

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND
DER
SCHIFFFAHRTS-CONGRESSE

X. CONGRESS-MAILAND-1905

I. Abteilung : Binnenschifffahrt
3. Frage

DIE SYSTEME,
die zum Ausgleich der grossen Höhenunterschiede
ZWISCHEN DEN KANALHALTUNGEN GEEIGNET SIND.

BERICHT

VON

HERMANN

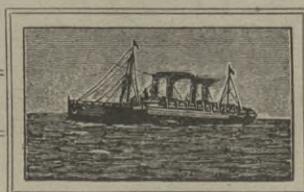
Oberbauart der Dortmund-Ems-Kanal-Verwaltung in Münster i/W

UND

PRÜSMANN

Regierungs- und Bauart zugeteilt der Kaiserlich deutschen Bats haft in Wien.

NAVIGARE



NECESSE

BRÜSSEL

BUCHDRUCKEREI DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN (GES. M. B. H.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905



II - 349888

~~II 7276~~

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299425

CPH - B-362 / 2017

DIE SYSTEME,
die zum Ausgleich der grossen Höhenunterschiede
ZWISCHEN DEN KANALHALTUNGEN GEEIGNET SIND.

BERICHT

VON

HERMANN

Oberbau- und Baurat der Dortmund-Ems-Kanal-Verwaltung in Münster i/W

UND

PRÜSMANN

Regierungs- und Baurat, zugeteilt der Kaiserlich Deutschen Botschaft in Wien.

Grosse Leistungsfähigkeit und billige Güterbeförderung neben Gewährleistung einer ausreichenden Sicherheit für Erhaltung der Kanalbauwerke und für ungestörten Kanal- und Schiffahrtsbetrieb sind die Hauptbedingungen einer zweckmässigen Kanalanlage. Nur wenn diese erfüllt sind, kann ein Kanal seiner *wirtschaftlichen Aufgabe* hinsichtlich der billigen Massengüterbeförderung gegenüber der Eisenbahn möglichst vollkommen gerecht werden. Von grossen Einfluss auf Leistungsfähigkeit und Schiffsgeschwindigkeit sind die Abmessungen des Kanals, der Schiffszug, die Schiffsbegegnungen und die Schleusen. Die hier zu behandelnden Schleusen und anderen Schiffshebwerke bilden Verkehrshindernisse, deren grosse Zahl bei vielen und bedeutenden Höhenunterschieden der Kanalhaltungen ins Gewicht fällt und deren Ueberwindung daher mit möglichst geringem Zeit- und Geldaufwand zu erstreben ist.

Es sollen in dem vorliegenden Bericht die Schiffshebwerke zur Ueberwindung grösserer Geländehöhen nur vom *wirtschaftlichen Standpunkt* untersucht werden, wobei vier Arten: *Schleusen*, senkrechte *Schwimmer-Hebwerke*, *quergeneigte Ebenen* und *längsgeneigte Ebenen* zur Vergleichung heangezogen sind, ohne auf die Bauwerke selbst und ihre mechanischen Bewegungseinrichtungen näher einzugehen.

Alte 3681/51

Allgemeine Annahmen.

In Fachschriften veröffentlichte Beispiele von Schiffshebwerken aller Art bieten für die unmittelbare Vergleichung keine genügenden Angaben, weil darin die Abmessungen der Kanäle und Hebewerke, Schiffsgrößen und Hubhöhen verschieden sind und auch die Annahmen für Berechnung der Schleusungszeiten Abweichungen zeigen, besonders was die Bemessung der Ein- und Ausfahrtzeiten der Schiffe und die vor und hinter den Hebewerken zurückzulegenden, aber zur Schleusung hinzurechnenden Kanalstrecken betrifft. Um einen gleichen Masstab zu erhalten, sollen daher folgenden Annahmen gemacht werden, wobei die Abmessungen neuerer grosser Binnenschiffahrtskanäle für Schiffe von 600 Tonnen (vergl. Dortmund-Ems-Kanal)

(1) zu Grunde gelegt wurden :

Kanal mit 2,50 m Wassertiefe, 18,0 m Breite der Sohle, 30 m Breite des Wasserspiegels.

Nur grosse Schiffe : 65,0 m Länge, 8,2 m Breite, 1,8 m Tiefgang, 600 t Tragfähigkeit, 120 t Rückfracht oder durchschnittlich 360 t, Fahrgeschwindigkeit auf freier Kanalstrecke 1,1 m/Sek, oder 4 km/Stunde.

Nur einfache Schleusen : 67 m Länge, 9,0 m Breite, 3,0 m Wassertiefe über dem Unterdrempel, 4,50 m über dem Oberdrempel. Voller Schleusenbetrieb, ununterbrochenes Auf- und Abwärtsschleusen während täglich 15 Stunden.

Nur einfährige Hebewerke, der Trog hat 2,50 m Wassertiefe, 9,0 m Breite. Schiffe sind schwimmend zu heben.

Schleusungsdauer.

1. *Kammerschleusen mit Seitenbecken und elektrischem Betrieb* :

Für die Berechnung wird vorausgesetzt, dass längeres Warten an den Schleusen nicht stattfindet (siehe nachstehend bei Berechnung von V), vielmehr soll das einzelne Schiff genau zu dem Zeitpunkt eintreffen, wenn der Schleusungsvorgang des entgegenkommenden Schiffes beendet ist. Nach Tafel I Fig. I bildet das Kanalstück I-II die etwa 350 m lange *Schleusungs-*

(1) Vergleiche : *Zeitschrift für Bauwesen*, Berlin 1901 u. 1902.

strecke. Darin darf bei dem hier angenommenen ununterbrochenen Schleusungsbetrieb (entsprechend der Höchstleistung des Hebewerkes) nur das in der Schleusung begriffene mit 1 bezeichnete Schiff liegen, das erst durch die Strecken *c* und *b* nach dem Unterwasser ausgefahren sein muss, bevor das zu Berg fahrende Schiff 2 mit einem kleinen Dampfboot oder einem anderen Zugmittel an das Leitwerk nach Strecke *c* gebracht werden kann. Seitliches Verholen von Schiffen soll nicht stattfinden, weil dies bei so grossen Schiffen unzweckmässig ist und mehr Zeit erfordert als die längere Vorwärtsbewegung. Die durchschnittliche *Schleusungsdauer* für voll beladene und mit 1/5 Rückfracht beladene (nachstehend mit *leer* bezeichnete) Schiffe in der Strecke I-II berechnet sich dann, wenn X die Hubhöhe bedeutet folgender-massen :

Anfahrt durch Strecke *b* und *c* = 140 m lang mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,5 m/Sek (einschliesslich Verzögerung beim Verlassen der Ruhelage in Strecke *a*, Richtungsänderung in *b* und Aufnahme des Spillseils am Leitwerk in $c) = \frac{140}{0,5} = 4 \text{ Minuten } 40 \text{ Sekunden.}$

Einfahrt mit Spillzug in die offene Schleuse durch Strecke *d* vom Unterwasser her. Nach Tafel I Figur 2 sind 2 Umläufe : (mit besonderen Ausmündungen nach dem Unterwasser), von je 3,50 qm Querschnitt in den Kammerwänden vorhanden, sodass bei einer Einfahrtsgeschwindigkeit von 0,30 m/Sek (einschliesslich Anhalten des Schiffes und Festmachen in der Schleuse), die verdrängte Wassermenge von 15,0. 0,30 = 4,5 cbm/Sek eine Rückströmungsgeschwindigkeit des Wassers von $\frac{4,50}{19,0} = 0,24 \text{ m}$ erzeugt und die mittlere relative Schiffsgeschwindigkeit = 0,30 + 0,24 = 0,54 m beträgt. Demnach dauert die *Einfahrt* $\frac{70}{0,30} = 3 \text{ Minuten } 53 \text{ Sekunden.}$

Schliessen des Untertores 1 Minute.

Schiffshebung oder Senkung soll nur zu 2,5 cm/Sek angenommen werden, obwohl eine grössere Geschwindigkeit angesetzt werden könnte, wie eine besondere Berechnung ergibt, die hier wegen Raummangel (1) nicht wiedergegeben werden kann.

(1) Ausführlichere Mitteilungen über Vergleichung verschiedener Hebewerke erscheinen in einer Sonderbearbeitung des Regierungs- u. Baurats Prüssmann im Juliheft der Zeitschrift für Bauwesen in Berlin, wovon eine Anzahl Abdrücke an die Congressmitglieder verteilt werden wird.

Demnach erfordert bei X m Hubhöhe die Schiffshebung = $\frac{X}{0,025 \cdot 60}$ Minuten.

Öffnen des Obertores = 1 Minute.

Ausfahrt aus der Schleuse erfolgt nach Tafel I Figur 3 bei 4,5 m tiefem Oberdremmel mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,34 m/Sek, wenn hier ebenfalls die relative Schiffsgeschwindigkeit von 0,54 m eintreten soll, oder erfordert $\frac{70}{0,34} = 3$ Minuten 26 Sekunden.

Abfahrt des Schiffes von Strecke *c* nach *g* erfordert für einen etwa 40 m langen Brückenkanal (oder für die Aussenhäupter vor und hinter der Schleusenkammer = $\frac{40}{0,4}$ und für die übrige 100 m lange Strecke $\frac{100}{0,6}$ zusammen = 4 Minuten 27 Sekunden.

Die *Gesamte Schleusungsdauer* setzt sich demnach zusammen aus :

<i>An- und Abfahrt</i> 4 M 40 Sek + 4 M 27 Sek	9 Min	7 Sek
<i>Ein- und Ausfahrt</i> aus der Schleuse = 3 M 53 Sek + 3 M 26 Sek = 7 M 19 Sek, wovon für die Hälfte leerer Schiffe 2.1 = 2 Minuten oder für alle Schiffe 1 Minute abzuziehen ist		
	6 Min	19 Sek
<i>Tore</i> schliessen und öffnen = 2.1	2 Min	— »
<i>Hebung</i> oder Senkung des Schiffes	$\frac{X}{0,025 \cdot 60}$	Min.
<i>Schleusungsdauer</i> $17,43 + \frac{X}{0,025 \cdot 60}$ Minuten.		

Die Ansätze für Schiffsbewegungen können als reichlich bemessen gelten. Es ist aber zu beachten, dass hierin alle eintretenden Störungen, etwa durch mangelhafte Schiffsführung und Schleusenbedienung, Wind, Witterung, schlechte Beleuchtung u. s. w. eingeschlossen sind, wofür keine besonderen Ansätze gemacht wurden. Die Absicht war, den Durchschnittsverhältnissen, wie sie sich beim Schleusenbetrieb ergeben, Rechnung zu tragen, ferner durch Einsetzen einer geringen Hebungszeit = 0,025 m/Sek zu verhüten, dass die Annahmen für Schleusen zu günstig erscheinen.

2. Senkrechte Schwimmer-Hebewerke

<i>An- und Abfahrt</i> wie bei der Schleuse . . .	9 Min	7 Sek
<i>Tore</i> schliessen und öffnen, desgl.	2 »	— »
<i>Schiffshebung</i> oder Senkung mit einer Geschwindigkeit von 11 cm/Sek, wie in		
Henrichenburg	$\frac{X}{0,11 \cdot 60}$	Min
<i>Ein- und Ausfahrt</i> aus dem Trog. Nach Tafel I Figur 4 u 5 ist die Schiffsgeschwindigkeit bei vollen Schiffen = 0,19 m/Sek bei leeren (120 t Rückfracht) = 0,38 m/Sek, wenn wiederum die relative Geschwindigkeit des Schiffes 0,54 m beträgt, woraus sich 6 Min 1 Sek, beziehungsweise 3 Min 4 Sek oder durchschnittlich für Ein- und Ausfahrt ergeben		
	9 Min	5 Sek
<i>Anschluss des Trogs</i> an die Häupter und Lösung erfordern für Einstellen des Dichtungskeils, Verriegelung, Spaltwasser Ein- und Auslassen 2.2 =	4 »	— »
<hr/>		
Schleusungsdauer	24,20 + $\frac{X}{0,11 \cdot 60}$	Min

3. Einfährige Quer-Ebenen mit Vor- und Hinterhäfen (Tafel I Fig. 6 u. 7). Troggeschwindigkeit 0,50 m/Sek und Neigung der Ebene 1 : 8.

An- und Abfahrt fallen für Berechnung der Schleusungsdauer aus, weil das von rückwärts in den Trog einfahrende Schiff nicht auf das vorhergehende ausfahrende Schiff zu warten hat — Min — Sek

Einfahrt mit 0,6 m/Sek, *Ausfahrt* mit 0,7 m/Sek oder $\frac{70}{0,60} + \frac{70}{0,70} =$ 3 » 37 »

Tore schliessen und öffnen (je 2 oben und unten) = 2 (1 Min 30 Sek) 3 » — »

Anschluss des Troges an die Doppelhäupter, Dichtungskeile, Spaltwasser (je 2 Anschlüsse gleichzeitig) oben und unten 2.3 6 » — »

Trogfeststellung dem Wasserstand entsprechend und Lösung oben und unten

3. für Quer-Ebenen : 1 : 8 u. $v = 0,5 m$

$$Z = \frac{24,60}{17,62 + \frac{X}{0,062.60}} = \frac{1440}{17,62 + \frac{X}{0,062.60}}$$

4. für Längs-Ebenen : 1 : 15 u. $v = 1,0 m$

$$Z = \frac{24,60}{27,20 + \frac{X}{0,067.60}} = \frac{1440}{27,20 + \frac{X}{0,067.60}}$$

Reisegeschwindigkeit in 1 Minute.

Die *durchschnittliche Reisegeschwindigkeit V des Schiffes* beträgt, wenn der mittlere Neigungswinkel des Geländes = α ist und die Fahrgeschwindigkeit in der ausserhalb der 350 m langen Schleusungsstrecke (1) liegenden freien Kanalstrecke = 1,10 m/Sek angenommen wird :

$$V = \frac{X. \text{ Neigung des Geländes}}{\text{Schleusungszeit} + 5,0 \text{ Min. Wartezeit} + \frac{\text{freie Kanalstrecke}}{1,10.60}}$$

Es ist mechanischer Schiffszug vorausgesetzt, der gestattet, dass das Abgeben und Aufnehmen des Zugmittels nur je 2,5 Minuten oder zusammen 5 Minuten Wartezeit, erfordert, hieraus folgt :

1. für Schleusen :

$$V = \frac{X. \cotg \alpha}{17,13 + X \left(0,67 + \frac{\cotg \alpha}{66} \right)}$$

2. für Schwimmer-Hebewerke :

$$V = \frac{X. \cotg \alpha}{23,90 + X \left(0,15 + \frac{\cotg \alpha}{66} \right)}$$

3. für Quer-Ebenen :

$$V = \frac{X. \cotg \alpha}{29,82 + X \left(0,27 + \frac{\cotg \alpha}{66} \right)}$$

4 für Längs-Ebenen :

$$V = \frac{X. \cotg \alpha}{26,92 + X \left(0,25 + \frac{\cotg \alpha}{66} \right)}$$

(1) Die Schleusungsstrecke ist für Berechnung von V irrtümlich zu 350 m angesetzt, während sie tatsächlich 350 + (70 m für die Ausfahrt des Schiffes) = 420 beträgt. Die Werte für V werden dadurch etwas grösser, aber nur unbedeutend.

Günstigste Hubhöhe X.

Für verschiedene Geländeneigungen ist die *günstigste* Hubhöhe X der Hebewerke zu bestimmen, wobei angenommen werden soll, dass das Gelände in sehr grosser Erstreckung die Neigung α hat, es sich also nicht um Ueberwindung nur *eines* bestimmten Gefälles zwischen zwei Kanalhaltungen handelt. Die Formeln für Leistungsfähigkeit Z bestätigen, was auch die einfache Ueberlegung sagt, dass Z am grössten wird, wenn Hubhöhe X möglichst klein ist. Aus den Formeln für Reisegeschwindigkeit V ergibt sich dagegen umgekehrt, dass die grösste Geschwindigkeit bei möglichst grossem X eintritt. Es fragt sich also wie das günstigste X oder V bestimmt werden kann? In erster Linie wird es wohl immer darauf ankommen, die Schleusen und Hebewerke bezüglich der Zahl der Schleusen leistungsfähig zu gestalten und weniger Wert auf die Reisegeschwindigkeit des Schiffes zu legen, weil eine bedeutende, das durchschnittliche Mass erheblich übersteigende Schleusenleistungsfähigkeit wegen der erfahrungsmässig häufig eintretenden grossen Ungleichheit der zu befördernden Schiffszahl nicht entbehrt werden kann. Besonders ist dies der Fall bei Kanälen, die mit Flüssen in Verbindung stehen, deren Schiffsbetrieb naturgemäss von den wechselnden Flusswasserständen abhängig ist. Auch handelt es sich bei der Schifffahrt vorzugsweise um minderwertige Massengüter, deren Verzögerung durch eine längere Schleusen- oder Hebewerkstreppe nicht so nachteilig wie bei anderen Gütern erscheint, zumal bei längeren Schiffsreisen die nur an einzelnen Stellen auftretenden Verlangsamungen der Reisegeschwindigkeit im Ganzen wenig ausmachen. Andererseits darf die Erzielung einer möglichst günstigen Reisegeschwindigkeit nicht unbeachtet bleiben, die nicht allein der Güterbeförderung, sondern auch der besseren Ausnutzung des Schiffsparks zu statten kommt. Keinesfalls wird zu Gunsten der Schleusenleistung die Hubhöhe X so verringert werden dürfen, dass die Verminderung der Geschwindigkeit ein zulässiges Mass überschreitet. Schleusen haben nicht den Zweck nur Schiffe zu heben und zu senken, sie müssen vielmehr in Zusammenhang mit der anschliessenden Kanalstrecke so eingerichtet sein, dass sie der flotten Weiterbeförderung des Kanalgutes einen möglichst geringen Widerstand bieten. Dieser wird erreicht werden, wenn die wirtschaftliche Leistung eines Hebewerkes mit seinem zugehörigen

Kanalstück, das bis zum nächsten Hebewerk reicht, oder die tonnenkilometrische Leistung dieser Strecke d. h. das Produkt aus V. Z am grössten wird.

Demgemäss ist die Berechnung von X erfolgt, indem durch Multiplikation der vorstehenden Werte für Z und V die Gleichung: $V \cdot Z = \text{Funktion}(X, \cotg \alpha)$ gebildet und aus dieser in bekannter Weise durch Differenzierung nach dx und Setzung des Differenzialquotienten = 0 das Maximum für X gefunden wurde.

Es wird dann das günstigste X:

1. für Schleusen:

$$X = \sqrt{\frac{447,9}{0,67 + \frac{\cotg \alpha}{66}}}$$

2. für Schwimmer-Hebewerke:

$$X = \sqrt{\frac{3.817,3}{0,15 + \frac{\cotg \alpha}{66}}}$$

3. für Quer-Ebenen (1 : 8 u. $v = 0,5 m$):

$$X = \sqrt{\frac{525,4}{0,27 \left(0,27 + \frac{\cotg \alpha}{66} \right)}}$$

4. für Längs-Ebenen (1 : 15 u. $v = 1,0 m$):

$$X = \sqrt{\frac{732,8}{0,25 \left(0,25 + \frac{\cotg \alpha}{66} \right)}}$$

Durch Einsetzen verschiedener Werte für die Geländeneigung α ergeben sich die zugehörigen Werte für X, Z und V, die in Tafel II für die in Frage stehenden vier Hebewerksarten graphisch aufgezeichnet und in folgender Uebersicht in Zahlen zusammengestellt sind.

Leistungsfähigkeit der Hebewerke (Wartezeit = 5 Minuten

GELÄNDE-NEIGUNG cotg α	SCHLEUSEN					SCHWIMMER-HEBEWERKE					QUER EBENEN	
	Hubhöhe	Leistung		Mittlere Reise- geschwindigkeit	Jährliche Kilometrische Leistung	Hubhöhe	Leistung		Mittlere Reise- geschwindigkeit	Jährliche Kilometrische Leistung	Hubhöhe	Leistung
		Schiffszahl in 24 Stunden	Jährliche Gütermenge				Schiffszahl in 24 Stunden	Jährliche Gütermenge				
	Z	Z.	V	V. Z.	X	Z	Z.	V	V. Z.	X	Z	
0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	
28,50	m	Anzahl	Mill t	m/Sek.	Mill tkm	m	Anzahl	Mill t	m/Sek.	Mill tkm	m	Anzahl
33,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40,0	50,7
48,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40,0	50,7
67,50	—	—	—	—	—	20,0	52,9	5,14	0,48	2,47	36,5	51,2
90,60	14,9	52,6	5,11	0,47	2,40	20,0	52,9	5,14	0,56	2,88	34,6	53,3
	vom Hundert:	100	100		100			101		120		
120	13,4	54,5	5,30	0,53	2,81	20,0	52,9	5,14	0,63	3,24	30,7	55,6
	vom Hundert:	100	100		100			97		115		
200	11,0	58,2	5,66	0,64	3,62	20,0	52,9	5,14	0,76	3,91	24,3	59,5
	vom Hundert:	100	100		100			91		109		
300	9,3	61,2	5,95	0,71	4,22	20,0	52,9	5,14	0,85	4,37	20,1	62,6
	vom Hundert:	100	100		100			86		104		
500	7,3	64,6	6,28	0,79	4,96	20,0	52,9	5,14	0,93	4,78	15,7	65,8
	vom Hundert:	100	100		100			82		96		
2000	3,8	72,1	7,01	0,94	6,59	11,2	55,6	5,41	1,02	5,52	8,0	72,8
	vom Hundert:	100	100		100			77		84		
10000	1,7	77,6	7,54	1,03	7,77	5,0	57,7	5,61	1,08	6,06	2,8	78,2
	vom Hundert:	100	100		100			74		78		

BEMERKUNGEN. — Die Schiffszahl Z in 24 Stunden multipliziert mit $270 \left(\frac{600 + 120}{2} \right) = Z \cdot 97200$

V. Z. 97200 tkm oder V. Z. 0,097 Mill tkm die kilometrische Leistung

Cotg α = 28,50 ist die Grenze der Anwendbarkeit für 100 m hohe

Cotg α = 33,75 desgl. » 40 m »

Cotg α = 48,75 desgl. » 40 m »

Cotg α = 67,50 desgl. » 20 m »

Cotg α = 90,60 desgl. » 14,9 m »

Die Schiffszahl Z bedeutet kreuzenden Schiffsverkehr an den Hebewerken.

und Schiffsgeschwindigkeit in freier Strecke = 1,10 m Sek).

(1 : 8 und v = 0,5 m/Sek.)			LÄNGS EBENEN (1 : 15 und v = 1,0 m/Sek.)					LÄNGS EBENEN 100 m. hoch (1 : 15. u. v = 1,0 m/Sek.)				
Leistung	Mittlere Reise- geschwindigkeit	Jährliche Gütermenge	Hubhöhe	Leistung		Mittlere Reise- geschwindigkeit	Jährliche Kilometrische Leistung	Hubhöhe	Leistung		Mittlere Reise- geschwindigkeit	Jährliche Kilometrische Leistung
				Schiffszahl in 24 Stunden	Jährliche Gütermenge				Schiffszahl in 24 Stunden	Jährliche Gütermenge		
Z.	V	V. Z.	X	Z	Z.	V	V. Z.	X	Z	Z.	V	V. Z.
0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
Mill t	m/Sek	Mill t km	m	Anzahl	Mill t	m/Sek	Mill tkm	m	Anzahl	Mill t	m/Sek	Mill tkm
—	—	—	—	—	—	—	—	100,0	27,6	2,68	0,66	1,77
4,93	0,37	1,82	—	—	—	—	—	100,0	27,6	2,68	0,71	1,90
4,93	0,46	2,27	40,0	38,7	3,76	0,57	2,14	100,0	27,6	2,68	0,79	2,12
4,98	0,53	2,64	40,0	38,7	3,76	0,66	2,48	100,0	27,6	2,68	0,86	2,20
5,19	0,60	3,11	40,0	38,7	3,76	0,73	2,74	100,0	27,6	2,68	0,91	2,44
		130			74		115			52		101
5,40	0,65	3,51	39,9	38,9	3,78	0,80	3,01	100,0	27,6	2,68	0,95	2,55
		125			73		107			51		91
5,78	0,74	4,28	31,1	41,2	4,00	0,87	3,48	100,0	27,6	2,68	1,01	2,71
		117			71		96			47		75
6,08	0,78	4,74	25,4	43,0	4,18	0,89	3,72	100,0	27,6	2,68	1,03	2,76
		112			70		88			45		65
6,40	0,86	5,50	19,7	44,9	4,36	0,93	4,05	100,0	27,6	2,68	1,06	2,84
		111			69		82			43		57
7,08	0,97	6,87	9,9	48,5	4,71	1,01	4,76	100,0	27,6	2,68	1,09	2,92
		104			67		72			38		44
7,60	1,10	8,36	4,4	50,9	4,95	1,06	5,25	100,0	27,6	2,68	1,10	2,95
		108			66		68			36		38

Tonnen oder Z. 0,097 Mill Tonnen ist die jährliche Höchst Leistung des Hebewerkes und der Kanalstrecke.

Längs Ebenen, wenn zwischen zwei Hebewerken 1350 m Kanalstrecke liegen.

Quer Ebenen, desgl.

Längs Ebenen, desgl.

Schwimmerhebewerke, desgl.

Schleusen, desgl.

Die für vollen Schleusenbetrieb von täglich 24 Stunden und jährlich 270 Tagen berechnete Uebersicht lässt erkennen, dass die mit «100 vom Hundert» bezeichneten Leistungen Z und $V.Z$ der Schleusen durchweg von den Querebenen überholt werden. Bei Schwimmer-Hebwerken ist dies nur für steileres Gelände ($\cotg \alpha = 67,5$ u. $90,6$) der Fall und bei Längs-Ebenen nur bei $V.Z$ und ebenfalls nur bei steilem Gelände, während Z einen bedeutend geringeren Wert aufweist. Noch viel geringer sind die Leistungen der zum Vergleich beigefügten Längsebene von 100 m Hubhöhe, woraus ohne Weiteres und ohne Rücksicht auf die nachstehend zu behandelnde Kostenfrage geschlossen werden kann, dass die Zusammenlegung vieler kleinen Hebwerke zu einem einzigen sehr hohen Hebewerk mit derselben Gesamthöhe nicht zweckmässig ist. Dieser Unterschied der Hebewerksleistung wird wesentlich geändert, wenn man von der Gegenüberstellung der auf einer Linie stehenden Zahlen (d. h. für dieselbe Geländeneigung) absieht, und für kleinere Hebwerke, etwa Schleusen oder Schwimmer-Hebwerke, eine flachere Geländeneigung annimmt, wie sie in Wirklichkeit meistens gefunden werden kann.

Ausserdem wurden ähnliche Untersuchungen (1) angestellt für Längsebenen $1:20$ und $1:25$ mit Troggeschwindigkeiten von 0,5 bis 1,0 m ferner mit einer längeren Wartezeit von 30 Minuten (an Stelle der hier angesetzten 5 Minuten), wie sie bei Fehlen eines mechanischen Schiffszuges etwa in Frage kommen kann. Die Ergebnisse waren sämtlich ungünstiger und betrogen zum Beispiel für Längsebenen bei $1:25$ u. $v = 0,5$ m nur etwa die Hälfte der vorliegenden. Für alle Schleusen und Hebwerke ergab sich:

1. mit flacherem Gelände ($\cotg. \alpha$) wird das günstigste X kleiner;
2. mit abnehmenden X werden Z und V grösser;
3. mit abnehmender Wartezeit werden X kleiner, Z und V grösser;
4. mit abnehmender Schiffsgeschwindigkeit in der freien Kanalstrecke wird X kleiner, Z grösser und $V. Z.$ kleiner;
5. mit zunehmender Troggeschwindigkeit und steilerer Neigung der Ebenen werden X, Z und V grösser.

Die hier angenommenen Neigungen und Troggeschwindig-

(1) Vergleiche Fussbemerkung auf Seite 3 betreffend besondere Veröffentlichung.

keiten der Ebenen, für Quer-Ebenen 1 : 8 und $v=0,5$ m, für Längs-Ebenen 1 : 15 u. $v=1,0$ sind die günstigsten der untersuchten Fälle und dürften kaum noch überschritten werden können. Für Quer-Ebenen kommt je nach der Bodenbeschaffenheit in Betracht, dass eine zu geringe Entfernung der langen, in verschiedener Höhenlage nebeneinander herlaufenden Kanalenden wegen Wasserdurchsickerung eine Gefahr für den Bestand des Bauwerkes bieten könnte. Für Längsebenen 1 : 15 erhält der 67 m lange Trogwagen an seinem Hinterende schon etwa 12 m Höhe und erfordert ein dockähnliches trockenes Unterhaupt von derselben Tiefe, deren Vergrößerung nicht rätlich erscheint. Ferner ist zu beachten, dass die Geschwindigkeiten 0,50 und 1,0 m die mittlere Reisegeschwindigkeit des Troges bedeuten, sodass mit Rücksicht auf langsame Einleitung und Hemmung der Fahrt (besonders bei einem starken Wasserschwanngen ausgesetzten Längstrog) bei Hubhöhen von 40 m sich etwa 0,60 und 1,25 m als Fahrgeschwindigkeiten des Troges ergeben, die zwar sehr hoch erscheinen, aber gewählt wurden, um die Annahmen für Ebenen keinesfalls ungünstig erscheinen zu lassen.

Für die praktische Anwendung mussten die Hubhöhen der Hebewerke beschränkt werden. Schleusen konnten in der vorstehenden Tabelle das rechnungsmässig günstigste $X = 14,9$ m behalten, weil Schleusen von dieser Höhe noch ausführbar erscheinen. Die Höhe der Schwimmer-Hebewerke wurde auf 20,0 m beschränkt wegen der selbst bei sehr gutem Baugrund schwierigen Brunnenherstellung. Für Quer- und Längsebenen erschien 40,0 m als obere Hubgrenze zweckmässig, weil die Leistungen Z u. $V \cdot Z$ bei grösserem X so erheblich abnehmen (siehe Tafel II), dass der Vergleich mit Schleusen und Schwimmer-Hebewerken ungünstig werden würde. Durch diese Begrenzung der Hubhöhe der letzten drei Hebewerke bei sehr steiler Geländeneigung, d. h. in der Nähe der in der Tabelle bezeichneten Anwendungsgrenzen, wird Leistung Z vermehrt, während V und $V \cdot Z$ geringe Einbusse erleiden. Zum Vergleich sind Werte für eine Längsebene von 100 m auch in Tafel II eingetragen.

Bau- und Betriebskosten.

Bau- und Betriebskosten von Hebewerken für 600 t Schiffe waren für Schleusen und Schwimmer-Hebewerke aus Angaben der königlichen Kanal-Verwaltung in Münster i. W. über

ausgeführte Beispiele der Dortmund-Ems-Kanals zu entnehmen. Hierbei wurde für Schleusenkosten die Lieckfeldt'sche Formel nach Zentrablatt der Bauverwaltung 1895, S. 303 und für Schwimmer-Hebewerke die Beschreibung des Dortmund-Ems-Kanals in der *Zeitschrift für Bauwesen* 1901 und 1902 verwendet. Für Quer- und Längsbahnen sind Angaben von Schönbach in der *Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines* 1898, Nr. 24 über den Entwurf einer 100 m hohen Quer-Ebene 1:5 u. $v=0,9$ m und die Veröffentlichung des Entwurfes einer 36 m hohen Längsebene 1:25 und $v=0,5$ m in der österreichischen Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst 1904, Heft 49 benutzt, unter schätzungsweise **weiser Ergänzung** für die vorliegenden Verhältnisse. Die Zunahme der Baukosten bei Vergrößerung der Hubhöhe unterscheidet sich **dadurch**, dass bei Schleusen für 1 m Hubvermehrung eine beträchtliche, mit der Höhe wachsende Summe, dagegen bei den übrigen Hebewerken, besonders aber bei Schwimmer-Hebewerke und Längsebenen, nur eine geringe und gleichbleibende Summe für die Verlängerung der Zwischenteile eintritt. Teilung einer hohen Schleuse in mehrere Schleusen von derselben Gesamthöhe bringt daher keine Vermehrung der Baukosten, während bei den übrigen Hebewerken eine solche Teilung nahezu eine Kosten-Vervielfältigung der Gesamtanlage hervorbringt.

Diese Kostenangaben nebst Betriebskosten u. s. w. sind in folgender Tabelle für Gefälle von 15 bis 100 m zusammengestellt.

Bei den Betriebskosten sind 15 stündiger Tagesdienst, einfache Besetzung der Bedienungsmannschaft und jährlich 270 Schleusungstage angenommen. Für Verzinsung des Baukapitals wurde 3 vom Hundert angesetzt, für Abschreibung 3 vom Hundert bei Metalleilen und 0,5 vom Hundert bei Bauarbeiten. Entsprechend der in die Kanallinie fallenden Länge des Hebewerks ist für ersparte Kanalbaukosten ohne Grunderwerb ein Abzug von 400.000 M/km gemacht, bei Querebenen dagegen für die durch Vor- und Hinterhäfen entstehende Verlängerung der Kanalstrecke ein gleicher Kosten-Zusatz bewirkt.

Die eingesetzten Beträge für Wasserpumpen bilden die Gesamtkosten für Hebung der ganzen bei der Schleusung verlorene Wassermenge vom Unterwasser in das Oberwasser, einschliesslich Verzinsung und Abschreibung, wobei für 1 cbm/Sek/m der nach Erfahrungen ausreichende Satz von 0,025 Pfg in Rechnung gebracht wurde. Hierbei kommen je nach der

Sparbecken-Anordnung für Schleusen von 4 bis 7 m Höhe Wassermengen von 1.700 bis 2.200 cbm und für Schleusen von 8 bis 15 m Höhe Mengen von 2.500 bis 3.150 cbm in Betracht. Da aber diese Wassermenge für eine Doppelschleusung verbraucht wird und in der grösseren Hälfte der Schleusenbetriebszeit, im Frühjahr und Herbst, in jedem Kanal (wie auch in der durch Wasserpumpen gespeisten Scheitelstrecke des Dortmund-Ems-Kanales) durch Zulauf kleiner Bäche genügend Wasser für Schleusungen vorhanden ist, bleibt nur $\frac{1}{4}$ der angegebenen Wassermenge für *ein* Schiff zu pumpen, wonach sich für Schleusen von 4,0 m Hub nur 0,50 M und für 15,0 m Hub nur 2,20 M Kosten ergeben. Bei hohen Schleusen empfiehlt sich ausserdem die Hinzufügung zweier besonderer Sparbecken, von denen das obere im gefüllten Zustand mit dem Oberwasser sich ausspiegelt und das untere im geleerten Zustand mit dem Unterwasser gleich hoch liegt. Hierdurch wird die beim Schleusen aus dem Kanal unmittelbar zu entnehmende oder dahin abzugebende Wassermenge auf die Hälfte verringert und infolge dessen eine Mässigung der Wasserbewegung in den Vorhäfen erreicht. Die nur einige hundert cbm betragenden Verluste für Wasserausgleichung zwischen Trog und Kanalhaltung bei mechanischen Hebewerken, besonders bei Längsebenen, sowie kleine Verluste durch Torundichtigkeit u. s. w. sind wegen des undedeutenden Geldwertes unberücksichtigt geblieben. Sie gleichen sich aus gegen die ebenfalls vernachlässigten geringen Kosten für Wasser der Betriebsturbinen an den Schleusen und für Torundichtigkeit daselbst.

*Schleusungskosten bei Zugrundelegung verschiedener Höhen der zu überwindenden Gefälle des Geländes.
(Von 15 m bis 100 m Höhe.)*

Zu überwindende Gelände Höhe	ZAHL UND HUBHÖHE DER HEBWERKE		JÄHRLICHE KOSTEN				LEISTUNGS-FÄHIGKEIT				KOSTEN FÜR 1 SCHIFF bei 15 Stunden täglich				BEMERKUNGEN		
			Unterhaltung		Zusammen		Täglich		Jährlich		Reine Betriebs- u. Unterhaltungs Kosten		Aufpumpen des Schließungswassers			Zusammen für ein Schiff	
			1.000 M	kleine Reparaturen	Verzinsung und Abschreibung	1.000 M	1.000 M	Schiffs-zahl	In 24 Stunden	In 15 Stunden	Schiffszahl	Mitt	M	M		M	M
15,0	1 Schleuse von 15,0 m Hub	1.956	20	82	102	53	33	8.910	3,21	2,24	11,4	2,2	13,6	13,6	2,21 + 1,10 Wasserpumpen = 3,34 M 1,96 + 1,00 » = 2,96 » 1,37 + 1,05 » = 2,42 » Es wurde angenommen, dass die reinen Betriebskosten, etwa die Hälfte der Gesamtkosten für Pumpen ausmachen.		
	2 Schleusen » 7,5 » »	1.684	17	71	88	64	40	10.800	3,89	1,56	8,1	2,0	10,6	10,6			
	3 » » 5,0 » »	1.593	16	68	84	69	43	11.610	4,18	1,37	7,2	2,1	9,3	9,3			
	1 Schwimmerhebewerk von 15,0 m Hub	2.600	50	130	180	54	34	9.180	3,30	5,5	19,6	—	—	—			
	1 Quer-Ebene » » »	3.876	87	194	281	66	41	11.070	3,99	7,9	25,4	—	—	—			
	1 Längs-Ebene » » »	3.332	77	173	250	47	29	7.830	2,82	9,8	31,9	—	—	—			
20,0	2 Schleusen von 10,0 m Hub	2.332	23	99	122	60	38	10.260	3,69	2,27	11,9	3,0	14,9	14,9	2,27 + 1,50 Wasserpumpen = 3,77 M 1,96 + 1,35 » = 3,31 » 1,83 + 1,40 » = 3,23 »		
	3 » » 6,7 » »	2.173	22	94	116	66	41	11.070	3,99	1,96	10,4	2,7	13,1	13,1			
	4 » » 5,0 » »	2.124	21	91	112	69	43	11.610	4,18	1,83	9,7	2,8	12,5	12,5			
	1 Schwimmerhebewerk von 20,0 m Hub	3.000	50	150	200	53	33	8.910	3,21	5,6	22,4	—	—	—			
	1 Quer-Ebene » » »	3.973	91	199	290	63	39	10.530	3,79	8,6	27,5	—	—	—			
	1 Längs-Ebene » » »	3.437	81	179	260	45	28	7.560	2,72	10,7	34,4	—	—	—			
25,0	2 Schleusen von 12,5 m Hub	3.119	31	132	163	56	35	9.450	3,40	3,30	17,2	3,6	20,8	20,8	3,30 + 1,80 Wasserpumpen = 5,10 M 2,76 + 1,65 » = 4,41 » 2,39 + 1,40 » = 3,79 » 2,29 + 1,75 » = 4,04 »		
	3 » » 8,3 » »	2.901	29	126	155	63	39	10.530	3,79	2,76	14,7	3,3	18,0	18,0			
	4 » » 6,2 » »	2.714	27	117	144	67	42	11.340	4,08	2,39	12,7	3,2	15,9	15,9			
	5 » » 5,0 » »	2.655	27	113	140	69	43	11.610	4,18	2,29	12,1	3,5	15,6	15,6			
	2 Schwimmerhebewerke von 12,5 m Hub	4.920	100	247	347	55	35	9.450	3,40	10,6	36,7	—	—	—			
	1 Quer-Ebene » 25,0 » »	4.070	95	204	299	59	37	9.990	3,60	9,4	29,9	—	—	—			
	1 Längs-Ebene » » »	3.542	85	184	269	43	27	7.290	2,62	11,7	36,9	—	—	—			
30,0	2 Schleusen von 15,0 m Hub	3.912	39	165	204	53	33	8.910	3,21	4,38	22,8	4,4	27,2	27,2	4,38 + 2,20 Wasserpumpen = 6,58 M 3,42 + 2,25 » = 5,67 » 3,16 + 2,00 » = 5,15 » 2,91 + 1,75 » = 4,66 » 2,76 + 2,40 » = 5,16 »		
	3 » » 10,0 » »	3.498	35	148	183	60	38	10.260	3,69	3,42	17,8	4,5	22,3	22,3			
	4 » » 7,5 » »	3.365	34	142	176	64	40	10.800	3,89	3,15	16,2	4,0	20,2	20,2			
	5 » » 6,0 » »	3.300	33	142	175	67	42	11.340	4,08	2,91	15,4	3,5	18,9	18,9			
	6 » » 5,0 » »	3.186	32	136	168	69	43	11.610	4,18	2,76	14,4	4,2	18,6	18,6			
	2 Schwimmerhebewerke von 15,0 m Hub	5.200	100	260	360	54	34	9.180	3,30	10,9	39,2	—	—	—			
	1 Quer-Ebene » 30,0 » »	4.168	98	209	307	56	35	9.450	3,40	10,4	32,5	—	—	—			
	1 Längs-Ebene » » »	3.647	89	190	279	42	26	7.020	2,53	12,7	39,9	—	—	—			
30,0	3 Schleusen von 12,0 m Hub	4.401	44	187	231	57	36	9.720	3,50	4,53	23,8	5,4	29,2	29,2	4,53 + 2,50 Wasserpumpen = 7,23 M 3,99 + 2,40 » = 6,39 » 3,53 + 2,40 » = 5,93 » 3,36 + 2,46 » = 5,81 »		
	4 » » 9,0 » »	4.200	42	178	220	62	39	10.530	3,79	3,99	20,9	4,8	25,7	25,7			
	6 » » 6,0 » »	3.960	40	170	210	67	42	11.340	4,08	3,53	18,5	4,2	22,7	22,7			
	7 » » 5,0 » »	3.898	39	167	206	69	43	11.610	4,18	3,36	17,8	4,9	22,7	22,7			
	2 Schwimmerhebewerke von 18,0 m Hub	5.580	100	280	380	54	34	9.180	3,30	10,9	41,4	—	—	—			
	1 Quer-Ebene » 36,0 » »	4.283	101	214	315	53	33	8.910	3,21	11,3	35,4	—	—	—			
	1 Längs-Ebene » » »	3.773	93	196	289	40	25	6.750	2,43	13,8	42,8	—	—	—			
40,0	3 Schleusen von 13,3 m Hub	5.089	51	215	266	55	34	9.180	3,30	5,96	29,0	5,7	34,7	34,7	5,96 + 2,85 Wasserpumpen = 8,41 M 4,58 + 3,00 » = 7,58 » 4,47 + 2,50 » = 6,97 » 3,89 + 2,70 » = 6,59 » 3,62 + 2,80 » = 6,42 »		
	4 » » 10,0 » »	4.664	47	197	244	60	38	10.260	3,69	4,58	23,8	6,0	29,8	29,8			
	5 » » 8,0 » »	4.660	47	193	240	63	39	10.530	3,79	4,47	22,8	5,0	27,8	27,8			
	6 » » 6,7 » »	4.346	43	188	231	66	41	11.070	3,99	3,89	20,9	5,4	26,3	26,3			
	8 » » 5,0 » »	4.248	42	182	224	69	43	11.610	4,18	3,62	19,3	5,6	24,9	24,9			
	2 Schwimmerhebewerke von 20,0 m Hub	6.000	100	300	400	53	33	8.910	3,21	11,2	44,8	—	—	—			
	1 Quer-Ebene » 40,0 » »	4.360	104	218	322	51	32	8.640	3,11	12,0	37,3	—	—	—			
	1 Längs-Ebene » » »	3.857	96	201	297	39	24	6.480	2,33	14,8	45,8	—	—	—			
100,0	7 Schleusen von 14,3 m Hub	12.928	129	546	675	53	33	8.910	3,21	14,48	75,7	15,4	91,1	91,1	14,48 + 7,70 Wasserpumpen = 22,18 M 12,47 + 7,20 » = 19,67 » 11,40 + 7,50 » = 18,90 » 10,56 + 6,50 » = 17,06 » 9,13 + 7,00 » = 16,13 »		
	8 » » 12,5 » »	12.476	125	524	649	56	35	9.450	3,40	13,23	67,9	14,4	82,3	82,3			
	10 » » 10,0 » »	11.660	117	493	610	60	38	10.260	3,69	11,40	59,5	15,0	74,5	74,5			
	13 » » 7,7 » »	11.414	114	479	593	64	40	10.800	3,89	10,56	54,9	13,0	67,9	67,9			
	20 » » 5,0 » »	10.620	106	454	560	69	43	11.610	4,18	9,13	48,2	14,0	62,2	62,2			
	5 Schwimmerhebewerke von 20,0 m Hub	15.000	250	1.000	1.000	53	33	8.910	3,21	28,1	112,0	»	»	»			
	1 Quer-Ebene » 100,0 » »	5.521	126	276	402	32	20	5.400	1,94	23,3	74,5	»	»	»			
	1 Längs-Ebene » » »	5.117	129	266	395	28	18	4.860	1,75	26,5	81,3	»	»	»			

Beispiele mit Annahme bestimmter Verkehrsgrössen.

Vorstehende Berechnungen bezogen sich auf die Höchstleistung der Hebewerke, die man bei einem Kanalentwurf durch Wahl der Art, Hubhöhe und Entfernung der Bauwerke nach Möglichkeit auszunutzen suchen wird. Zweckmässig sollte bei Annahme von gleichem Durchgangsverkehr die Leistungsfähigkeit Z bei allen Hebewerken gleich gross sein. Weil das aber nach den örtlichen Verhältnissen meistens nicht erreichbar ist, muss wenigstens eine untere Grenze der Leistung eingehalten werden, die mit Sicherheit erwarten lässt, eine bestimmte für den Kanal in Aussicht zu nehmende Verkehrsmenge unter Berücksichtigung der erwähnten Verkehrsschwankungen befördern zu können. Auch die spätere Vermehrung der Leistungsfähigkeit durch Verdoppelung und Verdreifachung der Hebungsanlagen sollte bei Kanälen, die viele Gefälle zu überwinden haben und starken Verkehr voraussetzen lassen, von vornherein für Wahl und Anordnung der Hebewerke mitbestimmend sein. Im Allgemeinen wird man jedoch bei der ersten Anlage aus Gründen der Kostenersparniss nur einfache Hebewerke vorsehen können, hierbei aber derjenigen Anlage den Vorzug geben müssen, die nicht so bald eine Erweiterung erforderlich macht. Bei Anwendung verschiedener Arten und Höhen von Hebewerken in derselben Kanalstrecke erhält die ungleiche Leistungsfähigkeit in Hinsicht auf die Baukosten eine viel grössere Bedeutung als aus den vorstehenden Berechnungen mit Ausnutzung der ganzen Leistungsfähigkeit hervorgeht, wie an einem Beispiel erörtert werden möge. Annahme: ein Kanal (etwa der geplante Kanal Berlin-Stettin) zweige aus einem Fluss ab, habe eine Geländeerhebung von 36,0 m zu überwinden und setze sich dann in flacherem Gelände mit 4,0 m hohen Schleusen fort. Es ergeben sich dann die in folgender Uebersicht zusammengestellten Möglichkeiten und zwar unter Zugrundelegung von 2,43 Mill. t Güterverkehr (Höchstleistung einer Längs-Ebene von 36,0 m Hub), ferner von 3,50 Mill. t (Höchstleistung von Schleusen von 12,0 m Hub) und von 4,37 Mill. t (Höchstleistung der oberhalb anschliessenden 4,0 m hohen Schleusen.

Hieraus geht für alle drei Fälle die wirtschaftliche Ueberlegenheit der Schleusen hervor. Bei voller Ausnutzung der Schleusenleistungsfähigkeit im Falle 2 betragen für 1 Schiff die reinen Betriebs- und Unterhaltungskosten nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der

Beträge für die übrigen Hebewerke und die jährlichen Kosten einschliesslich Verzinsung, Abschreibung, Wasserpumpen und Wert für schleusungsaufenthalt nur die Hälfte der übrigen. In den Fällen 1 und 3 weisen die Schleusen für reinen Betrieb und Unterhaltung die Hälfte der Kosten auf, für die jährlichen Gesamtkosten sind die Kosten annähernd gleich, es wird hierbei aber etwa 40 vom Hundert der Schleusen-Leistungsfähigkeit nicht ausgenutzt. Von den übrigen Hebewerken würde die Berechnung für Quer-Ebenen das nächst günstigste Ergebniss bringen. Am ungünstigsten sind Schwimmer-Hebewerke, weil bei 36,0 m Hub schon eine Zweiteilung durch Herstellung von zwei Hebewerken zu je 18,0 m Hub stattfinden muss, wodurch die Kosten bedeutend wachsen. Aus demselben Grunde kann im Gegensatz zu Schleusen eine Teilung der Quer- und Längs-Ebenen, wie vorstehend bereits erwähnt, nicht in Frage kommen, obwohl damit die Leistungsfähigkeit vergrössert werden könnte.

In die Kosten ist für Schleusen der Betrag für Wasserpumpen und für alle Hebewerke der Geldwert für die Schleusungsdauer abzüglich des Werts für die während der Schleuzung zurückgelegte Reisstrecke eingerechnet, wobei für Schiff und Tag 30 Mark angesetzt wurden. Damit sind die Vorteile der mechanischen Hebewerke bezüglich ihrer grösseren Reisegeschwindigkeit in Anrechnung gebracht.

Die bekannte an Schleusen zeitweilig eintredende Ansammlung von Schiffen (Schleusenrang), und die daraus entstehende oft recht lange Wartezeit sind keine dem Schleusensystem anhaftende Eigentümlichkeiten, sie würden bei anderen weniger leistungsfähigen Hebewerken sich ohne Zweifel in erhöhtem Masse zeigen müssen. Auf die vorliegende Vergleichsberechnung sind sie ganz ohne Einfluss, weil innerhalb der aus 3 Stufen bestehenden Schleusentreppe keine solche Ansammlung stattfinden kann. Bei gleicher Leistungsfähigkeit der Schleusen tritt ein Warten nicht ein, vorausgesetzt, das wenigstens in dieser Strecke ein geordneter mechanischer Schiffszug besteht und die Schleusenabstände einer vom Schiff in der Schleusungszeit zurückzuliegenden Wegelänge oder einem Vielfachen davon entsprechen.

Hiernach sind Schleusen für den vorliegenden Fall eines 36,0 m hohen Gefälles die *wirtschaftlich vorteilhaftesten Hebewerke*, in zweiter Linie stehen Quer-Ebenen, besonders wegen ihrer annähernd gleichen Leistungsfähigkeit.

Schleusungskosten bei Zugrundelegung bestimmter Verkehrsmengen für eine Geländeerhebung von 36,0 m.

Die für die Berechnung der Schleusungskosten zu Grunde gelegten VERKEHRSMENGEN	ZAHL und HUBHÖHE DER HEBWERKE.	Gesamte Baukosten ohne Grunderwerb. 1.000 M	Jährliche Kosten			Leistungsfähigkeit der Hebewerke	
			reine Betriebs- und Unterhaltungskosten.	Betriebs-, Unterhaltungskosten Verzinsung u. Abschreibung	Täglich in		
					1.000 M	1.000 M	24 Stunden
(1) Jährlich 2,43 Mill t Gütermenge in 6750 Schiffen zu durchschnittlich 360 t (Höchstleistung einer Längsebene mit Neigung 1 : 15 Troggeschwindigkeit = 1,0 m Hubhöhe von 36,0 m und täglich 15 Betriebsstunden).	3 Schleusen v. 12,0 m Hub	4.401	44	231	57	36	
	2 Schwimmerhebewerke v. 18,0 m Hub	5.580	100	380	54	34	
	1 Querebene v. 36,0 m Hub	4.283	101	315	53	33	
	1 Längsebene v. 36,0 m Hub	3.773	93	289	40	25	
(2) Jährlich 3,50 Mill t Gütermenge in 9720 Schiffen zu durchschnittlich 360 t (Höchstleistung einer Schleuse v. 12,0 m Hub und täglich 15 Betriebsstunden.)	3 Scheusen v. 12,0 m. Hub	4.401	44	231	57	36	
	4 Schwimmerhebewerke v. 18,0 m Hub (2 nebeneinander)	11.160	200	760	108	68	
	2 Querebenen v. 36,0 m Hub (2 nebeneinander)	8.566	202	630	106	66	
	2 Längsebenen v. 36,0 m Hub (2 nebeneinander)	7.546	186	578	80	50	
(3) Jährlich 4,37 Mill t Gütermenge in 12150 Schiffen zu durchschnittlich 360 t (Höchstleistung einer oberhalb des 36 m hohen Gefälles angenommene Schleuse von 4,0 m Hub u. 15 Betriebsstunden.)	6 Schleusen v. 12,0 m Hub (2 nebeneinander)	8.802	88	462	114	72	
	4 Schwimmerhebewerke v. 18,0 m Hub (2 nebeneinander)	11.160	200	760	108	68	
	2 Querebenen v. 36,0 m Hub (2 nebeneinander)	8.566	202	630	106	66	
	2 Längsebene v. 36,0 m Hub (2 nebeneinander)	7.546	186	578	80	50	

LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER HEBWERKE				Für die Kostenrechnung ANGENOMMENE Verkehrsleistung.		SCHLEUSUNGSKOSTEN FÜR 1 SCHIFF BEI TÄGLICH 15 BETRIEBSSTUNDEN.					BEMERKUNGEN
Jährlich in 270 Betriebstagen				Jährlich 270 Tage mit 15 Betriebsstunden		Reine Betriebs- und Unterhaltungskosten	Gesamtkosten einschl. Verzinsung und Abschreibung	Wasserpumpkosten einschl. Verzinsung u. Abschreibung	Wert für Aufenthalt beim Schleusen	Zusammen	
Schiffe bei 24 Betriebsstunden	Gütermenge bei 24 Betriebsstunden	Schiffszahl	Gütermenge	Schiffsz.	Mill t						
15.550	9.720	5,60	3,50	6.750	2,43	6,5 (9,2)	34,2	5,4	2,4	42,0	* 6,5 + 2,7 = 9,2 M mit Wasserpumpen
14.690	9.180	5,28	3,30	6.750	2,43	14,8	56,3	—	1,7	58,0	
14.260	8.910	5,14	3,21	6.750	2,43	14,8	46,7	—	1,3	48,0	
10.800	6.750	3,89	2,43	6.750	2,43	13,8	42,8	—	0,9	43,7	
15.500	9.720	5,60	3,50	9.720	3,50	** 4,5 (7,2)	23,8	5,4	2,4	31,6	** 4,5 + 2,7 = 7,2 M mit Wasserpumpen
29.380	18.360	10,56	6,60	9.720	3,50	20,6	78,2	—	1,7	79,9	
28.520	17.820	10,28	6,42	9.720	3,50	20,8	64,8	—	1,3	66,1	
21.600	13.500	7,78	4,86	9.720	3,50	19,2	59,5	—	0,9	60,4	
31.100	19.440	11,2	7,00	12.150	4,37	*** 7,3 (10,0)	38,0	5,4	2,4	45,8	*** 7,3 + 2,7 = 10,0 M mit Wasserpumpen
29.380	18.360	10,56	6,60	12.150	4,37	16,5	62,6	—	1,7	64,3	
28.520	17.820	10,28	6,42	12.150	4,37	16,6	51,9	—	1,3	53,2	
21.600	13.500	7,78	4,86	12.150	4,37	15,3	47,6	—	0,9	48,5	

Etwaige Verbesserungen.

Es fragt sich, ob Verbesserungsvorschläge zur Erzielung grösserer Leistungsfähigkeit und geringere Kosten möglich sind?

Wie bereits erwähnt, kann für Schleusen eine Abkürzung der Schiffshebung wohl in Frage kommen, die vorstehend mit nur 0,025 m/Sek Hubgeschwindigkeit angesetzt ist, gegenüber 0,110 m bei Schwimmerhebwerken, 0,062 m bei Quer-Ebenen und 0,067 m bei Längs-Ebenen.

Ferner würde die Abkürzung der Dauer der Schiffsbewegung in der Schleuse oder dem Trog in Betracht zu ziehen sein, die wegen der Schwerfälligkeit der 600 t Schiffe und mit Rücksicht auf Sicherheit von Schiff und Bauwerk eine geraume Zeit in Anspruch nimmt. Diese beträgt für Schleusen 6 Min 19 Sek, für Quer-Ebenen 3 Minuten 37 Sekunden, für Schwimmer-Hebwerke und Längsebenen 9 Minuten 5 Sekunden. Für Schleusen könnte durch geringe Vertiefung der Drempele ohne erhebliche Kosten eine Verbesserung erzielt werden, wobei zu bemerken ist, dass das Bauwerk durch Gegenfahren eines nicht rechtzeitig gehemmtten Schiffes kaum beschädigt werden würde, weil bei der Einfahrt vom Oberwasser die bei hohen Schleusen vertieft liegenden Untertore nicht getroffen werden können. Quer-Ebenen mit beiderseits hochziehenden Toren sind für Schiffsbewegung und Torsicherung vollkommen und nicht verbesserungsfähig. Dagegen haben Schwimmer-Hebwerke und Längs-Ebenen den Nachteil, dass bei jeder nicht regelrecht ausgeführten Einfahrt des Schiffes, trotz etwaiger Prellbalken, die Tore und der den Stoss aufnehmende Trog oder seine Führungen gefährdet erscheinen. Wasserumläufe nach Art der bei Quer-Ebenen angewendeten Vor- und Hinterhäfen und zwar in Höhe des Ober- und Unterwassers, wie sie an einem Schwimmer-Hebwerks-Modell auf dem Pariser-Binnenschiffahrts-Congress 1892 angebracht waren, können für Schwimmer-Hebwerke die Tor- und Troggefährdung beseitigen, ausserdem eine erhebliche Vergrösserung der Schiffsgeschwindigkeit gestatten. Für Längs-Ebenen dagegen könnte nur durch seitlich an den Trog anschliessende Umläufe zwar die Schiffsgeschwindigkeit erhöht werden, Trog- und Torgefährdung würde aber in verstärktem Masse bestehen bleiben. In beiden Fällen würden erhebliche Mehrkosten und für den Betrieb Zeitversummung durch jedesmalige doppelte Troganschlüsse eintreten.

Ermässigung der für alle Hebwerke gleichmässig mit 9 Mi-

nuten 7 Sekunden bemessenen Zeit für An- und Abfahrt (die Quer-Ebene kommt hierbei nicht in Betracht) könnte nur die Vorteile der Schleusen noch mehr erhöhen, weil eine Ermässigung auf die an sich schon geringere Schleusungszeit verhältnismässig mehr ausmachen würde, als bei den übrigen Hebewerken, und weil durch Anordnung mehrerer hintereinander liegender zu einer Treppe vereinigter Schleusen die Wirkung in der Zeitberechnung sich vervielfachen müsste.

Weiter ist darauf hinzuweisen, dass seitliche Kuppelung zweier Hebewerke zu einem gemeinsam zu betreibenden Schleusungswerk keinen Vorteil bringt. Für gekuppelte Schleusen ist bekannt, dass die Leistung nur $\frac{2}{3}$ von der Leistung zweier einzelnen Schleusen beträgt. Für Schwimmer-Hebewerke und Quer-Ebenen kann bei so grossen Schiffen eine Kuppelung überhaupt nicht in Betracht kommen und für Längs-Ebenen hat die Rechnung ergeben, dass Leistung und Kosten *einer* Ebene mit 2 von einander abhängigen Trögen $\frac{2}{3}$ der Leistung und $\frac{2}{3}$ der Kosten von zwei einzelnen Ebenen mit Gegengewichten ausmachen, also zwar die Leistungsfähigkeit von jährlich 2,43 Mill t auf etwa 3,24 Mill t gesteigert werden könnte, aber die Kosten für 1 Schiff bei grösstem Verkehr dieselben bleiben würden, bei kleinerem Verkehr aber stark wachsen müssten.

Endlich ist zu erwähnen, dass auch eine andere Art des Schiffahrtsbetriebes an Stelle des bisher vorausgesetzten Verkehrs mit nur einzeln fahrenden Schiffen nicht zu Gunsten der Schwimmer-Hebewerke und Ebenen ausfallen würde. Wählt man zum Zweck der besseren Ausnutzung des Schiffschleppmittels die bewährte Anordnung von zwei zu einem Schleppzug zusammengesetzte 600 t Schiffe, die vor der Schleuse getrennt und hinter der Schleuse wieder vereinigt werden, so ist ohne Weiteres einleuchtend, dass die Schleuse als leistungsfähigste Vorrichtung auch bei diesem Schiffahrtsbetrieb den grösseren Erfolg aufweisen wird. Bei Einrichtung von Schleppzugschleusen, womit beide zusammengehörige Schiffe in einem Hub gemeinschaftlich durchgeschleust werden können, treten dieselben Verhältnisse ein wie bei einer Längsebene mit 2 von einander abhängigen Trögen.

Schlussbemerkungen.

Die *Schleuse* bildet das einfachste Mittel um Schiffe schwimmend und gefahrlos auf dem kürzesten Wege von einer Haltung zur anderen zu bringen, ohne Anwendung mechanischer Vorrichtungen zur Stützung eines Schiffstrogcs und ohne hieraus entspringende Nachteile für Sicherheit und Betrieb. Schwankungen der Kanalwasserstände, für welche im regelmässigen Betriebe je 0,50 m über und unter dem gewöhnlichen Wasserstand und 1,50 m Vertiefung unter dem Normalstand bei aussergewöhnlichen Anlässen (Reparaturen u.s.w.) eintreten können, haben auf Aufrechterhaltung des Schleusenbetriebs keinen Einfluss. Zeitweilig zur Verfügung stehendes Kanalwasser, sei es der erwähnte Überschuss über den für Verdunstung und Versickerung erforderlichen Streckenverbrauch im Frühjahr und Herbst, oder Zuleitung von einer Haltung zur anderen zum Zweck der Kanalspeisung und von Wasserstandsregulierungen, kann mit Verminderung oder gänzlicher Ersparung der Kosten für Wiederaufpumpen des verlorenen Schleusungswassers jederzeit *unmittelbar* für die Schiffshebung verwendet werden.

Das mit kürzestem Wege senkrecht auf- und niedertauchende *Schwimmer-Hebewerk* mit Gegengewichtsschwimmern veranlasst fast keine Reibung in dem tragenden Wasser, nur Parallelführungen und Antrieb mit geringer Maschinenkraft erfordern mechanische Vorrichtungen, die allerdings im Vergleich mit Schleusen leichter Betriebsstörungen und Gefahren bringen können. Die Anfahrt des Troges erfolgt immer in Höhe des jeweiligen Kanalwasserstandes (in Henrichenburg von 0,50 m über bis 1,50 m unter den gewöhnlichen Kanalwasserständen), ohne den 2,50 m tiefen Wasserstand und damit das Gewicht des Troges zu ändern. Ueberschüssiges Kanalwasser kann für die Schiffshebung nur durch Vermittlung besonderer Kraft- und Kraftsammleranlagen nutzbar gemacht werden.

Der durch rollende Gegengewichte im Gleichgewicht gehaltene Trogwagen der *Quer-Ebene* wird mit Aufwendung grosser Maschinenkraft auf Rädern weiterbewegt, wobei Betriebsstörungen und Gefahren für Maschinen, Trogwagen, besondere Parallelführung und das in ruhiger Lage zu haltende Schiff

möglich sind. Die immerhin beträchtliche Länge des Hebewerks, für 36 m Höhe und Neigung $1:8 = 304$ m, wird bei gutem Wetter die Uebersicht der Gesamtanlage noch ermöglichen lassen. Die Anfahrt des Troges an die Kanalhäupter kann sich den wechselnden Kanalwasserständen durch Verschiebung der Troghaltestelle in geringen Grenzen etwa bis zu Wasserschwankungen von $+ 0,20$, bis $- 0,20$ m anpassen, darüber hinaus hat *nach* Anfahrt eine Zeit erfordernde Ausspiegelung zwischen Trog- und Kanalwasserstand stattzufinden und *vor* Abfahrt durch Ablassen oder Aufpumpen von Wasser eine Wiederherstellung des normalen Troggewichtes für 2,50 m Wassertiefe zu erfolgen, wenn nicht die Betriebsmaschinen auch für die erhöhte Kraftleistung genügen. Ueberschüssiges Kanalwasser kann zur Schiffshebung nur mit Hilfe langer Wasserleitungen, Turbinen und Kraftsammlern mit stark verminderter Wirkung verwertet werden.

Die *Längs-Ebene* mit Gegengewichten unterscheidet sich von der *Quer-Ebene* vorteilhaft durch Vereinfachung der Parallelführung des Trogwagens, aber die Gefahren für Trogwagen und Schiff wachsen mit Rücksicht auf die wegen des längeren Weges wünschenswerte grössere Fahrgeschwindigkeit und wegen der die ruhige Lage des Schiffes stärker beeinflussenden Wasserschwankungen des längsgerichteten Schiffstrogtes. Die Unveränderlichkeit der Anfahrtsstellen an den Kanalhäuptern erfordert für *alle* von der gewöhnlichen Höhe abweichenden Kanalwasserstände eine Ausspiegelung zwischen Trog- und Kanalwasserstand, und vor Abfahrt die bei der *Quer-Ebene* angegebenen Gewichtsregulierungen. Ausnutzung etwaigen Ueberflusswassers ist wegen grösserer Länge des Hebewerkes von 610 m bei 36 m Höhe und Neigung $1:15$ noch schwieriger und unwirksamer als bei der *Quer-Ebene*. Diese grosse Länge erschwert auch die Unterhaltung der Fahrbahn und macht selbst bei gutem Wetter die Uebersicht der Anlage für die Betriebsleitung nahezu unmöglich.

Nach den Darlegungen dieses Berichts möchte *auch für Ueberwindung höherer Gefälle einer Schleusenanlage im allgemeinen der Vorzug* vor den genannten mechanischen Hebewerken einzuräumen sein. Die Erfüllung der Hauptbedingungen für einen wirtschaftlich angelegten Kanal, grosse Leistungsfähigkeit, billige Güterbewegung und Betriebssicherheit wird durch eine Schleusenanlage leichter, sparsamer und zuverlässiger erreicht. Nur in besonderen durch örtliche Verhältnisse gegebenen Fällen, etwa bei sehr steilen nicht zu umgehenden

Abhängen von felsigem Untergrund, dann aber unter Verzichtleistung auf die Vorteile der Schleusen, würden mechanische Hebewerke der vorstehenden Arten und in erster Linie Quer-Ebenen und Schwimmer-Hebewerke in Betracht kommen können.

Als Studium für weitere Kanalentwürfe ist zu empfehlen für *Schleusenentwürfe* : Bau von Schleusen bis 20,0 m. Höhe und weitere Ausbildung der Zeit und Wasser ersparenden Einrichtungen,

für *mechanische Hebewerke* : Erstrebung grösserer Leistungsfähigkeit für Längs-Ebenen und Wirtschaftlichkeit der Anlagen neben ausreichender Betriebssicherheit für alle Hebewerke.

HERMANN und PRÜSMANN.

X. CONGRESS - MAILAND - 1903

I. Abteilung : Binnenschifffahrt
3. Frage

BERICHT
VON
A. HERMANN und A. PRÜSMANN

BLATT I.

Fig. 1.

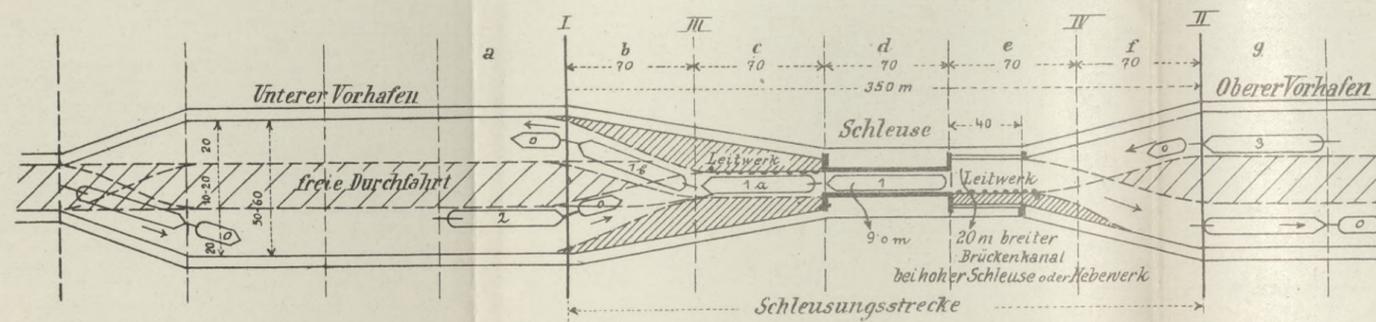


Fig. 6.

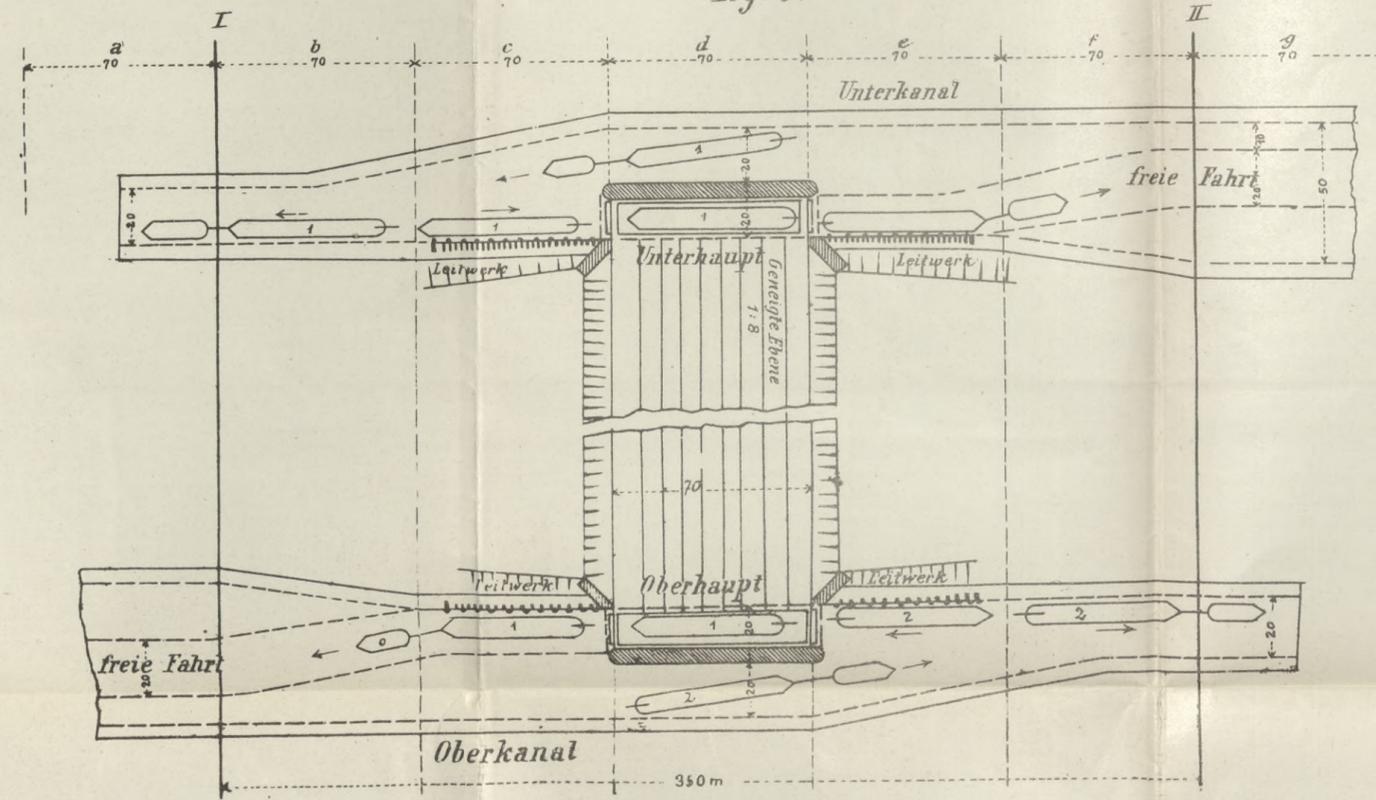
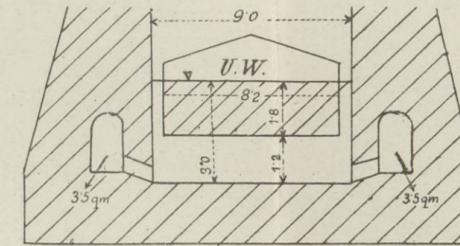
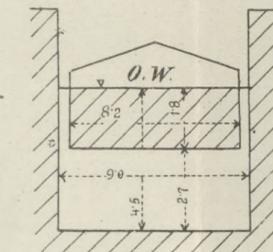


Fig. 2.



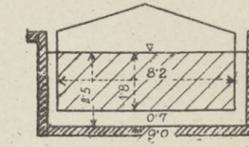
Schleusenquerschnitt - $90 \cdot 30 + 2 \cdot 35 \cdot 34 \text{ qm}$
Schiffs - $82 \cdot 18 = 148 \cdot 15$
bleibt für Rückströmung des Wassers - 19 qm.

Fig. 3.



Fläche der Schleusenöffnung - $90 \cdot 45 = 405 \text{ qm}$
des Schiffes - 150
bleibt Wasserquerschnitt - 260 qm

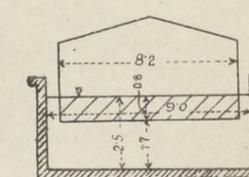
Fig. 4.



Trogquerschnitt - $92.5 = 22.5 \text{ qm}$
Schiff - $14.8 = a$
Wasserquerschnitt - $7.7 \text{ qm} = b$

Dann ist für die relative Geschwindigkeit ... 0.54 m
Die Schiffsgeschwindigkeit $\frac{0.54}{7.7+14.8} = 0.19 \text{ m}$

Fig. 5.

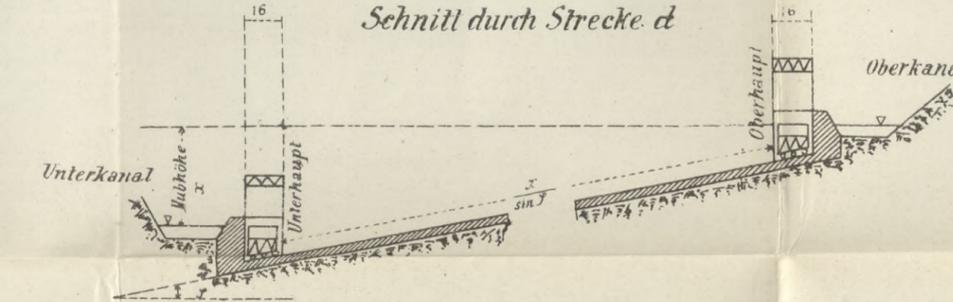


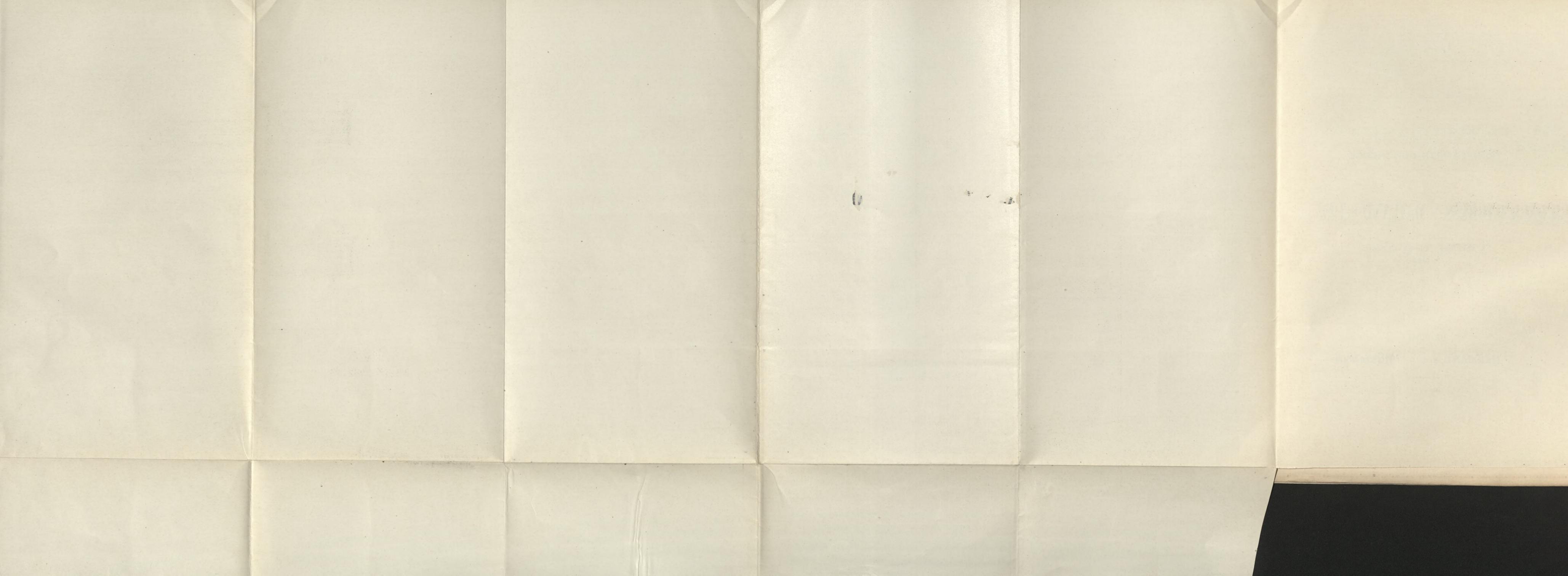
Trogquerschnitt - 22.5 qm
Schiff - $82.08 = 6.6 \text{ qm} = a$
Wasserquerschnitt - $15.9 \text{ qm} = b$

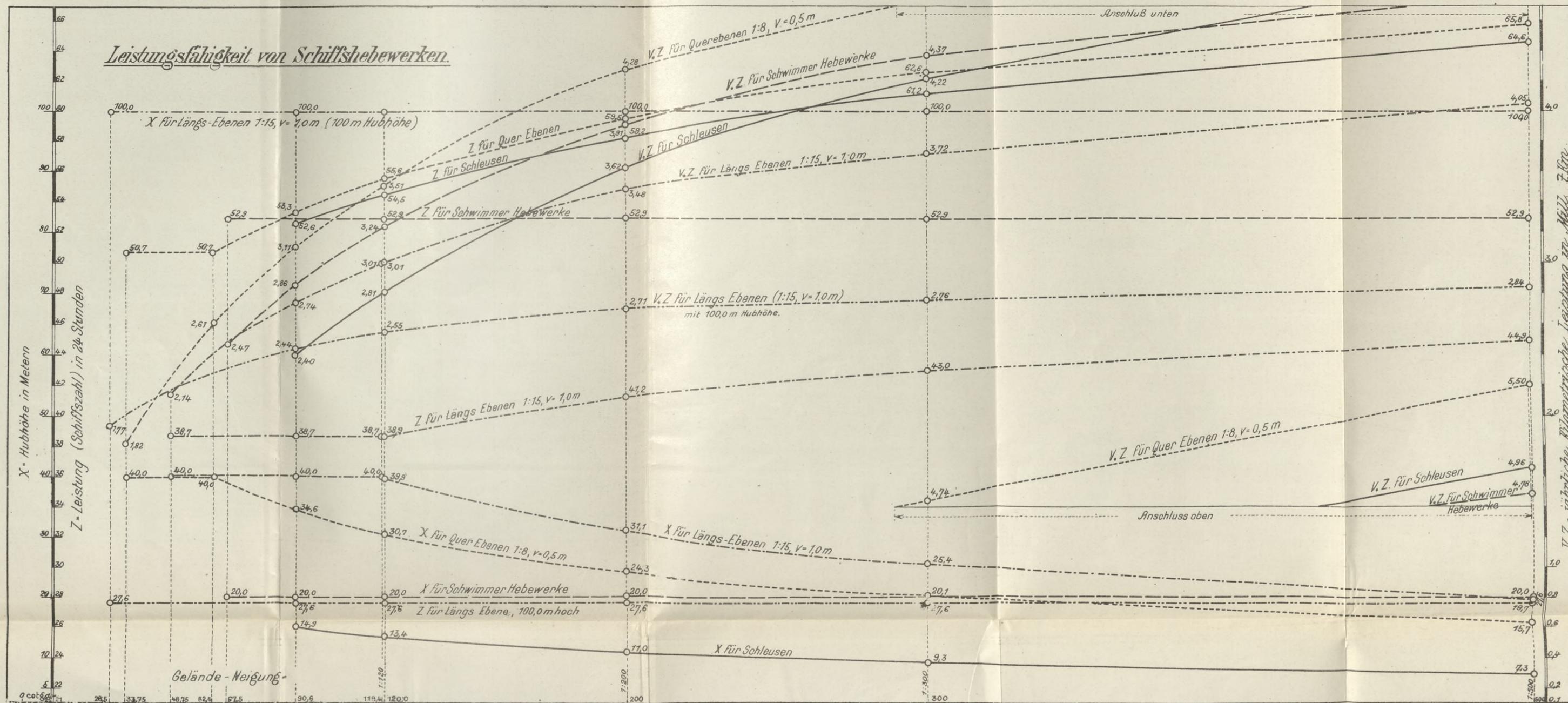
Dann ist für die relative Geschwindigkeit ... 0.54 m
Die Schiffsgeschwindigkeit $\frac{0.54}{15.9+6.6} = 0.38$

Fig. 7.

Schnitt durch Strecke d







UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

1900

1900

UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

1900

S. 6

10.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349888

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299425