



WOCHENSCHRIFT DES ARCHITEKTEN-VEREINS ZU BERLIN

HERAUSGEGEBEN VOM VEREINE

Erscheint Sonnabends u. Mittwochs. — Bezugspreis halbjährl. 4 Mark, postfrei 5,30 Mark, einzelne Nummern von gewöhn. Umfange 30 Pf., stärkere entspr. teurer
Der Anzeigenpreis für die 4 gespaltene Petitzelle beträgt 50 Pf., für Behörden-Anzeigen und für Familien-Anzeigen 80 Pf. — Nachlaß auf Wiederholungen

Nummer 20

Berlin, Sonnabend den 18. Mai 1912

VII. Jahrgang

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen, Postämter und die Geschäftsstelle Carl Heymanns Verlag in Berlin W. 8, Mauerstr. 43.44

Alle Rechte vorbehalten

Abmessungen der Seekanäle mit Rücksicht auf die mutmaßlichen Größenverhältnisse zukünftiger Seeschiffe

Bericht von G. de Thierry, Geheimer Baurat, Professor an der Königl. Technischen Hochschule Charlottenburg, Mitglied der Internationalen Technischen Kommission des Suezkanals für den XII. Internationalen Schiffahrtskongreß in Philadelphia

(Fortsetzung aus Nr. 19, Seite 164)

Für die Anlage des eigentlichen Kanals war eine Fläche von durchschnittlich 400 m Breite (200 m auf jeder Seite der Kanalachse), für die Anlage von Port Said, am nördlichen Ausgang waren 430 ha, für Ismailia 508 ha, für Port Thowik bei Suez am südlichen Ausgang 310 ha festgelegt. Die Anlage eines Süßwasserkanals, von Dienstgebäuden, Barackenlagern usw. nahmen die übrigen Flächen in Anspruch.

Am 20. Dezember 1886 erweiterte die ägyptische Regierung das der Gesellschaft überwiesene Gelände um 4000 ha. Die Erweiterung des Kanals, die Anlage einer normalspurigen Eisenbahn zwischen Port Said und Ismailia und die Schaffung eines Freibezirks in Port Said selbst, welche im Jahre 1902 endgültig beschlossen wurden, waren die Veranlassung dieser Gebietserweiterung.

Die von vornherein reichlich bemessene Breite des Geländestreifens für den Kanal ist bei den späteren Erweiterungen von außerordentlichem Werte. Denn bei diesen Erweiterungen, die zweckmäßig durch Verbindung von Ausweichstellen vorzunehmen sind, kann der Boden unmittelbar neben dem Kanal abgelagert werden.

Hinsichtlich der Linienführung eines Seekanals wird man stets möglichst langen geraden Strecken, die durch kurze Krümmungen miteinander verbunden werden, den Vorzug vor langen Kurven, namentlich vor solchen mit kleinem Krümmungshalbmesser, den Vorzug geben. Selbstverständlich dürfen auch in diesem Falle die Krümmungsradien der Verbindungskurven nicht zu klein gewählt werden, und eine entsprechende Verbreiterung des Kanalquerschnitts in den Krümmungen wird nicht zu umgehen sein.

Die Gesamtlänge des Kaiser-Wilhelm-Kanals beträgt 98,65 km, hiervon entfielen bei der ersten Anlage 62,15 km auf gerade Strecken, 4,82 km auf Krümmungen mit $R = 6000$ m, 5,52 km auf Krümmungen mit $R = 5000$ m, 13,23 km auf Krümmungen mit $R = 3000$ m, 3,77 km auf Krümmungen mit $R = 2500$ m, 0,98 km auf Krümmungen mit $R = 2000$ m, 1,99 km auf Krümmungen mit $R = 1700$ m, 2,99 km auf Krümmungen mit $R = 1500$ m, 3,20 km auf Krümmungen mit $R = 1000$ m.

Seitens der Kaiserlichen Marine war seinerzeit ein Halbmesser von 750 m als genügend bezeichnet worden.

Beim Suezkanal war im ersten Entwurfe von der Internationalen Kommission von 1856 eine Trace empfohlen worden, bei welcher 109,82 km auf gerade Linien (11), 44,22 km auf

10 Kurven mit Krümmungshalbmesser von 6500 bis 15 000 m entfielen. Die Länge des Kanals betrug 154,032 km.

Im August 1859 wies der Präsident der Gesellschaft auf den Umstand, daß die großen Abmessungen, welche die Internationale Kommission für den Kanal in Aussicht genommen habe, von den Gegnern des Unternehmens als Argument gegen dessen Verwirklichung angeführt würden und empfahl eine Untersuchung darüber anzustellen, ob die vorgeschlagenen Abmessungen im Interesse der Wirtschaftlichkeit des Kanals unbedingt erforderlich seien. Die angenommene Tiefe wurde beibehalten, dagegen wurde die Wasserspiegelbreite des Kanals auf 58 m (wovon 4 m auf die Unterwasserbermen entfielen) statt 80 m eingeschränkt. Die vorgeschlagene Trace setzte sich zusammen aus

138,17 km geradlinige Strecken (25),¹

20,24 km Krümmungen (24) mit Krümmungshalbmessern von 800 bis 6500 m.

Die Länge des Kanals betrug hiernach 158,415 km.

Der ausgeführte Kanal hat eine Gesamtlänge von 160,699 km, darin waren: 144,956 km geradlinige Strecken (19), 5,60 km Krümmungen (4) mit $R = 3000$ bis 3200 m, 8,00 km Krümmungen (8) mit $R = 2000$ bis 2992 m, 1,78 km Krümmungen (2) mit $R = 1011$ bis 1765 m, 0,36 km Krümmungen (1) mit $R = 294$ m (im Timsahsee).

Die Linienführung des Suezkanals muß somit, da von der Gesamtlänge des Kanals 90% auf die geradlinige Strecken entfallen, als wesentlich günstiger als diejenige des Kaiser-Wilhelm-Kanals bezeichnet werden, bei welchem nur etwa 63% auf geradlinige Strecken entfallen. Allerdings hatte man bei Festlegung der Trace des Kaiser-Wilhelm-Kanals wesentlich größere Schwierigkeiten zu überwinden als beim Suezkanal. Bei den Erweiterungs- und Vertiefungsarbeiten des Kaiser-Wilhelm-Kanals wird eine Abflachung der scharfen Krümmungen stattfinden, so daß der kleinste Krümmungshalbmesser auf 1800 m gebracht wird. Zwischen Levensau und Holtenua soll durch Herstellung zweier Durchstiche eine Begradigung erzielt werden, durch welche der große Uebelstand, daß die Hochbrücke, die über einen tiefen Einschnitt hinwegführt, im Scheitel einer scharfen Krümmung von $R = 1000$ m liegt, wesentlich gebessert wird. Die neue Kanalmittellinie wird Krümmungen von 1800 bis 6000 m Halbmesser aufweisen, wovon indessen etwa vier Fünftel Halbmesser von 3000 m und darüber erhalten werden.

Durch die noch in der Ausführung begriffenen Erweiterungs- und Vertiefungsarbeiten im Suezkanal sollen auch die Krümmungen abgeflacht werden. Ende 1910 war der kleinste Krümmungshalbmesser auf 2024 m gebracht. Nur in einer einzelnen Krümmung in der Suezstrecke, an welcher die Arbeiten noch nicht zum Abschluß gebracht waren, betrug die Sohlenbreite in der Krümmung bei $R = 3192$ m noch 33 m in 10 m Tiefe, in allen andern Krümmungen schwankte die Sohlenbreite zwischen 46 und 82 m in der angegebenen Tiefe.

Die bei der Trassierung eines Seekanals maßgebenden Gesichtspunkte, namentlich mit Rücksicht auf die steigenden Anforderungen der Seeschifffahrt, hat der ehrwürdige, greise ehemalige Generaldirektor beim Bau des Suezkanals, Voisin Bey, in klarster Form in seinem vor wenigen Jahren erschienenen ausgezeichneten Werk „Le Canal de Suez“ niedergelegt. Sie seien daher hier wiedergegeben:

„Bei der endgültigen Festlegung der Trace des Seekanals hätte man, selbst wenn eine gewisse Vermehrung des Bodenaushubs hierdurch bedingt gewesen wäre, und trotzdem man hierbei genötigt gewesen wäre, wo der Aushub im Trocknen erfolgen konnte, größere Felsmassen zu beseitigen, möglichst lange geradlinige Strecken zwischen den Hauptpunkten, Port Said, Timsahsee, Bitterseen und Suez, durch welche die Kanaltrace unbedingt hindurchgeführt werden mußte, einschalten, das heißt man hätte auf das allergeringste Maß die Richtungsänderungen der Trace zwischen diesen Hauptpunkten einschränken sollen. In denjenigen Teilen des Kanals, in welchen Richtungsänderungen unter keinen Umständen zu vermeiden waren, hätte man wenigstens nach Möglichkeit vermeiden sollen, daß der Winkel, der beim Zusammentreffen zweier Geraden entsteht, oder was dasselbe bedeutet, daß die Verbindungskurve zwischen diesen beiden Geraden dort liege, wo ein tiefer Einschnitt erforderlich wurde. Schließlich hätte man in keinem Falle, wie auch die örtlichen Verhältnisse sein mochten, Verbindungskurven mit Radien unter 2000 m anwenden dürfen, ein solcher Radius muß mit Rücksicht auf die Schifffahrt als Minimum bei einem Kanal von 22 m Sohlenbreite betrachtet werden, und selbst in den meisten, wenn nicht in der Gesamtheit aller Fälle, in welchen man glaubte, einen Radius von 2000 m anwenden zu müssen, wäre es vorteilhafter gewesen, diesen Radius auf beispielsweise 3000 m zu bringen; denn die Erfahrung hat seither bewiesen, was übrigens voraussehen war, daß eine etwas längere, aber schwächere Krümmung im Hinblick auf die Erleichterung und Sicherheit des Schifffahrtbetriebes den Vorzug verdient. Es ist um so mehr zu bedauern, daß diese sehr wirksame Verbesserung nicht zur Ausführung kam, als sie ohne erhebliche Vermehrung der Bodenbewegung zu erzielen gewesen wäre.“

Das Längenprofil eines Seekanals wird sich in erster Linie danach richten, ob die Anlage von Schleusen erforderlich ist oder nicht. Da diese Frage von prinzipieller Bedeutung ist, möge sie hier, soweit der beschränkte Raum es gestattet, etwas eingehender behandelt werden.

Beim Kaiser-Wilhelm-Kanal war die Anlage von Schleusen notwendig, um den Wasserstand und die Strömungen im Kanal so zu regeln, wie es für die Schifffahrt sowie für den Bau und die Unterhaltung des Kanals und seiner Nebenanlagen am zweckmäßigsten erschien. Durch Sturmfluten kann auf der Elbseite das Hochwasser auf 3,72 m über gewöhnlichem H. W. auf der Ostseeseite 3,17 m über Mittelwasser ansteigen. Hätte man den Kanal als völlig offenen Durchstich hergestellt, so wäre es nötig gewesen, ihn mit hohen Deichen einzufassen und es wären zeitweilig starke Strömungen im Kanal aufgetreten, welche den Schifffahrtsverkehr gehindert hätten. Der Kanal ist der Vorfluter für einen großen Teil der von ihm durchschnittenen Entwässerungsgebiete, die ihre Abwässer teils mit natürlichem Gefälle, teils mittels Schöpfwerke an ihn abgeben. Aus diesen verschiedenen Gründen entschloß man sich also zum Bau von Endschleusen, die eine nutzbare Länge von 145 m, eine lichte Breite von 25 m und eine Drenptiefe von 9,57 m in Holtenu und 9,97 m in Brunsbüttel wegen des tieferen Wasserabfalls in der Elbe erhielten. Die im Bau begriffenen neuen Schleusen sind ebenfalls Doppelschleusen und erhalten, wie schon erwähnt wurde, 330 m nutzbare Kammerlänge, 45 m lichte Weite und 13,77 m Drenpt- und Sohlentiefe unter mittlerem Kanalwasserstand, das heißt eine Tiefe von 12,42 m unter dem gewöhnlichen Elbniedrigwasser und von 12 m unter dem um 0,42 m tieferen Elbniedrigwasser. Dieser Wasserstand wird durchschnitt-

lich nur an 42 Tagen jährlich und auch dann nur für kurze Zeit in jeder Tide unterschritten. Die Ostseeschleusen erhalten anderseits eine Tiefe von 13,77 m unter mittlerem Ostseewasser und beinahe immer von mehr als 12 m unter den tieferen Ostseewasserständen. Die Drenptiefe wurde im Hinblick auf eine spätere Kanalvertiefung an beiden Stellen gleich groß angenommen, ihr bedeutendes Maß soll auch noch beschädigten Schiffen das Einlaufen gestatten.

Bei der Aufstellung des Projekts für den Suezkanal wurde auch die Frage erörtert, ob es nicht notwendig oder zweckmäßig sei, Schleusen anzuordnen. Die Höhe des Meeresspiegels am nördlichen Ausgange wird hauptsächlich durch Windeinwirkungen beeinflusst. Das Flutintervall bei Äquinoctialspringfluten beträgt 0,40 m, dagegen kann durch Windeinwirkung der Wasserspiegel um 0,30 bis 0,40 m über die Höhe des mittleren Meeresspiegels gehoben oder darunter gesenkt werden.

Am südlichen Ausgang bei Suez ist ein erheblicher Flutwechsel bemerkbar. Das mittlere Flutintervall beträgt bei Springfluten 1,75 m. Die höchste Flut erreicht eine Höhe von 1,15 m über mittlerem Wasserstand (M. W.), die tiefste Ebbe fiel bis auf 1,33 m unter mittlerem Wasserstand. Die stärkste beobachtete Springflut hatte ein Intervall von 1,99 m.

Wäre der Kanal mit Endschleusen versehen worden, so wäre es möglich gewesen, den Spiegel des Kanalwasserstandes um ein geringes Maß zu heben, der Erdaushub hätte sich etwas verringert, und jegliche Strömung wäre vom Kanal ferngehalten worden. Da man nicht damit rechnen konnte, einen konstanten Wasserstand im Kanal zu halten, hätte aber die Sohlentiefe so gewählt werden müssen, daß auch bei niedrigen Kanalwasserständen eine genügende Fahrtiefe gesichert war. Der Vorteil des verringerten Aushubs fiel daher nicht allzusehr ins Gewicht. Angestellte Berechnungen ergaben, daß die stärksten Strömungen in dem südlichsten Teil des Kanals, zwischen den Bitterseen und dem Roten Meer, den Wert von 1,16 m in der Sekunde nicht übersteigen würden.

Die Internationale Kommission empfahl daher im Jahre 1856 von der Anlage von Endschleusen abzusehen. Wenn es möglich gewesen ist, den Suezkanal mit verhältnismäßig geringen Mitteln den steigenden Anforderungen der Seeschifffahrt anzupassen, so ist dies der weisen Maßnahme zu verdanken, den Kanal als offenen Durchstich herzustellen.

Die Stromgeschwindigkeiten im Kanal sind aber in Wirklichkeit nicht so groß wie oben angegeben. Es ist mir nicht möglich gewesen, zu ermitteln, wie diese Rechnung angestellt worden ist. Dagegen habe ich auf rein theoretischem Wege, nach Analogie des für die Wassermengenberechnungen im Flutgebiet eines Flusses üblichen Verfahrens, die Stromgeschwindigkeiten für den Kanal mit 33 m Sohlenbreite und 69 m Spiegelbreite bei 9 m durchschnittlicher Wassertiefe unter Niedrigwasser berechnet.

Dieser Querschnitt entsprach ungefähr dem mittleren Querschnitt des Suezkanals Ende des Jahres 1904 in der Strecke zwischen den Bitterseen und der Ausmündung in das Rote Meer. Geschwindigkeitsmessungen, welche in der Zeit vom 1. August 1904 bis zum 31. Juli 1905 an ganz bestimmten Stellen des Kanals vorgenommen wurden, ergaben eine vollkommen genügende Übereinstimmung der Rechnungsergebnisse mit den tatsächlichen Beobachtungen.

Der südlichste Teil des Suezkanals ist für eine derartige Prüfung der Rechnungsergebnisse mit der Wirklichkeit besonders geeignet, weil die Oberfläche der Bitterseen mit annähernd 20 000 ha so groß ist, daß die Wasserspiegellhöhe durch die ein- und ausströmende Flutwassermenge einer einzigen Flut kaum beeinflusst wird. Während man außerdem im Flutgebiet eines Stromes übereinanderliegende oft entgegengesetzt gerichtete Strömungen hat, hat das größere spezifische Gewicht des Wassers der Bitterseen (infolge der noch im Abschmelzen begriffenen Salzablagerungen, die sich im Laufe von 34 Jahren, 1868—1902, um durchschnittlich 2,70 m vertieft hat) zur Folge, daß direkte Geschwindigkeitsmessungen zutreffendere Resultate ergeben, als in einem Tidefluß, in welchem erheblichere Abweichungen zwischen dem spezifischen Gewicht des Seewassers und des Oberwassers stets vorkommen.

Der Gang der Rechnung war in kurzen Zügen folgender: Die Höhe des Wasserspiegels der Bitterseen wurde in der Weise ermittelt, daß die zwischen der Flutkurve an der südlichen Ausmündung des Kanals bei Kilometer 160 und der Mittelwasser-

höhe liegende Fläche über Mittelwasser (M. W.) gleichen Inhalt bekam mit den beiden Flächen unter Mittelwasser. Die der Berechnung zugrunde gelegte Flutkurve entsprach der für die Beobachtungszeit ermittelten mittleren Springflutkurve. Danach ergab sich für die Bitterseen eine Mittelwasserhöhe von 18,25. An der Mündung liegt das N. W. 0,89 m unter, H. W. 0,86 m über M. W.

Die tatsächlichen Beobachtungen der Wasserstände in den Bitterseen stimmen nun nicht genau mit der für eine Flutkurve von bestimmter Form, wie sie der Rechnung zugrunde gelegt wurde, überein, und zwar schwankt der Wasserstand der Bitterseen je nach der Jahreszeit, d. h. infolge der in den verschiedenen Jahreszeiten vorherrschenden Winde zwischen den Ordinaten 18,01 und 18,21. Diese Schwankungen sind meines Erachtens durch Höhenverschiebungen des M. W. im Roten Meere hervorgerufen, welche die Dauer der Flut- und Ebbeströmungen beeinflussen. Die Winde wehen hier mit großer Regelmäßigkeit und üben naturgemäß einen Einfluß auf die Höhe des Hoch- und des Niedrigwassers aus. So ist beobachtet worden, daß bei Kilometer 138,650, also etwa 5 km südlich der Bitterseen, in den Wintermonaten, infolge der vorherrschenden südlichen Winde, welche das H. W. höher ansteigen und das N. W. weniger tief abfallen lassen, die Flutströmung durchschnittlich sieben Stunden dauert bei einer mittleren Geschwindigkeit von 0,47 m in der Sekunde. Die Ebbeströmung dagegen dauert 5 h 25 m mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,37 m in der Sekunde. Die Flutströmung führt daher in jeder Tide den Bitterseen rund 6 $\frac{1}{2}$ Millionen Kubikmeter zu, während mit der Ebbeströmung nur rund 4 Millionen Kubikmeter wieder abfließen. Es bleiben somit im Winter bei jeder Tide rund 2 $\frac{1}{2}$ Millionen Kubikmeter in den Bitterseen zurück, welche schließlich eine merkbare Hebung des Wasserspiegels hervorrufen. Umgekehrt haben nördliche Winde in den Sommermonaten zur Folge, daß die Ebbe im Roten Meer tiefer abfällt und die Flut auch weniger hoch ansteigt. Dementsprechend ist auch die Dauer der Flutströmung geringer (5 $\frac{1}{2}$ Stunden) und die der Ebbeströmung (6 h 55 m) größer als im Winter. Diese Erscheinung hat zur Folge, daß während der Sommermonate bei jeder Tide 2 Millionen Kubikmeter mehr aus den Bitterseen ab- als zufließen und daß dementsprechend der Wasserspiegel der Bitterseen im Sommer fallen muß. Durch diese Erscheinungen und durch die vom Mittelmeer ab- und zuströmende Wassermenge ist also die Abweichung zwischen dem rechnerisch ermittelten und dem beobachteten Mittelwasser der Bitterseen zu erklären, eine Abweichung, die jedoch ohne wesentlichen Einfluß auf die Rechnungsergebnisse bleibt.

Nach Ermittlung des M. W. der Bitterseen wurden dann die Flutkurven in Kilometer 154,500, Kilometer 149,200 und Kilometer 138,050 mit Hilfe der Scott-Russellschen Formel

$$v = \sqrt{g(H+h) + u}$$

ermittelt. Hierin bedeutet v die Fortschrittsgeschwindigkeit, H die Wassertiefe unter N. W., h die jeweilige Höhe des Elements der Flutwelle über N. W., und u die Stromgeschwindigkeit, die näherungsweise aus dem ideellen Gefälle, welches der jeweiligen Hebung h an der südlichen Ausmündung entspricht, ermittelt wurde.

Obwohl eine genaue Übereinstimmung zwischen den so berechneten und den aus den Beobachtungen ermittelten Flutkurven nicht erwartet werden konnte, muß das Resultat, wie aus Abb. 231 auf S. 158—159 ersichtlich, als befriedigend bezeichnet werden.

Diese Übereinstimmung beweist somit die Brauchbarkeit der Scott-Russellschen Formel für derartige Rechnungen. Die Berechnung ergab als Fortschrittsgeschwindigkeit des N. W. 8,46 m in der Sekunde, die Beobachtung 8,50 m in der Sekunde. Für das Hochwasser ergab die Berechnung eine Fortschrittsgeschwindigkeit von 10,93 m in der Sekunde, die Beobachtung dagegen 9,65 m in der Sekunde. Eine genauere Übereinstimmung war nicht zu erwarten, weil der Rechnung ein einheitliches Profil von 9 m Tiefe und 33 m Sohlenbreite zugrunde gelegt war, während in Wirklichkeit durch die in der Ausführung begriffenen Vertiefungsarbeiten und durch das Vorhandensein dreier Ausweichstellen und sonstiger Verbreiterungen in den Krümmungen ein so einheitliches und regelmäßiges Profil nicht vorhanden war.

Auf Grund der so ermittelten Flutkurven sind dann die tatsächlichen Gefälllinien und die Wassermengen aus dem Produkt der jeweiligen Hebungen oder Senkungen und Oberflächen

ermittelt worden. Der obere Zufluß, d. h. diejenige Wassermenge, welche bei Flutstrom in die Bitterseen und bei Ebbeströmung aus denselben fließt, ist eine Funktion des jeweiligen Gefälles. Da dieses fortwährend wechselt, hat auch der obere Zu- oder Abfluß keinen konstanten Wert. Die jeweiligen Geschwindigkeiten sind dann als Quotient der Wassermenge dividiert durch den jeweiligen Querschnitt ermittelt.

In Abb. 232 auf S. 162—163 sind die Ergebnisse der Rechnung graphisch aufgetragen. Zum Vergleich sind die aus den Beobachtungen ermittelten Geschwindigkeiten als gestrichelte Linien in denselben Diagrammen eingezeichnet.

Bedenkt man, daß die tatsächlichen Beobachtungen durch Geschwindigkeitsmessungen in 5—6 m Tiefe unter der Oberfläche ermittelt wurden und daß den Berechnungen ein Querprofil des Kanals zugrunde gelegt wurde, welches ohne Rücksicht auf die in der Ausführung begriffenen Vertiefungs- und Verbreiterungsarbeiten gewählt wurde, so muß auch hinsichtlich der Geschwindigkeiten die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Wirklichkeit als vollkommen genügend erachtet werden.

Man ersieht also aus den Diagrammen, daß bei einer Springflut von 1,75 m Intervall an der Ausmündung des Kanals die größten mittleren Geschwindigkeiten kurz vor bis kurz nach Hochwasser und Niedrigwasser auftreten und den Wert von 0,90 m in der Sekunde nicht übersteigen.

Nachdem die Frage, ob Schleusen erforderlich sind oder nicht, entschieden ist, wird die dem Kanal zu gebende Sohlentiefe festgestellt werden. Diese richtet sich selbstverständlich in erster Linie nach dem Tiefgange der durchfahrenden Schiffe und nach den im Kanal zu erwartenden niedrigsten Wasserständen. Während man jedoch früher der Ansicht war, daß eine Tiefe von etwa 0,50 m unter dem zugelassenen Tiefgange allen Ansprüchen genüge, hat die Erfahrung gelehrt, daß, um die Leistungsfähigkeit eines Kanals zu erhöhen, und um auch den schlecht steuernden Schiffen im Kanal eine genügende Steuerfähigkeit zu gewähren, es erforderlich ist, eine Fahrgeschwindigkeit zuzulassen, die erheblich größer ist als diejenige, die bei Kanälen, welche der Binnenschifffahrt dienen, üblich ist. Die Wassertiefe des Kaiser-Wilhelm-Kanals beträgt 9 m unter Mittelwasser (M. W.), die Kaiserliche Admiralität hatte seinerzeit eine Tiefe von 8,2 m für genügend erachtet.

Der Suezkanal ist mit 8 m Tiefe gebaut worden und es ist bemerkenswert, daß, als im Jahre 1859 eine Verminderung der Sohlen- und Wasserspiegelsbreite beschlossen wurde, um die Baukosten zu vermindern, an der im Jahre 1856 vorgeschlagenen Wassertiefe festgehalten wurde. Durch die Vertiefungsarbeiten im Kaiser-Wilhelm-Kanal wird die Wassertiefe auf 11 m unter M. W. gebracht; dies dürfte um so eher allen gerechten Anforderungen genügen, als die Schleusen mit ihrer Drempeltiefe von 13,77 m unter M. W. eine später etwa erforderliche Vertiefung der Kanalsohle gestatten. Die erste Vertiefung des Suezkanals war im März 1890 beendet, sie ergab eine Vertiefung der Sohle um 0,50 m, somit auf 8,50 m und erlaubte den zugelassenen größten Tiefgang auf 7,80 m zu erhöhen.

Obwohl eine Vertiefung des Kanals auf 9,50 m vorgesehen war (um eine Tiefe von 9,00 m + 0,50 m für Versandungen zu erzielen), wurde beschlossen, zunächst eine durchgehende Tiefe von 9,00 m herzustellen, um schon vom 1. Januar 1902 ab eine weitere Erhöhung des zulässigen Tiefgangs auf 8,00 m zu ermöglichen. Da der Kanal bis auf kurze Strecken Ende 1901 durchweg eine Tiefe von 9,00 m besaß, konnte die in Aussicht genommene Vermehrung des zulässigen Tiefgangs eintreten. Vom 1. Januar 1906 ab konnte eine weitere Vermehrung des zulässigen Tiefgangs auf 8,23 m stattfinden, da die Tiefe im eigentlichen Kanal nirgends geringer als 9 m war. Nur im südlichen Teil des großen Bittersees betrug die Tiefe auf 900 m Länge 8,90 m. Vom 1. Januar 1906 wurde auf 10,50 m Tiefe gebaggert. Die Tiefe war Ende 1907 im eigentlichen Kanal nirgends geringer als 9,50 m und im Großen Bittersee nur an vereinzelten Punkten 9,00 m. Es konnte daher vom 1. Januar 1908 ab der zulässige Tiefgang auf 8,53 m festgesetzt werden. Seit diesem Zeitpunkte werden alle Baggerungen auf 11 m Tiefe ausgeführt. Ende 1910 war die Tiefe überall größer als 9,50 m und überschritt im Durchschnitte sogar 10 m, so daß eine weitere Steigerung des Tiefgangs in kurzer Zeit zu erwarten steht.

Es ist weiter oben schon darauf hingewiesen, daß infolge der größeren Fahrgeschwindigkeit im beschränkten Kanalprofil eine vermehrte Eintauchung eintritt, welche eine größere Fahrwassertiefe erfordert, um Grundberührungen der Schiffe zu ver-

meiden. In der New Yorker Bucht sind im Jahre 1904 Beobachtungen über die bei bestimmten Fahrgeschwindigkeiten eintretende vermehrte Eintauchung angestellt worden, deren Ergebnis in den Engineering News vom 4. August 1904 veröffentlicht wurden. Um festzustellen, ob und in welchem Maße eine Erhöhung der gegenwärtig auf 10 km in der Stunde festgesetzten größten Fahrgeschwindigkeit im eigentlichen Kanal zulässig sei, wurden im Jahre 1905 im Suezkanal Versuche angestellt, deren Ergebnisse ich in der Zeitschrift „Schiffbau“ vom 12. September 1906 wiedergegeben habe.

Die Versuche haben ergeben, daß das Maß der vermehrten Eintauchung und der Senkung des Kanalwasserspiegels, wie zu erwarten, in erster Linie von der Schiffsform und dem Displacement abhängig ist. So betrug beispielsweise bei Dampfer „Prinz Eitel Friedrich“ des Norddeutschen Lloyd (Länge 148,82 m, Breite 16,96 m, Tiefgang vorn und achter 7,57 m und bei einem eingetauchten Volumen von 13 770 cbm) bei einer Geschwindigkeit von 13,8 km in der Stunde die größte Einsenkung hinten 1,07 m, vorn 0,77 m. Der Wasserspiegel im Kanal hatte sich hierbei um 1,37 m gesenkt. Das Verhältnis zwischen eingetauchtem Querschnitt im Hauptspant und benetztem Kanalquerschnitt betrug $\frac{113}{782} = \frac{1}{6,9}$. Auf Grund der Versuche an vier-

zehn Dampfern mußte von einer Erhöhung der zulässigen Fahrgeschwindigkeit von 10 km in der Stunde abgesehen werden, wenigstens für Schiffe von ähnlichem Raumgehalt wie der Dampfer „Prinz Eitel Friedrich“. Bei der Durchfahrt der Bitterseen auf einer Strecke von 14,5 m Länge unterliegt dagegen die Fahrgeschwindigkeit nach wie vor keinerlei Beschränkung.

Aus diesen Beobachtungen muß gefolgert werden, daß die Sohlentiefe eines Seekanals, in welchem Dampfer mit einer Geschwindigkeit von 10 km verkehren, mindestens 1 m größer sein muß, als der größte in Aussicht genommene Tiefgang.

Wenn die Sohlentiefe eines Seekanals festgelegt ist, wird der Querschnitt und dessen Form sich nach dem angenommenen Verhältnis zwischen eingetauchtem Schiffsquerschnitt und benetztem Kanalquerschnitt und nach der Bodenart, in welcher der Kanal hergestellt wird, richten. So wünschenswert es ist, einen Seekanal auch für die größten zu erwartenden Schiffe zweischiffig anzuordnen, um die Leistungsfähigkeit der Anlage zu erhöhen, wird man im allgemeinen aus wirtschaftlichen Gründen auf diesen Vorteil verzichten und sich auf die Herstellung eines für die größten Schiffe einschiffigen Kanals beschränken und besondere Ausweichstellen anlegen.

Bei den der Binnenschifffahrt dienenden Kanälen begnügt man sich, dem wasserführenden Querschnitt das vier- bis fünffache des größten eingetauchten Schiffsquerschnitts als Flächeninhalt zu geben. Für die geringen Geschwindigkeiten, mit welchen Fahrzeuge der Binnenschifffahrt diese Kanäle befahren, genügt dieses Verhältnis. Bei Seekanälen jedoch wird es mit Rücksicht auf die größere Fahrgeschwindigkeit sich empfehlen, erheblich größere Querschnitte zu wählen. Hinsichtlich der Querschnittsform haben die von Engels vorgenommenen, im Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1907 veröffentlichten Versuche ergeben, daß der Schiffswiderstand um so kleiner ist, je kleiner der benetzte Umfang des Kanalprofils ist. Obwohl nun die wirtschaftliche Bedeutung von Seekanälen vorwiegend in der Abkürzung des Seeweges liegt und der durch Verminderung des Schiffswiderstandes zu erzielenden Frachtersparnis, bei der verhältnismäßig geringen Länge der Seekanäle, nur sekundäre Bedeutung beizumessen ist, wird man selbstredend unter Beachtung der bautechnischen Forderungen (Standfähigkeit der Bodenart, Uferbefestigung usw.) derjenigen Profilform den Vorzug geben, welche den kleinsten benetzten Umfang hat. Da das Muldenprofil dieser Forderung am besten entspricht, wird man auch bei einem Seekanal das Profil zweckmäßig muldenförmig gestalten und Bermen unter Wasser vermeiden.

Der wasserhaltende Querschnitt unter M. W. betrug beim Kaiser-Wilhelm-Kanal 413 qm. Da der Kanal für Schiffe, deren Abmessungen im Tiefgang 8 m, in der Breite 20 m, in der Länge 135 m nicht überschreiten, zugänglich ist, beträgt das Verhältnis

$$\frac{f}{F} = \frac{116}{413} = \frac{1}{3,5}$$

An die Sohlenbreite von 22 m schließen sich die Seitenböschungen bis zur Höhe von 3 m über der Sohle mit einer

Neigung 1:3 an. Weiter aufwärts bis zu dem auf 7 m über der Sohle liegenden Unterwasserbankett, welches je nach der Bodenbeschaffenheit 2,5 bis 9,5 m Breite besitzt, hat die Böschung eine zweifache, von diesem bis zum Unterwasserbankett eine 1 1/2-fache Anlage. Das normale Profil, welches der Erweiterung und Vertiefung zugrunde gelegt ist, hat eine Sohlenbreite von 44 m und eine Tiefe von 11 m, bis 6 m über der Sohle beträgt die Steigung 1:3, darüber bis 1 m über mittleren Kanalwasserstand 1:2 1/4. Es folgt dann eine Berme von 2,5 m Breite mit Neigung 1:5. Die Unterwasserberme ist somit dem Ergebnis der Engellschen Versuche entsprechend auf der Seite, nach welcher hin die Erweiterung vorgenommen wird, beiseitigt. Der Wasserquerschnitt wird dadurch auf 825 qm gebracht.

Es ist schon erwähnt worden, daß die Internationale Kommission von 1856 für den Suezkanal eine Sohlenbreite von 44 m in Aussicht genommen hatte. Diese Breite war von der Erwägung ausgehend, daß, um zwei Schiffen von je 20 m Breite (Raddampfer) die Möglichkeit zu geben, aneinander vorbeizufahren, wobei ein Spielraum von 20 m für etwaige seitwärts festliegende Schiffe verbleiben sollte, eine Wasserspiegelbreite von 80 m erforderlich sei. Der von der Gesellschaft einberufene, aus fünf Mitgliedern, darunter zwei Ausländer, bestehende obere Rat ermäßigte diese Abmessungen im Jahre 1859, um an Baukosten zu sparen, auf 22 m Sohlenbreite und 58 m Wasserspiegelbreite; die ursprüngliche Wassertiefe von 8 m wurde beibehalten. Bis 7 m über der Sohle war im Normalprofil eine Böschung von 1:2 angenommen, 7 m über der Sohle war eine Berme von 2 m Breite vorgesehen. Diese sollte das Abrutschen von Boden, den die Wellen von den Kanalufern loslösten, in den tieferen Teil des Querschnitts verhindern und die Anbringung eines Uferschutzes ermöglichen.

In weicheren Bodenarten ist die Böschung erheblich flacher und geht bis auf 1:4. Der benetzte Kanalquerschnitt schwankte im Jahre 1869 zwischen 304 und 420 m².

Die erste von der Internationalen technischen Kommission vom Jahre 1885 empfohlene Verbreiterung, durch welche die Sohlenbreite von 22 m auf 37 m gebracht wurde, war Ende Dezember 1898 beendet. Neben der Anlage weiterer Ausweichen, von welchen weiter unten die Rede sein wird, und der Vertiefung des Kanals wird seither an der allgemeinen Verbreiterung des Kanals auf das Mindestmaß von 45 m in 10 m Tiefe gearbeitet. Zwischen Port Said und km 5 wird die Sohle auf 75 m in 10 m Tiefe gebracht. Für die große Mehrzahl der den Suezkanal durchfahrenden Schiffe bedeutet diese Verbreiterung und die Vertiefung auf 11 m eine wesentliche Erleichterung der Durchfahrt. Die Wasserspiegelbreite richtet sich nach der Bodenart und ist am kleinsten in den tiefen Einschnitten, so daß der benetzte Kanalquerschnitt jetzt zwischen 550 und 700 m² schwankt.

Aus den im Jahre 1905 im Kanal vorgenommenen Versuchen ist die Notwendigkeit, einem Seekanal eine genügende Tiefe zu geben und reichliche Querschnittsabmessungen, erwiesen, denn selbst bei einem Verhältnis 1:6,9 zwischen eingetauchtem Schiffsquerschnitt und benetztem Kanalquerschnitt trat, allerdings bei 13,8 km Fahrgeschwindigkeit, eine Senkung des Wasserspiegels um 1,37 m ein. Bei der Durchfahrt des Dampfers „Cleveland“ (17 342 Registertonnen brutto) betrug dessen Tiefgang 8,48 m.

Man wird daher gut tun, um die Leistungsfähigkeit eines Seekanals zu erhöhen und um den vollen Tiefgang auszunutzen, dem wasserhaltenden Querschnitt mindestens das fünffache des allergrößten eingetauchten Schiffsquerschnitts an Fläche zu geben.

Nach den am Suezkanal und auch am Amsterdamer Seekanal gemachten Erfahrungen würde eine Sohlenbreite von mindestens 100 m erforderlich sein, um auch den größeren (nicht aber den größten) jetzt vorhandenen Schiffen die Möglichkeit zu geben, auf freier Strecke aneinander vorbeizufahren.

Da, wie schon erwähnt, ein Kanal wenigstens für die größeren Schiffe aus wirtschaftlichen Gründen nur einschiffig gebaut werden dürfte, ist es erforderlich, Ausweichstellen anzuordnen. Mit den zunehmenden Schiffsabmessungen wächst auch die Bedeutung der Ausweichstellen, so daß im Interesse eines geregelten Betriebes die Entfernung zwischen den einzelnen Ausweichstellen nicht zu groß gewählt werden darf.

(Fortsetzung folgt)