Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000305764

x
330

VERGLEICHUNG VON SCHLEUSEN

UND

MECHANISCHEN HEBEWERKEN

VON

PRÜSMANN,

REGIERUNGS- UND BAURAT,
ZUGETEILT DER KAISERLICH DEUTSCHEN BOTSCHAFT IN WIEN.

MIT 2 STEINDRUCKTAFELN.

F. Nr. 26 462

Königl. Ministerium der öffentlichen Arbeiten Bibliothek

BERLIN 1905.

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

(VORMALS ERNST & KORN).

G. 46.
31

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW
III 33085

Sonderdruck aus der Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 1905.

Ein Auszug aus diesem Aufsatz wird als Bericht für den internationalen Schiffahrtskongreß in Mailand 1905 über Frage 3 der Abteilung I verwendet.

Nachdruck verboten.

Inhalts-Verzeichnis.

Seite

a) Vergleichung von Schleusen und mechanischen Hebewerken.

Einleitung und allgemeine Annahmen 3
Schleusungsdauer 3
Leistungsfähigkeit und Reisegeschwindigkeit 6
Günstigste Hubhöhe 6
Vergleichung der Hebewerke 7
Begründung der Bewegungsgeschwindigkeiten 8
Bau- und Betriebskosten 9
Vergleichung von Leistung und Kosten 12
Menge und Kosten des Schleusungswassers 14
Vergleichung mit Annahme bestimmter Verkehrsgrößen . 16
Erdeinschnitte bei steiler Geländeneigung 18
Verbesserungen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit . . 19
Schlußbemerkungen und Vorschläge für weitere Untersuchungen 20

b) Besondere Erörterungen über eine Hebewerkstreppe von 36 m Hubhöhe.

Schiffsbegegnung und Haltungseinheit 21
Einteilung der Schleusenabstände 23
Schiffahrtsbetrieb mit zwei Fahrzeugen 25
Schleppzugsschleusen 25

Akc. Nr. 2122/49

Große Leistungsfähigkeit und billige Güterbeförderung bei Gewährleistung einer ausreichenden Sicherheit für Erhaltung der Kanalbauwerke und für ungestörten Kanal- und Schiffahrtsbetrieb sind Hauptbedingungen einer zweckmäßigen Kanalanlage. Nur wenn diese erfüllt sind, kann ein Kanal seiner wirtschaftlichen Aufgabe hinsichtlich billiger Massengüterbeförderung gegenüber der Eisenbahn möglichst vollkommen gerecht werden. Von maßgebendem Einfluß hierauf sind: Leistungsfähigkeit der Hebewerke, Schiffsgeschwindigkeit und Bau- und Betriebskosten, und diese sind abhängig von dem Querschnitt des Kanals im Verhältnis zur Schiffsgröße, dem Schiffszug, der Verkehrsmenge oder der Häufigkeit der Schiffsbegegnungen und den durch Art, Zahl und Hubhöhe der Schiffshebewerke bedingten Kosten für die Schiffsschleusungen einschließlich des dabei eintretenden Schleusungsaufenthalts. Die hier zu behandelnden Schleusen und anderen Schiffshebewerke bilden Verkehrshindernisse, deren Nachteile bei vielen, großen Höhenunterschieden der Kanalhaltungen sich vermehren und deren Überwindung mit geringstem Zeit- und Geldaufwand zu erstreben ist. Die vorliegende Aufgabe betrifft demnach in erster Linie eine wirtschaftliche Frage.

Es sollen daher nachstehend die Schiffshebewerke zur Überwindung größerer Geländehöhen nur vom wirtschaftlichen Standpunkt untersucht werden, wobei vier Arten: Schleusen, senkrechte Schwimmerhebewerke, quergeneigte Ebenen und längsgeneigte Ebenen zur Vergleichung herangezogen sind, ohne auf die Bauwerke selbst und ihre mechanischen Bewegungseinrichtungen näher einzugehen.

Allgemeine Annahmen.

In Fachschriften veröffentlichte Beispiele von Schiffshebewerken 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 Schleusungsdauer Abweichungen zeigen, besonders was die Bemessung der Ein- und Ausfahrtszeiten der Schiffe und die vor und hinter den Hebewerken zurückzulegenden, aber zur Schleusungstrecke hinzuzurechnenden Kanalteile betrifft. Um einen gleichen Maßstab zu erhalten, sollen folgende Annahmen gemacht werden, wobei die Abmessungen neuerer großer Binnenschiffahrtskanäle für Schiffe von 600 t Tragfähigkeit (vgl. Dortmund-Ems-Kanal)[1]) zugrunde gelegt wurden.

Gelände gleichmäßig ansteigend auf sehr große Erstreckung. Erdarbeiten bleiben zunächst unberücksichtigt.

1) Vgl. Zeitschrift für Bauwesen, Berlin 1901 und 1902.

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

Nur große einzeln fahrende Schiffe: 65 m Länge, 8,20 m Breite, 1,80 m Tiefgang, 600 t Tragfähigkeit, 120 t Rückfracht oder durchschnittlich 360 t.

Mittlere Fahrgeschwindigkeit auf freier Kanalstrecke 1,10 m/Sek. oder 4 km/Stunde.

Nur einfache Schleusen mit Sparbecken: 67 m Länge, 9 m Breite, 3 m Wassertiefe über dem Unterdrempel, 4,50 m über dem Oberdrempel.

Nur einfährige Hebewerke, Schwimmerhebewerke mit Gegengewichtsschwimmern, Quer- und Längsebenen mit rollenden Gegengewichten, der Trog hat 2,50 m Wassertiefe, 9 m Breite. Schiffe sind schwimmend zu heben.

Voller Schleusungsbetrieb, ununterbrochenes Auf- und Abwärtsschleusen mit Kreuzung der Schiffe, täglich 24 Betriebsstunden.

Mechanischer Betrieb für Schleusen und Hebewerke, sowohl für Bedienung der Tore, Schützen, Ventile usw. wie für Ein- und Ausfahren der Schiffe.

Beim Dortmund-Ems-Kanal mit 8,60 m breiten Schleusen haben große beladene Schiffe 8 m Breite und 1,75 m Tauchtiefe (14 qm eintauchenden Schiffsquerschnitt), es werden aber auch Schiffe von 2 m Tiefgang (Seeleichter) mit 16 qm Querschnitt zugelassen. Um diesen Verhältnissen zu entsprechen sind 9 m breite Schleusen und Schiffe mit 8,20 m Breite und 1,80 m Tiefgang (14,80 oder rund 15 qm Querschnitt) angenommen.

Schleusungsdauer.

1. Schleusen.

Für die Berechnung wird vorausgesetzt, daß längeres Warten an den Schleusen und Hebewerken nicht stattfindet (sieh 5 Minuten Wartezeit bei Berechnung von *V*), vielmehr soll das einzelne Schiff genau zu dem Zeitpunkt eintreffen, wenn der Schleusungsvorgang des entgegenkommenden Schiffes beendet ist. Nach Abb. 1 Bl. A bildet das Kanalstück *I—II* die aus etwa fünf Schiffslängen bestehende oder 350 m lange Schleusungsstrecke. 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 nach Erfahrungen beim Dortmund-Ems-Kanal für große Schiffe unzweckmäßig ist und mehr Zeit erfordert als die längere Vorwärtsbewegung. Die durchschnittliche Schleusungsdauer für voll beladene und mit $^1/_5$ Rückfracht beladene (im folgenden mit leer bezeichnete) Schiffe in der Strecke *I—II* berechnet sich dann, wenn X die Hubhöhe bedeutet, folgendermaßen:

Anfahrt durch Strecke *b* und *c*, zusammen 140 m lang, mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,50 m/Sek. (einschließlich Verzögerung beim Verlassen der Ruhelage in Strecke *a*, Richtungsänderung in *b* und Aufnahme des Spillseils am Leitwerk in *c*) $= \frac{140}{0,5} = 4$ Minuten 40 Sekunden.

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

Schließen des Untertores = 1 Minute.

Schiffshebung oder Senkung soll nur zu 2,5 cm/Sek. angenommen werden. 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 Abb. 3 Bl. A bei 4,50 m tiefem Oberdrempel 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 *e* nach *g* erfordert für einen etwa 40 m langen Brückenkanal (oder für die Außenhäupter vor und hinter der Schleusenkammer) $= \frac{40}{0,40}$ und für die übrige 100 m lange Strecke $= \frac{100}{0,60}$, zusammen = 4 Minuten 27 Sekunden.

Die gesamte Schleusungsdauer setzt sich demnach zusammen aus:

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

Schleusungsdauer $= 17,43 + \frac{X}{0,025 \cdot 60}$ Minuten.

Zur Begründung der Zeitbemessung der Schiffsbewegungen, die nach Erfahrungen an kleineren Kanälen reichlich hoch erscheint, sei darauf hingewiesen, daß es sich hier um schwerfällige Schiffe von 600 t Tragfähigkeit handelt und alle etwa durch mangelhafte Schiffsführung und Schleusenbedienung, Wind, Witterung, schlechte Beleuchtung usw. vorkommenden Störungen eingeschlossen sind. Bei der An- und Abfahrtsgeschwindigkeit von durchschnittlich 0,50 und 0,60 m/Sek. ist kein Unterschied zwischen vollen und leeren Schiffen gemacht, die angesetzten Geschwindigkeiten sind als Mittelwerte anzusehen. Unmittelbar vor und hinter der Schleusenkammer tritt durch die Schleusenhäupter und deren Flügelmauern oder durch einen anschließenden Brückenkanal (bei Schwimmerhebewerken) eine Fahrwasserverengung auf etwa 40 m Länge ein, für welche eine auf 0,40 m/Sek. ermäßigte Schiffsgeschwindigkeit angesetzt wurde. Die übliche Anordnung der Schleusenhäupter mit einer Durchfahrtsweite gleich der Kammerbreite ist für Schiffsbewegung und Wasserströmung ungünstig und könnte durch schräge Anordnung des Außenmauerwerks verbessert werden. Die Führung der an Leitwerken längsstreichenden Schiffe erleidet dadurch keinen Nachteil. Es kann dann die Länge der engen Schleusenkammer, worin sich das Schiff wie ein schlecht schließender Kolben bewegt, mit rund 70 m berechnet werden.

So vorteilhaft es zur Herabminderung der Schleusungsdauer sein würde, die Schiffsgeschwindigkeit bei Ein- und Ausfahrt möglichst zu steigern, empfiehlt es sich nach eingehenden beim Bau des Dortmund-Ems-Kanals angestellten Untersuchungen[2]) doch, über das Maß von höchstens 0,50 m nicht hinauszugehen, weil einerseits die erforderlichen Zugkräfte bei wachsender Geschwindigkeit stark zunehmen und anderseits die Sicherheit für Schiff und Bauwerk durch die größere lebendige Kraft des schweren Schiffes gefährdet erscheint. Demnach ist die mittlere Geschwindigkeit des beladenen Schiffes für Einfahrt mit nur 0,30 m/Sek. und für Ausfahrt mit 0,34 m/Sek., die des leeren Schiffes mit 0,41 und 0,45 m/Sek., oder die durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeit mit 0,38 m/Sek. angenommen.

Zur Ersparung genauerer Berechnungen ist davon ausgegangen, daß sich der Schiffswiderstand durch die relative Schiffsgeschwindigkeit, d. h. die Summe aus der Schiffsbewegung und der Geschwindigkeit des neben dem Schiff zurückfließenden Wassers ausdrückt. Es ergibt sich dann für Einfahrt des Schiffs in die Schleuse, wie erwähnt, $0,30 + 0,24 = 0,54$ m als relative Geschwindigkeit. Für Ausfahrt in den Oberkanal folgt für dieselbe relative Geschwindigkeit 0,34 m/Sek. als Schiffsgeschwindigkeit, denn $15 \cdot 0,34 = 5,1$ cbm und $\frac{5,1}{26} = 0,20$, daher $0,34 + 0,20 = 0,54$ m. Der Oberdrempel ist 4,50 m tief angenommen, wodurch die Schleusentore, wenn man überhaupt Stemmtore und nicht Klapptore wählen will, eine zweckmäßigere Form erhalten

2) Unter Leitung des Vorsitzenden der Kanalkommission Geh. Baurats Oppermann wurden durch die Regierungs- und Bauräte Lieckfeldt, Gröhe und Ruprecht eingehende Berechnungen über Zugkraft und Schiffsgeschwindigkeit beim Schleusen angestellt, die zur Folge hatten, daß die anfangs zu 2,50 m geplante Drempeltiefe auf 3 m festgesetzt wurde. Bei 8,6 m Breite der Kammer und 0,50 m Schiffsgeschwindigkeit verhalten sich die Schiffswiderstände für 2,50, 3 und 3,50 m Wassertiefe wie 1 : 0,39 : 0,21 und betragen 1450, 570 und 305 kg. Die Ersparnis an Schleusungszeit beträgt bei 3 m Wassertiefe im Vergleich zu 2,50 m Tiefe 1,4 Min. für einen Doppelhub.

und Aus- und Einströmung des Wassers erheblich erleichtert wird. Hierbei wurde auf die Umläufe, die den Wasserausgleich beim Ausfahren wenn auch in geringerem Maße als bei der Einfahrt unterstützen, keine Rücksicht genommen, um zu verhüten, daß die Annahmen für Schleusen im Vergleich mit den anderen Hebewerken zu günstig erscheinen. Aus demselben Grunde ist als Geschwindigkeit der Schiffshebung oder Senkung nur 2,5 cm/Sek. gerechnet, obwohl nach den folgenden Erörterungen (S. 15) eine größere Geschwindigkeit angenommen werden könnte.

Öffnen oder Schließen der Tore ist mit je 1 Minute angesetzt, tatsächlich dauert es bei den Schleusen des Dortmund-Ems-Kanals kaum 0,5 Minuten.

2. Senkrechte Schwimmerhebewerke.

An- und Abfahrt wie bei der Schleuse	9 Min. 7 Sek.
Tore schließen und öffnen desgl. . . .	2 „ — „
Schiffshebung oder Senkung mit einer Geschwindigkeit von 11 cm/Sek., wie in Henrichenburg	$\frac{X}{0{,}11 \cdot 60}$ Min.
Ein- und Ausfahrt aus dem Trog. Nach Abb. 4 u. 5 Bl. A ist die Schiffsgeschwindigkeit bei vollen Schiffen = 0,19 m/Sek., bei leeren = 0,38 m/Sek., wenn wiederum die relative Geschwindigkeit des Schiffes 0,54 m beträgt, woraus sich 6 Min. 1 Sek., bezw. 3 Min. 4 Sek., oder durchschnittlich für Ein- und Ausfahrt ergeben .	9 Min. 5 Sek.
Anschluß des Troges an die Häupter und Lösung erfordern für Einstellen des Dichtungskeiles, Verriegelung, Spaltwasser-Ein- und Auslassen = 2 · 2 .	4 „ — „

$$\text{Schleusungsdauer} = 24{,}20 + \frac{X}{0{,}110 \cdot 60} \text{ Minuten.}$$

Beim Hebewerk in Henrichenburg beträgt Ein- und Ausfahrt $2 \times 4{,}5 = 9$ Minuten oder genau soviel, wie vorstehend berechnet ist.

Die Geschwindigkeit des einfahrenden Schiffes berechnet sich nach den Angaben der Abb. 4 u. 5 Bl. A aus den Gleichungen

$$a \cdot x = b \cdot y \text{ und } x + y = 0{,}54 \text{ zu } x = \frac{b \cdot 0{,}54}{a + b}.$$

3. Einfährige Querebenen mit Vor- und Hinterhäfen.

Abb. 6 u. 7 Bl. A, Trogfahrgeschwindigkeit 0,50 m/Sek. und Neigung der Ebene 1 : 8.

An- und Abfahrt fallen für die Schleusungsdauer aus, weil das rückwärts in den Trog einfahrende Schiff 1 nicht das unmittelbar vorher ausfahrende Schiff zu kreuzen hat = ...	— Min. — Sek.
Ausfahrt des geschleusten Schiffs mit 0,70 m/Sek. und Einfahrt des folgenden Schiffs mit 0,6 m/Sek. oder $\frac{70}{0{,}70} + \frac{70}{0{,}60}$ = 1 Min. 57 Sek. + 1 Min. 40 Sek. =	3 „ 37 „
Tore schließen und öffnen (je zwei oben und unten) = 2 · (1 Min. 30 Sek.) = .	3 „ — „
Anschluß des Troges an die Doppelhäupter und Lösung: Dichtungskeile, Spaltwasser (je zwei Anschlüsse gleichzeitig) oben und unten 2 · 3 = . . .	6 „ — „
	12 Min. 37 Sek.

Übertrag	12 Min. 37 Sek.
Trogfeststellung dem Wasserstand entsprechend und Lösung oben und unten einschließlich Wasserausgleich zwischen Trog und Kanalhaltung = 2 · 2,5 = .	5 „ — „
Schiffshebung oder Senkung = $\frac{X}{v \cdot \sin\varphi \cdot 60}$ wird (für $v = 0{,}50$ m/Sek. und $\sin\varphi = \frac{1}{8}$) = $\frac{X}{0{,}5 \cdot \frac{1}{8} \cdot 60}$ = . . .	$\frac{X}{0{,}062 \cdot 60}$ Min.

$$\text{Schleusungsdauer} = 17{,}62 + \frac{X}{0{,}062 \cdot 60} \text{ Minuten.}$$

Für Ein- und Ausfahrt konnten erhebliche Geschwindigkeiten von 0,60 und 0,70 m/Sek. unbedenklich angenommen werden, weil nach Öffnung beider Tore die leichte Beweglichkeit des Schiffes gegeben ist und Gefahren für Schiff und Bauwerk bei nicht rechtzeitiger Fahrthemmung kaum eintreten können; es wurde aber zur Verhütung von Zusammenstößen angenommen, daß die gleichzeitige Aus- und Einfahrt nicht stattfinden soll, so daß die vollen Zeiten für Ein- und Ausfahrt in Rechnung zu stellen waren. Durch beiderseitige Torbewegungen und Troganschlüsse, die aber nicht vollständig gleichzeitig erfolgen können, tritt geringer Zeitverlust ein, der mit einer Minute als Zuschlag zu den Zeitaufwendungen bei Schwimmerhebewerken angesetzt ist.

Hinzu tritt Zeitaufwand für Trogfeststellung, die entsprechend dem jeweiligen Kanalwasserstand etwa in den Grenzen von $\pm$ 0,20 m durch Wahl des Haltepunktes so erfolgen kann, daß Kanal- und Trogwasserspiegel gleich hoch liegen und daher Ausspiegelung der Wasserstände vor dem Aufziehen der Tore nicht erforderlich wird. Für diesen Zweck ist den Haltungstoren und den Dichtungsflächen der Häupter und des Troges nach jeder Seite um $0{,}20 \cdot 8 = 1{,}60$ m vergrößerte Breite und entsprechend größere Tiefe zu geben. Stärkere Wasserschwankungen des Kanals, die, wie in den „Schlußbemerkungen“ angegeben, eintreten können, erfordern vor und nach dem Troganschluß Wasserausgleichungen zwischen Trog und Kanal, wofür einschl. Trogfeststellung 2,5 Minuten angesetzt sind.

4. Einfährige Längsebene.

An- und Abfahrt wie vorstehend . .	9 Min. 7 Sek.
Ein- und Ausfahrt aus dem Trog desgl.	9 „ 5 „
Tore schließen und öffnen, oben und unten 2 · 1 = ...	2 „ — „
Anschluß des Troges an die Häupter und Lösung, Dichtungskeil, Verriegelung, Spaltwasser, oben und unten 2 · 2 = .	4 „ — „
Ausgleichung der Wasserstände zwischen Trog und Haltungen durch Ein- und Auslassen von Wasser, oben und unten 2 · 1,5 = ...	3 „ — „
Schiffshebung oder Senkung = $\frac{X}{v \cdot \sin\varphi \cdot 60}$ wird (für $v = 1{,}0$ u. $\sin\varphi = \frac{1}{15}$) =	$\frac{X}{0{,}067 \cdot 60}$ Min.

$$\text{Schleusungsdauer} = 27{,}20 + \frac{X}{0{,}067 \cdot 60} \text{ Minuten.}$$

Der Schiffahrtsbetrieb bei An- und Abfahrt und bei Ein- und Ausfahrt ist genau so wie beim Schwimmerhebewerk, nur wird die ganze Schleusungsstrecke durch die Länge der Ebene vergrößert. Unvorteilhaft unterscheidet

sich die Längsebene von den übrigen Hebewerken dadurch, daß die unverrückbar feststehenden Kanalhäupter an jeder Kanalhaltung nur einen ganz bestimmten nach dem gewöhnlichen Wasserstand bemessenen Haltepunkt zulassen, wodurch bei allen abweichenden Wasserständen die Ausspiegelung nach Ankunft und vor Abfahrt des Troges erforderlich wird. Sieht man zugunsten der Berechnung von den in den „Schlußbemerkungen" erwähnten äußersten Grenzen der Wasserschwankungen ab und nimmt hierfür nur $\pm$ 0,25 m an, die allein schon durch Windwirkung hervorgebracht werden, und beachtet, daß die Wasserschwankungen am Ober- und Unterhaupt meistens im umgekehrten Sinne erfolgen (sowohl bei Wind, wie bei Wasserdurchleitung durch den Kanal zu Zwecken der Speisung, Spülung und Entlastung), so ist durchschnittlich mit einem Wasserspiegelunterschied von $\pm$ 0,13 cm zu rechnen, oder es sind bei jedem Troganschluß $9{,}0 \cdot 70 \cdot 0{,}13$ = rund 80 cbm Wasser in den Trog einzulassen und wieder abzugeben (oder umgekehrt), wodurch sich die Trogwassertiefe um 0,13 m vergrößert oder verkleinert. Für diesen Wasserausgleich ist $\frac{2 \cdot 80}{60} = 2{,}6$ Minuten Zeit erforderlich, wenn für Zu- und Ableitung einschl. Bedienung der Ventile durchschnittlich 1 cbm in 1 Sekunde gerechnet wird. Es ist aber nur 1,5 Minuten in Rechnung gestellt, um keinesfalls ungünstige Annahmen für die Längsebene einzuführen.

Aus demselben Grunde ist von Anrechnung besonderer Zeitverluste für Betätigung von Vorrichtungen zum Festhalten des Troges in seinen Endstellungen abgesehen, obwohl diese bei Längsebenen wichtig erscheint, weil der Trog nach Hochziehen des Haltungstores einen bedeutenden einseitigen Wasserdruck aufzunehmen hat und beim Hemmen und Festmachen des einfahrenden Schiffes an den Pollern des Troges, sowie bei etwaigen Stößen des Schiffes gegen die Torschutzbalken Gefahr läuft, vom Kanalhaupt getrennt zu werden. Ferner ist besonders große Fahrgeschwindigkeit des Troges von 1 m/Sek. vorgesehen, um auch hierdurch die Rechnungsannahme günstig zu gestalten.

Die Schleusungsdauer ist demnach:

1. für Schleusen . . . $= 17{,}43 + \frac{X}{0{,}025 \cdot 60}$ Minuten
2. für Schwimmerhebewerke $= 24{,}20 + \frac{X}{0{,}110 \cdot 60}$ „
3. für Querebenen . . . $= 17{,}62 + \frac{X}{0{,}062 \cdot 60}$ „
4. für Längsebenen . . $= 27{,}20 + \frac{X}{0{,}067 \cdot 60}$ „

Größte Leistungsfähigkeit.

Die durch die Schiffszahl ausgedrückte Leistungsfähigkeit $Z = \frac{\text{Zeit} = 24 \cdot 60 \text{ Min.}}{\text{Schleusungsdauer}}$ beträgt für 24 Stunden:

1. für Schleusen . . . . $Z = \frac{2160}{26{,}2 + X}$
2. für Schwimmerhebewerke $Z = \frac{9504}{159{,}7 + X}$
3. für Querebenen (1:8 u. $v = 0{,}50$ m) . . . . $Z = \frac{1440}{17{,}62 + \frac{X}{0{,}062 \cdot 60}}$
4. für Längsebenen (1:15 u. $v = 1$ m) . . . . . $Z = \frac{1440}{27{,}20 + \frac{X}{0{,}067 \cdot 60}}$

Reisegeschwindigkeit in einer Minute.

Die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit V des Schiffs einschließlich Schleusungsaufenthalt beträgt, wenn der Neigungswinkel des Geländes $= \alpha$ ist und die Fahrgeschwindigkeit in der außerhalb der 350 m langen Schleusungsstrecke[3]) liegenden freien Kanalstrecke = 1,10 m/Sek. angenommen wird:

$$V = \frac{X \cdot \text{Neigung des Geländes}}{\text{Schleusungszeit} + 5 \text{ Min. Wartezeit} + \frac{\text{freie Kanalstrecke}}{1{,}10 \cdot 60}}$$

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

1. für Schleusen: (Abb. 8 Bl. A)
$$V = \frac{X \cdot \operatorname{cotg} \alpha}{17{,}13 + X \cdot \left(0{,}67 + \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{66}\right)},$$
2. für Schwimmerhebewerke . . . . $V = \frac{X \cdot \operatorname{cotg} \alpha}{23{,}90 + X \cdot \left(0{,}15 + \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{66}\right)}$,
3. für Querebenen (1:8 u. $v = 0{,}5$ m) (Abb. 9a u. b Bl. A)
$$V = \frac{X \cdot \operatorname{cotg} \alpha}{29{,}82 + X \cdot \left(0{,}27 + \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{66}\right)},$$
4. für Längsebenen (1:15 u. $v = 1{,}0$ m) (Abb. 10 Bl. A)
$$V = \frac{X \cdot \operatorname{cotg} \alpha}{26{,}92 + X \cdot \left(0{,}25 + \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{66}\right)}.$$

Wie aus Abb. 8 bis 10 Bl. A hervorgeht, sind keine Einschnitte der Kanalanlagen in das Gelände angenommen. Über die praktische Lage der Bauwerke zum Gelände und dabei eintretende Erdarbeiten vgl. den später folgenden Abschnitt: „Kosten der Erdeinschnitte bei steiler Geländeneigung".

Günstigste Hubhöhe X.

Es ist die günstigste Hubhöhe X der Hebewerke für verschiedene Geländeneigungen zu bestimmen, wobei zunächst angenommen werden soll, daß das Gelände in sehr großer Erstreckung die Neigung α hat, es sich also nicht um Überwindung von bestimmten Gefällen zwischen zwei Kanalhaltungen handelt. Die durch X ausgedrückten Werte Z bestätigen, was auch die einfache Überlegung sagt, daß die Leistungsfähigkeit bei kleiner Hubhöhe X am größten wird. Aus den ebenfalls durch X ausgedrückten Werten V ergibt sich dagegen umgekehrt, daß die größte Geschwindigkeit bei möglichst großem X eintritt. Es fragt sich, wie das günstigste X bestimmt werden kann? In erster Linie wird es wohl immer darauf ankommen, Schleusen und Hebewerke bezüglich der Zahl der Schleusungen leistungsfähig zu gestalten und weniger Wert auf die Reisegeschwindigkeit des Schiffes zu legen, weil eine bedeutende, das durchschnittliche Maß erheblich übersteigende Schleusungsleistungsfähigkeit wegen erfahrungsmäßig häufig eintretender Ungleichheit der zu befördernden Schiffszahl nicht entbehrt werden kann. Besonders

3) Die Wegestrecke ist in der Berechnung irrtümlich zu 350 m angenommen, während sie 350 + 70 m für die Ausfahrt des Schiffs aus der Schleusungsstrecke = 420 m beträgt. Die Werte für V werden dadurch etwas größer, aber nur unbedeutend.

ist dies bei Kanälen der Fall, die mit freien Flüssen in Verbindung stehen, deren Schiffahrtsbetrieb naturgemäß von wechselnden Flußwasserständen abhängig ist. Auch handelt es sich bei Kanalschiffahrt 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 Verlangsamung der Reisegeschwindigkeit nur an einzelnen Stellen auftritt und im ganzen wenig ausmacht. Anderseits darf eine möglichst große Reisegeschwindigkeit nicht unbeachtet bleiben, die nicht allein der Güterbeförderung, sondern auch der besseren Ausnutzung des Schiffsparks zu statten kommt. Schleusen und Hebewerke haben nicht den Zweck, nur Schiffe zu heben und zu senken, sie müssen vielmehr im Zusammenhang mit der anschließenden Kanalstrecke so eingerichtet sein, daß sie der Weiterbeförderung des Kanalgutes einen möglichst geringen Widerstand bieten. Dieser Forderung wird genügt, wenn die wirtschaftliche Leistung des Hebewerkes zusammen mit seinem zugehörigen Kanalstück, das bis zum nächsten Hebewerk reicht, oder die tonnenkilometrische Leistung dieser Strecke, d. h. das Produkt $V \cdot Z$ am größten wird.

Demgemäß ist die Berechnung von X erfolgt, indem durch Multiplikation der vorstehenden Werte für Z und V die Gleichung: $V \cdot Z =$ Funktion (X, cotg α) gebildet und aus dieser in bekannter Weise durch Differenzierung nach dx und Setzung des Differenzialquotienten $= 0$ das günstigste X gefunden wurde, nämlich:

1. für Schleusen . . . $X = \sqrt{\dfrac{447{,}9}{0{,}67 + \dfrac{\text{cotg}\,\alpha}{66}}}$

2. für Schwimmerhebewerke . . . . . $X = \sqrt{\dfrac{3817{,}3}{0{,}15 + \dfrac{\text{cotg}\,\alpha}{66}}}$

3. für Querebenen (1 : 8 u. $v = 0{,}50$ m) . . . $X = \sqrt{\dfrac{525{,}4}{0{,}27 \cdot \left(0{,}27 + \dfrac{\text{cotg}\,\alpha}{66}\right)}}$

4. für Längsebenen (1:15 u. $v = 1{,}00$ m) . . . $X = \sqrt{\dfrac{732{,}8}{0{,}25 \cdot \left(0{,}25 + \dfrac{\text{cotg}\,\alpha}{66}\right)}}$

Vergleichung der Hebewerke.

Durch Einsetzen verschiedener Werte für Geländeneigung α ergeben sich die zugehörigen Werte für X und daraus für Z und V, die in Abb. 4 Bl. B für die zu vergleichenden vier Hebewerksarten in Linien aufgezeichnet und in Tabelle 1 in Zahlen zusammengestellt sind. Es ist voller Schleusungsbetrieb von täglich 24 Stunden an jährlich 270 Tagen angenommen.

Aus praktischen Gründen mußten die Hubhöhen der Hebewerke beschränkt werden. Schleusen konnten das rechnungsmäßig günstigste $X = 14{,}90$ m behalten, weil Schleusen von dieser Höhe noch ausführbar erscheinen. Die Höhe der Schwimmerhebewerke, deren günstigste Hubhöhe durchweg höher als 20 m ist, wurde auf 20 m beschränkt wegen der selbst bei sehr gutem Baugrund schwierigen Brunnenherstellung. Für Quer- und Längsebenen erschien 40 m als obere Hubgrenze zweckmäßig, weil die Leistungen Z und $V \cdot Z$ bei größerem X erheblich abnehmen (sieh Abb. 4 Bl. B) und dadurch im Vergleich mit Schleusen und Schwimmerhebewerken ungünstig werden. Infolge dieser in Abb. 4 Bl. B durch wagerechte Teile der Bogenlinien X ausgedrückte Begrenzung der Hubhöhe wird Leistung Z vermehrt, während V und $V \cdot Z$ eine geringe Einbuße erleiden. Zum Vergleich sind auch die Werte für eine Längsebene von 100 m Höhe eingetragen.

Die Leistung $V \cdot Z$ für Querebenen ist fast durchweg größer als bei den übrigen Hebewerken. Hiernach kann die Querebene von 40 m Hubhöhe, nach tonnenkilometrischer Leistung berechnet, als das leistungsfähigste Hebewerk für sehr große Gefälle bezeichnet werden. Die Werte $V \cdot Z$ haben allerdings keine ausschlaggebende Bedeutung, sie beziehen sich nur auf die Fahrt innerhalb der sehr lang gedachten Hebewerkstreppe, in welcher für geneigte Ebenen vermöge ihrer größeren Hubhöhe weniger Schleusungen als bei Schleusen und Schwimmer-Hebewerken vorkommen und damit geringerer Schleusungsaufenhalt oder größere mittlere Reisegeschwindigkeit eintritt und für Querebenen der Vorteil rascher Schleusung durch Benutzung von Vor- und Hinterhäfen hinzukommt. Maßgebend könnten die Werte $V \cdot Z$ sein, wenn der ganze Kanal aus Hebewerkstreppen ohne längere Zwischenhaltungen bestände.

Die größte Reisegeschwindigkeit V in einem so gestalteten Kanal erreichen Längsebenen, wobei die Hebung und Senkung des Schiffes in der Richtung des Reiseweges von Vorteil ist. Es wächst V mit der Hubhöhe, wie auch aus den Angaben über die 100 m hohe Längsebene ersichtlich ist, die dadurch bei steilem Gelände von 1 : 45 sogar einen größeren Wert für $V \cdot Z$ als die Querebene aufweist. Sie hat dabei aber nur die halbe Güterleistung Z der Querebene, woraus ohne weiteres und ohne Rücksicht auf die nachstehend zu behandelnde Kostenfrage geschlossen werden kann, daß Zusammenlegung vieler kleiner Hebewerke zu einem sehr hohen Hebewerk nicht zweckmäßig ist. Selbst für den Fall einer längeren nur aus Hebewerkstreppen bestehenden Kanalstrecke würde man zur Erzielung des Vorteils einer doppelten Schiffszahl die Verminderung der an sich schon geringen Reisegeschwindigkeit in Kauf nehmen können, also der Querebene den Vorzug vor der Längsebene einräumen. Der Vorteil größerer Reisegeschwindigkeit bei Ebenen, der allein durch ersparte Schleusungsdauer hervorgebracht wird, ist außerdem nicht bedeutend und fällt fast ganz weg, wenn sich an die Schleusentreppe längere Kanalhaltungen anschließen, was in Wirklichkeit meistens zutreffen wird.

Besser zur Vergleichung eignet sich die von V unabhängige, durch Schiffszahl Z ausgedrückte Verkehrsmenge, die nach Abb. 4 Bl. B für Schleusen und Querebenen fast gleich groß ist, während sie bei Längsebenen und besonders bei der 100 m hohen Längsebene weit zurücksteht. Für Schwimmerhebewerke ist Z bei Geländeneigung 1 : 90 etwa gleich mit Querebenen und Schleusen, übertrifft diese aber bei steileren Neigungen. Hiernach müßte für sehr steiles Gelände dem 20 m hohen Schwimmer-Hebewerk die größte Leistungsfähigkeit zuerkannt werden, allerdings mit der Einschränkung, daß seine Anwendbarkeit schon bei cotg $\alpha = 67{,}5$ aufhört, während die Anwendung der Querebene bis cotg $\alpha = 33{,}75$ möglich ist. Die Anwendungsgrenzen folgen aus

der Annahme einer sehr langen Kanallinie von gleichmäßiger Steigung, wobei das Überschreiten der mittleren Geländeneigung durch Einschnitte nicht zulässig erschien, um große und sich fortgesetzt steigernde Erdarbeiten zu vermeiden.

Für die wirkliche Anwendung gestalten sich die Verhältnisse jedoch wesentlich anders, weil solche Geländeneigungen nicht vorkommen, sondern meistens begrenzte Höhen mit verschiedenen Abstufungen zu überwinden sind, so daß die Hebewerke schon aus Rücksicht auf die Erdarbeiten dem Gelände möglichst angepaßt werden müssen, auch wird die Teilung des Gefälles genau entsprechend der berechneten günstigsten Hubhöhe X nicht überall möglich sein. Bei Geländehöhen von 36 m z. B. würden drei Schleusen zu 12 m, zwei Schwimmerhebewerke von je 18 m und Ebenen von 36 m Hubhöhe in Frage kommen und hierdurch andere Verhältnisse eintreten, als sie aus Abb. 4 Bl. B hervorgehen, wo in der Ordinatenlinie für $\cot g\,\alpha = 160$ die günstigste Schleusenhöhe von 12 m im Vergleich steht mit 20 m hohen Schwimmerhebewerken, 27 m hohen Querebenen und 35 m hohen Längsebenen. Ferner kommen als wesentlicher Punkt für die Wirtschaftlichkeit die Kosten in Betracht, die durch Teilung der Hubhöhe der Hebewerke in mehrere Teile erhebliche Veränderungen erleiden. Aus Abb. 4 Bl. B folgt, daß bei Teilung der Hubhöhe sowohl Z wie $V \cdot Z$ erheblich steigen, es fragt sich, ob und wie weit die Kosten eine solche Teilung zulassen. Diese Verhältnisse werden nachstehend näher erörtert werden, vorher mögen aber einige Bemerkungen zur Begründung der vorstehenden Annahmen über Wartezeit an den Schleusen, Schiffsgeschwindigkeit, Neigung der Ebenen und Trogfahrgeschwindigkeit Platz finden.

Begründung der Bewegungsgeschwindigkeiten für Schiff, Trog usw.

Ähnliche Untersuchungen wurden angestellt mit Veränderung

Tabelle 1. Leistungsfähigkeit der Hebewerke. (Wartezeit = 5 Minuten und Schiffsgeschwindigkeit in freier Strecke = 1,10 m/Sek.)

Geländeneigung	Schleusen					Schwimmerhebewerke					Querebenen (1:8 und v = 0,5 m/Sek.)					Längsebenen (1:15 und v = 1,0 m/Sek.)					Längsebenen 100 m hoch (1:15 und v = 1,0 m/Sek.)				
	Hubhöhe	Leistung: Schiffszahl in 24 Stunden	Leistung: Jährliche Gütermenge	Mittlere Reisegeschwindigkeit	Jährliche kilometrische Leistung	Hubhöhe	Leistung: Schiffszahl in 24 Stunden	Leistung: Jährliche Gütermenge	Mittlere Reisegeschwindigkeit	Jährliche kilometrische Leistung	Hubhöhe	Leistung: Schiffszahl in 24 Stunden	Leistung: Jährliche Gütermenge	Mittlere Reisegeschwindigkeit	Jährliche kilometrische Leistung	Hubhöhe	Leistung: Schiffszahl in 24 Stunden	Leistung: Jährliche Gütermenge	Mittlere Reisegeschwindigkeit	Jährliche kilometrische Leistung	Hubhöhe	Leistung: Schiffszahl in 24 Stunden	Leistung: Jährliche Gütermenge	Mittlere Reisegeschwindigkeit	Jährliche kilometrische Leistung
$\cot g\,\alpha$	X	Z	$Z \cdot 0{,}097$	V	$V \cdot Z \cdot 0{,}097$	X	Z	$Z \cdot 0{,}097$	V	$V \cdot Z \cdot 0{,}097$	X	Z	$Z \cdot 0{,}097$	V	$V \cdot Z \cdot 0{,}097$	X	Z	$Z \cdot 0{,}097$	V	$V \cdot Z \cdot 0{,}097$	X	Z	$Z \cdot 0{,}097$	V	$V \cdot Z \cdot 0{,}097$
	m	Anzahl	Mill. t	m/Sek.	Mill. tkm	m	Anzahl	Mill. t	m/Sek.	Mill. tkm	m	Anzahl	Mill. t	m/Sek.	Mill. tkm	m	Anzahl	Mill. t	m/Sek.	Mill. tkm	m	Anzahl	Mill. t	m/Sek.	Mill. tkm
28,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100,0	27,6	2,68	0,66	1,77
33,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40,0	50,7	4,93	0,37	1,82	—	—	—	—	—	100,0	27,6	2,68	0,71	1,90
48,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40,0	50,7	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
67,50	—	—	—	—	—	20,0	52,9	5,14	0,48	2,47	36,5	51,2	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
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	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
	vom Hundert:		100		100			101		120			102		130			74		115			52		101
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	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
	vom Hundert:		100		100			97		115			102		125			73		107			51		91
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	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
	vom Hundert:		100		100			91		109			102		117			71		96			47		75
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	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
	vom Hundert:		100		100			86		104			102		112			70		88			45		65
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	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
	vom Hundert:		100		100			82		96			102		111			69		82			43		57
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	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
	vom Hundert:		100		100			77		84			101		104			67		72			38		44

Bemerkungen: Die Schiffszahl Z (in 24 Stunden) multipliziert mit $270 \cdot \left(\frac{600 + 120}{2}\right) = Z \cdot 97200$ Tonnen, oder $Z \cdot 0{,}097$ Mill. Tonnen ist die jährliche Leistung des Hebewerkes, und $V \cdot Z \cdot 97200$ tm oder $V \cdot Z \cdot 0{,}097$ Mill. tkm die kilometrische Leistung der Kanalstrecke.

$\cot g\,\alpha = 28{,}50$ ist die Grenze der Anwendbarkeit für 100 m hohe Längsebenen, wenn der Abstand zweier Hebewerke 1350 m von Mitte zu Mitte beträgt.
$\cot g\,\alpha = 33{,}75$ „ „ „ „ „ „ 40 „ „ Querebenen, desgl.
$\cot g\,\alpha = 48{,}75$ „ „ „ „ „ „ 40 „ „ Längsebenen, desgl.
$\cot g\,\alpha = 67{,}50$ „ „ „ „ „ „ 20 „ „ Schwimmerhebewerke, desgl.
$\cot g\,\alpha = 90{,}60$ „ „ „ „ „ „ 14,9 „ „ Schleusen, desgl.

Die Schiffszahl Z bedeutet kreuzenden Schiffsverkehr an den Hebewerken.

der Schiffsgeschwindigkeit in freier Kanalstrecke, der Wartezeit an den Schleusen sowie der Neigungen und Troggeschwindigkeiten der Ebenen und die Ergebnisse in Tabellen und graphischen Bildern zusammengestellt, deren Wiedergabe hier entbehrlich erscheint. Es mögen nur die Hauptergebnisse genannt werden.

Bei 30 Minuten Wartezeit für Wechsel des Schleppmittels, nämlich je 15 Minuten vor und hinter jedem Hebewerk, einer mittleren Schiffsgeschwindigkeit in freier Strecke von 1,25 m/Sek., Neigungen der Längsebenen 1:25 bis 1:15 mit Troggeschwindigkeiten von 0,50 bis 1 m/Sek., Neigungen der Querebenen 1 : 8 mit Troggeschwindigkeiten von 0,50 bis 1 m/Sek. und bei Voraussetzung eines äußersten, nur im steilsten Gelände eintretenden Mindestabstandes der Hebewerke von 350 m folgt aus dem Vergleich der Werte für die Verkehrsmenge Z, daß Längsebenen 1 : 25 mit Troggeschwindigkeit von 0,50 m/Sek. für den Wettbewerb mit den übrigen Hebewerken nicht in Frage kommen können. Zur möglichsten Verbesserung dieses Nachteils ist für weitere Berechnungen die Neigung 1:15 und die Troggeschwindigkeit 1 m/Sek. angenommen. Ob hiermit das aus Gründen der Trogkonstruktion und seines Betriebes zulässige Maß überschritten wird, soll nicht erörtert werden. In den beiden Entwürfen „Universell" und „Austriaca" des für die österreichischen Kanäle ausgeschriebenen Internationalen Wettbewerbs[4]) ist die in der Ausschreibung gegebene Geländeneigung 1:25 gewählt, aber in beiden Fällen ist nur 0,50 m Troggeschwindigkeit angenommen. Neigung 1 : 15 möchte das äußerste Maß für Längsebenen sein, weil hierbei der 70 m lange Trogwagen an seinem hintern Ende schon etwa 12 m Höhe erreicht und eine breite ebenso tief unter den Kanalwasserstand reichende und trocken zu haltende dockähnliche Vertiefung des unteren Teiles der Fahrbahn verlangt, deren weitere Vertiefung bei noch steilerer Neigung nicht rätlich erscheint. Auch bedeutet die zu 1 m/Sek. angenommene Geschwindigkeit die mittlere Reisegeschwindigkeit des Troges, woraus mit Rücksicht auf allmähliche Einleitung und Hemmung der Fahrt (die besonders zur Verhütung von zu starken Wasserschwankungen in dem längsgerichteten Schiffstrog nötig sind) sich etwa 1,25 m als Fahrgeschwindigkeit des Troges ergibt, was zwar zu reichlich erscheint, aber zum Vorteil der Berechnung der Längsebene beibehalten wurde.

Die Querebene 1 : 8 mit 0,50 m Troggeschwindigkeit hat für Z größere Werte als alle anderen Hebewerke, es war daher die Einführung einer größeren Geschwindigkeit nicht erforderlich, die bei quer fahrendem Trog auch größere Bedenken als bei der Längsebene haben dürfte, zumal auch hier durch Beschleunigung und Hemmung der Fahrt die Fahrgeschwindigkeit des Troges etwa 0,60 m/Sek. erreicht. Eine steilere Neigung als 1 : 8 wurde nicht für zweckmäßig erachtet, weil ein zu geringer Abstand der in verschiedenen Höhenlagen nebeneinander herlaufenden Kanalenden je nach der Bodenbeschaffenheit Gefahren für den Bestand des Bauwerkes durch Wasserdurchsickerung bringen könnte.

Demgemäß wurden in weiteren Berechnungen nur Längsebenen 1 : 15 mit $v = 1$ m/Sek. und Querebenen 1 : 8 mit $v = 0{,}50$ m/Sek. angenommen, die genannte Einschränkung der Hubhöhen zu 20 und 40 m eingeführt, die Wartezeit an den Hebewerken in Rücksicht auf geregelten mechanischen Schiffszug von 30 auf 5 Minuten ermäßigt, der Mindestabstand der Hebewerke auf 1350 m bemessen und die mittlere Schiffsgeschwindigkeit in freier Strecke für einen Kanal mit starkem Verkehr gemäß den Haackschen Untersuchungen am Dortmund-Ems-Kanal[5]) zu 1,10 m/Sek. angenommen. Auf diesen Grundlagen ist die Berechnung der Tabelle 1 erfolgt.

Aus dem Vergleich der Zahlenwerte der verschiedenen Berechnungen ergibt sich für alle Schleusen und Hebewerke:

1. mit flacherem Gelände (cotg α) wird das günstigste X kleiner,
2. mit abnehmendem X werden Z und V größer,
3. mit abnehmender Wartezeit wird X kleiner, Z und V größer,
4. mit abnehmender mittlerer Schiffsgeschwindigkeit in freier Kanalstrecke wird X kleiner, Z größer und V und $V \cdot Z$ kleiner,
5. mit zunehmender Troggeschwindigkeit und steilerer Neigung der Ebenen werden X, Z und V größer.

Bau- und Betriebskosten.

Zur genauen Berechnung der Bau- und Betriebskosten bedarf es langjähriger Betriebserfahrungen an ausgeführten Beispielen von der in Frage kommenden Art und Größe der Schleusen und Hebewerke, mindestens aber vollständig durchgearbeiteter und nach gleichen Grundsätzen veranschlagter Entwürfe, die aber nicht vorliegen. Es kann sich daher nur um schätzungsweise auf einzelne Ausführungen und Entwürfe gestützte Berechnungen handeln, die jedoch für eine annähernd zutreffende Übersicht genügen dürften.

Bei den Betriebskosten sind 15stündiger Tagesdienst, einfache Besetzung der Bedienungsmannschaft und jährlich 270 Schleusungstage angenommen. Für Verzinsung des Baukapitals wurde 3 vH. angesetzt, für Abschreibung durchschnittlich 3 vH. bei Metallteilen und 0,5 vH. bei Bauarbeiten. Entsprechend der in die Kanallinie fallenden Länge des Hebewerks ist für ersparte Kanalbaukosten ohne Grunderwerb ein Abzug von 400000 ℳ/km gemacht, bei Querebenen dagegen für Verlängerung der Kanalstrecke durch Vor- und Hinterhäfen ein gleicher Kostenzusatz bewirkt.

1. Für Schleusen sind Veröffentlichungen über den Dortmund-Ems-Kanal[6]) und andere von der Königl. Kanalverwaltung in Münster zur Verfügung gestellte Angaben benutzt.

Die Baukosten der elektrisch betriebenen Sparschleuse Münster mit 67 m Länge, 8,60 m Breite und 6,20 m Hubhöhe betragen ohne Grunderwerb, aber einschließlich einer Brücke über das Unterhaupt 668000 ℳ. Hiervon entfallen 473000 ℳ auf Mauer- und Erdarbeiten, nämlich 114000 ℳ für Grundbau, Erdarbeit und Wasserhaltung, 317000 ℳ für Kammerwände, Häupter und Einfassung der Seitenbecken und 42000 ℳ für Insgemein. Ferner kommen 195000 ℳ auf bewegliche und Metallteile, nämlich 150000 ℳ für

4) Vgl. Haberkalt: Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst 1904, Heft 49 und 50, und Gerdau, desgl. Heft 52. Ferner Zentralblatt der Bauverw. 1905, S. 125 u. f.

5) Vgl. Haack, Schiffswiderstände u. Schiffahrtsbetrieb. Berlin 1900. A. Asher u. Ko.

6) Vgl. auch: Statistische Nachweisungen über ausgeführte Wasserbauten des preußischen Staats in der Zeitschrift für Bauwesen 1900 und 1901.

Schleusentore, Umlaufschützen (einschließlich 114500 ℳ für Maschinenanlage und elektrische Betriebseinrichtung) und 45000 ℳ für Nebenanlagen einschließlich 43000 ℳ für eine Eisenbahn- und Wegebrücke.

Die unmittelbaren Unterhaltungs- und Betriebskosten einschließlich Löhne betragen jährlich 6300 ℳ oder rund 1 vH. der Baukosten.

Für Verzinsung sind 3 vH. der Baukosten zu rechnen, für Abschreibung durchschnittlich 3 vH. von 195000 ℳ und 0,5 vH. von 473000 ℳ = 8200 ℳ oder rund 1,2 vH. der Baukosten.

Die Baukosten für Schleusen von 4 bis 15 m Hubhöhe sind nach der auf Grund der Dortmund-Ems-Kanalbauten aufgestellten Lieckfeldtschen Formel[7]) bestimmt worden:

$$K = 160000 + 40000\,h + 4000\,h^2 \text{ ℳ}.$$

Hierzu kommen bei einer 6,20 m hohen Schleuse für zwei Sparbecken (auf jeder Seite) zusammen 50000 m und für Maschinenbetriebseinrichtung 100000 ℳ. Für das etwa 85 m lange Schleusenbauwerk sind zur Erreichung rechnungsmäßiger Vergleichswerte 0,085 · 400000 = 34000 ℳ in Abzug zu bringen. Nach vorstehenden Angaben ist Tabelle 2 aufgestellt. Um dem Schein einer zu günstigen Behandlung der Schleusen im Vergleich mit den übrigen Hebewerken zu begegnen, sind die Kosten reichlich hoch gerechnet. Es ist anzunehmen, daß die Lieckfeldtsche Formel zu hohe Werte für große Schleusengefälle ergibt, besonders wenn durch Anwendung von Eisenbeton[8]) Ersparnisse zu erzielen sind. Jedenfalls sind die im Verhältnis der Bausumme berechneten Ansätze für Unterhaltung und Betrieb sowie für Abschreibung zu hoch, weil die Löhne mit der Schleusenhöhe nur wenig und noch weniger im Verhältnis zu den Baukosten steigen, ferner weil der durchschnittliche Abschreibungsbetrag (1,2 vH.) geringer wird wegen der nur zu 0,5 vH. anzurechnenden, mit der Höhe stark wachsenden Mauerwerksmassen.

2. Für Schwimmerhebewerke sind die Kosten des elektrisch betriebenen Hebewerks in Henrichenburg[9]) mit 14,50 m Hubhöhe und einem Schiffstrog von 67 m Länge, 8,60 m Breite und 2,50 m Wassertiefe zugrunde gelegt.

Die Baukosten haben 2,8 Millionen Mark betragen, wovon 0,2 Millionen Mark auf ein im Zusammenhang damit erbautes Pumpwerk und 2,6 Millionen Mark auf das Hebewerk selbst nebst einer Wegeunterführung entfallen. Die Veränderung der Hubhöhe um 1 m durch verlängernde oder verkürzende Zwischenglieder zwischen Trog und Schwimmern und andere Arbeiten kosten nach den Preisen der Abrechnung 40000 ℳ, und mit Zuschlag von 25 vH. für entsprechende Änderung der Abmessungen der Bauglieder und der Aufstellungsgerüste ergeben sich 50000 ℳ für 1 m Hubhöhe. An ersparten Kanalbaukosten sind wie bei den Schleusen 34000 ℳ zu rechnen.

Die reinen Betriebs- und Unterhaltungskosten belaufen sich bei vollem Tagesbetrieb jährlich auf 50000 ℳ, wovon etwa 26000 ℳ oder 1 vH. der Bausumme für Unterhaltung und kleine Ausbesserungen und 24000 ℳ für Löhne, Betriebsmaterialien und Kohlen anzusetzen sind. Verzinsung ist mit 3 vH., Abschreibung mit durchschnittlich 1,9 vH. der Bausumme zu rechnen, nämlich 3 vH. von 1515000 ℳ für Eisen- und Metallteile und 0,5 vH. von 1085000 ℳ für Mauer- und Erdarbeiten.

Daraus ergeben sich für Schwimmerhebewerke von 10 bis 20 m Hubhöhe die in Tabelle 3 zusammengestellten Kosten.

3. Zur Berechnung der Kosten für Querebenen wurde der Entwurf[10]) einer 100 m hohen, 1 : 5 geneigten Querebene

Tabelle 2. Bau- und Betriebskosten von Schleusen.

Hubhöhe der Schleusen und Zahl der Sparbecken	Baukosten: des eigentlichen Bauwerkes nach Lieckfeldt	Baukosten: der Sparbecken	Baukosten: der Maschinen-Betriebseinrichtung	Baukosten: Gesamtbaukosten	Baukosten: Abzug für ersparte Kanallänge	Baukosten: Vergleichswert der Baukosten	Jährliche Kosten bei 15stündigem Tagesbetrieb: Reine Unterhaltungs- und Betriebskosten	Jährliche Kosten: Verzinsung u. Abschreibung 3+1,2=4,2 vH. der Bausumme	Jährliche Kosten: Jährliche Gesamtkosten	Bemerkungen
	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	
4 m (mit 1 Sparbecken) 1 Becken an jeder Seite mit einem Ventil	384	25	80[1])	489	34	455	4600	19	24	1) Für jedes Sparbecken-Zylinderventil sind 10000 ℳ gerechnet.
5 m (wie vor)	460	25	80	565	34	531	5300	23	28	
6 m (mit 2 Sparbecken) 2 Becken an jeder Seite	544	50	100	694[2])	34	660	6600	28	35	2) Schleuse Münster mit 6,2 m Hub hat nur 668000 ℳ gekostet.
7 m (wie vor)	636	50	100	786	34	752	7500	32	40	
8 m (mit 4 Sparbecken) 4 Becken an jeder Seite	736	100	140	976	34	932	9300	39	48	Mit oberem und unterem Ausgleichbecken, vgl. Wasserpumpen.
9 m (wie vor)	844	100	140	1084	34	1050	10500	44	55	
10 m (wie vor)	960	100	140	1200	34	1166	11700	49	61	
11 m (mit 5 Sparbecken) 5 Becken an jeder Seite	1084	125	160	1369	34	1335	13400	56	69	
12 m (wie vor)	1216	125	160	1501	34	1467	14700	62	77	
13 m (mit 6 Sparbecken) 6 Becken an jeder Seite	1356	150	180	1686	34	1652	16500	69	86	
14 m (wie vor)	1504	150	180	1834	34	1800	18000	76	94	
15 m (wie vor)	1660	150	180	1990	34	1956	19600	82	102	

7) Vgl. Lieckfeldt: Zentralblatt der Bauverwaltung 1895 S. 305.

8) Vgl. Schnapp über Frage 1 der Abteilung I auf dem Internationalen Schiffahrtskongreß 1902 in Düsseldorf.

9) Vgl. Zeitschrift für Bauwesen 1901 S. 293.

10) Vgl. Schönbach über den preisgekrönten Entwurf der fünf böhmischen Maschinenfabriken in der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins 1898 Nr. 24 und 25.

Tabelle 3. Bau- und Betriebskosten von Schwimmer-Hebewerken.

Hubhöhe	Baukosten			Jährliche Kosten				
	Kosten nach Beispiel Henrichenburg	Abzug für ersparte Kanallänge	Vergleichswert der Baukosten	Unterhaltung und kleine Ausbesserungen, 1 vH.	Löhne, Betrieb und Kohlen[1]	Unterhaltung, Betrieb und Kohlen	Verzinsung 3,0 vH. Abschreibung 1,9 vH. Zusammen 4,9 vH.	Jährliche Gesamtkosten
m	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ
10	2375	34	2341	23	19	42	115	157
11	2425	34	2391	24	20	44	117	161
12	2475	34	2441	24	21	45	120	165
13	2525	34	2491	25	22	47	122	169
14	2575	34	2541	25	23	48	124	172
14,5	2600 Henrichenburg	34	2566	26	24	50	126	176
15	2625	34	2591	26	24	50	127	177
16	2675	34	2641	26	25	51	129	180
17	2725	34	2691	27	26	53	132	185
18	2775	34	2741	27	27	54	134	188
19	2825	34	2791	28	28	56	137	193
20	2875	34	2841	28	29	57	139	196

1) Für 1 m Hubveränderung ist 1000 ℳ gerechnet.

mit rollenden Gegengewichten und einem mit 0,90 m/Sek. Geschwindigkeit fahrenden Schiffstrog von 68 m Länge, 8,60 m Breite und 2,10 m Wassertiefe zugrunde gelegt.

Die Baukosten sind auf 5,338 Mill. Mark veranschlagt, hiervon entfallen 3,256 Mill. auf Eisen- und Maschinenteile (Abschreibung 3 vH.) und 2,083 Mill. auf Erd- und Mauerarbeiten (Abschreibung 0,5 vH.), oder die durchschnittliche Abschreibung stellt sich auf 2 vH. der Bausumme.

Für verschiedene Hubhöhen hat Schönbach die Kosten durch Formel $K = 3400000 + 19380 \cdot h$ ℳ ausgedrückt, worin h die Hubhöhe für Neigung 1 : 5 bedeutet. Für die hier angenommene Neigung 1 : 8 ist 19380 mit $\frac{8}{5}$ zu vervielfachen, also $K = 3400000 + 31000 \cdot h$ ℳ.

Durch Vor- und Hinterhäfen nach Abb. 6 Bl. A wird der Kanal um $6 \cdot 70 = 420$ m länger, wofür $0{,}420 \cdot 400000 = 185000$ ℳ hinzuzusetzen sind.

An jährlichen Betriebskosten außer Kohlen sind 60000 ℳ oder 1,1 vH. der Bausumme, nämlich 20000 ℳ für Löhne, 6000 ℳ für Kleinmaterial und Beleuchtung und 34000 ℳ für Unterhaltung und kleine Ausbesserungen gerechnet. Für eine 36 m hohe Querebene sind die Kosten für Kohlen zu 6 ℳ für jeden Hub berechnet. Hieraus ergeben sich unter Berücksichtigung der jährlichen Schiffszahl die Jahresbeträge für Kohlen, die mit den übrigen Angaben in Tabelle 4 zusammengestellt sind.

4. Für Längsebenen wurde der Entwurf zu einer 36 m hohen, 1 : 25 geneigten Längsebene[11]) mit zwei elektrisch ausbalanzierten Schiffströgen zugrunde gelegt. Die Tröge haben 69 m Länge, 8,80 m Breite, 2,30 m Wassertiefe und eine Fahrgeschwindigkeit von 0,50 m/Sek. Über das Unterhaupt führt eine Brücke.

Die Baukosten sind zu 5,177 Mill. Mark veranschlagt, wovon 3,562 Millionen auf Eisen- und Maschinenteile (Abschreibung 3 vH.) und 1,615 Millionen auf Bauarbeiten (Abschreibung 0,5 vH.) entfallen, oder die durchschnittliche Abschreibung beträgt 2,2 vH. der Bausumme.

Um die angenäherten Kosten einer 1 : 15 geneigten Längsebene mit einem Schiffstrog und rollenden Gegengewichten zu erhalten, hat eine schätzungsweise Umrechnung stattgefunden, indem 715000 ℳ von den Kosten der Eisen- und Maschinenteile in Abzug gebracht wurden, nämlich für Umwandlung des zweiten Trogwagens in rollende Gegen-

11) Vgl. Haberkalt über den im intern. Wettbewerb 1904 preisgekrönten Entwurf „Universell" der fünf böhmischen Maschinenfabriken in der österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst 1904, Heft 49. Ferner Zentralbl. d. Bauverwaltung 1905 S. 125.

Tabelle 4. Bau- und Betriebskosten von Querebenen.

Hubhöhe	Baukosten			Jährliche Kosten				
	Kosten nach Schönbach 3400000 + 31000 · h	Mehrkosten durch Verlängerung der Kanalstrecke	Vergleichswert der Baukosten	Löhne, Unterhaltung und kleine Ausbesserungen 1,1 vH.	Kohlen	Reine Betriebskosten und Kohlen	Verzinsung 3,0 vH. Abschreibung 2,0 vH. Zusammen 5,0 vH.	Jährliche Gesamtkosten
m	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ
15	3865	185	4050	45	44	89	203	292
20	4020	185	4205	47	47	94	210	304
25	4175	185	4360	48	50	98	218	316
30	4330	185	4515	50	52	102	226	328
36 (zugleich für 35)	4516	185	4701	52	54	106	235	341
40	4624	185	4809	53	56	109	240	349
100	6500	185	6685	74	65	139	334	473

gewichte, der Zahnstange des zweiten Trogwagens in Zugseile und Rollen, Verkürzung des Fahrbahnoberbaues, Wegfall der Maschineneinrichtung des zweiten Trogwagens und der beiderseitigen Haltungsanschlüsse, und indem 156000 ℳ von den Kosten der Bauarbeiten abgesetzt wurden, nämlich für Erdarbeiten durch Verkürzung der Bahn und für Erdarbeiten, Mauerwerk und Nebenanlagen an den Kanalhäuptern, so daß 4,043 Mill. Mark Gesamtbaukosten verbleiben.

Für je 1 m veränderter Hubhöhe sind an Erdarbeiten, Oberbau und Fundamenten entsprechend der Längenänderung der Fahrbahn 27000 ℳ zu rechnen.

Außerdem sind für die 36 m hohe Längsebene mit 674 m Baulänge für ersparte Kanalbaukosten $\frac{674 \cdot 400000}{1000}$ = 270000 ℳ abzusetzen und für jedes Meter veränderter Hubhöhe 6000 ℳ zuzusetzen oder abzuziehen. Die verbleibenden Summen, die der weiteren Berechnung zugrunde gelegt wurden, sind Verhältniswerte im Vergleich mit den übrigen Hebewerken, stellen aber nicht die wirklichen Baukosten dar. Der beträchtliche Abzug für ersparte Kanalbaukosten bildet eine günstige Annahme, weil streng genommen die Abschreibung für ersparte Kanalkosten nur mit 0,5 vH., dagegen die abgesetzten Hebewerkskosten mit 2,2 vH. berechnet werden müßten.

An jährlichen Betriebskosten sind gerechnet: 21000 ℳ Löhne für 1 Obermaschinist und 8 Mann, 9000 ℳ für Kleinmaterial usw., 20000 ℳ für Unterhaltung und kleine Ausbesserungen, zusammen 50000 ℳ oder 1,2 vH. der Baukosten. Ferner sind die Kohlenkosten für jeden Hub zu 7 ℳ geschätzt (im Entwurf 8,50 ℳ für 1 Doppelhub). Hiernach ist die Tabelle 5 aufgestellt.

um 0,40 m vergrößert die Baukosten nur um etwa 4000 ℳ, der vermehrte Wasserverbrauch ist S. 15 in Ansatz gebracht. Für Schwimmerhebewerke veranlaßt die Verbreiterung des Troges um 0,40 m Vermehrung des Wassergewichtes um 70 t und erfordert eine 6000 ℳ kostende Vertiefung der Brunnen und Schwimmer um 0,25 m. Bei der Querebene tritt aber gegenüber den der Rechnung zugrunde gelegten Abmessungen ein größeres Wassergewicht des Troges von 300 t und bei der Längsebene von 150 t ein, wodurch ebenso große Vermehrungen der Gegengewichte, entsprechende Verstärkungen der Maschinenleistung und höhere Betriebskosten veranlaßt werden. Die Nichtberücksichtigung dieser Trogänderung gereicht also den Ebenen zum Vorteil.

Vergleichung von Leistung und Kosten.

Nach vorstehenden Angaben über Leistungsfähigkeit und Bau- und Betriebskosten sind in Tabelle 6 die Schleusungskosten für Hubhöhen von 15 bis 100 m zusammengestellt. Der Kostenbestimmung für ein Schiff ist die höchste Schiffszahl bei vollem Tagesbetrieb an jährlich 270 Tagen und ununterbrochenem Kreuzungsverkehr zugrunde gelegt, so daß die Beträge als kleinste Werte der Schleusungskosten anzusehen sind.

Für alle Hubhöhen folgt die wirtschaftliche Überlegenheit der Schleusen, die an reinen Betriebskosten für eine Schiffshebung nur $^1/_4$ bis $^1/_2$ und an Gesamtkosten $^1/_3$ bis $^1/_2$ der übrigen Hebewerke aufweisen. Nur im Vergleich mit 100 m hohen Quer- und Längsebenen, die aber nur die Hälfte der Gütermenge befördern können, werden die jährlichen Gesamtkosten etwa gleich groß, während die Betriebskosten auch in diesem Falle bei den Schleusen nur die Hälfte betragen. Der wirtschaftliche Vorteil der Schleusen ist hiernach so groß, daß auch noch ungünstigere Annahmen für

Tabelle 5. Bau- und Betriebskosten für Längsebenen.

Hubhöhe	Baukosten			Jährliche Kosten				
	Wirkliche Baukosten	Abzug für ersparte Kanalstrecke	Vergleichswert der Baukosten	Löhne, Unterhaltung und kleine Ausbesserungen 1,2 vH.	Kohlen für höchste Leistung	Reine Betriebs- und Unterhaltungskosten	Verzinsung 3,0 vH. Abschreibung 2,2 vH. Zusammen 5,2 vH.	Jährliche Gesamtkosten
m	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ
15	3476	144	3332	40	37	77	173	250
20	3611	174	3437	41	40	81	179	260
25	3746	204	3542	43	42	85	184	269
30	3881	234	3647	44	45	89	190	279
36 (zugleich für 35)	4043	270	3773	46	47	93	196	289
40	4151	294	3857	47	49	96	201	297
100	5771	654	5117	61	68	129	266	395

Allgemein möge zu vorstehenden Berechnungen der Bau- und Betriebskosten bemerkt werden, daß die aus tatsächlichen Bauausführungen entnommenen Ansätze für Schleusen und Schwimmerhebewerke keinesfalls zu niedrig, bei Schleusen sogar bestimmt zu hoch gewählt sind. Bei Quer- und Längsebenen dagegen werden die auf Entwürfen beruhenden Rechnungsunterlagen eher zu niedrig gegriffen sein. Bei allen vier Berechnungen ist auf Verteuerung entsprechend der für Schleusen und Schiffstrog angenommenen größeren Abmessungen von 9 m Breite und 2,50 m Wassertiefe keine Rücksicht genommen. Verbreiterung der Schleusen

Schleusen und günstigere für mechanische Hebewerke an dem Ergebnis wenig ändern können. Dieses Ergebnis könnte gegenüber den auf Seite 7 bezüglich der Werte Z und $V \cdot Z$ erwähnten hohen Leistungen der Schwimmerhebewerke und Querebenen und bei sehr großen Hubhöhen auch der Längsebenen auffallend erscheinen, ist aber begründet in der Eigenschaft der Schleusenbauwerke. Die Baukosten der Hebewerke unterscheiden sich nämlich dadurch, daß für 1 m Hubvermehrung bei Schleusen eine mit der Höhe stark wachsende, dagegen bei den übrigen Hebewerken eine geringe und annähernd gleichbleibende Summe für die Verlängerung

Tabelle 6. Schleusungskosten für verschiedene Gefällhöhen. (Von 15 bis 100 m Höhe.)

Gefällhöhe	Zahl und Hubhöhe der Hebewerke	Baukosten ohne Grunderwerb, nach Abzug der Kosten für ersparte Kanallänge	Jährliche Kosten 270 Tage voller Tagesbetrieb: Unterhaltung, kl. Ausbesserungen, Betriebskosten und Kohlen	Jährliche Kosten: Verzinsung und Abschreibung	Jährliche Kosten: Zusammen jährliche Kosten	Leistungsfähigkeit: Täglich in 24 Stunden	Leistungsfähigkeit: Täglich in 15 Stunden	Leistungsfähigkeit: Jährlich 270 Tage zu 15 Stunden	Leistungsfähigkeit: Jährlich Gütermenge (1 Schiff durchschn. = 360 t)	Schleusungskosten für 1 Schiff bei 270 Tagen zu 15 Stunden: Reine Betriebs- und Unterhaltungskosten	Gesamtkosten für ein Schiff	Aufpumpen des Schleusungswassers	Zusammen für ein Schiff	Bemerkungen
		Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Schiffzahl	Schiffzahl	Schiffzahl	Mill. t	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
15 m	1 Schleuse von 15,0 m Hub	1956	20	82	102	53	33	8910	3,21	2,24*)	11,4	2,5	13,9	*) 2,24 + 1,30 Wasserpumpen = 3,54 ℳ
	2 Schleusen „ 7,5 „ „	1684	17	71	88	64	40	10800	3,89	1,56	8,1	2,1	10,2	1,56 + 1,05 „ = 2,61 „
	3 „ „ 5,0 „ „	1593	16	68	84	69	43	11610	4,18	1,37	7,2	2,1	9,3	1,37 + 1,05 „ = 2,42 „
	1 Schwimmerhebewerk von 15,0 m Hub	2591	50	127	177	54	34	9180	3,30	5,40	19,3	—	—	Die reinen Betriebskosten für Pumpen betragen etwa die Hälfte der Gesamtkosten.
	1 Querebene „ 15,0 „ „	4050	89	203	292	66	41	11070	3,99	8,00	26,4	—	—	
	1 Längsebene „ 15,0 „ „	3332	77	173	250	47	29	7830	2,82	9,80	31,9	—	—	
20 m	2 Schleusen von 10,0 m Hub	2332	23	99	122	60	38	10260	3,69	2,27*)	11,9	3,4	15,3	*) 2,27 + 1,70 Wasserpumpen = 3,97 ℳ
	3 „ „ 6,7 „ „	2173	22	94	116	66	41	11070	3,99	1,96	10,4	2,7	13,1	1,96 + 1,35 „ = 3,31 „
	4 „ „ 5,0 „ „	2124	21	91	112	69	43	11610	4,18	1,83	9,7	2,8	12,5	1,83 + 1,40 „ = 3,23 „
	1 Schwimmerhebewerk von 20,0 m Hub	2841	57	139	196	53	33	8910	3,21	6,40	22,0	—	—	
	1 Querebene „ 20,0 „ „	4205	94	210	304	63	39	10530	3,79	8,90	28,9	—	—	
	1 Längsebene „ 20,0 „ „	3437	81	179	260	45	28	7560	2,72	10,70	34,4	—	—	
25 m	2 Schleusen von 12,5 m Hub	3119	31	132	163	56	35	9450	3,40	3,30*)	17,2	4,0	21,2	*) 3,30 + 2,00 Wasserpumpen = 5,30 ℳ
	3 „ „ 8,3 „ „	2901	29	126	155	63	39	10530	3,79	2,76	14,7	3,6	18.3	2,76 + 1,80 „ = 4,56 „
	4 „ „ 6,2 „ „	2714	27	117	144	67	42	11340	4,08	2,39	12,7	3,2	15,9	2,39 + 1,60 „ = 3,99 „
	5 „ „ 5,0 „ „	2655	27	113	140	69	43	11610	4,18	2,29	12,1	3,5	15,6	2,29 + 1,75 „ = 4,04 „
	2 Schwimmerhebewerke von 12,5 m Hub	4932	92	242	334	55	35	9450	3,40	9,70	35,3	—	—	
	1 Querebene „ 25,0 „ „	4360	98	218	316	59	37	9990	3,60	9.80	31,6	—	—	
	1 Längsebene „ 25,0 „ „	3542	85	184	269	43	27	7290	2,62	11,70	36,9	—	—	
30 m	2 Schleusen von 15,0 m Hub	3912	39	165	204	53	33	8910	3,21	4,38*)	22,8	5,0	27,8	*) 4,38 + 2,50 Wasserpumpen = 6,88 ℳ
	3 „ „ 10,0 „ „	3498	35	148	183	60	38	10260	3,69	3,42	17,8	5,1	22,9	3,42 + 2,55 „ = 5.97 „
	4 „ „ 7,5 „ „	3365	34	142	176	64	40	10800	3,89	3,15	16,2	4,2	20,4	3,15 + 2,10 „ = 5,25 „
	5 „ „ 6,0 „ „	3300	33	142	175	67	42	11340	4,08	2,91	15,4	3,5	18,9	2,91 + 1,75 „ = 4,66 „
	6 „ „ 5,0 „ „	3186	32	136	168	69	43	11610	4,18	2,76	14,4	4,2	18,6	2,76 + 2,10 „ = 4,86 „
	2 Schwimmerhebewerke von 15,0 m Hub	5182	100	254	354	54	34	9180	3,30	10,90	39,6	—	—	
	1 Querebene „ 30,0 „ „	4515	102	226	328	56	35	9450	3,40	10,80	34,7	—	—	
	1 Längsebene „ 30,0 „ „	3647	89	190	279	42	26	7020	2,53	12,70	39,9	—	—	
36 m	3 Schleusen von 12,0 m Hub	4401	44	187	231	57	36	9720	3,50	4,53*)	23,8	6,0	29,8	*) 4,53 + 3,00 Wasserpumpen = 7,53 ℳ
	4 „ „ 9,0 „ „	4200	42	178	220	62	39	10530	3,79	3,99	20,9	5,6	26,5	3,99 + 2,80 „ = 6,79 „
	6 „ „ 6,0 „ „	3960	40	170	210	67	42	11340	4,08	3,53	18,5	4,2	22,7	3,53 + 2,10 „ = 5,63 „
	7 „ „ 5,0 „ „ (35 m)	3898	39	167	206	69	43	11610	4.18	3,36	17,8	4,9	22,7	3,36 + 2,45 „ = 5,81 „
	2 Schwimmerhebewerke von 18,0 m Hub	5442	108	268	376	54	34	9180	3,30	11,80	41,1	—	—	
	1 Querebene „ 36,0 „ „	4701	106	235	341	53	33	8910	3,21	11,90	38,3	—	—	
	1 Längsebene „ 36,0 „ „	3773	93	196	289	40	25	6750	2,43	13,80	42,8	—	—	
40 m	3 Schleusen von 13,3 m Hub	5089	51	215	266	55	34	9180	3,30	5,56*)	29,0	6,3	35,3	*) 5,56 + 3,15 Wasserpumpen = 8,71 ℳ
	4 „ „ 10,0 „ „	4664	47	197	244	60	38	10260	3,69	4,58	23,8	6,8	30,6	4,58 + 3,40 „ = 7,98 „
	5 „ „ 8,0 „ „	4660	47	193	240	63	39	10530	3,79	4,47	22,8	5,5	28,3	4,47 + 2,75 „ = 7,22 „
	6 „ „ 6,7 „ „	4346	43	188	231	66	41	11070	3,99	3,89	20,9	5,4	26,3	3,89 + 2,70 „ = 6,59 „
	8 „ „ 5,0 „ „	4248	42	182	224	69	43	11610	4,18	3,62	19,3	5,6	24,9	3,62 + 2,80 „ = 6,42 „
	2 Schwimmerhebewerke von 20,0 m Hub	5682	114	278	392	53	33	8910	3,21	12,90	44,0	—	—	
	1 Querebene „ 40,0 „ „	4809	109	240	349	51	32	8640	3,11	12,60	40,4	—	—	
	1 Längsebene „ 40,0 „ „	3857	96	201	297	39	24	6480	2.33	14,80	45,8	—	—	
100 m	7 Schleusen von 14,3 m Hub	12928	129	546	675	53	33	8910	3,21	14,48*)	75,7	16,8	92,5	*) 14,48 + 8,40 Wasserpumpen = 22,88 ℳ
	8 „ „ 12,5 „ „	12476	125	524	649	56	35	9450	3,40	13,23	67,9	16,0	83,9	13,23 + 8,00 „ = 21,23 „
	10 „ „ 10,0 „ „	11660	117	493	610	60	38	10260	3.69	11,40	59,5	17,0	76,5	11,40 + 8,50 „ = 19,90 „
	13 „ „ 7,7 „ „	11414	114	479	593	64	40	10800	3,89	10,56	54,9	14,3	69,2	10,56 + 7,15 „ = 17,65 „
	20 „ „ 5,0 „ „	10620	106	454	560	69	43	11610	4,18	9,13	48,2	14,0	62,2	9,13 + 7,00 „ = 16,13 „
	5 Schwimmerhebewerke von 20,0 m Hub	14205	285	695	980	53	33	8910	3,21	32,00	110,0	—	—	
	4 Querebenen „ 25,0 „ „	17440	392	872	1264	59	37	9990	3,60	39,20	126,5	—	—	
	4 Längsebenen „ 25,0 „ „	14168	340	736	1076	43	27	7290	2,62	46,60	147,6	—	—	
	1 Querebene „ 100,0 „ „	6685	139	334	473	32	20	5400	1,94	25,80	87,6	—	—	
	1 Längsebene „ 100,0 „ „	5117	129	266	395	28	18	4860	1,75	26,50	81.3	—	—	

der Zwischenteile aufzuwenden ist. Teilung hoher Schleusen in mehrere von derselben Gesamthöhe bringt daher keine Vermehrung der Baukosten, während bei den übrigen Hebewerken nahezu eine Vervielfältigung der Gesamtanlage eintritt, die aber wegen der Kosten nicht in Frage kommen kann. Die Schleusen genießen daher auch allein den Vorteil der durch die Teilung eintretenden größeren Leistung.

Auch mit Anrechnung der Kosten für die beim Schleusen verbrauchte und selbst bei Anwendung von Sparbecken noch immer erhebliche Wassermenge wird das Ergebnis nicht wesentlich geändert, wie aus der Tabelle hervorgeht. Die eingesetzten Beträge bilden die Gesamtkosten für Hebung der ganzen bei der Schleusung verlorenen Wassermenge vom Unterwasser in das Oberwasser, einschließlich Verzinsung und Abschreibung. Hierbei kommen je nach der Sparbeckenanordnung für Schleusen von 4 bis 7 m Höhe Wassermengen von 1700 bis 2200 cbm und für Schleusen von 8 bis 15 m Höhe Mengen von 2500 bis 3150 cbm in Betracht. Da aber diese Wassermenge für eine Doppelschleusung verbraucht wird und in der größeren Hälfte der Schleusenbetriebszeit, im Frühjahr und Herbst, in den meisten Kanälen (wie auch in der durch Wasserpumpen gespeisten Scheitelstrecke des Dortmund-Ems-Kanals) durch Zulauf kleiner Bäche genügend Wasser für Schleusungen vorhanden ist, bleibt durchschnittlich nur $^1/_4$ der Kosten für ein Schiff der jährlichen Gesamtschiffszahl in Anrechnung zu bringen, wonach sich für Schleusen von 4 m Hub nur 0,40 ℳ und für 15 m Hub nur 2,50 ℳ Kosten ergeben. Bei hohen Schleusen empfiehlt sich Hinzufügung zweier auch in der Kostenberechnung berücksichtigten besonderen 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 infolgedessen eine Mäßigung der Wasserbewegung in den Kanalhaltungen erreicht. Die bei mechanischen Hebewerken nur einige hundert Kubikmeter betragenden Verluste für Wasserausgleichung zwischen Trog und Kanalhaltung, sowie kleine Verluste durch Torundichtigkeit usw. sind wegen ihres unbedeutenden Geldwertes unberücksichtigt geblieben. Sie gleichen sich aus gegen ebenfalls vernachlässigte geringe Kosten für Wasser der Betriebsturbinen an Schleusen und für Torundichtigkeit daselbst.

Diese Wasserpumpkosten mögen in Verbindung mit Einrichtung von Sparbecken noch eingehender erläutert werden.

Menge und Kosten des Schleusungswassers.

Die Menge des Schleusungswassers ist abhängig von der Sparbeckenanordnung und dem Schiffahrtsbetrieb, nämlich ob regelmäßiger Kreuzungsverkehr der Schiffe stattfindet oder die Schiffe nacheinander in derselben Richtung durchgeschleust werden. Annähernd ist der Wasserverbrauch bei n Sparbecken der $\frac{2}{n+2}$te Teil einer Schleusenfüllung, z. B. bei einer 12 m hohen Schleuse (Abb. 3 Bl. B) mit drei Sparbecken $I, II, III = \frac{2}{5} \cdot 630 \cdot 12 = 3020$ cbm. Ausgleichbecken IV und und V bringen keine Wasserersparnis, sie werden während der Ein- oder Ausfahrt des Schiffs allmählich gefüllt oder entleert und bewirken, daß beim Aufwärtsschleusen die Füllung des Kammerteils b aus IV ohne Beeinflussung des Oberwassers geschehen kann und nur 1510 cbm für Teil a unmittelbar aus dem Oberwasser entnommen zu werden brauchen. Beim Abwärtsschleusen wird das Wasser aus Teil d nach V abgegeben, und nur 1510 cbm aus Teil e fließen in das Unterwasser ab. Die Vorteile bestehen darin, daß auch bei großen Füllungshöhen der Sparbecken keine größere Beunruhigung des Wassers der Kanalhaltungen entsteht als bei Schleusen mit sehr niedrigem Gefälle und daß durch Becken IV und V die Wasserförderhöhe beim etwaigen Wiederaufpumpen von 3020 cbm verringert wird, indem nach beendigter Senkung des Schiffes die Hälfte des verlorenen Wassers aus dem vollen Becken V nach dem leeren Becken IV mit einer Druckhöhe von 7,20 bis 12 m und nur die andere Hälfte mit der vollen Druckhöhe zu heben ist.[12])

Für 12 m hohe Schleusen betragen demnach die Wasserpumpkosten für eine Schleusenfüllung:

$$\frac{3020}{100} \cdot \left(\frac{\frac{4}{5} \cdot 12{,}0 + \frac{5}{5} \cdot 12{,}0}{2} \right) \cdot 0{,}025 = 8{,}20 \text{ ℳ},$$

wobei 0,025 Pf. der nachstehend berechnete Betrag für Hebung von 1 cbm/Sek. um 1 m ist. Bei Kreuzungsverkehr ist dies der Betrag für einen Doppelhub oder für zwei Schiffe. Da nun, wie bereits erwähnt, in der Hälfte der Betriebszeit, im Frühjahr und Herbst genügend Wasser vorhanden ist und der Pumpbetrieb eingestellt werden kann, ergibt sich als Durchschnittsbetrag für alle jährlich zu schleusenden Schiffe $\frac{8{,}2}{4} = 2$ ℳ. In ähnlicher Weise ist die Berechnung für die übrigen in Tabelle 7 zusammengestellten Schleusen von 4 bis 15 m Höhe erfolgt. Ausgleichbecken sind nur für große Hubhöhen von 8 bis 15 m vorgesehen.

Sämtliche Seitenbecken sind als offene Becken angenommen und zu beiden Seiten der Schleuse mit der Größe der halben Schleusenfläche möglichst günstig für die Wasserbewegung angeordnet gedacht. Die Einrichtung der Becken ist von Bedeutung für Geschwindigkeit der Schiffshebung und Senkung oder die Schleusenleistung, die durch reichliche Bemessung der Schichthöhen a, b usw. (Füllungshöhen der Becken) vermehrt werden kann. Große Füllungshöhen bis etwa 2,50 m bieten Vorteile durch Verminderung der Ventilzahl und der Zeiten mit geringer Wirkung bei Ausspiegelung der Wasserstände, sowie besonders durch Vergrößerung der Druckhöhen beim Ausgleich zwischen Schleusenabteil und Becken oder umgekehrt. Nach einem Aufsatz von Lieckfeldt[13]) über Zeit und Verlauf der Kammerfüllung durch zwei Seitenbecken von 1,50 m Füllungshöhe an einer 6,20 m hohen Schleuse ist die mittlere Hebungsgeschwindigkeit während der Wirkungszeit der Sparbecken (52 vH. der Füllungszeit) = 2,30 cm/Sek. (höchste 3,7 cm), dagegen beim unmittelbaren Einfließen aus dem Oberwasser (48 vH. der Füllungs-

12) Diese Anordnung wurde in dem von Ingenieur Spitzer usw. aufgestellten Entwurf „Renaissance“ des Internationalen Wettbewerbs für ein Kanalschiffshebewerk, Wien 1904 vorgeschlagen. Vgl. Zentralblatt der Bauverwaltung 1905 Seite 136 über die öffentliche Ausstellung der Entwürfe.

13) Vgl. Zentralblatt der Bauverwaltung 1895 Seite 305.

Tabelle 7. Pumpkosten für Schleusungswasser.

Hubhöhe der Schleusen	Seitenbecken[1])			Bei Schiffskreuzung an der Schleuse				Bemerkungen
				für einen Doppelhub		Pumpkosten für ein Schiff bei		
	Sparbecken	Ausgleichbecken	Füllungshöhen	Wasserverbrauch	Pumpkosten	vollem Pumpbetrieb	Ausfall im Frühjahr u. Herbst	
m	Anzahl	Anzahl	m	cbm	ℳ	ℳ	ℳ	
4	1	—	1.33	1700	1,70	0,85	0,40	Wenn jedes zweite Schiff an der Schleuse mit einem anderen kreuzt, oder die Hälfte aller Schiffe eine ganze Schleusenfüllung erfordern, steigen die Kosten der letzten Spalte um die Hälfte, also bei 12 m hohen Schleusen um 1 ℳ
5	1	—	1,70	2080	2,60	1,30	0,70	
6	2	—	1,50	1890	2,84	1,42	0,70	
7	2	—	1,75	2210	3,86	1,93	1,00	
8	2	2	2,00	2520	4,41	2,20	1,10	
9	2	2	2,25	2840	5,59	2,80	1,40	
10	2	2	2,50	3150	6,90	3,45	1,70	
11	3	2	2,20	2770	6,86	3,43	1,70	
12	3	2	2,40	3020	8,15	4,08	2,00	
13	4	2	2,17	2730	8,14	4,07	2,00	
14	4	2	2,33	2940	9,43	4,72	2,40	
15	4	2	2,50	3150	10,14	5,07	2,50	

[1]) Die Seitenbecken sind an beiden Seiten der Schleuse in halber Größe anzuordnen.

zeit) wegen der erforderlichen vollkommenen Ausspiegelung nur 2,13 cm/Sek. (höchste 4,7 cm). Bei der hier als Beispiel genommenen 12 m hohen Schleuse wird sich die Hebungsgeschwindigkeit durch größere mittlere Druckhöhe von 2,40 m gegen 1,50 m beim Dortmund-Ems-Kanal von 2,3 auf 2,9 cm erhöhen, ohne die Zylinderventile von 1,80 m Durchmesser vergrößern zu müssen. Es kann aber eine weit bedeutendere Steigerung etwa bis 4,5 cm/Sek. erreicht werden, wenn die oberen Becken *II*, *I* und *IV* mit zwei Ventilen versehen, und die in den Längsmauern der Schleusen liegenden Umlaufkanäle entsprechend vergrößert oder in doppelter Anlage nebeneinander mit besonderen Stichkanälen nach der Kammer hergestellt werden. Gefährdung des in der Schleusung begriffenen Schiffes tritt dabei nicht ein, da die Höchstgeschwindigkeit schon bei den Dortmund-Ems-Kanal-Schleusen 4,7 cm beträgt und die Doppelventile erst in Tätigkeit kommen, nachdem durch Ausfließen des Beckens *III* sich eine tiefere Wasserschicht unter dem Schiff gebildet hat.

Diese Erörterung möge zugleich als Beleg dafür dienen, daß die nach Seite 5 gemachte Annahme von nur 2,5 m/Sek. Hebungsgeschwindigkeit sehr gering und ungünstig für die Berechnung gewählt ist. Welche Bedeutung einer Verbesserung in dieser Beziehung beigemessen werden muß, ergibt sich daraus, daß durch Erhöhung auf 4,5 cm die Hubdauer für eine 12 m hohe Schleuse um etwa 3,5 Min. oder rund 14 vH. abgekürzt wird, was einer täglichen Mehrleistung von 5 Schiffen und jährlich von 1350 Schiffen entspricht. Auch ist für Schleusentreppen die Verringerung des Schleusenabstandes um $3{,}5 \cdot 60 \cdot 1{,}1 =$ rund 200 m sowohl hinsichtlich der Anpassung an das Gelände, wie wegen Ersparnis an Erdarbeiten von Vorteil.

Erwähnt werde noch, daß die mittlere Hebungsgeschwindigkeit an den neuen 5,20 m hohen Schleusen des Canal du centre[14]) 2,7 cm/Sek., an der 9,90 m hohen Schleuse von la Villette[15]) 3 cm/Sek., im Entwurf der 20 m hohen Flamantschen Schleuse[16]) 5,2 cm/Sek. beträgt und nach Vorschlag von Werneburg[17]) auf 6,6 cm/Sek. gebracht werden kann.

Der Einheitssatz von 0,025 Pf. für sekundliche Hebung von 1 cbm Wasser um 1 m Höhe ist aus Vergleichen mit ausgeführten ähnlichen Pumpanlagen und aus Berechnungen bestimmt. Das Pumpwerk des Dortmund-Ems-Kanals an der Lippe mit 16,50 m Hubhöhe (das nicht nur das Wasser für Schleuse Münster, sondern auch den für Verdunstung und Versickerung erforderlichen Bedarf von 87 km Kanalstrecke liefert) hat im trockenen Jahre 1904 in $7\frac{1}{2}$ monatiger Betriebszeit rund 25 Mill. cbm geliefert, obwohl es nach seiner Leistungsfähigkeit bei vollem Betriebe 101 Mill. cbm liefern kann. Demgemäß sind die tatsächlichen Kosten des Jahres 1904 einschließlich Verzinsung, Abschreibung usw. für 1 cbm = 0,006 ℳ oder für 1 m Hub = 0,036 Pf. besonders hoch und für vorliegenden Fall nicht ganz zutreffend. Bei vollem Jahresbetrieb ergeben sich 0,019 Pf. und bei halbem Jahresbetrieb mit voller Leistung 0,024 Pf.

Eine besondere Berechnung für 7 m Hubhöhe ergibt 0,021 Pf. — Nach Tolkmitt[18]) betragen die Kosten für 1 mt gehobenes Wasser bei Jahresbetrieb $= 0{,}014 + \frac{32{,}2}{7200} =$ 0,019 Pf., bei halbjährigem Betrieb = 0,023 Pf. Hiernach kann als Wasserpumpkosten für 1 cbm/Sek./m 0,020 Pf. bei Jahresbetrieb und 0,025 Pf.[19]) bei halbjährigem Betrieb gerechnet werden. Die Bedienungsmannschaft der Schleusenpumpwerke wird während der Zeit der Pumpunterbrechung in Werkstätten für den mechanischen Schiffszug Beschäftigung finden.

Allgemein betrachtet braucht den Kosten für Wiederaufpumpen des Schleusungswassers, falls dies überhaupt nötig ist, kein großes Gewicht beigelegt zu werden. Der Schleusungsverbrauch ist auch nur ein Teil der für den Kanal ohnehin erforderlichen Wassermenge, die z. B. für einen über eine Wasserscheide hinwegführenden 200 km langen Kanal

14) Vgl. Barbet über 1. Frage, Abt. I, des Internationalen Schiffahrtskongresses in Düsseldorf 1902.

15) Vgl. Gerhardt in der Zeitschrift für Bauwesen 1894 Seite 573.

16) Vgl. Schromm in der Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1891 Seite 1.

17) Vgl. Zentralblatt der Bauverwaltung 1898 Seite 495.

18) Vgl. „Grundlagen der Wasserbaukunst“ Seite 255.

19) Vgl. auch: H. Dénys zu Frage 2 auf dem Internationalen Binnenschiffahrtskongreß in Paris 1892.

bei 14 Liter für 1 km und Sek. jährlich 151 Mill. cbm beträgt, gegen 30 Mill. cbm für jährliche Schleusung von 10000 Schiffen. Hierbei ist die ungünstigste Annahme gemacht, daß das allein für Versickerung usw. nötige Wasser nicht der Scheitelhaltung, sondern jeder Kanalhaltung für ihren Bedarf besonders zufließt. Wird aber dieses Wasser der Scheitelhaltung zugeführt, so ist für einen großen Teil der Schleusen die Beschaffung von Wasser überhaupt entbehrlich, weil das im Kanal weiter zu führende Speisewasser zugleich für Schleusungen verwendet werden kann. Die durchschnittlichen Pumpkosten für alle Schleusen oder Schiffe werden daher erheblich geringer als vorstehend angenommen wurde.

Auch kommt je nach der Örtlichkeit die Wasseraufspeicherung in Weihern, Talsperren an Stelle der Schleusenpumpwerke in Betracht. Das hieraus dem Kanal von außen zufließende Wasser kommt sämtlichen unterhalb liegenden Schleusen zugute, während die innerhalb der Kanalanlage durch Pumpen zu gewinnende Wassermenge an jeder einzelnen Schleuse von neuem gehoben werden muß.

Die verbreitete Anschauung, es trete in dem Fall, daß die Abwärtsschleusung beladener Schiffe die Zahl der leeren überwiegt, eine Wasserspeisung der oberen Kanalhaltung, also eine Wasserspiegelerhöhung ein, ist unzutreffend. Es würde dies dem Grundsatz der Erhaltung der Kraft widersprechen, da die in der Wasserstandshöhe der Kanalhaltung ausgedrückte „potentielle Energie der Lage“ nur durch Aufwendung von „Bewegungsenergie“, also etwa durch Zufluß oder Abfluß oder durch Einsenkung oder Heraushebung von Schwimmkörpern, geändert werden kann. Durch Schleusungen tritt aber keine Energieaufwendung in Beziehung auf die Lage des Wasserspiegels ein, folglich kann auch keine Speisung eintreten. Die beim Einfahren eines beladenen Schiffes in die Schleuse aufgewendete Zugkraft bewirkt zwar Hinausdrücken des Wassers nach dem Kanal, hierdurch wird indes die Wasserhöhe nicht geändert, weil dies Wasser an die Stelle des die Haltung verlassenden Schiffes getreten ist, das an der vorhergehenden Schleuse beim Eintritt in die Kanalhaltung dieselbe Wassermenge aus der Haltung verdrängt und an die Schleuse abgegeben hatte. Es kann nun trotzdem Wasser der unteren Haltung tatsächlich während der Schleusung in die obere Haltung gelangen, z. B. bei Schleusen, deren Gefälle kleiner ist als die Tauchtiefe der Schiffe,[20]) es erfolgt aber immer nur ein Ausgleich zwischen Schiffskörper und einer gleich großen Wassermenge, niemals eine Speisung im Sinne der Erhöhung des Wasserspiegels. Hiermit steht die Beobachtung nicht im Widerspruch, daß unter besonderen Verhältnissen bei überwiegendem Abwärtsschleusen beladener Schiffe wirklich Steigen des Oberwassers festgestellt wurde; dann ist aber die Ursache nicht in der Schleusung, sondern in der Wirkung der Schiffsbeladung innerhalb der oberen Haltung zu finden. Jede Beladung eines 600 t-Schiffes bringt durch Energie der Schwere Erhöhung des Wasserspiegels entsprechend 600 cbm Wasser hervor, und dieser Zustand bleibt bei der Schleusung erhalten; bei Ausladung von Gütern tritt das umgekehrte ein. Für wasserarme Scheitelstrecken ist daher zur Unterstützung der Kanalspeisung Verladung größerer Gütermengen etwa aus Steinbrüchen zu empfehlen.

20) Vgl. Gröhe: Zentralblatt der Bauverwaltung 1904 S. 170.

Vergleichung mit Annahme bestimmter Verkehrsgrößen.

Vorstehende Berechnungen bezogen sich auf die jährliche größte Schiffszahl oder Höchstleistung der Hebewerke, die man durch Wahl der Art, Hubhöhe und Entfernung der Bauwerke nach Möglichkeit zu steigern suchen muß. Obgleich die anfängliche Verkehrsmenge so große Leistungsfähigkeit nicht verlangt, ist der Nutzen bei gelegentlichen größeren Schiffsansammlungen von Bedeutung. Je mehr der Durchgangsverkehr einer längeren Kanalstrecke wächst, desto mehr wird die Höchstleistung in Anspruch genommen und zwar mit Verminderung der an den Schleusen eintretenden Verkehrschwankungen, die durch dann gebotene und durch mechanischen Schiffszug unterstützte Regelmäßigkeit der Schleusungen und der Schiffsbewegung in den Haltungen von selbst abnehmen. Zweckmäßig sollte bei gleichem Durchgangsverkehr die Leistungsfähigkeit Z bei allen Hebewerken gleich groß sein. Weil das aber nach örtlichen Verhältnissen meistens nicht erreichbar ist, muß wenigstens eine untere Grenze der Leistung eingehalten werden, die mit Sicherheit erwarten läßt, bestimmte für den Kanal in Aussicht zu nehmende Verkehrsmengen unter Berücksichtigung der erwähnten Verkehrsschwankungen befördern zu können. Auch spätere Vermehrung der Leistungsfähigkeit durch Verdopplung 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 Kostenersparnis nur einfache Hebewerke vorsehen hönnen, 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 viel größere Bedeutung in Hinsicht auf die Kosten, als aus den vorstehenden Berechnungen mit Ausnutzung der ganzen Leistungsfähigkeit hervorgeht, wie an einem Beispiel erörtert werden möge. Annahme: ein Kanal zweige aus einem Flusse ab, habe eine Geländeerhebung von 36 m zu überwinden und setze sich in flacherem Gelände mit 4 m hohen Schleusen fort. Es ergeben sich dann die in Tabelle 8 zusammengestellten Fälle und zwar unter Zugrundelegung von jährlich 2,43, 3,21, 3,30, 3,50 und 4,37 Millionen t Gütermenge als Höchstleistungen der verschiedenen Hebewerke.

Hieraus geht für alle Fälle die wirtschaftliche Überlegenheit der Schleusen hervor. Bei voller Ausnutzung der Schleusenleistungsfähigkeit im Falle 4 betragen für ein Schiff die reinen Betriebs- und Unterhaltungskosten ohne Wasserpumpen nur $^1/_4$ bis $^1/_3$ der Beträge für die übrigen Hebewerke, und die jährlichen Gesamtkosten einschließlich Verzinsung, Abschreibung, Wasserpumpen und Wert für Schleusungsaufenthalt (vgl. S. 24 unter a) nur die Hälfte. Im Vergleich mit den übrigen Fällen weisen Schleusen für reinen Betrieb und Unterhaltung etwa $^1/_3$ bis $^1/_2$ der Kosten auf; für die jährlichen Gesamtkosten sind die Beträge zum Teil gleich, dann wird aber etwa 40 vH. der Schleusenleistungsfähigkeit nicht ausgenutzt. Die Querebene im Fall 2 und Schwimmerhebewerke im Fall 3 haben das nächst günstigste Ergebnis. Ungünstigst sind Schwimmerhebewerke aber in den Fällen 1, 4 und 5, was zum Teil an der geringen Hubhöhe liegt,

Tafel 8. Schleusungskosten bei Zugrundelegung bestimmter Verkehrsmengen. (Gesamte Hubhöhe 36 m.)

Verkehrsmengen in 270 Tagen zu 15 Betriebsstunden	Zahl und Hubhöhe der Hebewerke	Gesamte Baukosten ohne Grunderwerb	Jährliche Kosten: Reine Betriebs- und Unterhaltungskosten und Kohlen	Jährliche Kosten: Betriebs-, Unterhaltungskosten, Kohlen, Verzinsung und Abschreibung	Leistungsfähigkeit der Hebewerke: Täglich in 24 Stunden	Täglich in 15 Stunden	Jährlich in 270 Betriebstagen: Schiffszahl in 24 Betriebsstunden	Schiffszahl in 15 Betriebsstunden	Gütermenge in 24 Betriebsstunden	Gütermenge in 15 Betriebsstunden	Für die Kostenrechnung angenommene Verkehrsmenge: Schiffszahl	Gütermenge	Schleusungskosten für 1 Schiff bei täglich 15 Betriebsstunden: Reine Betriebs- und Unterhaltungskosten, Kohlen	Gesamtkosten einschl. Verzinsung und Abschreibung	Wasserpumpkosten einschl. Verzinsung und Abschreibung	Wert für Aufenthalt beim Schleusen	zusammen
		Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Schiffszahl		Schiffszahl		Mill. t		Schiffszahl	Mill. t	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ
1. **2,43 Mill. t** in 6750 Schiffen zu durchschnittl. 360 t (Höchstleistung einer Längsebene von 36 m Hub)	3 Schleusen von 12 m	4 401	44	231	57	36	15 550	9 720	5,60	3,50	**6 750**	**2,43**	6,5[1] (9,5)	34,2	6,0	2,4	42,6
	2 Schwimmerhebewerke von 18 m	5 482	108	376	54	34	14 690	9 180	5,28	3,30	6 750	2,43	15,1[2]	54,8[2]	—	1,7	56,5
	1 Querebene von 36 m	4 701	106	341	53	33	14 260	8 910	5,14	3,21	6 750	2,43	13,8	48,6	—	1,3	49,9
	1 Längsebene von 36 m	3 773	93	289	40	25	10 800	**6 750**	3,89	**2,43**	6 750	2,43	13,8	42,8	—	0,9	43,7
2. **3,21 Mill. t** in 8910 Schiffen zu durchschnittl. 360 t (Höchstleistung einer Querebene von 36 m Hub)	3 Schleusen von 12 m Hub	4 401	44	231	57	36	15 550	9 720	5,60	3,50	**8 910**	**3,21**	4,9 (7,9)	25,9	6,0	2,4	34,3
	2 Schwimmerhebewerke von 18 m Hub	5 482	108	376	54	34	14 690	9 180	5,28	3,30	8 910	3,21	12,0	42,1	—	1,7	43,8
	1 Querebene von 36 m Hub	4 701	106	341	53	33	14 260	**8 910**	5,14	**3,21**	8 910	3,21	11,9	38,3	—	1,3	39,6
	2 Längsebenen v. 36 m Hub (2 nebeneinander)	7 546	186	578	80	50	21 600	13 500	7,78	4,86	8 910	3,21	17,3	61,3	—	0,9	62,2
3. **3,30 Mill. t** in 9180 Schiffen zu durchschnittl. 360 t (Höchstleistung der Schwimmerhebewerke von 18 m Hub)	3 Schleusen von 12 m Hub	4 401	44	231	57	36	15 550	9 720	5,60	3,50	**9 180**	**3,30**	4,8 (7,8)	25,2	6,0	2,4	33,6
	2 Schwimmerhebewerke von 18 m Hub	5 482	108	376	54	34	14 690	**9 180**	5,28	**3,30**	9 180	3,30	11,8	41,0	—	1,7	42,7
	2 Querebenen von 36 m Hub (2 nebeneinander)	9 402	212	682	106	66	28 520	17 820	10,28	6,42	9 180	3,30	17,5	68,7	—	1,3	70,0
	2 Längsebenen v. 36 m Hub (2 nebeneinander)	7 546	186	578	80	50	21 600	13 500	7,78	4,86	9 180	3,30	17,0	59,7	—	0,9	60,6
4. **3,50 Mill. t** in 9720 Schiffen zu durchschnittl. 360 t (Höchstleistung der Schleusen von 12 m Hub)	3 Schleusen von 12 m	4 401	44	231	57	36	15 550	**9 720**	5,60	**3,50**	**9 720**	**3,50**	4,5 (7,5)	23,8	6,0	2,4	32,2
	4 Schwimmerhebewerke von 18 m (2 nebeneinander)	10 964	216	752	108	68	29 380	18 360	10,56	6,60	9 720	3,50	20,1	75,2	—	1,7	76,9
	2 Querebenen von 36 m (2 nebeneinander)	9 402	212	682	106	66	28 520	17 820	10,28	6,42	9 720	3,50	15,4	65,2	—	1,3	66,5
	2 Längsebenen von 36 m (2 nebeneinander)	7 546	186	578	80	50	21 600	13 500	7,78	4,86	9 720	3,50	16,5	56,8	—	0,9	57,7
5. **4,37 Mill. t** in 12150 Schiffen zu durchschnittl. 360 t (Höchstleistung der oberhalb des 36 m hohen Gefälles angenommenen Schleusen von 4 m Hub)	6 Schleusen von 12 m (2 nebeneinander)	8 802	88	462	114	72	31 100	19 440	11,20	7,00	12 150	4,37	7,3 (10,3)	38,0	6,0	2,4	46,4
	4 Schwimmerhebewerke von 18 m (2 nebeneinander)	10 964	216	752	108	68	29 380	18 360	10,56	6,60	12 150	4,37	16,6	60,7	—	1,7	62,4
	2 Querebenen von 36 m (2 nebeneinander)	9 402	212	682	106	66	28 520	17 820	10,28	6,42	12 150	4,37	14,6	53.3	—	1,3	54,6
	2 Längsebenen von 36 m (2 nebeneinander)	7 546	186	578	80	50	21 600	13 500	7,78	4,86	12 150	4,37	14,5	46,8	—	0,9	47,7

Bemerkungen: 1) Die Zahlen in Klammern enthalten $\frac{6}{2} = 3$ ℳ reine Betriebskosten der Pumpwerke.
2) Die reinen Betriebskosten und die Gesamtkosten der Schwimmerhebewerke und Ebenen sind um den Betrag für Kohlen, entsprechend dem Unterschied zwischen größter Leistungsfähigkeit und angenommener Verkehrsmenge gekürzt worden, wobei für Schwimmerhebewerke 2,40 ℳ, für Querebenen 6 ℳ und für Längsebenen 7 ℳ für einen Hub gerechnet wurde.

da bei 36 m Gefälle schon eine Teilung in zwei Hebewerke zu je 18 m erforderlich wird, wodurch die Kosten bedeutend wachsen. Aus demselben Grunde kann im Gegensatz zu Schleusen Teilung der Quer- und Längsebenen nicht in Frage kommen, obwohl damit die Leistungsfähigkeit vergrößert werden könnte.

Übersichtlicher wird die Vergleichung durch bildliche Darstellung in Abb. 1 Bl. B, woraus die auf ein Schiff entfallenden jährlichen Gesamtkosten und die reinen Betriebskosten für alle Verkehrsgrößen von jährlich 1 bis 7,5 Millionen t ersehen werden können. Außerdem ist die der Verkehrsgröße entsprechende Ausnutzung der Leistungsfähigkeit dargestellt.

In die Kosten für 12 m hohe Schleusen ist der Betrag für Wasserpumpen mit 6 ℳ (für reine Betriebskosten mit 3 ℳ) und für alle Hebewerke der Geldwert des durch Schleusungen verursachten Aufenthaltes, abzüglich des Wertes für den in den Schleusungsstrecken zurückgelegten Reiseweg eingerechnet, wobei für Schiff und Tag 30 ℳ oder 2,0 ℳ für jede Betriebsstunde angesetzt wurde. Diese Aufenthaltskosten betragen für drei 12 m hohe Schleusen bei einzeln fahrenden Schiffen: $3 \cdot (25{,}4 + 5{,}0) - \frac{3 \cdot 420}{1{,}1 \cdot 60} = 72$ Min. oder $\frac{72}{60} \cdot 2{,}0 = 2{,}40$ ℳ, für zwei 18 m hohe Schwimmerhebewerke 1,70 ℳ, für Querebene 1,30 ℳ und für Längsebene 0,90 ℳ für jedes Schiff. Hierdurch ist der Vorteil der mechanischen Hebewerke mit ungeteilter Hubhöhe bezüglich ihrer größeren Reisegeschwindigkeit in Anrechnung gebracht.

Die an Schleusen beobachtete Ansammlung von Schiffen (Schleusenrang) und die daraus entstehende oft recht lange Wartezeit sind keine der Schleusenart anhaftende Eigentümlichkeit, sie würde sich bei anderen minder leistungsfähigen Hebewerken ohne Zweifel in erhöhtem Maße zeigen. Auf die vorliegende Vergleichsberechnung ist sie ganz ohne Einfluß, weil innerhalb der aus drei Stufen bestehenden Schleusentreppe keine solche Schiffsanhäufung stattfinden kann. Bei gleicher Leistungsfähigkeit der Schleusen tritt Warten nicht ein, vorausgesetzt, daß wenigstens in dieser Strecke geordneter mechanischer Schiffszug besteht und die Schleusenabstände einer vom Schiff in der Schleusungszeit zurückzulegenden Wegelänge oder einem ungeraden Vielfachen davon entsprechen (vgl. S. 21).

Die Kostenberechnung für größere Verkehrsmengen mit zwei und drei Hebewerken nebeneinander ist durch Vervielfältigung der Einzelkosten erfolgt, obwohl streng genommen ein kleiner auf Beaufsichtigung und Betrieb entfallender Teil der Löhne und bei Schleusen ein entsprechender Kostenanteil für Turbinen und Akkumulatoren, sowie bei den übrigen Hebewerken für Dampfkessel abgesetzt werden müßte, wogegen für Betriebseinrichtungen und Maschinen die volle Anrechnung mit Rücksicht auf Ersatzbereitschaft gerechtfertigt erscheint.

Aus Abb. 1 Bl. B geht ebenfalls die wirtschaftliche Überlegenheit der Schleusen hervor. Sowohl bei den Gesamtkosten wie besonders bei den reinen Betriebskosten werden Schleusen von keinem der anderen Hebewerke unterboten. Für Durchfahrung der 36 m hohen Schleusentreppe betragen für ein Schiff die geringsten Betriebskosten, d. h. bei voller Ausnutzung der Leistungsfähigkeit: bei Schleusen 4,50 ℳ (einschl. Wasserpumpen 7,50 ℳ), bei Schwimmerhebewerken 11,80 ℳ, bei Querebenen 11,90 ℳ, bei Längsebenen 13,80 ℳ und bei 6,0 hohen Schleusen nur 3,70 ℳ.

Ein weiterer Vorzug der Schleusen liegt in der größeren Leistungsfähigkeit, die mit jährlich 3,5 Mill. t bei 270 Tagen zu 15 Betriebsstunden alle anderen Hebewerke überholt. Auch die Höhenänderung der hier zu 36 m angenommenen Schleusentreppe bringt nach Tabelle 6 keinen Unterschied im Verhältnis der verschiedenen Hebewerke zu einander, solange es sich um größere Höhe als 20 m, der Grenze für Anwendung von Schwimmerhebewerken handelt. Bei Höhen unter 20 m dagegen haben Schwimmerhebewerke mit ungeteiltem Hub erheblich geringere Kosten als Ebenen, betragen aber noch immer das Doppelte der Schleusenkosten.

Kosten der Erdeinschnitte bei steiler Geländeneigung.

Es bleibt die Kostenbeeinflussung durch Erdarbeiten bei Kanaleinschnitten im steilen Gelände zu erörtern. Hierbei handelt es sich nicht um Erdarbeiten für die eigentliche Kanalanlage einschließlich der durch gewöhnliche Unebenheiten des Geländes veranlaßten Ausgaben, sondern nur um Mehrkosten für größere Erdeinschnitte, die bei Schleusentreppen und Hebewerkanlagen entstehen. Für die Berechnung ist angenommen, daß der in Frage kommende Einschnittsquerschnitt in freier Kanalstrecke vom Wasserspiegel mit 30 m Breite anfange und sich mit zweifachen Böschungen bis zum Gelände fortsetze. Für die Länge der Bauwerksstrecken ist bei Schleusen, Schwimmerhebewerken und Längsebenen ebenfalls 30 m und bei Querebenen 70 m als untere Breite des Erdeinschnittes angenommen. Ferner wurde vorausgesetzt, daß Schleusen von 12 m Höhe sich an geschüttete Dammstrecken anschließen dürfen, aber mit dem Grundwerk auf gewachsenem Boden stehen müssen (vgl. Darstellung in Abb. 2 Bl. B), Schwimmerhebewerke von 18 m Höhe nicht mehr als 9 m über Geländehöhe hervorragen sollen und Ebenen zur Sicherung der festen Lage der Fahrbahnen ganz in gewachsenem Boden liegen müssen. Auf die in Wirklichkeit meistens vorhandene Möglichkeit der Auswahl günstiger, die Ausnützung etwaiger Geländestufen gestattenden Kanallinien wurde keine Rücksicht genommen, auch sollen alle Hebewerke ohne Abweichung von der senkrecht zur Anhöhe gedachten Richtungslinie des Kanals die gleichmäßig ansteigende Höhe überwinden.

Hiernach ergeben sich für die 36 m hohe Schleusentreppe die in Abb. 2 Bl. B dargestellten Erdmassen für $\cot g\, \alpha = 0$ (senkrechter Abfall des Geländes) bis 1:100, wonach für Schleusen und Schwimmerhebewerke die Erdarbeiten hauptsächlich in längeren Kanalstrecken, für Ebenen dagegen mehr an den Stellen der Bauwerke auftreten. Die Nullpunkte der Massenlinien für Quer- und Längsebenen liegen bei $\cot g\, \alpha = 8$ und 15, während die der Schleusen und Schwimmerhebewerke ein viel größeres $\cot g\, \alpha$ haben. Für alle in Frage kommende Fälle, etwa mit einem $\cot g\, \alpha$ größer als 25, ergibt sich für abflachende Geländeneigung die Eigentümlichkeit, daß Ebenen starke Zunahme der Erdmassen, dagegen Schleusen und Schwimmerhebewerke Abnahme der Massen zeigen. Aus den steilen Massenlinien der Ebenen, besonders der Querebene, folgt ihre beschränkte Anwendungsmöglichkeit. Für senkrecht abfallendes Felsgelände würden Schleusen und Ebenen kaum mehr in Betracht kommen,

dagegen könnte hier die Anwendung von hohen Schwimmerhebewerken mit ungeteiltem Hub unter fast gänzlicher Vermeidung von Felsarbeiten von Vorteil sein; die Brunnenherstellung würde unter diesen Verhältnissen keine Schwierigkeit bieten.

Die Erdarbeiten für Schleusen in 1000 Abstand von Mitte zu Mitte sind nach Linien *a* und *f* in Abb. 2 Bl. B bei Annahme einer Geländeneigung von 1:25 fast gleich groß mit denen der Längsebenen, es würde also in dem Kostenvergleich keine Verschiebung eintreten. Dieser Abstand der Schleusen ist aber für zweckmäßigen Schiffahrtsbetrieb zu gering, weil er nicht der Länge des in der Schleusungszeit zurückzulegenden Schiffsweges entspricht, der $25{,}43 \cdot 1{,}1 \cdot 60 + 420 = 2098$ m von Mitte zu Mitte betragen muß. Es möge daher Linie *b* für Schleusen in 2000 m Abstand mit Linie *f* für Längsebenen verglichen werden. An Mehrkosten treten ein: für Schleusen 990000 cbm Erdmassen zu 1 ℳ (einschl. Böschungsunterhaltung) oder 990000 ℳ und 2000 a Grunderwerb zu 100 ℳ = 200000 ℳ für die 12 m hohe Dammstrecke nach Abzug der zu 30 m gerechneten Kanalbreite, oder zusammen 1190000 ℳ Baukosten, die an Verzinsung und Abschreibung 3,5 vH. = 4165 ℳ oder an jährlichen Gesamtkosten für ein Schiff $\frac{41650}{9720} = 4{,}30$ ℳ ergeben; für Längsebene 320000 cbm zu 1 ℳ = 320000 ℳ und 900 a Grunderwerb für 5 m hohe Erdablagerung = 90000 ℳ, zusammen 410000 ℳ oder für ein Schiff $= \frac{410000}{6750} = 2{,}10$ ℳ. Die Verteuerung zuungunsten der Schleusen beträgt also 2,20 ℳ, was aber nur wenig ausmacht, denn nach Abb. 1 Bl. B verbleibt zugunsten der Schleusen bei Höchstleistung derselben an jährlichen Gesamtkosten für ein Schiff: $57{,}70 - (32{,}20 + 2{,}20) = 23{,}30$ ℳ und bei Höchstleistung der Längsebene: $43{,}7 - (37{,}0 + 2{,}20) = 4{,}50$ ℳ. Nur mit Einrechnung der Kosten für Pumpen und Aufenthalt würden im letzten Fall die allgemeinen Jahreskosten sich um etwa 1,0 ℳ zugunsten der Längsebene stellen. Aber schon bei $\cot g\, \alpha = 35$ tritt das in Abb. 1 Bl. B angegebene Verhältnis wieder ein. Die reinen Betriebskosten bleiben unberührt.

Für Schwimmerhebewerke von 20 m Hub und Querebenen, deren Linien *d* und *e* bei Neigung 1:25 dieselben Erdmassen anzeigen, erhöhen sich die Mehrkosten auf mehr als das Doppelte der Schleusenmehrkosten; bei abnehmender Geländeneigung ändert sich das Verhältnis sehr rasch zugunsten der Schwimmerhebewerke.

Durch Hinzutritt dieser Ausgaben für Erdeinschnitte ändern sich für Neigung 1:25 die in Tabelle 8 angegebenen Baukosten wie folgt:

Zahl und Hubhöhe der Hebewerke. (36 m Gesamthöhe.)	Baukosten ohne Grunderwerb Mill. Mark	Kosten der Erdeinschnitte Mill. Mark	Gesamtkosten Mill. Mark
3 Schleusen von 12 m .	4,4	1,2	5,6
2 Schwimmer-Hebewerke von 18 m	5,5	2,0	7,5
1 Querebene von 36 m .	4,7	2,0	6,7
1 Längsebene von 36 m .	3,8	0,4	4,2

Wirtschaftlich betrachtet können einmalige Ausgaben für Erdeinschnitte, ebenso wie Baukosten im allgemeinen, keinen entscheidenden Ausschlag geben, weil diese durch Abschreibung und damit verbundene Ermäßigung der Verzinsung in absehbarer Zeit außer Betracht kommen, wogegen die bleibenden Unterhaltungs- und Betriebskosten den richtigen Maßstab der Beurteilung bilden. Auch ist für spätere Verdopplung und Verdreifachung der Hebungsanlagen zu beachten, daß dann eintretende weitere Erdarbeiten für Schleusen und Schwimmerhebewerke aus den angeführten Gründen geringer sind als bei Ebenen. Immerhin ist die Erhöhung der Kosten für Schwimmerhebewerke und Querebenen so groß, daß sie in diesem Falle mit Rücksicht auf die erstmalige Geldausgabe nicht in Frage kommen können.

Bei Schleusen ist die Mehraufwendung für Erdarbeiten 0,80 Mill. Mark höher und die gesamten Anlagekosten sind 1,40 Mill. Mark höher als für Längsebenen. Wird berücksichtigt, daß die jährlichen Gesamtkosten trotzdem fast gleich sind, die maßgebenden Betriebs- und Unterhaltungskosten nach Abb. 1 Bl. B aber erheblich hinter denen der Längsebene zurückbleiben, und schon bei 2,43 Mill. Tonnen Jahresverkehr, oder einer nur zeitweiligen Erreichung dieser Verkehrsdichte, die Hinzufügung einer zweiten Ebene erforderlich wird, wodurch die Gesamtbaukosten der Ebenen um 4 Mill. wachsen und sich um 2,60 Mill. höher stellen als bei Schleusen, so möchte ohne Zweifel der Schleusenanlage selbst für das steile Gelände von 1:25 der Vorzug gegeben werden müssen. Auch wird unter Berücksichtigung der in der Berechnung absichtlich vorgenommenen Begünstigung der Längsebenen und in Erwägung, daß eine Schleusenanlage sich dem in Wirklichkeit unebenen Gelände besser anpassen läßt, bei genauer Veranschlagung sich ein noch günstigeres Ergebnis für Schleusen ergeben.

Verbesserungen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit.

Es fragt sich, ob Verbesserungen zur Erzielung größerer Leistungsfähigkeit und geringerer Kosten möglich sind.

Wie bereits erwähnt, kann für Schleusen die Abkürzung der Schiffshebung in Frage kommen, die vorstehend mit nur 0,025 m/Sek. Hubgeschwindigkeit angesetzt ist, gegenüber 0,110 m bei Schwimmerhebewerken, 0,062 m bei Querebenen und 0,067 m bei Längsebenen.

Ferner würde 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. Ein- und Ausfahrt beträgt für Schleusen 6 Min. 19 Sek., für Querebenen 3 Min. 37 Sek., für Schwimmerhebewerke und Längsebenen 9 Min. 5 Sek. Für Schleusen könnte durch geringe Vertiefung der Drempel ohne erhebliche Kosten eine Verbesserung erzielt werden, ohne befürchten zu müssen, daß das Bauwerk durch Gegenfahren eines nicht rechtzeitig gehemmten Schiffes beschädigt werden könnte, weil bei der Einfahrt vom Oberwasser die bei hohen Schleusen vertieft liegenden Untertore nicht getroffen werden können. — Querebenen mit beiderseits hochzuziehenden Toren sind für Schiffsbewegung und Torsicherung vollkommen und nicht verbesserungsfähig. — Dagegen haben Schwimmerhebewerke und Längsebenen 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 den Querebenen vorgesehenen Vor- und Hinterhäfen und zwar in Höhe des Ober- und Unterwassers, wie sie an dem Prüsmannschen Schwimmerhebewerksmodell für Henrichenburg auf dem Pariser Binnenschiffahrtskongreß 1892 angebracht waren, würden für Schwimmerhebewerke Tor- und Troggefährdung beseitigen und außerdem eine erhebliche Vergrößerung der Schiffsgeschwindigkeit gestatten. Für Längsebenen dagegen könnte nur durch seitlich an den Trog anschließende Umläufe die Schiffsgeschwindigkeit erhöht werden, Trog- und Torgefährdung würde dadurch aber in verstärktem Maße auftreten. In beiden Fällen würden erhebliche Mehrkosten und Zeitversäumnis im Betriebe durch jedesmalige doppelte Troganschlüsse eintreten.

Abkürzung der für alle Hebewerke gleichmäßig mit 9 Min. 7 Sek. bemessenen Zeit für An- und Abfahrt (die Querebene 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 ausmacht als bei den übrigen Hebewerken, und weil durch Anordnung mehrerer hintereinander liegender zu einer Treppe vereinigter Schleusen die Zeitersparnis sich vervielfachen müßte.

Weiter ist darauf hinzuweisen, daß seitliche Kupplung zweier Hebewerke zu einem gemeinsam zu betreibenden Schleusungswerk keinen Vorteil bringt. Für gekuppelte Schleusen ist bekannt, daß die Leistung nur zwei Drittel von der Leistung zweier einzelnen Schleusen beträgt. Für Schwimmerhebewerke und Querebenen kann die Kupplung überhaupt nicht in Betracht kommen, und für Längsebenen hat die Rechnung ergeben, daß Leistung und Kosten einer Ebene mit zwei voneinander abhängigen Trögen zwei Drittel der Leistung und zwei Drittel der Kosten von zwei einzelnen Ebenen mit Gegengewichten ausmachen, also zwar die Leistungsfähigkeit von jährlich 2,43 Mill. Tonnen auf etwa 3,24 Mill. Tonnen gesteigert werden könnte, aber die Kosten für ein Schiff bei größtem Verkehr dieselben bleiben würden.

Endlich ist zu erwähnen, daß auch eine andere Art des Schiffahrtsbetriebes an Stelle des bisher vorausgesetzten Verkehrs mit einzeln fahrenden Schiffen nicht zugunsten der Schwimmerhebewerke und Ebenen ausfällt (vgl. S. 25). Wählt man zum Zweck der besseren Ausnutzung des Schiffsschleppmittels die bewährte Anordnung von zweien zu einem Schleppzug zusammengesetzten 600 t-Schiffen, die vor der Schleusentreppe getrennt und hinter derselben wieder vereinigt werden, so ist ohne weiteres einleuchtend, daß die Schleuse als leistungsfähigste Vorrichtung auch bei diesem Schiffahrtsbetrieb den größeren Erfolg aufweisen muß. Bei Einrichtung von Schleppzugschleusen, womit beide zusammengehörige Schiffe in einem Hub gemeinschaftlich durchgeschleust werden können, treten ähnliche Verhältnisse ein wie bei einer Längsebene mit zwei voneinander abhängigen Trögen (vgl. S. 27).

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 Schiffstroges 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 usw.) eintreten können, und gelinder Frost und Schnee haben auf die 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 Schwimmerhebewerk mit Gegengewichtsschwimmern veranlaßt fast keine Reibung in dem tragenden Wasser, nur Parallelführung 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. Gelinder Frost und Schnee sind ohne Nachteil. Überschüssiges Kanalwasser kann für die Schiffshebung nur durch Vermittlung besonderer Kraft- und Kraftsammleranlagen nutzbar gemacht werden.

Der durch rollende Gegengewichte im Gleichgewicht gehaltene Trogwagen der Querebene 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 Übersicht der Gesamtanlage noch ermöglichen lassen, aber bei Frost- und Schneewetter die frühzeitige Betriebseinstellung verlangen. Die Anfahrt des Troges an die Kanalhäupter kann sich den wechselnden Kanalwasserständen durch Verschiebung der Troghaltestelle in geringen Grenzen etwa bis zu Wasserschwankungen $\pm$ 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. Überschüssiges Kanalwasser kann zur Schiffshebung nur mit Hilfe langer Wasserleitungen, Turbinen und Kraftsammlern mit stark verminderter Wirkung verwertet werden.

Die Längsebene mit Gegengewichten unterscheidet sich von der Querebene 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 in dem längsgerichteten Schiffstroge. Die Unveränderlichkeit der Anfahrtsstellen an den Kanalhäuptern erfordert für alle von der gewöhnlichen Höhe abweichenden Kanalwasserstände eine Ausspiegelung zwischen Trog und Kanalwasserstand und vor der Abfahrt die bei Querebenen angegebenen Gewichtsregulierungen. Ausnützung etwaigen Überflußwassers ist wegen der größeren Länge des Hebewerkes von 610 m bei 36 m Höhe und Neigung 1:15 noch schwieriger und unwirksamer als bei Querebenen. Diese große Länge erschwert auch die Unterhaltung der Fahrbahn sowie den Betrieb bei Frost- und Schneewetter und macht selbst bei gutem Wetter die Übersicht der Anlage für die Betriebsleitung nahezu unmöglich.

Nach vorstehenden Darlegungen möchte auch für Überwindung höherer Gefälle den Schleusen 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 Schleusenanlagen einfacher, sparsamer und zuverlässiger erreicht. Nur in besonderen, durch örtliche Verhältnisse gegebenen Fällen, etwa bei steilen, nicht zu umgehenden hohen Abhängen von felsigem Untergrund würden mechanische Hebewerke der vorstehenden Arten, dann aber unter Verzichtleistung auf die Vorzüge der Schleusen, in Betracht kommen können, wobei Querebenen für Geländeneigung von etwa 1:8 und Schwimmerhebewerke für senkrecht abfallendes Gelände anzuwenden wären, während Längsebenen hauptsächlich wegen ihrer geringen Leistungsfähigkeit zurückstehen.

Zur Förderung der wirtschaftlichen Beurteilung von Kanalanlagen für Verkehr mit 600 t-Schiffen würden genauere Angaben über Bauart, Kosten und Betriebsverhältnisse solcher großer Hebungsanlagen von Wert sein. Die aus Entwurfsberechnungen und Betriebsversuchen an ausgeführten Beispielen zu gewinnenden Feststellungen möchten sich hauptsächlich auf folgende Punkte zu erstrecken haben:

I. für Schleusen.

a) Bau von Schleusen bis 15 oder 20 m Hubhöhe, etwa mit Anwendung von Eisenbeton.[21])

b) Zeit- und wassererspärende Einrichtungen. Im Sinne der vorstehenden Vorschläge möchte nachzuweisen sein, welche höchsten Durchschnittsgeschwindigkeiten mit neueren Mitteln der Kanal- und Schleusenausrüstung erreichbar sind: für gefahrlose Schiffsbewegung bei An- und Abfahrt wie bei Ein- und Ausfahrt aus der Schleuse, für Hebung und Senkung des Schiffs, und für Fahrt in den Kanalhaltungen oder in freier Kanalstrecke, wenn elektrischer Schiffszug wenigstens für die Strecken der Hebewerks- und Schleusentreppen zugrunde gelegt wird. Vermutlich wird durch mechanischen Schiffszug nach dem Versuche am Teltowkanal sich eine größere Fahrgeschwindigkeit ergeben, als sie durch Haack[22]) zu 1,10 m/Sek. bei Anwendung von Dampfschleppbooten gefunden wurde. Diese wichtigen Unterlagen sind erforderlich, um die Schleusungsdauer und den davon abhängigen zweckmäßigsten Abstand der zu einer Treppe gehörigen Hebewerke möglichst genau bestimmen zu können, der auch auf die Kosten der bei steilem Gelände eintretenden erheblichen Erdeinschnitte von Einfluß ist.

II. für mechanische Hebewerke: Erstrebung größerer Leistungsfähigkeit der Längsebenen und Wirtschaftlichkeit der Anlagen neben ausreichender Betriebssicherheit für alle Hebewerke.

21) Vgl. Fußnote auf S. 10.

22) Vgl. Fußnote auf S. 9.

Nachtrag.

Besondere Erörterungen über eine Hebewerkstreppe von 36 m Hubhöhe.

Es möge hier noch erörtert werden: Schiffsbegegnung in den Kanalhaltungen, Haltungseinheit, Bemessung der Schleusenabstände, Aufenthalt durch Schleusung von zwei Schiffen (Schleppzügen) und Schleppzugschleusen.

1. Schiffsbegegnung in freier Kanalstrecke oder in Haltungen von Schleusentreppen bei Annahme einfacher Hebewerke und einzeln fahrender Schiffe (Kreuzung an den Schleusen, mechanischer Schiffszug).

In freier Kanalstrecke (Abb. 11 Bl. A) folgen sich die Schiffe im Abstand 2 H entsprechend einer in doppelter Schleusungszeit 2 t zurückgelegten Wegelänge, da eine Aufwärtsschleusung und eine Abwärtsschleusung vollendet sein muß, bevor das zweite in derselben Richtung fahrende Schiff folgen kann. In der bei a beginnenden Schleusentreppe tritt die Änderung ein, daß die Schleusen nur einen Abstand von einmal H zu haben brauchen, um den Schiffsverkehr ohne Aufenthalt zu bewirken, wobei dieselbe Zeitaufwendung, nämlich t für die Schleusung und t für die Wegelänge H, zusammen 2 t eintritt. In diesen kurzen Haltungen der Schleusentreppe erfolgen bei Vollbetrieb zwei Schiffskreuzungen und zwar vor und hinter den Schleusen, nicht in den Haltungen selbst. Diese Schiffsbegegnungen veranlassen zwar keine Zeitversäumnis im Sinne der Schiffskreuzungen in freier Kanalstrecke, da wegen des Haltens an den Schleusen die Fahrgeschwindigkeit ohnehin ermäßigt werden muß, aber diese Hemmung ebenso wie die Beschleunigung beim Abfahren sind für die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit ebenfalls in Anrechnung zu bringen, wobei angenommen werden möge, daß hierdurch dieselbe Zeitversäumnis eintritt, wie bei Schiffskreuzungen in der freien Strecke. Demnach kommen auf die kurze Haltung H der Treppe zwei Kreuzungen oder bei einfachen Schleusen doppelt soviel als auf eine gleich lange Strecke des freien Kanals. Können die Haltungen zwischen den Schleusen der Treppe gemäß der Geländeneigung länger gemacht werden, so hat dies, wie aus Abb. 11 Bl. A folgt, durch Bemessung ihrer Länge mit $3 \cdot H$ oder $5 \cdot H$ usw., also immer mit einem ungeraden Vielfachen der Haltungslänge H zu geschehen, wenn unnötiges Warten an den Schleusen vermieden werden soll. In den Verlängerungsstrecken ergeben sich dieselben Verhältnisse wie in der freien Kanalstrecke.

Es mögen hier die ungünstigsten Verhältnisse mit Haltungslängen $= H$, die steilem Gelände entsprechen, angenommen werden, vgl. Abb. 12 Bl. A. In der Schleusungszeit t Minuten bewegt sich Schiff I von Stellung 1 nach 2 mit Zurücklegung eines Weges von 420 m, hat in Stellung 2 zum Aufnehmen der Schlepptrosse 2,5 Minuten Aufenthalt und fährt dann in der Zeit t nach Stellung 3, wo sich die Wartezeit von 2,5 Minuten zum Abgeben der Schlepptrosse und darauf

die zweite Schleusung anschließt. Unmittelbar vorher hat hier Schiff II die Schleusung beendet und fährt in Zeit t von Stellung 3 nach 2, so daß es in Zeit $2t$ nach Abfahrt des Schiffes I in Stellung 2 eintrifft, um sofort geschleust werden zu können, nachdem inzwischen das dem Schiff II vorausfahrende Schiff abwärts und das dem Schiff I folgende aufwärts geschleust worden ist.

Die Länge des in Zeit t mit der Durchschnittsgeschwindigkeit 1,1 m/Sek. zurückgelegten Weges sei mit H=Haltungseinheit[23]) bezeichnet, worin nach vorstehendem zwei Schiffsbegegnungen vorkommen. Die mittlere Reisegeschwindigkeit in der Haltung einschl. Kreuzungsverzögerung sei v_m und die Geschwindigkeit ohne Verzögerung $= v$, dann ist:

$$\frac{H}{v_m} = t \cdot 60, \text{ und } H = v_m \cdot t \cdot 60.$$

Wenn nach Haack die Kreuzungsgeschwindigkeit zu 0,60 m/Sek. und die Kreuzungslänge zu 210 m angenommen wird, so daß die Schiffe 70 m vor Beginn der Kreuzung die Fahrgeschwindigkeit v ermäßigen müssen, so wird nach Abb. 13 Bl. A die mittlere Kreuzungsgeschwindigkeit:

$$v_k = \frac{0{,}60}{3} + \frac{v + 0{,}60}{2} \cdot \frac{2}{3} \text{ oder } v_k = \frac{1{,}2 + v}{3}.$$

Ferner ist bei zwei Kreuzungen zu je 210 m Länge:

$$v_m \cdot H = v_k \cdot 420 + v \cdot (H - 420)$$

$$\text{und daraus: } v = \frac{v_m \cdot v_m \cdot t \cdot 60 - \frac{1{,}2}{3} \cdot 420}{\frac{420}{3} + v_m \cdot t \cdot 60 - 420}.$$

23) Vgl. Gröhe: Schiffahrtskanäle mit Schnellbetrieb, Bericht zu Frage 1 auf dem Internat. Binnenschiffahrtskongreß 1894 im Haag. (Die Haltungseinheit hat bei Gröhe die doppelte Länge.)

Für $v_m = 1{,}1$ m und $t = 25{,}43$ Minuten für 12 m hohe Schleusen wird: $v = 1{,}21$ und $v_k = 0{,}80$ m/Sek.

Werden zwei Schleusen nebeneinander vorausgesetzt, so tritt in der Mitte der kurzen Haltung H eine Schiffskreuzung hinzu, so daß drei Kreuzungen oder $3 \cdot 210 = 630$ statt 420 in die Formel für v einzusetzen ist, woraus sich $v = 1{,}27$ und $v_k = 0{,}82$ m/Sek. ergeben. Für drei Schleusen mit vier Kreuzungen wird $v = 1{,}35$ und $v_k = 0{,}85$ m/Sek. Diese und ebenso berechnete Werte für Schleusen von 9, 7,20, 6, 5,14 und 4 m Hubhöhe sind unter Hinzufügung der Schiffsanzahl und Verkehrsmenge in Tabelle 9 zusammengestellt.

Die höchste am Dortmund-Ems-Kanal für Dampfschleppbetrieb zulässige Schiffsgeschwindigkeit von 1,40 m/Sek. möge auch hier als maßgebend[24]) angenommen werden. Es ist also die Höchstgeschwindigkeit 1,40, die mittlere 1,10 und die Kreuzungsgeschwindigkeit 0,60 m/Sek.

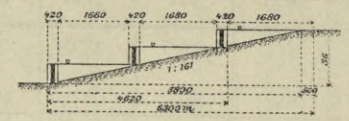
Nach Tabelle 9 würde ein jährlicher Verkehr von 10,5 Mill. Tonnen in 29160 Schiffen (entsprechend der Höchstleistung von drei 12 m Schleusen bei 270 Tagen und 15 stündigem Tagesdienst) noch ohne Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit geleistet werden können. Bei drei Schleusen kommen vier Kreuzungen in der Haltungseinheit der Schleusentreppe gegen drei Kreuzungen in der freien Kanalstrecke vor, oder die Kreuzungen folgen in Abständen von $\frac{1678}{3} = 559$ m, so daß nur 349 m freie Streken zwischen den Kreuzungsstrecken zur Ausnutzung der vollen Geschwindigkeit v übrig bleiben. Dies möchte etwa die praktische Grenze für die Leistungsfähigkeit des Kanals sein, die indes nicht von den Schleusen, deren Zahl beliebig vermehrt werden könnte, son-

24) Vgl. Seite 21.

Tabelle 9. Schiffskreuzungen und Haltungseinheiten einer 36 m hohen Schleusentreppe.

Zahl und Hubhöhe der Schleusen	Höchste Schiffsgeschwindigkeit v in den Kanalhaltungen bei Vollbetrieb mit einer Schleusen (nebeneinanderliegend)	zwei Schleusen (nebeneinanderliegend)	drei Schleusen (nebeneinanderliegend)	Mittlere Fahrgeschwindigkeit v_m	Mittlere Kreuzungsgeschwindigkeit v_k bei Vollbetrieb mit einer Schleusen (nebeneinanderliegend)	zwei Schleusen (nebeneinanderliegend)	drei Schleusen (nebeneinanderliegend)	Bemerkungen
	m/Sek.	m/Sek.	m/Sek.	m/Sek.	m/Sek.	m/Sek.	m/Sek.	
3 Schleusen von 12,00 m . .	1,21	1,27	1,35	1,10	0,80	0,82	0,85	Bei allen kleineren Verkehrsmengen wird v kleiner, z. B. liegt für 4,37 bis 7 Mill. t die Höchstgeschwindigkeit zwischen 1,23 und 1,27 m/Sek., für 8,74 bis 10,5 Mill. t zwischen 1,33 und 1,35 m/Sek. Die kleinste Geschwindigkeit während der Kreuzung ist 0,60 m/Sek.
Höchste Verkehrsmenge { Schiffzahl	9720	19440	29160					
Höchste Verkehrsmenge { Mill. t	3,50	7 00	10,50					
4 Schleusen von 9,00 m . .	1,21	1,29	1,38	1,10	0,80	0,83	0,86	
Höchste Verkehrsmenge { Schiffzahl	10530	21060	31590					
Höchste Verkehrsmenge { Mill. t	3,79	7,58	11,37					
5 Schleusen von 7,20 m . .	1,22	1,30	(1,41)	1,10	0,81	0,83	0,87	
Höchste Verkehrsmenge { Schiffzahl	11070	22140	33210					
Höchste Verkehrsmenge { Mill. t	3,99	7,98	11,97					
6 Schleusen von 6,00 m . .	1,22	1,31	(1,43)	1,10	0,81	0,84	0,88	
Höchste Verkehrsmenge { Schiffzahl	11340	22680	34020					
Höchste Verkehrsmenge { Mill. t	4,08	8,16	12,24					
7 Schleusen von 5,14 m . .	1,23	1,32	(1,44)	1,10	0,81	0,84	0,88	
Höchste Verkehrsmenge { Schiffzahl	11610	23220	34830					
Höchste Verkehrsmenge { Mill. t	4.18	8,36	12,54					
9 Schleusen von 4,00 m . .	1,23	1,33	(1,46)	1,10	0,81	0,84	0,89	
Höchste Verkehrsmenge { Schiffzahl	12150	24300	36450					
Höchste Verkehrsmenge { Mill. t	4,37	8,74	13,11					

Tabelle 10. Einteilung der Schleusenabstände für eine 36 m hohe Schleusentreppe.

Der Schleusen: Zahl	Hubhöhe X	Schleusungsdauer	Haltungseinheit + Schleusungsstrecke = kürzester Abstand der Schleusen von Mitte zu Mitte	Länge der 36 m hohen Schleusentreppen: Geringste Länge für steiles Gelände. Haltungslänge = Haltungseinheit	Rechnungsmäßige Länge für die dem gewählten X entsprechende günstigste Geländeneigung: Geländeneigung	$36 \cdot \cot g\ \alpha$	Praktische Länge der Schleusentreppe entsprechend Geländeneigung $\cot g\ \alpha$. Die Verlängerungen der Haltungen sind durch $2 \cdot H$ teilbar	Leistungsfähigkeit in 270 Tagen zu 15 Betriebsstunden: Einzelne Schiffe	Güter-menge	Mittlere Reisegeschwindigkeit in der Schleusentreppe	Schleusungskosten für 1 Schiff: Reine Betriebs- und Unterhaltungskosten	Jährliche Gesamtkosten	Wasserpumpen, Gesamtkosten	Aufenthalt durch Schleusungen	Gesamtkosten
	m	Minuten	m	m	$\cot g\ \alpha$	m	m	Anzahl	Mill. t	m/Sek.	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ
3	12,0	25,4	1678 + 420 2098	2·1678 + 3· 420 4620	1 : 161	5800	 2·1678 + 3·420 = 4620 m	9720	3,50	0,59	4,53	23,8	6,0	2,4	32,2
4	9,0	23,4	1546 + 420 1966	3·1546 + 4· 420 6320	1 : 308	11090	3·1546 + 4·420 = 6320 m + 4H = 4·1546 {für Verlängerung der Haltungen} = 6180 „ 12500 m	10530	3,79	0,71	3,99	20,9	5,6	2,9	29,4
5	7,2	22,2	1467 + 420 1887	4·1467 + 5· 420 7970	1 : 526	18940	4·1467 + 5·420 = 7970 m + 8H = 8·1467 desgl. = 11740 „ 19710 m	11070	3,99	0,80	3,55	18,8	5,0	3,5	27,3
6	6,0	21.4	1414 + 420 1834	5·1414 + 6· 420 9590	1 : 777	27970	5·1414 + 6·420 = 9590 m + 14H = 14·1414 desgl. = 19800 „ 29390 m	11340	4,08	0,85	3,53	18,5	4,2	4,0	**26,7**
7	5,14	20,9	1377 + 420 1797	6·1377 + 7· 420 11200	1 : 1138	40970 1)	6·1377 + 7·420 = 11200 m + 22H = 22·1377 desgl. = 30290 „ 41490 m	11610	4,18	0,89	**3,32**	**17,5**	4,9	4,5	26,9
9	4,0	20,1	1327 + 420 1747	8·1327 + 9· 420 14400	1 : 1803	64900	8·1327 + 9·420 = 14400 m + 38H = 38·1327 desgl. = 50430 „ 64830 m	12150	4,37	0,93	3,48	17,8	3,6	5,6	27,0

1) Entspricht etwa dem Abstieg zum Rhein im Entwurf des Kanals Rhein-Herne mit 41 km Länge und 5 m hohen Schleusen.

dern allein von den Abmessungen des Kanalquerschnitts abhängig ist, wie dies Gröhe in seiner erwähnten Schrift nachgewiesen hat.

Wenn unter Festhaltung der Fahrgeschwindigkeit von 1,40 m die in Spalte 4 der Tabelle mit Klammern versehenen Leistungen der Schleusen von 7,2 bis 4 Hubhöhe erreicht werden sollen, muß die mittlere Fahrgeschwindigkeit (1,1 m) in der Schleusentreppe etwas ermäßigt werden, wodurch eine geringe Wartezeit an den Schleusen entsteht, es sei denn, daß man die höchste Fahrgeschwindigkeit oder die Kreuzungsgeschwindigkeit entsprechend vergrößerte.

Durch Einführung des geordneten in einer Hand liegenden mechanischen Schiffszugs wird eine gewisse fahrplanmäßige Regelmäßigkeit des Schiffsverkehrs, die bei Kanälen mit vielgestaltigem Pferde- oder Schleppbootsbetrieb undenkbar erscheint, sich erreichen lassen, besonders aber in Schleusentreppen mit kurzen Zwischenhaltungen, in welchen die Schiffsfolge durch gleiche Schleusungsdauer von selbst geregelt wird und die Fahrt von einer zur anderen Schleuse durch mechanischen Schiffszug pünktlich erfolgt.

Das punktierte Gleis für die Schiffszugmaschinen (Abb. 14 Bl. A) bildet für jede Haltung der Schleusentreppe einen geschlossenen Betriebskreis [25]) mit Anschluß an die Nachbarkreise. Die Schlepplokomotiven fahren vor den Schleusen von a nach b über den Kanal (bei kleinen Gefällen nur am Unterhaupt), wofür 5 Minuten durch den Schiffsaufenthalt von je 2,5 Minuten zur Verfügung stehen. Bei Schiffskreuzungen haben die mit 70 m langen Trossen versehenen Lokomotiven ihre Geschwindigkeit zu mäßigen, wenn sie auf beiden Ufern in gleicher Höhe sich befinden.

2. Die Einteilung der Schleusenabstände für 36 m

25) Vgl. Block, Vortrag über elektr. Treidelversuche am Teltowkanal im Verein deutscher Maschineningenieure am 23. Februar 1904.

Tabelle 11. Aufenthalt für Schleusung von 2 zusammengehörigen Schiffen in einer Hebewerkstreppe von 36,0 m Höhe.

Art der Hebewerke und des Schiffahrtsbetriebs	Art und Geldwert des Aufenthalts	Aufenthalt für Durchschleusung von zwei Schiffen									Bemerkungen.
		Schleusenzahl und Hub						Schwimmerhebewerke	Querebenen	Längsebenen	
		3 Schleusen von 12,0 m	4 Schleusen von 9,0 m	5 Schleusen von 7,20 m	6 Schleusen von 6,0 m	7 Schleusen von 5,14 m	9 Schleusen von 4,0 m	2 Hebewerke von 18,0 m	1 Ebene von 36,0 m	1 Ebene von 36,0 m	
		Minuten									
a) Einfache Hebewerke. Beide Schiffe fahren in der Schleusentreppe einzeln, außerhalb im Abstand von zwei Haltungseinheiten. Kreuzung an den Schleusen.	Gesamt-Schleusungsaufenthalt[1] . .	117	137	158	180	202	246	91	72	77	[1]) Mit Abzug der Hälfte des vom ersten Schiff bereits zurückgelegten Weges, nachdem das zweite Schiff die letzte Schleusung beendet hat.
	Abzug für zurückgelegten Reiseweg .	45	49	54	59	66	77	40	32	51	
	Bleibt für Schleusungszeitverlust . .	72	88	104	121	136	169	51	40	26	
	Geldwert des Zeitverlustes[2]) für jedes Schiff in ℳ	**2,40**	2,93	3,45	4,03	4,53	5,63	**1,70**	**1,33**	**0,87**	Derselbe Zeitverlust tritt bei einzeln fahrenden Schiffen ein.
b) Einfache Hebewerke. Schiffe fahren in der Schleusentreppe einzeln, außerhalb als Schleppzug. Die beiden Schiffe werden nacheinander ohne Kreuzung mit entgegen kommendem Schiff geschleust.	Gesamt-Schleusungsaufenthalt . . .	133	151	171	192	213	256	119	108	101	[2]) 1 Tag mit 15 Betriebsstunden kostet 30 ℳ oder 1 Stunde 2 ℳ
	Abzug für zurückgelegten Reiseweg .	20	26	33	39	45	58	14	5	16	
	Bleibt für Schleusungszeitverlust . .	113	125	138	153	168	198	105	103	85	
	Geldwert des Zeitverlustes für jedes Schiff in ℳ	3,77	4,17	4,60	5,10	5,60	6,60	3,50	3,47	2,83	
c) Einfache Hebewerke. Schiffe fahren in der Schleusentreppe einzeln, außerhalb als Schleppzug. Kreuzung an den Schleusen.	Gesamt-Schleusungsaufenthalt . . .	157	176	196	216	238	281	133	114	128	Bei a) tritt kein unnötiger Aufenthalt ein, dagegen bei c) Warten des ersten Schiffes auf das zweite hinter der letzten Schleuse.
	Abzug für zurückgelegten Reiseweg .	19	25	32	38	45	57	13	5	15	
	Bleibt für Schleusungszeitverlust . .	138	151	164	178	193	224	120	109	113	
	Geldwert des Zeitverlustes für jedes Schiff in ℳ	4,60	5,03	5,47	5,93	6,43	7,45	4,00	3,63	3,77	
d) Doppelhebewerke (zwei unabhängige nebeneinander). Schiffe fahren in der Schleusentreppe einzeln, außerhalb als Schleppzug.	Gesamt-Schleusungsaufenthalt . . .	112	145	177	209	242	306	83	74	56	
	Abzug für zurückgelegten Reiseweg .	22	30	37	45	52	67	15	11	16	
	Bleibt für Schleusungszeitverlust . .	90	115	140	164	190	239	68	63	40	
	Geldwert des Zeitverlustes für jedes Schiff in ℳ	3,00	3,83	4,67	5,47	6,33	7,97	2,27	2,10	1,33	
e) Doppelhebewerke wie vor. Schiffe fahren in der Schleusentreppe und außerhalb als Schleppzug.	Gesamt-Schleusungsaufenthalt . . .	142	190	237	284	332	426	98	74	56	Bei d) findet Lösung und Kuppeln des Schleppzuges nur einmal vor und hinter der Treppe statt, bei e) vor und hinter jeden Hebewerk.
	Abzug für zurückgelegten Reiseweg .	22	30	37	45	52	67	15	11	16	
	Bleibt für Schleusungszeitverlust . .	120	160	200	239	280	359	83	63	40	
	Geldwert des Zeitverlustes für jedes Schiff in ℳ	4,00	5,33	6,67	7,97	9,33	11,97	2,77	2,10	1,33	
f) Schleppzugsschleusen von doppelter Länge. Schiffe fahren in der Treppe und außerhalb als Schleppzug.	Gesamt-Schleusungsaufenthalt . . .	116	147	178	208	239	300	—	—	—	Der Unterschied zwischen f) und d) ist gering.
	Abzug für zurückgelegten Reiseweg .	25	34	43	51	58	76	—	—	—	
	Bleibt für Schleusungszeitverlust . .	91	113	135	157	181	224	—	—	—	
	Geldwert des Zeitverlustes für jedes Schiff in ℳ	3,03	3,77	4,50	5,23	6,03	7,47	—	—	—	
g) Zur Vergleichung.[3]) Schleppzugsschleusen mit einzeln fahrenden Schiffen.	Gesamt-Schleusungsaufenthalt . . .	101	126	152	178	203	254	—	—	—	[3]) Die Benutzung von Schleppzugsschleusen ist für einzeln fahrende Schiffe (vergl. a) ungünstig.
	Abzug für zurückgelegten Reiseweg .	22	30	37	45	52	67	—	—	—	
	Bleibt für Schleusungszeitverlust . .	79	96	115	133	151	187	—	—	—	
	Geldwert des Zeitverlustes für jedes Schiff in ℳ	2,63	3,20	3,83	4,43	5,03	6,23	—	—	—	

hohe Schleusentreppen ist in Tabelle 10 dargestellt. In Spalte 4 sind die kürzesten Schleusenabstände angegeben, d. h. wenn die Haltungslänge zwischen zwei Schleusen gleich einer Haltungseinheit (H) ist, daraus ergibt sich in Spalte 5 für steiles Gelände die geringste Länge der ganzen Schleusentreppe einschließlich der beiden Endschleusen.

Wenn eine der Schleusenhöhe entsprechende flachere Geländeneigung (vgl. Seite 6 über günstigstes X) zur Verfügung steht, ergeben sich rechnungsmäßig die Zahlen der Spalte 6 und 7. Die hiernach vorhandene bedeutend größere Länge darf, um unnötigen Schleusenaufenthalt zu vermeiden, nur in der Weise zur Verlängerung der Zwischenhaltungen verwendet werden, daß gemäß vorstehender Erörterung über die Schiffskreuzung volle Haltungseinheiten gebildet und diese paarweise (also $2 \cdot H$) den Haltungslängen der Spalte 5 hinzugefügt werden. Paarweise Zufügung ist nötig um die Bedingung zu erfüllen, daß die Kanalhaltungen zwischen zwei Schleusen stets eine ungerade Anzahl von Haltungseinheiten aufweisen müssen. Dabei ist es aber für den Schifffahrtsbetrieb gleichgültig, ob diese Paare zugunsten einer vorteilhaften Ausnützung der Geländeoberfläche einer oder verschiedener Zwischenhaltungen zugelegt werden. Bei sehr großen Längen der Zwischenhaltungen einer Schleusentreppe ist die genaue Einteilung der Schleusenabstände nicht mehr von so großem Wert, weil bei langen Wegestrecken die mittlere Reisegeschwindigkeit kleine Abweichungen von 1,10 m/Sek. zeigen wird und Warten an den Schleusen dann nicht mehr so stark ins Gewicht fällt. Ohne Grund sollte man aber die richtige Schleuseneinteilung auch bei längeren Haltungen nicht unterlassen.

Die Hubhöhen in einer Schleusentreppe müssen möglichst gleich groß sein, damit Schleusungsdauer, Leistungsfähigkeit und Haltungseinheit für alle Schleusen gleich werden und kein Warten der Schiffe eintritt, was bei ungleicher Hubhöhe an den höheren Schleusen der Fall sein müßte, weil diese eine längere Schleusungsdauer beanspruchen. Ist die Verschiedenheit der Hubhöhe nicht zu vermeiden, so wird für die Leistung im Durchgangsverkehr allein die höchste Schleuse maßgebend, während größere Leistungen der niedrigeren Schleusen nicht ausgenutzt werden können. In diesem Falle sind die Längen der Haltungen mit: $(2 \cdot T - t) \cdot 60 \cdot 1{,}10$ Meter zu bemessen, wenn T (Minuten) die Schleusungsdauer der höchsten und t die einer der anderen Schleusen bedeutet. Durch eine höhere Schleuse werden demnach die Haltungslängen der anderen Schleusen vergrößert und zwar werden sie länger als die der höchsten Schleuse entsprechende Haltungseinheit.

3. Schiffahrtsbetrieb mit zwei Fahrzeugen. Es handelt sich um den durch Schleusungen in einer 36 m hohen Hebewerkstreppe veranlaßten Aufenthalt für zwei zusammengehörige Schiffe, die in freier Kanalstrecke entweder einzeln in Abständen von zwei Haltungseinheiten oder als Schleppzug fahren, und zwar einschließlich der Zeitaufwendungen für Abgabe und Aufnahme der Schlepptrossen (je 2,5 Min.) wie Lösung und Kupplung der Schleppzüge (je 10 Min.). Die mit 1,1 m mittlerer Geschwindigkeit zu durchfahrenden Zwischenhaltungen kommen wegen gleicher Geschwindigkeit in der freien Kanalstrecke für den Aufenthalt nicht in Betracht, dagegen sind die während der wirklichen Schleusungszeit in der Richtung der Reise zurückgelegten Wege mit Anrechnung von 1,1 m/Sek. in Abzug zu bringen. Die gesamte Schleusungszeit ist gerechnet vom Zeitpunkt des Abwerfens der Schlepptrosse des ersten Schiffes vor der Treppe bis zur Aufnahme der Schlepptrosse des zweiten Schiffes hinter der Treppe.

Nach eingehenden Berechnungen, deren Wiedergabe entbehrlich erscheint, ist die Tabelle 11 für Schleusen, Schwimmerhebewerke, Quer- und Längsebenen zusammengestellt. Es sind einfache Hebewerke, Doppelhebewerke (zwei nebeneinander) und Schleppzugschleusen in Vergleich gebracht. Der geringste Zeitverlust tritt bei Fall *a*) für einfache Hebewerke und einzeln fahrende Schiffe ein. Wenn beide Schiffe außerhalb der Treppe als Schleppzug, innerhalb aber einzeln fahren und nacheinander ohne Kreuzung mit entgegenkommendem Schiff geschleust werden, ergeben sich nach *b*) Mehrkosten für Schleusungsaufenthalt, die bei 12 m hohen Schleusen etwa 50 vH., bei Schwimmerhebewerken 200 vH., bei Querebenen 300 vH. und bei Längsebenen 400 vH. betragen. Noch teurer wird Fall *c*) mit Schiffskreuzung.

Hiernach sind mechanische Hebewerke für Schleppzugbetrieb im Nachteil gegen Schleusen; bei starkem Verkehr (Fall *c*) werden die Aufenthaltszeiten fast gleich und damit schwindet der in größerer Reisegeschwindigkeit ausgedrückte Vorteil des ungeteilten Hubes der mechanischen Hebewerke.

Zwei unabhängig nebeneinander liegende Hebewerke (Fall *d*) weisen gegenüber *a*) geringe durch Lösung und Kupplung, sowie durch Verspätung des zweiten Schiffs veranlaßte Mehrkosten auf, die für die genannten vier Hebewerke annähernd gleich sind. Fall *e*) kommt bei steilen Schleusentreppen mit kurzen Haltungen nicht in Betracht.

Schleppzugschleusen (Fall *f*) bringen gegen *d*) keinen nennenswerten Vorteil. Hieraus folgt, daß Schleppzugschleusen für Schleusentreppen mit kurzen Haltungen und bei Verkehr von Schleppzügen keinen Vorteil bringen. Da außerdem nach Vergleichung der Fälle *g*) und *a*) einzeln fahrende Schiffe durch Schleppzugschleusen Nachteil erleiden, z. B. für drei Schleusen von 12 m Höhe = 79 — 72 = 7 Min., so erscheint der Schluß berechtigt, daß Schleppzugschleusen keinesfalls für kurze Schleusentreppen zu empfehlen sind.

4. Schleppzugsschleusen. Für die allgemeinen Verhältnisse von Schleppzugschleusen ist eine ähnliche Berechnung wie für einfache Schleusen aufgestellt. Der Unterschied in den Rechnungunterlagen besteht darin, daß Schleusenkammer *d* in Abb. 1 Bl. A um 70 m größer wird und Abfahrt aus der 420 m langen Schleusungsstrecke sich um 70 m verlängert, um dem kreuzenden Schiff die Anfahrt zu gestatten. Für die Schiffsbewegung in der längeren Schleusenkammer bei Ein- und Ausfahrt kann mit Rücksicht auf gebotene

Tabelle 12. Leistungsfähigkeit für Schleppzugschleusen.

Geländeneigung	X	Z	$Z \cdot 0{,}097$	V	$V \cdot Z \cdot 0{,}097$
cotg α	m	Schiffszahl	Mill. t	m/Sek.	Mill. tkm
120	18,3	75,8	7,27	0,54	3,93
200	15,0	80,5	7,82	0,65	5,04
300	12,6	84,3	8,19	0,72	5,86
500	10,4	88,1	8,56	0,80	6,87

Tabelle 13. Bau- und Betriebskosten von Schleppzugschleusen.

Hubhöhe der Schleusen und Zahl der Sparbecken	Baukosten: des eigentlichen Bauwerkes (Mauerwerk usw.)	der Sparbecken	der maschinellen Betriebseinrichtung	Gesamt-Baukosten	Abzug für ersparte Kanallänge[1])	Vergleichswert der Baukosten	Jährliche Kosten bei 15stündigem Tagesbetrieb: Reine Unterhaltungs- und Betriebskosten[2]) 1 v. H. — 1900 ℳ	Verzinsung und Abschreibung 3+1,2=4,2 v. H. der Bausumme	Jährliche Gesamtkosten
m	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ
4 m (mit 1 Sparbecken) 2 Becken an jeder Seite mit zwei Ventilen	614	50	120	784	62	722	5,3	30,3	36
5 m (desgl.)	736	50	120	906	62	844	6,5	35,4	42
6 m (mit 2 Sparbecken) 4 Becken an jeder Seite	870	100	160	1130	62	1068	8,8	44,9	54
7 m (desgl.)	1018	100	160	1278	62	1216	10,3	51,1	61
8 m (mit 4 Sparbecken) 8 Becken an jeder Seite	1178	200	240	1658	62	1596	14,1	67,0	81
9 m (desgl.)	1350	200	240	1830	62	1768	15,8	74,3	90
10 m (desgl.)	1536	250	240	2016	62	1954	17,6	82,0	100
11 m (mit 5 Sparbecken) 10 Becken an jeder Seite	1734	250	280	2264	62	2202	20,1	92,5	113
12 m (desgl.)	1946	250	280	2476	62	2414	22,2	101,4	124
13 m (mit 6 Sparbecken) 12 Becken an jeder Seite	2170	300	320	2790	62	2728	25,4	114,6	140
14 m (desgl.)	2406	300	320	3026	62	2964	27,7	124,5	152
15 m (desgl.)	2656	300	320	3276	62	3214	30,2	135,0	165

1) Abzug für 155 m Länge = 0,155·400,000 = 62,000 ℳ. — 2) Unterhaltung und Betrieb = 1,0 v. H. der Bausumme, abzüglich der Hälfte der Bedienungskosten einer Schleuse = $^1/_2 \cdot 3700 = 1900$ ℳ.

Tabelle 14. Leistung und Kosten von Doppelschleusen und Schleppzugschleusen für eine 36 m hohe Schleusentreppe.[1])

Der Schleusen: Anzahl	Art und Hubhöhe X	Schleusungsdauer an einer Schleusungsstelle für 2 Schiffe[3])	Größte Leistungsfähigkeit in 270 Tagen zu 15 Stunden: Einzelne Schiffe	Güter-menge	Baukosten ohne Grunderwerb und nach Abzug der Kosten für die ersparte Kanalstrecke	Jährliche Kosten: Reine Betriebs- und Unterhaltungskosten	Gesamtkosten einschließlich Verzinsung und Abschreibung	Schleusungkosten für 1 Schiff: Reiner Betrieb und Unterhaltung	Jährliche Gesamtkosten	Wasserpumpen	Wert für Schleusungs-Aufenthalt[4])	Gesamtkosten
	m	Minuten	Anzahl	Mill. t	Mill. ℳ	Tausend ℳ	Tausend ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	ℳ
3	Doppelschleusen[2]) von 12 m	27,38	17 750	6,390	8,802	88,2	462	4,97	26,03	6,00	3,00	35,03
	Schleppzugschleusen von 12 m	33,70	14 422	5,192	7,242	66,6	372	4,62	25,80	6,00	3,03	34,83
4	Doppelschleusen von 9 m	25,38	19 149	6,894	8,400	84,0	440	4,39	22,87	5,60	3,83	32,30
	Schleppzugschleusen von 9 m	31,70	15 331	5,519	7,072	63,2	360	4,12	23,48	5,60	3,77	32,85
5	Doppelschleusen von 7,2 m	24,18	20 099	7,236	7,880	78,6	416	3,91	20,70	5,00	4,67	30,37
	Schleppzugschleusen von 7,2 m	30,50	15 934	5,736	6,460	55,3	319	3,47	20,02	5,00	4,50	29,52
6	Doppelschleusen von 6 m	23,38	20 787	7,483	7,920	79,2	420	3,81	19,34	4,20	5,47	29,01
	Schleppzugschleusen von 6 m	29,70	16 364	5,891	6,408	52,8	324	3,23	19,80	4,20	5,23	29,23
7	Doppelschleusen von 5,14	22,81	21 306	7,670	7,686	76,7	406	3,60	19,04	4,90	6,33	30,27
	Schleppzugschleusen von 5,14 m	29,13	16 684	6,006	6,125	47,8	306	2,87	18,33	4,90	6,03	29,26
9	Doppelschleusen von 4 m	22,05	22 041	7,935	7,280	73,6	388	3,34	17,60	3,60	7,97	29,17
	Schleppzugschleusen von 4 m	28,37	17 131	6,167	5,776	42,4	288	2,48	16,81	3,60	7,47	27,88

1) Innerhalb der Treppe aus Doppelschleusen fahren die Schiffe einzeln, außerhalb (wie bei den Schleppzugschleusen) als Schleppzug. — 2) Zwei unabhängige Schleusen nebeneinander. — 3) Schleusungsdauer für Doppelschleusen = $(19{,}38 + 0{,}67 \cdot X)$, für Schleppzugschleusen = $(25{,}70 + 0{,}67 \cdot X)$; Unterschied beträgt 6,32 Min. — 4) Vgl. Tabelle 11.

größere Sorgfalt zur Verhütung des Aufrennens des zweiten Schiffs keine höhere mittlere Geschwindigkeit angesetzt werden.

Daraus ergibt sich: Schleusungsdauer $= 25{,}70 + 0{,}67 \cdot X$, $Z = \frac{4298{,}5}{38{,}36 + X}$; $V = \frac{X \cdot \operatorname{cotg} \alpha}{22{,}22 + X\left(0{,}67 + \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{66}\right)}$ und das günstigste $X = \sqrt{\frac{832{,}36}{0{,}67 + \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{66}}}$ und hiernach die Tabelle 12.

Aus Vergleich mit Tabelle 1 für einfache Schleusen folgt, daß die günstigste Hubhöhe X bei Schleppzugschleusen größer, mittlere Reisegeschwindigkeit fast gleich, Leistung Z und $V \cdot Z$ aber 30 vH. geringer ist, als bei zwei unabhängigen Einzelschleusen mit einzeln fahrenden Schiffen.

Die Baukosten betragen nicht ganz das Doppelte einer einfachen Schleuse. Unter Zugrundelegung einer 6,20 m hohen Schleuse des Dortmund-Ems-Kanals würden, wenn ein mittleres Tor für Einzelschleusungen vorgesehen wird, von den Doppelkosten einer Schleuse abzuziehen sein: 2 Torkammern von zusammen 20 m Länge oder $^2/_9$ der Bauarbeiten von 510000 ℳ = 113000 ℳ, 1 Schleusentor von der Höhe des Obertors = 25000 ℳ, Anteil der Turbinen- und Maschinenanlage = 90000 ℳ, und ein Dienstgebäude = 20000 ℳ oder zusammen 248000 ℳ. Die Schleppzugschleuse von 6 m Hubhöhe kostet demnach: $2 \cdot 544000 - 248000 = 840000$ ℳ oder rund 1,6 mal so viel wie eine einzelne Schleuse. Hierzu kommen Seitenbecken in doppelter Zahl oder Größe und Maschinenbetriebseinrichtungen in doppelter Zahl, abzüglich 40000 ℳ für gemeinschaftliche Betriebsteile. Daraus ist die Tabelle 13 (vgl. Tabelle 2) berechnet.

Zur Vergleichung von Schleppzugschleusen mit Doppelschleusen, d. h. zwei nebeneinander liegenden unabhängigen Einzelschleusen, wobei Schleppzugbetrieb vorausgesetzt ist, ist Tabelle 14 berechnet, woraus folgendes zu entnehmen ist: Die jährlichen Schleusungskosten für ein Schiff sind bei allen Schleusenhöhen fast genau gleich, aber es bestehen Unterschiede in der Leistung, denn die Schleusungsdauer an einer Schleusungsstelle dauert bei Schleppzugschleusen 6,32 Minuten länger als bei Doppelschleusen. Dies hat für Höhen von 12 bis 4 m geringere Leistung an Schiffszahl und Gütermenge von 19 bis 22 vH. zur Folge, und da die Leistung der mit Schleppzügen befahrenen Doppelschleuse schon geringer ist, als die zweier Einzelschleusen mit einzeln fahrenden Schiffen, so ergibt sich eine geringe Leistung der Schleppzugschleusen von 26 bis 30 vH. gegenüber Einzelschleusen. Das macht nach Tabelle 14 jährlich 5018 bis 7169 Schiffe aus.

Hiernach bietet die Schleppzugschleuse keine Vorteile bezüglich Schleusenleistung und Fahrgeschwindigkeit. Für die erste Anlage ist sie viel zu teuer und bringt einzeln fahrenden Schiffen durch Verlängerung der Schleusungszeit Nachteil, für größeren Verkehr sind die jährlichen Kosten für ein Schiff zwar gleich einer vollbetriebenen Doppelschleusenanlage mit Schleppzugbetrieb, aber die Leistung ist erheblich geringer, und die Schleppzugschleuse ist teurer und noch weniger leistungsfähig gegenüber zwei unabhängigen Einzelschleusen mit einzeln fahrenden Schiffen. Berücksichtigt man ferner, daß zwei Einzelschleusen sich bei Betriebsstörungen und Reparaturen gegenseitig ersetzen, so möchte die Herstellung von Schleppzugschleusen, wenn überhaupt erst für größeren Verkehr, bei Anlage zweiter Schleusen in Frage kommen können, und auch nur bei längeren Kanalhaltungen, dagegen nicht für Schleusentreppen mit verhältnismäßig kurzen Haltungen, für welche nur nebeneinanderliegende Einzelschleusen zweckmäßig erscheinen.

Die Bildung von Schleppzügen in längeren Kanalhaltungen wird dadurch nicht berührt.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.

Vergleichung von Schleusen und mechanischen Hebewerken.

Abb. 1. Abb. 1–3. Schleusen.

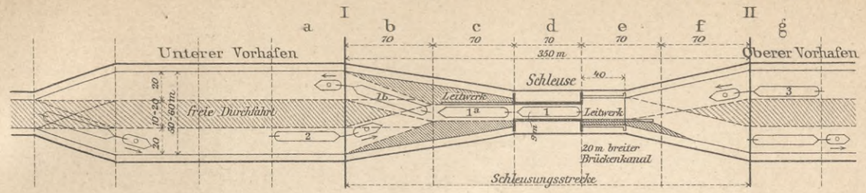
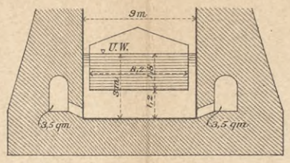
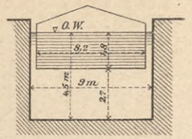


Abb. 2.



Schleusenquerschnitt = 9 · 3 + 2 · 3,5 = 34 qm
Schiffsquerschnitt = 8,2 · 1,8 = 14,8 = 15 „
bleibt für Rückströmung d. Was. 19 qm

Abb. 3.



Fläche der Schleusenöffnung = 9 · 4,5 = 40,5 qm
Fläche des Schiffes = 15 „
bleibt Wasserquerschnitt 26 qm

Abb. 8.
Schleusen und Schwimmer-Hebewerke.

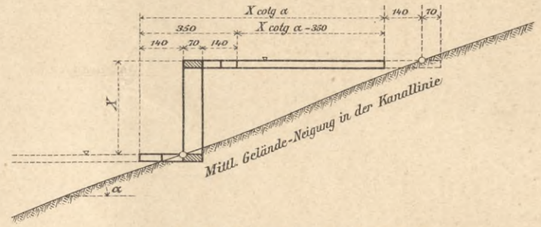
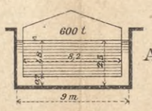


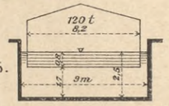
Abb. 4 u. 5.
Senkrechte Schwimmer-Hebewerke.

Abb. 4.



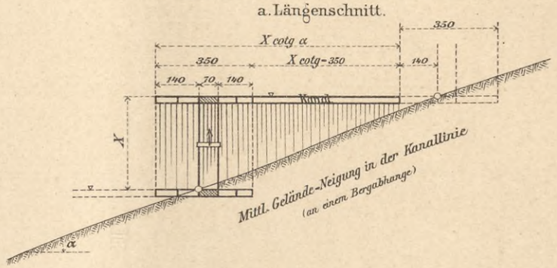
Troggquerschnitt = 9 · 2,5 = 22,5 qm
Schiffsquerschnitt = 14,8 qm = a
Wasserquerschnitt 7,7 qm = b
dann ist für die relative Geschwindigkeit von 0,54 m
die Schiffsgeschwindigkeit $= \frac{b \cdot 0,54}{a+b} = \frac{7,7 \cdot 0,54}{7,7+14,8} = 0,19$ m

Abb. 5.



Troggquerschnitt = 22,5 qm
Schiffsquerschnitt = 8,2 · 0,8 = 6,6 „ = a
Wasserquerschnitt = 15,9 qm = b
dann ist für die relative Geschwindigkeit von 0,54 m
die Schiffsgeschwindigkeit $= \frac{b \cdot 0,54}{b+a} = \frac{15,9 \cdot 0,54}{15,9+6,6} = 0,38$ m

Abb. 9. Querebene. (Vergl. Abb. 6 u. 7)
a. Längenschnitt.



b. Grundriß.

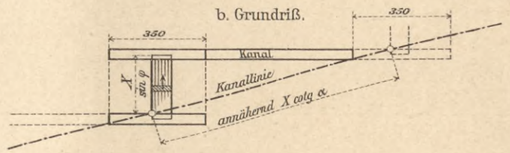


Abb. 6.

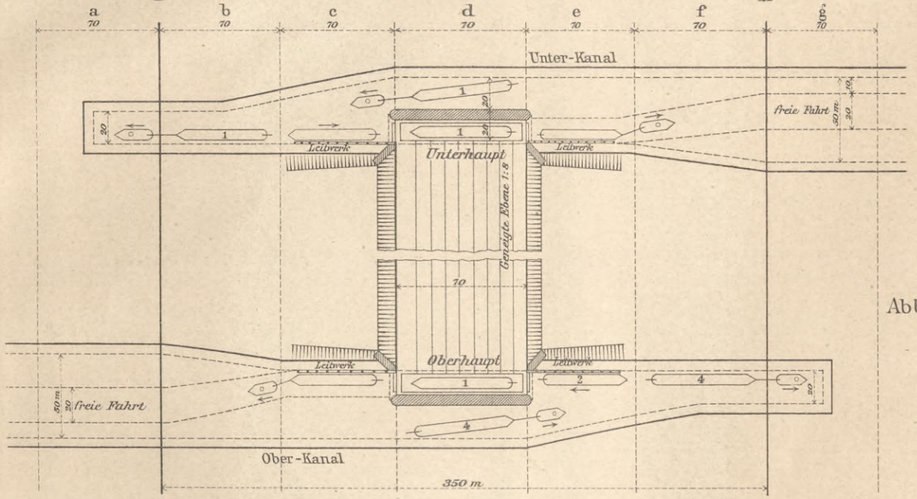


Abb. 6 u. 7. Einfährige Querebenen.

Abb. 7.
Schnitt durch Strecke d.

Abb. 11. Schiffsbegegnung in freier Kanalstrecke.

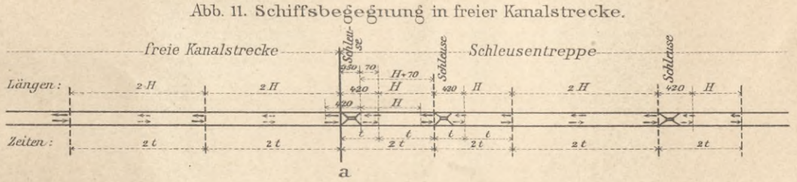


Abb. 13. Schiffskreuzung.

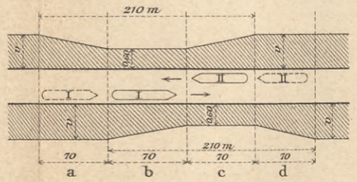


Abb. 10. Längsebene.

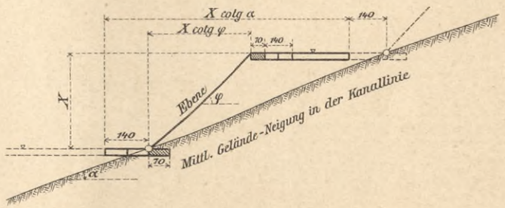
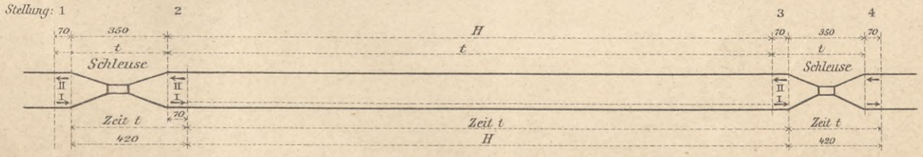


Abb. 12. Schiffsbegegnung in kurzen Haltungen einer Schleusentreppe.



Wegelängen und Zeiten der sich begegnenden Schiffe verschieben sich um eine Schiffslänge = 70 m

Abb. 15. Einteilung der Schleusenabstände für eine 36 m hohe Schleusentreppe.

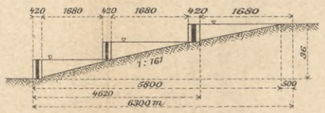
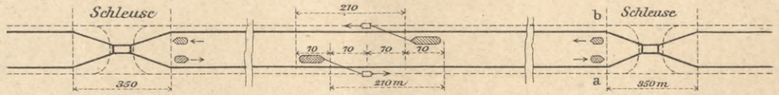


Abb. 14. Mechanischer Schiffszug.



Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

Vergleichung von Schleusen und mechanischen Hebewerken.

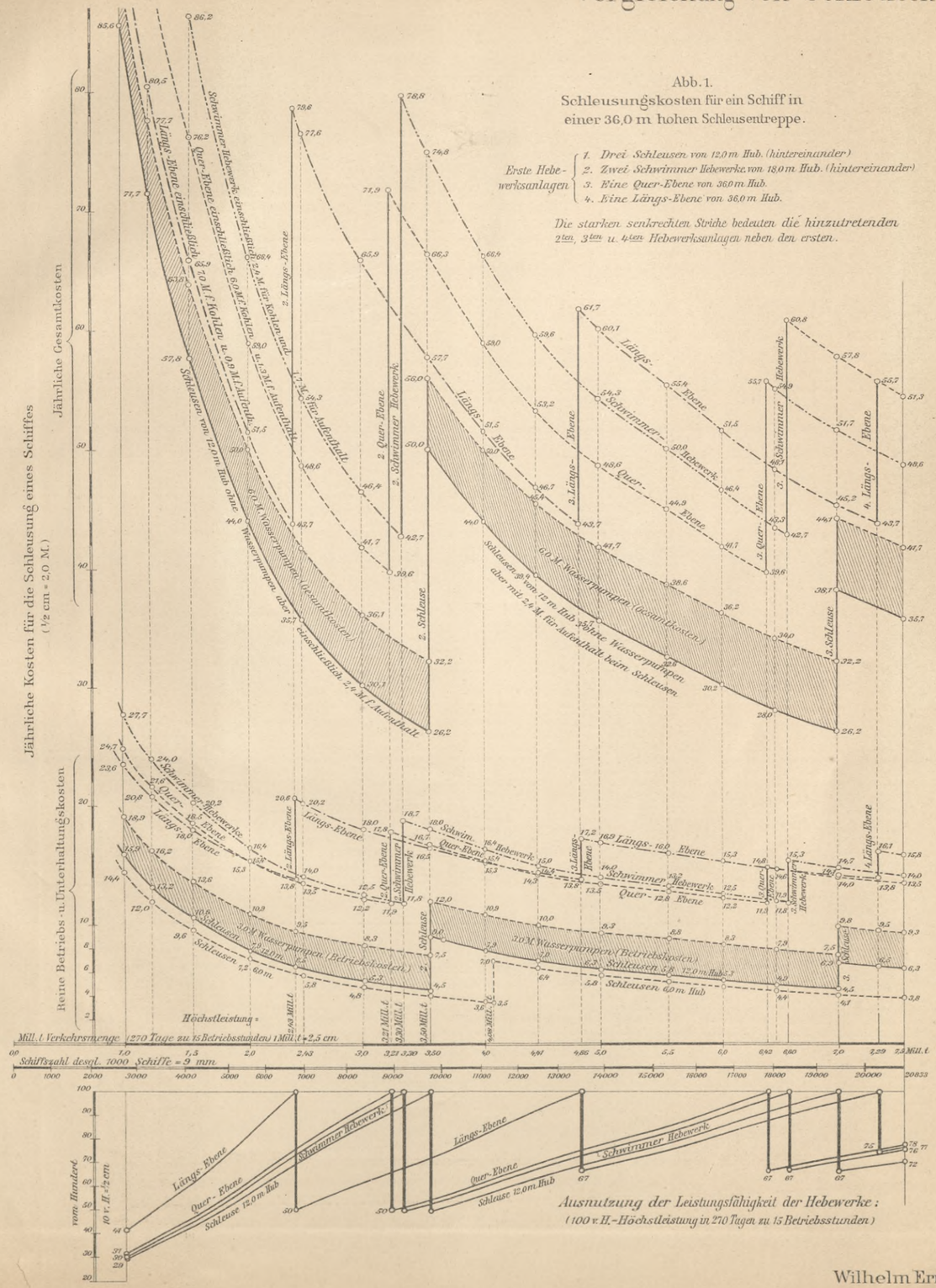


Abb. 1.
Schleusungskosten für ein Schiff in einer 36,0 m hohen Schleusentreppe.

Erste Hebewerksanlagen:
1. Drei Schleusen von 12,0 m Hub. (hintereinander)
2. Zwei Schwimmer Hebewerke von 18,0 m Hub. (hintereinander)
3. Eine Quer-Ebene von 36,0 m Hub.
4. Eine Längs-Ebene von 36,0 m Hub.

Die starken senkrechten Striche bedeuten die hinzutretenden 2ten, 3ten u. 4ten Hebewerksanlagen neben den ersten.

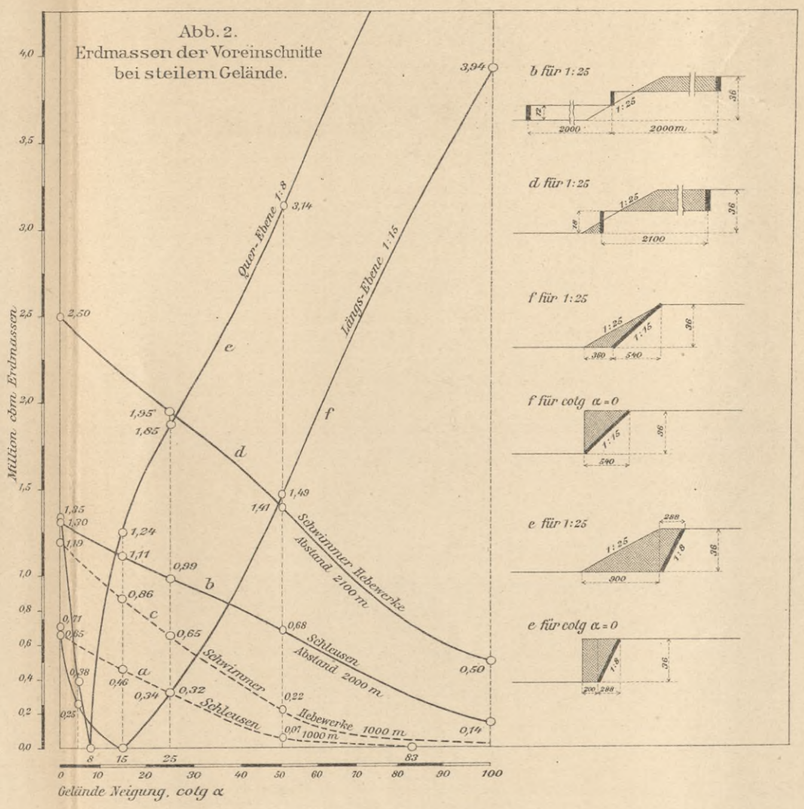


Abb. 2.
Erdmassen der Voreinschnitte bei steilem Gelände.

Abb. 3.
Schleuse von 12 m Hubhöhe
Die an beiden Seiten der Schleuse anzuordnenden Sparbecken sind nur an einer Seite gezeichnet.

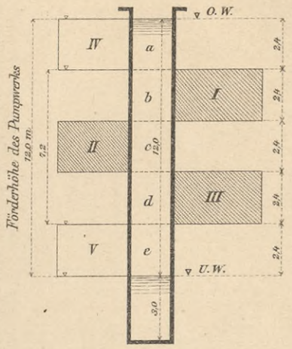
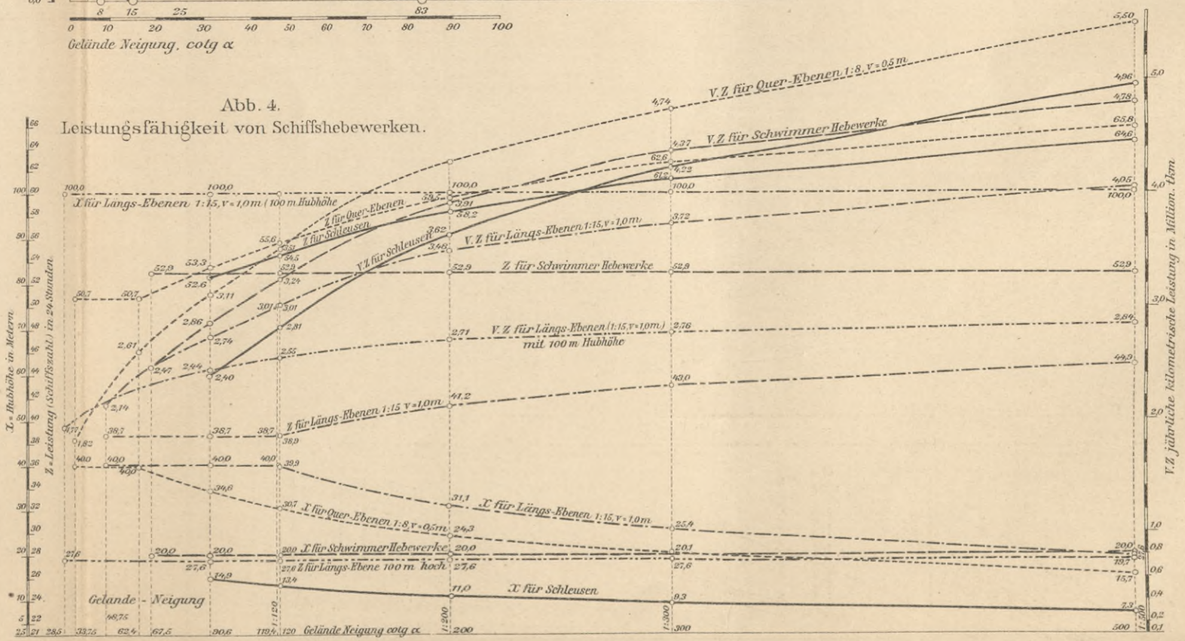


Abb. 4.
Leistungsfähigkeit von Schiffshebewerken.



Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

S. 61.

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
III
L. inw. 33085
Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000305764