

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299321

F. N. 22291



F. 2.
30

x
1174

w 91-50

Zusatz = Einzelnis:

- Nr. XLI. Der Stand der wichtigeren Kanalprojekte Donau-Elbe, Donau-Oder und Donau-Weichsel. Prof. A. Smrcek-Brünn. Mit 4 Tafeln. Preis Mark 1,50, für Mitgl. 75 Pf., bei 25 Stück 65 Pf.
- Nr. XLII. Ein Alternativprojekt einer Main-Donau-Wasserstraße mit Anschluß der Städte München und Augsburg. Bericht, erstattet auf dem VIII. Verbandstage zu Linz, Juni 1909, von Th. Gebhardt-Nürnberg, Reg.-Baumeister. Mit 4 Tafeln. Preis 75 Pf., für Mitgl. 40 Pf., bei 25 Stück 30 Pf.
- Nr. XLIII. Die Donau in Oberösterreich. Geschichtliche Darstellung der Regulierungsarbeiten zur Ausbildung ihrer Fahrinne. Vom k. k. technischen Departement der oberösterreichischen Statthalterei in Linz a. D. Preis Mark 5,—, für Mitgl. Mark 3,—, bei 25 Stück Mark 2,—.
- Nr. XLIV. Die Verhandlungen über Abmessungen der Schleusen auf den durchgehenden Wasserstraßen, die zweckmäßigste Zugkraft auf Kanälen und das Schlepptomopol auf dem Außerordentlichen Verbandstage vom 27. April 1908. Preis Mark 2,—, für Mitgl. Mark 1,25, bei 25 Stück Mark 1,—.
- Nr. XLV. Über einen engeren wirtschaftlichen Zusammenschluß zwischen Deutschland, Österreich und Ungarn. Von Andreas Anckenbrand, kgl. Bauamtassessor in Simbach. Preis 40 Pf., für Mitgl. 20 Pf., bei 25 Stück 15 Pf.
- Nr. XLVI. Neuere Konstruktionen beweglicher Wehre, welche beim Bau der österreichischen Wasserstraßen zur Ausführung gelangen. Bericht, erstattet auf dem VIII. Verbandstage zu Linz am 23. bis 26. Juni 1909. Preis Mark 1,20, für Mitgl. 75 Pf., bei 25 Stück 55 Pf.
- Nr. XLVII. Ist eine einheitliche Verkehrspolitik zur Anbahnung einer Wirtschaftsunion zwischen Deutschland, Österreich und Ungarn möglich? Eine Erwiderung von Generalsekretär Rágóczy-Berlin. Preis 50 Pf., für Mitgl. 30 Pf., bei 25 Stück 25 Pf.
- Nr. XLVIII. Über die wirtschaftlichen Abmessungen der Schifffahrtskanäle und den zweckmäßigen Schifffahrtsbetrieb. Von Dr.-Ing. R. Winter. Mit 3 Tafeln. Preis Mark 2,—, für Mitgl. Mark 1,—, bei 25 Stück 70 Pf.

Nr. 49. Zum Schiffsverkehr in Österreich-Ungarn
Abstr. von L. Rhombert 1910.

Nr. 50. Lehrst. über den Verkehr im S. d. Donau
Lehrst. in Linz, 23.-26. Juni
1909 verfaßt von O. v. Schneller.

1911.



Deutsch-Oesterreichisch-Ungarischer Verband für Binnenschifffahrt.

Verbands-Schriften.

Neue Folge.

Nr. XLVIII.

Über die wirtschaftlichen Abmessungen der Schifffahrtskanäle und den zweckmässigen Schifffahrtsbetrieb.

Von

Dr. Ing. R. Winter,
Berlin.

Mit 3 Tafeln.

Groß-Lichterfelde
Verlag von A. Troschel
1910.



Verbands-Schriften

des

Deutsch-Österreichisch-Ungarischen Verbandes für Binnenschifffahrt.

Neue Folge.

- No. I. **Die Einsenkung der Schiffe und ihr Einfluss auf die Bewegungen und den Widerstand der Schiffe.** Ingenieur und Baurat Haack-Charlottenburg. Preis Mark 2,50, für Mitgl. Mark 1,50, bei 25 Stück Mark 1,25.
- No. II. **Zur Frage der Schifffahrts-Abgaben auf bisher abgabefreien offenen Strömen in Deutschland.** Dr. Jos. Landgraf-Wiesbaden. Preis Mark 1,—, für Mitgl. 50 Pf., bei 25 Stück 40 Pf.
- No. III. **Uferbefestigungen an Flüssen und Kanälen.** Baumeister und Ingenieur Rabitz-Berlin. Preis Mark 1,50, für Mitgl. 75 Pf., bei 25 Stück 55 Pf.
- No. IV. **Rentabilität der Binnenschiffsgefäße.** Büsser-Coepenick. Preis 75 Pf., für Mitgl. 40 Pf., bei 25 Stück 30 Pf.
- No. V. **Die wirtschaftlichen Beziehungen Ostdeutschlands zu dem Verkehrsgebiet des Donau-Oderkanals und seiner Verbindung mit Weichsel und Dniester.** Reichstagsabgeordneter Gothein. Preis Mark 1,75, für Mitgl. Mark 1,—, bei 25 Stück 75 Pf.
- No. VI. **Die Beziehungen der Seeschifffahrt zur Binnenschifffahrt.** Ingenieur Renner-Köln. Preis Mark 1,50, für Mitgl. 75 Pf., bei 25 Stück 55 Pf.
- No. VII. **Fortschritte auf hydrographischem Gebiete in Oesterreich.** Oberbaurat und Dipl. Ingenieur Lauda-Wien. Preis Mark 1,—, für Mitgl. 50 Pf., bei 25 Stück 40 Pf.
- No. VIII. **Fortschritte in der Ausbildung der Fahrwinne in der österreichischen Donau.** Baurat Herbst-Wien. Preis Mark 2,75, für Mitgl. Mark 1,50, bei 25 Stück Mark 1,25.
- No. IX. **Beiträge zur Frage über die Umlaufwerte Woltmann'scher Flügel.** Baurat Hajós-Budapest. Preis 60 Pf.
- No. X. **Der Oder-Weichsel-Dniester-Kanal.** Oberingenieur von Chrzaszczewski-Krakau. Preis Mark 1,—, für Mitgl. 60 Pf., bei 25 Stück 45 Pf.
- No. XI. **Rück- und Ausblicke auf den Ausbau der Oder.** Regierungs- und Baurat Hamel-Breslau. **Entwicklung der Breslauer Hafenverhältnisse.** Stadtbaurat von Scholtz-Breslau. Preis Mark 1,—, für Mitgl. 60 Pf. bei 25 Stück 45 Pf.
- No. XII. **Verlauf des fünften Verbandstages in Breslau, am 2., 3. und 4. September 1901.** Preis Mark 2,50, für Mitgl. Mark 1,50, bei 25 Stück Mark 1,20.
- No. XIII. **Über den Stand der Arbeiten für die Herstellung eines generellen Entwurfs zu einem Grossschiffahrtswege zwischen Donau und Main.** Bauamtmann Faber-Nürnberg. Preis Mark —,50, für Mitgl. Mark —,30, bei 25 Stück Mark —,25.
- No. XIV. **Bericht über die bisherigen Ergebnisse des Schiffsverkehrs am Eisernen Tor.** Zusammengestellt durch die Königlich ungarische Schifffahrtsbehörde in Orsova. Mit 3 Beilagen. Preis 85 Pf., für Mitglieder 45 Pf., bei 25 Stück 35 Pf.

Deutsch-Oesterreichisch-Ungarischer Verband für Binnenschifffahrt.

Verbands-Schriften.

Neue Folge.

Nr. XLVIII.

Über die wirtschaftlichen Abmessungen der Schiffahrtskanäle und den zweckmässigen Schiffahrtsbetrieb.

Von

Dr. Ing. R. Winter,
Berlin.

Mit 3 Tafeln.

Groß-Lichterfelde
Verlag von A. Troschel
1910.



11-351812

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	3
Annahmen und Berechnung des Schiffswiderstandes	5
Bestimmung der Schifffahrtskosten	10
Die wirtschaftlich zweckmäßigsten Schiffs- und Kanalabmessungen	17
Vergleichung der Betriebsarten	26
Vergleichung der Schleusenarten	39

Einleitung.

Die Statistik der deutschen Wasserstraßen zeigt, daß die Tragfähigkeit der sie befahrenden Schleppkähne stetig zunimmt. Die Steigerung des Verkehrs, die Verbesserung der oberen Flußstrecken, der Fortschritt in der Technik der Fortbewegungsmittel und der Lösch- und Ladevorrichtungen ermöglichen immer mehr und mehr die Verwendung von größeren Schiffen. Während nun einerseits durch größere Schiffe bis zu gewissen Grenzen eine Verminderung der Transportkosten auf dem Wasserwege erreicht wird, wird andererseits hierdurch der einheitliche Ausbau des Wasserstraßennetzes und die gesunde Entwicklung des ganzen Wasserverkehrs sehr erschwert. Die alten Schifffahrtskanäle werden für eine immer wachsende Anzahl von Schiffen unbefahrbar, und auch die neuen Kanäle können wegen der hohen Baukosten gewöhnlich keine solche großen Abmessungen erhalten, die das Befahren derselben mit den größten Schiffen der benachbarten Flußläufe gestatten würden. Bei Schaffung eines großen Kanalnetzes muß deshalb demselben irgendeine mittlere Schiffsgröße zugrunde gelegt werden.

Es fragt sich nun, welches sind für die allgemeinen Schifffahrtsverhältnisse die wirtschaftlich zweckmäßigsten Schiffs- und Kanalabmessungen¹⁾?

Gemäß der preußischen Kanalvorlage werden die meisten neuen Wasserstraßen mit ähnlichen Abmessungen wie der Dortmund-Ems-Kanal, also einheitlich dem sogenannten westlichen Normalschiffe von 600 t Tragfähigkeit entsprechend, ausgebildet. Der *Deutsch-Österreichisch-Ungarische Verband für Binnenschifffahrt* ist auch seinerseits bestrebt, eine einheitliche Ausbildung der neuen Schifffahrtsstraßen in den drei Verbandsländern zu sichern.

¹⁾ Eine Anregung zur Untersuchung dieser Frage gibt *Prüsmann* am Schlusse seiner Schrift „Die Vergleichung der Schleusen und mechanischen Hebewerke“, indem er sagt: „Eine derartige rechnerische Behandlung würde sich ebenfalls, wenn auch mit größeren Schwierigkeiten, für die Lösung einer anderen, für die Binnenschifffahrt wichtigen Frage eignen, nämlich die Größe der wirtschaftlich zweckmäßigsten Kanalabmessungen festzustellen.“

Wenn nun auch die Hauptabmessungen der neuen preußischen Kanäle festliegen, ist doch von Interesse festzustellen, inwieweit das 600-t-Schiff jetzt und für absehbare Zeit den wirtschaftlichen Anforderungen entspricht.

Um die günstigste Schiffsgröße feststellen zu können, müssen sämtliche Kosten der Schifffahrt, einschließlich der anteiligen Kosten der künstlichen Wasserstraße selbst, ermittelt und sodann als Funktion der Schiffsgröße oder des Kanalquerschnittes ausgedrückt werden. Die Wahl des Fortbewegungsmittels übt auch einen Einfluß auf die Schifffahrtskosten aus, und es kann nicht im voraus gesagt werden, ob die eine oder andere Schleppart die Wahl größerer oder kleinerer Schiffe mehr begünstigt.

Es sollen deshalb die Kosten der für die Kanalschifffahrt hauptsächlich in Betracht kommenden drei Fortbewegungsarten bestimmt werden, und zwar:

1. für Treidelei mit elektrischen Lokomotiven,
2. für Schleppen mittels Dampfer,
3. für Selbstfahrer.

Die Untersuchung wird aber hauptsächlich zu dem Zwecke auf alle drei Schleppmethoden ausgedehnt, um die Rechnungsergebnisse zu einer wirtschaftlichen Vergleichung der elektrischen Treidelei mit den anderen Betriebsmethoden bei Kanälen für 600-t-Schiffe benutzen zu können.

Für gegebene Kanäle ist die Vergleichung einzelner Betriebsarten schon öfter durchgeführt worden; doch das für einen bestimmten Fall gefundene Ergebnis ist für einen anderen Kanal mit anderer Anzahl und Art von Schleusen in keiner Weise mehr zutreffend¹⁾. Es soll nun hier die Untersuchung der in Betracht gezogenen Betriebsarten auf allgemeiner Grundlage durchgeführt werden, so daß wir sowohl einen Überblick über die wirtschaftlichen Anwendungsgrenzen der einzelnen Betriebsarten erhalten, als auch hinreichenden Aufschluß darüber bekommen, welches bei irgendeinem gegebenen Kanal die wirtschaftlich günstigere Betriebsart ist. Bei Benutzung der hier gefundenen Ergebnisse wird sich deshalb in den meisten vorkommenden Fällen die sonst erforderliche mühsame Vergleichsrechnung erübrigen.

Die Untersuchung wird sowohl für den Schleppzug mit zwei, wie auch mit nur einem Anhänger ausgedehnt.

Die Schleppkosten selbst sind ja bei längeren Schleppzügen infolge besserer Ausnutzung des Fortbewegungsmittels jedenfalls billiger, es

¹⁾ Vgl. auch *Symphér, Thiele, Block*: „Untersuchungen über den Schifffahrtbetrieb“ auf dem Rhein-Weser-Kanal“ Zeitschr. f. Bauw. 1907, S. 592.

entsteht jedoch bei den einschiffigen Schleusen durch Auflösung und Zusammensetzung des Schleppzuges ein erheblicher Zeitverlust, welcher die Kosten wieder erhöht. Es scheint deshalb wahrscheinlich, daß von einer bestimmten Schleusen-Dichtigkeit an der Einzelzug dem Doppelzug wirtschaftlich überlegen ist.

Zuletzt sollen noch die bei großen Kanälen hauptsächlich in Betracht kommenden Schleusenarrangements, wie Einzel-, Doppel- und Schleppzugschleusen, im Zusammenhange mit den Transportkosten mit Bezug auf den wirtschaftlichen Kanalbetrieb untereinander verglichen werden.

Annahmen.

Querschnittsverhältnis zwischen Schiff und Kanal 1:4,3, Geschwindigkeit 5 km für die Stunde.

Diese beiden Annahmen sind den neuen preußischen Kanälen zugrunde gelegt und entsprechen auch den wirtschaftlich günstigsten Werten ¹⁾.

Die Geschwindigkeit von 5 km, welche hier angenommen ist, braucht nach den Treidelversuchen am Teltowkanale bei Begegnungen elektrischer Schiffszüge nicht verringert zu werden, wie dies bei Zügen, welche durch Dampfer geschleppt werden, bekanntlich erforderlich ist. Um aber für die elektrische Treidelei nicht zu günstig zu rechnen, soll auch für die Dampfer keine Ermäßigung der Geschwindigkeit in Betracht gezogen werden.

Mit Rücksicht auf andere, unvermeidliche Störungen ist die Reisegeschwindigkeit bei allen Betriebsarten um 5 v. H. geringer als die Fahrtgeschwindigkeit von 5 km angenommen worden.

Anzahl der Schifffahrtstage: 270.

Tägliche Betriebszeit: 13 Stunden.

Im Durchschnitt 60 % Ladung

(entspricht voller Hin- und $\frac{1}{5}$ Rückfracht).

Die Schifffahrtskosten werden für Schiffe verschiedener Ladefähigkeit, deren Abmessungen-Verhältnisse denen des westlichen 600-t-Schiffes annähernd gleich sind, bestimmt. Die entsprechenden Kanäle

¹⁾ Vgl. *Symphor*, Zeitschr. f. Bauw. 1907, S. 573.

erhalten zur Vereinfachung der Rechnung die in Fig. 1 gestrichelt abgebildete Querschnittsform.

Die nachstehenden Tabellen 1 und 2 enthalten die hauptsächlichsten Angaben über die Schiffe und die entsprechenden Kanäle.

Tabelle 1.
Abmessungen der Kähne.

Ladefähigkeit t	Länge (ohne Steuer) m	Breite (ohne Scheuer- leiste) m	Tiefgang m	Eingetauchter Schiffs- querschnitt qm	Eigen- gewicht t	Die Abmessungen entsprechen im ganzen den
a) 300	52	6,5	1,40	9,0	90	a) Saalekähnen
b) 600	65	8,0	1,75	13,9	150	b) Preußischen Normalkähnen
c) 1000	72	9,2	2,20	20,1	230	c) Donau- schleppern
d) 1500	85	10,5	2,50	26,0	330	d) Rheinschiffen

Völligkeitsgrad 0,85.

Tabelle 2.
Abmessungen der Kanäle.

Ladefähigkeit der Kähne t	Sohlenbreite m	Größte Wassertiefe m	Breite im Wasserspiegel m	Wasserquerschnitt qm
300	16,0	2,20	23,9	39,1
600	18,0	2,85	28,6	60,2
1000	21,0	3,45	34,0	86,0
1500	25,0	3,85	39,3	112,0

Berechnung des Schiffswiderstandes.

Zwecks Bestimmung der Selbstkosten müssen wir vor allen Dingen den Schiffswiderstand kennen. Für das 600-t-Schiff ist dieser aus den Versuchen von *Haack* am Dortmund-Ems-Kanale und *Block* am Teltowkanale hinlänglich bekannt. Für die anderen Schiffsabmessungen muß der Widerstand berechnet werden.

Wenn angenommen wird, daß sich die Widerstände so verhalten wie die eingetauchten Schiffsquerschnitte, dann ergeben sich — für das 600-t-Schiff nach den Versuchen am Teltowkanal 0,97 kg für die Bruttot. — das ist 730 kg ganzen Widerstand zugrunde gelegt — folgende Schiffswiderstände:

Schiffsgröße	300	600	1000	1500 t
Eingetauchter Schiffs- querschnitt	9,0	13,9	20,1	26,0 qm
Widerstand	475	730	1050	1365 kg

Nach den Versuchen von *de Mas* ist jedoch der Widerstandskoeffizient, d. h. der auf 1 qm eingetauchten Schiffsquerschnitt entfallende Widerstand bei größerem Schiffsquerschnitt kleiner. Die ermittelten Widerstände sind demnach für die größeren Schiffe zu ungünstig. Es soll deshalb der Schiffswiderstand mittels der Methode der Teilwiderstände berechnet werden¹⁾.

Der erste Teil des Widerstandes, die Reibung der Kahnoberfläche, errechnet sich wie im unbegrenzten Wasser nach *Froude*

$$W_1 = \gamma O f v^m$$

es ist nur für die Geschwindigkeit v zu setzen, v_s (Schiffsgeschwindigkeit) + v_r (Geschwindigkeit der Rückströmung). γ ist das spezifische Gewicht des Wassers, O die benetzte Oberfläche der Kähne, f und m von *Froude* ermittelte Koeffizienten (siehe „Hütte“, 1902, Bd. II S. 413). Die Rückströmungs-Geschwindigkeit v_r ist nach *Thiele* in Fig. 2 graphisch bestimmt worden.

Der zweite Teilwiderstand, die Gefällsreibung des rückströmenden Wassers, wird nach der Formel von *Thiele*

$$W_2 = (Q_k + Q_s) J$$

bestimmt.

Q_k und Q_s bedeuten das Gewicht der Wasserverdrängung des Kahnes und der Absenkung neben dem Kahn. Das Gefälle J wird nach der *Heßleschen* Geschwindigkeitsformel

$$v_r = 36 (1,0 + 0,5 \sqrt{R}) \sqrt{R J}$$

ermittelt, wobei für R der Profilradius des durch den eingetauchten Schiffsquerschnitt eingeeengten Wasserquerschnitts zu setzen ist.

Der dritte Teilwiderstand, der von den Wellen und Wirbeln herührt, soll auf folgende Weise bestimmt werden.

Nach *Froude* ändert sich der Restwiderstand verschiedener Schiffsgrößen im Verhältnisse der Wasserverdrängung, wenn sich die Geschwindigkeiten wie die sechsten Wurzeln der Wasserverdrängung verhalten.

¹⁾ Vgl. *Thiele*, Zentralblatt der Bauverwaltung, 1901, S. 345 und 1905, S. 254.

Ist uns der Restwiderstand eines der Schiffe bekannt, so können wir nun durch diese Regel auch den Restwiderstand der übrigen, geometrisch ähnlichen Schiffe bestimmen. Der Restwiderstand des 600-t-Kahnes w_3 ergibt sich einfach durch Abzug der ersten beiden errechneten Teilwiderstände vom gemessenen Gesamtwiderstand. In Formeln ausgedrückt ist die obige Regel folgende:

$$1. W_3 : w_3' = Q_k : q_k \text{ wenn}$$

$$2. v : v' = \sqrt[6]{Q_k} : \sqrt[6]{q_k}.$$

Hierbei bedeutet nun für unseren Fall

W_3 den gesuchten Restwiderstand bei $v=1,39$ m/sek. (5 km/Stunde) eines Kahnes von Q_k cbm Wasserverdrängung;

w_3' den Restwiderstand des 600-t-Kahnes bei v' reduzierter Geschwindigkeit und q_k Wasserverdrängung.

Bekannt ist uns nicht w_3' , sondern w_3 bei $v=1,39$ m/sek. Der Restwiderstand ein und desselben Schiffes kann aber proportional dem Quadrate der Geschwindigkeiten angenommen werden¹⁾.

Es verhält sich demnach

$$3. w_3 : w_3' = v^2 : v'^2.$$

Aus Gleichung 2 folgt dann, daß

$$w_3' = w_3 \frac{\sqrt[3]{q_k}}{Q_k}$$

dun diesen Wert in Gleichung 1 eingesetzt

$$W_3 = w_3 \left(\frac{Q_k}{q_k} \right)^{\frac{2}{3}}$$

In der Tabelle 3 sind nun die zur Bestimmung der Teilwiderstände erforderlichen Werte sowie die Widerstände selbst errechnet.

¹⁾ Dies folgt aus der von *Richter* („Schiffbau“, 1905) aufgestellten Formel des Stoßwiderstandes $= W_3 = p \frac{v^2}{2g} \int dy dz \frac{1}{1 + tg^2 \alpha + tg^2 \gamma}$. Der Integralwert ist aus der geometrischen Form des Schiffes bestimmbar. Bei ein und demselben Schiffe ist demnach der Stoßwiderstand, welcher den Hauptbestandteil des Restwiderstandes bildet, proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit.

Tabelle 3.
Ermittlung der Schiffswiderstände.

Ladefähigkeit der Kähne ist	300	600	1000	1500
Geschwindigkeit der Rückströmung v_r . . . m/sek.	0,53	0,52	0,51	0,50
Relative Geschwindigkeit $v = v_s + v_r$. . . m/sek.	1,92	1,91	1,91	1,89
Koeffizient von Froude m . .	1,829	1,829	1,829	1,829
Koeffizient von Froude f . .	0,1527	0,1508	0,1499	0,1485
Benetzte Oberfläche O . qm	410	635	835	1120
Erster Teilwiderstand W_1 $= 1,0 \cdot O \cdot v_m$. . . kg	206	313	405	533
Absenkung h m	0,089	0,087	0,085	0,082
Wasserverdrängung der Absenkung Q_s t	90	131	171	224
Wasserverdrängung des Kahnes Q_k t	390	750	1230	1830
Profilradius R m	0,84	1,07	1,23	1,48
Gefälle $= J = \frac{V_r}{O^2 R}$	0,000 121	0,000 085	0,000 067	0,000 056
Zweiter Teilwiderstand W_2 $= (Q_k + Q_s) J$ kg	58	75	94	103
Restwiderstand $W_3 = 342 \cdot$ $\left(\frac{Q_k}{750}\right)^{\frac{2}{3}}$ kg	221	342	476	618
Gesamtwiderstand $W = W_1$ $+ W_2 + W_3$ kg	485	730	975	1254
Widerstand auf 1 t Wasser- verdrängung $w = \frac{W}{Q_k}$. kg	1,24	0,97	0,79	0,69

Ein Vergleich der hier ermittelten Gesamtwiderstände mit den auf S. 7 errechneten zeigt, daß sich tatsächlich für die größeren Schiffe ein kleinerer Widerstand ergeben hat als dort, somit das Rechnungsergebnis mittels der Teilwiderstände mit den Versuchsbeobachtungen von *de Mas* übereinstimmt.

Für die nun folgende Kostenberechnung werden die hier gefundenen Widerstände zugrunde gelegt.

Bestimmung der Schiffahrtskosten.

Die Selbstkosten der Schiffahrt werden unter Anlehnung an das grundlegende Werk *Symphers*: „Die wirtschaftliche Bedeutung des Rhein-Elbe-Kanals“ bestimmt. Ferner wird auf die Untersuchungen von *Symphers* und *Block*: „Über den Schiffahrtsbetrieb auf dem Rhein-Weser-Kanal¹⁾“ verwiesen.

A. Schleppkosten.

1. Feste Jahreskosten.

Auf Grund der im vorigen Kapitel bestimmten Schiffswiderstände können zunächst die für die verschiedenen Schiffsgrößen erforderlichen Maschinenstärken bzw. Adhäsionsgewichte der Schleppmittel festgestellt werden. Der Wirkungsgrad des Schleppers wird nach den Versuchen von *Haack* und *Block* zu 26 % einschließlich Eigenwiderstand des Schleppers als Schiff, der des Selbstfahrers im Mittel der vollen und teilweisen Ladung ebenfalls zu 26 % angenommen.

Der Wirkungsgrad der elektrischen Treidellokomotive wurde nach den Betriebsergebnissen am Teltowkanale mit 75 %, der Adhäsionskoeffizient mit 1/7 eingesetzt.

In Tabelle 4 (siehe hinten) sind nun die erforderlichen sowie die gewählten Maschinenstärken der Schleppmittel und die entsprechenden Anschaffungskosten²⁾ zu finden. Für die Berechnung der festen Jahreskosten wurden die von *Symphers* in dem oben angezogenen Werke angegebenen Quoten zugrunde gelegt.

Die Kosten der Treidelbahn für die elektrische Treidelei können, trotz der verschieden schweren Lokomotiven (vgl. Tabelle 4 Spalte 3), für die hier in Betracht kommenden Schiffe gleich groß angenommen werden. Schwächere Schienen als 16 kg/m (für den Rhein-Weser-Kanal vorgeschlagen) sind auch bei leichteren Lokomotiven nicht ratsam; ein schwererer Oberbau ist aber auch für die größeren Maschinen nicht nötig, da das größere Adhäsionsgewicht derselben zweckmäßig mit Rücksicht auf die Motoren auf entsprechend mehr Achsen verteilt wird, wodurch wir mit keinen beträchtlich größeren Raddrücken zu rechnen brauchen. Auch auf die Kosten der Leitungsanlage übt die Schiffsgröße keinen praktisch in Betracht kommenden Einfluß aus.

¹⁾ „Zeitschrift f. Bauw.“, 1907 S. 557 f.

²⁾ Anschaffungskosten nach Angabe der *Siemens-Schuckertwerke* in Berlin bzw. der Schiffswerft *Caesar Wollheim* in Breslau.

Es können deshalb der Berechnung gleichmäßig für alle Schiffe dieselben Anlagekosten sowie dieselben Jahresquoten der Treidelbahn zugrunde gelegt werden. Auf Grund der Kostenzusammenstellung von Dr. *Schinkel*¹⁾, welche im großen und ganzen der Einrichtung am Teltowkanale entspricht und unter Annahme der üblichen Quoten²⁾ für Verzinsung und Tilgung, Abschreibung und Unterhaltung, ergeben sich für das Kilometer zweigleisiger Bahn die in Tabelle 4 ermittelten festen Jahreskosten der Treidelbahn im ganzen zu 3400 M/km.

Die Bemannung für die Schlepper wurde nach der für den Rhein gültigen Vorschrift³⁾ festgesetzt. Hiernach sind außer dem Schiffsführer bis zu 60 qm Heizfläche (rd. 120 HP.) zwei Mann, von 60—120 qm Heizfläche drei Mann erforderlich. Für die Treidellokomotive ist ein Führer und für den Selbstfahrer außer der erforderlichen Bemannung des Kahnes selbst (vgl. S. 14) ein Maschinist zu rechnen. Hiernach sind auch die Löhne in Tabelle 4 festgestellt.

Wir erhalten somit die ganzen, auf ein Schleppmittel bezogenen festen Jahreskosten (vgl. Tabelle 4 Spalte 6). Um hieraus die auf 1 tkm entfallenden Kosten berechnen zu können, muß die Jahresleistung eines Schleppmittels bei den gemachten Annahmen festgestellt werden.

Die Anzahl der für den monopolisierten Treidelbetrieb anzuschaffenden Lokomotiven wird nach einem durchschnittlich größten Tagesverkehre bestimmt. Der letztere kann nach den an bestehenden Kanälen gemachten Beobachtungen gleich $\frac{\text{Jahresverkehr}}{200}$ angenommen

werden. Es verhält sich somit der größte tägliche Verkehr zum Durchschnittsverkehr wie $\frac{1}{200} : \frac{1}{270} = 1,35$. Rechnet man noch, um auf alle

Fälle genügende Betriebsmittel zu haben, 10 v. Hdt. für Reserve, so sind im ganzen mit 50 v. Hdt. mehr Lokomotiven zu beschaffen, als für den Durchschnittsverkehr erforderlich wären. Es sind daher bei dem Monopolbetriebe auf eine tägliche Schiffsleistung bei einschiffigen Zügen 1,5 und bei zweischiffigen 0,75 Lokomotiven zu rechnen, während bei dem freien Schlepperverkehr hierfür sinngemäß 1,0 bzw. 0,5 Schlepper zu setzen sind.

Für jede Lokomotive wurde 1 Mann gerechnet, die für die Reservelokomotive in Rechnung gesetzten sind in Wirklichkeit als Streckenwärter und Werkstattschlosser beschäftigt. Die Löhne letzterer sind somit schon mitberücksichtigt.

1) Dr. *Schinkel*: „Der elektrische Schiffszug“, 1906, S. 42 ff.

2) Vgl. „Zeitschrift f. Bauw.“ 1907, S. 586.

3) Vgl. „Taschenkalender für die Rheinschiffahrt“, 1907, S. 288.

Bezeichnen wir

- a) die wirkliche Länge des Transportweges mit n ,
- b) die Tariflänge des Transportweges mit n' ,
- c) die Ladefähigkeit der Schiffe mit l ,
- d) die auf eine Schiffsleistung entfallende Schleppmittelanzahl (vgl. oben) mit ε ,

dann ist die Anzahl der von einem Schleppmittel in einem Jahre ausführbaren Reisen bei den gemachten allgemeinen Annahmen (vgl. S. 5)

$$= \frac{270 \cdot 13 \cdot 5,0 \cdot 0,95}{n'}$$

die auf ein Schleppmittel entfallende Leistung jeder Reise in wirklichen Tonnenkilometern ist $\frac{0,6 l}{\varepsilon} n$ und somit die Jahresleistung in wirklichen Tonnenkilometern

$$L = \frac{270 \cdot 13 \cdot 5,0 \cdot 0,95}{n'} \cdot \frac{0,6 l n}{\varepsilon} = \frac{10000 l n'}{\varepsilon n} \quad 1)$$

Die Jahresleistung in Tarif-Tonnenkilometern ist, wie leicht ablesbar,

$$L' = \frac{10000 l}{\varepsilon} \quad 1a)$$

Bedeutet nun weiter

K_f = die festen Jahreskosten eines Schleppmittels in Mark,

K_b = die festen Jahreskosten der Treidelbahn in Pfennig,

V = den kilometrischen Jahresverkehr des Kanals in Tonnen,

dann sind für jede Betriebsart die auf einen wirklichen Tonnenkilometer entfallenden festen Kosten in Pfennig/tkm

$$k_f = \varepsilon \frac{K_f}{100 l} \cdot \frac{n'}{n} + \frac{K_b}{V} \quad 2)$$

und auf den Tarif-Tonnenkilometer

$$k_f' = \varepsilon \frac{K_f}{100 l} + \frac{K_b n}{V n'} \quad 2a)$$

Für den Schlepperbetrieb und die Selbstfahrer ist K_b selbstverständlich = 0 und somit die auf den Tarifkm. entfallenden festen Jahreskosten eines Schleppmittels in Pf.

$$k_f' \varepsilon = \frac{K_f}{100 l} \quad 2b)$$

Wird bei dem freien Schlepperbetriebe mit Warten auf Anhang (T = Tage) gerechnet, so treten noch zu den obigen hinzu die Liegekosten des Schleppers auf den Tarif-Tonnenkilometer

$$k_1' = \varepsilon \frac{K_i}{270} \cdot T \cdot \frac{1}{n' 0,6 l} \quad 3)$$

Nach diesen Formeln sind in Spalte 8 und 9 der Tabelle 4 die entsprechenden Kosten für den Tarif-Tonnenkilometer errechnet. Für Warten auf Anhang ist nach jeder Reise ein Tag in Rechnung gestellt. —

Mit obigen Formeln können auch leicht die zur Einrichtung des Monopolbetriebes erforderlichen Anlagekosten bestimmt werden.

Zur Bewältigung der ganzen Jahresleistung: $V \cdot n'$ ergibt sich die Anzahl m der anzuschaffenden Schleppmittel bei der Jahresleistungsfähigkeit L' eines Schleppmittels:

$$m = \frac{V \cdot n'}{L'} = \frac{\varepsilon}{10000 l} V \cdot n'$$

und die erforderlichen Anlagekosten.

$$A = \frac{V n' \varepsilon}{10000 l} A_s + n A_b,$$

wo A_s die Anschaffungs-Kosten eines Schleppmittels und A_b die Anlagekosten der Treidelbahn je Doppelkilometer bedeuten.

2. Fahrkosten.

Die Fortbewegungskosten können auf Grund der auf S. 9 ermittelten Schiffswiderstände berechnet werden.

Bezeichnen wir mit

- w = den Schiffswiderstand je Bruttotonne,
- l = die Nettoladefähigkeit des Schiffes,
- g = das tote Schiffsgewicht,
- n = den Wirkungsgrad der Maschine,

dann ist die Arbeit in Pferdestärken

$$N = \frac{w(0,6 l + g) 5000}{60 \cdot 60 \cdot 75 \cdot \eta}$$

Es wird angenommen, daß sowohl die Dampfer wie die elektrische Lokomotive während der Schleusungszeit in unvermindertem Maße Kraft verbrauchen, was für die elektrische Treidelei jedenfalls eine ungünstige Annahme ist.

Der Kohlenverbrauch der Dampfer wird zu 1,3 kg/Ps_e-Stunde angenommen, der Preis der Kohle mit 12 M/t frei Bord und der des elektrischen Stromes mit 8 Pf./Kilowattstunde, an den Motorklemmen der Lokomotiven gemessen.

Die auf 1 Tarif-Tonnenkilometer entfallenden Kosten der Betriebskraft werden dann in Pfennigen für die Schlepper und Selbstfahrer

$$k_b = \frac{w(0,6l + g)}{3,6 \cdot 75 \cdot 0,26 \cdot 0,6l} \cdot 1,3 \cdot 1,2$$

und für die elektrische Lokomotive

$$k_b = \frac{w(0,6l + g) \cdot 0,736}{3,6 \cdot 75 \cdot 0,75 \cdot 0,6l} \cdot 8$$

Der Verbrauch an Schmierstoffen wird bei den Lokomotiven des Teltowkanals zu rund 0,5 Pf./Lokomotivkilometer berechnet, demnach entfällt auf 1 tkm $\frac{0,5}{720} =$ rund 0,001 Pf. Dieser Wert ist auch für die übrigen Lokomotiven beibehalten und gleich zu den Stromkosten hinzugerechnet. (Vgl. Tabelle 4 Spalte 10.) Für die Dampfer werden an Schmiermaterial und Erleuchtung 30 v. Hdt. der Kohlenkosten gerechnet.

B. Kahnkosten.

Die Kahnkosten können in zwei Teile geteilt werden, und zwar: die Fahrtkosten und die Liegekosten.

Die ersteren werden aus den festen Jahreskosten bestimmt durch Anwendung der Formel 2a auf S. 12, indem einfach $\varepsilon = 1$ und $K_b = 0$ gesetzt wird.

$$k_f = \frac{K_f}{100 l}$$

Die Bemannung der Schiffe wurde nach der auf dem Rheine geltenden Vorschrift bestimmt¹⁾. Hiernach sind außer dem Schiffsführer erforderlich bis 500 t Ladefähigkeit: ein Bootsmann, bis 750 t: ein Bootsmann, ein Schiffsjunge, bis 1000 t: zwei Bootsleute, bis 1500 t: zwei Bootsleute, ein Schiffsjunge.

Die Liegekosten hängen von der Liegezeit ab, welche je nach der Organisation des Schiffahrtsbetriebes und den vorhandenen Lösch- und Ladevorrichtungen sehr verschieden ist. Es sind deshalb hier, ähnlich wie in den Untersuchungen *Symphers*'s, in der „Zeitschrift f. Bauw.“, 1907, Heft X—XII, für die Liegezeiten zwei Fälle angenommen worden. Für die längeren Liegezeiten der einzelnen Schiffsgrößen wurden unverändert die Annahmen beibehalten, welche den *Symphers*'schen Berechnungen in dem Werke: „Die wirtschaftliche Bedeutung des Rhein-Elbe-Kanals“ zu-

¹⁾ Vgl. „Taschenkalender der Rheinschiffahrt“, 1907, S. 287.

grunde gelegen hatten. Die kürzeren Liegezeiten für die verschiedenen Schiffsgrößen wurden auf Grund folgender Erwägungen festgesetzt:

Die Liegezeit besteht aus zwei Teilen: der Zeit zum Löschen und Laden und der Wartezeit auf Ladung.

Was das Löschen und Laden anlangt, so hat die Größe des Schiffes im allgemeinen auf die durchschnittliche stündliche Leistung keinen ausschlaggebenden Einfluß. Leistungsfähige Umschlagsvorrichtungen finden wir auch dort, wo nur kleine Schiffe verkehren; so z. B. sind die französischen Binnenhäfen Marles und Bruay, wo nur 300 t-Schiffe verkehren, mit Seitenkippern, die stündlich im Durchschnitte 100 t leisten, ausgestattet, während die durchschnittliche Leistung der Kohlenkipper in Duisburg und Ruhrort 130—150 t ist, obgleich die Durchschnittsschiffsgröße dort 720 t beträgt. Auch der Umstand, daß man die größeren Schiffe, die größere Abteile haben, verhältnismäßig seltener verholen muß, hat nur ganz geringen Einfluß¹⁾.

Der aus diesen beiden Umständen sich etwa ergebende kleine Vorteil der größeren Schiffe wird aber praktisch wieder dadurch aufgehoben, daß weder die Eisenbahnverwaltung, noch die Zechen und Hütten usw. unter gewöhnlichen Umständen in der Lage sind, die zur Beladung eines 1000—1500 t-Schiffes erforderlichen drei bis fünf Eisenbahnzüge auf einmal herbeizuschaffen, und daß deshalb die Beladung der größeren Schiffe in mehreren Raten erfolgen muß. Mit einer gewissen Wartezeit muß aber auch sonst gerechnet werden, da beim Eisenbahnumschlagsverkehre immer das Schiff der wartende Teil sein wird, da die auf 1 t Ladung entfallenden Anschaffungskosten eines 10 t-Eisenbahnwagens rund zehnmal so groß sind als die eines 600 t-Kahnes.

Es erscheint deshalb nach diesen Erwägungen begründet, die durchschnittliche Lösch- und Ladeleistung für die verschiedenen Schiffsgrößen gleich groß zu nehmen; und zwar soll für die kürzeste Liegezeit als stündliche Leistung beim Laden 60 t, beim Löschen 30 t bei zehn- bis zwölfstündigem Hafensbetriebe angenommen werden und mit einer Wartezeit im Hafen von einem Tag gerechnet werden.

Als Liegezeit des Schiffes mit $\frac{1}{5}$ Ladung wird die Hälfte der für das voll beladene Schiff aus obigen Annahmen sich ergebenden Liegezeit angenommen. Auf diese Weise sind in Tabelle 4 die kurzen Liegezeiten bestimmt worden. Die auf 1 tkm entfallenden Liegekosten errechnen sich ähnlich wie für die Schlepper nach Formel 3 auf S. 13.

¹⁾ Als Beispiel hierfür sei erwähnt, daß nach einer mit dem Kipper Nr. 264 in Duisburg angestellten Beobachtung in 60 Minuten 24 Wagen mit 324,5 t Inhalt gekippt wurden, wobei die Ladung in acht Schiffsluken bei elfmaligem Verholen des Schiffes erfolgte. (Bericht des Kgl. Bauamtes für die Erweiterung des Ruhrorter Hafens.)

$$k_1' = \frac{K_f}{270} \cdot \frac{T}{2 n' \cdot 0,6 l'}$$

Durch Zusammensetzung der Schlepp- und Kahnkosten ergeben sich in Spalte 13 der Tabelle 4 die auf 1 Tariftkm bezogenen Frachtkosten. Die auf den wirklichen Tonnenkilometer entfallenden Frachtkosten ergeben sich aus diesen durch Multiplizierung mit der Verhältniszahl $\frac{n'}{n}$ (vgl. auch Gleichung 2 und 2a auf S. 12).

Die auf diese Weise bestimmten Frachtkosten stimmen mit anderweitig ermittelten ziemlich überein. So z. B. hat *Symphér*¹⁾ für den 600t-Kahn mit zwei Anhängern die Kosten eines Tariftonnenkilometers bei Tagesbetrieb zu $0,302 + \frac{81,1}{n}$ ermittelt, während die Rechnung hier für dieselben Liegefristen $0,325 + \frac{87,8}{n}$ ergab, also etwas mehr, infolge der derzeitigen höheren Preislage. *Suppan*²⁾ berechnet die Schleppkosten für die erste k. Priv. Donau-Dampfschiffahrtsgesellschaft auf dem Donau-Oder-Kanale (Tariflänge 275 km) zu 0,20 Heller für den Tarif-Tonnenkilometer. Nach der entsprechenden Formel für zwei Anhänger aus Tabelle 4 erhalten wir für diesen Fall als Schleppkosten des Tarif-Tonnenkilometers $0,152 + \frac{6,4}{275} = 0,175$ Pf. = 0,205 Heller.

C. Nebenkosten (ohne Kanalabgabe).

Die Nebenkosten, und zwar: Lösch- und Ladegebühren, Hafengebühren und Versicherung, sind von der Schiffsgröße unabhängig. Die Ladegebühr beträgt im Hafen von Kosel, in Ruhrort usw. 10 Pf/t und selbst bei Verladung in große Seeschiffe mit Kippen von 1000 t stündlicher Leistung 3 Cents = $12\frac{1}{2}$ Pf/t³⁾. Wie bereits von *Dömming*⁴⁾ darauf hinwies, ermöglichen auch vollkommeneren Umschlagsvorrichtungen nicht eine Ermäßigung der Kosten, sondern nur eine bessere Ausnutzung der Betriebsmittel und Hafenanlagen.

Werden die Hafengebühren ferner nach *Symphér* je 15 Pf/t und für Versicherungsgebühr 5 Pf/t gerechnet, so können zusammen an Nebenkosten ohne Abgaben für alle Schiffsgrößen gleichmäßig 45 Pf/t eingesetzt werden.

1) *Symphér*: „Die wirtschaftliche Bedeutung des Rhein-Elbe-Kanals“ 1899.

2) *Suppan*: „Wasserstraßen und Binnenschiffahrt“, Berlin, 1902.

3) *Buhle*: „Massentransporte“.

4) „Zeitschrift für Bauwesen“, 1876.

Die wirtschaftlich zweckmässigsten Schiffs- und Kanalabmessungen.

Mit Hilfe der für verschiedene Schiffsabmessungen ermittelten Frachtkosten soll zunächst untersucht werden, welches die wirtschaftlich zweckmässigste Schiffsgröße ist, wenn die Kosten der Wasserstraße selbst nicht in Betracht kommen. Sodann wird die zweckmässigste Schiffs- bzw. zugehörige Kanalabmessung gesucht, mit Rücksicht darauf, daß die Schifffahrt auch die anteiligen Kosten der künstlichen Wasserstraße zu tragen hat.

a) Ohne Berücksichtigung der Kosten der Wasserstraße.

Ein Vergleich der in Tabelle 4 ermittelten Kosten des Tarif-Tonnenkilometers ergibt, daß bei allen drei Betriebsarten sämtliche Bestandteile der Schleppkosten und somit auch die letzteren selbst mit zunehmender Schiffsgröße geringer werden. Ebenso nehmen auch die Kosten des Schleppkahnes während der Fahrt mit zunehmender Schiffsgröße ab und nur die Liegekosten des Schleppkahnes sind es die bei größeren Fahrzeugen höher werden. Während nun hieraus ohne weiteres hervorgeht, daß die Schleppkosten allein um so geringer werden, je größer die Ladefähigkeit der Schiffe ist, muß diese Frage mit Bezug auf die ganzen Frachtkosten, welche zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit maßgebend sind, näher untersucht werden. Die Frachtkosten des Tarif-Tonnenkilometers können für alle Betriebsarten und Schiffsabmessungen, wie aus Spalte 13 der Tabelle 4 ersichtlich, durch die allgemeine Formel

$$k' = \alpha + \frac{\beta}{n'} + C \quad 4)$$

ausgedrückt werden. Hierbei sind α (Kosten eines Tarif-Tonnenkilometers während der Fahrt) und β (Kosten einer Tonne während der Liegezeit) bei jeder Betriebsart mit der Schiffsgröße wechselnde Zahlenwerte; n' ist die Transportlänge in Tarifkilometern, während C (Kosten der Treidelbahn = $\frac{K_b n}{V n'}$ bzw. = 0) ein von der Schiffsgröße unabhängiger Wert ist.

Mit zunehmender Ladefähigkeit nimmt der Wert α ab, während β von einer gewissen Schiffsgröße an größer wird.

Dies gilt, wie aus Tabelle 4 ersichtlich ist, für alle Betriebsarten. Es genügt deshalb hier, die weitere Untersuchung nur für einen Betriebsfall durchzuführen. Es soll dies für den Schlepperbetrieb mit 2 Anhängern erfolgen, welcher im vorliegenden Falle, wo keine Kosten der Wasserstraße in Betracht kommen, auch die meiste praktische Bedeutung hat, da nach *Symphes* hierbei die reinen Frachtkosten eines Kanalariftonnenkilometers etwa gleich sind denen eines Flußtonnenkilometers, vorausgesetzt, daß auch im Flusse während derselben Anzahl von Schifffahrtstagen die zur Vollbeladung der Schiffe erforderliche Wassertiefe vorhanden ist. Unter dieser Voraussetzung gilt somit diese Untersuchung, ohne Berücksichtigung der Kanalbaukosten, auch für die Schifffahrt auf Flüssen.

Die Frachtkosten sind, wie aus Formel 4 zu ersehen ist, außer von α und β auch von der Transport-Entfernung n' abhängig. Es fragt sich nun, welches bei gegebener Transport-Entfernung die zweckmäßigste Schiffsgröße ist.

Diese Frage soll unter Zugrundelegung der durchschnittlichen Transportweite auf den deutschen Wasserstraßen von 300 km und kurzer Liegefrist beantwortet werden.

Der Einfluß einer Änderung der Transportweite und der Liegezeit wird nachher auf graphischem Wege untersucht.

Die Werte von α und β sind für den vorliegenden Fall in Tabelle 4, Spalte 13, Reihe 5 bis 8 ermittelt für vier Schiffsgrößen. Die durch diese Werte bestimmten Kurven von α und β können mit genügender Genauigkeit durch folgende Gleichungen als Funktionen der Ladefähigkeit in $t = x$ ausgedrückt werden

$$\alpha = 0,16 + \frac{96}{x} \quad \text{und} \quad \beta = 45 - 0,028 x + 0,000023 x^2$$

Durch Einsetzung dieser Ausdrücke in Gleichung 4 erhalten wir die Frachtkosten als Funktion der Ladefähigkeit x

$$k' = 0,16 + \frac{96}{x} + \frac{45 - 0,028 x + 0,000023 x^2}{n'} \quad 5)$$

Es sei hier nur kurz darauf hingewiesen, daß auch für die anderen Betriebsfälle die Frachtkosten in ähnlicher Form als Funktion der Ladefähigkeit, nur mit anderen Zahlenwerten, ausgedrückt werden können.

Für n' die Transportweite = 300 km eingesetzt, erhalten wir, daß die Kosten einem Mindestsatz erreichen, wenn

$$-\frac{96}{x^2} + \frac{0,000046 x - 0,028}{300} = 0 \quad 6)$$

woraus dann $x = 1130$. Es ist demnach das rund **1150 t**-Schiff bei

der durchschnittlichen Transportweite von 300 km und bei kurzer Liegefrist das wirtschaftlich günstigste.

Die Frachtkosten des Tarif-Tonnenkilometers sind hierbei aus Gleichung 5) $k' = 0,38$ Pf. Für das rund halb so große 600 t-Schiff z. B. sind dieselben $k' = 46$ Pf., die Mehrkosten betragen also beim 600 t-Schiff 20 v. H.

Für besondere Schifffahrtsverbindungen mit irgendeiner festen gegebenen Transportweite von n' Kilometer kann die günstigste Schiffsgröße in derselben Weise ermittelt werden, indem einfach in Gleichung 6 an Stelle von 300 die betreffende Transportentfernung gesetzt wird.

Für einige Transportweiten ergibt die Rechnung folgende Werte:

Transportweite	100	200	300	400	500	600 km
Günstigste Ladefähigkeit	880	1010	1130	1200	1260	1320 t

Bei größerer Transportweite ist demnach auch das größere Schiff das günstigere.

Dasselbe geht auch aus Fig. 3 hervor, in welcher die reinen Frachtkosten (ohne Nebenkosten) als Funktion der Transportweite aufgetragen sind. Es sind den berechneten vier Schiffsabmessungen entsprechend je vier Kurven für kurze und lange Liegezeiten aufgezeichnet. Man sieht aus denselben, daß bei langen Liegezeiten die Kurven der großen Schiffe erst bei größeren Transportweiten die Kurven der kleineren Schiffe unterschneiden.

Auf Grund dieser Kurven sowie der oberen Rechnung kann das Ergebnis dieser Untersuchung, wie folgt, zusammengefaßt werden.

Bei der durchschnittlichen Transportweite auf den deutschen Wasserstraßen von 300 km und bei kurzer Liegezeit ist das 1150 t-Schiff das wirtschaftlich günstigste. Ist die Transportweite größer bzw. kleiner, so ist auch das günstigste Schiff größer bzw. kleiner. Bei kurzen Liegezeiten ist das größere Schiff günstiger als bei langen Liegefristen.

Mit Bezug auf die Fig. 3 sei hier noch nebenbei darauf hingewiesen, daß aus dem Verlaufe der Kurven auch deutlich hervorgeht, daß die Frachtkosten der Schifffahrt, selbst ohne Hafen-, Lösch- und Ladegebühren, mit abnehmender Transportweite ($n' < 150$ km) schnell wachsen, und zwar um so schneller, je länger die Liegezeiten sind. Die Verteuerung durch längeres Liegen nimmt dann mit wachsender Transportweite langsam ab, beträgt aber selbst bei 300—800 km Transportweite noch rund 30—15 v. H. Es ist wohl hieraus auch ohne weiteres zu ersehen, daß die Verkürzung der Liegefristen zweifellos das wirksamste Mittel zur Verbilligung der Schifffahrt ist.

b) Mit Berücksichtigung der Kosten der Wasserstraße.

Diese Frage wird nur für die Schifffahrtskanäle untersucht. Die durch Verbesserung bzw. Kanalisierung von Flüssen entstandenen Wasserstraßen scheiden dagegen von der Untersuchung aus. Die Schifffahrtskanäle selbst sind auch nicht nur Wege des Verkehrs, sondern dienen in vielen Fällen in zweiter Linie auch manchen anderen Zwecken, wie z. B. der Landwirtschaft durch Be- und Entwässerung, Städten als Vorfluter für die Kanalisation, der Industrie durch Lieferung von Fabrikwasser oder Ausnutzung von Wasserkraft usw. Für diese Nebenaufgaben genügt aber in den meisten Fällen schon ein kleiner, dem Verkehre mit 300 t-Kähnen entsprechender Kanalquerschnitt; und es kann im allgemeinen angenommen werden, daß ein größerer Querschnitt lediglich im Interesse der Schifffahrt gewählt wird. Daher sind die Kosten für den größeren Querschnitt von dieser allein zu bestreiten.

Um die Jahreskosten der Wasserstraße zu ermitteln, müssen vor allem die Anlagekosten festgestellt werden. Unter sonst gleichen Verhältnissen sind die Kosten des Schifffahrtskanals um so größer, je größer die zu überwindende Geländehöhe ist. Man kann aber die Kosten des Kanals in ähnlicher Weise durch die Kosten des schleusenfreien Kanal-Kilometers ausdrücken, wie man die Frachtkosten auf den Tarif-Tonnenkilometer bezieht. Dies geht aus folgender Betrachtung hervor:

Es sei ein, den mäßigen Steigungen des Geländes sich anschmiegender Schleusenkanal vorausgesetzt und angenommen, daß das Gefälle sämtlicher Schleusen des Kanals gleich ist oder voneinander nur wenig abweicht. Letzteres ist im allgemeinen auch zweckmäßig, da bei Schleusen mit sehr verschiedenem Gefälle die kleinere Leistungsfähigkeit der Schleuse mit dem größten Gefälle für alle übrigen Schleusen und den ganzen Kanal bestimmend ist.

Fig. 4 stellt die Längensprofile zweier Kanäle mit gleichbleibendem Schleusengefälle m im Gelände mit verschiedener Steigung dar. Der Längenschnitt ist für den Fall gezeichnet, daß die Sohle des Kanals nicht über das Gelände steigen soll. Wie aus der Skizze hervorgeht, ist die Erdarbeit, wenn von den nicht dargestellten kleineren Unebenheiten des Geländes abgesehen wird, bei beiden Kanälen dieselbe. Sonst gleiche Verhältnisse vorausgesetzt, sind demnach auch in beliebigem Gelände die Erdarbeiten und somit auch die Gesamtkosten des Kilometers ohne Schleusen dieselben. Nur die Anzahl der Schleusen ist eine andere.

Ersetzen wir nun die Kosten der einzelnen Schleusen durch die Kosten einer entsprechenden schleusenfreien Kanallänge, dann erhalten

wir für die Anlagekosten des Kanals ebenso eine virtuelle Länge n' wie für die Frachtkosten.

Die einer Schleuse entsprechende Kanallänge soll auf Grund der Kosten des Dortmund-Ems-Kanals bestimmt werden¹⁾. Die Kosten der 149,8 km langen eigentlichen Kanalstrecke des Dortmund-Ems-Kanals betragen 359500 M auf den Kilometer. Von den Kosten sämtlicher Schleusen dieser Strecke entfallen auf 1 km Kanallänge $\frac{5686590}{149,8} = 37900$ M, demnach sind die Kosten des Kanalkilometers ohne Schleusen $359500 - 37900 = 321600 = \text{rd. } 320000$ M. Das durchschnittliche Gefälle der Schleusen beträgt 4,5 m (ohne Hebewerk Henrichenburg).

Die Gesamtbaukosten einer einschiffigen Schleuse von 5 m Gefälle betragen nach *Prüsmann*²⁾ 531000 M. Dies entspricht den Kosten einer Kanallänge von $\frac{531000}{320000} = \text{rd. } 1,7$ km.

Vergleichen wir einmal diese Kanallänge mit der, dem Aufenthalte der Schiffe an der Schleuse entsprechenden Streckenlänge. Die Schleusungsdauer des Schiffes an der einschiffigen Schleuse von m m = Höhe beträgt ebenfalls nach *Prüsmann*³⁾ $17,43 + \frac{m}{1,5}$, also für 5 m Gefälle: $17,43 + 3,33 = 20,76$ oder rd. 21 Minuten. Hierzu sind noch nach derselben Quelle zu rechnen, je 2,5 Minuten für Aufnehmen und Abnehmen der Schlepptrasse, während für die während der Schleusung zurückgelegten 420 m Länge $\frac{420}{5000} \cdot 60 = 5$ Minuten abgezogen werden müssen. Der Schleusungs-Zeitverlust ist demnach: $21 + 5 - 5 = 21$ Minuten und die entsprechende Tariflänge: $\frac{5,0}{60} \cdot 21 = 1,75$ km.

Die einer Schleuse entsprechende Kostenlänge weicht demnach von der Tariflänge derselben nur wenig ab.

Dieselbe Rechnung nach den Werten von *Prüsmann*⁴⁾ für Doppel- und Schleppzugschleusen, bei Verkehr mit zweischiffigen Schleppzügen durchgeführt, ergibt die den Kosten der Doppelschleuse von 5,0 m Gefälle entsprechende Kanallänge zu 3,4 km und dem Schleusungs-Zeitverlust entsprechende Tariflänge zu 3,1 km, während der Schleppzugschleuse eine Kanallänge von 2,6 km und eine Tariflänge von 2,25 km entspricht.

Ebenso wie für 5,0 m weichen auch bei anderen mittleren Gefällen sowie bei anderen Schiffsgrößen die beiden Zusatzlängen von-

1) Nach der „Zeitschrift für Bauwesen“, 1901.

2) „Zeitschrift für Bauwesen“, 1905, S. 515.

3) „Zeitschrift für Bauwesen“, 1905, S. 503.

4) „Zeitschrift für Bauwesen“, 1905, S. 741.

einander nur wenig ab, und es kann somit die den Baukosten des Schleusenkanales entsprechende schleusenfreie Kanallänge der Tariflänge gleichgesetzt werden. Wir können deshalb im folgenden die auf einen Tarifkilometer entfallenden Baukosten durch die Kosten eines wirklichen Kanalkilometers ausschließlich der Schleusen ersetzen.

Hierdurch scheidet in der Untersuchung die zu überwindende Höhe für die Baukosten ebenso aus wie für die Frachtkosten.

Selbst nach Ausschaltung der Höhe sind die Kosten der Kanäle noch sehr verschieden, je nach der kulturellen Entwicklung des durchschnittenen Geländes und der Einheitspreise der Ausführung; so sind z. B. die Kosten für 1 km des in sehr günstigem Gelände gelegenen Kanals Bevergern-Hannover bedeutend höher veranschlagt worden, als für 1 km des Dortmund-Ems-Kanals verausgabt wurden. Um aber den Einfluß der Baukosten auf die zweckmäßige Schiffs- und Kanalgröße nicht zu hoch einzusetzen, sind der folgenden Kostenberechnung der Kanäle die als mäßig geltenden Kosten des Dortmund-Ems-Kanals zugrunde gelegt.

Die Einzelkosten der Kanäle verhalten sich wie ihre Abmessungen, und zwar sind die Grunderwerbskosten verhältnismäßig den Wasserbreiten und die Erdarbeiten den Querschnittsflächen, obzwar, streng genommen, bei den größeren Erdmassen um ein geringes kleinere Einheitspreise zu erzielen sind. Die Kosten für Uferbefestigung bleiben bei allen Kanälen dieselben, während die übrigen Kosten (Brücken, Dücker usw.) als dem Querschnitte entsprechend angenommen wurden. Hiernach sind in Tabelle 5 die Baukosten des Tarifkilometers aufgestellt worden.

Für Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals sind $3\frac{1}{2}$ v. Hdt. der Baukosten gerechnet. Für Unterhaltungs- und Betriebsausgaben ist für alle Kanäle derselbe Betrag eingesetzt worden, da der größere Querschnitt an und für sich keine größeren Ausgaben verursacht. Streng genommen erfordern ja die größeren Kunstbauten der großen Kanäle höhere Unterhaltungskosten; dies fällt jedoch nur wenig ins Gewicht.

Tabelle 5.

Schiffs- abmes- sung	Wasser- quer- schnitt	Wasser- breite	Kosten des Grunder- werbs	Kosten der Erdarbeit	Kosten der Ufer- befestigung	Kunstbauten usw. (ohne Schleusen)	Gesamtbau- kosten auf 1 Tarifkm.	Jahres- kosten auf 1 Tarifkm. ¹⁾
t	qm	m	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M	1000 M
300	39,1	23,9	36,5	65	27,5	96	225	10,9
600	60,2	28,6	43,75	101	27,5	147,75	320	14,2
1000	86,0	34,0	52	144	27,5	211,5	435	18,2
1500	112,0	39,3	60	188	27,5	274,5	550	22,3

¹⁾ $3\frac{1}{2}$ v. Hdt. der Bausumme für Zinsen und Tilgung + 3000 M für Unterhaltung und Betrieb.

Bezeichnen wir die auf 1 Tarifkilometer entfallenden Jahreskosten des Kanals mit γ , so entfallen auf den Tariftonnenkilometer $\frac{\gamma}{V}$ Pfennig, wo V , wie früher, den kilometrischen Verkehr bedeutet. Diese Kosten zu den Frachtkosten und Nebenkosten hinzugegeben, erhalten wir für die Gesamtkosten der Kanalschiffahrt in Pf/tkm, einschließlich der anteiligen Kosten der Wasserstraße, die Formel

$$k' = \alpha + \frac{\beta}{n'} + \frac{\gamma}{V} + C, \quad (7)$$

wo in C die von der Schiffsgröße unabhängigen Gleiskosten $\frac{K_b n}{V n'} +$ Nebenkosten $\frac{45}{n'}$ enthalten sind.

Diese Formel ergibt die Kosten der Schiffahrt, wenn der Transport nur auf dem Kanale stattfindet. Tatsächlich sind aber die Kanäle nicht abgeschlossen von dem übrigen Schiffsverkehr, sie haben vielmehr in den meisten Fällen den Zweck, die einzelnen natürlichen Wasserstraßen untereinander zu verbinden. Ein Teil des Transportweges fällt deshalb im allgemeinen auf natürliche Wasserstraßen.

Bezeichnen wir die ganze Transportlänge mit N , wovon n' Kilometer auf den Kanal und n'' auf natürlichen Wasserweg entfallen, dann sind die Schiffahrtskosten von 1 t auf dem Kanal: $n' \left(\alpha + \frac{\beta}{N} + \frac{\gamma}{V} + C_1 \right)$ und auf dem Flusse: $n'' \left(\alpha + \frac{\beta}{N} + C_2 \right)$ die auf den Tariftonnenkilometer entfallenden Durchschnittskosten sind demnach

$$k = \frac{n' \left(\alpha + \frac{\beta}{N} + \frac{\gamma}{V} + C_1 \right) + n'' \left(\alpha + \frac{\beta}{N} + C_2 \right)}{N},$$

woraus sich ergibt:

$$k = \alpha + \frac{\beta}{N} + \frac{n'}{N} \frac{\gamma}{V} + C. \quad (8)$$

Der auf den Tariftonnenkilometer entfallende Anteil der Kanal-kosten entspricht dem Verhältnisse der Kanallänge zur Transportlänge. Je kürzer die auf dem Transportwege liegende Kanallänge ist, um so weniger fallen die etwaigen größeren Baukosten ins Gewicht.

Ist $\frac{n'}{N} = 0$, dann haben wir es mit der bereits untersuchten Schiffahrt auf nur natürlichem Wasserwege zu tun. Der andere Grenzfall

tritt ein, wenn $\frac{n'}{N} = 1$ ist, und die Kosten entsprechen dann einer Schifffahrt, die nur auf den Kanal beschränkt ist.

Für die allgemeine Untersuchung der günstigsten Schiff- und Kanalabmessungen nehmen wir an, daß der Transportweg, welchen die Kanal-güter zurücklegen, zur Hälfte auf den natürlichen Wasserweg und zur Hälfte auf den Kanal entfällt, wodurch wir den durchschnittlichen wirklichen Verhältnissen so nahe wie möglich kommen.

Die Kosten der Schifffahrt einschließlich der Wasserstraße (vgl. Formel 8) können leicht als Funktion der Schiffsgröße x ausgedrückt werden. Den Werten von γ in der letzten Spalte der Tabelle 5 entspricht genau genug die Gleichung

$$\frac{\gamma}{100} = 7400 + 12,2 x - 0,0015 x^2$$

Die Formel für die ganzen Kosten der Schleppschifffahrt lautet nun als Funktion von x , nach Einsetzung der Werte von α und β aus S. 18

$$k = 0,16 + \frac{96}{x} + \frac{45 - 0,028x + 0,000023x^2}{N} + \frac{n'}{N} \cdot 100 \cdot \frac{7400 + 12,2x - 0,0015x^2}{V} + C \quad 9)$$

Die Gesamtkosten erreichen ein Minimum, wenn

$$-\frac{96}{x^2} + \frac{0,000046x - 0,028}{N} + \frac{n'}{N} \frac{12,2 - 0,0030x}{V} = 0$$

ist.

Setzen wir, den durchschnittlichen Schifffahrtsverhältnissen entsprechend,

$$N = 300 \text{ km}, \quad \frac{n'}{N} = \frac{1}{2}$$

und legen der Berechnung einen Verkehr von rund 2,5 Millionen Tonnen (Verkehr des Oder-Spree-Kanals; der der übrigen deutschen Binnenkanäle ist geringer) zugrunde, dann erhalten wir, daß

$$k = \text{Minimum, wenn } x = 670.$$

Den jetzigen durchschnittlichen Schifffahrtsverhältnissen entsprechend ist demnach das 600—700-t-Schiff das wirtschaftlich günstigste Kanalschiff.

Ist die Schifffahrt nur auf den Kanal beschränkt, so ist $x = 490$; es wäre also für einen solchen Kanal das 500-t-Schiff das günstigste Kanalschiff. —

Es fragt sich nun, wie sich das Ergebnis für die durchgehenden Kanäle ändert, wenn sich die Kanalschifffahrt weiter günstig entwickelt.

Nehmen wir an, daß dann die durchschnittliche Transportweite auf 400 km und der kilometrische Verkehr dieser Wegelänge auf 5 Millionen Tonnen gestiegen wären, so ergibt sich k als Minimum, wenn $x = 870$.

Unter diesen Durchschnittsverhältnissen, die bereits einer sehr hohen Entwicklung der Schifffahrt entsprechen würden, wäre demnach das 900-t-Schiff das günstigste. Wie groß wäre nun die Ersparnis, wenn wir zur Zeit dieser entwickelten Schifffahrtsverhältnisse an Stelle der 600-t-Schiffe über solche von 900 t Tragfähigkeit und die entsprechenden Kanäle verfügen würden? Die Antwort hierauf erhalten wir aus Gleichung 9 nach Einsetzung der obigen Werte für $N = 400$ und $V = 5$ Millionen Tonnen.

Die Gesamtkosten der Schifffahrt ergeben sich dann

- a) für das 600-t-Schiff zu 0,666 Pf/tkm,
- b) für das 900-t-Schiff zu 0,648 Pf/tkm.

Die Ersparnis würde demnach etwa 3 v. Hdt. betragen.

Ein ganz anderer ist der Unterschied, wenn man bei denselben entwickelten Verkehrsverhältnissen Kanäle für 300-t-Schiffe, wie z. B. die französischen, den Kanälen für 600-t-Schiffe gegenüberstellt. Die Gesamtkosten der Schifffahrt betragen bei 300-t-Schiffen dann 0,789 Pf., die Mehrkosten gegenüber dem 600-t-Schiff machen also 18,5 v. Hdt. aus.

Auch bei den anderen Betriebsarten ergibt sich das 600—700-t-Schiff als das wirtschaftlich günstigste, wie dies deutlich aus Fig. 5 hervorgeht, in welcher die Gesamtkosten der Schifffahrt als Funktion der Schiffs-ladefähigkeit dargestellt sind.

Das Endergebnis dieser Untersuchung können wir, wie folgt, zusammenfassen:

1. Unter den gegenwärtigen Verkehrsverhältnissen ist für die Kanalschifffahrt am wirtschaftlichsten das **600—700-t-Schiff** und das entsprechende Kanalprofil. Bei sehr entwickeltem Verkehre (im Durchschnitt 5 Millionen Tonnen) ist das **900-t-Schiff** das günstigste.
2. Ist der ganze Transportweg künstlich, dann ist die günstigste Schiffsgröße 500 Tonnen. Das 500-t-Schiff ist also die unterste Grenze des wirtschaftlichen Kanalschiffes, eine mittlere Transportweite von 300 km vorausgesetzt.

Nach dem Ergebnisse unter 1 ist also bei starkem Verkehre das 900-t-Schiff, auch mit voller Berücksichtigung der größeren Kosten des Kanals, das wirtschaftlich günstigste. Voraussetzung ist jedoch hierbei, wie früher erwähnt, daß auch die Flüsse, welche durch die Kanäle verbunden werden, für diese Schiffsgröße während der 270 Tage der Schiffsfahrtszeit befahrbar sind.

Vergleichung der Betriebsarten.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, hat diese Untersuchung den Zweck, einerseits einen Überblick über die wirtschaftliche Anwendung der einzelnen Betriebsarten zu geben, andererseits die Unterlagen zur einfachen Feststellung der jeweilig günstigsten Betriebsart bei einem gegebenen Kanale zu liefern.

Die folgenden Untersuchungen sind alle auf das, praktisch am meisten in Betracht kommende 600-t-Schiff beschränkt; nur der zuerst untersuchte Fall des Kanals ohne Schleusen wird auch für die anderen Schiffe behandelt, um hieraus beurteilen zu können, welchen Einfluß die Schiffsgröße auf das Verhältnis der einzelnen Betriebsarten zueinander hat.

Zu diesem Zwecke sind in Fig. 6 die Schlepp- sowie die Frachtkosten, letztere für kurze und lange Liegezeiten, als Funktion der Verkehrsgröße unter Zugrundelegung der mittleren Transportweite von 300 km dargestellt. Es sind außer den Selbstfahrern nur Schleppzüge mit zwei Anhängern berücksichtigt, da Einzelzüge für schleusenfreie Kanäle nicht in Betracht kommen.

Ein Vergleich der Kurven der elektrischen Treidelei und des Schlepperbetriebes zeigen, daß sowohl die Schlepp- wie die Frachtkosten bei elektrischer Treidelei von einer bestimmten Verkehrsgröße an geringer sind als die des Schlepperbetriebes, und zwar bei 300-t-Schiffen von $2\frac{1}{3}$ Millionen Tonnen an, bei 600 t von 4 Millionen an, bei 1000 t von $5\frac{2}{3}$ und bei 1500 t von $7\frac{1}{3}$ Millionen Tonnen an. Die elektrische Treidelei kann demnach bei kleineren Schiffen vorteilhafter den Wettbewerb gegen den Schlepperbetrieb aufnehmen als bei größeren Schiffen. Tatsächlich hat sich die elektrische Treidelei auf den französischen Kanälen (300-t-Schiffe) als wirtschaftlich bewiesen.

Bei diesem Vergleiche der beiden Schleppmethoden sind für beide dieselben Liegezeiten zugrunde gelegt. Berücksichtigt man aber, daß die eisenbahnähnliche Betriebsregelung der elektrischen Treidelei auch auf die Verkürzung der Liegezeiten von großem Einflusse ist, so ist die elektrische Treidelei auch schon bei einem kleineren Verkehr dem Schlepperbetriebe wirtschaftlich überlegen. In Zahlen läßt sich dieser mittelbare Gewinn allerdings schwer fassen. Nimmt man aber z. B. an, daß durch die elektrische Treidelei nur der halbe Zeitunterschied zwischen der angenommenen langen und der kurzen Liegefrist gewonnen wird, so ist die Einführung der elektrischen Treidelei bei 600-t-Kähnen schon von 2,1 Millionen t an wirtschaftlich begründet. Hierauf sei nur kurz hingewiesen, ohne daß auch dieser in bestimmter Weise nicht faßbare mittelbare Vorteil der elektrischen Treidelei im folgenden irgendwie mit berücksichtigt würde.

Auf die Wirtschaftlichkeit des Selbstfahrers gegenüber dem Schlepperbetrieb übt die Schiffsgröße keinen nennenswerten Einfluß aus. Die Frachtkosten des Einzelfahrers sind, wie aus der Figur sofort ins Auge fällt, bei langen Liegezeiten für alle Schiffsgrößen bedeutend höher, als die der anderen Schleppmethoden. Bei kurzer Liegezeit ermäßigen sich die Kosten der Selbstfahrer zwar ganz bedeutend, sind aber noch durchweg höher als die des Schlepperbetriebes. Da ein günstigeres Verhältnis für die Selbstfahrer nur durch eine noch größere Verkürzung der Liegezeit zu erreichen wäre, so ist für die freie Schifffahrt der Schlepperbetrieb auf schleusenfreiem Wasserwege dem Selbstfahrer überlegen. Für den Transport von groben Massengütern auf schleusenfreiem Wasserwege würde sich der Selbstfahrer demnach höchstens für bestimmte Sonder-Schiffsverbindungen mit ganz kurzen Liegezeiten eignen.

Bei Schleusenkanälen, die ja fast ausschließlich für die Praxis von Bedeutung sind, liegen die Verhältnisse für eine allgemeine Untersuchung nicht so einfach, wie im vorangehenden Falle, da Anzahl und Art der Schleusen einen wesentlichen Einfluß auf die wirtschaftliche Überlegenheit der einen oder anderen Betriebsart ausüben.

Der an einer Schleuse entstehende Zeitverlust hängt ab von dem Gefälle, der Art der Schleuse und vom Schiffahrtsbetriebe. Das Gefälle der Schleuse übt nur ganz geringen Einfluß auf die Schleusungszeit aus, solange es sich um mittlere Gefälle handelt. (Vgl. Formel auf S. 21.) Das Gefälle kann deshalb bei unseren Betrachtungen ausscheiden.

Was die Art der Schleusen anlangt, so sollen Kanäle mit einfachen Kammerschleusen, mit Doppelschleusen und solche mit Schleppzugschleusen untersucht werden, und wird angenommen, daß auf dem be-

trachteten Kanäle oder Kanalteile nur Schleusen gleicher Art vorhanden sind. Der Schiffahrtsbetrieb beeinflußt den Aufenthalt an den Schleusen wesentlich, je nachdem Einzel- oder Doppelzüge gefahren werden, ferner auch insoweit, als gegenüber dem mechanischen Schiffszuge beim Selbstfahrer das Abwerfen und Aufnehmen der Schlepptrasse fortfällt, während beim freien Schlepperbetriebe noch das Durchschleusen des Dampfers hinzutritt. Der Fall des Monopolschlepperbetriebes, welcher in der Weise geregelt sein könnte, daß jeder Dampfer nur in einer Haltung Dienst tut, wobei sich dann aber die erforderliche Anzahl der Betriebsmittel den Verkehrsbedürfnissen nicht gut anschmiegen läßt, wird nicht berücksichtigt. Es wird vielmehr die Untersuchung nur auf den freien Schlepperbetrieb beschränkt, bei welchem der Schlepper an jeder Schleuse mit durchgeschleust werden muß.

Für alle, bei den oben erwähnten Schleusen und Betriebsarten möglichen Fälle soll der Schleusungs-Zeitverlust unter Anlehnung an die von *Prüsmann*¹⁾ angegebenen Werte in derselben Weise bestimmt werden, wie dies für die Einzelschleuse und den mechanischen Schleppzug bereits auf S. 21 geschehen ist.

Die Schleusungsdauer für ein Schiff beträgt hiernach, 5 m Gefälle zugrunde gelegt, einschließlich der Zeit für Anfahrt und Abfahrt auf je 140 m vor und hinter der Schleuse, 21 Minuten. Folgt noch ein weiteres, zu demselben Zuge gehörendes Schiff, so muß erst vor der Durchschleusung desselben das Tor hinter dem ersten Schiffe geschlossen, der frühere Wasserspiegel eingestellt und das Tor vor dem zweiten Schiffe geöffnet werden, was zusammen 5 Minuten beansprucht. Da jedoch während dieses Vorganges gleichzeitig die Abfahrt des ersten und die Anfahrt des zweiten Schiffes auf den Vorstrecken erfolgen kann, so braucht für jedes folgende Schiff des Zuges auch nicht mehr als 21 Minuten Aufenthaltszeit gerechnet zu werden.

Für das Aufnehmen und Abwerfen der Schlepptrassen des Einzelzuges werden 5 Minuten gerechnet und für Lösung und Kupplung des Doppelzuges einschließlich Abwerfen und Aufnehmen der Schlepptrassen insgesamt 20 Minuten in Rechnung gestellt. Ein Warten vor der Schleuse soll nicht vorkommen.

Wie aus der Tabelle 6 hervorgeht, ist der Schleusungs-Zeitverlust und somit auch die entsprechende Tariffänge Δl nur im Falle von Schleppzugsschleusen bei elektrischer Treidelei gleich groß wie beim Schlepperbetriebe. In sämtlichen übrigen Fällen ist der Schleusungs-Zeitverlust bei ein und derselben Schleusungsart sehr verschieden,

¹⁾ „Zeitschrift für Bauwesen“, 1905. S. 503 und S. 741.

Tabelle 6.

V = kilometrischer Verkehr in t. K_b = Jahreskosten der Treidelbahn auf 1 km. n = Transportlänge; l = $\frac{\text{Kanallänge}}{\text{Schleusenlänge}}$.

Art der Schleusen und des Schiffsbetriebes	Gesamte Schleusendauer		Abzug für zurückgelegten Weg		Schleusungs-Zeitverlust		Entsprechende Tarflänge Δl		Schleppkosten auf den wirklichen tkm		Frachtkosten auf den wirklichen tkm kurze Liegezeit		Hinzuzugeben bei längerer Liegezeit	
	Min.	2.	Min.	3.	Min.	4.	km	5.	Pf/tkm	6.	Pf/tkm	7.	Pf/tkm	8.
I.														
I. Einzelzug	a) Selbstfahrer	21	5	16	1,33		—		$0,316 \left(1 + \frac{1,33}{1}\right) + \frac{48,1}{n}$		$80,2$		$\frac{n}{n}$	
	b) elektr. Treidelei	26	5	21	1,75		$0,111 \left(1 + \frac{1,75}{1}\right) + \frac{K_b}{V}$		$0,284 \left(1 + \frac{1,75}{1}\right) + \frac{K_b}{V} + \frac{30,5}{n}$		$50,9$		$\frac{n}{n}$	
	c) Schlepperbetrieb	47	5	42	3,5		$0,215 \left(1 + \frac{3,5}{1}\right) + \frac{10,0}{n}$		$0,388 \left(1 + \frac{3,5}{1}\right) + \frac{40,5}{n}$		"		"	
a) Einzel-schleusen	elektr. Treidelei	62	6	56	4,6		$0,087 \left(1 + \frac{4,6}{1}\right) + \frac{K_b}{V}$		$0,260 \left(1 + \frac{4,6}{1}\right) + \frac{K_b}{V} + \frac{30,5}{n}$		"		"	
	Schlepperbetrieb	83	6	77	6,4		$0,152 \left(1 + \frac{6,4}{1}\right) + \frac{6,4}{n}$		$0,325 \left(1 + \frac{6,4}{1}\right) + \frac{36,9}{n}$		"		"	
	elektr. Treidelei	43	6	37	3,1		$0,087 \left(1 + \frac{3,1}{1}\right) + \frac{K_b}{V}$		$0,260 \left(1 + \frac{3,1}{1}\right) + \frac{K_b}{V} + \frac{30,5}{n}$		"		"	
b) Doppel-schleusen	Schlepperbetrieb	64	6	58	4,8		$0,152 \left(1 + \frac{4,8}{1}\right) + \frac{6,4}{n}$		$0,325 \left(1 + \frac{4,8}{1}\right) + \frac{36,9}{n}$		"		"	
	elektr. Treidelei	34	7	27	2,25		$0,087 \left(1 + \frac{2,25}{1}\right) + \frac{K_b}{V}$		$0,260 \left(1 + \frac{2,25}{1}\right) + \frac{K_b}{V} + \frac{30,5}{n}$		"		"	
	Schlepperbetrieb	35	8	27	2,25		$0,152 \left(1 + \frac{2,25}{1}\right) + \frac{6,4}{n}$		$0,325 \left(1 + \frac{2,25}{1}\right) + \frac{36,9}{n}$		"		"	
c) Schleppzug-schleusen	elektr. Treidelei													
	Schlepperbetrieb													
	elektr. Treidelei													

je nach der Art des Schifffahrtsbetriebes. Dementsprechend ergibt sich auch für ein und denselben Kanal eine andere Tariflänge bei Zugrundelegung eines anderen Schifffahrtsbetriebes. Die wirtschaftliche Vergleichung der Betriebsarten kann deshalb nicht auf Grund der Kosten der Tarif-Tonnenkilometer, sondern nur des wirklichen Tonnenkilometers erfolgen.

Die Frachtkosten des wirklichen Tonnenkilometers erhalten wir aus den in Tabelle 4 ermittelten Kosten des Tarif-Tonnenkilometers, wie bereits auf S. 16 erwähnt, einfach durch Multiplizierung mit $\frac{n'}{n}$, wo n' die Tariflänge und n die wirkliche Länge des Kanals bedeuten. Die allgemeine Formel der Frachtkosten des wirklichen Tonnenkilometers auf einem Kanale von n km Länge ist demnach:

$$k = \alpha \frac{n'}{n} + \frac{\beta}{n} + \frac{K_b}{V} \quad (10)$$

Je größer die Anzahl der Schleusen auf der Kanallänge von n km, das heißt, je dichter die Schleusen einander folgen, um so höher sind die Kosten des Tonnenkilometers, da dann $\frac{n'}{n}$ um so größer wird.

Bezeichnen wir die Anzahl der Schleusen auf der Kanallänge von n km mit s , dann ist die mittlere Haltungslänge $l = \frac{n}{s}$. Wird die dem Schleusungs-Zeitverluste an einer Schleuse entsprechende Kanallänge mit Δl bezeichnet, so ist die Tariflänge des ganzen Kanals $n' = n + s \Delta l$. Da $n = s l$, so ist $n' = s(1 + \Delta l)$.

Wir erhalten nun für die Frachtkosten des wirklichen Tonnenkilometers nach Einsetzung dieser Werte in Gleichung 10 folgenden Ausdruck:

$$k = \alpha \left(1 + \frac{\Delta l}{l}\right) + \frac{\beta}{n} + \frac{K_b}{V} \quad (11)$$

Für die in Betracht kommenden Fälle sind nun die Schlepp- und Frachtkosten in Tabelle 6 zusammengestellt.

Bei einem beliebigen Kanale mit s Schleusen auf n Kilometer Länge $\left(\frac{n}{s} = l\right)$ und bei gegebenem Verkehr können die Frachtkosten mit Hilfe dieser Formel für jeden Betriebsfall berechnet und somit die günstigere Betriebsart bestimmt werden.

Um einen Überblick darüber zu gewinnen, für welche Fälle die eine oder die andere Betriebsart wirtschaftlich günstiger ist, sollen im folgenden mit Hilfe der Formeln die wirtschaftlich zweckmäßigen Anwendungs-Grenzen der einzelnen Betriebsarten festgestellt und ferner die Schlepp- und Frachtkosten graphisch dargestellt werden. Zuerst wird der Einzelzug und Doppelzug miteinander verglichen.

A. Einzelzug und Doppelzug.

Die Lösung und Kupplung des Doppelzuges verursacht bei einschiffigen Schleusen einen beträchtlichen Zeitverlust und somit auch Kosten. Es liegt deshalb die Frage nahe, ob und bis zu welchen Grenzen bei Kanälen mit vielen einschiffigen Schleusen der Einzelzug dem Doppelzuge wirtschaftlich überlegen ist. Mit Hilfe der Formeln in Tabelle 6 können wir diese Grenzen feststellen. Zu diesem Zwecke braucht nur derjenige Wert der Schleusendichtigkeit $l = \frac{\text{Kanallänge}}{\text{Schleusenanzahl}}$ gesucht zu werden, bei welchem die Kosten des Einzelzuges gleich denen des Doppelzuges werden. Bei einfachen Schleusen und elektrischer Treidelei z. B. sind die Schleppkosten des Einzel- und Doppelzuges gleich, wenn nach Tabelle 6

$$0,111 \left(1 + \frac{1,75}{l}\right) + \frac{K_b}{V} = 0,087 \left(1 + \frac{4,6}{l}\right) + \frac{K_b}{V},$$

woraus der Grenzwert von $l = 8,6$ km.

Ist nun die Schleusenfolge eines solchen Kanals kleiner als 8,6, dann ist mit Bezug auf die Schleppkosten der Einzelzug, im entgegengesetzten Falle der Doppelzug günstiger.

In der Tabelle 7 sind nun diese Grenzwerte von l mit Bezug auf die Schlepp- sowie die Frachtkosten ermittelt.

Tabelle 7.

Betriebs- und Schleusenart	Grenzwerte von $l = \frac{\text{Kanallänge}}{\text{Schleusenanzahl}}$		
	mit Bezug auf		
	die Schleppkosten km	die Frachtkosten km	
a) einfache Schleusen	elektr. Treidelei .	8,6	29,0
	Schlepperbetrieb .	2,9	9,6
b) Doppel- schleusen	elektr. Treidelei .	3,1	12,9
	Schlepperbetrieb .	0	2,7

Legt man die Schleppkosten der Vergleichung zugrunde, dann ist der Einzelzug erst bei bedeutend dichterem Schleusenfolge dem Doppelzuge überlegen, als wenn man hierfür die ganzen Frachtkosten in Rechnung stellt, da bei letzteren der längere Aufenthalt der Kähne des Doppelzuges sehr ins Gewicht fällt. Jeder der beiden Gesichtspunkte kann seine Berechtigung haben. Vom Standpunkte der Inhaber des Schleppbetriebes sind die kleinsten Schleppkosten maßgebend, während vom Standpunkte des Verfrachters und vom allgemeinen wirtschaftlichen Gesichtspunkte diejenige Betriebsart vorzuziehen ist, bei welcher die ganzen Frachtkosten, also einschließlich der Kahnkosten, am geringsten werden. Für die kleinsten Selbstkosten der Schifffahrt sind nur diese ganzen Frachtkosten maßgebend; tatsächlich kommen aber in den wirklichen Frachtsätzen die gesparten Kahnkosten nur dann voll zur Geltung, wenn die Ausnutzung der Kähne auch sonst keine allzu unsichere ist.

Wie aus den Ergebnissen in Tabelle 7 ersichtlich, kommt für den Schlepperbetrieb der Einzelzug bei Doppelschleusen praktisch gar nicht und bei Einzelschleusen mit Berücksichtigung der Frachtkosten nur dann in Betracht, wenn die Schleusen dichter als 9,6 km von einander liegen. Die Bildung von Einzelzügen bei Schlepperbetrieb kommt daher praktisch kaum in Frage.

Hingegen ist bei elektrischer Treidelei, wie aus den Ergebnissen ersichtlich, der Einzelzug bei schleusenreichen Kanälen schon sehr wohl zu berücksichtigen, und zwar besonders bei Einzelschleusen. Deutlich zu ersehen ist das auf Figur 7, auf welcher die Schlepp- sowie die Frachtkosten des Einzel- und des Doppelzuges sowohl bei Einzel- wie bei Doppelschleusen aufgetragen sind. Hiernach ist z. B. für einen Kanal, wie der geplante Donau-Oder-Kanal mit 46 Einzelschleusen auf 275 km, also $l = 6$ km der Einzelzug wirtschaftlich bedeutend günstiger als der Doppelzug. Ganz abgesehen von der Schwierigkeit der Betriebsregelung, wären die Mehrausgaben beim Doppelzuge 12 v. Hdt. der Frachtkosten.

Auf Figur 7 ist noch die Kosten-Kurve des Doppelzuges bei Schleppzugschleusen eingezeichnet, wovon aber erst später bei dem „Vergleiche von Doppel- und Schleppzugschleusen“ die Rede sein wird.

B. Vergleichung der elektrischen Treidelei mit dem Schlepperbetriebe und den Selbstfahrern.

Für die übersichtliche Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der elektrischen Treidelei, im Vergleiche zu den anderen Betriebsarten, ist am bezeichnendsten die Verkehrsgröße, von welcher ab die Kosten derselben

kleiner werden als die der anderen Betriebsarten. Es sind deshalb in Tabelle 8 die Verkehrsgrenzen ermittelt worden, von welchen angefangen die Frachtkosten der elektrischen Treidelei billiger werden als die der anderen Betriebe.

Tabelle 8.

Ermittlung der zweckmäßigen Verkehrsziffer für die elektrische Treidelei
(in Millionen Tonnen).

Kanallänge l = Schleusenanzahl km	Im Vergleich mit									
	I. dem Schlepperbetrieb auf Grund						II. dem Selbstfahrer bei			
	a) der Schleppkosten			b) der Frachtkosten			a) langer		b) kurzer	
	Liegefrist									
	Einzel- schleusen ¹⁾	Doppel- schleusen	Schleppzug- schleusen	Einzel- schleusen ²⁾	Doppel- schleusen ³⁾	Schleppzug- schleusen	Einzel- schleusen ²⁾	Doppel- schleusen ³⁾	Einzel- schleusen ²⁾	Doppel- schleusen ³⁾
4	1,32	1,69	2,76	0,97	1,03	2,76	2,01	2,01	5,00	5,00
7	1,96	2,08	3,18	1,31	1,58	3,18	1,92	1,92	4,48	4,48
10	2,38	2,58	3,37	1,54	2,01	3,37	1,89	1,89	4,30	4,30
15	2,74	2,91	3,54	2,04	2,04	3,50	1,86	1,85	4,15	4,10
20	2,96	3,12	3,66	2,41	2,74	3,66	1,85	1,78	4,10	3,78
30	3,24	3,37	3,74	2,96	3,06	3,74	1,83	1,72	4,00	3,51
50	3,50	3,58	3,82	3,27	3,36	3,82	1,73	1,67	3,58	3,30
80	3,65	3,70	3,87	3,51	3,58	3,87	1,68	1,64	3,37	3,21

Diese Verkehrsziffer erhalten wir, wenn wir die Kosten der verglichenen Betriebsarten einander gleich setzen. Bei Einzelschleusen und Doppelzügen sind z. B. die Frachtkosten der elektrischen Treidelei und des Schlepperbetriebes gleich groß, wenn:

$$0,260 \left(1 + \frac{4,6}{l}\right) + \frac{81,4}{n} + \frac{K_b}{V} = 0,325 \left(1 + \frac{6,4}{l}\right) + \frac{87,8}{n},$$

woraus dann bei gegebener Transportentfernung n und gegebenem

$l = \frac{\text{Kanallänge}}{\text{Schleusenanzahl}}$ die Unbekannte V zu ermitteln ist. In Tabelle 8

1) Bis $l \leq 8,6$ km elektrischer Einzelzug.

2) Bis $l \leq 29,0$ „ „ „
bis $l \leq 9,6$ „ Schleppereinzug.

3) Bis $l \leq 12,9$ „ elektrischer Einzelzug.

Im übrigen Doppelzüge.

ist dies für verschiedene Werte von l bei Kanälen mit Einzel-, Doppel- oder Schleppzugschleusen und unter Annahme einer Transportentfernung von 300 km ausgerechnet.

Die Vergleichung der elektrischen Treidelei mit dem Schlepperbetriebe erfolgte hierbei sowohl mit Bezug auf die Schleppkosten, wie auf die Frachtkosten. Bei Annahme derselben Liegezeit im Hafen für beide Betriebsarten, hat die längere oder kürzere Dauer derselben auf den Vergleich keinen Einfluß, da sie in beiden Fällen die Kahnkosten in derselben Weise erhöht oder verringert. Hingegen muß die Vergleichung der elektrischen Treidelei mit dem Selbstfahrer sowohl für lange, wie für kurze Liegezeiten durchgeführt werden.

Aus der Vergleichung der elektrischen Treidelei mit dem Schlepperbetriebe in Tabelle 8 geht nun hervor, daß die elektrische Treidelei für schleusenreiche Kanäle schon bei viel geringerem Verkehr dem Schlepperbetriebe überlegen ist als bei Kanälen ohne oder mit nur wenig Schleusen. Besonders bei Kanälen mit vielen Einzelschleusen liegen die Verhältnisse für die Einführung der elektrischen Treidelei günstig. Bei 4 bis 15 km mittlerem Schleusenabstande wird die elektrische Treidelei schon von einem Verkehre von 1 bis 2 Millionen Tonnen an günstiger als der Schlepperbetrieb. Bei größeren Werten von l beträgt dann der erwünschte Verkehr schon mehr, und zwar je nach dem Schleusenabstande 2,0—3,5 Millionen Tonnen.

Hierbei kommt aber noch ein anderer Umstand mit in Betracht: nämlich die Verringerung der Leistungsfähigkeit der Schleusen infolge Belastung derselben durch die Schleppdampfer. Die größte Jahresleistung als das Zweihundertfache der ununterbrochenen Tagesleistung im 15 stündigen Betriebe gesetzt, ergibt sich dieselbe für die Einzelschleusen bei der elektrischen Treidelei zu

$$15 \cdot \frac{60}{21} \cdot 360 \cdot 200 = 3,1 \text{ Mill. t}$$

und beim Schlepperbetriebe zu

$$2 \cdot 15 \cdot \frac{60}{63} \cdot 360 \cdot 200 = 2,1 \text{ Mill. t.}$$

Bei einem Verkehre von über 2 Millionen Tonnen kann man also im Falle des Schlepperbetriebes mit Einzelschleusen im 15 stündigen Tagesbetriebe nicht mehr auskommen. Es müßten dann, wenn man von Einführung des Nachtbetriebes an den Schleusen absieht, zweite Schleusen gebaut werden, während man bei elektrischer Treidelei bis 3,1 Millionen Tonnen mit der einfachen Schleuse auskommen würde. Die Einführung der elektrischen Treidelei ist deshalb mit Rücksicht auf Ausnutzung der vorhandenen Anlagen auch bei Kanälen mit weniger Schleusen schon

von 2 Millionen Tonnen an wirtschaftlich begründet, selbst wenn auf Grund der Frachtkosten dies nach Tabelle 8 bei $l > 15$ erst bei höherem Verkehre zutrifft.

Bei Kanälen mit Doppelschleusen wird die elektrische Treidelei, wie aus Spalte 2 der Tabelle hervorgeht, ebenfalls schon bei verhältnismäßig niedrigem Verkehre dem Schlepperbetriebe gleich. Die größte Leistungsfähigkeit der Doppelschleuse beträgt bei mechanischem Schiffszuge:

$$15 \cdot \frac{60}{23} \cdot 2 \cdot 360 \cdot 200 = 5,65 \text{ Mill. t}$$

und beim Schlepperbetriebe:

$$15 \cdot \frac{60}{44+23} \cdot 4 \cdot 360 \cdot 200 = 3,9 \text{ Mill. t.}$$

Legt man der Vergleichung nur die Schleppkosten zugrunde, dann erreicht die elektrische Treidelei die Schleppschiffahrt bei einem etwas höheren Verkehre als mit Bezug auf die ganzen Frachtkosten. (Vgl. Tabelle 8.)

Bei Schleppzugschleusen ist das Ergebnis auf Grund beider Kosten dasselbe, da der Schleusungs-Zeitverlust derselbe ist. Die elektrische Treidelei erreicht hier erst bei höherem Verkehre den Schlepperbetrieb und zwar von $2\frac{3}{4}$ bis 4 Millionen Tonnen an, je nach der Dichtigkeit der Schleusen. Die Leistungsfähigkeit der Schleppzugschleusen weicht bei den beiden Betriebsarten nur wenig ab. Es ist allerdings ein kleiner Unterschied in den Baukosten der Schleusen vorhanden, da die Kammern für elektrische Treidelei nur 140 m lang zu sein brauchen, also um rund 25 m kürzer sein können, als beim Schlepperbetriebe.

Die Vergleichung mit dem Selbstfahrer in den letzten Spalten derselben Tabelle zeigt, daß, die jetzt noch allgemein übliche lange Liegefrist angenommen, die elektrische Treidelei schon von 1,6 bis 2,0 Millionen Tonnen an dem Selbstfahrer überlegen ist. Hingegen wird dies bei der kurzen Liegezeit der Selbstfahrer erst bei einem Verkehre von 3 bis 5 Millionen Tonnen erreicht, je nach der Dichtigkeit der Schleusen. Die größere Anzahl von Schleusen ist, wie ersichtlich, für den Selbstfahrer vorteilhafter, da sich dessen Durchfahrt durch die Schleusen noch glatter gestaltet als die des mechanischen Schleppzuges. Da die angesetzten Grenzwerte für die verkürzte Liegezeit wohl bei einigen bestimmten Schifffahrtsverbindungen, aber kaum und nur bei sehr entwickeltem Verkehre von der ganzen Schifffahrt erreicht werden können, so ist im allgemeinen die elektrische Treidelei auch dem Selbstfahrer gegenüber von etwa 2 Millionen Tonnen an wirtschaftlich gleichwertig bzw. überlegen.

Die Zahlen in Tabelle 8 dienen zur übersichtlichen Beurteilung der Anwendungsmöglichkeit der elektrischen Treidelei, auch bei verhältnismäßig geringerem Verkehre. Um nun in gegebenem Falle die Kosten der einzelnen Betriebsarten vergleichen zu können, sind in Fig. 8, 9 und 10 die Schlepp- und die Frachtkosten der drei Betriebsarten bei Kanälen mit Einzel-, Doppel- und mit Schleppzugschleusen aufgezeichnet für verschiedene Verkehrsgrößen. Aus diesen graphischen Darstellungen kann gegebenenfalls ohne Rechenarbeit festgestellt werden, welches die jeweilig günstigere Betriebsart und wie groß die erzielte Ersparnis ist. Es ist aus diesen Darstellungen ersichtlich, daß die durch die elektrische Treidelei erreichbare Ersparnis bei größerem Verkehre eine ziemlich bedeutende ist.

In der folgenden Tabelle 9 sind diese gegenüber dem Schleppbetrieb erreichbaren Ersparnisse an Schlepp- bzw. Frachtkosten bei einem 5 Millionen-Tonnen-Verkehre zusammengestellt.

Tabelle 9.

Ersparnisse bei elektrischer Treidelei gegenüber dem Schlepperbetriebe.

Kanallänge I Schleusenanzahl	A. Doppelschleusen				B. Schleppzugschleusen			
	an Frachtkosten		an Schleppkosten		an Frachtkosten		an Schleppkosten	
	Pf/tkm	%	Pf/tkm	%	Pf/tkm	%	Pf/tkm	%
4	—	—	—	—	0,055	9	0,055	21
7	0,125	19	0,082	30	0,040	7,5	0,040	18
10	0,100	16,5	0,065	27	0,032	6,0	0,032	15.5
15	0,075	13,5	0,050	23	0,027	5,5	0,027	14
20	0,058	11	0,041	20	0,025	5,2	0,025	13
30	0,041	8	0,031	16	0,023	4,9	0,023	12
50	0,031	6,5	0,024	13	0,020	4,4	0,020	11

Sämtlichen Tabellen und graphischen Darstellungen dieses Kapitels liegen die auf S. 5 gemachten allgemeinen Annahmen und die Transportweite von 300 km zugrunde. Eine größere Rückfracht als 1/5 verschiebt das Verhältnis nur in sehr geringer Weise zugunsten des Selbstfahrers, Tag- und Nachtbetrieb etwas zugunsten des Schlepperbetriebes. Die graphischen Darstellungen können demnach auch bei Änderung der gemachten Annahmen mit genügender Genauigkeit zur Vergleichung der Kosten gebraucht werden.

Hingegen ist eine wesentliche Änderung der Transportweite schon von bedeutenderem Einflusse auf das Verhältnis der Betriebsarten. Kleinere Transportweite als 300 km beeinflusst den Schlepperbetrieb und besonders den Selbstfahrer im Verhältnisse zur elektrischen Treidelei in ungünstiger, größere Transportentfernung in vorteilhafter Weise. Weicht gegebenenfalls die Transportweite von der hier angenommenen bedeutend ab, dann können die jeweiligen Kosten mit Hilfe der Formeln in Tabelle 6 berechnet und verglichen werden.

In derselben Weise werden die Kosten mit Hilfe der Formeln in Tabelle 10 berechnet, wenn auf dem zu untersuchenden Transportwege Schleusen verschiedener Art vorhanden sind. Die Tariflänge n' wird mit Hilfe der in Tabelle 6 ermittelten Zusatzlängen Δl in üblicher Weise bestimmt.

Tabelle 10.

Formeln für Kanäle mit verschiedenen Schleusen-Arten.

n' = Tariflänge in km, n = Transportlänge in km, K_b = Jahreskosten der Treidelbahn in Pf., V = Verkehr in t.

Betriebsart	Schleppkosten Pf/tkm	Frachtkosten bei		
		langer Liegezeit Pf/tkm	kurzer Pf/tkm	
1. Schlepperbetrieb	(a) Einzelzug	$0,215 \frac{n'}{n} + \frac{10,0}{n}$	$0,388 \frac{n'}{n} + \frac{91,4}{n}$	$0,388 \frac{n'}{n} + \frac{40,5}{n}$
	(b) Doppelzug	$0,152 \frac{n'}{n} + \frac{6,4}{n}$	$0,325 \frac{n'}{n} + \frac{87,8}{n}$	$0,325 \frac{n'}{n} + \frac{36,9}{n}$
2. Elektr. Treidelei	(a) Einzelzug	$0,111 \frac{n'}{n} + \frac{K_b}{V}$	$0,284 \frac{n'}{n} + \frac{81,4}{n} + \frac{K_b}{V}$	$0,284 \frac{n'}{n} + \frac{30,5}{n} + \frac{K_b}{V}$
	(b) Doppelzug	$0,087 \frac{n'}{n} + \frac{K_b}{V}$	$0,260 \frac{n'}{n} + \frac{81,4}{n} + \frac{K_b}{V}$	$0,260 \frac{n'}{n} + \frac{30,5}{n} + \frac{K_b}{V}$
3. Selbstfahrer	—	$0,316 \frac{n'}{n} + \frac{128,3}{n}$	$0,316 \frac{n'}{n} + \frac{48,1}{n}$	

Die Kosten des Selbstfahrers sind in Tabelle 4 nur für den Dampfselbstfahrer ermittelt worden; doch weichen die Kosten des Sauggas-Einzelfahrers von diesen nur wenig ab, so daß die gefundenen Ergebnisse auch für diesen verwendet werden können. Hingegen stellen sich die Kosten des elektrischen Einzelfahrers bedeutend höher, als die des Dampf-Selbstfahrers¹⁾.

Das Ergebnis der Untersuchungen kann in folgenden Punkten zusammengefaßt werden:

¹⁾ Vgl. Sympher usw. in der „Zeitschr. f. Bauw.“, 1907, S. 589.

1. Die Teilung des Doppelzuges bietet beim Schlepperbetriebe keine Vorteile. Hingegen ist bei elektrischer Treidelei der Einzelzug schon von einer mittleren Schleusenanzahl an dem Doppelzuge wirtschaftlich überlegen. (Vgl. Tabelle 7.)
2. Bei einschiffigen Einzel- oder Doppelschleusen ist die elektrische Treidelei, je nach der Schleusenentfernung von 4 bis 80 km, schon von einem Verkehre von 1 bis $3\frac{1}{2}$ Millionen Tonnen an dem Schlepperbetriebe überlegen, bei Schleppzugschleusen hingegen erst von $2\frac{3}{4}$ Millionen Tonnen an. Dem Selbstfahrer ist die elektrische Treidelei bei der üblichen langen Liegezeit schon von rund 2 bis $1\frac{1}{2}$ Millionen Tonnen überlegen, hingegen bei der kurzen Liegezeit erst von 5 bis $3\frac{1}{3}$ Millionen Tonnen an, je nach der Schleusen-Entfernung von 4 bis 80 km.
3. Bei größerem Verkehre (etwa 5 Millionen Tonnen) ist die durch elektrischen Treidelbetrieb auf schleusenreichen Kanälen gegenüber dem Schlepperbetriebe erreichbare Ersparnis an Fracht- bzw. Schleppkosten eine sehr erhebliche und beträgt je nach der Schleusenentfernung bis zu 30 v. Hdt.
4. Die Leistungsfähigkeit der Einzel- und Doppelschleusen ist bei elektrischer Treidelei um rund 45 v. Hdt. größer als beim Schlepperbetriebe.

Das Ergebnis ist also ein für die elektrische Treidelei überaus günstiges. Hierbei sei darauf hingewiesen, daß bei der elektrischen Treidelei dem Monopolbetriebe durch Einsetzung von 50 v. Hdt. mehr Betriebsmitteln, als durchschnittlich erforderlich wären, reichlich Rechnung getragen wurde, ohne daß auch die Vorteile, welche die eisenbahnähnliche Pünktlichkeit des elektrischen Monopol-Treidelbetriebes durch Fortfall der Wartezeit an den Schleusen und kürzere Liegezeit in den Häfen mit sich bringt, besonders berücksichtigt worden wären. Es wurden vielmehr bei dem, bekanntlich sehr unregelmäßigen freien Schlepperbetrieb dieselben Warte- und Liegezeiten angesetzt, wie bei der elektrischen Treidelei und außerdem eine gute Ausnutzung der Dampfer nur einen Tag Liegezeit nach jeder Fahrt von 300 km) angenommen.

Vergleichung der Einzel-, Schleppzug- und Doppelschleusen.

Wie aus den bisherigen Ausführungen hervorgeht, hängen die Frachtkosten wesentlich von der Schleusenart ab. Um einen möglichst wirtschaftlichen Transportweg zu erhalten, muß deshalb die Wahl der Schleusenart beim Bau eines Kanals unter Berücksichtigung der Frachtkosten stattfinden. Es soll nun im folgenden eine wirtschaftliche Vergleichung der Schleusenarten und zwar unter Voraussetzung des elektrischen Treidelbetriebes durchgeführt werden.

Wie aus Figur 7 hervorgeht, sind die Frachtkosten bei durch Doppelzüge befahrenen Schleppzugschleusen die geringsten und zwar bei jeder Schleusendichtigkeit. Dies fällt im Vergleiche zur Doppelschleuse um so mehr ins Gewicht, als auch die Anlagekosten der Schleppzugschleuse geringer sind, als die der Doppelschleuse.

Es soll deshalb die Schleppzugschleuse des näheren mit der Doppel- und mit der Einzelschleuse verglichen werden.

A. Doppelschleuse und Schleppzugschleuse.

Um ein richtiges Bild bezüglich der größeren Wirtschaftlichkeit der einen oder anderen Schleusenart zu gewinnen, müssen außer den Frachtkosten auch die Schleusungskosten beachtet werden. Die Untersuchung soll für Schleusen mit 4 m Gefälle durchgeführt werden.

Nach den Angaben von *Prüsmann*¹⁾ betragen die Jahreskosten einer Doppelschleuse von 4,0 m Gefälle 48000 M und die einer ähnlichen Schleppzugschleuse 36000 Mark. Das Verhältnis der Kosten der beiden Schleusenarten bleibt auch bei anderem Gefälle ganz dasselbe²⁾. Die Vergleichung behält also auch bei anderen Gefällen volle Gültigkeit. In den Kosten der Schleppzugschleuse ist auch ein Mitteltor berücksichtigt. Die Kosten der Doppelschleuse sind um 33 v. Hdt. höher als die der Schleppzugschleusen, andererseits ist aber die Leistungsfähigkeit der Doppelschleuse um 24 v. Hdt. größer (5,6 Millionen Tonnen gegen 4,5 Millionen Tonnen jährlich bei 15stündigem Tagesbetriebe). Es sind dementsprechend in der folgenden Tabelle 11 die Jahreskosten der Doppelschleuse auf 5,6, die der Schleppzugschleuse nur auf 4,5 Millionen Tonnen verteilt worden.

¹⁾ In der „Z. f. Bauwesen“, S. 515 und 742.

²⁾ Vgl. auch Tab. 13 auf S. 42.

Tabelle 11.

Vergleichung der Schleusungs- und Frachtkosten bei der Doppel- und Schleppzugschleuse.

l = Kanallänge Schleusenanzahl	1. Schleusungskosten auf 1 tkm		2. Frachtkosten bei		3. Zusammen	
	Doppel- Schl.	Schlepp- zugschl.	Doppel- Schl. ¹⁾	Schlepp- zugschl.	Doppel- Schl.	Schlepp- zugschl.
= Haltungslänge	$k_s = \frac{K_s}{l \cdot V}$		V = 4,5 Mill. t.			
km	V = 5,6 Mill. t V = 4,5 Mill. t Pf/tkm		Pf/tkm		Pft/km	
4	0,214	0,200	0,586	0,584	0,800	0,784
7	0,122	0,114	0,533	0,522	0,655	0,636
10	0,086	0,080	0,512	0,497	0,598	0,577
15	0,057	0,053	0,492	0,477	0,549	0,530
20	0,043	0,040	0,478	0,467	0,521	0,507
30	0,029	0,027	0,465	0,458	0,494	0,485
50	0,017	0,016	0,454	0,450	0,471	0,466

Die Schleppzugschleuse erweist sich nach der letzten Spalte dieser Tabelle, selbst bei Berücksichtigung der größeren Leistungsfähigkeit der Doppelschleuse, bei jeder Haltungslänge als die wirtschaftlich günstigere.

Noch günstiger wird das Ergebnis für die Schleppzugschleuse, wenn wir der Berechnung der Schleusungskosten denselben Verkehr für beide Schleusenarten zugrunde legen. Dies ist in folgender Zusammenstellung für die Schleusendichtigkeit von $l = 15$ km geschehen.

Tabelle 12.

Verkehr	1. Schleusungskosten		2. Frachtkosten		3. Zusammen		Ersparnis bei der Schlepp- zugschleuse %
	Doppel- schleuse	Schlepp- zugschleuse	Doppel- schleuse	Schlepp- zugschleuse	Doppel- schleuse	Schlepp- zugschleuse	
Mill. t	Pf/tkm	Pf/tkm	Pf/tkm	Pf/tkm	Pf/tkm	Pf/tkm	
3,1	0,103	0,077	0,526	0,511	0,629	0,588	6,5
3,5	0,092	0,069	0,513	0,498	0,605	0,567	6,3
4,0	0,080	0,060	0,501	0,486	0,581	0,546	6,0
4,5	0,071	0,053	0,492	0,477	0,563	0,530	5,9

¹⁾ Bis $l \leq 10$ km werden die Doppelschleusen mit Einzelzügen, darüber hinaus mit Doppelzügen befahren.

Die Ersparnis bei der Schleppzugschleuse beträgt also bei gegebenem Verkehr rund 6 v. Hdt. Die Schleppzugschleuse ist demnach der Doppelschleuse wirtschaftlich überlegen. Der häufigeren Verwendung der Schleppzugschleuse steht der Umstand im Wege, daß sie sich dem erst allmählich sich entwickelnden Verkehre nicht so gut anpaßt wie die Doppelschleuse, welche bei geringem Anfangsverkehre zuerst nur als Einzelschleuse ausgebaut zu werden braucht.

Es fragt sich nun aber, ob nicht die Schleppzugschleuse auch schon bei kleinerem Verkehre, welchen noch die Einzelschleuse bewältigen könnte, der letzteren vorzuziehen wäre. Hierauf soll die folgende Vergleichung der beiden Schleusenarten die Antwort geben.

B. Einzelschleuse und Schleppzugschleuse.

Die Baukosten der Schleppzugschleuse sind bedeutend größer als die der einschiffigen Schleuse; es wird deshalb die Anwendung von Schleppzugschleusen erst von einem gewissen Verkehr an zweckmäßig.

Den Verkehr, bei welchem die beiden Schleusenarten gleichwertig werden, erhalten wir, wenn wir die Summe der Frachtkosten und Schleusungskosten für Einzel- und für Schleppzugschleusen einander gleichsetzen.

Bezeichnen wir die Jahreskosten der Einzelschleuse mit S_1 , die der Schleppzugschleuse mit S_2 und behalten im übrigen die bisherigen Bezeichnungen bei, dann erhalten wir diesen Verkehr wie folgt:

- a) wenn die Einzelschleuse durch Einzelzüge befahren wird ($l \leq 29$ km)

$$\begin{aligned} & 0,284 \left(1 + \frac{1,75}{l} \right) + \frac{30,5}{n} + \frac{K_b}{V} + \frac{S_1}{l \cdot V} \\ & = 0,260 \left(1 + \frac{2,25}{l} \right) + \frac{30,5}{n} + \frac{K_b}{V} + \frac{S_2}{l \cdot V}, \end{aligned}$$

woraus der für Schleppzugschleusen erwünschte Verkehr

$$V = \frac{S_2 - S_1}{0,024 l - 0,088}$$

- b) wenn die Einzelschleuse von Schleppzügen befahren wird ($l > 29$) ergibt sich wie oben aus den anderen entsprechenden Formeln

$$V = \frac{S_2 - S_1}{0,612}$$

In der folgenden Tabelle 13 sind die Werte von V für Schleusen von verschiedenem Gefälle ermittelt. Die Jahreskosten S_2 und S_1 sind für Kanalschleusen mit gemauerten Wänden und Sparbecken, ähnlich

denen am Dortmund-Ems-Kanale, nach den von *Prüsmann*¹⁾ angegebenen Werten eingesetzt bzw. für 2,5 und 3 m Gefälle ergänzt.

Da die Einzelschleuse die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit im Tagesbetriebe bei einem Verkehre von 3,1 Million Tonnen erreicht, so kann die Frage nur die sein, ob die Anwendung von Schleppzugschleusen schon bei kleinerem Verkehr wirtschaftlich begründet ist.

Tabelle 13.

Ermittlung des zweckmäßigen Verkehrs für Schleppzug-Schleusen.

Gefälle der Schleusen m	Jahreskosten		$S_2 - S_1$ 1000 M	V in Millionen t bei $l = \frac{\text{Kanallänge}}{\text{Schleusenanzahl}}$	
	der Schlepp- zugschleuse S_2 1000 M	der Einzel- schleuse S_1 1000 M		$l = 20$	$l \geq 30$
	2,5	27		18	9
3,0	30	20	10	2,5	1,6
4,0	36	24	12	3,1	2,0
5,0	42	28	14	> 3,1	2,3
6,0	54	35	19	> 3,1	3,1

Wie aus der letzten Spalte zu ersehen ist, ist dies hauptsächlich erst bei $l \geq 30$ km der Fall.

Das Ergebnis der Vergleichung der Einzel-, Doppel- und Schleppzugschleusen kann nun, wie folgt, kurz zusammengefaßt werden:

1. Übersteigt der rechnermäßige Anfangsverkehr die Leistungsfähigkeit der Einzelschleuse (3,1 Millionen Tonnen), dann ist bei der Wahl zwischen Doppel- und Schleppzugschleuse die letztere wirtschaftlich vorzuziehen;
2. auch bei einem geringeren Verkehr, welchen die Einzelschleuse noch bewältigen könnte ($< 3,1$ Millionen Tonnen), ist die Schleppzugschleuse schon wirtschaftlich zweckmäßig, aber nur bei Kanälen mit wenig Schleusen von geringem Gefälle ($l \geq 20$ km, $m \leq 4$ m).

Bei Kanälen mit vielen Schleusen ist die Schleppzugschleuse der Einzelschleuse überlegen, wenn nicht elektrische Treidelei, sondern Schlepperbetrieb vorgesehen ist. Namentlich ist dies der Fall, wenn

¹⁾ Vgl. „Zeitschr. f. Bauw.“, 1905, S. 515 und 741.

es sich um Schleusen mit geringen Anlagekosten, z. B. ohne Sparbetrieb und mit geböschten Seitenwänden handelt.

Dies sei an einem Beispiel — der Kanalisierung der Mosel — gezeigt²⁾, wobei gleichzeitig das Ergebnis, welches die aufgestellten Formeln geben, mit dem für diesen besonderen Fall bereits anderweitig gefundenen Resultate verglichen werden kann.

Die Frachtkosten und Schleusungskosten des Einzelzuges bei Einzelzugschleusen von 100 m Länge, (Schleusungs-Zeitverlust 17 Min. demnach $\Delta l = 1,42$) und des Doppelzuges bei Schleppzugschleusen einander gleichgesetzt, erhalten wir, Schlepperbetrieb vorausgesetzt,

$$0,388 \left(1 + \frac{1,42}{l}\right) + \frac{40,5}{n} + \frac{S_1}{l \cdot V} = 0,325 \left(1 + \frac{2,25}{l}\right) + \frac{36,9}{n} + \frac{S_2}{l \cdot V},$$

woraus dann

$$V = \frac{S_2 - S_1}{0,063 \cdot l + \frac{3,6 \cdot l}{n}} = 0,180.$$

Die für die kanalisierte Mosel einzusetzenden Werte sind folgende:

- a) Länge der kanalisierten Mosel . . . 275 km
- b) Schleusenzahl 38
- c) hieraus $l = \frac{275}{38} = \text{rd. } 7 \text{ km}$

mittlere Transportweite: $275 + 190 = 465 \text{ km.}$

Die Kostenersparnis der Einzelzugs-Schleusen gegenüber der Schleppzugschleusen beträgt auf der kanalisierten Mosel nach *Landsberger* 165 000 M, demnach an einer Schleuse

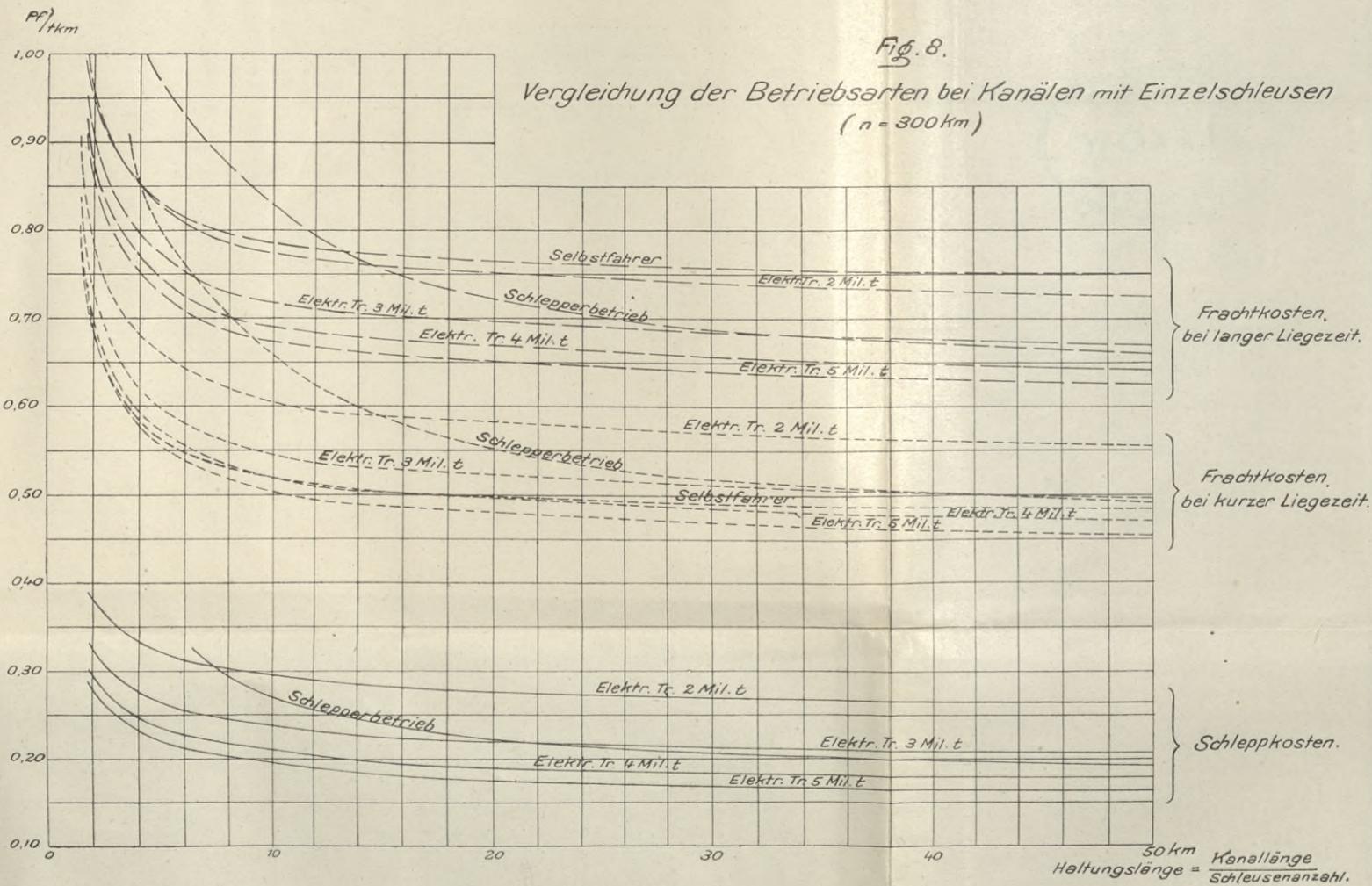
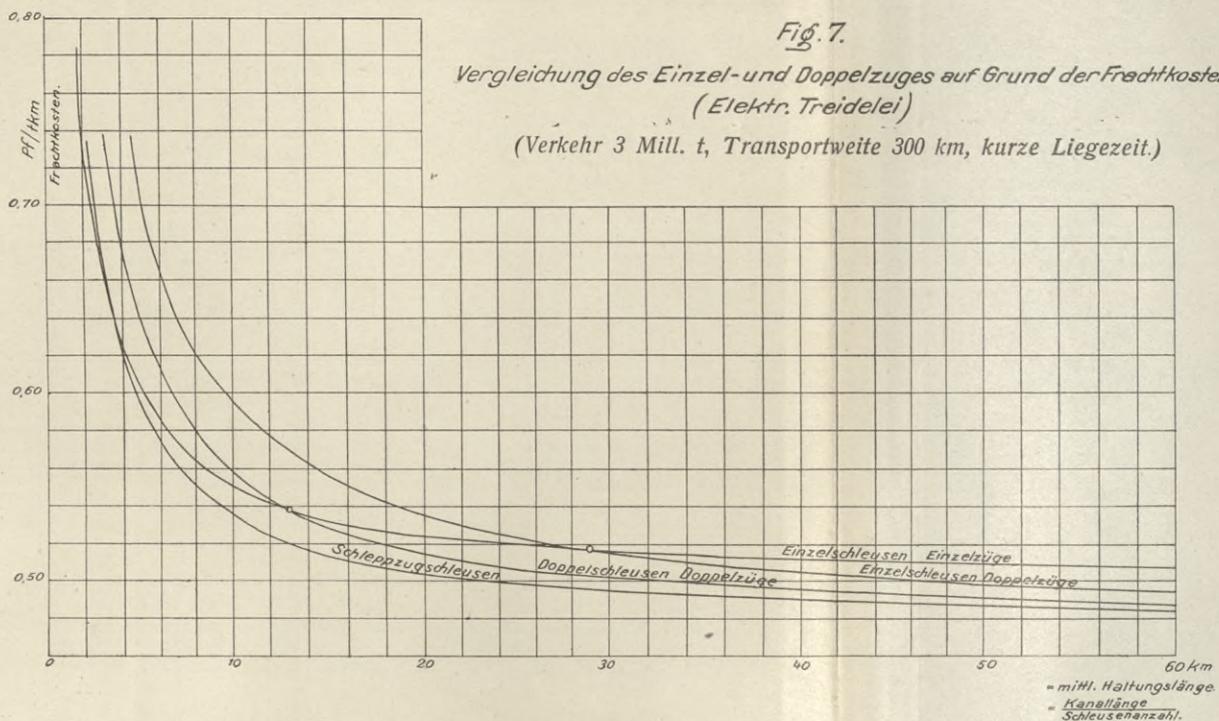
$$S_2 - S_1 = \frac{165\,000}{38} = 4350 \text{ Mark.}$$

Die Schleppzugschleuse wird daher wirtschaftlich von einem Verkehr von

$$V = \frac{435\,000}{0,063 \cdot 7 + \frac{3,6 \cdot 7}{465}} = \text{rd. } 1,4 \text{ Mill. Tonnen.}$$

Landsberger ermittelt auf Grund eingehender Berechnungen unter Zugrundelegung des Schleppmonopols 1,77 Millionen Tonnen. Die obige einfache Rechnung mit den aufgestellten Formeln gibt uns also einen für die Praxis hinreichend genauen Aufschluß.

²⁾ Vgl. *Landsberger*, im „Zentralblatt der Bauverwaltung“, 1907, Nr. 22 u. 24.



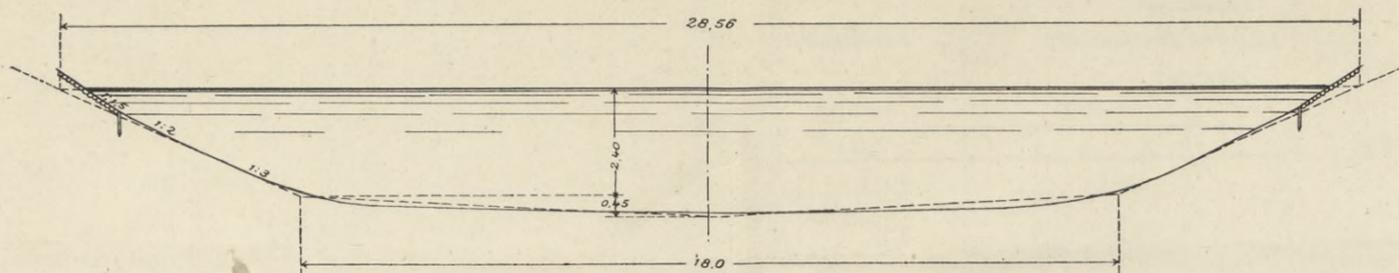


Fig. 1.
Kanalquerschnitt für 600^t Kähne.

Fig. 2.
Bestimmung der Rückströmungs-
geschwindigkeit.

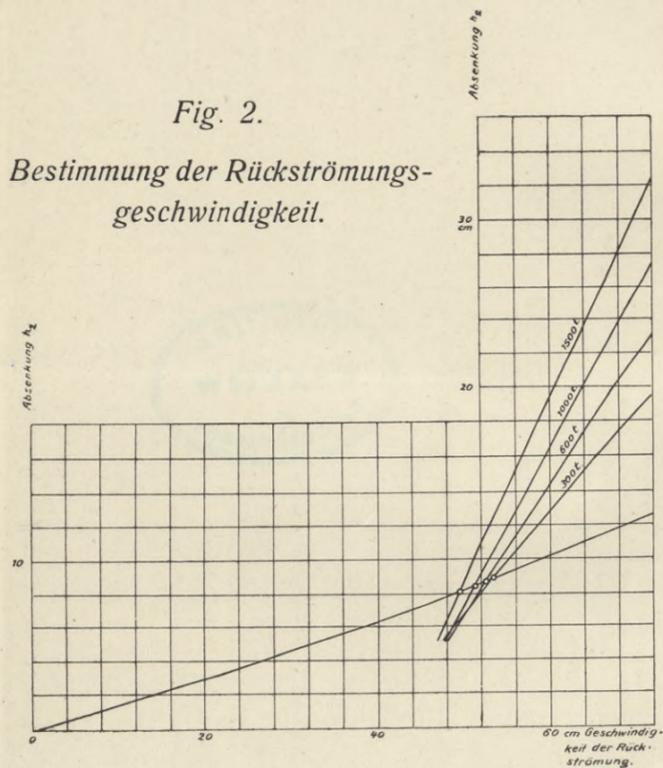


Fig. 4.

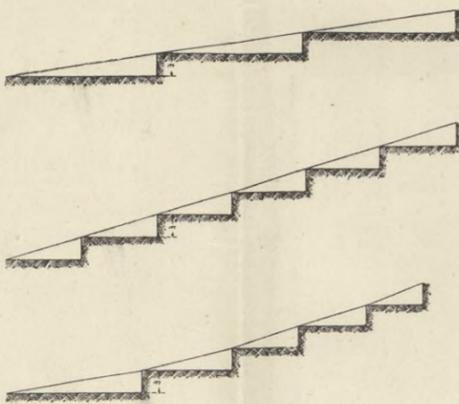


Fig. 5.
Vergleichung der Schiffsgrößen
auf Grund der Schifffahrtkosten
(einschl. Kosten der Wasserstraße)

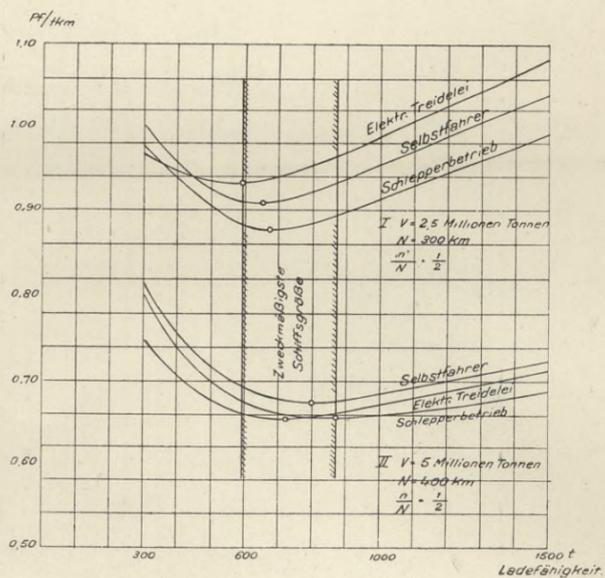
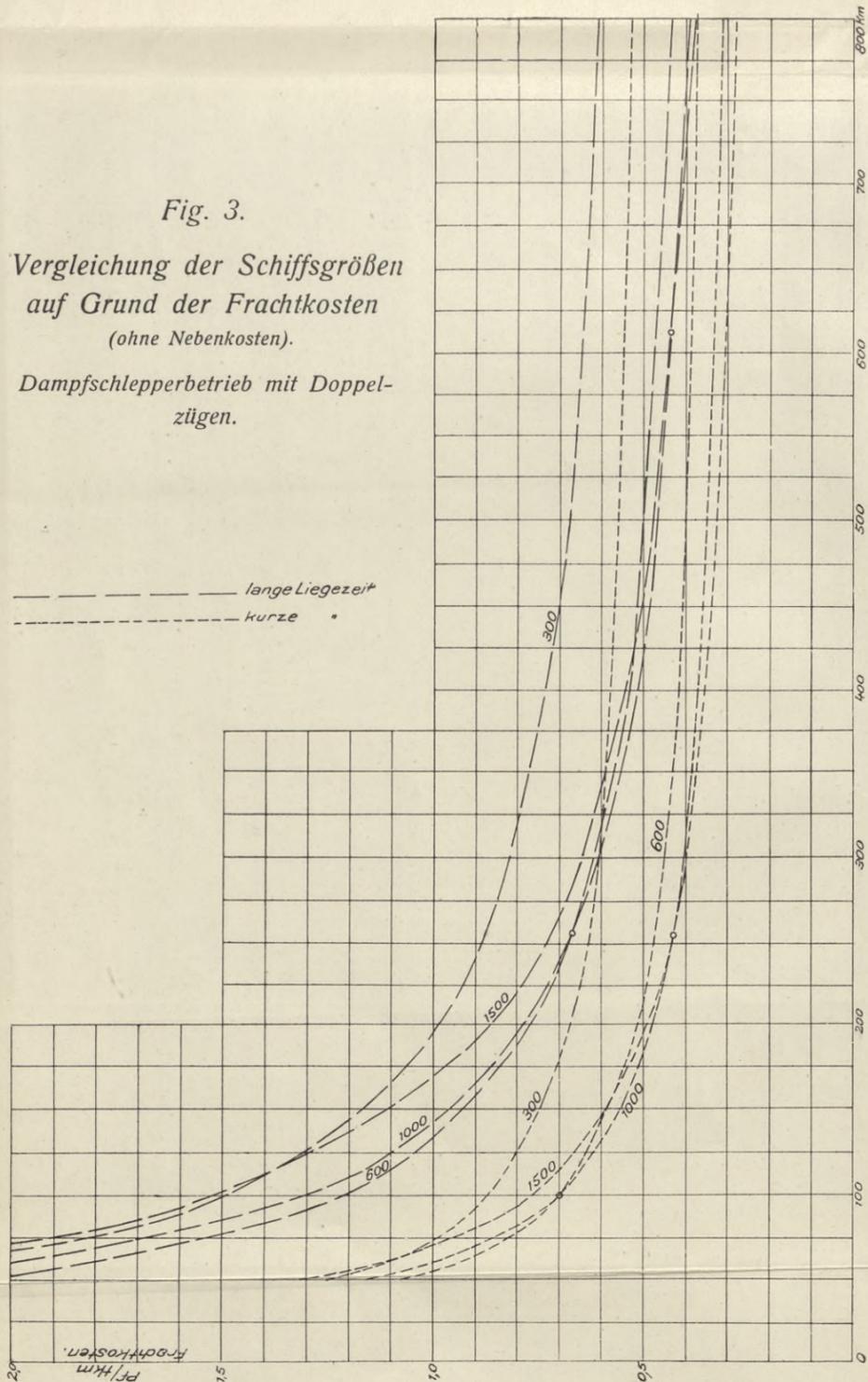


Fig. 3.
Vergleichung der Schiffsgrößen
auf Grund der Frachtkosten
(ohne Nebenkosten).
Dampfschlepperbetrieb mit Doppel-
zügen.



Dampfselbstfahrer { — lange Liegezeit
 { - - - - - kurze .
Elektr. Treidelei { — lange .
 { - - - - - kurze .
Dampfschlepperbetrieb { — lange .
 { - - - - - kurze .

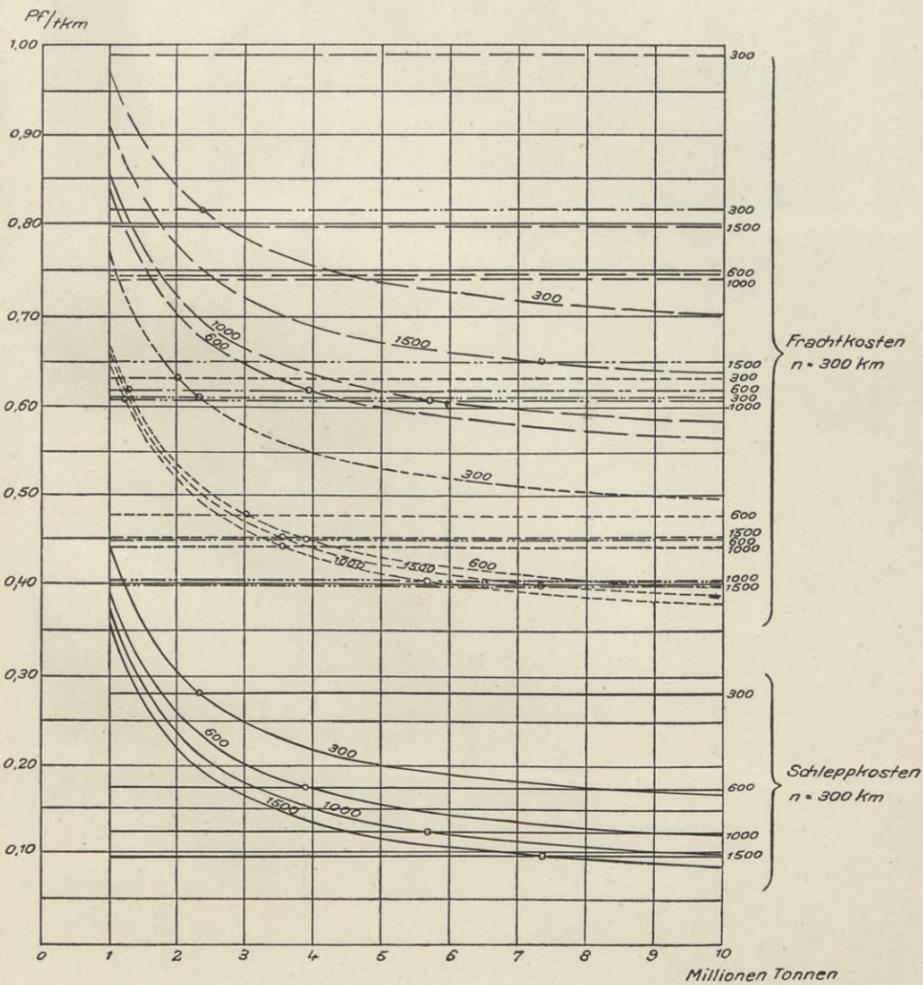
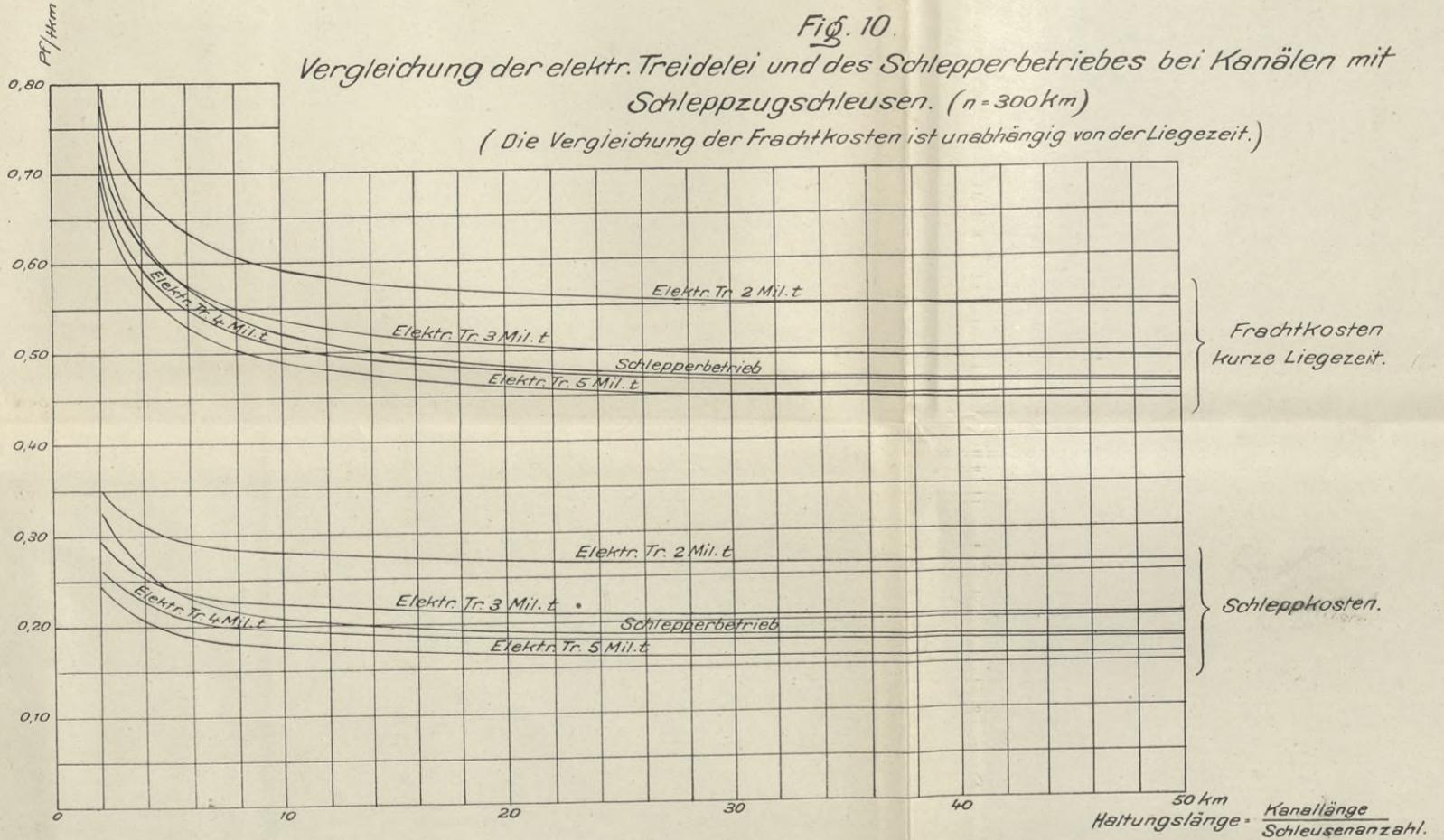
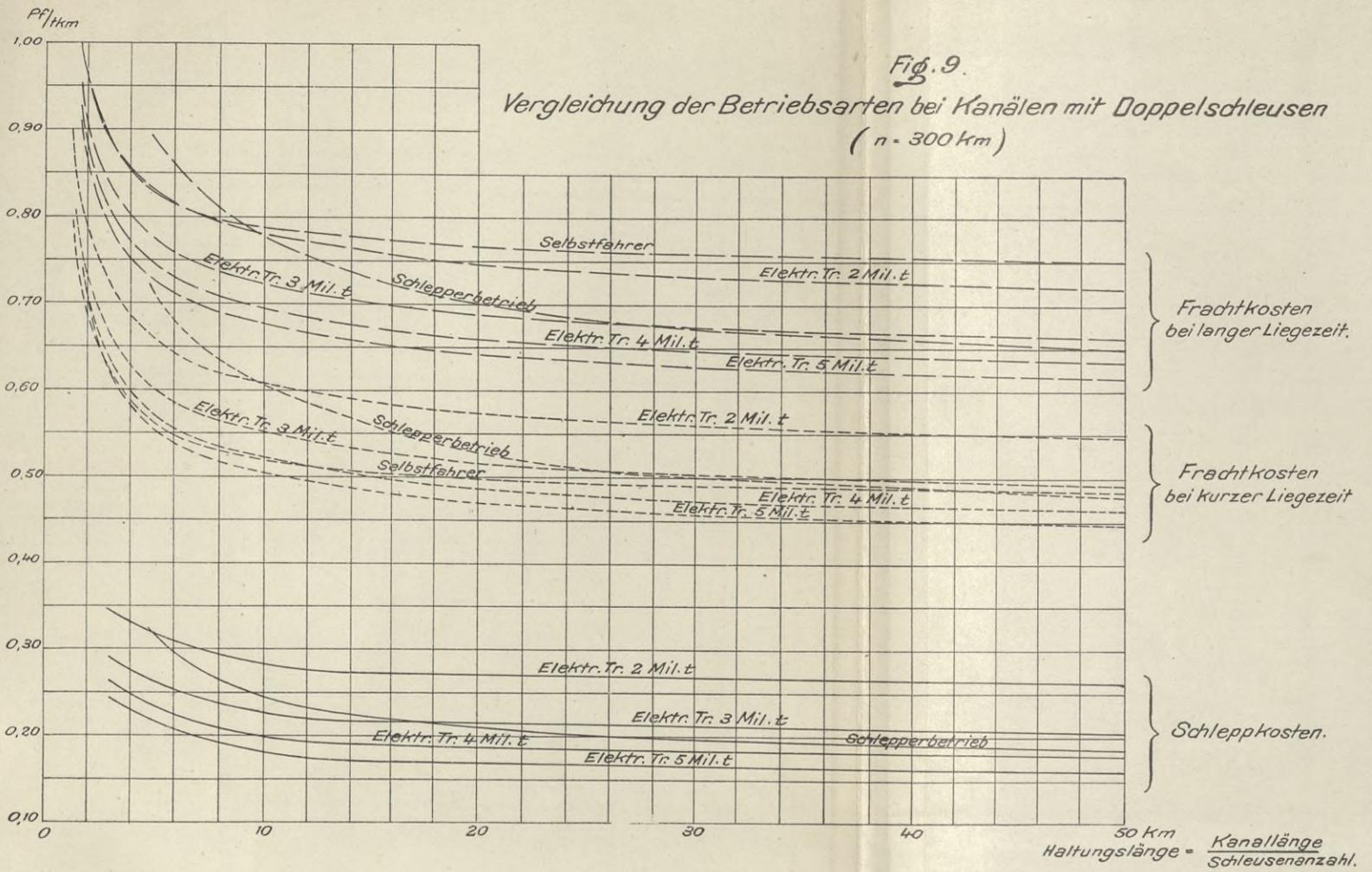


Fig. 6
Schlepp- u. Frachtkosten auf Kanälen ohne Schleusen.

Ermittlung der Fracht- und Schleppkosten für den Tariftkm.

n = wirkliche, n' = Tariflänge des Transportweges in km, K_b = Jahreskosten der Treidelbahn⁵⁾, V = kilometrischer Verkehr in t, C = Kosten der Treidelbahn auf 1 Tariftkm = $\frac{K_b \cdot n}{V \cdot n'}$.

Betriebsart	Erforderliche Maschinenstärke $N = \frac{W \cdot v}{\eta \cdot 75}$ HP.	Gewählte Maschinenstärke HP.	Anschaffungskosten 1000 Mk.	Jahreskosten ¹⁾ für 1 Schleppmittel Mk.	Löhne ²⁾ einschl. rund 4% für Krankenkasse usw. Mk.	Zusammen feste Jahreskosten = Kf Mk.	Feste Kosten für 1 tkm = kf Pf./tkm	Liegekosten, Liegezeit für den Schlepper 1 Tag, für die Kähne vgl. Anm. 3 Pf./tkm	Kosten der Betriebskraft einschl. Schmiermaterial Pf./tkm	Kilometergelder Pf./tkm	Schleppkosten Pf./tkm	Frachtkosten (Schleppkosten und Kahnkosten)		Bemerkungen																																																																																																			
												Liegezeit																																																																																																					
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.																																																																																																				
I. Dampfschleppbetrieb.	Einzelzug	300	35	42	26,5	5300	3560	8860	0,295	$\frac{18,2}{n'}$	0,054	0,028	$0,377 + \frac{18,2}{n'}$	$0,615 + \frac{107,9}{n'}$	$0,615 + \frac{45,5}{n'}$	<p>¹⁾ Quoten für die Jahreskosten</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Elektrische Lokomotive (Staatsbetr.) %</th> <th>Schlepper %</th> <th>Selbstfahrer (Maschine) %</th> <th>Schleppkahn %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verzinsung . . .</td> <td>3,5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Abschreibung . . .</td> <td>5,4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Unterhaltung . . .</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Versicherung . . .</td> <td>—</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Verwaltung . . .</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Zusammen . . .</td> <td>14,9</td> <td>20</td> <td>24</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td></td> <td>rd. 15,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>²⁾ Löhne</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Mk.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Schiffsführer</td> <td>1320—1440</td> </tr> <tr> <td>Maschinist</td> <td>1200—1320</td> </tr> <tr> <td>Bootsmann oder Heizer</td> <td>900—960</td> </tr> <tr> <td>Schiffsjunge</td> <td>360</td> </tr> </tbody> </table> <p>³⁾</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">t</th> <th colspan="2">Liegezeiten der Kähne</th> </tr> <tr> <th>lange Tage</th> <th>kurze Tage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>300</td> <td>13</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>16</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>23</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>1500</td> <td>32</td> <td>13</td> </tr> </tbody> </table> <p>⁴⁾ Kilometergelder</p> <p>Schiffs- bzw. Lokomotivführer u. Maschinist 2 Pf./km Bootsmann und Heizer 1 "</p> <p>⁵⁾ Jahreskosten der elektrischen Treidelbahn</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Bezeichnung</th> <th>Anlagekosten 1000 Mk.</th> <th>Abschreibung %</th> <th>Unterhaltung %</th> <th>Zusammen einschl. 3% für Verzinsung %</th> <th>Mk.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gleisanlage . . .</td> <td>29,5</td> <td>2,1</td> <td>0,75</td> <td>6,35</td> <td>1873</td> </tr> <tr> <td>Leitungsanlage ohne Maste . . .</td> <td>9,7</td> <td>5,5</td> <td>2</td> <td>11</td> <td>1067</td> </tr> <tr> <td>Hochbauten . . .</td> <td>6,4</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>6,5</td> <td>416</td> </tr> <tr> <td>Gittermaste . . .</td> <td>0,8</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>5,5</td> <td>44</td> </tr> </tbody> </table> <p>Zusammen Jahreskosten K_b = 3400</p> <p>⁶⁾ Die auf 1 tkm entfallenden Kahnkosten für den Selbstfahrer sind ebenso groß eingesetzt, wie für die übrigen Schleppbetriebe. Tatsächlich sind dieselben jedoch für den Selbstfahrer höher, da die Ladefähigkeit desselben kleiner ist.</p>		Elektrische Lokomotive (Staatsbetr.) %	Schlepper %	Selbstfahrer (Maschine) %	Schleppkahn %	Verzinsung . . .	3,5	5	5	5	Abschreibung . . .	5,4	5	6	5	Unterhaltung . . .	2	4	5	2	Versicherung . . .	—	1	1	1	Verwaltung . . .	4	5	7	3	Zusammen . . .	14,9	20	24	16		rd. 15,0					Mk.	Schiffsführer	1320—1440	Maschinist	1200—1320	Bootsmann oder Heizer	900—960	Schiffsjunge	360	t	Liegezeiten der Kähne		lange Tage	kurze Tage	300	13	4	600	16	6	1000	23	9	1500	32	13	Bezeichnung	Anlagekosten 1000 Mk.	Abschreibung %	Unterhaltung %	Zusammen einschl. 3% für Verzinsung %	Mk.	Gleisanlage . . .	29,5	2,1	0,75	6,35	1873	Leitungsanlage ohne Maste . . .	9,7	5,5	2	11	1067	Hochbauten . . .	6,4	1	2	6,5	416	Gittermaste . . .	0,8	1	1	5,5	44
			Elektrische Lokomotive (Staatsbetr.) %	Schlepper %	Selbstfahrer (Maschine) %	Schleppkahn %																																																																																																											
		Verzinsung . . .	3,5	5	5	5																																																																																																											
	Abschreibung . . .	5,4	5	6	5																																																																																																												
	Unterhaltung . . .	2	4	5	2																																																																																																												
	Versicherung . . .	—	1	1	1																																																																																																												
Verwaltung . . .	4	5	7	3																																																																																																													
Zusammen . . .	14,9	20	24	16																																																																																																													
	rd. 15,0																																																																																																																
	Mk.																																																																																																																
Schiffsführer	1320—1440																																																																																																																
Maschinist	1200—1320																																																																																																																
Bootsmann oder Heizer	900—960																																																																																																																
Schiffsjunge	360																																																																																																																
t	Liegezeiten der Kähne																																																																																																																
	lange Tage	kurze Tage																																																																																																															
300	13	4																																																																																																															
600	16	6																																																																																																															
1000	23	9																																																																																																															
1500	32	13																																																																																																															
Bezeichnung	Anlagekosten 1000 Mk.	Abschreibung %	Unterhaltung %	Zusammen einschl. 3% für Verzinsung %	Mk.																																																																																																												
	Gleisanlage . . .	29,5	2,1	0,75	6,35	1873																																																																																																											
Leitungsanlage ohne Maste . . .	9,7	5,5	2	11	1067																																																																																																												
Hochbauten . . .	6,4	1	2	6,5	416																																																																																																												
Gittermaste . . .	0,8	1	1	5,5	44																																																																																																												
Doppelzug	300	70	85	34	6800	3810	10610	0,106	$\frac{10,0}{n'}$	0,040	0,014	$0,215 + \frac{10,0}{n'}$	$0,388 + \frac{91,4}{n'}$	$0,388 + \frac{40,5}{n'}$																																																																																																			
	600	104	125	40	8000	4490	12490	0,104	$\frac{6,6}{n'}$	0,032	0,008	$0,146 + \frac{6,6}{n'}$	$0,294 + \frac{107,6}{n'}$	$0,294 + \frac{45,8}{n'}$																																																																																																			
	1000	140	170	48,5	9700	4680	14380	0,072	$\frac{4,7}{n'}$	0,027	0,005	$0,108 + \frac{4,7}{n'}$	$0,239 + \frac{130,7}{n'}$	$0,239 + \frac{55,8}{n'}$																																																																																																			
II. Elektrische Treidelei	Einzelzug	300	12	3,4	6,8	1020	1250	2270	0,114 + C	—	0,055	0,011	$0,180 + C$	$0,418 + \frac{88,8}{n'} + C$	$0,418 + \frac{27,3}{n'} + C$																																																																																																		
		600	18	5,1	8,7	1305	1250	2555	0,064 + C	—	0,041	0,006	$0,111 + C$	$0,284 + \frac{81,4}{n'} + C$	$0,284 + \frac{30,5}{n'} + C$																																																																																																		
		1000	25	6,9	10,9	1635	1250	2885	0,043 + C	—	0,033	0,004	$0,080 + C$	$0,228 + \frac{101}{n'} + C$	$0,228 + \frac{39,2}{n'} + C$																																																																																																		
Doppelzug	300	24	6,8	10,8	1620	1250	2870	0,032 + C	—	0,028	0,002	$0,062 + C$	$0,193 + \frac{126}{n'} + C$	$0,193 + \frac{51,1}{n'} + C$																																																																																																			
	600	36	10,2	14,5	2175	1250	3425	0,072 + C	—	0,055	0,006	$0,133 + C$	$0,371 + \frac{88,8}{n'} + C$	$0,371 + \frac{27,3}{n'} + C$																																																																																																			
	1000	50	13,7	17,5	2625	1250	3875	0,043 + C	—	0,041	0,003	$0,087 + C$	$0,260 + \frac{81,4}{n'} + C$	$0,260 + \frac{30,5}{n'} + C$																																																																																																			
III. Selbstfahrer ⁶⁾ (nur Maschine)	Doppelzug	300	35	42	14,5	3480	1248	4728	0,165	$\frac{66,2}{n'}$	$\frac{20,4}{n'}$	0,057	0,012	—	$0,472 + \frac{155,0}{n'}$	$0,472 + \frac{47,7}{n'}$																																																																																																	
		600	52	63	17,5	4200	1310	5510	0,095	$\frac{46,9}{n'}$	$\frac{17,6}{n'}$	0,042	0,006	—	$0,316 + \frac{128,3}{n'}$	$0,316 + \frac{48,1}{n'}$																																																																																																	
		1000	70	85	21,0	5040	1310	6350	0,065	$\frac{46,4}{n'}$	$\frac{18,2}{n'}$	0,033	0,003	—	$0,249 + \frac{147,4}{n'}$	$0,249 + \frac{57,4}{n'}$																																																																																																	
IV. Schleppkahn	Doppelzug	300	—	—	27,0	4320	2310	6630	0,221	$\frac{49,7}{n'}$	$\frac{20,2}{n'}$	0,028	0,002	—	$0,211 + \frac{175,7}{n'}$	$0,211 + \frac{71,3}{n'}$																																																																																																	
		600	—	—	45,0	7200	2680	9880	0,165	$\frac{88,8}{n'}$	$\frac{27,3}{n'}$	—	0,017	—	$0,238 + \frac{88,8}{n'} \text{ (lang)}$	—																																																																																																	
		1000	—	—	67,0	10720	3370	14090	0,141	$\frac{81,4}{n'}$	$\frac{30,5}{n'}$	—	0,008	—	$0,173 + \frac{81,4}{n'} \text{ (kurz)}$	—																																																																																																	
IV. Schleppkahn	Doppelzug	1000	—	—	67,0	10720	3370	14090	0,141	$\frac{101}{n'}$	$\frac{39,2}{n'}$	—	0,007	—	$0,148 + \frac{101}{n'}$	—																																																																																																	
		1500	—	—	95,0	15200	3870	19070	0,127	$\frac{126}{n'}$	$\frac{51,1}{n'}$	—	0,004	—	$0,131 + \frac{126}{n'}$	—																																																																																																	



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351806

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314603

POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA

~~6890~~

356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351807

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314604

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351808

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314605

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351809

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314606

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351810

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314607

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351811

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314608

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351812

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314609

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351758

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299321

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351814

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-351813

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314610

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000314611