

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	—

Die Abmessungen der neueren großen Seekanäle entsprechen im allgemeinen denjenigen des Suez-Kanals und sind mehr oder weniger von diesem übernommen, da er sich als erster der großen Kanäle in seiner Anlage als zweckmäßig und nach seiner Erweiterung den Anforderungen der größten Seeschifffahrt als vollständig genügend zeigte.

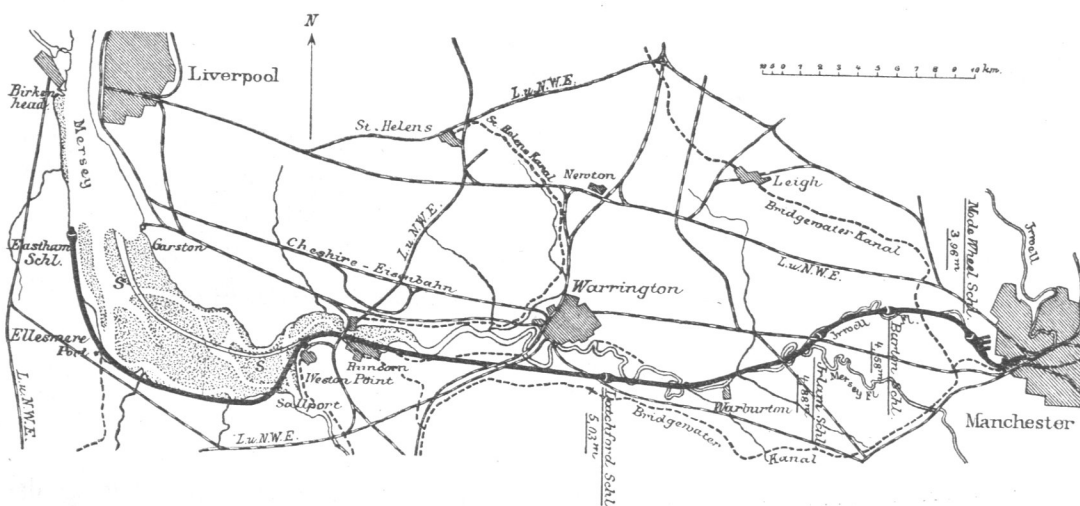
Vorstehende Tabelle giebt ein Bild von den Größenverhältnissen der neueren großen Seekanäle.

§ 3. Seekanäle mit mehreren Haltungen.

Manchester-Seekanal. Die früher unzureichende schiffbare Verbindung der sehr gewerbereichen Stadt Manchester mit der See, und besonders ihre Abhängigkeit von der Hafenstadt Liverpool hinsichtlich der Beförderung von Gütern, führten zu der im Jahre 1882 beschlossenen, im Jahre 1886 endgiltig genehmigten und im Jahre 1894 beendeten Erbauung des Manchester-Seekanals. Obgleich Manchester durch nicht weniger als fünf Eisenbahnen und zwei Binnenschiffstraßen mit dem nur 50 km entfernten Liverpool verbunden ist, so waren die Frachtsätze der Waren von und nach See doch so hohe, daß man, um konkurrenzfähig gegenüber günstiger gelegenen Fabrikstädten zu bleiben, gezwungen war, zu dem Bau eines für die größten Schiffe zugänglichen Seekanals zu schreiten. Manchester machte sich dadurch von der Abhängigkeit Liverpool's frei, obschon letzteres sich mit allen zu Gebote stehenden Mitteln der Erbauung dieses Kanals widersetzte.

Fig. 1. Manchester-Seekanal.

Übersichtsplan.



Manchester liegt am Irwell, einem durch Wehre aufgestauten und für die kleine Schifffahrt eingerichteten Nebenflusse des Mersey, welcher sich unterhalb Liverpool in die einem starken Flut- und Ebbewechsel ausgesetzte See ergießt. Bis Warrington (Fig. 1) hat der Mersey wie der Irwell den Charakter eines oberländischen Flusses; von hier ab erweitert er sich trichterförmig, um sich noch einmal zwischen Liverpool und Birkenhead erheblich zu verengen.

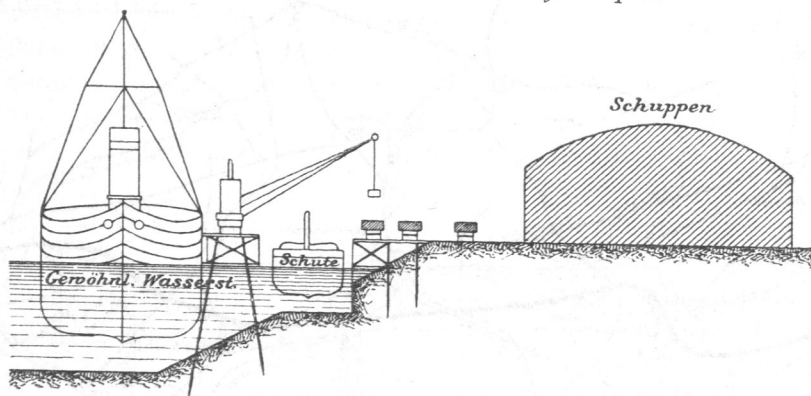
Der Flutwechsel beträgt hier bei gewöhnlichen tauben Tiden 4,00 m, bei Springtiden dagegen 8,00 m; er erstreckt sich bis zu dem oben erwähnten Warrington, welches dadurch für die Seeschifffahrt zugänglich wurde. Letztere bewegt sich bis Eastham

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.

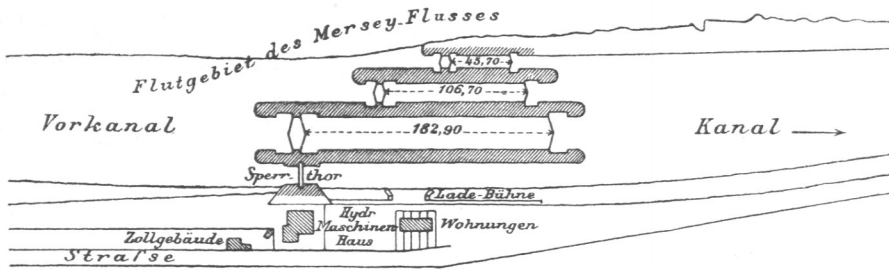
Da Manchester verhältnismäßig hoch gegenüber dem Meeresspiegel liegt und die Hafenanlagen im Innern der Stadt angelegt werden sollten, so konnte von der Herstellung eines Kanals mit einer Haltung nicht die Rede sein; man entschied sich vielmehr, von Warrington ab mittels vier Schleusenanlagen eine Kanalisierung 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.

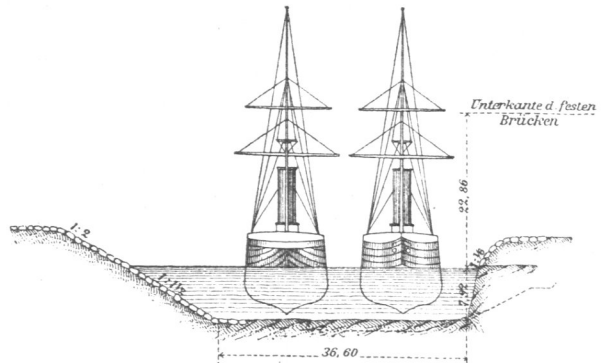
Die Sohlenbreite des gewöhnlichen Kanalprofils (Fig. 4, links) beträgt 33,60 m, die normale Wassertiefe 7,92 m. Innerhalb der Schleusen beträgt jedoch die Kanaltiefe mit Rücksicht auf etwaige spätere Vertiefungen 0,90 m mehr.

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.

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



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 schmaler, immerhin 30—40 m hoher Wasserschleiden erfordert.

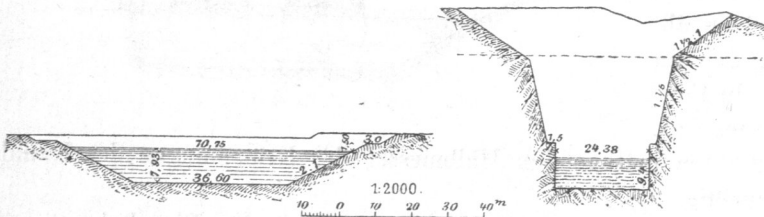
In ähnlicher Weise soll der auf der westlichen Seite zwischen dem Nicaragua-See und dem Stillen Ocean sich befindliche Tola-Fluß aufgestaut werden.

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.

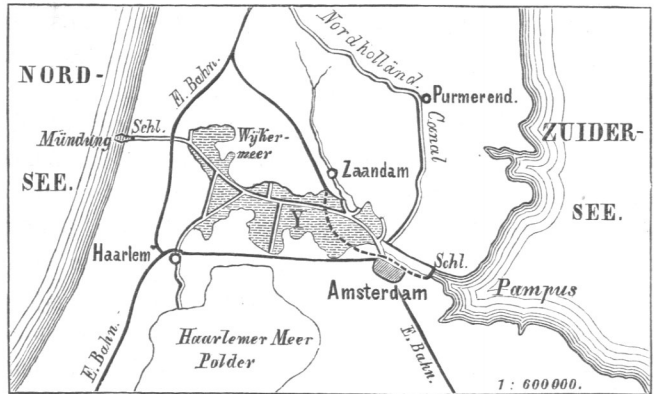


Fig. 8.

Profil im freien Wasser.

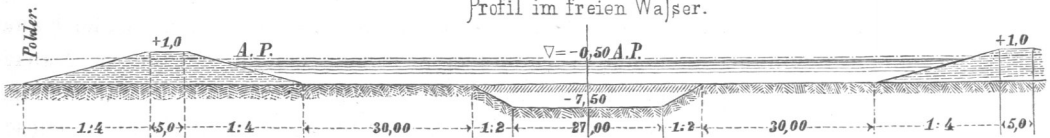
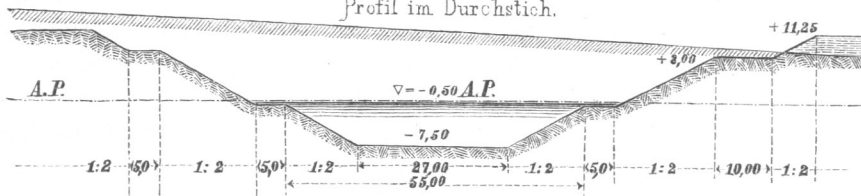


Fig. 9.

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 Ausweichestellen 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

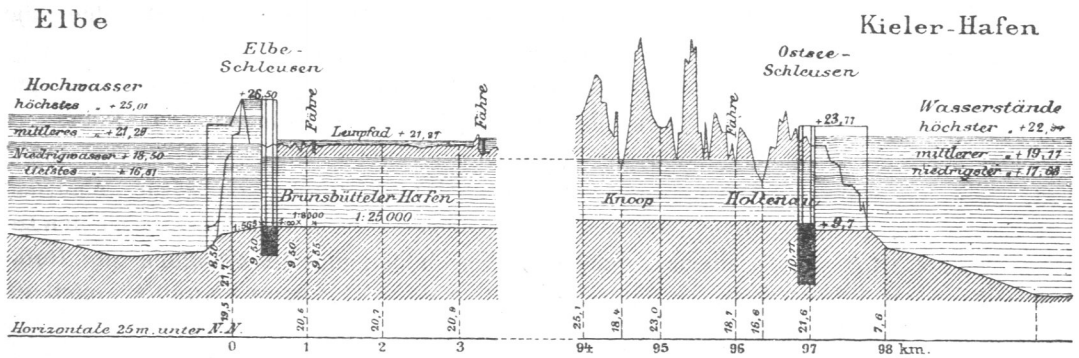
⁶⁾ Näheres s. Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 22.

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.



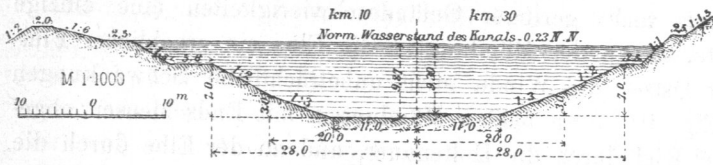
Als normaler Wasserspiegel des Kanals gilt der mittlere Ostseespiegel, welcher von dem Spiegel der Nordsee bei gewöhnlicher halber dortiger Tide nur unerheblich abweicht. Während die Ostsee-Schleusen in der Regel offen stehen und nur bei Wasserständen von 0,5 m über bzw. unter Mittelwasser geschlossen 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 Drempele 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

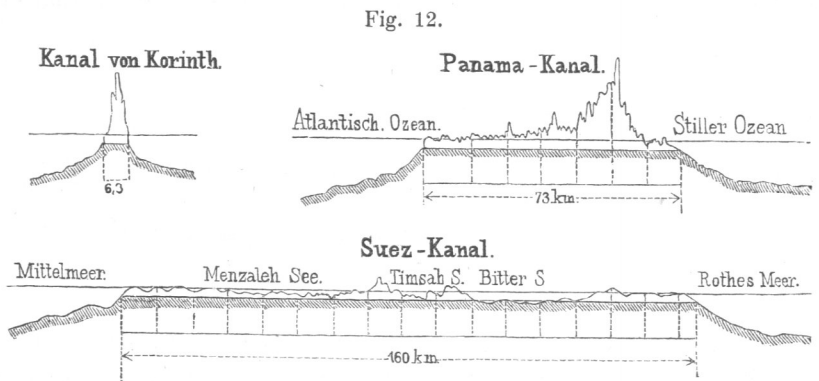
⁸⁾ Vergl. u. a. Fortschr. der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 20.

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.

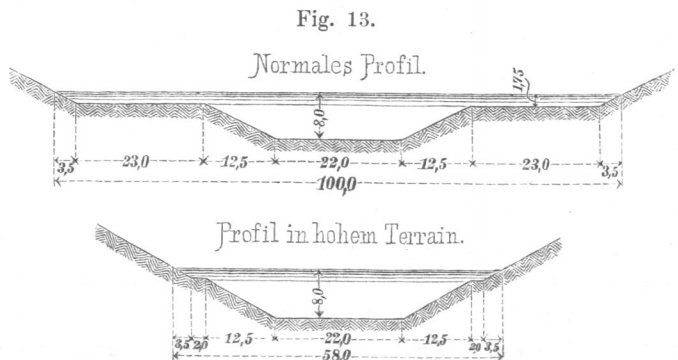
Noch vor Beendigung der Ausführung wurden eine Anzahl technischer Fragen und Zweifel lebhaft erörtert, welche schliesslich eine befriedigende Lösung gefunden

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



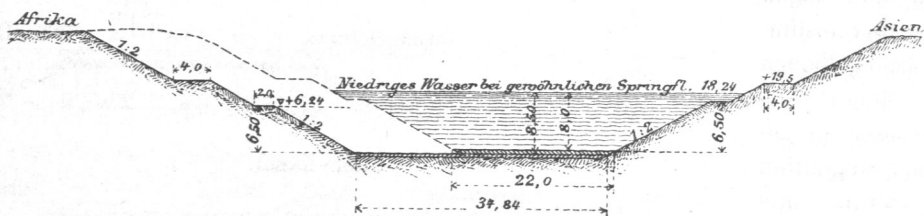
Salzablagerung und namentlich durch Sandwehen unfahrbar werden müßte. Es ist beachtenswert, in wie weit diese Befürchtungen eingetroffen sind. Durch sorgfältige, seit 1872 angestellte Beobachtungen ist festgestellt, dass vom Mai bis Oktober infolge der vorherrschenden Nord- und Nordwest-Winde der Spiegel 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-

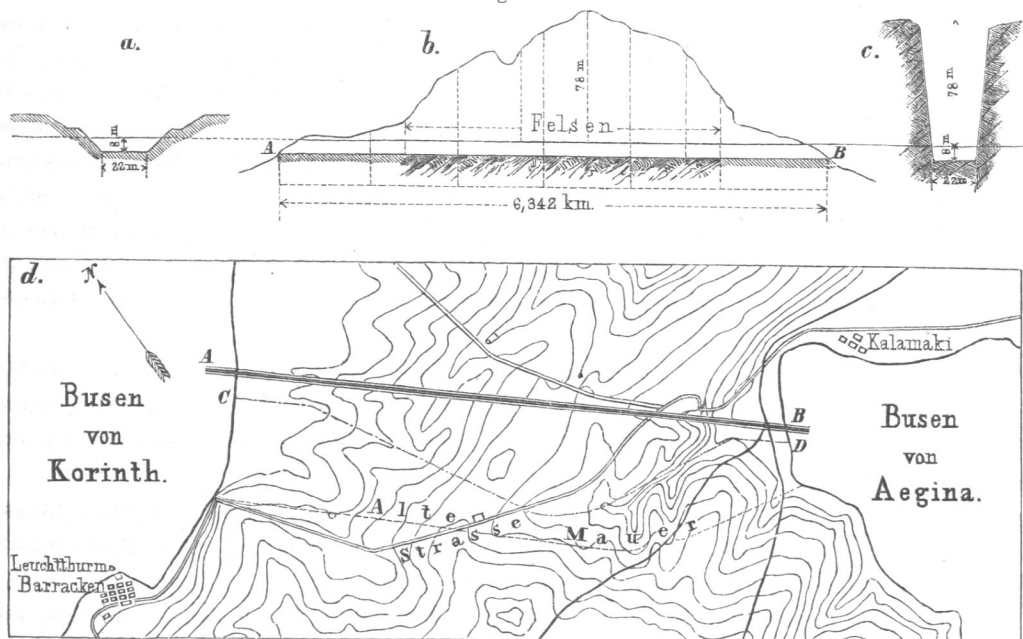
sprüngliche Profil des Kanals den einschiffigen, und sein erweitertes Profil den zweischiffigen Kanälen zu Grunde gelegt wurde.

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 Schlepddampfer, 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 erfahren 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 liess 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 muss 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-Fluss, 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 theils an den Kanal, theils 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.

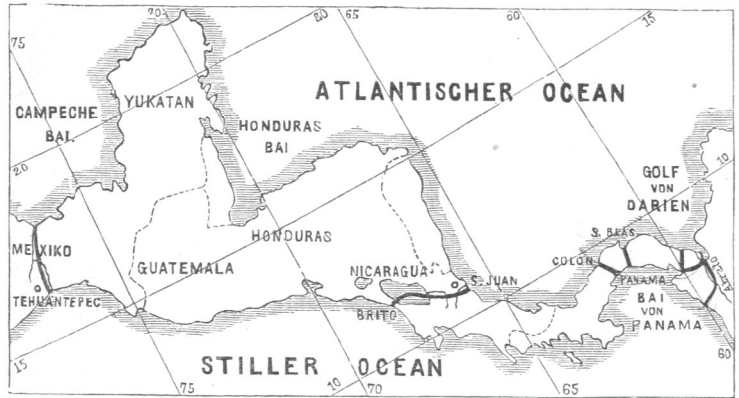
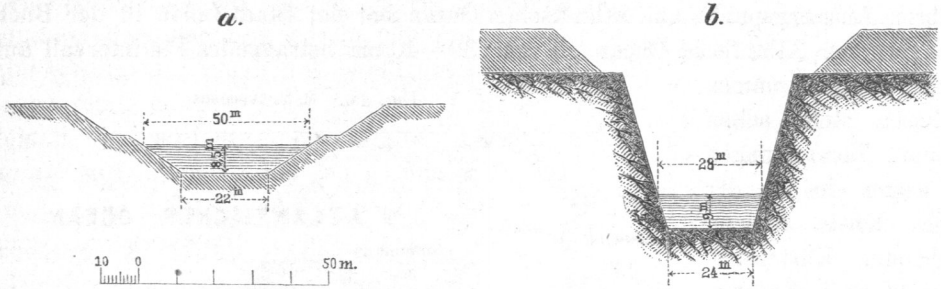


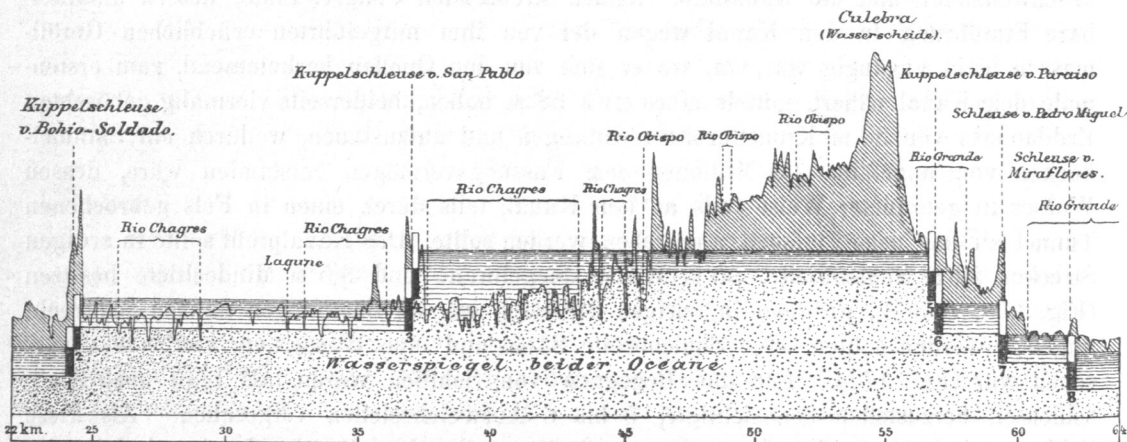
Fig. 17. Querprofile.



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.