

Abt. I Mitteilung 3

Leistungsfähigkeit und Abmessungen der Schleusen einschließlich der Schiffs-liegeplätze in Beziehung zum Verkehr und seinen Schwankungen ebenso wie zur Größe und Zahl der Schiffe und Schleppzüge. Linienführung der Einfahrt-Leitmauern und der Leitwerke in den Zufahrtskanälen. Anordnung von Schiffsschleusen für den Fall, daß alle Tore sowohl für die Hochwasser- als auch für die Geschiebeabführung offen sind.

Von Seifert, Regierungsbaurat beim Wasser- und Schiffsamt Würzburg und

Röhnisch, Oberregierungsbaurat bei der Wasser- und Schiffsdirektion Münster:

Zusammenfassung: Als Grundlage der Berechnung der Leistungsfähigkeit von Schleusen dienen die Ergebnisse der Untersuchungen von Dr. Ing. Mistol*). Sie werden erweitert durch die Einführung von Wirkungsgraden (W), die es erlauben, die verschiedenen Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit getrennt voneinander zur Geltung zu bringen. Hierbei handelt es sich um folgende Verkehrseinflüsse:

1. Schwankungen der Art und Größe der am Verkehr beteiligten Schiffe (W 1)
2. Schwankungen der Schiffsankünfte zu Berg und zu Tal (Ungleichzeitigkeit) (W 2)
3. Schwankungen der Abladung, verursacht durch wechselnde Flußwasserstände (W 3)
4. Jahreszeitliche Schwankungen des Verkehrsaufkommens (W 4)
5. Monatszeitliche Schwankungen des Verkehrsaufkommens (W 5).

Ausgangspunkt ist die theoretisch maximale Leistungsfähigkeit, die mit Wirkungsgraden = 1 und mit denjenigen Werten ermittelt wird, die für den Zeitpunkt des Erreichens der Grenze der Leistungsfähigkeit anzunehmen sind. Am Beispiel einer 300 m langen Schleppzugschleuse im Main werden die Wirkungsgrade erörtert und zu $W 1 = 0,82$, $W 2 = 0,91$, $W 3 = 0,90$, $W 4 = 0,93$, $W 5 = 0,90$ berechnet. Der Gesamtwirkungsgrad W ($W = 0,56$) vermindert die theoretisch maximale Leistungsfähigkeit, woraus sich die praktisch erreichbare Leistungsfähigkeit ergibt. Das Ergebnis läßt sich mit den Werten der Wirtschaftsstatistik für den Jahresverkehr vergleichen. Die Methode wurde an einer Neckar-Schleuse mit bereits erreichter Grenzleistungsfähigkeit überprüft.

In Absatz III werden zusätzlich die Leistungsverluste infolge von Wartezeiten, nicht ausgenutzter Ladefähigkeit der Schiffe und nicht ausgenutzter Schleusen-kammer abgeleitet und der von Dr. Ing. Mistol hierfür angenommenen Leistungsminderung von 30 v. H. gegenübergestellt. Der Vergleich der auf diesem Wege theoretisch ermittelten Leistungsfähigkeit einiger Schleusen mit den tatsächlichen Schleusenleistungen nach der amtlichen Verkehrsstatistik ergibt recht gute Übereinstimmung.

Schließlich wird die Grenzbelastung von Schleusen entwickelt und für eine Reihe sehr verschiedenartiger Schleusen festgestellt.

Die Untersuchungen sind insofern besonders aufschlußreich, als 2 von den 4 untersuchten Schleusen der westdeutschen Wasserstraßen bereits einen Verkehrsumfang zu bewältigen haben, welcher der Grenzleistungsfähigkeit recht nahe kommt, so daß die Annahmen auch für diesen Fall auf Grund des tatsächlich vorhandenen Verkehrs gemacht werden konnten und daher der Wirklichkeit recht nahe kommen dürften.

Neben den Schwankungen, die sich aus dem Verkehr ergeben, wirken die Abmessungen und Bauweisen der Schleusen sowie ihre technischen Einrichtungen auf die Leistungsfähigkeit der Schleusen ein. In erster Linie handelt

*) Dr. Ing. Mistol: »Die Leistungsfähigkeit von Fluß- und Kanalschleusen«, »Die Bau-technik« 1932, Heft 16/17.

es sich hier um den Einfluß der Kammergröße, der Betriebseinrichtungen, der Anordnung der Leitwerke und Schiffs Liegeplätze sowie der Füll- und Entleerungseinrichtungen mit den erforderlichen Maßnahmen zur Energievernichtung.

Der unter sonst gleichen Voraussetzungen geführte Vergleich der Leistungsfähigkeit von Schleusen mit verschiedenen Kammerlängen (105, 165 und 225 m) dürfte für die interessierten Fachkreise von Nutzen sein. Daß die kurze Schleuse von 105 m hierbei besonders günstig abschneidet, ist keineswegs überraschend. Gleichfalls werden die Untersuchungen über den Einfluß von Treidelanlagen an Schleusen und die hieraus erzielte Leistungssteigerung sowie über die Anordnung und Ausführung der Schleusenleitwerke für Planung, Bau und Betrieb der Schleusen von Interesse sein.

Die Heranziehung von Schleusen zur Abführung von Hochwasser, Geschiebe und Eis ist ein Ausnahmefall. In Deutschland besteht erst eine dazu eingerichtete Schleuse, mehrere Schleusen dieser Art sind aber im Bau oder geplant. Die Schleusen erfahren im wesentlichen keine Änderungen für den besonderen Zweck, jedoch muß mindestens 1 Tor, vorzugsweise das Obertor, den Anforderungen genügen, die sonst an Wehrverschlüsse zu stellen sind, also vor allem gegen Wasserüberdruck zu bewegen sein.

Es wurden Anteile der Schleuse an der Gesamthochwasserabführung bis zu einem Viertel erreicht.

Gliederung.

| | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Röhnisch u. Seifert: | |
| I. Grundlagen zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Schleusen | 135 |
| Seifert: | |
| II. Berechnung der Leistungsfähigkeit von Schleusen mit Hilfe von Wirkungsgraden | 137 |
| a) Verkehrsschwankungen als Ursache für verschiedene Wirkungsgrade der Schleusen | 137 |
| b) Die theoretisch maximale Leistungsfähigkeit | 138 |
| c) Die einzelnen Wirkungsgrade | 140 |
| 1. Wirkungsgrad infolge von Schwankungen der am Verkehr beteiligten Schiffsgrößen, W_1 | 140 |
| 2. Wirkungsgrad infolge von Schwankungen der Schiffsankünfte zu Berg und zu Tal (Ungleichzeitigkeit), W_2 | 142 |
| 3. Wirkungsgrad infolge von Schwankungen der Abladung, verursacht durch wechselnde Flußwasserstände, W_3 | 144 |
| 4. Wirkungsgrad infolge jahreszeitlicher Schwankungen des Verkehrsaufkommens, W_4 | 147 |
| 5. Wirkungsgrad infolge monatszeitlicher Schwankungen des Verkehrsaufkommens, W_5 | 147 |
| d) Zusammensetzung der Wirkungsgrade, Grenzleistungsfähigkeit | 148 |
| e) Folgerungen | 149 |
| Röhnisch: | |
| III. Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Schleusen mittels der Verkehrsstatistik der westdeutschen Wasserstraßen | 149 |
| 1. Verkehrsschwankungen infolge Art und Größe der am Verkehr beteiligten Schiffe | 150 |
| 2. Der Einfluß der verschiedenen Ankunftszeiten im Berg- und Talverkehr | 154 |
| Der Leistungsverlust infolge | |
| 3. von Wartezeiten | 156 |
| 4. nicht ausgenutzter Ladefähigkeit der Schiffe | 156 |
| 5. nicht ausgenutzter Schleusenkammer | 157 |
| 6. Vergleich der theoretisch ermittelten Leistungsfähigkeit mit den tatsächlichen Schleusenleistungen der amtlichen Verkehrsstatistik | 157 |
| 7. Ableitung der Grenzbelastung von Schleusen | 158 |

| Röhnisch: | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| IV. Die Leistungsfähigkeit der Schleusen in Abhängigkeit von den Abmessungen und technischen Einrichtungen | 161 |
| 1. Einfluß der Kammerabmessungen | 161 |
| 2. Einfluß der Treidelanlagen oder ähnlicher Einrichtungen | 163 |
| 3. Einfluß der Anordnung der Schiffsliegeplätze und Leitwerke ... | 164 |
| 4. Einfluß der Torverschlüsse sowie der Füll- und Entleerungseinrichtungen | 170 |
| Seifert: | |
| V. Anordnung von Schiffsschleusen für den Fall, daß alle Tore sowohl für die Hochwasser- als auch für die Geschiebeabführung offen sind | |
| 1. Vorkommen der Hochwasserabführung | 171 |
| 2. Bauliche Maßnahmen: | |
| a) Allgemeine Maßnahmen | 172 |
| b) Maßnahmen an den Toren | 172 |
| 3. Vorteile der Maßnahmen | 173 |

I. Grundlagen zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Schleusen.

Unter Leistungsfähigkeit einer Schleuse ist die Summe der Ladungstonnen zu verstehen, die innerhalb einer bestimmten Zeit geschleust werden kann. Als Zeitraum ist, wenn alle Einflüsse erfaßt werden sollen, zweckmäßig das Jahr zu wählen, bei vielen Untersuchungen wird auch der Monat oder sogar der Tag genügen. Die Leistungsfähigkeit ist abhängig sowohl von Größe und Art des Schleusenbauwerks einschließlich aller technischen Einrichtungen als auch vom Verkehr und seinen vielfachen Schwankungen.

Zur Berechnung der Leistungsfähigkeit von Schleusen stehen an theoretischen Grundlagen in erster Linie die Ergebnisse der eingehenden Untersuchungen von Dr.-Ing. Mistol zur Verfügung, die er an einer Reihe von Oderschleusen vorgenommen hat, und die zwischen Schleusengröße, Schleusenbetrieb und Schleusenleistung zum Teil recht gesetzmäßige Zusammenhänge ergeben haben.

Folgende Bezeichnungen und Formeln von Mistol werden verwendet. Es beträgt die Tagesleistung in t

$$Q = \frac{b \cdot 60 \cdot Z_m \cdot L_m}{(m-n) S_R + n S_K} \cdot \frac{p_T + p_B}{200}$$

und die Jahresleistung in t

$$J = Q \cdot B.$$

Darin bedeutet:

- B = Anzahl der Betriebstage im Jahr,
- b = Anzahl der Betriebsstunden am Tage (unter Berücksichtigung von Sonntags- und Überstunden),
- 60 = Faktor zur Umrechnung in Minuten,
- Z_m = mittlere Anzahl der Schiffe je Schleusung,
- L_m = Ladung eines mittleren Schiffes in t,
- p_B = Anteil der beladenen Schiffe am Gesamtbergverkehr in %,
- p_T = desgleichen am Gesamttalverkehr,
- $m-n$ = Verhältnis der (an einem Tage) bergwärts oder talwärts ankommenden Schiffe, woraus sich ergibt, ob mit Kreuzungs- oder Richtungsschleusungen geschleust wird ($m+n=1$),
- S_K = Zeitdauer einer Kreuzungsschleusung in Minuten,
- S_R = Zeitdauer einer Richtungsschleusung in Minuten.

Ein von Mistol für verschiedene schwer erfaßbare Einflüsse angegebener Faktor 0,7 wird nicht verwendet, sondern durch genauere Ermittlungen ersetzt.

Die vorstehenden Werte werden gewonnen wie folgt:

1. B , b , p_T , p_B , m , n sind unmittelbar dem Schleusenbetrieb und den statistischen Aufschreibungen zu entnehmen.

2. Z_m und L_m werden nach Mistol in vereinfachter Wahrscheinlichkeitsrechnung ermittelt. Der dazu benötigte Anteil der einzelnen Schiffstypen am Gesamtverkehr (in p %) ist der Verkehrsstatistik zu entnehmen. Weiterhin läßt sich Z = Anzahl der Schiffe einer Schleusung, wenn sie in ihren Abmessungen gleich sind, ohne weiteres ermitteln.

Werden nun verschiedene Schiffstypen mit einem bestimmten Anteil am Gesamtverkehr geschleust, so ist für jeden der Z -Werte die Wahrscheinlichkeit

$$w = \frac{p}{Z}$$

Bei t Ladetonnen je Fahrzeug beträgt die auf eine Schleusung entfallende Lademenge $T = t \cdot Z$.

Weiter folgen:

mittlere Tonnenzahl je Schleusung

$$T_m = \frac{\sum T \cdot w}{\sum W} = \frac{\sum t \cdot w \cdot Z}{\sum w} = \sum t \cdot Z$$

$$\text{daraus } L_m = \text{mittlere Kahnladung} = \frac{\sum t \cdot p}{100}$$

$$Z_{m \text{ theor.}} = \frac{T_m}{L_m} = \frac{100}{\sum w}$$

Um aus $Z_{m \text{ theor.}}$ den Wert $Z_{m \text{ prakt.}}$ zu gewinnen, hat Mistol einen Ausnutzungsfaktor k eingeführt, der eine Funktion der Kammer- und Fahrzeuggrößen und ferner des Anteils der Fahrzeuggrößen am Gesamtverkehr ist. Durch Versuche und Auswertung statistischer Unterlagen fand Mistol für

$$k = -0,032 Z_{m \text{ theor.}} + 1,032$$

Dieser Faktor berücksichtigt auch die Tatsache, daß infolge Belegung der Schleusenkammer mit den verschiedensten Schiffsgrößen nicht ausgenutzte Restflächen vorhanden sind.

$$\begin{aligned} Z_{m \text{ prakt.}} &= k \cdot Z_{m \text{ theor.}} \\ T_m &= Z_{m \text{ prakt.}} \cdot L_m \end{aligned}$$

3. S_K und S_R , die Schleusungszeit, setzt sich zusammen aus der

Zeit für Torbewegung,

Laufzeit der Schleusengehilfen zwischen den Häuptern (entfällt vielfach),

Kupplungszeit (entfällt vielfach),

Füll- und Leerzeit,

Verholzeit.

Die ersten vier Zeiten sind im wesentlichen vom Verkehr unabhängig, die Verholzeit ist dagegen vom Verkehr abhängig und in jedem Einzelfall zu ermitteln. Unter Verholzeit ist die Zeit zu verstehen, die die Schiffe für die Ein- und Ausfahrt brauchen. Zu unterscheiden ist weiterhin zwischen Kreuzungs- und Richtungsschleusung. Der Beginn der Kreuzungsschleusung wird vom Ablegen des einfahrenden Schiffes am Anfang des Einfahrtleitwerkes gerechnet. Die Kreuzungsschleusung endet, wenn das letzte, die Schleuse verlassende Schiff in entgegengesetzter Richtung den Bug des ersten inzwischen aufgerückten, im Rang liegenden Schiffes erreicht hat, so daß die Einfahrt für die nächste Schleusung frei ist. Bei der Richtungsschleusung dagegen ergibt sich die Schleusungszeit aus der Einfahrt und Ausfahrt der zu schleusenden Schiffe sowie zusätzlich aus dem Zeitaufwand für eine Leerschleusung, d. h. die Einfahrtszeit ist dieselbe wie bei der Kreuzungsschleusung; die Ausfahrt ist jedoch kürzer, sie endet bereits, wenn das Heck des letzten Schiffes das Ende des Schleusenhauptes passiert hat.

Die Zeiten sind dem Betrieb der zu untersuchenden Schleuse unmittelbar zu entnehmen. Für die Verholzeiten gibt Mistol außerdem die Möglichkeit der Berechnung, indem er die Ein- und Ausfahrtszeiten als Funktion des Fahrweges in Kurventafeln darstellt. Die dabei gemachten Annahmen wurden z. T. örtlich überprüft und im allgemeinen bestätigt gefunden, so daß die Verholzeiten nach Mistol berechnet werden konnten.

II. Berechnung der Leistungsfähigkeit von Schleusen mit Hilfe von Wirkungsgraden.

a) Verkehrsschwankungen als Ursache für verschiedene Wirkungsgrade der Schleusen.

Der Verkehr durch eine Schleuse stellt ihre Belastung dar. Bei gleichmäßiger Belastung, d. h. in jeder Beziehung gleichförmigem Verkehr, würde die Schleuse ihre theoretisch maximale Leistungsfähigkeit erreichen. Die Belastung schwankt jedoch. Die Schwankungen der Belastung beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit einschneidend. Der Schiffsverkehr kann dabei auf verschiedene Arten schwanken. Jede dieser Arten hat ihren bestimmten Einfluß auf die Leistungsfähigkeit. Er läßt sich als Wirkungsgrad ausdrücken und dadurch getrennt von den anderen Einflüssen untersuchen. Diese Methode wird nachfolgend am Beispiel der Mainkanalisierung gezeigt, da zur Darlegung die Zahlenwerte eines der Wirklichkeit entnommenen Falles erforderlich sind.

Es kommen im wesentlichen folgende Verkehrsschwankungen vor:

1. Schwankungen der Größe der am Verkehr beteiligten Schiffe;
2. Schwankungen der Schiffsankünfte zu Berg und zu Tal (Ungleichzeitigkeit);
3. Schwankungen der Abladung, verursacht durch wechselnde Flußwasserstände;
4. Jahreszeitliche Schwankungen des Verkehrsaufkommens;
5. Monatszeitliche Schwankungen des Verkehrsaufkommens.

Es wäre möglich, auch den Anteil der beladenen Schiffe am Gesamtverkehr oder die Auslastung der Schiffe als Verkehrsschwankung zu betrachten. Es wurde jedoch davon Abstand genommen, weil hier eine Leistungsverringerung vorliegt, die einfach proportional von leicht feststellbaren Werten abhängt.

b) Die theoretisch maximale Leistungsfähigkeit.

Ausgangspunkt für die Berechnung der Leistungsfähigkeit ist die theoretisch maximale Leistungsfähigkeit. Als Beispiel dient die Schleuse Steinbach im kanalisierten Main*).

| | | |
|--------------------------|------|---|
| Abmessungen: Länge | 300 | m |
| Breite | 12 | m |
| Drempeltiefe | 3 | m |
| Hubhöhe | 5,15 | m |

Bei der Berechnung sowohl der maximalen Leistungsfähigkeit als auch der Wirkungsgrade dürfen nicht die gegenwärtigen Verhältnisse der untersuchten Schleuse, sondern es müssen diejenigen zugrunde gelegt werden, die zur Zeit der Erreichung der Leistungsfähigkeit voraussichtlich herrschen werden. Entsprechend werden die Werte bestimmt für die maximale Jahresleistungsfähigkeit

$$J_{\max} = \frac{B \cdot b \cdot 60 \cdot Z_m \cdot L_m}{(m-n) S_R + n S_K} \cdot \frac{p_B + p_T}{200}$$

$$B = 326.$$

$$b = 13,2.$$

$Z_m = 3.$ Die Schleuse ist für drei 80 m-Schiffe mit Schleppern gebaut. Im theoretischen Fall ist $k = 1$, d. h. $Z_m \text{ prakt.} = Z.$

$$L_m = 1200 \text{ t.}$$

$m = n = 0,5.$ Maximale Leistungsfähigkeit herrscht bei voller Gleichzeitigkeit der Schiffsankünfte zu Berg und Tal.

$S_R.$ Richtungsschleusungen entfallen nach Vorstehendem ($m = n$).

$S_K = 89 \text{ min.}$ Gang der Berechnung:

a) Torbewegungs-, Füll- und Leerzeiten:

| | | |
|--------------------------------------------------|----|---------|
| 4 Torbewegungen | 4 | Minuten |
| Füllen (Kammer mit Schiffen belegt) | 20 | " |
| Füllen (Kammer unbelegt oder nur 1 Schiff) | 15 | " |
| Leeren | 12 | " |

Daraus folgende Zeiten für a):

| | | |
|---------------------------|----|---------|
| Kreuzungsschleusung | 36 | Minuten |
| Bergschleusung | 36 | " |
| Talschleusung | 31 | " |

b) Die Verholzeiten werden nach Mistol berechnet. Dabei werden unter Verwendung der Sondertafel die Geschwindigkeiten des 1000-t-Kanalschiffes zugrunde gelegt und die Kurventafel für »Bewegung durch Schleppschiff« benützt. Für die Bewegung der Selbstfahrer werden keine besonderen Werte eingeführt. Es ist nämlich bei voller Belegung der Schleuse nicht damit zu rechnen, daß die Kammer ausschließlich von Selbstfahrern belegt wird; schon ein einziges langsames geschlepptes Schiff aber, gleich ob es als erstes oder letztes Schiff ein- und ausfährt, bestimmt die Gesamteinfahrt- und Gesamtausfahrtzeit aller Schiffe der Schleusung.

*) Die Schleuse Steinbach liegt 50 km unterhalb des derzeitigen Endpunktes der Großschiffahrt, Würzburg, und ist eine der beiden Schleusen mit der größten Hubhöhe auf dieser Strecke. Mit der Berechnung ihrer Leistungsfähigkeit ist gleichzeitig die wichtige Frage beantwortet, bei welchem Jahresverkehr erstmalig zweite Schleusen zu den Einzelschleppzugsschleusen des Mains oberhalb von Frankfurt gebaut werden müssen.

Die Einfahrt- und Ausfahrtwege sind nunmehr zu bestimmen. Nach Mistol geschieht dies wie in Abb. 1 gezeigt. Die maximale Leistungsfähigkeit der Schleuse wird mit 80 m-Schiffen erreicht. Andere Schlepper-Anordnungen als in Abb. 1

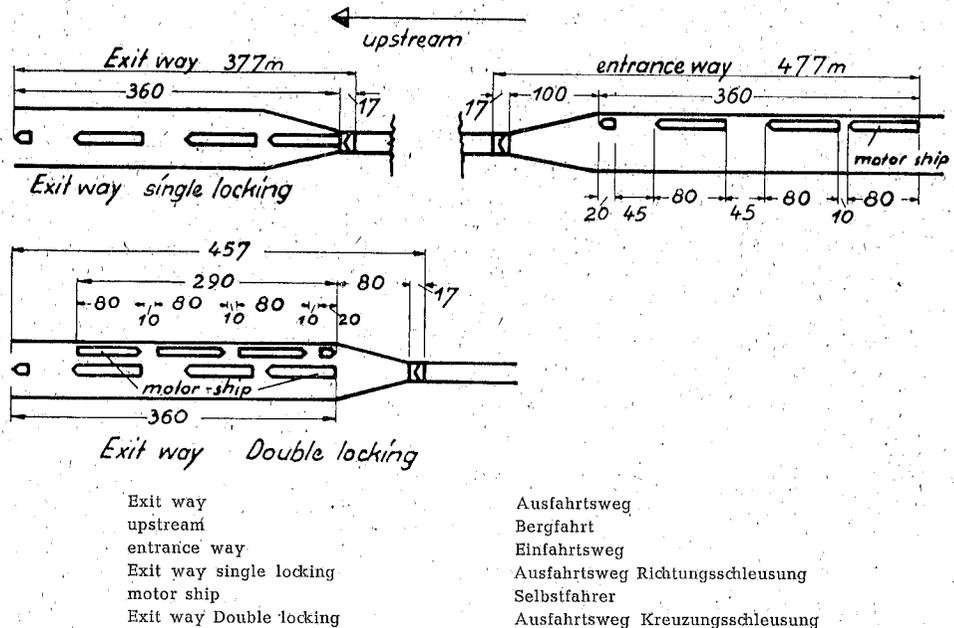


Abb. 1. Verholwege an der Schleuse Steinbach.

bringen keine wesentlichen Weglängenunterschiede, ebensowenig die Annahme anderer Schiffsgrößen; eine volle Schleusenbelegung — und damit muß an der Grenze der Leistungsfähigkeit stets gerechnet werden — ergibt mehr oder weniger auf die gleiche Länge auseinandergezogene Schiffsreihen.

Nachstehende Tafel enthält die Weglängen und die zugehörigen Fahrzeiten sowie die Tor-, Füll- und Leerzeiten.

| Schleuse Steinbach | Kreuzungs- schleusung | | Berg- schleusung | | Tal- schleusung | |
|-------------------------------|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|--------------------|-----------|
| | Weg m | Zeit s | Weg m | Zeit s | Weg m | Zeit s |
| Einfahrt unten | 477 | 1022 | 477 | 1022 | — | — |
| Ausfahrt oben | 457 | 635 | 377 | 572 | — | — |
| Einfahrt oben | 387 | 900 | — | — | 387 | 900 |
| Ausfahrt unten | 407 | 599 | — | — | 307 | 521 |
| Verholzeit in s | | 3156 | | 1594 | | 1421 |
| Verholzeit in min. | | 53 | | 27 | | 24 |
| Tor-, Füll-, Leerzeit in min. | | 36 | | 36 | | 31 |
| Schleusungszeit in min | | 89 | | 63 | | 55 |

$p_B = 77\%$, $p = 17\%$. Diese Werte sind der Verkehrsstatistik als Verhältnis der Ladungstonnen zu Tragfähigkeitstonnen (Auslastung) entnommen. Damit ist, im Gegensatz zu Mistol, auch der Einfluß der Teilabladung erfaßt, wie sie praktisch im Verkehr vorkommt. Sie darf von den später gesondert zu erfassenden Flußwasserständen nicht beeinflußt sein. Es wurde daher das Jahr 1951 gewählt, in dem ständig die volle Abladung auf die Wassertiefe des Mains möglich war. Die Werte stammen von der Main-Eingangsschleuse Kostheim mit einem Jahresverkehr von 7 Mio t und dürften der höchsten erreichbaren Auslastung an der Schleuse Steinbach entsprechen.

Mit vorstehenden Zahlenwerten folgt

$$J_{\max} = \frac{326 \cdot 13,2 \cdot 60 \cdot 3 \cdot 1200}{0,5 \cdot 89} \cdot \frac{77 + 17}{200} = 9\,830\,000 \text{ t}$$

Dieser theoretische Wert wird praktisch in keinem Falle erreicht werden.

c) Die einzelnen Wirkungsgrade.

1. Wirkungsgrad infolge von Schwankungen der am Verkehr beteiligten Schiffsgrößen, W_1 .

Die 300 m langen, 12 m breiten Mainschleusen sind für 3 Schiffe zu 1200 t Ladefähigkeit gebaut. Es liegt auf der Hand, daß die tatsächliche Belegung der Schleuse mit den zur Zeit gebräuchlichen und selbst mit den später zu erwartenden Schiffsgrößen die Leistungsfähigkeit der Schleuse erheblich heruntersetzt*). Welche Wirkungen die Schwankungen der Schiffsgrößen überhaupt haben können, soll zunächst an dem extremen Fall gezeigt werden, daß der Anteil am Schiffsverkehr von 100% 80 m-Schiffe und 0% 50 m-Schiffe (sogenanntes Mainschiff) bis zu 0% 80 m-Schiffe und 100% 50 m-Schiffe schwankt.

Zur Schleusenbelegung mit 100% einer Schiffsgröße ist zu bemerken, daß die Belegung mit dem 40 m-Schiff oder mit kleineren Schiffen nicht die untere Grenze darstellt, und zwar deshalb, weil diese Schiffe nebeneinander in der 12 m breiten Kammer liegen können, was bei größeren Schiffen nicht der Fall ist.

Weiterhin wurde die Frage untersucht, ob die Leistungsfähigkeit bei wechselnden Schiffsgrößen allein von der Kammerbelegung oder auch von den mit den Schiffsgrößen wechselnden Ein- und Ausfahrtgeschwindigkeiten abhängt. Im Grenzfall, d. h. bei 100% 50 m-Schiffen, tritt allerdings eine Verringerung der Schleusungszeit einer Kreuzungsschleuse von 89' auf 80' ein, was einer Leistungssteigerung von 10% entspricht. Bei allen Zusammensetzungen von Schiffsgrößen behindern jedoch die größeren, langsamer ein- und ausfahrenden Schiffe die kleineren, so daß es nicht angezeigt ist, die Leistungsfähigkeit höher anzusetzen, als den 80 m-Schiffen entspricht.

*) Folgende Schiffstypen wurden den Berechnungen zugrunde gelegt:

| Schiffs-Typ | Länge m | Ladefähigkeit bei 2,30 m Abladung | Anzahl je Schleusung | %-Anteil am Gesamt- verkehr 1951 |
|-------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| Rhein-Herne-Kanal-Schiff..... | 80 | 1200 | 3 | 11 |
| Dortmund-Ems-Kanal-Schiff.... | 67 | 950 | 3 | 15 |
| 60 m-Schiff | 60 | 650 | 4 | 21 |
| Main-Schiff | 50 | 400 | 5 | 33 |
| Klein-Schiffe | 40 und kürzer | 200 darunter | 14 und mehr | 20 |

Die mittlere Tonnenzahl je Schleusung wurde ausgerechnet für verschiedene Anteile der Schiffgrößen am Gesamtverkehr. Sie wurde sodann in Abb. 2 als Verhältniszahl zur maximalen Schleusenbelegung von 3600 t dargestellt. Wie man sieht, kann der Leistungsabfall durch die Verwendung von Schiffgrößen, für die die Schleuse nicht gebaut ist, erhebliche Werte annehmen. Schon bei je halber anzahlmäßiger Beteiligung der beiden Schiffgrößen am Verkehr fällt die Leistung auf rd. $\frac{3}{4}$ der maximalen ab. Nachdem die Wasserstraße einmal für eine bestimmte Schiffgröße ausgebaut ist, ist deren weitgehende Verwendung für die wirtschaftliche Ausnützung von größter Bedeutung. Die Darstellung zeigt, welche Auswirkungen eine Einflußnahme auf den Schiffbau hat.

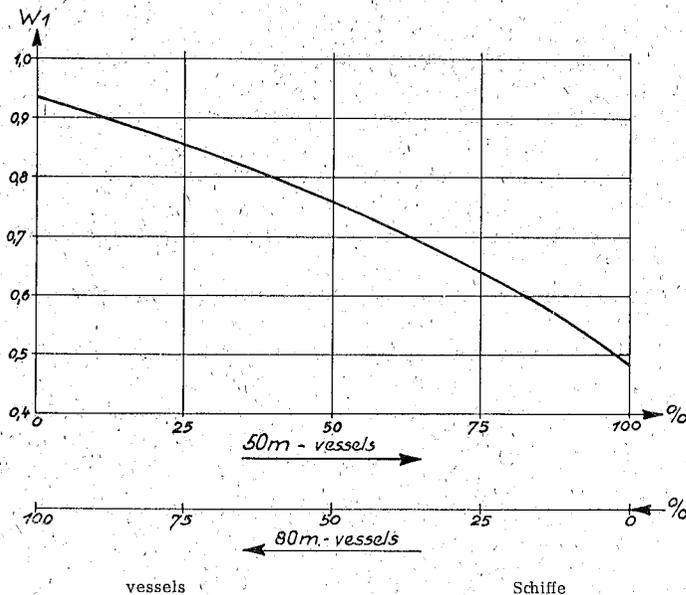


Abb. 2. Wirkungsgrad W_1 bei schwankendem Anteil von 80 m- und 50 m-Schiffen.

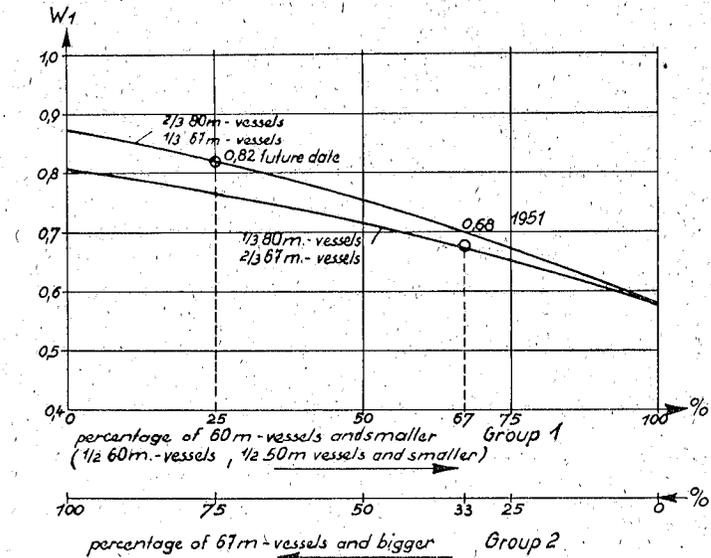
Es kommt jedoch darauf an, ein Bild über den Leistungsabfall zu gewinnen, wie er bei der schwankenden Zusammensetzung mehrerer Schiffgrößen zu erwarten ist.

Bei der Zusammensetzung werden einmal zu einer Gruppe 1 diejenigen Schiffgrößen zusammenzufassen sein, die nach Seiler*) auf den Wasserstraßen Klasse S, I, II (Hauptwasserstraßen) verkehren können, d. h. die 80 m- und 67 m-Schiffe. Es wird in Gruppe I für später mit $\frac{2}{3}$ 80 m-Schiffen gerechnet, während es zur Zeit rund $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ sind.

Die 2. Gruppe bilden die Schiffe, die auf den »Nebenwasserstraßen« verkehren können, die 60 m- und 50 m-Schiffe. Die 50 m-Schiffe machen in ihr zur Zeit rd. $\frac{3}{5}$ aus. In dieser Untersuchung wird mit einem feststehenden Anteil von $\frac{1}{2}$ gerechnet, eine Abweichung davon hat nur geringen Einfluß. Die 40 m-Schiffe und die Kleinschiffe können unberücksichtigt bleiben.

*) Seiler: »Klasseneinteilung der Wasserstraßen im Hinblick auf den Verkehr von einheitlichen Schiffgrößen« in »Studien zu Bau- und Verkehrsproblemen der Wasserstraßen«, 1949.

Die Schwankung der tatsächlich vorkommenden Schiffsgrößen und der daraus sich ergebende Wirkungsgrad W_1 kann nunmehr in einfacher Form dargestellt werden, indem diesmal statt der Schiffsgrößen die Gruppen die Anteile von 0% bis 100% durchlaufen (Abb. 3).



| | |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| vessels | Schiffe |
| future data | künftiger Stand |
| percentage of 60 m-vessels and smaller | Anteil der 60 m-Schiffe und kleiner |
| Group | Gruppe |
| (1/2 60 m-vessels, 1/2 50 m-vessels and smaller) | (1/2 60 m-Schiffe, 1/2 50 m-Schiffe und darunter) |
| percentage of 67 m-vessels and bigger | Anteil der 67 m-Schiffe und größer |

Abb. 3. Wirkungsgrad W_1 bei schwankendem Anteil von Schiffen über 67 m und unter 60 m Länge.

Damit sind die Grenzen festgelegt, innerhalb deren die Schiffsgrößen die Leistungsfähigkeit der Mainschleusen beeinflussen können. Zum Zeitpunkt des Erreichens der Grenzleistungsfähigkeit wird ein Zurückgehen der kleinen Schiffsgrößen auf 25% angenommen. W_1 beträgt dann 0,82.

2. Wirkungsgrad infolge von Schwankungen der Schiffsankünfte zu Berg und zu Tal (Ungleichzeitigkeit t), W_2 .

Die Tatsache, daß die Schiffe in den beiden Richtungen an der Schleuse nicht gleichzeitig ankommen, daß also nicht nur Kreuzungsschleusungen, sondern auch reine Berg- oder Talschleusungen vorkommen, setzt die Leistungsfähigkeit der Schleuse weiter herab. Dies kommt in dem die Schleusungszeit bezeichnenden Nenner der eingangs gebrachten Formel zum Ausdruck:

$$J = \frac{C}{(m-n) S_R + n S_K}$$

Darin ist die Schleusungszeit zusammengesetzt aus einem Anteil Richtungsschleusungszeit und einem Anteil Kreuzungsschleusungszeit. Die Anteile richten

sich nach dem Grade der Ungleichzeitigkeit; bei $m = 0,5$, $n = 0,5$ ($m + n = 1$) ist der Nenner am kleinsten, es gibt dann nur Kreuzungsschleusungen, bei $m = 1$, $n = 0$ ist er am größten, es gibt dann nur Berg- oder Talschleusungen.

Die Ermittlungen wurden über den ganzen Bereich von m (von 0,5 bis 1,0) geführt, um wieder die möglichen Schwankungen des Wirkungsgrades W_2 aufzuzeigen. Der Wirkungsgrad W_2 ist aber auch abhängig vom Verhältnis $S_K : S_R$. Mit verschiedenen praktisch vorkommenden Verhältnissen läßt sich zunächst eine Kurvenschar der Werte auftragen, um die sich der Ausdruck

$$J = \frac{C}{(m-n) S_R + n S_K}$$

verringert (Abb. 4). Diese sind die Wirkungsgrade W_2 , die damit deutlich gemacht werden.

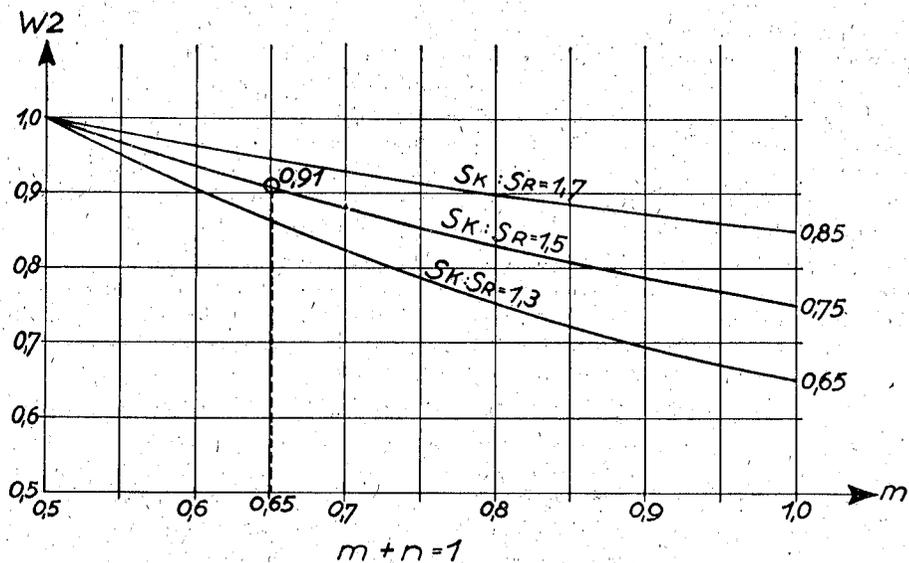


Abb. 4. Abnahme des Wirkungsgrades W_2 bei zunehmender Ungleichzeitigkeit der Schiffankünfte zu Berg und zu Tal:

Aus der Tabelle auf Seite 9 ergibt sich ein Mittelwert von S_R von 59 min, also ein Verhältnis von $S_K : S_R = 1,5$. Schleusen mit längeren Einfahrtswegen und sehr kurzen Füll- und Leerzeiten, z. B. die Schleuse Würzburg mit $S_K : S_R = 1,7$, sind weniger empfindlich gegen Ungleichzeitigkeit des Berg- und Talverkehrs. Man erkennt leicht, daß dann, wenn die Wege und damit die Verholzeiten anwachsen und der Einfluß der Füll- und Leerzeit zurücktritt, die Zeit der Kreuzungsschleusung sich dem Doppelten der Richtungsschleusung nähert, womit im Grenzfall die Kreuzungsschleusung dann auch keinen Gewinn mehr gegenüber zwei Richtungsschleusungen bringt. Umgekehrt sind Schleusen mit kurzen Einfahrtswegen und -zeiten, z. B. die 110 m langen Neckarschleusen mit $S_K : S_R = 1,4$, empfindlicher (s. Abb. 4).

Für die Schleuse Steinbach ist noch der Grad der Ungleichzeitigkeit festzustellen. Dafür ist der Kahnraum maßgebend, da der Kahnraum die Kammer belegt, nicht die Ladungstonnen, und die tägliche Unausgeglichenheit muß festgestellt werden, da sie die Richtungsschleusungen verursacht, während über längere Zeiträume — schon einen Monat — die Kahnraumbewegung erfahrungsgemäß ausgeglichen ist, ohne daß dadurch Richtungsschleusungen vermieden werden. Die Feststellungen wurden an einer Stelle des Mains gemacht, an der bereits ein Verkehr von der Größenordnung der zu erreichenden Grenzleistungsfähigkeit der Schleuse Steinbach herrscht, nämlich nahe der Mainmündung (Schleuse Eddersheim). Auf diese Weise wurde der mit zunehmendem Verkehr zunehmende Ausgleich erfaßt. Es ergab sich im Mittel je eines Winter- und eines Sommermonats $m = 0,35$ ($n = 0,65$). Extremwerte von $m = 0,3$ bis $0,2$ kamen bei einzelnen Tagen vor, ebenso voller Ausgleich ($m = 0,5$). Aus Abb. 4 wurde damit $W_2 = 0,91$ ermittelt.

3. Wirkungsgrad infolge von Schwankungen der Abladung, verursacht durch wechselnde Flußwasserstände, W_3 .

Die Wasserstände des Mains sind infolge der Kanalisierung nicht mehr maßgebend für die Abladung. Diese liegt mit 2,30 m auf dem Main unveränderlich fest. Dagegen beeinflussen die Wasserstände des Rheins die Abladung auf dem Main, und zwar, da der Rhein-Main-Wechselverkehr 95% des gesamten Mainverkehrs ausmacht, praktisch den gesamten Mainverkehr und damit die Leistungsfähigkeit der maßgebenden Schleuse. Es kann auf dem Rhein Kauber Pegel +60 abgeladen werden, von 170 Kauber Pegel ab wird also die Tragfähigkeit der Schiffe auf dem Main nicht mehr vermindert.

Die Verminderung der Tragfähigkeit bei verschiedenen Kauber Pegelständen muß für eine bestimmte Zusammensetzung der am Verkehr beteiligten Schiffe berechnet werden. Es wurde die gleiche wie für W_1 gewählt. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite. Die Tragfähigkeit der entsprechenden »Durchschnittsschiffe« beträgt bei 2,30 m Abladung (170 Kauber Pegel) 970 t, ihre Verringerung bei niedrigen Pegelständen ist »die Ablademinderung« A ($A \leq 1$).

Es ist nunmehr ein Jahresverlauf des Kauber Pegels zu wählen, für den die volle Bewältigung des Verkehrs gewahrt bleiben soll. Diese Wahl kann Gegenstand eingehender Untersuchungen sein. Für den vorliegenden Zweck wurde das Jahr 1947 mit seinen sehr niedrigen Wasserständen gewählt. Die entsprechenden Ablademinderungen A sind zusammen mit den Monatsmitteln 1947 des Kauber Pegels in Abb. 5 aufgetragen. Bei ständig unverändertem Verkehrsaufkommen wäre A zugleich der Wirkungsgrad W_3 .

(Im unteren Diagramm der Abb. 5 ist die gestrichelte Linie ausgezogen zu denken; die ausgezogene Linie zwischen den Endpunkten der gestrichelten und der Vermerk »Tiefstpunkt nicht berücksichtigt« fallen fort.)

A trifft nun aber in jedem einzelnen Monat auf ein von Monat zu Monat wechselndes Verkehrsaufkommen. Dieses wird zwar erst gesucht, doch kann, da es nur auf das Verhältnis der Monatswerte zueinander ankommt, die Annahme gemacht werden, daß es in seinem Verlauf etwa Schwankungen aufweist wie im bisher verkehrsreichsten Jahr 1951. Der Verkehr dieses Jahres war von Rheinwasserständen praktisch unbeeinflusst, und die Schifffahrt war nur an 10 Tagen unterbrochen. Es wird daher der Verkehr 1951 der Main-Eingangsschleuse Kostheim zugrunde gelegt. Die Höhe des Jahres 1951 wird der Verkehr in einem Jahre niedrigster Rheinwasserstände allerdings nicht erreichen. Zwar wird die Schifffahrt versuchen, zum Ausgleich der geringeren Abladung mehr Schiffe einzusetzen,

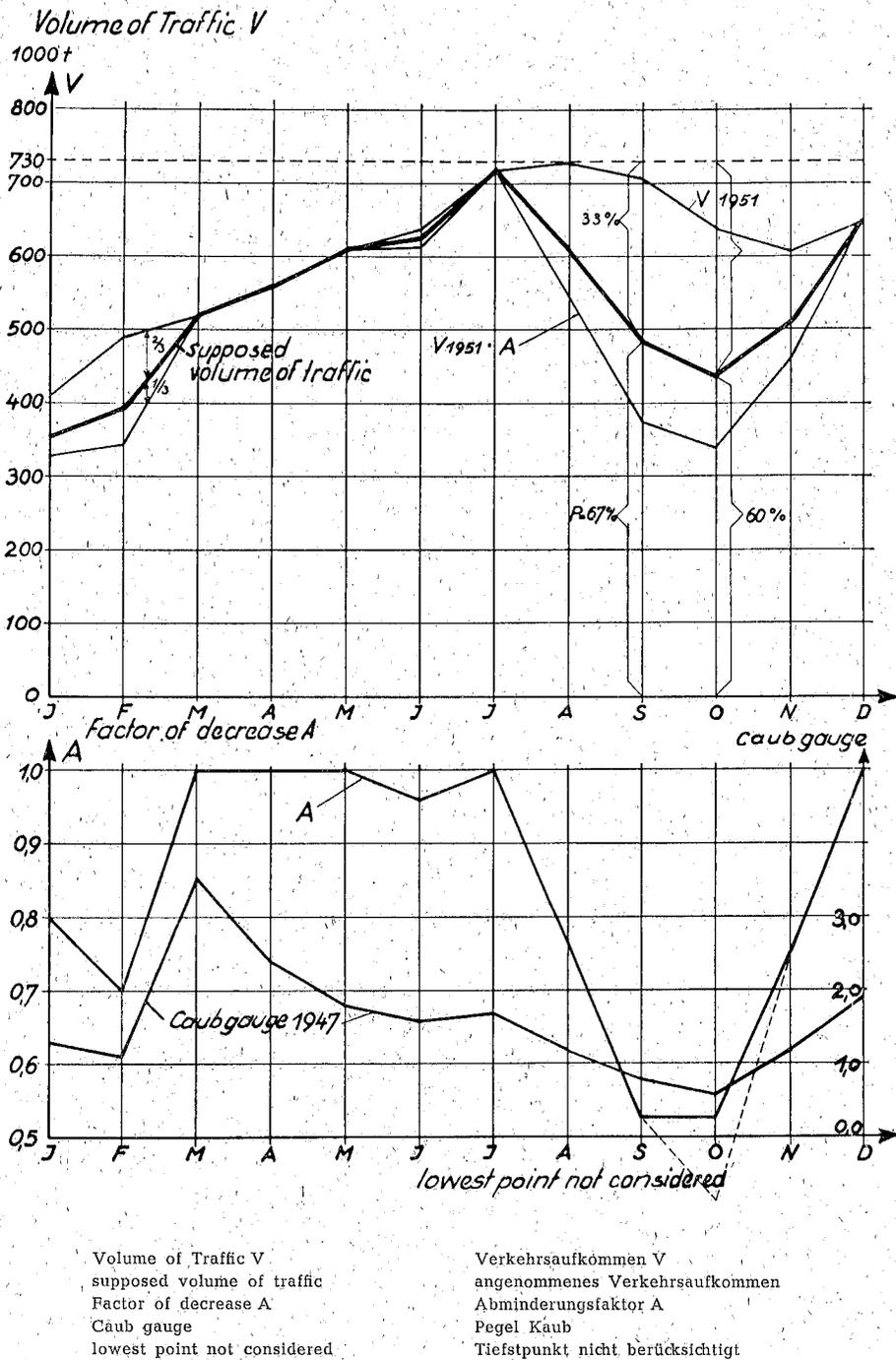


Abb. 5. Ermittlung des Wirkungsgrades W_3 infolge von Flußwasserständen.

doch wird der Gesamtverkehr, allein schon wegen der höheren Frachten (Kleinwasserzuschläge) zurückgehen. Der tatsächliche Verkehr wird also irgendwo zwischen dem ungehinderten und dem voll durch die Pegelstände abgeminderten Wert liegen; diese Untersuchung rechnet mit einem Verkehrsverlauf, der am unteren Drittel zwischen den angegebenen Grenzen liegt; alle drei Kurven sind in Abb. 5 eingetragen. Der so angenommene Verkehr macht in jedem Monat nur $P\%$ des größten Normalverkehrs*) aus; es ist also $W_3 = \frac{A \cdot 100}{P}$.

Die vorstehende Berechnung muß noch erweitert werden, damit die Tatsache berücksichtigt wird, daß eine gewisse Ablademinderung — aus rein wirtschaftlichen Gründen — selbst dann vorhanden ist, wenn die Flußwasserstände volle Abladung zulassen. Ein Wirkungsgrad W_3 tritt also erst dann auf, wenn die Flußwasserstände so gering sind, daß sie zusätzlich eine noch geringere Abladung hervorrufen. Die von Flußwasserständen unbeeinflusste Ablademinderung ist in der Formel für J_{\max} durch p_B und p_T angegeben und beträgt nach Seite 140 im Bergverkehr 0,77, im Talverkehr 0,17. Da Berg- und Talverkehr verschiedene Abladungen aufweisen, muß sich W_3 aus einem W_{3B} Bergfahrt (W_{3B}) und einem W_{3T} Talfahrt (W_{3T}) zusammensetzen. W_{3B} und W_{3T} haben nur auf den entsprechenden Anteil des Verkehrs Einfluß. Das gesuchte W_3 darf jedoch, damit es in gleicher Weise wie die anderen Wirkungsgrade verwendet werden kann, nur auf J_{\max} bezogen sein. Aus der Gleichsetzung des mit J_{\max} gebildeten Wertes mit dem durch W_{3B} und W_{3T} errechneten Wert ergibt sich:

$$J_{\max} \cdot W_3 = \frac{J_{\max} \cdot 200}{p_B + p_T} \cdot \frac{1}{200} (p_B \cdot W_{3B} + p_T \cdot W_{3T})$$

$$W_3 = \frac{p_B \cdot W_{3B} + p_T \cdot W_{3T}}{p_B + p_T}$$

Somit ist W_3 durch die Wirkungsgrade W_{3B} und W_{3T} ausgedrückt, von denen jeder für die Auslastung in einer Fahrtrichtung zu ermitteln ist. Die Ermittlung ergibt $W_{3T} = 1$, da 17% Auslastung einem so niedrigen Kauber Pegel entspricht, wie er nicht vorkommt. W_{3B} dagegen ist gemäß dem Ausdruck $W_3 = \frac{A \cdot 100}{P}$ zu berechnen, wobei nur die unter Kauber Pegel = 123 cm (entspricht einer Auslastung von 0,77) liegenden Wasserstände eine Ablademinderung verursachen. Die Ablademinderung von 0,77 wird daher zu $A_{77} = 1,0$; die übrigen A verändern sich entsprechend. Beim Tiefstpunkt mit Kauber Pegel = 80 cm, $A = 0,53$, $A_{77} = 0,69$, $P = 60\%$ ergibt sich $W_{3B} = 0,88$. In den übrigen Monaten ist $W_{3B} = 1$.

Daraus folgt:

$$W_3 = 0,82 \cdot W_{3B} + 0,182 = 0,90.$$

Für die durchschnittliche jährliche Leistung der Schleuse ist nun durchaus nicht Wirkungsgrad W_3 anzuwenden, dazu müßte W_3 über eine Reihe von Jahren gemittelt werden. Dagegen ist für die Frage, bei welchem Jahresverkehr die Schleuse — falls sie ihm auch für den Fall niedrigster Rheinwasserstände gewachsen sein soll — die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit erreicht, der gewonnene Wirkungsgrad W_3 , die Sicherheit gegen Niedrigwasser, voll in Rechnung zu setzen. Dieses sowie die Tatsache, daß ein sehr weitgehendes Erfordernis der Schifffahrt erfüllt worden ist, erklärt, warum W_3 so niedrig liegt. Die Unter-

*) Es kommt auch in Betracht, $P\%$ auf die größte Stundenbelastung (Dezember) zu beziehen. Dabei wurde $W_3 \cdot W_4$ um etwa 7% größer ermittelt, aber wegen der Unsicherheit der Wintermonate nicht verwendet.

suchung bietet auch die Möglichkeit zu erkennen, inwieweit mit steigenden Schiffsgrößen — hinsichtlich W_1 ein Vorteil — die Schleusen gegen niedrige Rheinwasserstände anfälliger werden.

4. Wirkungsgrad infolge jahreszeitlicher Schwankungen des Verkehrsaufkommens, W_4 .

Es ist die Forderung zu erfüllen, daß die Schleuse das Verkehrsaufkommen auch des verkehrsreichsten Monats bewältigt. Das Verkehrsaufkommen muß als eine gegebene Tatsache angesehen werden, nach der sich die baulichen Anlagen der Wasserstraße zu richten haben. Die Schleuse muß also für den maximalen Monatsverkehr bemessen werden, damit sie im Jahr den durchschnittlichen Monatsverkehr leistet, d. h. der Wirkungsgrad ist $\frac{V_{\text{mittel}}}{V_{\text{max}}}$.

Welche jahreszeitlichen Schwankungen als maßgebend anzusehen sind, muß Gegenstand einer besonderen volkswirtschaftlichen Untersuchung sein. Für die vorliegende Arbeit gilt jedoch das im vorhergehenden Abschnitt Gesagte, d. h. der Verkehrsverlauf an der Main-Eingangsschleuse Kostheim des Jahres 1951 wird zugrunde gelegt.

Vorteilhafterweise läuft diesem Verkehrsverlauf die tägliche Betriebsdauer annähernd parallel, in den Monaten überdurchschnittlichen Verkehrs stehen auch überdurchschnittliche Betriebsstunden zur Verfügung, um dieses Mehr kann W_4 vergrößert werden. So ergibt es sich, daß, auf Stundenbelastung umgerechnet, nicht der August, sondern der Dezember der ungünstigste Monat ist (s. folg. Tabelle).

Maßgebend ist aber derjenige Monat, in dem das Produkt $W_3 \cdot W_4$ sein Minimum hat. Das ist im Oktober der Fall, wie aus nachstehender Tabelle hervorgeht. Das Minimum im Dezember wird wegen des aus dem Rahmen fallenden Wertes und wegen der Unsicherheit durch die Winterwitterung als nicht maßgebend angesehen.

| | W_3 | W_4 | $W_3 \cdot W_4$ |
|-----------------|-------|-------|-----------------|
| Juli | 1,00 | 0,99 | 0,99 |
| August | 1,00 | 0,98 | 0,98 |
| September | 1,00 | 0,94 | 0,94 |
| Oktober | 0,90 | 0,93 | 0,84 |
| November | 1,00 | 0,85 | 0,85 |
| Dezember | 1,00 | 0,80 | 0,80 |

(W_4 im 1. Halbjahr = 1).

Somit ist $W_4 = 0,93$.

5. Wirkungsgrad infolge monatszeitlicher Schwankungen des Verkehrsaufkommens, W_5 .

Innerhalb der Monate sind überraschend starke Schwankungen feststellbar. Auch sie sind im wesentlichen vom Verkehrsaufkommen abhängig, zu einem gewissen Grade von den Gewohnheiten der Schifffahrt, sollen aber hier jedenfalls als unveränderliche Gegebenheiten angesehen werden. Der zugehörige Wirkungsgrad W_5 , anwendbar auf die Gesamtleistungsfähigkeit der Schleuse, wäre ebenso wie W_4 in einer besonderen verkehrswirtschaftlichen Untersuchung zu ermitteln. Für die vorliegende Arbeit wurde ein brauchbarer Wert ebenfalls den Aufzeichnungen am Untermain entnommen, wo bereits Verkehrsverhältnisse ähnlich

den zu untersuchenden künftigen an der Schleuse Steinbach herrschen. Ein Verhältnis von Durchschnittsverkehr zu Spitzenverkehr von 0,65 wurde gefunden, dabei trat der Spitzenverkehr in mehreren Fällen an 3 Tagen hintereinander auf, ein Ausgleich mit Tagen geringen Verkehrs ist also nicht möglich. Dagegen kann durchaus angenommen werden, daß an solchen Tagen um 2 Stunden länger geschleust wird und daß derartige Spitzen wie 0,65 mit optimalen Schiffsgrößen erzielt werden. Der Faktor 0,65 ist also für die Betriebszeitverlängerung mit $\frac{16,5 \text{ Stunden}}{14,5 \text{ Stunden}} = 1,14$ und für die Schiffsgrößenverbesserung mit $\frac{1}{0,82} = 1,22$ zu multiplizieren. Somit wird $W_5 = 0,65 \cdot 1,14 \cdot 1,20 = 0,90$. Dieser Wirkungsgrad W_5 ist als eine Mindestforderung der Schifffahrt zu betrachten; bedeutet er doch, daß 3 Tage lang, trotz 2 Stunden längerer Schleusenbetriebszeit, Schiffsansammlungen nicht weggeschleust werden können, wenn sie sich aus anderen als den größten Schiffstypen zusammensetzen.

Ein Wirkungsgrad infolge tageszeitlicher Verkehrsschwankungen wird nicht eingeführt. Es wäre unwirtschaftlich, wegen solcher Schwankungen bauliche Aufwendungen zu machen. Wartezeiten der Schiffe von einigen Stunden an Tagen mit Verkehrsballungen sind zumutbar, auch kann eine gewisse Anpassung der Schifffahrt erwartet werden.

d) Zusammensetzung der Wirkungsgrade, Grenzleistungsfähigkeit.

Es sind nunmehr alle Verkehrsschwankungen untersucht, ihre Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Schleuse dargestellt und die für das praktische Beispiel zutreffenden Zahlenwerte ausgerechnet. Die 5 Wirkungsgrade müssen gleichzeitig in die Rechnung eingehen, wenn alle billigen Forderungen der Schifffahrt erfüllt werden sollen, da alle Einschränkungen der Leistungsfähigkeit gleichzeitig und längere Zeit anhaltend vorkommen. Die zur Errechnung der Grenzleistungsfähigkeit der Schleuse Steinbach einzusetzenden 5 Wirkungsgrade sind:

| | |
|--------------------------------------------------|------|
| W_1 (Schiffsgrößen) | 0,82 |
| W_2 (Schiffsankünfte zu Berg und zu Tal) | 0,91 |
| W_3 (Flußwasserstände) | 0,90 |
| W_4 (Verkehrsaufkommen jahreszeitlich) | 0,93 |
| W_5 (Verkehrsaufkommen monatszeitlich) | 0,90 |

Der Gesamtwirkungsgrad ist

$$W = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot W_4 \cdot W_5 = 0,56.$$

Mit ihm ist die maximale Jahresleistungsfähigkeit $J_{\max} = 9\,830\,000 \text{ t}$ zu multiplizieren. Es ist

$$\begin{aligned} J_{\text{Grenz}} &= J_{\max} \cdot W \\ &= 9\,830\,000 \cdot 0,56 \\ &= 5\,500\,000 \text{ t}^* \end{aligned}$$

Wie der Gang der Rechnung zeigt, gilt dieser Wert bei Erfüllung sehr weitgehender Forderungen der Schifffahrt an die ständige Aufnahmefähigkeit der Schleuse; bei gewissen Einschränkungen der Forderungen ließe er sich erhöhen.

*) Bei einem zu erwartenden Jahresverkehr von 5 500 000 t muß also erstmalig am Main oberhalb von Frankfurt eine zweite Schleuse gebaut werden, und zwar bei der Schleuse Steinbach (oder Rothenfels). Demgegenüber betrug der Verkehr durch die Schleuse Steinbach im Jahre 1951 erst 2 100 000 t.

Die erläuterte Rechnungsmethode, mit Ausnahme von W_3 , konnte an der Schleuse Schwabenheim (Länge 110 m, Breite 12 m, Tiefe 3 m, Hubhöhe 8,70 m) des kanalisierten Neckars überprüft werden, da dort 1951 gerade die Grenzleistungsfähigkeit mit 3 625 000 t Jahresverkehr erreicht worden ist. Der gleiche Wert ergab sich bei der Berechnung nach der gezeigten Methode, die damit ihre Bestätigung gefunden hat, ebenso wie durch die in Teil III gebrachten Überprüfungen die Grundlagen von Mistol bestätigt worden sind.

e) Folgerungen.

Die gezeigte Berechnungsart ergibt Verkehrswerte, die einen unmittelbaren Vergleich mit den in Wirtschaftsuntersuchungen gebräuchlichen Werten des Jahresverkehrs erlauben. Dabei braucht ihre Genauigkeit einen bestimmten Grad nicht zu überschreiten, weil die zu machenden Annahmen notwendig mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind. Annahmen sind aber bei einer Vorabrechnung nicht zu vermeiden. Sie haben sich darauf zu erstrecken, was für Wartezeiten der Schifffahrt zuzumuten sind, welche Niedrigwasserstände als maßgebend anzusehen sind und wie sich das Verkehrsaufkommen über das Jahr und den Monat verteilt. Zum zahlenmäßigen Ergebnis des Beispiels ist zu bemerken, daß im Vergleich mit anderen Schleusen noch Reserven hinsichtlich der Schleusenbetriebszeit vorhanden sind, daß für niedrige Rheinwasserstände eine Sicherheit eingerechnet ist und daß im Mainverkehr sowohl starke Verkehrsspitzen als auch geringe Talfracht die Leistungsfähigkeit herabsetzen.

Von den Wirkungsgraden ist nur W_1 (Schiffsgrößen) einer gewissen Beeinflussung zugänglich, dagegen sind die anderen Wirkungsgrade praktisch nicht zu beeinflussen, insbesondere sind die jahreszeitlichen Schwankungen des Verkehrsaufkommens (W_4) von der verladenden Wirtschaft veranlaßt und die Schwankungen der Abladung durch wechselnde Flußwasserstände (W_3) den Naturvorgängen unterworfen. Demnach ließe sich die Leistungsfähigkeit bestehender Schleusen vor allem noch dann steigern, wenn es gelänge, die Schifffahrt zur Bevorzugung bestimmter Schiffstypen beim Neubau zu veranlassen.

Der Gang der Berechnung zeigt noch, daß die Leistungsfähigkeit von Schleusen keineswegs proportional mit der Länge steigt und daß bei Schleppzugschleusen weder das Mittelhaupt noch der Selbstfahrer zur Steigerung der Leistungsfähigkeit beiträgt; beides beschleunigt die Schleusungen nur, solange die Schleuse noch weit von der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit entfernt ist.

III. Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Schleusen mittels der Verkehrsstatistik der westdeutschen Wasserstraßen.

Die vorangehenden Untersuchungen zur Bestimmung der Grenzbelastung einer Schleuse gehen von der theoretisch maximalen Leistungsfähigkeit aus, sie ergeben unter Einschaltung von Wirkungsgraden die Grenzleistungsfähigkeit für einen zukünftig zu erwartenden Verkehr.

In Absatz III soll nunmehr auf Grund der sehr sorgfältig geführten aufschlußreichen Unterlagen zur Verkehrsstatistik der westdeutschen Wasserstraßen nach den »Grundlagen« von Dr. Mistol die Leistungsfähigkeit einer Regelschleuse des Dortmund-Ems-Kanals (Meppen), des Rhein-Herne-Kanals (Schleuse II), des Wesel-Datteln-Kanals (Hünxe) und des Küstenkanals (Dörpen) für den vorhandenen Verkehr festgestellt und hieraus eine Ableitung der Grenzbelastung dieser Schleusen gegeben werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bieten einen

guten Vergleich der 4 Schleusen mit all ihren Eigenarten, wie sie sich aus den Abmessungen und den technischen Einrichtungen ergeben. Sie bilden daher die Grundlage für die in Abs. IV durchgeführten Untersuchungen.

Maßgebenden Einfluß auf die Leistungsfähigkeit der Schleusen hat der Verkehr mit all den verschiedenartigen Schwankungen. Diese ergeben sich

1. aus der Art und Größe der am Verkehr beteiligten Schiffe (Mischungsverhältnis der Fahrzeuge) unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Schleusungszeiten,
2. infolge des verschiedenen Berg- und Talverkehrs (Ungleichförmigkeit),
3. infolge von Wartezeiten für den Schleusenbetrieb,
4. infolge nicht ausgenutzter Ladefähigkeit,
5. infolge nicht ausgenutzter Schleusenammer.

Durch Auswertung der Unterlagen zur Verkehrsstatistik ist die Möglichkeit gegeben, die Richtigkeit der von Mistol zu Ziff. 1 und 2 abgeleiteten »Grundlagen« zu überprüfen und gleichzeitig festzustellen, ob der von ihm mit 0,7 zu Ziff. 3 bis 5 angenommene Wirkungsgrad berechtigt ist bzw. wie diese Einflüsse exakter zu erfassen sind.

Den Untersuchungen wird durchweg ein volles Betriebsjahr zugrunde gelegt. Damit können gute Mittelwerte erzielt und kleinere Schwankungen ausgeglichen werden. Die Auswertung der Statistik für die westdeutschen Wasserstraßen für einen Zeitraum von mehreren Jahren ergab, daß jahreszeitliche Schwankungen z. B. im Tonnageaufkommen sich regelmäßig jährlich wiederholten und daher zu keinen wesentlichen Abweichungen gegenüber dem gebildeten Mittel führen.

1. Verkehrsschwankungen infolge Art und Größe der am Verkehr beteiligten Schiffe.

Den größten Einfluß auf die Leistungsfähigkeit der Schleusen hat die Vielfalt der am Verkehr eines Kanal- oder Flußgebietes beteiligten Fahrzeuge. Auch in den Fällen, wo eine Wasserstraße für eine bestimmte Schiffsgröße ausgebaut und an ein vorhandenes Wasserstraßennetz angeschlossen wird, ist damit zu rechnen, daß diese Wasserstraße nach der Eröffnung von allen Arten und Größen des auf anderen Wasserstraßen verkehrenden Schiffsparkes benutzt wird, sofern diese nicht wegen ihrer Größe oder aus Gründen der Verkehrssicherheit ausgeschlossen bleiben müssen.

Die Zusammensetzung des Schiffsparkes im Bereich der westdeutschen Wasserstraßen zu den verschiedensten Zeiten der letzten 30 Jahre läßt klar die Tendenz erkennen, möglichst große Fahrzeuge, und zwar in erster Linie Regelfahrzeuge, einzusetzen, um die Frachtleistung so wirtschaftlich wie nur möglich durchzuführen, dann aber auch das Bestreben, die Fahrten so schnell wie nur möglich durchzuführen. Während beim Dortmund-Ems-Kanal im Jahre 1912 noch über 66 % der Fahrzeuge eine Tragfähigkeit unter 100 t hatten und 19 % eine solche zwischen 500 und 1000 t, war dieses Verhältnis bereits 1920 völlig umgekehrt, da zu diesem Zeitpunkt nur noch rd. 4 % Fahrzeuge bis 100 t, dagegen rd. 70 % Fahrzeuge über 500 t gezählt wurden. Dieses Verhältnis änderte sich mit der Motorisierung des Schiffsverkehrs, da hier zunächst die kleineren Fahrzeugtypen motorisiert wurden. Besonders kraß war dieser Wandel in der Zeit nach dem Kriege (1947), die rd. 12 % Küstenmotorschiffe bis zu 100 Ladetonnen und weitere rd. 34 % Motorschiffe über 100 bis 200 Tonnen auf die westdeutschen Wasser-

straßen brachte. Während der Verkehr auf dem Dortmund-Ems-Kanal z. B. noch in den Jahren 1921 und 1931 nur zu 1,5 bzw. 12 % motorisiert war, hat sich dieses Verhältnis im Laufe der letzten 20 Jahre ganz wesentlich geändert. Zur Zeit sind 56 % aller auf dem Dortmund-Ems-Kanal verkehrenden Schiffe Selbstfahrer und stellen an den Bestand und die Leistungsfähigkeit dieses Kanalgebietes einschließlich seiner Betriebsanlagen wesentlich höhere Ansprüche als bei Erbauung des Kanals. Umgekehrt muß anerkannt werden, daß die Motorisierung der Schifffahrt die Leistungsfähigkeit der Kanäle erheblich gesteigert hat.

Im folgenden soll nun zunächst an Hand von Beispielen gezeigt werden, wie sich die tatsächliche Belegung der Schleusen mit den zur Zeit vorhandenen Fahrzeugen auf die Leistungsfähigkeit der Schleusen auswirkt. Die ursprüngliche Absicht, die rechnerischen Unterlagen für das Beispiel der Schleuse Meppen zur Erläuterung dieser Ausführungen als Anhang beizufügen, ließ sich aus raumtechnischen Gründen leider nicht verwirklichen. Der Anhang soll jedoch besonders vervielfältigt und Interessenten auf Anforderung durch den Verfasser zur Verfügung gestellt werden.

Um die Auswirkung der Verkehrsschwankungen infolge der Vielfalt der Schiffsgrößen in ihrem vollen Umfange aufzeigen zu können, wird in allen Beispielen davon ausgegangen, zunächst die theoretisch maximale Ausnutzung der einzelnen Schleusen zu ermitteln. Das ist offenbar dann der Fall, wenn die Schleusen jeweils mit den Schiffen, für die sie erbaut wurden, voll belegt werden. Als weitere Fälle werden dann Schleusenbelegungen untersucht, bei denen jeweils nur 75, 50, 25 und 0 % dieser Regelfahrzeuge vertreten sind. Daneben sind auf Grund des tatsächlich vorhandenen »Mischungsverhältnisses« der Fahrzeuge (s. Tafel 1) jeweils theoretisch die Anzahl der durchgeschleusten Fahrzeuge sowie die bewältigten Ladetonnen ermittelt worden. Dabei ist es für die vergleichenden Untersuchungen gleichgültig, ob zur Ermittlung der Wirkungsgrade Richtungs- oder Kreuzungsschleusungen zugrunde gelegt werden, da das Verhältnis der Verholzeiten für die verschiedenen Mischungsverhältnisse der Fahrzeuge in allen Fällen für Richtungs- und Kreuzungsschleusungen gleich ist.

Tafel 1.
Mischungsverhältnis des vorhandenen Verkehrs.

| Schleuse | Selbstfahrer | | | | |
|----------------|--------------|----------|----------|----------|-----------|
| | 80-t-MF | 180-t-MF | 350-t-MF | 650-t-MF | 1000-t-MF |
| Meppen ... | 14,0 % | 28,0 % | 13,0 % | 2,5 % | 2,5 % |
| Schl. II | — | 7,0 % | 5,0 % | 4,0 % | 7,0 % |
| Hünxe | — | 13,0 % | 20,0 % | 9,0 % | 10,0 % |
| Dörpen | 35,0 % | 7,0 % | 6,0 % | 4,0 % | 5,0 % |

| Schleuse | Schleppzüge | | | | | |
|----------------|-------------|---------|---------|---------|----------|----------|
| | Schlepper | 200-t-K | 350-t-K | 650-t-K | 1000-t-K | 1350-t-K |
| Meppen ... | 14,5 % | 2,5 % | 4,0 % | 3,0 % | 16,0 % | — |
| Schl. II | — | 9,0 % | 11,0 % | 19,0 % | 21,0 % | 17,0 % |
| Hünxe | 17,0 % | — | 4,0 % | 6,0 % | 15,0 % | 6,0 % |
| Dörpen | 20,0 % | 2,0 % | 2,0 % | 8,0 % | 11,0 % | — |

Aus den Ergebnissen dieser vergleichenden Untersuchungen läßt sich jeweils der Wirkungsgrad für die Mischungsverhältnisse ableiten. Weiterhin läßt sich durchaus erkennen, inwieweit an den einzelnen Schleusen eine Steigerung des

Verkehr in Zukunft noch möglich ist. Die maximale Verkehrsleistung wird selten zu erreichen sein, da die Fahrzeuge im allgemeinen in der Reihenfolge ihrer Ankunft abgefertigt werden müssen, nicht aber mit dem Ziel einer größtmöglichen Ausnutzung der Schleusenammer.

T a f e l 2.

Beispiel: Schleuse Meppen-Dortmund-Ems-Kanals.

| | |
|------------------------|---------------|
| Nutzbare Kammerlänge: | 165,0 m |
| Nutzbare Kammerbreite: | 10,0 m |
| Gefälle: | 4,2 m |
| Tauchtiefe: | 2,0 m |
| Betriebsstunden: | 15,5 Std./Tag |

| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| Belegung der Schleusenammer | | Leistung je Schlg. T_m t | v. H. des Maximums | Schleusungszeit t min | tägl. Leistung Q t | v. H. des Maximums (Wirkungsgrad W_V) |
| Max. | 2 1000-t-MF 2 80-t-MF | 1 620 | 100,0 | 42,7 | 35 276 | 100,0 |
| 100 % | 1000-t-MF | 1 413 | 87,3 | 42,3 | 31 062 | 88,0 |
| 0 % | 80-t-MF | | | | | |
| 75 % | 1000-t-MF | 1 362 | 84,1 | 42,4 | 29 871 | 84,6 |
| 25 % | 80-t-MF | | | | | |
| 50 % | 1000-t-MF | 1 280 | 79,0 | 42,7 | 27 902 | 79,1 |
| 50 % | 80-t-MF | | | | | |
| 25 % | 1000-t-MF | 1 113 | 68,7 | 43,2 | 23 956 | 68,0 |
| 75 % | 80-t-MF | | | | | |
| 0 % | 1000-t-MF | 622 | 38,4 | 45,1 | 12 796 | 36,2 |
| 100 % | 80-t-MF | | | | | |
| | 2 1000-t-K | | | | | |
| | 1 Schlepper | 1 540 | 95,0 | 42,7 | 33 539 | 95,0 |
| | 1 80-t-MF | | | | | |
| 66,7 % | 1000-t-K | | | | | |
| 33,3 % | Schlepper | 1 285 | 79,3 | 42,5 | 28 114 | 79,7 |
| 0 % | 80-t-MF | | | | | |
| 50 % | 1000-t-K | | | | | |
| 25 % | Schlepper | 1 228 | 75,7 | 42,7 | 26 746 | 75,7 |
| 25 % | 80-t-MF | | | | | |
| 32,3 % | 1000-t-K | | | | | |
| 16,7 % | Schlepper | 1 140 | 70,4 | 43,0 | 24 654 | 69,9 |
| 50 % | 80-t-MF | | | | | |
| 16,7 % | 1000-t-K | | | | | |
| 8,3 % | Schlepper | 984 | 60,7 | 43,6 | 20 990 | 59,5 |
| 75 % | 80-t-MF | | | | | |
| | Tatsächlicher Verkehr | 1 050 | 64,8 | 39,7 | 24 598 | 69,8 |

Aus der Tafel 2 ist folgendes Ergebnis zu entnehmen: Bei der gegenwärtigen Ausnutzung der Schleusenammer der Schleuse Meppen ergibt sich bei 2,0 m Abladung ein Ausnutzungsgrad von $W_V = 69,8 \% = 0,698$. Hierbei wurde die

theoretische Leistungsfähigkeit in der Weise ermittelt, daß zunächst für den Vergleich nur Richtungsschleusungen mit Motorschiffen bzw. Selbstfahrern berücksichtigt wurden. Eine Ausnutzung von 100% kann nur dann erreicht werden, wenn neben 2 · 1000 t-Motorschiffen noch 2 · 80 t-Selbstfahrer gleichzeitig geschleust werden. Bei der angenommenen theoretischen Belegung von 100% 1000 t-MS wird ein Wirkungsgrad von 88% erreicht, da bei dieser Ausnutzung Restflächen in der Schleusenammer vorhanden sind, die nicht ausgenutzt werden können.

Bei Schleppzügen wird sich unter sonst gleichen Voraussetzungen als maximale Tagesleistung $Q = 33\,539\text{ t}$ ergeben, d. h. der maximale Ausnutzungsgrad würde in diesem Falle nur 95% betragen. Hiermit ist der tatsächliche Wirkungsgrad von 69,8% zu vergleichen, der auf Grund der vorhandenen Fahrzeugmischung, bei 56% Motorfahrzeugen und 44% Schleppkähnen ermittelt wurde. Der Vergleich zeigt also, daß die vorhandene Verkehrsbelastung etwa 25% unter der Maximalbelastung liegt. Eine weitere Verbesserung wird nur dann erreicht werden, wenn sich die Belegung der Schleusenammer zugunsten der größeren Regelfahrzeuge oder wenn eine Abkürzung der Schleusungszeiten zu erreichen ist. Hierbei muß klar herausgestellt werden, daß die weitere Motorisierung des Schiffsparks allein eine wesentliche Abkürzung der Schleusungszeiten nicht bringen wird, da die Einfahrt- und Ausfahrtgeschwindigkeit der Selbstfahrer mit Rücksicht auf die Verkehrssicherheit bei den kurzen Verhüllängen, wie sie beim Ausbau angestrebt werden (s. Abs. III Ziff. 2), nicht wesentlich gesteigert werden kann. Nach der Durchführung des Ausbaues, d. h. bei Abladung der Fahrzeuge auf 2,5 m und bei 10,0 m Kammerbreite wird der Ausnutzungsgrad von 69,8% zunächst auf 63,9% fallen. Das ist darauf zurückzuführen, daß zur Zeit nur die Regelfahrzeuge (Abmessungen $67,0 \times 8,2\text{ m}$), einige Küstenmotorschiffe und größere Fahrzeuge mit einer Tauchtiefe von 2,5 m abgeladen werden können. Das wird sich in wenigen Jahren ändern, sobald erst die Nordstrecke des Dortmund-Ems-Kanals von Bargeshövede bis Emden für 2,5 m Abladetiefe erschlossen ist.

Tafel 3.

Bestimmung des Wirkungsgrades infolge Nichtausnutzung der Ladefähigkeit an Hand der Statistik des Jahres 1951.

Schleuse Hünxe.

| Monat | Zahl d. bel. Fahrzeuge | Gesamttragfähigk. d. bel. Fahrzeuge | Gesamtladung t. | Wirkungsgrad W_L |
|-----------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Januar | 661 | 360 166 | 285 257 | 0,792 |
| Februar | 852 | 444 578 | 357 857 | 0,805 |
| März | 989 | 485 925 | 387 713 | 0,798 |
| April | 1005 | 515 860 | 417 626 | 0,810 |
| Mai | 1083 | 553 058 | 438 962 | 0,794 |
| Juni | 1250 | 645 490 | 571 173 | 0,806 |
| Juli | 1405 | 730 974 | 591 083 | 0,809 |
| August | 724 | 398 761 | 324 617 | 0,815 |
| September . . | 1315 | 700 020 | 576 499 | 0,824 |
| Oktober . . . | 1268 | 703 971 | 554 342 | 0,789 |
| November . . | 1193 | 668 091 | 546 489 | 0,818 |
| Dezember . . . | 891 | 522 736 | 426 964 | 0,810 |

im Mittel: 0,805

Unter denselben Gesichtspunkten wurde für die weiteren Schleusen der Einfluß der Verkehrsmischung untersucht. Die Abmessungen der einzelnen Schleusen sind der Tafel 4 zu entnehmen.

Bei der Schleuse II (Rhein-Herne-Kanal) wird ein Ausnutzungsgrad von rd. 67% für den vorhandenen Verkehr erzielt. Der etwas geringere Ausnutzungsgrad gegenüber der Schleuse Meppen ist in einer nicht ganz so günstigen Belegung der Schleusenkammer mit Motorschiffen zu suchen.

Zu beachten ist bei der Schleuse II, daß die Schlepper hier nicht mitgeschleust werden, so daß die Schleusenkammer weitgehend ausgenutzt werden kann. Das Verholen erfolgt bei der Einfahrt durch Treidellokomotiven, während für die Ausfahrt besondere Bugsierer zur Verfügung stehen, falls die Ausfahrt z. B. bei Windstille und bei geringem Verkehr nicht ebenfalls durch die Treidelloks vorgenommen wird.

Bei der Schleuse Hünxe ist der Betrieb in der Weise geregelt, daß ein »schleppzuggerechtes« Schleusen erfolgt, d. h. die ankommenden Schlepper können in der Regel mit ihrem gesamten Anhang durchgeschleust werden. Der festgestellte Ausnutzungsgrad infolge des vorhandenen Verkehrs beträgt bei dieser Schleuse 64,2%.

Die Schleuse Dörpen bietet insofern eine aufschlußreiche Ergänzung zu den ersten 3 Beispielen, da es sich hier um eine Schleuse mit recht kurzer Kammerlänge handelt, so daß nunmehr eine gute Vergleichsmöglichkeit der Leistungen bei verschiedenen nutzbaren Längen der Schleusenkammer gegeben ist. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß an der Schleuse Dörpen nur ein recht geringes Gefälle vorliegt, das recht kurze Füll- und Entleerungszeiten erfordert.

Bei der guten Ausnutzbarkeit der Schleusenkammer überrascht es trotz des geringen Anteils an 1000 t-Regelfahrzeugen nicht, daß die Schleuse Dörpen den größten Wirkungsgrad bei dem vorliegenden Mischungsverhältnis aufweist. Er beträgt rd. 73% und liegt daher nur 27% unter der größtmöglichen Ausnutzung der Schleusenkammer. Bei Schlepptzügen ist für die Schleuse Dörpen im Maximum eine Ausnutzung von 92,1% zu erreichen. Von dieser größtmöglichen Belegung weicht die festgestellte Verkehrsbelegung nur um rd. 19% ab.

2. Der Einfluß der verschiedenen Ankunftszeiten im Berg- und Talverkehr.

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß die Leistungsfähigkeit der Schleusen infolge des verschiedenen Tal- und Bergverkehrs herabgesetzt wird. Bei kleineren Ungleichförmigkeiten werden Wartezeiten entstehen, die unter Ziff. III Abs. 3 berücksichtigt werden. Bei größeren Schwankungen werden nicht nur Kreuzungsschleusungen, sondern auch Richtungsschleusungen vorkommen, die infolge der Leerschleusungen die Leistungsfähigkeit der Schleusen vermindern.

Für die Beispiele wurde der Einfluß der verschiedenen Ankunftszeiten im Berg- und Talverkehr entsprechend der vorliegenden Verhältniszahlen

$m : n = 0,58 : 0,42$ (Schleuse Hünxe)

$m : n = 0,57 : 0,43$ (Schleuse Meppen)

$m : n = 0,51 : 0,49$ (Schleuse II)

$m : n = 0,44 : 0,56$ (Schleuse Dörpen)

rechnerisch bestimmt und in Tafel 4 bei Feststellung der täglichen theoretischen Schleusenleistung berücksichtigt.

Tafel 4.
Die Leistungsfähigkeit der Schleusen
auf Grund der tatsächlich vorhandenen Zusammensetzung der Fahrzeuge.

| | | Schleuse | Schleuse | Schleuse II | Schleuse Hünxe | Schleuse |
|----|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | Meppen | Meppen | | | Dörpen |
| | | 2,0 m Abladung | 2,5 m Abladung | 2,5 m Abladung | 2,5 m Abladung | 2,0 m Abladung |
| 1 | Nutzbare Kammerlänge der Schleuse | 165,0 m | 165,0 m | 165,0 m | 225,0 m | 105,0 m |
| 2 | Nutzbare Kammerbreite der Schleuse | 10,0 m | 10,0 m | 10,0 m | 12,0 m | 12,0 m |
| 3 | Schleusengefälle | 4,2 m | 4,2 m | 3,7 m | 6,0 m | 1,2 m |
| 4 | Zusammensetzung des tatsächlichen Verkehrs | Tafel 1 | Tafel 1 | Tafel 1 | Tafel 1 | Tafel 1 |
| 5 | Anzahl der Fahrzeuge je Schleusung | Z _{m pr} 3,62 | 3,62 | 2,27 | 3,76 | 2,36 |
| 6 | Tonnen je Fahrzeug | L _m 290 t | 338 t | 723 t | 518 t | 269 t |
| 7 | Tonnen je Schleusung | T _m 1 050 t | 1 223 t | 1 641 t | 1 947 t | 635 t |
| 8 | Schleusungszeiten für Richtungsschleusung | s _R 39,6 min | 39,6 min | 38,2 min | 49,6 min | 28,6 min |
| 9 | Schleusungszeiten für Kreuzungsschleusung | s _K 55,0 min | 55,0 min | 55,1 min | 69,5 min | 41,5 min |
| 10 | Beladene Fahrzeuge zu Tal | P _t % 95,0 % | 95,0 % | 85,0 % | 70,0 % | 70,0 % |
| 11 | Beladene Fahrzeuge zu Berg | P _B % 80,0 % | 80,0 % | 35,0 % | 80,0 % | 90,0 % |
| 12 | Berg- : Talverkehr | m : n 0,57 : 0,43 | 0,57 : 0,43 | 0,51 : 0,49 | 0,58 : 0,42 | 0,44 : 0,56 |
| 13 | Gemittelte Betriebsstunden je Tag | b 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h |
| 14 | Theoretische tägliche Schleusenleistung (Ladungstonnen) | Q _{th} 29 272 t | 34 094 t | 32 980 t | 36 575 t | 21 781 t |
| 15 | Wirkungsgrad infolge Wartezeiten | W _w 0,91 | 0,91 | 0,90 | 0,80 | 0,55 |
| 16 | Wirkungsgrad infolge nicht genutzter Ladefähigkeit | W _L 0,92 | 0,92 | 0,85 | 0,81 | 0,80 |
| 17 | Wirkungsgrad infolge nicht genutzter Schleuse | W _S 0,95 | 0,95 | 0,79 | 0,68 | 0,88 |
| 18 | Gesamtwirkungsgrad | W _{ges.} 0,795 | 0,795 | 0,605 | 0,440 | 0,387 |
| 19 | Reduzierte tägliche Schleusenleistung | Q _{red.} 23 271 t | 27 105 t | 19 953 t | 16 093 t | 8 429 t |
| 20 | Gemittelte Betriebstage im Jahr | B 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. |
| 21 | Rechnerische Schleusenleistung je Jahr (Ladungstonnen) | J _{rechn.} 7 912 140 t | 9 215 700 t | 6 784 020 t | 5 471 620 t | 2 865 860 t |
| 22 | Schleusenleistung lt. Statistik für das Jahr 1951 (Ladungstonnen) | J _{tats.} 7 824 990 t | — | 6 953 614 t | 5 428 582 t | 2 898 881 t |

Die nach den vorstehenden Grundlagen für die Schleusen Meppen, Schleuse II (Rhein-Herne-Kanal), Hünxe und Dörpen ermittelten und in Tafel 4, Zeile 14 angegebenen täglichen Schleusenleistungen (Q_{th}) sind nach Dr. Mistol noch zu reduzieren,

- a) wegen des nicht gleichmäßigen Verkehrs; die Kähne treffen in ungleichen Abständen ein, wodurch Betriebspausen entstehen,
- b) weil die Schleusenkammer nicht immer voll ausgenutzt wird; oft werden Schleusungen mit weniger als Z_m Fahrzeugen durchgeführt oder aber
- c) mit Fahrzeugen, die nur z. T. ausgelastet sind.

Für alle diese Einwirkungen zu a) bis c) rechnet Dr. Mistol nach Beobachtungen an der Oder bei normaler Wasserführung durchschnittlich mit rund 30% Leistungsverlust, ein Wert, der auch für andere Wasserstraßen annähernd richtig sein soll.

In Anbetracht der sehr exakten Ableitung der vorstehenden Grundlagen ist diese Reduktion wenig befriedigend. Es soll daher der Versuch gemacht werden, die unter a) bis c) angegebenen Leistungsverluste im einzelnen genauer festzustellen.

3. Die Leistungsverluste infolge von Wartezeiten.

Bei den Leistungsverlusten infolge des nicht gleichmäßigen Verkehrs handelt es sich, wie bereits unter Ziff. III Abs. 2 ausgeführt wurde, um unvermeidliche Wartezeiten, wie sie sich nahezu an allen Schleusen ergeben, die nicht voll ausgelastet sind. Diese Wartezeiten lassen sich am besten mit Hilfe der laufenden Schleusenaufzeichnungen bzw. an Hand von Betriebsplänen feststellen, die sich über einen möglichst langen Zeitraum erstrecken müssen, um einen zutreffenden Mittelwert zu erhalten. So sind die Aufzeichnungen der Schleuse Meppen für das Jahr 1951 ausgewertet worden. Die tatsächlichen Wartezeiten einschließlich der Ausfallzeiten infolge von Betriebsstörungen betragen für diesen Zeitabschnitt 475 Stunden. Bei 340 Betriebstagen bzw. 5283 Betriebsstunden im Jahr ergibt sich ein Wirkungsgrad von $W_w = \frac{(5283 - 475)}{5283} = 0,91$ und damit ein Leistungs-

verlust von 9,0%. Die Leistungsverluste der übrigen Schleusen folgen aus den in gleicher Weise festgestellten Wirkungsgraden (s. Tafel 4, Zeile 15). Bemerkenswert ist der recht große Leistungsverlust der Schleuse Dörpen in Höhe von 45%, was bereits hier zu der Feststellung führt, daß diese Schleuse bei weitem nicht ausgelastet ist.

4. Der Leistungsverlust infolge nicht ausgenutzter Ladefähigkeit der Schiffe.

Der Leistungsverlust infolge nicht ausgenutzter Ladefähigkeit der Schiffe ist der amtlichen Verkehrsstatistik zu entnehmen. In Tafel 3 ist z. B. die Verkehrsstatistik der Schleuse Hünxe für das Jahr 1951 aufgetragen. Einmal ist hieraus zu ersehen, daß die Ausnutzung der Fahrzeuge trotz erheblicher Verkehrsschwankungen:

| | | |
|-----------|------------------------------------------------|-----------|
| | monatliche Gesamtragfähigkeit bei Gesamtladung | |
| Min. | 360 166 t | 285 257 t |
| Max. | 730 974 t | 591 083 t |

recht konstant ist. Die Wirkungsgrade W_L schwanken zwischen 0,789 und 0,824, sie ergeben einen mittleren Wirkungsgrad von $W_L = 0,81$ und damit einen Leistungsverlust i. M. von 19%. Die entsprechenden Angaben für die Schleuse Meppen, Schleuse II und Schleuse Dörpen sind der Tafel 4 Zeile 16 zu entnehmen.

5. Der Leistungsverlust infolge nicht ausgenutzter Schleusenammer.

Für die Bestimmung der Leistungsverluste infolge nicht ausgenutzter Schleusenammer ist außer den in der Verkehrsstatistik enthaltenen Angaben noch die Kenntnis der Anzahl der in diesem Zeitraum verfahrenen Schleusungen erforderlich. Da derartige Aufzeichnungen im allgemeinen bei den einzelnen Schleusen geführt werden, ist die Feststellung dieses Einflusses in der Regel möglich.

So wurde z. B. für die Schleuse Meppen das Betriebsjahr 1951 ausgewertet. Es ergab sich bei i. M. 25,4 Schleusungen pro Tag eine mittlere Tonnenzahl je Schleusung von $T_m = 1112$ t. Demgegenüber wurde die Schleusenleistung T_m nach den Grundlagen für die Schleuse Meppen zu 1170 t bei 2,0 m Abladung ermittelt. Hieraus folgt der Wirkungsgrad infolge nicht ausgenutzter Schleusenammer zu

$$W_S = \frac{1112}{1170} = 0,95.$$

Der entsprechende Leistungsverlust beträgt rd. 5%. Die in gleicher Weise festgestellten Wirkungsgrade für die Schleuse II, Schleuse Hünxe und Dörpen sind aus der Tafel 4 Zeile 17 abzulesen.

6. Vergleich der theoretischen ermittelten Leistungsfähigkeit mit den tatsächlichen Schleusenleistungen der amtlichen Verkehrsstatistik.

Um den Vergleich mit der amtlichen Verkehrsstatistik durchführen zu können, sind zunächst die theoretischen täglichen Schleusenleistungen Q_{theor} , entsprechend den festgestellten Wirkungsgraden zu reduzieren. Aus den Einzelwirkungsgraden W_w , W_L , W_S folgt der Gesamtwirkungsgrad W_{ges} , aus

$$W_{\text{ges.}} = W_w \cdot W_L \cdot W_S$$

z. B. für die Schleuse Meppen:

$$W_{\text{ges.}} = 0,91 \cdot 0,92 \cdot 0,95 = 0,795$$

Bemerkenswert ist hierbei, daß der Gesamtwirkungsgrad keineswegs einheitlich etwa 0,7 (nach Dr. Mistol) beträgt. Er ist weitgehend von den Wartezeiten und von der Ausnutzung der Schleusenammer, d. h. grundsätzlich überhaupt von der Höhe der Auslastung der Schleusen abhängig. In den vorliegenden Fällen schwankt W_{ges} zwischen 0,795 und 0,387 (siehe Tafel 4 Zeile 18).

Da die in Zeile 14 der Tafel 4 angegebenen theoretischen täglichen Schleusenleistungen Q_{theor} bereits die aus dem Verkehr und seinen Schwankungen herrührenden Wirkungsgrade W_V und W_U enthalten (siehe Tafel 2), folgt

$$Q_{\text{red.}} = W_{\text{ges.}} \cdot Q_{\text{theor.}}$$

z. B. für Schleuse Meppen:

$$Q_{\text{red.}} = 0,795 \cdot 29272 = 23271 \text{ t.}$$

Bei 340 Betriebstagen im Jahr, wie sie j. M. im Bereich der westdeutschen Wasserstraßen festgestellt wurden, betragen die rechnerischen Schleusenleistungen pro Jahr:

$$J_{\text{Rechn.}} = Q_{\text{red.}} \cdot 340$$

z. B. für die Schleuse Meppen:

$$J_{\text{Rechn.}} = 23271 \cdot 340 = 7912140 \text{ Ladungstonnen.}$$

Die Abweichung von der aus der Verkehrsstatistik 1951 festgestellten Schleusenleistung ($J_{\text{tats.}} = 7824990$ Ladungstonnen) beträgt 87150 Ladungstonnen oder 1,1%. Bei den übrigen Beispielen ergeben sich ebenfalls nur geringe Unterschiede:

| | | |
|------------------------|---------------|----------|
| Schleuse II (Rh.-H.K.) | 169 594 Ldgt. | = + 2,4% |
| Schleuse Hünxe | 43 038 Ldgt. | = - 0,8% |
| Schleuse Dörpen | 33 021 Ldgt. | = + 1,2% |

Die Übereinstimmung der rechnerisch und aus der Verkehrsstatistik ermittelten Schleusenleistungen ist also recht gut.

7. Ableitung der Grenzbelastung von Schleusen.

Bei der Feststellung der Grenzbelastung (siehe Tafel 5) geht man von der größtmöglichen Schleusenbelegung aus und ermittelt daraus die maximale Schleusenleistung. Wie bereits aus der Tafel 2 z. B. für die Schleuse Meppen ersehen werden kann, ist die größtmögliche Schleusenbelegung bei je 2 1000 t- und 80 t-Motorschiffen gegeben. Die max. Tonnenzahl je Schleusung beträgt für diese Belegung $T_m = 1620$ t. Die Schleusungszeiten sind infolge der längeren Verholzeiten ($2 \cdot 18,6$ min.) auf 62,4 min. gestiegen. Das Verhältnis der beladenen Fahrzeuge zu Tal und zu Berg wird in gleicher Weise wie bei der tatsächlich vorhandenen Zusammensetzung der Fahrzeuge zu $P_t = 95\%$ und $P_B = 80\%$ angenommen, da sich die Art des Verkehrsaufkommens im Bereich des Dortmund-Ems-Kanals voraussichtlich nicht ändern wird. Für die Berg- und Talfahrt wird für die Feststellung der theor. max. Schleusenleistung pro Tag zunächst mit völliger Gleichförmigkeit des Verkehrs ($m : n = 0,5 : 0,5$) gerechnet. Hieraus folgt bei der Schleuse Meppen eine Leistung von max. $Q_{\text{theor.}} = 42\,252$ Ladungstonnen (Tafel 5, Zeile 10).

Es ist bereits bei der Feststellung der einzelnen Leistungsverluste für die augenblicklich vorhandene Verkehrszusammensetzung darauf hingewiesen worden, daß auch bei der Grenzbelastung derartige Leistungsminderungen nicht zu vermeiden sind. So wird der Wirkungsgrad infolge der Verkehrsmischung (Mischungsverhältnis der Fahrzeuge) z. B. bei der Schleuse Meppen, der z. Zt. $0,698 = \text{rd. } 0,7$ beträgt, kaum über 0,75 hinausgehen. Hierbei wird bereits angenommen, daß eine Steigerung des Anteils der 1000 t-Motorschiffe von 2,5 auf 20% auf Kosten der kleineren Fahrzeuge erfolgt. Gleichfalls wird eine gewisse Ungleichförmigkeit des Verkehrs, wenn auch nur zeitweilig, bestehen bleiben. So wurde den örtlichen Verhältnissen entsprechend für W_U in Ansatz gebracht:

| | |
|-----------------------|---------------|
| Schleuse Meppen | $W_U = 0,95$ |
| Schleuse II | $W_U = 0,995$ |
| Schleuse Hünxe | $W_U = 0,935$ |
| Schleuse Dörpen | $W_U = 0,956$ |

Dagegen entfallen bei der Grenzbelastung jegliche Wartezeiten, da in diesem Falle anzunehmen ist, daß stets Fahrzeuge im Rang auf Schleusung warten.

Eine wesentliche Änderung in der Ausnutzung der vorhandenen Ladefähigkeit der beladenen Schiffe wird bei der Grenzbelastung nicht eintreten, da hierfür ausschließlich Umfang und Art des Frachtanfalls maßgebend sind.

Der Leistungsverlust infolge nicht ausgenutzter Schleusenammer wird bei der Grenzbelastung voraussichtlich etwas geringer werden. Hierbei kann jedoch nicht damit gerechnet werden, daß durch Auswahl der Fahrzeuge eine zweckmäßigere Belegung der Schleusenammer erzielt wird. Einmal muß im allgemeinen an dem Grundsatz festgehalten werden, daß die Abfertigung der vor der Schleuse ankommenden Fahrzeuge nach der Reihenfolge ihrer Ankunft erfolgt, sofern nicht vom Vorschleuserecht Gebrauch gemacht wird, und zum anderen würde eine derartige Abfertigung infolge längerer Verholwege längere Schleusungszeiten erfordern, so daß hierdurch Vorteile für den Schleusenbetrieb in der Regel nicht erwartet werden können. Die im einzelnen für W_S gewählten Wirkungsgrade sind aus Tafel 5 Zeile 15 zu entnehmen, sie schwanken zwischen 0,96 (Schleuse Meppen) und 0,90 (Schleuse Hünxe).

Tafel 5.
Die Grenzbelastung der Schleusen
auf Grund der tatsächlich vorhandenen Zusammensetzungen und der zukünftig zu erwartenden Zusammensetzung der Fahrzeuge.

| | | Schleuse Meppen | | Schleuse Meppen | | Schleuse II | | Schleuse Hünxe | | Schleuse Dörpen | | |
|----|--------------------------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-------------|
| | | 2,0 m Abladung | | 2,5 m Abladung | | 2,5 m Abladung | | 2,5 m Abladung | | 2,0 m Abladung | | |
| | | vorh. Verk. | zukünft. Verk. | vorh. Verk. | zukünft. Verk. | vorh. Verk. | zukünft. Verk. | vorh. Verk. | zukünft. Verk. | vorh. Verk. | zukünft. Verk. | |
| 1 | Nutzbare Kammerlänge | 165,0 m | 165,0 m | 165,0 m | 165,0 m | 165,0 m | 165,0 m | 225,0 m | 225,0 m | 105,0 m | 105,0 m | |
| 2 | Nutzbare Kammerbreite | 10,0 m | 10,0 m | 10,0 m | 10,0 m | 10,0 m | 10,0 m | 12,0 m | 12,0 m | 12,0 m | 12,0 m | |
| 3 | Schleusengefälle | 4,2 m | 4,2 m | 4,2 m | 4,2 m | 3,7 m | 3,7 m | 6,0 m | 6,0 m | 1,2 m | 1,2 m | |
| 4 | Max. Tonnenzahl je Schleusung (für das Regelschiff) | T_m | 1 620 t | 1 620 t | 2 060 t | 2 060 t | 2 600 t | 2 600 t | 3 210 t | 3 210 t | 890 t | 890 t |
| 5 | Zeit für Kreuzungsschleusung | S_K | 62,4 min | 62,4 min | 62,4 min | 62,4 min | 59,9 min | 59,9 min | 75,7 min | 75,7 min | 42,5 min | 42,5 min |
| 6 | Beladene Fahrzeuge zu Tal | P_t | 95,0 % | 95,0 % | 95,0 % | 95,0 % | 85,0 % | 85,0 % | 70,0 % | 70,0 % | 70,0 % | 70,0 % |
| 7 | Beladene Fahrzeuge zu Berg | P_B | 80,0 % | 80,0 % | 80,0 % | 80,0 % | 35,0 % | 35,0 % | 80,0 % | 80,0 % | 90,0 % | 90,0 % |
| 8 | Berg- : Talverkehr | $m : n$ | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 | 0,5 : 0,5 |
| 9 | Gemittelte Betriebsstunden | b | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h | 15,5 h |
| 10 | Theor. max. Schleusenleistung Ladungstonnen/Tag | $max. Q_{th}$ | 42 252 t | 42 252 t | 53 728 t | 53 728 t | 48 441 t | 48 441 t | 59 154 t | 59 154 t | 31 160 t | 31 160 t |
| 11 | Wirkungsgrad infolge Verkehrsmischung | W_V | 0,70 | 0,75 | 0,64 | 0,75 | 0,67 | 0,75 | 0,642 | 0,750 | 0,73 | 0,80 |
| 12 | Wirkungsgrad infolge Ungleichförmigkeit | W_U | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,995 | 0,995 | 0,935 | 0,935 | 0,956 | 0,956 |
| 13 | Wirkungsgrad infolge Wartezeiten | W_w | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 14 | Wirkungsgrad infolge nicht genutzter Ladefähigkeit | W_L | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,85 | 0,85 | 0,81 | 0,81 | 0,80 | 0,80 |
| 15 | Wirkungsgrad infolge nicht genutzter Schleuse | W_S | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,90 | 0,95 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 0,95 |
| 16 | Gesamtwirkungsgrad | $W_{ges.}$ | 0,59 | 0,63 | 0,54 | 0,63 | 0,51 | 0,602 | 0,415 | 0,517 | 0,53 | 0,58 |
| 17 | Reduz. tägl. Grenzbelastung (Ladungstonnen) | $Q_{red. gr.}$ | 24 928 t | 26 620 t | 29 013 t | 33 849 t | 24 704 t | 29 161 t | 24 550 t | 30 582 t | 16 515 t | 18 104 t |
| 18 | Mittlere Betriebstage/Jahr | B | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. | 340 Tg. |
| 19 | Jährliche Grenzbelastung | $J_{gr.}$ | 8 475 520 t | 9 050 800 t | 9 864 420 t | 11 508 660 t | 8 399 500 t | 9 914 740 t | 8 347 000 t | 10 397 880 t | 5 615 100 t | 6 155 360 t |

Zu den in Zeile 16 festgestellten Gesamtwirkungsgraden ist zu bemerken, daß sie gegenüber der Tafel 4 noch die Wirkungsgrade infolge Verkehrsmischung (W_V) und Ungleichförmigkeit (W_U) enthalten, die dort bereits bei der theor. max. Schleusenleistung Q_{theor} Berücksichtigung gefunden hatten. Die Gesamtwirkungsgrade für die Grenzbelastung schwanken, abgesehen von der Schleuse Hünxe, recht wenig. Sie liegen für das augenblickliche Mischungsverhältnis der Fahrzeuge zwischen $W_{\text{ges.}} = 0,59$ und $0,51$ und für den geschätzten zukünftigen Verkehr (Erhöhung des Anteiles der größeren Fahrzeuge) zwischen $W_{\text{ges.}} = 0,63$ und $0,602$. Der Gesamtwirkungsgrad für die Schleuse Hünxe ist in erster Linie wegen der Eigenart des dort vorliegenden Verkehrs weniger günstig als bei den übrigen Schleusen. Er ist für den augenblicklichen Verkehr zu $W_{\text{ges.}} = 0,415$ und für den zukünftigen Verkehr zu $W_{\text{ges.}} = 0,517$ ermittelt worden. Sobald der Kohlenabbau von der Emscher weiter zur Lippe verlagert wird, dürfte beim Wesel-Datteln-Kanal mit ähnlichen Verhältnissen zu rechnen sein wie beim Rhein-Herne-Kanal.

Werden auch bei der Grenzbelastung 340 Betriebstage zugrunde gelegt, so ergibt sich die in Zeile 19 der Tafel 5 für die einzelnen Schleusen festgestellte Grenzbelastung. Gegenüber der augenblicklichen Ausnutzung (s. Tafel 4 Zeile 21) sind daher voraussichtlich folgende Steigerungen zu erzielen:

| | auf Grund des vorhandenen Verkehrs | | auf Grund des zukünftigen Verkehrs | |
|----------------------------------------|------------------------------------------|-------|------------------------------------------|--------|
| Schleuse Meppen (2,0 m Abladung) | 563 380 t | 7,1% | 1 138 660 t | 14,4% |
| Schleuse Meppen (2,5 m Abladung) | 648 720 t | 7,0% | 2 292 960 t | 24,9% |
| Schleuse II (2,5 m Abladung) | 1 615 480 t | 23,8% | 3 130 720 t | 46,2% |
| Schleuse Hünxe (2,5 m Abladung) .. | 2 875 380 t | 52,5% | 4 926 260 t | 90,0% |
| Schleuse Dörpen (2,0 m Abladung) .. | 2 749 240 t | 95,9% | 3 289 500 t | 114,7% |

Aus diesen Ergebnissen sind folgende Erkenntnisse hervorzuheben:

1. Die Schleusen mit geringerer Auslastung zeigen naturgemäß eine sehr viel größere Steigerungsmöglichkeit bis zur Grenzbelastung.

2. Die Schleuse Meppen hat die Grenzbelastung nahezu erreicht. Eine einigermaßen ausreichende Verbesserung der Leistungsfähigkeit wird nur dann zu erzielen sein, wenn sich die Verkehrszusammensetzung zugunsten der Regelfahrzeuge verbessern läßt. Der Ausbau auf 2,5 m Abladetiefe bringt bei gleichbleibender Fahrzeugzusammensetzung keine Verbesserung der Leistungsfähigkeit (7,1% gegenüber 7,0%). Erst bei Verbreiterung der Schleusenkammer auf 12,0 m, wie z. Z. die neue Schleuse Meppen-Teglingen ausgeführt wird, ist eine ausreichende Verbesserung zu erwarten.

3. Die Grenzbelastung der Schleuse Dörpen mit 105 m nutzbarer Kammerlänge scheint im Vergleich zu den 165 und 225 m langen Schleusenkammern besonders günstig zu sein. Die Ergebnisse sind jedoch nicht ohne weiteres vergleichbar, da sowohl die Zusammensetzung des Verkehrs wie die Kammerbreite und zugelassene Tauchtiefe, vor allem aber das an der Schleuse Dörpen vorhandene Gefälle von den entsprechenden Abmessungen der übrigen Schleusen abweicht. Wenn man die Grenzbelastung aller vier Schleusen einheitlich unter denselben Bedingungen und Voraussetzungen (z. B. wie für die Schleuse

Hünxe mit 12,0 m Kammerbreite, 6 m Schleusengefälle und 2,5 m Tauchtiefe der Fahrzeuge sowie der entsprechenden Verkehrszusammensetzung der Schleuse Hünxe) feststellt, so zeigen die Vergleichsrechnungen folgende Ergebnisse:

- a) für die Schleusen mit 225 m nutzbarer Kammerlänge $J_{gr} = 8\,347\,000\text{ t} = 100\%$
 b) für die Schleusen mit 165 m nutzbarer Kammerlänge $J_{gr} = 7\,660\,880\text{ t} = 91,8\%$
 c) für die Schleusen mit 105 m nutzbarer Kammerlänge $J_{gr} = 5\,442\,380\text{ t} = 65,2\%$

Demgegenüber beträgt die nutzbare Länge der Schleuse Dörpen 47% der Schleuse Hünxe und 64% der Schleuse Meppen und der Schleuse II. Absolut betrachtet, d. h. auf 1 lfdm nutzbare Kammerlänge bezogen, errechnet sich die Grenzbelastung zu

- a) für die Schleuse Hünxe

$$\frac{8\,347\,000}{225} = 37\,100\text{ t/lfdm} = 100\%$$
- b) für die Schleuse II und Schleuse Meppen

$$\frac{7\,660\,880}{165} = 46\,430\text{ t/lfdm} = 125\% \text{ der Leistung der Schleuse Hünxe}$$
- c) für die Schleuse Dörpen

$$\frac{5\,442\,380}{105} = 51\,832\text{ t/lfdm} = 140\% \text{ der Leistung der Schleuse Hünxe}$$

IV. Die Leistungsfähigkeit der Schleusen in Abhängigkeit von den Abmessungen und technischen Einrichtungen.

Mit den vorstehenden Ergebnissen dürfte nachgewiesen sein, daß die nutzbare Länge der Schleusenammern allein für die Leistungsfähigkeit der Schleusen nicht von so entscheidender Bedeutung ist, wie es vielfach angenommen wurde. Es wird vielmehr in jedem Einzelfalle unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse und der besonderen Bedingungen des Verkehrs nachzuweisen sein, bei welcher Schleusenlänge das Produkt aus Fassungsvermögen und Anzahl der Schleusungen je Zeiteinheit am größten ist.

1. Einfluß der Kammerabmessungen.

Aus der vorstehenden Auswertung ist z. B. der Schluß zu ziehen, daß 2 Schleusen mit 105 m nutzbarer Länge rd. 40% mehr leisten können als eine Schleuse mit 165 m nutzbarer Kammerlänge bzw. 30% mehr als eine Schleuse mit 225 m nutzbarer Kammerlänge. Wenn die Entscheidung allein vom Standpunkt der Leistungsfähigkeit zu treffen ist, so werden in diesem Falle 2 kurze Schleusen mit 105 m nutzbarer Länge den 165 oder 225 m langen Schleusen vorzuziehen sein. Gegen den Bau der kurzen Schleusen kann eingewandt werden, daß in diesen Fällen die Schleppzüge vor der Schleusung auseinandergerissen und nach erfolgter Schleusung wieder zusammengestellt werden müssen. Diese Arbeit kostet Zeit und vermindert die Leistungsfähigkeit der Schiffahrtsstraße, jedoch nicht der Schleuse. Da das Leistungsvermögen der Schiffahrtsstraße im allgemeinen 4- bis 5mal so groß ist wie das der Schleuse, so ist dieser Einwand nicht von entscheidender Bedeutung. Immerhin muß man gelten lassen, daß das Auseinanderreißen und das Zusammenstellen der Schleppzüge mehr Arbeit erfordern

und die Havariegefahr in den Vorhäfen vergrößert. Außerdem bedingen 2 kurze Einzelschleusen die doppelte Anzahl von Bedienungseinrichtungen und auch die doppelte Anzahl von Bedienungspersonal wie eine 165 oder 225 m lange Schleppzugschleuse. Diese Umstände haben in der Regel dazu geführt, davon abzusehen, an Stelle von Schleppzugschleusen (165 bis 225 m nutzbarer Länge) 2 kurze Schleusen von 105 bis 110 m nutzbarer Kammerlänge zu bauen. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die Baukosten einer Schleppzugschleuse von 165 bis 225 m Nutzlänge kleiner sind als die von 2 kurzen Schleusen von 110 m Kammerlänge.

Als sehr zweckmäßig hat es sich erwiesen, in den Fällen, wo 2 Schleusen gebaut werden müssen, eine davon mit kurzer Kammerlänge (105 bis 110 m) auszubilden. Diese Lösung hat den Vorteil, daß sich hierdurch eine größtmögliche Ausnutzung der Schleusenammer (W_s) erreichen läßt, da jedem Verkehrsanfall Rechnung getragen werden kann. Im Bereich des Dortmund-Ems-Kanals werden bei Vorhandensein je einer Schleppzug- und einer kurzen Schleuse in den Schleusen mit 105 bis 110 m nutzbarer Kammerlänge vornehmlich Selbstfahrer geschleust, was sich bisher sowohl hinsichtlich des Betriebes wie der Ausnutzbarkeit der Schleusen recht gut bewährt hat.

Schleusen mit größerer nutzbarer Kammerlänge als 225 m sind zwar mit Rücksicht auf den Verkehr mit längeren Schleppzügen schon gebaut worden, um den ganzen Schleppzug ohne Teilung in einer Schleuse unterzubringen. Man hat aber in allen Fällen feststellen müssen, daß eine gleichmäßige Ausnutzung derartiger Schleusen nicht möglich ist. Die Leistungsfähigkeit solcher Schleusen beträgt oft nur wenig mehr als die Hälfte von 2 Schleusen mit nur halb so langer nutzbarer Kammerlänge. Auch der Einbau eines Mittelhauptes, etwa zur Unterteilung einer 350 m langen Schleuse, hat eine wesentlich bessere Leistungsfähigkeit derartiger Schleusen nicht gebracht, da die Verholzeiten für das Ein- und Ausfahren der in einer Schleusenhälfte geschleusten Schiffe gegenüber den kürzeren Schleusen einen größeren Zeitbedarf erfordern. Die längeren Schleusen sind auch deshalb im Schiffahrtsbetrieb ungünstiger, weil sie einen relativ größeren Wasserverbrauch erfordern als die kürzeren Schleusen, was für Kanalschleusen eine besondere Bedeutung hat, insbesondere in den Fällen, wo die Kanalspeisung nur durch Pumpwerke sichergestellt werden kann. Allein bei Flußschleusen, bei denen aus nautischen Gründen der Schlepper mit seinen Anhängen unbedingt zusammenbleiben muß, dürfte heute eine derartige außergewöhnlich lange Schleuse noch in Frage kommen.

In einigen Fällen sind verhältnismäßig breite Schleusenammern (bis 25 m) zur Ausführung gelangt, in denen die Schiffe beim Schleusen nicht parallel zu den Kammerwänden, sondern etwa unter 45° , d. h. diagonal festgelegt werden. Diese Schleusen sollen eine gute Leistungsfähigkeit aufweisen. Es wäre sehr interessant, die Leistungsfähigkeit derartiger Schleusen an Hand der vorstehenden Grundlagen festzustellen und mit den Ergebnissen der untersuchten Beispiele zu vergleichen.

Neben der Länge und Breite der Schleusen, die das Fassungsvermögen der Schleusenammer entscheidend bestimmen, ist die Drempeltiefe von großer Bedeutung. Auf Grund der vorliegenden Erfahrungen sind zwischen Schiffsboden und Drempeloberkante mindestens 1,00 m, besser 1,5 m Wassertiefe zu fordern, da andernfalls der Schleppwiderstand erhebliche Kraftreserven für die Einfahrt der Schiffe erfordert und die Einfahrtzeit wesentlich erhöht. Für das beim Einfahren der Schiffe infolge Wasserverdrängung aus der Schleusenammer ausströmende Wasser muß ein genügend großer Ausflußquerschnitt vorhanden sein. Im Bereich der westdeutschen Wasserstraßen wurde daher bei Schleusenneubauten die

Drempeltiefe auf 3,50 bis 4,00 m unter Norm. Wasser festgelegt. In den Fällen, wo durch Erosion der Flußsohle oder durch andere Senkungserscheinungen bedingt (z. B. Bergsenkungen) eine Vertiefung der Unterwassersohle und damit des Normalwasserstandes zu erwarten ist, müssen die zu erwartenden Senkungen bei der Festlegung der Drempeltiefe berücksichtigt werden.

2. Einfluß der Treidelanlagen oder ähnlicher Einrichtungen.

Schließlich hat noch die Frage entscheidende Bedeutung, ob die Schlepper mit dem Schleppzug mitgeschleust werden sollen. Diese Frage kann nicht nur vom Standpunkt der Leistungsfähigkeit der Schleuse aus beurteilt werden, da hierbei auch die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Schleppbetriebes berücksichtigt werden muß, der im Bereich der westdeutschen Wasserstraßen ein besonderes Wirtschaftsunternehmen der Bundesverwaltung bildet. Vom Bundes-schleppbetrieb wird in der Regel darauf Wert gelegt, daß die Schleppzüge mit ihren Schleppern dauernd zusammenbleiben. Im Bereich des Rhein-Herne-Kanals hat es sich demgegenüber als vorteilhaft herausgestellt, im Pendelverkehr zu schleppen, d. h. die Schlepper bleiben jeweils in einer Haltung und schleppen die Kähne eines Schleppzuges von Schleuse zu Schleuse, ohne jeweils selbst mitzuschleusen. Wie bereits in Tafel 2 nachgewiesen ist, ergibt sich ein Leistungsverlust durch Mitschleusen des Schleppers gegenüber der größtmöglichen Ausnutzung durch Motorfahrzeuge.

Neben der Belegung der Schleuse beeinflusst die Verholzeit die Leistungsfähigkeit. Bei dem Treidelbetrieb stellen sich kürzere Verholzeiten ein; es muß jedoch auch für das Umkoppeln der Fahrzeuge ein gewisser Zeitbedarf in Rechnung gestellt werden. Eine Umstellung der Schleusen Meppen, Hünxe und Dörpen auf Treidel- und Bugsierbetrieb wie bei Schleuse II für den vorhandenen Verkehr würde sich auf die Leistungsfähigkeit folgendermaßen auswirken:

| | | Schleuse Meppen 2,0 m Abladung | Schleuse Meppen 2,5 m Abladung | Schleuse Hünxe | Schleuse Dörpen |
|----------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Tonnen je Schleusung | T_m | 1 125 t | 1 297 t | 2 070 t | 698 t |
| Zeit für Richtungsschleusung | S_R | 39,3 min | 39,3 min | 49,3 min | 27,3 min |
| Zeit für Kreuzschleusung | S_K | 52,7 min | 52,7 min | 66,7 min | 38,7 min |
| tägliche Schleusenleistung bei Treidelbetrieb | Q_{th} | 32 506 t | 37 476 t | 40 215 t | 25 577 t |
| tägliche Schleusenleistung mit Schlepper | Q_{th} | 29 272 t | 34 094 t | 36 575 t | 21 781 t |
| Steigerung der täglichen Schleusenleistung in % | | 10,0 % | 9,0 % | 9,0 % | 14,8 % |

Hieraus kann ohne weiteres entschieden werden, ob überhaupt bzw. in welchen Fällen der Leistungsverlust zugunsten der Wirtschaftlichkeit des Schleppbetriebes in Kauf genommen werden kann.

Voraussetzung für die vorstehend ermittelte Leistungssteigerung infolge Umstellung auf Treidel- und Bugsierbetrieb ist, daß die eingesetzten Schlepper und Treidelloks in jeder Beziehung leistungsfähig und aufeinander eingespielt sind.

Die nach Erbauung des Rhein-Herne-Kanals in Dienst gestellten Treidellokomotiven sind auf Grund der Erfahrungen in mancher Beziehung verbesserungsbedürftig. Statt der dort ursprünglich vorhandenen Gleichstrommotoren von je 25 PS sind mindestens 50 PS starke Motoren zu verwenden. Außerdem ist mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit für den Antrieb der Treidellokomotiven Wechselstrom oder die Einschaltung von Akkumulatoren zu empfehlen. Im letzteren Falle könnten alle Sicherungsmaßnahmen für die Stromzuführung entfallen.

Für den Bugsierbetrieb hat sich ein Schleppboot von 80 bis 120 PS mit Dieselmotor und Voith-Schneider-Propeller an beiden Schiffsenden als besonders für diesen Zweck geeignet erwiesen, da es besonders wendig ist. Dieses Bugsierboot fährt an die in der Schleuse liegenden Kähne heran und zieht sie rückwärts fahrend aus der Schleuse auf kurzem Draht heraus. Bei diesem Schleppvorgang ist das Ausschleppen der Fahrzeuge bei jeder Witterung möglich und vor Havarie geschützt.

3. Einfluß der Anordnung der Schiffsliegeplätze und Leitwerke.

Zur Frage der Anordnung der Schiffsliegeplätze und Leitwerke sind hinsichtlich der Abwicklung des Verkehrs zunächst folgende allgemeine Erfahrungen voranzustellen. Bei Einzelschleusen sollte grundsätzlich Rechtsverkehr angestrebt werden. Bei Doppelschleusen werden ausfahrende Schleppzüge in der Regel die Vorhafenmitte benutzen, während einfahrende Schleppzüge und Selbstfahrer an den Außenseiten der Vorhäfen verholen. Abweichungen kommen vor, wenn starke seitliche Winde aus einer vorherrschenden Richtung den Schleusungsbetrieb beeinflussen oder wenn in kanalisiertem Flüssen die Stromverhältnisse andere Betriebsbedingungen erfordern. Verkehrskreuzungen sind unter allen Umständen zu vermeiden.

Auf die Ausbildung der Vorhäfen soll hier nicht eingegangen werden. Es kann angenommen werden, daß Vorhafenbreiten und -längen in den vorliegenden Fällen ausreichend bemessen und mit den erforderlichen Festmachevorrichtungen einschließlich aller sonstigen notwendigen Einrichtungen ausgerüstet sind, so daß sich hierdurch wesentliche Abweichungen in der Leistungsfähigkeit nicht ergeben. Hierzu wird auf die recht ausführlichen »Richtlinien für die Ausbildung der Vorhäfen von Schleppzugschleusen in Binnenschiffahrtskanälen und kanalisiertem Flüssen« der Wasserstraßenverwaltung hingewiesen.

Dagegen können die Länge und Ausbildung der Schleusenleitwerke, d. h. die Strecke von den Füllorganen der Schleuse bis zum Beginn der Schiffsliegeplätze, durchaus auf die Leistungsfähigkeit der Schleuse einwirken.

Bei der Ausbildung der Schleusenübergänge sind 2 Faktoren von entscheidender Bedeutung. Einmal muß der auf Schleusung wartende Schleppzug oder Selbstfahrer ungefährdet neben der Ausfahrtsrinne liegen und nach der Ausfahrt des entgegenkommenden Schleppzuges ohne Schwierigkeiten in die Schleusenammer einfahren können. Zum anderen muß diese Übergangsstrecke im Interesse der Füllung und Entleerung der Schleusenammer so ausgebildet werden, daß die Wasserzu- bzw. -abführung auf dieser Strecke möglichst ruhig und gleichmäßig erfolgt.

Diese beiden Forderungen widersprechen sich teilweise. Die bisherige Auffassung, die auch insbesondere von der praktischen Schiffahrt vertreten wurde, daß die Schleusenleitwerke mindestens unter Wasser offen auszubilden sind, damit sich die Wasserströmung beim Füllen und Entleeren der Kammer durch das Leitwerk der Einfahrtstrecke hindurch auf die hinter ihm liegende Wasserfläche

ausdehnen kann, ist nur für den Fall als richtig anzusehen, wenn derartige Öffnungen genügend weit von den Füll- bzw. Entleerungseinrichtungen entfernt sind. In den Fällen, wo offene oder unter Wasser offene Leitwerke unmittelbar an die senkrecht zur Kammerachse geführten Stirnwände anschließen, kann beobachtet werden, daß beim Füllen der Schleuse eine Einschnürung des Wasserquerschnittes zwischen den Wänden des Oberhauptes oberhalb der Tore stattfindet, die auf Ablösungswalzen an den vorspringenden oberstromseitigen Ecken des Oberhauptes zurückzuführen sind. Bei umlauflosen Schleusen, d. h. bei Füllung der Schleusen durch Schützen oder andere Verschlüsse, die sich in den Toren befinden, werden die Verschußöffnungen hierdurch ungleichmäßig beansprucht. Durch die äußeren Füllöffnungen fließt wesentlich weniger Wasser ein als durch die mittleren, so daß die Füllöffnungen entweder vergrößert werden müssen oder

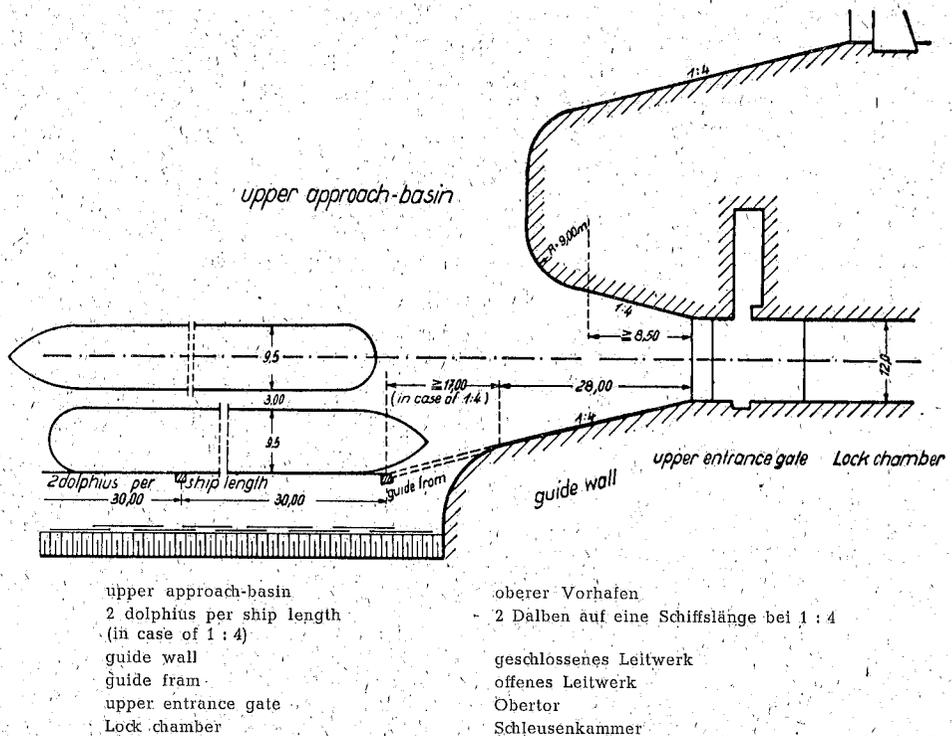


Abb. 6. Grundsätzliche Ausbildung der Schleusenleitwerke.

aber eine Verlängerung der Füllzeit zugestanden werden muß. Bei Schleusen mit Umläufen sind ähnliche Erscheinungen zu beobachten. Um strömendes Wasser ohne die Gefahr einer Ablösung zusammen- oder auseinanderzuführen, dürfen die Leitwände nicht steiler als 1 : 4 zur Achse im Grundriß geneigt sein. Infolgedessen stellen Leitwände unter einer Neigung von 1 : 4 die äußerste Grenze der Schräglage der Schleusenleitwerke dar. Die geschlossenen Leitwände können in der Schräglage 1 : 4 auf Grund von Modellversuchen der Bundesanstalt für Wasser-, Erd- und Grundbau, Karlsruhe, für die Schleuse Varloh in diesem Falle auf eine Länge von 28,0 m beschränkt werden; darüber hinaus können offene oder unter Wasser offene Leitwerke zur Ausführung gelangen (siehe Abb. 6).

Über die Schräglage der Schleusenleitwerke im Hinblick auf einen schnellen und reibungslosen Schleusenbetrieb gehen die Meinungen der Fachwelt stark auseinander. Man könnte daher annehmen, daß hierbei jeweils die örtlichen Verhältnisse (Schiffahrtskanal oder kanalisierter Fluß, Klima, Lage zur Hauptwindrichtung, Größe und Art der Schiffe, Stärke des Verkehrs u. a.) von entscheidender Bedeutung sind. Der Verfasser teilt diese Auffassung nicht, wenn auch allgemein zugegeben werden muß, daß sich der Betrieb einer Schleuse den örtlichen Voraussetzungen anpassen muß. Nach Auffassung des Verfassers ist es technisch durchaus zu vertreten, für die Anordnung und Ausbildung der Schleusenleitwerke einheitliche Grundsätze aufzustellen. Diese Auffassung wird bestärkt durch die o. g. »Richtlinien für die Ausbildung der Vorhäfen von Schleppzugschleusen in Binnenschiffahrtskanälen und kanalisierten Flüssen«, die mit dem Ziel der Einsparung von Einfahrtszeit eine Einfahrtsstrecke von 40 bis 50 m für ausreichend vorsehen und empfehlen, »die Uferlinie von der Stelle ab, wo die Spitze des Schleppzuges sich in der Wartezeit zu befinden pflegt, unter entsprechender Neigung zur Schleusenachse (also bei 40 bis 50 m Länge in der Neigung 1 : 4 bis 1 : 5) mit der Torkammerachse zu verbinden und in dieser Linie ein Leitwerk zu errichten«.

Gegen diese Grundsätze sind in den Jahren vor 1945 von den damaligen Wasserstraßendirektionen zahlreiche Einwendungen erhoben worden, die zu grundsätzlich anderen Vorschlägen für die Einfahrtslänge, für die Anordnung (Schräglage) und die Ausführung der Schleusenleitwerke führten. Der Verfasser hatte Gelegenheit, diese »neuen Vorschläge« und das hierzu gehörige Material eingehend zu studieren.

Hierbei werden vor allem folgende Grundsätze hervorgehoben:

a) Im Interesse der größeren Sicherheit der Schiffe beim Einfahren in die Schleuse sollte jede Schleuse im Ober- und Unterwasser mit einem Einfahrtsleitwerk versehen werden.

b) Die Grundrißanordnungen sowie die Ausbauart und Stärke der Leitwerke richten sich nach den örtlichen Verhältnissen sowie nach der Größe der Schleusen und damit der Größe der zu schleusenden Schiffe. Längere Schleusenammern erfordern größere Einfahrtsgeschwindigkeiten und daher auch größere Einfahrtslängen.

c) Für die Schrägleitwerke eignen sich am besten Leitwerke, die unter Wasser offen sind und an denen die Schiffe gleiten können. Für die Schräglage im Grundriß kommen folgende Schräglagen in Betracht:

| Schiffsgrößen (Ladungstonnen) t | für kurze Schleusen und für Ausfahrtsleitwerke | für lange Schleusen | Einfahrtslänge m |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Für Schiffe | | | |
| bis 750 t | etwa 1 : 5 | etwa 1 : 6 bis 1 : 7 | 75 m |
| 750 bis 1500 t | etwa 1 : 5,5 | etwa 1 : 8 | 100 m |
| > 1500 t | etwa 1 : 6 | etwa 1 : 9 | 120 m |

Die vorstehenden Angaben gelten für das Schleppen mit Schleppbooten. Beim Schleppen mit Schleppwagen u. a. liegen meist besondere Verhältnisse vor, die möglicherweise ein Abweichen von den angegebenen Maßen bedingen.

d) Als besonders wertvoll werden die Erfahrungen mit »gebrochenen« Leitwerken bezeichnet, wie sie sich an den Schleusen des Elbe-Lübeck-Kanals befinden. Diese verlaufen bei einer Schleusenbreite von 12 m

- auf 15 m Länge in einer Schräglage von 1 : 20 (Schwimmhölzer);
- auf weitere 15 m Länge in einer Schräglage von 1 : 10 (unter Wasser offene Leitwerke),
- auf weitere 47 m Länge in einer Schräglage von 1 : 4 (Dalben).

Zu der Frage der offenen oder mindestens unter Wasser offenen Leitwerke im Anschluß an die Schleuse nimmt der Verfasser Bezug auf seine obigen Ausführungen hierzu.

Zur Klärung der Schräglagen der Leitwerke wurde von einer Wasserstraßendirektion u. a. ein Film aufgenommen, in welchem die Einfahrt verschiedener Schiffe an mehreren Schleusen mit recht unterschiedlichen Neigungen (1 : 4 bis 1 : 25) dargestellt wurde. Der Film zeigte eindeutig, daß die Schiffe bei der Einfahrt im allgemeinen nicht parallel am Leitwerk entlang gleiten, sondern durch Steuerung und Absetzen mittels Staaken vom Leitwerk abhalten, sich annähernd parallel zur Schleusenachse auf »Vordermann« einstellen und einfahren. Diese Beobachtung kann auch jetzt laufend an den einzelnen Schleusen gemacht werden.

Es kommt also weniger auf die Neigung des Leitwerks im Grundriß an als vielmehr auf die Wegestrecke, welche die Spitze des wartenden Schleppzuges von der Liegestelle bis zum Schleusenhaupt für die Ausführung der Einfahrt zur Verfügung hat. Der Führer eines Schleppzuges hat bei größerer Schräglage des Schleusenleitwerks (1 : 4) durchaus die Möglichkeit, je nach Maschinenstärke und Eigenart seines Fahrzeugs sowie der Schwere seiner Anhänge mehr oder weniger weit vor dem Schleusenhaupt anzulegen und auf Freigabe der Einfahrt zu warten. Das Leitwerk dient dann nicht mehr dem ganzen Schleppzug, sondern nur noch solchen Schiffen zur Führung, die etwa Gefahr laufen, mit dem Bug die Schleuseneinfahrt zu verfehlen. Hierfür genügt aber in gleicher Weise wie bei den aus dem freien Fahrwasser einfahrenden Schiffen oder Schleppzügen eine stärkere Schräglage (1 : 4) ebenso gut wie eine geringere.

Hierdurch würde eine vielseitige Ausnutzung der Schleuse gewährleistet sein. Die in den »neuen Vorschlägen« vorgesehene verschiedene Neigung der Leitwerke für Schleusen mit Treidelbetrieb und für »Bugsierschleusen« ist wenig glücklich, weil sie die Freizügigkeit der Betriebsweise und eine spätere Umstellung stark einschränkt. Hinzu kommt, daß der Anteil der Selbstfahrer am Binnenschiffsverkehr von Jahr zu Jahr zunimmt. Für Selbstfahrer ist aber auch eine stärkere Neigung des Leitwerks (1 : 4) zur sicheren Führung des Schiffes durchaus ausreichend, so daß in diesem Falle der gewollte Vorteil der starken Neigung der Leitwerke — kurze Einfahrtslänge und -zeit — voll ausgenutzt wird.

Gegenüber den kurzen Leitwerken bieten »gebrochene« Leitwerke keinerlei Vorteile, zumal die ersten 15 m in einer Schräglage von 1 : 20 mit Rücksicht auf die Einschnürung des Wasserquerschnitts nicht als offene Leitwerke ausgeführt werden können. Zusammenfassend kann daher gesagt werden, daß die in den »Richtlinien« gegebenen Grundsätze, die Schleusenleitwerke bei 40 bis 50 m Gesamtlänge in einer Neigung von 1 : 4 bis 1 : 5 auszubilden, auch heute noch Gültigkeit haben sollten.

Für die gegenüberliegende Seite der Einfahrtsstrecke empfehlen die Richtlinien, in gleicher Linienführung ein Leitwerk zu errichten, damit Schiffe, die hier auf Schleusung warten (u. a. Vorschleusungsberechtigte) mit der gleichen Sicherheit

in die Schleusenkammer einfahren können. Gegen die Schräglage der Ausfahrtsleitwerke (1:4 bis 1:5) werden im allgemeinen Einwendungen nicht erhoben. Die Länge dieser Leitwerke kann — insbesondere bei Doppelschleusen — wesentlich eingeschränkt werden. Zum Anlegen der vorschleusungsberechtigten Fahrzeuge werden ein bis zwei Dalben vor dem Ausfahrtsleitwerk genügen.

Die grundsätzliche Lösung der Übergangsstrecke vom Oberhaupt zum oberen Vorhafen ist in Abb. 6 dargestellt worden. Da der ausfahrende Schleppzug zunächst geradeaus fahren muß, um mit den Anhängen die Schleuse ungefährdet zu verlassen, muß der einfahrende Schleppzug außerhalb dieses Fahrbahnstreifens so viel Platz an den Leitwerken vorfinden, daß er den ausfahrenden Schleppzug nicht behindert und zusätzlich einen Mindestabstand von 3,0 m hat. Bei einer äußersten Neigung von 1:4 würden daher unter Annahme einer 12 m breiten Schleusenammer z. B. bei 9,5 m breiten Fahrzeugen $(9,5 + 1,75) \cdot 4 = 45$ m erforderlich sein. Hiervon entfallen rd. 28 m auf die geschlossene Leitwand, die im Anschluß an den Notverschluß beginnen könnte. Die letzten 17 lfdm der Übergangsstrecke werden zweckmäßig als offene oder mindestens unter Wasser offene Leitwerke ausgeführt. Im Anschluß an die Einfahrtsleitwerke der Übergangsstrecke sind jeweils zwei Dalben für jede Schiffslänge anzuordnen, um den Fahrzeugen ein bequemes Anlegen und Festmachen in den Vorhäfen zu ermöglichen.

Die Ausbildung der Übergangsstrecke vom Unterhaupt zum unteren Vorhafen kann in grundsätzlich gleicher Anordnung erfolgen. Jedoch wird hier im allgemeinen ein geschlossenes Leitwerk von etwa 10 bis 15 lfdm genügen, da hier die bei der Füllung der Schleusen festgestellten Schwierigkeiten nicht auftreten. In den Fällen, in denen am Ende des Unterhauptes ein besonderer Übergang zum unteren Vorhafen nicht vorgesehen wird, werden sich Wirbelstraßen bilden, die eine stärkere Sohlenbefestigung erfordern.

Tafel 6 gibt eine gute Übersicht über den Einfluß der Schleusenein- und -ausfahrten. Offene Leitwerke sind im Bereich der Schleusenübergänge der untersuchten Schleusen nur bei der Schleuse Meppen und im Unterwasser der Schleuse II vorhanden. Bei der Schleuse Meppen sind die Nachteile der offenen Leitwerke an Ort und Stelle recht überzeugend zu beobachten. Außerdem beträgt die Neigung der Leitwerke zur Schleusenachse auf der Einfahrtsseite im Oberwasser 1:10. Wenn in diesem Falle die Verholzeiten trotzdem noch als recht günstig festgestellt wurden, so ist das darauf zurückzuführen, daß für die Länge der Einfahrtsstrecke nicht die vorkommenden größten Fahrzeuge berücksichtigt wurden. Einer Neigung von 1:10 müßte bei 1000 t-Fahrzeugen mindestens eine Übergangsstrecke von rd. 95 m entsprechen, während nur 45 m vorhanden sind. Trotzdem haben sich hier bisher nennenswerte Schwierigkeiten nicht ergeben.

Die Verholzeiten schwanken bei den Beispielen zwischen 12,1 und 18,7 min bei Richtungsschleusungen und 12,5 und 19,3 min bei den Kreuzungsschleusungen. Die günstigsten Verholzeiten ergaben sich bei der Schleuse Dörpen, bei der die vorstehenden Grundsätze zum Teil bereits Berücksichtigung gefunden haben.

Um einen absoluten Vergleich für den Einfluß der Länge und Neigung der Übergangsstrecken zu erhalten, sind in den Spalten 6 bis 8 der Tafel 6 Übergangsstrecken mit einer Neigung von 1:4, 1:6 und 1:8 zur Schleusenachse sowie mit entsprechenden Längen dieser Schleuseneinfahrten unter Zugrundelegung der Verhältnisse der Schleuse Hünxe untersucht worden. Der Einfluß der längeren Übergangsstrecken ist nicht allzu bedeutend. Die Verholzeiten erhöhen sich gegenüber einer Länge der Übergangsstrecke von 40 m, d. h. gegenüber einer

Tafel 6
Der Einfluß der Ausbildung der Schleuseneinfahrten.

| | Schleuse Meppen | Schleuse Hünxe | Schleuse II | Schleuse Dörpen | Schleuse a | Schleuse b | Schleuse c | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Kammerabmessungen | | | | | | | | |
| nutzbare Länge | 165,0 m | 225,0 m | 165,0 m | 105,0 m | 165,0 m | 165,0 m | 165,0 m | |
| nutzbare Breite | 10,0 m | 12,0 m | 10,0 m | 12,0 m | 12,0 m | 12,0 m | 12,0 m | |
| Gefälle | 4,2 m | 6,0 m | 3,7 m | 1,2 m | 4,2 m | 4,2 m | 4,2 m | |
| Ausbildung der Leitwerke | | | | | | | | |
| | offene Leitwerke im Ober- und Unterwasser | geschlossene Leitwerke im Ober- und Unterwasser | geschlossene Leitwerke im Oberwasser, offene Leitwerke im Unterwasser | geschlossene Leitwerke im Ober- und Unterwasser | |
| Neigung der Leitwerke | | | | | | | | |
| | Oberwasser Einf. 1 : 10 Ausf. 1 : 6 | Oberwasser Einf. 1 : 7 Ausf. 1 : 4,7 | Oberwasser Einf. 1 : 7 Ausf. — | Oberwasser Einf. 1 : 6 Ausf. 1 : 4 | Oberwasser Einf. 1 : 4 Ausf. 1 : 4 | Oberwasser Einf. 1 : 6 Ausf. 1 : 4 | Oberwasser Einf. 1 : 8 Ausf. 1 : 4 | |
| | Unterwasser Einf. 1 : 5,7 Ausf. 1 : 6,7 | Unterwasser Einf. 1 : 6,5 Ausf. 1 : 4,7 | Unterwasser Einf. 1 : 7 Ausf. — | Unterwasser Einf. 1 : 6 Ausf. 1 : 4 | Unterwasser Einf. 1 : 4 Ausf. 1 : 4 | Unterwasser Einf. 1 : 6 Ausf. 1 : 4 | Unterwasser Einf. 1 : 8 Ausf. 1 : 4 | |
| Länge der | | | | | | | | |
| | 45 m | 50 m | 70 m | 30 m | 40 m | 60 m | 80 m | |
| mittl. Verholzeit | | | | | | | | |
| | V _R 14,4 min V _K 14,9 min | 18,7 min 19,3 min | 13,1 min 14,0 min | 12,1 min 12,5 min | 16,1 min 16,6 min | 16,3 min 17,1 min | 16,8 min 17,8 min | |
| mittl. Schleusenzeit | | | | | | | | |
| | S _R 39,6 min S _K 55,0 min | 49,6 min 69,5 min | 38,2 min 55,1 min | 28,6 min 41,5 min | 44,4 min 61,5 min | 44,6 min 62,5 min | 45,1 min 63,9 min | |

Neigung der Leitwände von 1:4 zur Achse der Schleusenammer bei einer Richtungsschleusung um 1,2% bei 60 m, um 4,3% bei 80 m langen Leitwerken. Die entsprechenden Werte bei einer Kreuzungsschleusung betragen 3,0% bei 60 m und 7,2% bei 80 m langen Leitwerken.

4. Einfluß der Torverschlüsse sowie der Füll- und Entleerungseinrichtungen.

Der Zeitbedarf für die Torbewegungen weicht trotz verschiedenartiger Ausführung der Tore voneinander verhältnismäßig wenig ab. Er ist so gering, daß er einen nennenswerten Einfluß auf die Leistungsfähigkeit der Schleusen nicht hat.

Auch die Füll- und Entleerungseinrichtungen weisen trotz verschiedenartiger Ausführungen bei den untersuchten vier Schleusen keine wesentlichen Unterschiede in den Füll- und Entleerungszeiten auf.

| | Schleuse Meppen | Schleuse Hünxe | Schleuse II | Schleuse Dörpen |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Flächenverhältnis $f = F/U$ | 252 | 230 | 224 | 375 |
| mittlere Füllzeit | 9,8 min | 9,5 min | 8,5 min | 5,0 min |
| mittlere Leerzeit | 7,0 min | 9,0 min | 6,0 min | 4,5 min |
| mittlere Steiggeschwindigkeit | 0,42 m/min | 0,63 m/min | 0,43 m/min | 0,24 m/min |
| maximale Steiggeschwindigkeit | 0,59 m/min | 0,95 m/min | 0,73 m/min | 0,31 m/min |
| mittlere Fallgeschwindigkeit | 0,60 m/min | 0,67 m/min | 0,62 m/min | 0,27 m/min |
| maximale Fallgeschwindigkeit | 1,89 m/min | 1,72 m/min | 1,51 m/min | 0,74 m/min |

F = Gesamtfläche der Kammer

U = Querschnitt der Umläufe bzw. Schützen

Lediglich die Schleuse Dörpen hat einen geringeren Zeitbedarf für Füllen und Entleeren. Absolut betrachtet ist dieser Zeitbedarf jedoch noch verhältnismäßig hoch, da die mittlere Steig- und Fallgeschwindigkeit infolge des sehr geringen Druckgefälles und bei ungünstigstem Flächenverhältnis f nur 0,24 m/min bzw. 0,27 m/min und damit weniger als die Hälfte der entsprechenden Werte der übrigen drei Schleusen beträgt.

Die besonders günstige Füll- und Leerzeit der Schleuse Hünxe ist neben der vorhandenen Druckhöhe von 6,0 m in erster Linie auf die recht leistungsfähige unmittelbare Füllung und Entleerung durch die in den Hubtoren befindlichen Rollkeilschützen zurückzuführen. Die übrigen drei Schleusen haben kurze Umläufe, die bei der Schleuse II durch Zylinderschützen, bei den Schleusen Meppen und Dörpen dagegen durch Rollkeilschützen abgeschlossen sind.

Von einer Erhöhung der Steiggeschwindigkeiten zur Abkürzung der Füllzeiten wurde im allgemeinen Abstand genommen, da hierdurch gleichzeitig eine Steigerung der Trossenkräfte eintritt, die sich parallel zur Kammerachse (Längskräfte) zwischen $1/600$ und $1/1000$ des Bruttoschiffgewichts bewegen sollen. Die Schiffskräfte senkrecht zur Kammerachse (Querkkräfte) sollen äußerstenfalls 50% der Längskräfte betragen. Eine Abkürzung der Füllzeiten durch Erhöhung der Steiggeschwindigkeiten bei gleichzeitiger Steigerung der Trossenkräfte wurde in der Regel auch aus dem Grunde nicht angewendet, weil der geringe Zeitgewinn bei den mannigfachen Schwankungen und Verzögerungen, die sich aus dem Verkehr und Betrieb ergeben, in keinem Verhältnis zu der geringeren Verkehrssicherheit steht, die in diesem Falle vorhanden wäre.

Die unmittelbare Füllung durch Torverschlüsse bringt bei ausreichender Bemessung kurze Füllzeiten. Wenn es durch geeignete Maßnahmen gelingt, die Strömungsenergie weitgehend zu vernichten oder abzdämpfen, so besteht hier eine gewisse Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit der Schleusen bei sonst gleichen Annahmen zu steigern. Bei Umläufen und Anordnung von seitlichen Stichkanälen bzw. bei Wasserzuleitung von der Sohle können die Trossenkräfte im allgemeinen recht gering gehalten werden. Dagegen erfordert der Füllvorgang in der Regel wegen größerer Reibungsverluste eine längere Zeit.

V. Anordnung von Schiffsschleusen für den Fall, daß alle Tore sowohl für die Hochwasser- als auch für die Geschiebeabführung offen sind.

1. Vorkommen der Hochwasserabführung.

Die Heranziehung von Schleusen zur Abführung von Hochwasser und damit von Geschiebe und Eis stellt einen Ausnahmefall dar. In Deutschland befindet sich, soweit bekannt, nur eine einzige entsprechend eingerichtete Schleuse in Betrieb (Heilbronn, seit Juli 1952). Eine weitere Schleuse ist im Bau (Würzburg), drei sind geplant (Regensburg, Jochenstein/Donau, Raffelberg/Ruhr). Die Benutzung der Schleuse zu einem von ihrer hauptsächlichen Bestimmung abweichenden weiteren Zweck ist mit gewissen Nachteilen verbunden. Diese liegen weniger in der in neuerer Zeit einwandfrei zu lösenden Frage der Torverschlüsse, als in der Versandung der Schleuse selbst und ihrer Vorhäfen. Während die verhältnismäßig enge Schleuse besser durchspült wird, können die demgegenüber breiteren Vorhäfen so stark versanden, daß die Schifffahrt nach abfallendem Wasser behindert ist. Bei den bisherigen Ausführungen und Planungen traten diese Bedenken teils wegen geringer Geschiebeführung, teils wegen der Seltenheit der Hochwasserabführung durch die Schleuse zurück.

Vier Beweggründe können die Veranlassung sein, Schleusen zur Abführung von Hochwasser heranzuziehen.

1. Vom Abflußquerschnitt wird durch den Einbau der Schleusen oder sonstiger Teile einer Staustufe so viel in Anspruch genommen, daß er mangels anderer Ausdehnungsmöglichkeit nur durch Mitbenutzung der Schleuse wiederhergestellt werden kann. Dieser Fall liegt besonders bei der Anlage von Staustufen in Stadtgebieten oder engen Tälern vor.

2. Der vorhandene Abflußquerschnitt bedarf einer Erweiterung. Die außerhalb des Abflußquerschnittes liegende Schleuse wird daher zusätzlich zur HW-Abführung herangezogen, was unter Umständen auch nachträglich an einer vorhandenen Schleuse geschehen kann (Raffelberg).

3. Die Talgestaltung reicht aus, dem Abfluß durch das Wehr hindurch ausreichenden Querschnitt zu bieten, es soll aber eine Wehröffnung eingespart werden. Die Schleuse wird also an Stelle einer Wehröffnung zur Hochwasser-Abführung eingerichtet.

4. Es soll lediglich höhere Sicherheit bei der Abführung von Hochwasser erreicht werden. Dies kann sich darin ausdrücken, daß man mit dem Abfluß eines wahrscheinlichen Katastrophenhochwassers durch das Wehr allein rechnet, während für den Abfluß eines alle nur denkbaren Möglichkeiten einschließenden Katastrophenhochwassers auch die Schleuse mitgerechnet wird.

2. Bauliche Maßnahmen.

a) Allgemeine Maßnahmen.

Die Hochwasserabführung durch eine Schleuse erfordert verschiedene besondere Maßnahmen. Lage und Richtung der Schleuse werden im allgemeinen bereits nach anderen Gesichtspunkten festgelegt sein. Dagegen kann die Heranziehung der Schleusen zur Hochwasserabführung den Entschluß zur Anlegung einer Doppelschleuse schon im ersten Ausbau erleichtern. Während der Schiffsverkehr meist nur allmählich zunimmt, so daß vorerst eine der zwei Schleusen genügt, muß für Hochwasser sogleich der volle Abflußquerschnitt zur Verfügung stehen. Die Schleusenkammer selbst erfährt keine Änderung für den besonderen Zweck. Auch Spülvorrichtungen gegen eingedrungenes Geschiebe wurden bisher in keinem Falle vorgesehen. Eine Spülung mittels der Obertore ist bei geeigneter Tor konstruktion möglich, ebenso eine einfache Ausbaggerung mit einem Schwimmgreifer. Die oberen Leitwerke sollten jedoch auf jeden Fall voll und nicht, wie aus schiffahrtstechnischen Gründen oft vorteilhaft, durchbrochen angeordnet werden. Die Vorhäfen sind je nach den auftretenden Geschwindigkeiten und den Untergrundverhältnissen zu befestigen; die Aufwendungen dafür können unter Umständen so erheblich sein, daß sie ausschlaggebend für die Bemessung der durch die Schleuse abzuführenden sekundlichen Wassermenge sind.

b) Maßnahmen an den Toren.

Die wichtigsten Maßnahmen wegen der HW-Abführung, sind an den Schleusentoren zu treffen. Das Obertor oder Untertor ist so auszubilden, daß es gegen Wasserdruck geöffnet und geschlossen werden kann, und zwar innerhalb kurzer Zeit. Hierfür ist das Obertor zu bevorzugen, weil die lange Schleusenkammer als Beruhigungsbecken beim Einströmen des Wassers dient. Dies ist auch bei allen bekannten Ausführungen und Planungen der Fall. Die Obertore müssen alle Anforderungen erfüllen, die sonst an Wehrverschlüsse zu stellen sind. Folgende Ausführungen wurden bisher gewählt:

1. Einfache Hubtore (Heilbronn). Es kann dies als der Normalfall bezeichnet werden. Die Füllung der Kammern ebenso wie das Einleiten des Durchflußvorganges geschieht durch Anheben des Tores.

2. Geteilte Hubtore (Regensburg). Diese Tore entsprechen den vorigen, nur benötigen sie eine geringere Höhe der Aufbauten.

3. Senktore und zweiteilige Hubsenktore (Jochenstein). Die Bewegung gegen Wasserüberdruck ist in gleicher Weise möglich wie bei Hubtoren. Die Anordnung wurde wegen des Füllvorganges im normalen Betriebe gewählt.

4. Drehsegmenttor (Würzburg), Abb. 7. Dieses Tor hatte ebenfalls zur Kammerfüllung beizutragen, mußte aber auch der Bedingung einseitigen Antriebes entsprechen. Es kann, wie Hubtore, aus jeder beliebigen Lage in jede beliebige Lage gegen den jeweils vorherrschenden Wasserdruck bewegt werden. Zusätzlich zu den bei den anderen Toren zu machenden Lastannahmen war für das Drehsegmenttor, weil es flach umgelegt wird, noch eine Auflast von 1 m Geschiebe anzunehmen. Der Rücken des Tores wurde der Hochwasser- und Geschiebeabführung wegen ganz glatt ausgebildet.

5. Klapptor mit eingebauten Rollkeilschützen (Raffelberg). Dieser durchgearbeitete Ausführungsvorschlag zeigt, daß es im Falle nachträglicher Einrichtung einer Schleuse zur Hochwasserabführung auch möglich ist, Torsysteme, die eigentlich nicht dafür brauchbar sind, zu verwenden.

6. Segmenttor mit Stauwand unterstromseitig vom Drehpunkt (Raffelberg). Dieser zweite Ausführungsvorschlag ist ebenfalls durch die Anpassung an die bestehende Schleuse entstanden. Das Tor hatte insbesondere die Forderung zu erfüllen, die durch die Schleuse abzuführende Hochwassermenge zu begrenzen. Das Tor kann in jeder beliebigen Stellung überströmt werden.

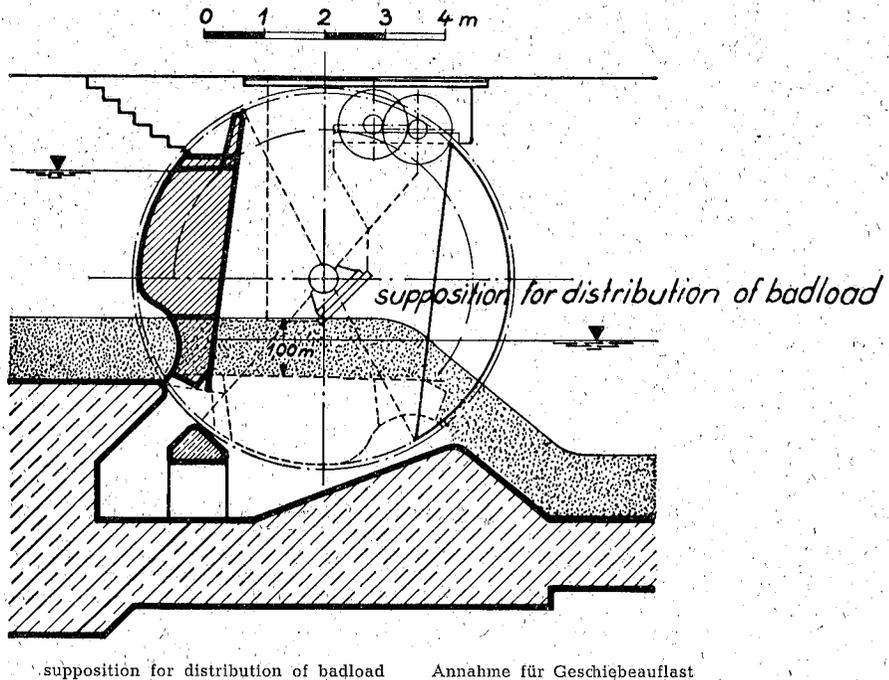


Abb. 7. Drehsegmenttor.

Als Untertore sind in allen Fällen normale Stemmtore vorgesehen. Wegen der Strömung durch die Kammer ist eine Verriegelung mittels Exzenter zu empfehlen.

3. Vorteile der Maßnahmen.

In den angeführten Beispielen wurde ein Anteil der Schleuse an der Gesamthochwasserabführung bis zu etwa einem Viertel erreicht. Wo lediglich erhöhte Sicherheit erzielt werden sollte, liegt der Anteil erheblich darunter. Die besonderen Maßnahmen wegen der Hochwasser- und Geschiebeabführung, sofern sie nicht nachträglich getroffen werden müssen, sind geringfügig. Voraussetzung ist allerdings, daß bereits aus anderen Gründen ein gegen Wasserdruck zu öffnendes Obertor gewählt wurde. Da diese Voraussetzung neuerdings häufig erfüllt ist, läßt sich mit geringen Mitteln ein wesentlicher abflußtechnischer Vorteil erreichen.