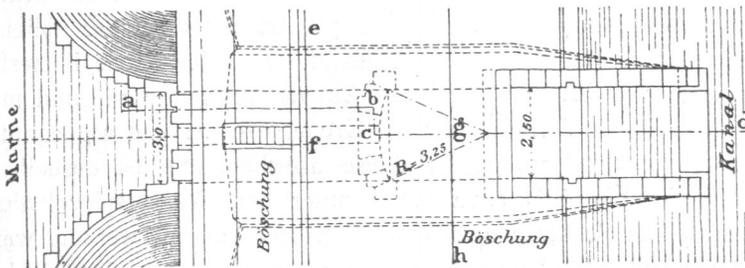


Fig. 58. Grundrißs.

Fig. 57 u. 58.
Speiseschleuse.

M. 0,005 (1 : 200).



⁵⁸⁾ Eine hierher gehörige Schleuse einfachster Gestaltung findet man in Mohr. Der Oder-Spree-Kanal und seine Bauten. Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 441 (Grabeneinlaß bei Braunsdorf).

Beispiele sind: Eine Speiseschleuse des Ost-Kanals (Fig. 56), welche diesem Kanal das Wasser eines Baches zuführt und eine Schleuse des Marne-Saône-Kanals (Fig. 57 u. 58), welche dem Kanal das Wasser der Marne zuweist. Bei der letzteren wird die ungewöhnliche Höhe der Stirnmauern durch das Hochwasser des Flusses bedingt; die Kanalsohle nebst einem Teil der Böschungen sind armiert, weil bei Füllung des Kanals nach Kanalsperren erhebliche Wassergeschwindigkeiten eintreten. In beiden Fällen sind die Schützen nicht gezeichnet.

Kosten. Über die Kosten der künstlichen Kanalspeisung findet man ausführliche Angaben namentlich in dem mehrfach erwähnten Vorberichte von Denys. Die Kosten sind für 13 Kanalstrecken ermittelt, welche teils aus Sammelbehältern, teils durch Pumpwerke mit Wasserrädern, teils durch Dampfumpwerke gespeist werden; die Angaben betreffen sowohl die Bau- wie die Betriebskosten und sind auf das Kubikmeter des in den Kanal gelangenden Wassers zurückgeführt. Bei einem Ansatz von 4% für Verzinsung und Tilgung des Baukapitals schwanken die Preise für das Kubikmeter zwischen 0,005 und 0,045 Frcs. und betragen durchschnittlich 0,015 Frcs. Es ergibt sich im allgemeinen, daß Pumpwerke mit Wasserrädern und Speisebehältern hinsichtlich ihres wirtschaftlichen Werts nicht wesentlich verschieden sind, dagegen bringt die ausschließliche Verwendung von Dampfmaschinen so bedeutende Kosten (0,035 bis 0,045 Frcs. f. d. cbm) mit sich, daß Dampfumpwerke nur bei einem Kanal mit ungewöhnlich großem Verkehr gerechtfertigt erscheinen könnten.

§ 18. Entlastungsanlagen. Sicherheitsthore.

Entlastungsanlagen. In den Kanalstrecken sind wie bei den Wasserbehältern Vorkehrungen zu treffen, um überflüssiges Wasser abzuleiten und um eine Entleerung vorzunehmen. Ersteres ist erforderlich, weil die Ergiebigkeit der Speiseanlagen mitunter größer ist, als Wasserverbrauch und Verluste, letzteres in Rücksicht auf diejenigen Ausbesserungen, welche eine Trockenlegung der Strecken bedingen. Man nennt die Ableitung des entbehrlichen Wassers die Entlastung des Kanals und die betreffenden Bauwerke Abflussschleusen oder Wasserlösen.

Bei Bestimmung der Plätze für die Entlastungsanlagen ist zu erstreben, daß das überflüssige Wasser sobald als möglich aus dem Kanale entfernt werde, ferner, daß sich die Anlagen so weit thunlich in der Nähe der Wohnungen der Wärter befinden, welche dieselben bedienen, endlich sollten auch die Gräben, welche das Wasser dem nächsten natürlichen Wasserlaufe zuführen, nicht zu lang ausfallen. Der zuletzt genannte Umstand bringt es mit sich, daß die Entlastungsanlagen nicht selten mit den Durchlässen und Dükern vereinigt werden.

Zur Ableitung des überflüssigen Wassers kann man einen Überfall herstellen, während zur Entleerung des Kanals und zugleich zur Ermöglichung einer kräftigen Entlastung ein Grundablaß erforderlich ist. Wenn der Überfall in Thätigkeit tritt, so erkennt man, daß es Zeit ist, den Kanal zu entlasten, daß somit das Schütz des Grundablasses gezogen werden muß. Ein Überfall gewöhnlicher Art leitet bei der üblichen Länge von 2 bis 2,5 m nur geringe Wassermassen ab, zumal man seine Krone immerhin 10 bis 15 cm über dem normalen Wasserspiegel des Kanals anlegen wird, und man kann diesem Übelstande auch durch Verlängerung der Krone, wie bei den sogenannten brunnenartigen Wasserlösen, nicht in genügender Weise abhelfen. Es ist deshalb zu empfehlen, das Mauerwerk des Überfalls etwa 0,4 m unter dem Wasserspiegel abzuschließen und oberhalb desselben Schützen anzubringen, welche entfernt werden, wenn das Wasser stark abströmen soll. Fügt man dann außerdem noch einen Grundablaß hinzu, so ist allen Anforderungen Genüge geleistet. In dieser Weise ist die durch F. 2^{a-d}, T. XVII dargestellte Entlastungsvorrichtung des Rhein-Marne-Kanals angeordnet.

Dieselbe befindet sich übrigens nicht an diesem Kanale selbst, sondern am See von Gondrexange, welcher mit der Scheitelstrecke in Verbindung steht. Ähnlich wie dies Bauwerk ist auch die Entlastungsvorrichtung für den Speisebehälter von Paroy, welche in F. 1°, T. XVII angedeutet ist. Zeichnungen der Einzelheiten findet man Ann. des ponts et chaussées 1880, Febr.

Man hat auch Entlastungsanlagen hergestellt, bei welchen ohne Bedienung eine kräftige Wasserentziehung eintritt, sobald der Wasserstand des Kanals eine gewisse Höhe übersteigt, während ihre Wirksamkeit von selbst wieder aufhört, sobald der Normalstand wieder erreicht ist. Diesen Anforderungen entsprechen die heberförmigen Wasserlösen des Kanals du Midi, welche in Hagens Wasserbaukunst (Zweiter Teil, 3. Band, T. VIII, F. 82) dargestellt sind. Dieselben haben indessen selten Nachahmung gefunden, teils weil ihre Anlage kostspielig ist, teils weil ihre Wirksamkeit im entscheidenden Augenblicke durch Verstopfung der Eintrittsöffnungen des Wassers gehemmt sein kann.

Es ist oben bemerkt, daß da, wo ein Kanal einen natürlichen Wasserlauf kreuzt, die Entlastungsanlagen sich nicht selten unmittelbar an die Durchlässe oder Düker anschließen, s. F. 8, T. XVII und nebenstehende Fig. 59. Mitunter werden die Durchlässe nicht allein mit Entlastungsanlagen, sondern auch mit Vorrichtungen zur Speisung des Kanals in Verbindung gesetzt. Man kann alsdann an der Bergseite des Durchlasses einen Fallkessel anordnen und die Durchflußöffnung an

der Kanalseite des Fallkessels mittels eines Schützes verschließbar machen. Dasselbe ist in der Regel gehoben, sodaß das Wasser des Baches durch den Durchlaß fließen kann. Wenn der Kanal gespeist werden soll, wird das Schütz hinabgelassen, das Bachwasser staut sich im Fallkessel und tritt über die Oberkante desselben in den Kanal.

Zeichnungen derartiger und verwandter älterer Anlagen findet man u. a. bei Hagen (T. LXXV, F. 367) und in den Ann. des ponts et chaussées (Série 3, XII, Pl. 100). Die zuletzt genannten Zeichnungen stellen die Durchlässe dar, welche zur Regelung des Wasserstandes in den zu beiden Seiten des Rhein-Marne-Kanals liegenden Teilen des Sees von Gondrexange und zugleich zur Speisung des Kanals mit dem Wasser desselben dienen.

Einen Düker mit Entlastungsüberlauf vom Marne-Saône-Kanal zeigen die Figuren 60 bis 62; derselbe hat die bei neueren Bauwerken dieser Art gebräuchliche Einrichtung. Der früher übliche, mit einem Schlammfang versehene Fallkessel ist durch ein Ablagerungsbecken ersetzt; hierdurch wird erheblich an Mauerwerk gespart. Die Entlastung wird durch vier vertikale Schächte von je 0,6 m Querschnitt bewerkstelligt.

Fig. 60 bis 62. Düker mit Entlastungsüberlauf.

Fig. 60. Lageplan. M. 1:1500.

Fig. 61. Schnitt *ef* (Fig. 62). M. 0,0067 (1:150).

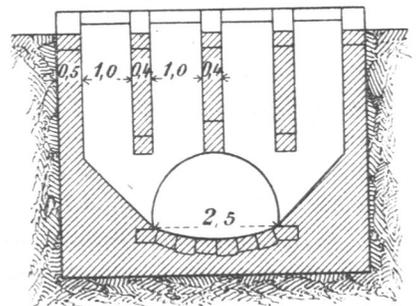
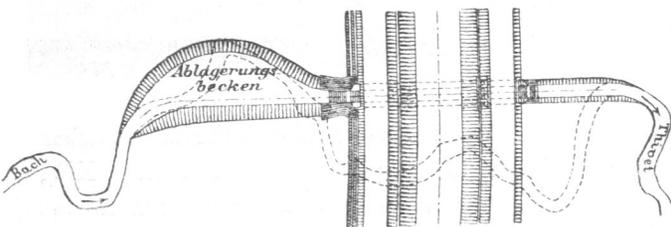


Fig. 62. Längenschnitt. M. 0,0033 (1:300).

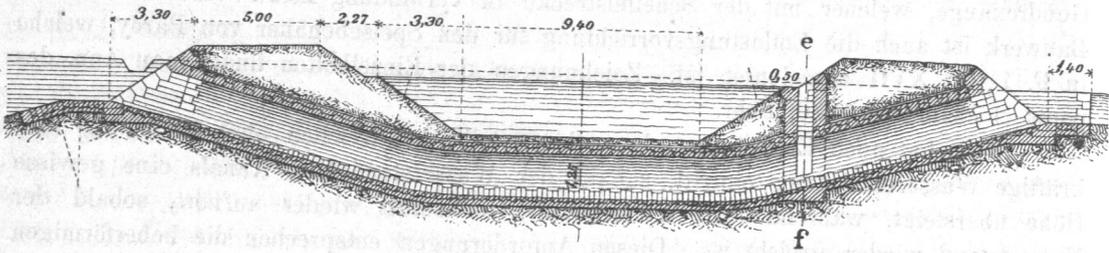


Fig. 63 u. 64.

Schleuse und Schleusenbrücke des Marne-Saône-Kanals mit Anlagen zur Speisung und Entlastung.

Fig. 63. Lageplan. M. 1:1000.

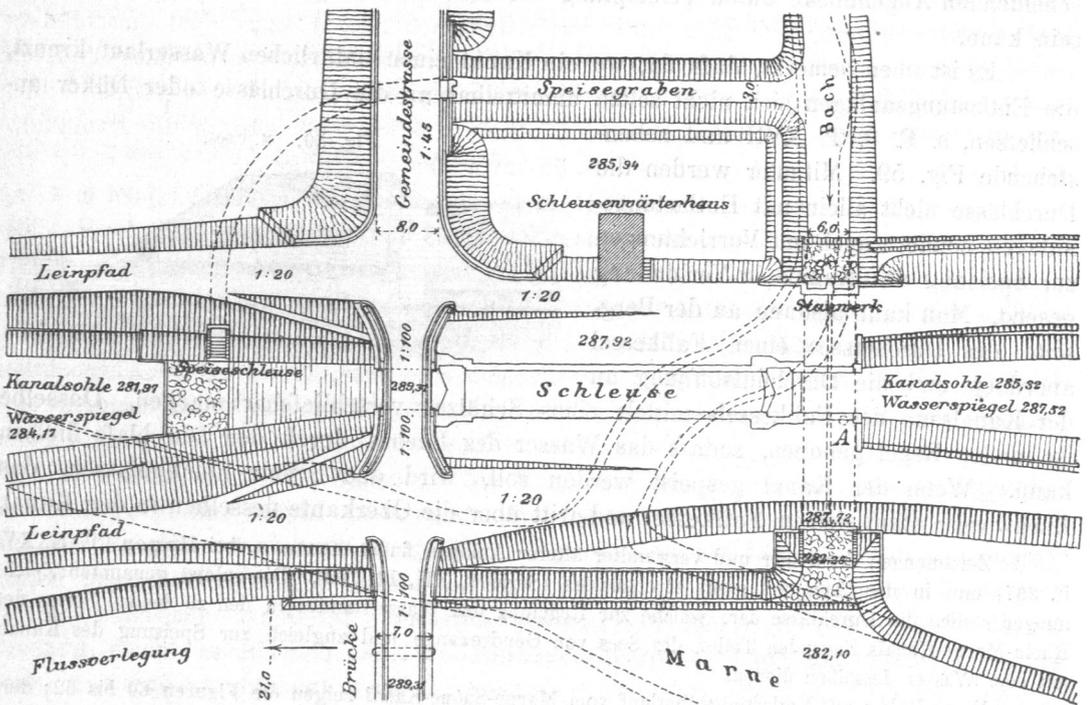
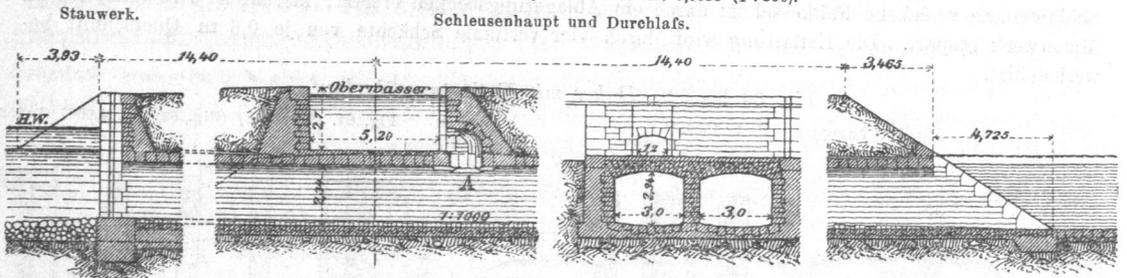


Fig. 64. Längen- und Querschnitte. M. 0,0033 (1:300).

Schleusenhaupt und Durchlaß.



Beim Marne-Saône-Kanal hat man auch die Durchlässe für die Entlastung nutzbar gemacht, welche sich unter Schleusenoberhäuptern befinden, vergl. S. 409 und Kap. XIV, S. 341. Einen betreffenden Lageplan bringt Fig. 63, derselbe zeigt auch einen in das Unterwasser mündenden Speisegraben, eine Brücke über dem Unterhaupt und die Um-

gebungen der Schleuse. Die Entlastung des Oberwassers wird durch einen kurzen, im Querschnitt kreisförmigen Schacht *A* (Fig. 63 u. Fig. 64) bewerkstelligt. Die zum Verschlusse dienende Schütztafel ist nicht gezeichnet. Die Schützöffnungen sind 1,20 m breit; sie bewirken eine so kräftige Ausströmung, daß kurze Haltungen in 5, längere in 10 bis 15 Stunden entleert werden können.

Sicherheitsthore. Durch die Entlastungsanlagen wird ein Bruch der Kanaldämme verhütet, dagegen haben die Sicherheitsthore, welche in gewissen Abständen die Kanalstrecken in einzelne, voneinander unabhängige Abteilungen zerlegen, den Zweck, den Erguß des Wassers weniger schädlich zu machen, falls ein Dambruch dennoch eingetreten sein sollte. Eine derartige Maßregel ist indessen nur bei langen Kanalstrecken am Platze, und auch bei diesen hat man gefunden, daß der Nutzen der Sicherheitsthore mitunter nicht in richtigem Verhältnis zu den Kosten steht. Man wendet dieselben deshalb heutzutage nur noch bei besonderen Veranlassungen an. — Ein zweiter Nutzen jener Thore soll sein, daß man durch ihren Gebrauch den Wasserverlust einschränken kann, welcher entsteht, wenn in einer längeren Strecke Arbeiten vorzunehmen sind, die eine Trockenlegung nur eines Teiles der Strecke erforderlich machen. In solchen Fällen läßt sich aber eine Absperrung durch Einlegen von Dammbalken in die Dammfalze des Mauerwerks der Brücken gleichfalls unschwer bewerkstelligen.

Ein Fall, in welchem ein Sicherheitsthor unentbehrlich erscheint, liegt u. a. an der Mündung des Rhein-Marne-Kanals am See von Gondrexange vor, und die daselbst gewählte Konstruktion (s. F. 9^{a-d}, T. XVIII) ist beachtenswert. An jener Stelle mußte verhütet werden, daß beim Bruch eines Kanaldammes größere Wassermassen aus dem See sich ergießen, und es war ferner auf die Herstellung einer selbstwirkenden Vorrichtung Bedacht zu nehmen. Man hat deshalb ein dem See zugekehrtes Stemmtor angelegt und hat die Drehbäume der Thorflügel so belastet, daß die letzteren sich ziemlich leicht bewegen. Die Thornischen stehen mittels im Mauerwerk angebrachter Öffnungen (vergl. die Grundrisse Fig. 9^{e-u-d}) mit demjenigen Teil des Kanals in Verbindung, welcher volle Breite hat. Sobald nun in dem Kanal eine ungewöhnliche Strömung eintritt, entsteht vor dem Bauwerk und noch mehr in den Thornischen ein Stau, die Thorflügel setzen sich in Bewegung und schließen sich in selbstthätiger Weise, ähnlich wie die Flutthore der Entwässerungsschleusen. Die Flügel derartiger Sicherheitsthore müssen mit großer Sorgfalt konstruiert und gegen Sackungen noch kräftiger verwahrt werden, als gewöhnliche Schleusenthore, weil sie dauernd freihängen.

In der Regel werden die Sicherheitsthore als Klappthore mit horizontaler Drehaxe angeordnet. Nachrichten über ältere Ausführungen dieser Art findet man an den unten angegebenen Stellen⁵⁹⁾, neuere Ausführungen hat namentlich der Oder-Spree-Kanal gebracht.

Dieser Kanal hat vier Sicherheitsthore erhalten; das erste befindet sich vor dem oberen Vorhafen der Wernsdorfer Schleuse am Anfang einer etwa 24 km langen Strecke, vergl. F. 1^{a-o}, T. XVI. Das Thor hat den Kanal bei etwaigem Bruche eines Thores jener ein ungewöhnlich großes Gefälle aufweisenden Schleuse und bei Ausbesserungsarbeiten abzuschließen. Die drei anderen Thore liegen in der Scheitelstrecke unfern Kersdorf, bei Schlaubehammer und im Oberwasser der ersten der Fürstenberger Schleusen. Sie wurden infolge besonderer örtlicher Verhältnisse, u. a. wegen stellenweise hoher Lage des Kanals über dem Gelände erforderlich. Gemeinschaftlich ist diesen Thoren die zweischiffige Anlage (Weite jeder Öffnung 8,6 m), die Konstruktion der Klappen (vergl. F. 21 u. 22, T. X) und die Anordnung von drei Zugschützen in jeder Klappe, welche benutzt werden, wenn der Raum zwischen dem Thore und der benachbarten Verschlussvorrichtung nach stattgehabter Entleerung einer Kanalstrecke wieder gefüllt werden

⁵⁹⁾ Hagen. Wasserbaukunst. Zweiter Teil, 3. Band, S. 552, ferner Ann. des ponts et chaussées 1841, Bl. 11 u. 12 und Allg. Bauz. 1843, Bl. XVII (Sicherheitsthore im französischen Kanal du Centre).

Seite muß Gelände zur Anlegung von Lagerplätzen vorhanden sein. Wenn es die Örtlichkeiten mit sich bringen, wird das Hafenbecken in unmittelbarer Nähe des Bahnhofes hergestellt und mit dem Hauptkanal durch einen Zweigkanal in Verbindung gesetzt.

Fig. 67.

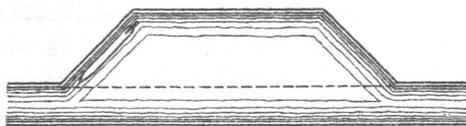
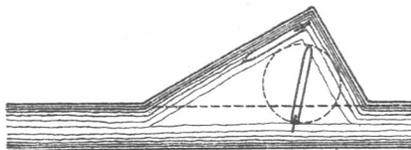
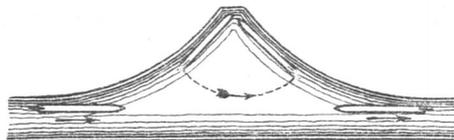


Fig. 68.



Unter den Formen der Häfen, welche als Erbreiterungen des Kanals auftreten, mögen neben dem Rechteck (F. 6, T. XVII) hervorgehoben werden: das Trapez (Fig. 67), dessen Schmalseiten das Anlegen eines Kahn'es gestatten, das Dreieck (Fig. 68), welches trotz kleiner Grundfläche einen Wendepunkt darbietet, und die in Fig. 69 dargestellte Form, bei welcher das Wenden der Kähne nach Art des Wendens der Eisenbahnfahrzeuge in Spitzkehren stattfindet.

Fig. 69.



Die Größe der Häfen richtet sich nach den Anforderungen des Verkehrs und stützt sich auf die Länge und Breite der Schiffe unter Angabe reichlicher Spielräume. Die kleinsten Anlagen werden nur nach eines Schiffes Länge und Breite bemessen, größere Häfen erhalten mehr als eine Schiffslänge zur Breite und das Zehnfache oder noch mehr zur Länge. Am Rhein-Marne-Kanal sind beispielsweise bei etwa 35 m Schiffslänge die Häfen von Zabern (F. 6, T. XVII) und Frouard 387 bzw. 220 m lang. Eine von der Größe des voraussichtlichen Verkehrs ausgehende vorläufige Ermittlung der Größe der Kanalhäfen für Lübeck findet man an der in Anm. 61 näher bezeichneten Stelle.

Die Ausrüstung der bestehenden Häfen läßt im allgemeinen mancherlei zu wünschen übrig. Kaimauern und Ladekranne sind ziemlich selten, obwohl man für die Kanalschifffahrt mit Recht eine ähnliche Ausrüstung verlangen kann, wie solche für den Eisenbahnverkehr allgemein üblich ist. Es würde sich also unter anderem darum handeln, für kleinere Häfen mobile, auf Schiffen angebrachte, für größere aber feststehende Kranne zu beschaffen, und, falls ein Kohlenverkehr der Wasserstrasse zuzuführen ist, regelrechte Sturzvorrichtungen.

Außer verschiedenen französischen Kanalhäfen haben indessen auch einige Häfen englischer Kanäle, welche zwischen Binnenschifffahrt und Seeverkehr vermitteln, eine gute Ausrüstung. Die letzteren zeigen im ganzen den Charakter der Seehäfen und sind deshalb nicht an dieser Stelle eingehend zu besprechen. Nur auf eine Anlage im Hafen von Goole mag hier hingewiesen werden, weil dieselbe einen ergänzenden Teil der Dampfschifffahrt mit gegliederten Schiffszügen (vergl. das Kapitel „Binnenschifffahrt“) bildet. Es handelte sich um die Herstellung einer Überladevorrichtung für die in jenen Schiffszügen angefahrenen und den Seeschiffen zu übergebenden Kohlen. Dieselbe besteht aus einer durch eine Dampfmaschine betriebenen Seilebene, deren unter das Wasser tretender Wagen die Kästen der gegliederten Schiffszüge einzeln aufnimmt, und aus einem hydraulischen Aufzuge, welcher die über Wasser gebrachten Kästen an zwei daran befindlichen Zapfen faßt und sie vertikal hebt. Die gehobenen Kästen werden umgestürzt und geben auf diese Weise die Kohlen unmittelbar an die Seeschiffe ab. Diese Vorrichtung arbeitet mit Erfolg. Die Umladekosten betragen einschließlic Tilgung der Baukosten der Aufzugsvorrichtung nur 68 Pf. für die Tonne. Näheres über den Hafen von Goole und andere größere Kanalhäfen Englands siehe v. Weber. Wasserstraßen Nord-Europas, S. 118. Vergl. Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 408.

Größere Häfen werden mit einer Dienstwohnung für den Hafenmeister auszustatten sein, auch mit einer solchen für einen Rendanten, letzteres dann, wenn Kanalabgaben erhoben werden. Der Hafen zu Cosel, welcher übrigens zu einer Flussskanalisierung gehört, weist ein gemeinsames Wohn- und Dienstgebäude für jene beiden Beamten von $25 \times 10^{1/2}$ m Grundfläche nebst einem Stall- und Abortgebäude von $10^{1/4} \times 6^{1/4}$ m Grundfläche auf.

Mündungen. Wenn der Kanal in einen Fluß mündet, sind Lage und Richtung der Mündungsstrecke nach den für Flußhäfen-Mündungen geltenden Regeln (s. das Kapitel „Flußbau“) anzuordnen.⁶²⁾ Bequem gestalten sich diese Stellen, wenn unterhalb der Einmündung ein Wehr liegt. F. 7, T. XV führt einen solchen Fall, zugleich die Kreuzung eines Kanals mit einem Fluß, vor. Wenn in letzterem kein Wehr liegt, wird man bei derartigen Kreuzungen (der Merwede-Kanal kreuzt beispielsweise den Lek) die beiden Mündungen nicht einander gegenüber anlegen, weil die größeren Wassertiefen der Flüsse bald an der einen, bald an der anderen Uferseite zu liegen pflegen. — Zwischen der Mündung und der nächsten Schleuse wird zweckmäßigerweise ein Vorhafen eingeschaltet, hauptsächlich als Zufuchthafen bei Hochwasser und Eisgang. Hierzu bringt F. 4, T. XVI ein Beispiel, sie zeigt, nebenbei bemerkt, auch die letzte nur 750 m lange Haltung des Merwede-Kanals. Der Vorhafen hat hier eine Grundfläche von 11 Hektaren.

Mündungen der Schiffahrtskanäle in Seen gestalten sich in der Regel ziemlich einfach. F. 1°, T. XVI zeigt die Mündung des Oder-Spree-Kanals in den Seddin-See. Sie ist auf der einen Seite durch das mit Packwerk befestigte Ufer, auf der anderen Seite durch einen aus Packwerk hergestellten Damm (Kronenbreite 2 m) begrenzt. Vor dem Kopfe dieses Damms befindet sich ein (in der Abbildung nicht gezeichneter) Dükdalbe, welcher für die Nacht eine mit Balmain'scher Farbe gestrichene Leuchtscheibe trägt. Näheres in Mohr. Der Oder-Spree-Kanal und seine Bauten. Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 374.

§ 20. Kanal-Erweiterungen. Den Anforderungen des heutigen Verkehrs genügen, wie wiederholt hervorgehoben ist, die früher üblichen kleinen Fahrzeuge nicht mehr und dies hat die Erweiterung einer namhaften Zahl bestehender Kanäle veranlaßt. Mitunter mußte man die Sohlenbreiten und die Wassertiefen vergrößern, konnte sich aber in der Regel auf eine Vergrößerung der letzteren beschränken. In den meisten Fällen liefs sich dies durch Anspannung des Wasserspiegels unter Erhöhung der Kanal-dämme u. s. w. leichter erreichen, als durch eine Vertiefung des Kanals. Jene Anspannung des Spiegels hat sehr oft eine Hebung oder einen Umbau der über den Kanal führenden Straßenbrücken im Gefolge gehabt, nicht minder eine erhebliche Erweiterung der Anlagen für die Speisung der Kanäle. Auch die Schleusen wurden gewöhnlich in Mitleidenschaft gezogen, sie mußten zum Teil ganz umgebaut, zum Teil verlängert werden, bei lebhaftem Verkehr wurde die alte Schleuse beibehalten und eine zweite, größere in ihrer Nähe hergestellt (Plauer Kanal). Sämtliche Arbeiten werden durch den Umstand sehr erschwert, daß der Kanalbetrieb aufrecht erhalten werden muß, höchstens

⁶²⁾ Vergl. auch § 14 des XIV. Kapitels (Einfahrten der Schleusen), ferner in der 2. Aufl. dieses Werks Kap. X, S. 80/81, woselbst die Ergebnisse der eingehenden Untersuchungen Minards (s. dessen Cours de construction. Rivières et canaux, S. 366) im Auszuge gegeben sind, ferner Allg. Bauz. 1871, S. 86 (Anschluß des Rhein-Marne-Kanals an den Ill-Fluß), und Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 446 (Mündung des Oder-Spree-Kanals in die Spree bei der Schleuse Große Tränke).

auf kurze Zeit gestört werden darf. Mitunter hat sich dies durch Zuhilfenahme der Winterzeit erreichen lassen (Finow-Kanal), in anderen Fällen mußten besondere Vorkehrungen ersonnen werden, um den Schiffen trotz Herstellung von Baugerüsten und dergl. die Fahrt zu ermöglichen.

Obwohl nun auch die Einzelheiten der in Rede stehenden Ausführungen beachtenswert sind, muß doch auf Besprechung derselben verzichtet und wegen des Weiteren auf die nachstehend bezeichneten Mitteilungen verwiesen werden.

Dietrich. Der Erweiterungsbau des Landwehr-Kanals. Berlin 1875.

Der Kanal von Gent nach Terneuzen (Belgien). (Derselbe hat 6,5 m Wassertiefe statt einer Tiefe von 4,4 m erhalten.) Engineering 1878, Okt. S. 312.

Mocquery (Ann. des ponts et chaussées 1880, II, S. 118) untersucht u. a. die Behandlung gekrümmter Strecken bei Herstellung einer größeren Wassertiefe und einer größeren Sohlenbreite.

Vergrößerung der Wassertiefe des Seitenkanals des Aisne-Flusses. Ann. industr. 1881, März, S. 371.

Verbesserung des Kanals von Briare. Ann. industr. 1881, März, S. 402.

Erweiterung des Kanals von Burgund (Frankreich). Ann. industr. 1876, 16. und 23. Jan. — Nouv. ann. de la constr. 1878, Juni, S. 95. — Ann. industr. 1883, März, S. 376.

Erie-Kanal (Leistungsfähigkeit desselben infolge Vergrößerung der Wassertiefe um 0,3 m). Transactions of the amer. society of civ. eng. 1880, März, S. 99. — Sonstige Mitteilungen über die Erweiterung und die Vervollkommnung der Schleusen u. a. durch eine Wasserkraft-Winde, welche die Schiffe in die Schleusenkammer holt. Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 114.

Hörschelmann. Die Umgestaltung der Marien-Wasserstraße (Rußland). IV. Binnenschiffahrts-Kongress in Manchester (1890). 3. Abhandl. unter Engineering. Vergl. Zum bevorstehenden Umbau der Marien-Wasserstraße. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 474.

Baumert. Die Schiffbarmachung des Havelländischen Haupt-Kanals (Vorschläge). Verhandl. d. „Centralvereins“ v. 18. März 1891.

Rhein-Marne-Kanal und die Kanäle in den Reichslanden. Picard u. Bruniquel. Hebung und Umbau der Brücken dieses Kanals. Ann. des ponts et chaussées 1880, I, S. 249. — Schubert. Technischer Streifzug in das Saar-Gebiet. Deutsche Bauz. 1882, S. 28 (Erhöhung des Wasserspiegels im Speisebecken von Gondrexange). — Volkmann. Über die Erweiterung des französischen Teils des Rhein-Marne-Kanals. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1886, S. 337. Siehe auch: Wochenbl. f. Bauk. 1885, S. 417 und Deutsche Bauz. 1885, S. 499. — Erweiterung der Kanäle in den Reichslanden. Schiff 1891, S. 106 u. 113; 1892, S. 566 (Gesetzentwurf).

Marten. Verbesserung der Binnenwasserstraßen Englands (Vorschläge). IV. Binnenschiffahrts-Kongress in Manchester (1890). 6. Abhandl. unter Engineering. — Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 220.

§ 21. Betriebstechnik.

Kanalordnungen. Wie bei den Eisenbahnen sind auch bei den Schiffahrtskanälen Betriebsordnungen unentbehrlich und viele Punkte dieser sogenannten Kanalordnungen müssen von den Technikern oder wenigstens unter ihrer Mitwirkung festgestellt werden. Die vollständigste dem Verfasser bekannte Kanalordnung ist die französische; sie ist von Nördling (Wasserstraßenfrage — Wien 1885 — S. 193) mitgeteilt. Es ist angezeigt, hier nur eine Übersicht des Inhalts zu geben und dabei alle Punkte unerwähnt zu lassen, welche an dieser Stelle von vergleichsweise geringer Bedeutung sein würden.

1. Abschnitt. Abmessungen der Schiffe und Flöße. — Schiffsaufschriften. — Bemannung und Ausrüstung. — Nachfahrten. — Schiffszüge.

2. Abschnitt. Rangklassen der Schiffe. — Dampfschiffe. — Regelmäßiger (fahrplanmäßiger) Fahrdienst. — Gewöhnlicher Fahrdienst. — Vorfahren. — Reihenfolge bei der Fahrt durch Schleusen und bewegliche Brücken.

3. Abschnitt. Nachtdienst. — Schiffahrtssperren. — Ausweichen der Schiffe und Flöße.

4. Abschnitt. Fahrt durch die Tunnel.

5. Abschnitt. Stillliegen der Schiffe. — Ein- und Ausladen. — Öffentliche und private Lagerplätze.

6. Abschnitt. Verbote. — Ermächtigungen, namentlich bezüglich der Wasserbenutzung.

Ferner liegt ein Auszug aus der Kanalordnung für den Merwede-Kanal (Wassertiefe 3,1 m) vor, aus diesem sei Folgendes hervorgehoben:

Die Verwaltung ist berechtigt, das Maximum der Kolbenhöhe und der Umdrehungen der Schrauben der Dampfer f. d. Minute auf Grund von Versuchsfahrten festzustellen.

Die den Dampfern gestattete Fahrgeschwindigkeit ist von ihrem Tiefgange abhängig und beträgt beispielsweise 125 m i. d. Minute bei mehr als 2,5 m Tiefgang, 200 m i. d. Minute bei 1,25 m Tiefgang und weniger. (Der größte zulässige Tiefgang ist 2,6 m.)

Den Flößen ist eine Geschwindigkeit von höchstens 75 m i. d. Minute gestattet.

Schlepper dürfen höchstens 12 gewöhnliche Kähne befördern, Kähne von mehr als 250 Tonnen Ladefähigkeit werden doppelt gerechnet.

Ausstattung der Kanäle. Über Ausrüstung der Häfen mit Lösch- und Ladevorrichtungen vergl. S. 429.

Nachtdienst, Wartung der Schleusen, Signalvorrichtungen für dieselben u. dergl. sind in den Paragraphen 26 u. 27 des XIV. Kapitels besprochen. An dieser Stelle mögen die Signalvorrichtungen für Tunnelleingänge und Kanalründungen namhaft gemacht werden. Elektromagnetische Diensttelegraphen hat man früher für die Kanäle nur ausnahmsweise angelegt, bei Kanälen mit lebhaftem Verkehr dürfen dieselben aber nicht fehlen, weil sie für die Schifffahrt und für den Unterhaltungsdienst sehr nützlich sind; auch Fernsprech-Apparate leisten für letztgenannten Zweck gute Dienste.

Die Kanal-Abgaben, über welche in neuerer Zeit recht lebhaft verhandelt ist, sind hier nur insoweit zu erwähnen, als die amerikanischen sogenannten Wiegeschleusen zu ihnen in Beziehung stehen. Man vergleiche Schönfelder und Mohr. Reisebericht. Zeitschr. f. Bauw. 1878, S. 37.

Betriebsunterbrechungen. Kanalsperren. Der Kanalbetrieb erfreut sich nicht der Gleichmäßigkeit, welcher ein Vorzug des Eisenbahnbetriebes ist, die Winterfröste veranlassen längere oder kürzere Betriebseinstellungen, auch der Ausbesserungen wegen muß der Betrieb ab und zu unterbrochen werden.

Ungewöhnlich lange Unterbrechungen während des Winters (von 180, 150, 90 Tagen je nach der Lage der Kanäle) finden in Schweden statt; dort treten alsdann Schlittentransporte ergänzend ein. Auf den Kanälen des Staates New-York wurde früher in 16jährigem Durchschnitt die Schifffahrt am 12. Dez. geschlossen und am 19. April wieder eröffnet; auf dem Rhein-Marne-Kanal (nach älteren Bestimmungen) am 25. Dez. bzw. am 20. Febr. Im Winter 1864/65 ruhte die Schifffahrt des letztgenannten Kanals des Frostes wegen zwischen Vitry und Nancy 68, zwischen Nancy und Straßburg 99 Tage lang. Beim Plauenschen Kanale wurden durchschnittlich jährlich 70 Tage für die Sperrung durch Eis gerechnet.

In neuerer Zeit werden Betriebsunterbrechungen dieser Art nicht länger als unbedingt erforderlich ausgedehnt, unter Umständen läßt sich auch die Bildung einer starken Eisdecke dadurch verzögern, dafs eine Bewegung des Kanalwassers hervorgerufen wird. In den Reichslanden ist die Schifffahrt während des Zeitraums 1872—1889 durchschnittlich durch Frost unterbrochen worden

auf dem Rhein-Rhone-Kanal jährlich 37 Tage lang,

„ „ Rhein-Marne-Kanal „ 47 „ „

„ „ Saar-Kohlen-Kanal „ 46 „ „

Die Eisdecken der Seekanäle werden sobald als möglich gebrochen entweder durch besondere Eisbrech-Dampfer oder durch Dampfer, welche mit Eisplügen ausgerüstet werden.⁶⁸⁾

Die obigen Angaben von den reichsländischen Kanälen sind einer Abhandlung Dölls über die Sperrung der künstlichen Wasserstraßen (Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 263) entnommen, welche unter den verschiedenen Arbeiten, welche aus neuerer Zeit über die Kanalsperren (*chomages*) vorliegen, die gründlichste sein dürfte. Er behandelt u. a. die nachteiligen Einwirkungen des Frostes und anderer Witterungseinflüsse, die

⁶⁸⁾ VI. Binnenschifffahrts-Kongress im Haag (1894). Vorberichte von Cramer, ferner von Bekaar und Nelemans über die Mittel zur Verhütung von Sperren infolge des Frostes.

Abnutzung der Bauten durch die Schifffahrt und den Gebrauch, sodann die allgemeinen und die örtlichen Sperren, die Einwirkungen der ersteren auf Gewerbe, Handel, Landwirtschaft u. s. w. Ferner werden erörtert: die Frage des Beginns der Sperren, welche der Ausbesserungen wegen erforderlich sind, das die Sperren betreffende und Schonung des Durchgangsverkehrs bezweckende Übereinkommen zwischen Frankreich, Belgien, Elsaß-Lothringen und Preußen vom 17. März 1887, die beachtenswerte Thatsache, daß eine Sperrung der preussischen Kanäle im allgemeinen nur in der Winterzeit (Ende November bis Mitte März) stattfindet, auch die Aufgaben der Wasserbauverwaltung bezüglich der Vorbereitung der Sperren und der Ausführung der Ausbesserungsarbeiten. Die Frage, ob Sperrungen der künstlichen Wasserstraßen behufs Vornahme jener Arbeiten sich ganz vermeiden lassen, wird verneint, die Betriebsunterbrechungen lassen sich aber einschränken, besonders durch Vermeidung von Unvollkommenheiten in der Anlage der Kanäle und ihrer Ausführung. Auf Abkürzung der einzelnen Sperren ist großes Gewicht zu legen.

Die übrigen die Kanalsperren betreffenden Arbeiten bestätigen das von Döll Gesagte in allen wesentlichen Punkten und führen Einzelnes weiter aus.⁶⁴⁾ Hervorzuheben wären etwa die Bemerkungen Derome's, welcher Gleichförmigkeit der einer starken Abnutzung unterworfenen Teile der Schleusenthore und Zuhilfenahme von Tauch-Apparaten empfiehlt, und das, was Mailliet über die sommerlichen Schifffahrtssperren kanalisierter Flüsse sagt; seiner Ansicht nach haben jene Sperren alljährlich stattzufinden, während dies bei Schifffahrtskanälen nicht zutrifft.

Unterhaltungsarbeiten. Die bauliche Unterhaltung der Schifffahrtskanäle ist nach Obigem sehr oft entweder während ungünstiger Jahreszeit, oder in kurz bemessenen Fristen vorzunehmen; hieraus folgt, daß sie sich in der Regel eigenartig und schwierig gestaltet. Einzelheiten über Unterhaltungsarbeiten während des Winters findet man an unten bezeichneter Stelle.⁶⁵⁾ Die Schwierigkeiten solcher Arbeiten selbst bei besserer Witterung entspringen aus der Kürze der Zeit, aus hierdurch veranlaßten übertriebenen Lohnansprüchen der Bauhandwerker, aus Arbeiten, welche sich erst nach Senkung des Wassers im Kanale, also unvorhergesehen, als erforderlich zeigen u. dergl. „Es giebt kaum eine schwerere und verantwortlichere Aufgabe, als die Leitung der Arbeiten, welche während der Sperrung eines Kanals ausgeführt werden müssen“ (Döll, a. a. O. S. 265). Einige Arbeiten ungewöhnlicher Art sind in den unten bezeichneten Mitteilungen besprochen.⁶⁶⁾

⁶⁴⁾ Litteratur. Die Kanalsperrung. Das Schiff 1883, S. 321. — Die Kanalsperre in Frankreich im Jahre 1888 für die einzelnen Flußgebiete. Ann. industr. 1888, S. 729—731. — Die Kanalsperre in den Reichsländern. Das Schiff 1890, S. 233.

V. Binnenschifffahrts-Kongress zu Paris (1892). Vorberichte von Germelmann (Schifffahrtssperren auf deutschen Kanälen und kanalisierten Flüssen), von Derome, Mazoyer und Captier (Sperren in Frankreich) und von Mailliet (Sperren in Belgien). — Procès verbaux des séances des sections, S. 119 u. ff.

Ölwein. Unterbrechung der Schifffahrt auf künstlichen Wasserstraßen. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892, S. 366.

⁶⁵⁾ VI. Binnenschifffahrts-Kongress im Haag (1894). Schultz. Die Ausführung von Unterhaltungsarbeiten an Wasserstraßen, insbesondere von Maurer- und Zimmerarbeiten, während des Winters.

⁶⁶⁾ Le Chatelier. Le canal de l'Ourcq et ses procédés actuels d'entretien. Nouv. ann. de la constr. 1887, S. 114 u. 129 (u. a. Vorrichtung, um die Wasserpflanzen mit Schleppsenen abzumähen. Schwimmender Fangdamm (*bâche*), welcher nach Herstellung von vier festen Flügeln die Ausführung wasserdichter Böschungen ohne Störung des Betriebs ermöglicht). — Andra. Die Instandsetzung der Teilstrecke „Bassin de Pantin“ des Kanals St. Martin zu Paris. Génie civil 1888, Bd. XIII, S. 418 (Bauweise einer gemauerten Sohle). — Bruch eines Damms des Cornwall-Kanals in Kanada. Deutsche Bauz. 1889, S. 23.

§ 22. Bau- und Unterhaltungskosten. Die Baukosten der Schiffahrtskanäle und ihre Unterhaltungskosten sollen hier nur kurz besprochen werden; längere Auszüge aus den nach Bedarf unmittelbar zu Rate zu ziehenden Quellen würden wenig Nutzen haben.

Baukosten. Die durchschnittlichen kilometrischen Kosten der französischen Kanäle sind im Jahre 1870 zu 132000 M. ermittelt (Nördling. Wasserstrassenfrage, S. 42). Weiter unten (S. 435) folgen Angaben über einzelne Kanäle.

Beim Oder-Spree-Kanal (Länge 87 km, vergl. S. 380) haben

die Kosten der Bauausführung	12 600 000 M.
„ „ „ Bauleitung	500 000 „
zusammen	13 100 000 M.

betragen. Näheres Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 468. Kilometrische Kosten 151000 M.

Der französische Ost-Kanal hat 81600000 M. gekostet, Teile desselben bestehen aus kanalisiertem Flussstrecken. Bei einer Länge von 480 km ergeben sich die kilometrischen Kosten zu 170000 M.

Die Kosten des 73 km langen Ems-Jade-Kanal stellen sich auf 13968000 M., hierin sind aber namhafte Aufwendungen für Umgestaltung der Kanäle und der Entwässerung der Stadt Emden enthalten. Kilometrische Kosten einschliesslich dieser Anlagen 191000 M.

Der (rund) 71 km lange Merwede-Kanal hat etwa 33,6 Millionen Mark gekostet, er hat ein ungewöhnlich grosses Profil, auch waren Bahnverlegungen von erheblicher Ausdehnung erforderlich, vergl. § 9. Kilometrische Kosten 473000 M.

Veranschlagte kilometrische Baukosten:

Kanal zwischen der Spree und der unteren Oder (14 m Sohlenbreite):	
Hauptlinie Köpenick-Kienitz	229 000 M.
Seitenlinie Friedland-Schwedt	169 000 „
Oder-Seitenkanal (14 m Sohlenbreite):	
Breslau-Österreichische Grenze	188 500 „
Oder-Weichsel-Kanal (14 m Sohlenbreite):	
Cosel an der Oder bis zur Weichsel	277 500 „
Rhein-Yssel-Kanal (15 m Sohlenbreite):	
Rees am Rhein bis zur holländischen Grenze .	194 500 „
Mosel-Saar-Kanal (10 m Sohlenbreite, 3250 m langer Kanaltunnel):	
Metz bis zur preussischen Grenze	352 000 „

Eingehendere Angaben findet man u. a. in:

Wiggers. Das Projekt des Rostock-Berliner Schiffahrtskanals von dem Wasserbau-Inspektor Hefs zu Hannover. (Rostock.) I, S. 74 und II, S. 22.

Graeff. Construction des canaux et des chemins de fer. Histoire critique des travaux exécutés dans les Vosges au chemin de fer de Paris à Strassbourg et au canal de la Marne au Rhin; Analyse détaillée et méthodique des dépenses faites pour ces travaux. Paris 1861.

Kosten der Kanäle in Pennsylvanien. Zeitschr. f. Bauw. 1861, S. 287.

Hefs. Der Weser-Elbe-Kanal. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1871, S. 207.

Über die Stecknitz-Linie des Elbe-Trave-Kanals liegen verschiedene vorläufige Kostenanschläge vor, weil bei der Einmündung des Kanals in die Lübecker Seehäfen verschiedene Anordnungen getroffen werden können. Falls eine der weniger kostspieligen

Anordnungen gewählt wird, dürften sich die Gesamtkosten auf 23300000 M., die kilometrischen Kosten auf 247000 M. belaufen.

Die Gesamtlänge der Wasserstraßen zwischen Dortmund und Emden ist (rund) 272 km, nach Abzug von 34 km freie Ems, und unter Beifügung von 11 km der Strecke Herne-Henrichenburg ergeben sich (rund) 250 km als Länge des Schiffahrtskanals nebst den zu kanalisierenden Ems-Strecken. Die veranschlagte Gesamtbausumme wird zu 69450000 M. angegeben; hierin sind 1780000 M. enthalten, welche wegen des Anschlusses des Mittelland-Kanals aufgewendet werden sollen. Dem Dortmund-Ems-Kanal fallen demnach 67700000 M. zur Last. Kilometrische Kosten (rund) 271000 M.⁶⁷⁾

Kosten der Speiseanlagen s. S. 424.

Über die Kosten der Herstellung einer größeren Wassertiefe (2 m statt 1,60 m) liegen ausführliche Angaben in der Mitteilung von Picard und Bruniquel bezüglich des Rhein-Marne-Kanals (s. S. 431) vor. Die kilometrischen Kosten betragen: für Erd- und Dichtungsarbeiten 6800 M., für Kunstbauten 5200 M., für Speiseanlagen 7200 M., im ganzen sonach 19200 M.

Die Verwaltungs- und Unterhaltungskosten setzt Bellingrath für einen Kanal mit großem Profil zu 1200 M. f. d. Kilometer an, nahezu dasselbe (1230 M.) bringt Schlichting für den Rhein-Yssel-Kanal in Rechnung. Sonstige Angaben siehe:

Hefs. Der Rhein-Marne-Kanal. Allg. Bauz. 1871, S. 174.

Hefs. Die Kanäle des Staates New-York. Zeitschr. f. Bauw. 1867, S. 523.

Cotard. Über Wasserstraßen. Mem. de la soc. des ing. civils 1880, April, S. 431.

Meyer. Kosten der Binnenschifffahrt. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1881, S. 208 und 577.

Aus den neueren bezügl. Mitteilungen sind die hervorzuheben, welche Döll über die Unterhaltungskosten (und die Baukosten) der Kanäle in den Reichslanden macht (Verhandlungen des Centralvereins für Binnenschifffahrt v. 7. März 1883 und Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 196). Nachstehend ein Auszug aus den an diesen Stellen gegebenen ausführlicheren Tabellen.

Bau- und Unterhaltungskosten der Kanäle in den Reichslanden.

No.	Name der Kanäle.	Länge	Baukosten für 1 km	Bauzeit	Gewöhnliche Unter- haltungskosten für 1 km	Gehälter
		km	M.		M.	M.
1	Rhein-Rhone-Kanal	132	64570	1805—1820	933	122635
2	Rhein-Marne-Kanal	104,4	191200	1839—1852	880	87000
3	Saar-Kohlen-Kanal	75,6	177700	1862—1866	1049	45170

⁶⁷⁾ Sonstige Veranschlagungen: Veranschlagte Kosten des Marne-Saône-Kanals s. Zeitschr. f. Bauwesen 1882, S. 329 u. ff. — Vorläufige Kostenanschläge für verschiedene von Leipzig ausgehende Kanallinien, in denen namentlich die Einheitspreise beachtenswert, s. Havestadt u. Contag. Die Leipziger Kanal-Frage. Leipzig 1892.