

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Hager, Martin; Heuser, Hans; Lasar, Siegfried; Mosonyi, Emil; Mykleby, Olav; Pabst, Hermann Ulrich; Schäle, Erich**

## **Methoden für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Wasserstrassen**

Deutsche Beiträge. Internationaler Schifffahrtkongress (PIANC)

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**PIANC Deutschland**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104785>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hager, Martin; Heuser, Hans; Lasar, Siegfried; Mosonyi, Emil; Mykleby, Olav; Pabst, Hermann Ulrich; Schäle, Erich (1977): Methoden für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Wasserstrassen. In: PIANC Deutschland (Hg.): Deutsche Beiträge. 24. Internationaler Schifffahrtkongreß; Leningrad, UdSSR, September 1977. Bonn: PIANC Deutschland. S. 8-29.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## Thema 1

### Methoden für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Wasserstraßen

- durch Verbesserung der Fahrwasser, Schleusen und Terminals;
- durch eine vernünftige Auswahl der Verkehrsmittel und ihrer Ausrüstung;
- durch Systeme der Verkehrsüberwachung und Verkehrslenkung;
- durch verschiedene Maßnahmen gegen das Eis

Berichtersteller: Dr.-Ing. Martin Hager, Bundesverkehrsministerium, Bonn; Prof. Dr.-Ing. Hans H. Heuser, Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg; Dipl.-Ing. Siegfried Lasar, Bauoberrat, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe; o. Prof. Dr. Dr. Dr. h. c. Emil Mosonyi, Versuchsanstalt für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe; Dipl.-Ing. Olav Mykleby, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd, Würzburg; Rechtsanwalt Hermann-Ulrich Pabst, Bundesverband der deutschen Binnenschifffahrt e. V., Duisburg; Dr.-Ing. Erich Schüle, Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V. Duisburg

### Zusammenfassung

Die Frage nach der Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Wasserstraßen muß aus der Sicht der Wirtschaftlichkeit des Gesamtverkehrssystems betrachtet werden. Im einzelnen wird die Entwicklung der Flottenstruktur der Schiffe und Schiffsverbände und ihrer Steuerungs- und Navigationsmittel behandelt. Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Transportmittel geht der Trend zur großen Schiffseinheit, wodurch zugleich erhöhte Anforderungen an die Antriebs- und Steuerorgane gestellt werden. Hier sind erfolgversprechende Entwicklungen im Gange, die bei der künftigen Gestaltung von Wasserstraßen in Betracht zu ziehen sind.

Für die Gestaltung des Fahrwassers sind umfangreiche Naturmessungen mit Einzelschiffen und Schiffsverbänden durchgeführt worden, die bei der Bemessung der Fahrwasserbreiten und -tiefen Berücksichtigung finden. Die zur Bestimmung der Fahrbahnbreite notwendigen Parameter unterliegen einem weiten Schwankungsbereich. Die Bemessungsunsicherheiten lassen sich durch die Wahl ausreichender Sicherheitsabstände oder durch Verbesserung der Steuerungs- und Navigationsmittel ausgleichen. Für die Fahrwassertiefe sind in Abhängigkeit von der relativen Schiffsgeschwindigkeit Grenztiefen gefunden worden, die im natürlichen Gewässer nicht unterschritten werden sollten.

Wasserstraße und angrenzende Häfen sind in der Gestaltung ihrer Anlagen und Einrichtungen aufeinander und auf die Verkehrsanforderungen abzustimmen. Durch Mittel der Verkehrslenkung und -information können Leistungsfähigkeit und Sicherheit verbessert werden.

Die Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße hängt wesentlich von der Schnelligkeit der Überwindung der in ihr liegenden Abstiegsbauwerke ab. Die Verkürzung der Füll- und Entleerungszeiten bei gleichzeitiger Verbesserung der hydraulischen Verhältnisse beim Schleusungsvorgang hat besonders bei Schleusen mit großer Fallhöhe Bedeutung. Die in Betracht kommenden Maßnahmen und ihre Wirkungen sind anhand von Ergebnissen aus Modelluntersuchungen im Theodor-Rehbock-Flußbaulaboratorium der Universität Karlsruhe für die hohen Schleusen am Main-Donau-Kanal und bei der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe für Schleusen am Elbe-Seitenkanal und Staustufen am Oberrhein dargestellt. Durch besondere konstruktive Lösungen werden Hub- und Senkgeschwindigkeiten bis zu 3 m/min erreicht, wobei

eine ausreichend ruhige Lage der Schiffe während der Schleusung sowohl in der Kammer, als auch an den Liegeplätzen in den Vorhäfen erreicht wird:

Witterungsbedingte Einflüsse auf den Wasserstraßenverkehr sind heute mit Ausnahme außergewöhnlicher Hochwasserabflüsse und gewisser Beeinträchtigungen durch Eis allgemein ohne betriebliche Sonderaufwendungen beherrschbar.

Die Eisbildung kann durch Kühlwassereinleitung zwar erheblich vermindert, aber mit wirtschaftlichen Mitteln nicht vollständig unterbunden werden; die bewährten Verfahren zur Eisbekämpfung können besonders bei Verbesserung der Langzeitvorhersage zur Verringerung von Eisbehinderungen beitragen.

## 1. Allgemeine Gesichtspunkte

Die Wahl der Mittel zur Verbesserung der Verkehrssysteme ist von dem unter den gegebenen Bedingungen und dem zu erwartenden Verkehrsaufkommen erzielbaren Erfolg und dem dafür notwendigen Kostenaufwand abhängig. Je nach dem Ergebnis einer hierauf gerichteten Untersuchung kann die wirtschaftlichste Lösung für die erstrebte Verbesserung im Bereich von Nautik, Schiffbau, Schiffsantriebstechnik, in den Abmessungen oder der technischen Gestaltung der Wasserstraßen, der Häfen, der Betriebseinrichtungen oder der Betriebsorganisationen oder in einer Kombination von Maßnahmen aus den genannten Bereichen gefunden werden.

Günstige Nutzen-Kosten-Relationen können in jedem Falle nur entstehen, wenn Wasserstraßen und angrenzende Häfen in der Gestaltung ihrer Anlagen und Einrichtungen aufeinander und auf die Verkehrsanforderungen weitgehend abgestimmt sind. Je nach den hydrologischen, hydraulischen oder geografischen Gegebenheiten ist bei natürlichen Gewässern das Mittel der Regelung oder Stauregelung geeignet, wobei die verkehrlichen und außerverkehrlichen Nutzen und Nachteile in Betracht zu ziehen sind. Im übrigen sind bei Beschränkung der Wasserstraßenabmessungen oder einer erstrebten Vergrößerung der Schiffseinheiten Möglichkeiten der dauerhaften Gestaltung von Gewässerbettauskleidungen und besonders der Uferbefestigungen zu untersuchen. Außerdem fördert eine möglichst umfassende Verkehrsinformation und Verkehrslenkung die Leistungsfähigkeit und damit die Leichtigkeit und Sicherheit auf der Wasserstraße, wobei der Erfolg wesentlich von der umfassenden Ausstattung aller am Verkehr Beteiligten mit den erforderlichen Kommunikationsmitteln z. B. im Rahmen des Funkverkehrs „Nautische Informationen“ abhängig ist.

## 2. Auswahl der Verkehrsmittel

### 2.1 Flottenstruktur

Die Struktur der deutschen Binnenschiffsflotte hat sich seit Ende des 2. Weltkrieges grundlegend gewandelt. Der früher vorherrschende Schleppzug mit dem Schleppkahn als Transportgefäß ist seit 1950 immer mehr durch das Motorgüterschiff als seither wichtigstem Transportmittel verdrängt worden. Seit 1960 übernehmen die im Schubverband verwendeten Schubleichter und Schubkähne einen stetig wachsenden Anteil des Frachtraums. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung auf einen Blick.

Die auffälligen Veränderungen haben ihre entscheidenden Ursachen

- a) in der überproportionalen Zunahme der Personalkosten bei festgelegter Mindestbesatzung
- b) im Ladungsangebot nach Art und Menge
- c) im Zwang zur Kostensenkung für die Liegezeiten.

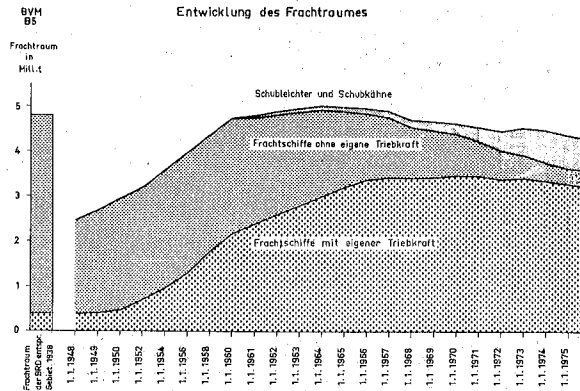


Abb. 1: Entwicklung des Binnenschiffsfrachtraums

Zu a)

Die Steigerung der Personalkosten zwingt im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanforderungen dazu, besonderes Gewicht auf die Erzielung eines möglichst hohen personalbezogenen Nutzungsgrades

$$A_p = \frac{\text{Tonnen Ladung}}{\text{Mann Besatzung}} \text{ [t/Mann]}$$

zu legen. Der Vergleich der relativen personalbezogenen Nutzungsgrade der verschiedenen Transportmittel für den gleichen Bezugstiefgang fällt nach Tabelle 1 klar zugunsten des Schubverbandes aus.

**Tabelle 1: Personalbezogener Nutzungsgrad**  
Basis: Niederrheinverkehr, Tiefgang 3,0 m

Transportmittel, Fahrzeuge	A <sub>p</sub> %
I SCHLEPPZUG Schlepper + 4 Schleppkähne 80 x 9,5 m	29,7
II MOTORGÜTERSCHIFFE MS alleinfahrend 80 x 9,5 m schleppend mit 1 Schleppkahn 80 x 9,5 m schleppend mit 2 Schleppkähnen 80 x 9,5 m	39,1 39,9 38,1
III SCHUBVERBAND MS-SCHUBVERBAND: Motorgüterschiff + 1 Schubkahn je 80 x 9,5 m SB-SCHUBVERBAND: Schubboot + 2 Typleichter Europa II in Reihe Schubboot + 4 Typleichter Europa II	60,0 60,0 100,0

Zu b)

Der Anteil des Stückgutverkehrs am Transportvolumen der Binnenschifffahrt ist seit langem rückläufig; die Massengüter in fester und flüssiger Form überwiegen. So hat z. B. das Gesamtgüteraufkommen auf dem Niederrhein am wichtigen Grenzdurchgang zu den Niederlan-

den in den letzten 10 Jahren von 73 059 Mio t im Jahr 1964 auf 127 921 Mio t im Jahre 1974 und davon der Anteil an Massengütern von 50 310 Mio t auf 105 770 Mio t zugenommen. Das entspricht einer Steigerung des Massengutanteils von 68,9 % auf 82,7 %. Hieraus wird die Forderung nach Transporteinheiten mit hoher Ladefähigkeit, also in erster Linie nach Einsatz von Schubverbänden deutlich, soweit das Fahrwasser es zuläßt und die Partiegrößen entsprechend groß sind.

Zu c)

Liegezeitverkürzungen setzen die Rationalisierung des Hafenumschlags voraus; dies führte zur Vergrößerung der Umschlagsgeräte, besonders der Greifer und Transportbänder. Bei stark gestiegenen Umschlagsmengen ist ein kostengünstiger Betrieb nur erreichbar, wenn ohne Zwischenumsetzen vollständig be- und entladen werden kann. Dies bedingt die Forderung nach großen Einzelgefäßen mit einem oder höchstens zwei Laderäumen. Damit lassen sich zugleich die umschlagsbedingten Liegezeiten senken und die Umlaufgeschwindigkeit der Fahrzeuge steigern. Davon unabhängig ging im regelmäßigen Massengutverkehr das Bestreben zur Trennung von Antrieb und Laderaum, damit der kostenintensive Antriebsträger unabhängig von der Liegezeit des Transportgefäßes zwischen den Zielorten pendeln kann.

Die in Tabelle 2 dargestellte Strukturwandlung der Güterschiffsflotte hat diesen Gesichtspunkten schon weitgehend Rechnung getragen.

**Tabelle 2: Zusammensetzung der Binnenschiffsflotte**  
(Stand jeweils am 1. Januar)

Transportmittel	Jahr		
	1964	1969	1974
Güterschiffe mit Eigenantrieb			
Anzahl	5 382	5 586	4 240
mittl. Tragfähigkeit in [t]	568	614	804
Schleppkähne			
Anzahl	2 197	1 355	504
mittl. Tragfähigkeit in [t]	862	807	813
Schubkähne (ohne Trägerschiffleichter), Schubleichter			
Anzahl	81	166	414
mittl. Tragfähigkeit in [t]	1 046	1 263	1 512
Schubboote, Schlepp-Schubboote			
Anzahl	14	38	98
mittl. Antriebsleistung in [PS]	910	685	1 029

Die Entwicklungstendenzen sind deutlich. Sie lassen sich auch aus dem in Abb. 2 dargestellten Altersaufbau der Gütermotorschiffe und Tankmotorschiffe erkennen. Die Entwicklung führt auf längere Sicht zu der wünschenswerten Homogenisierung der Flottenstruktur. Gegenwärtig werden die Weichen für eine gewisse Standardisierung der Schiffsgrößen gestellt. Bei den Schubleichtern ist eine solche durch die Typen Europa I, Europa II und Europa IIa bereits erreicht.

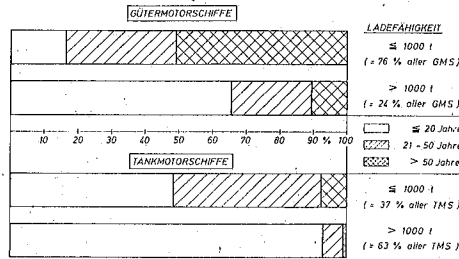


Abb. 2: Altersstruktur der Binnenschiffe mit eigenem Antrieb

Tabelle 3: Schubleichter

Typ		Europa I	Europa II	Europa IIa
Länge	m	70,00	76,50	76,50
Breite	m	9,50	11,40	11,40
Seitenhöhe	m	3,50	3,50	4,00
Ladefähigkeit (Trockenfracht)	t	1 700	2 240	2 565
20'-Container (2 Lagen)	—	56	70	68
Eigengewicht	t	270	320	400

Der Neubau von Schubleichtern hat sich im wesentlichen auch an diese Vereinheitlichung gehalten.

Bei Schubbooten und auch bei großen Motorschiffen sind noch deutliche Verbesserungen mit dem Ziel der Energieeinsparung möglich. Auf der Basis des Transportgütesgrades

$$G_T = \frac{L \cdot V_G}{P_B} \left[ \frac{\text{tkm}}{\text{PS} \cdot \text{h}} \right]$$

sind bestimmte Kriterien für Verbesserungen bei künftigen Neubauten von Schubbooten und Großmotorschiffen entwickelt worden. Sie betreffen einerseits die Steigerung der Ladefähigkeit (L) durch Vergrößerung der Schiffs- und Verbandslänge und durch Verminderung des Eigengewichts der Fahrzeuge.

Bei unveränderter Geschwindigkeit über Grund ( $V_G$ ) — deren Erhöhung wirtschaftlich nicht sinnvoll erscheint — ist andererseits eine spürbare Senkung der Antriebsleistung  $P_B$  durch Herabsetzung des spezifischen Widerstandes ( $\text{kN/m}^3$  Wasserverdrängung) und durch Steigerung des Wirkungsgrades im Propellerbereich, insbesondere durch Verwendung von Düsen aber auch durch günstigere Hinterschiffsformgebung sowie die relative Anordnung von Propellern und Rudern zueinander und zum Schiffskörper, zu erwarten.

Die Abmessungen der Großmotorgüterschiffe werden von den Maßen der europäischen Schiffahrtsschleusen begrenzt und haben sich bei Größen bis zu 110 x 11,4 m eingependelt. Untersuchungen sind in Vorbereitung, die eine wirtschaftlich optimale Länge mit Rücksicht auf das Verhältnis Ladefähigkeit/Eigengewicht unter den für die Längs- und die Torsionssteifigkeit schwierigen Bedingungen der — relativ zur Schiffslänge — sehr geringen Seitenhöhe ermitteln sollen.

## 2.2 Steuerungs- und Navigationshilfen zur Erhöhung der Sicherheit und zur Verminderung des Leistungsbedarfs

Die wachsende Verkehrsdichte und die damit verbundene Belastung der Schiffsführung haben zu erfolgreichen technischen Entwicklungen im Bereich der Steuerorgane und der Handhabung der Motorgüterschiffe und der Schubboote geführt.

### 2.2.1 Steuerorgane im Hinterschiffsbereich

Gegenüber dem „klassischen“ Profilruder hinter dem Propeller hat die Einführung von geteilten Profilrudern und die Entwicklung von Mehrflächen-Ruderanlagen mit ungeteilten Einzelprofilflächen eine wesentliche Verbesserung gebracht. In jüngster Zeit haben sich ungeteilte Einflächen-Ruder mit neuartigen Profilformen eingeführt, die — über ihre sehr guten Auftriebsbeiwerte in Voraufahrt hinaus — eine zuverlässig steuerbare Rückwärtsfahrt von Einschraubenschiffen möglich machen.

Bei der trotz wachsender Schiffs- bzw. Verbandslänge immer noch geringen Kursstetigkeit flachbodiger Schiffe stellt die Verwendung von Selbststeuergeräten nach dem Kurs-Kreiselpinzip, des sog. Autopiloten, eine wertvolle Hilfe dar, die je nach Schiffsart, Einsatzrelation und Wasserstand zu Fahrzeitverminderungen bis zu 5 % und gleichzeitig zur Entlastung der Schiffsführung führt.

Den nautischen Schwierigkeiten beim Stoppen in der Talfahrt wird bei Mehrschraubengüterschiffen durch Variationen der Propellerdrehzahlen auf beiden Schiffsseiten, bei Mehrschrauben-Schubbooten fast immer durch sog. Flankenruder vor den Propellern begegnet, wodurch nicht nur das „Aus-dem-Kurs-Laufen“ verhindert, sondern auch die Rückwärtsfahrt einwandfrei gesteuert werden kann. Die Flankenruder-Anlagen erfordern aber einen Mehraufwand an Antriebsleistung in der Voraufahrt bis zu 10 %. Sie können auch starke Anreger für Hinterschiffsschwingungen sein. Der Ersatz der Flankenruder (und gleichzeitig der Hauptruder) durch drehbare Propellerdüsen konnte sich bisher in der Bundesrepublik Deutschland und im übrigen Westeuropa nicht durchsetzen, da der Platzbedarf unter dem Hinterschiff groß und die Eignung der Drehdüse für enge Wendemanöver schlecht ist. Darüber hinaus geht durch den relativ großen notwendigen Spalt zwischen Propellerspitzen und Düseninnenwand ein nennenswerter Anteil des Düsengewinns für den Leistungsbedarf wieder verloren. Dennoch bleibt die Alternative der Drehdüsen zu Flankenruder und Hauptruderanlagen interessant, vor allem wenn es gelingt, die Düsen aus Gründen der Energieeinsparung in weit größerem Umfang als bisher in der Binnenschiffahrt einzuführen. Dies ist dadurch in greifbare Nähe gerückt, daß der frühere Einwand der Empfindlichkeit gegen Fremdkörper durch die Entwicklung selbstabweisender Düsen ohne Wirkungsgradverlust, die in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt wurde, weitgehend entfällt.

In den letzten Jahren hat sich der sog. Ruderpropeller als kombiniertes Antriebs- und Steuerorgan auch für große Binnenschiffe zunehmend eingeführt. Seine Bedeutung kann durch die Verwendung selbstabweisender Düsen besonders gefördert werden. Die Vorteile des gleichbleibenden Propellerdrehsinns für die Stoppeigenschaften und die Rückwärtsfahrt der Schiffe einerseits sowie des kleinen möglichen Spalts zwischen Propellerspitzen und Düseninnenwand für den Propulsionsgütegrad andererseits — die Düse ändert ihre Lage zum Propeller bei Steuermanövern nicht — sprechen eindeutig dafür.

### 2.2.2 Steuerorgane im Vorschiffsbereich

Im Hinterschiff konzentrierte passive oder aktive Ruderanlagen können Querversetzungen kaum beeinflussen, gerade dies ist notwendig, um z. B. An- und Ablegemanöver und Schleuseneinfahrten, aber auch schnelle Ausweichmanöver und vor allem das Kurshalten leerer Fahrzeuge bei Seitenwind sicher zu beherrschen. Daher werden Bugsteuerorgane besonders bei

Motorgüterschiffen über 100 m Länge immer mehr verwendet. Bevorzugt kommen aktive Steuerorgane zum Einsatz, die Querkräfte mit Hilfe eines Propellers erzeugen (Bugstrahlruder), um die gewünschte Steuerkraft auch bei kleiner Fahrtstufe zu erzielen. Anstelle der Anordnung von Bugstrahlrudern in Querkanälen, bei denen die erzeugbaren Querkräfte mit zunehmender Geschwindigkeit zurückgehen, sind seit kurzem Bugstrahlruder in Entwicklung, deren Ansaugöffnung ganz oder teilweise nach vorn gerichtet ist, so daß unter Ausnutzung der kinetischen Energie der Schiffsanströmung der Querkraftverlauf in Fahrt weit über den Stillstandswert hinaus ansteigt. Diese Entwicklung wird mit erheblichem Forschungsaufwand weiter gefördert. Ein für die Binnenschifffahrt brauchbares aktives Bugsteuerorgan mit gutem Wirkungsgrad ist bereits verfügbar. Es ermöglicht auch den Verzicht auf Flankenruder bei Motorgüterschiffen, da sowohl das „Aus-dem-Kurs-Laufen“ des bremsenden Schiffes abgefangen als auch eine gesteuerte Rückwärtsfahrt ohne Zuhilfenahme von Heckrudern oder Schraubenmanövern gesichert sind. Bei Schubleichtern werden teilweise vom Schubboot ferngesteuerte Bugflächenruder verwendet, um den zusätzlichen Investitionsaufwand auf den Leichtern klein zu halten. Sie sind bei Schubleichtern vielfach auch ausreichend, da die wesentlichen Verwendungszwecke, das sichere Durchfahren von Stromkrümmungen mit langen Verbänden bei reduziertem Driftwinkel und das Kurshalten von Verbänden aus leeren Leichtern bei Seitenwind, mit passiven Bugrudern erfüllt werden können.

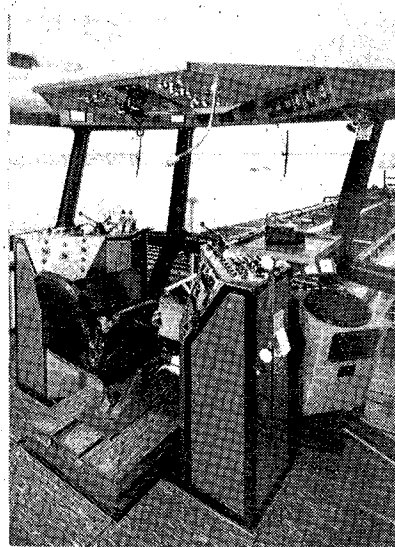


Abb. 3: Einheitsfahrstand

### 2.2.3 Einmannfahrstand

Die Bemühungen der deutschen Binnenschifffahrt in Zusammenarbeit mit Forschungsstellen der Ergonomie und der Arbeitsmedizin, einen bedienungsgerechten und dem Menschen angepaßten Arbeitsplatz im Steuerhaus zu schaffen, werden in der Konzeption eines Einheitsfahrstandes mit Fernbedienung und Überwachung aller wichtigen Funktionen durch nur eine Person erreicht. Gleichzeitig wird hierdurch ein wesentlicher Beitrag zur Steigerung der Verkehrssicherheit geleistet und eine wichtige Voraussetzung für den immer häufiger üblichen Wechsel der Besatzungen zwischen verschiedenen Schiffen geschaffen (siehe Abb. 3).



### 3. Gestaltung des Fahrwassers und der Häfen

Entsprechend den Entwicklungstendenzen zum größeren Schiff oder zum Schiffsverband in ein-, zwei- und dreireihiger Zusammensetzung können künftig folgende Maße in Betracht kommen:

**Tabelle 4: Schiffe und Schiffsverbände**

Schiffe	Verband
L = 110 m; B = 11,4 m	L = 185 m; B = 11,4 m
L = 110 m; B = 11,4 m	L = 185 m; B = 22,8 m
L = 125 m; B = 15,0 m	L = 270 m; B = 34,2 m

Die Festlegung der Fahrwasserbreiten und -tiefen und der Kurvenverbreiterungen für beschränkte oder unbeschränkte Verkehrsmöglichkeit richtet sich nach den Gegebenheiten und den Verkehrsanforderungen an die Wasserstraße. Dabei sind auch die sich aus der Verbesserung der Steuerungs- und Navigationsmittel ergebenden Vorteile zu berücksichtigen. Für die Bemessung ist die Kenntnis des Fahrverhaltens der Schiffe und Verbände maßgebend. Um dies qualitativ und quantitativ erfassen und praxisnahe bewerten zu können, sind in der Bundesrepublik experimentelle Untersuchungen am naturgroßen Objekt durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden veröffentlicht und für den Ausbau von Wasserstraßen der Klassen IV und V verwertet.

#### 3.1 Fahrwasserbreite

Die von einem Schiff eingenommene Fahrbahnbreite ist auch auf geradem Kurs stets größer als die eigene Schiffsbreite, weil die Geradeausfahrt selbst im labilen Zustand erfolgt. Eine Stabilisierung wird in der Regel durch die Ruderkraft erreicht, die jedoch erst bei Anstellung entstehen kann, so daß der Kurs auf gerader Strecke einer mehr oder weniger harmonischen

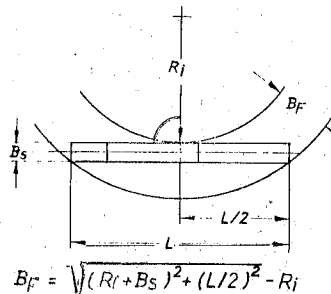
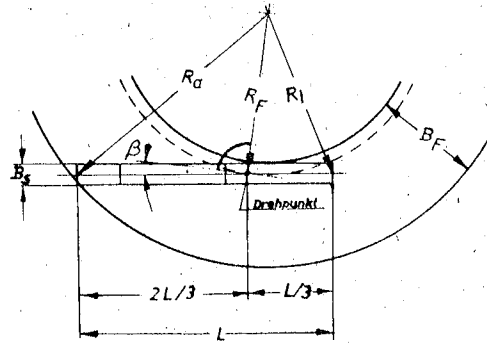


Abb. 4: Kurvenverbreiterung

Schlangenlinie gleicht, deren Amplitude Anhaltspunkte für die Qualität des Ruders, der Schiffsform, der Wasserstraße, aber auch des Rudergängers liefern kann. Von besonderer Bedeutung ist dabei die mit kleiner werdendem Radius notwendige Zunahme der Fahrbahnbreite. Die geometrischen Verhältnisse in der Kurve zeigt Abbildung 4. Der bei der Fahrt des Schiffes wesentlich größere Fahrbahnbreitenbedarf  $B_F$  ist nicht nur auf Kursunregelmäßigkeiten, sondern vor allem auf die Eigenart der Fliehkraftkompensation zurückzuführen. Massenkräfte, Strömungskräfte und Reibungskräfte bedingen einen bestimmten Driftwinkel  $\beta$ , wobei Bahnradius, Fahrgeschwindigkeit, Masse und Schiffsform von wesentlicher Bedeutung sind. Glaubt man, den

Driftwinkel  $\beta$  hinreichend genau bestimmt zu haben, läßt sich bei Weiterverfolgung der geometrischen Regeln auch die beanspruchte Fahrbahnbreite in vereinfachter Form nach Abb. 5



$$B_F = R_a - R_i + B_s \quad (\text{Lösung nach dem Cosinussatz})$$

$$R_a = \sqrt{R_F^2 + \left(\frac{2L}{3}\right)^2} + \frac{4L}{3} R_F \sin \beta \quad \cos(90^\circ + \beta) = -\sin \beta$$

$$R_i = \sqrt{R_F^2 + \left(\frac{L}{3}\right)^2} - \frac{2L}{3} R_F \sin \beta \quad \cos(90^\circ - \beta) = \sin \beta$$

Abb. 5: Kurvenverbreiterung bei Driftwinkel

errechnen. Da die aufgeführten Kenngrößen und Parameter jedoch einem weiten Schwankungsbereich unterliegen und darüber hinaus auch die Charakteristik der Wasserstraße eingeht, ist es nicht befriedigend, Fahrwasserbreiten nur aus quasi-stationären Betrachtungen herzuleiten. Hinzu kommt, daß eine Bogenfahrt auf natürlichen Krümmungen auch dann nicht zügig, d. h. mit konstantem Winkelverhältnis, ausgeführt werden kann, wenn dieser Bogen durch Böschungen korrekt gekennzeichnet ist, weil der momentane Kurs des Wasserfahrzeugs manuell mittels Steuerorgan vorgegeben werden muß und der Steuermann sich auf dem bewegenden Objekt selbst befindet. Die Naturuntersuchungen haben aber gezeigt, daß z. B. in strömenden Gewässern der Wasserstraßenklasse V, auf denen Geschwindigkeiten von ca. 14 km/h erreicht werden, ein gegenseitiger Abstand von 1 Verbandsbreite ausreichende Verkehrssicherheit bietet. Behält man diese Maße rein geometrisch in Krümmungen bei, dann erweitert sich der Abstand der Schwerpunkte gemäß Abb. 6 beträchtlich, so daß allein dadurch die etwaigen Unsicherheiten beim Durchfahren von Krümmungen aufgehoben werden.

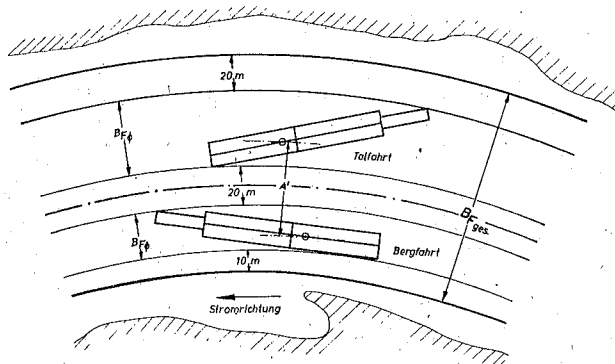


Abb. 6: Fahrbahnbreiten und Abstände für zweischiffigen Verkehr von 2gliedrigen Zwillingsverbänden bei 6 km/h Stromgeschwindigkeit und 14 km/h Fahrtgeschwindigkeit durch das Wasser

Die Abstände zur Fahrwassergrenze am Innenbogen können beträchtlich kleiner gehalten werden, weil es sowieso üblich ist, mit dem Bug nahe am Fahrwasserrand zu bleiben, während dem Heck am Außenbogen dadurch eine größere Navigationsfläche zur Verfügung steht. Die danach entwickelten Kurven für verschiedene Formationen zeigt in einem zusammenfassenden Diagramm Abb. 7. Aus ihnen ist durch Extrapolation auch die Fahrwasserbreite für gerade Strecken zu gewinnen. Der zweigliedrig einspurige Verband würde bei  $V_{dw} = 14$  km/h eine Fahrwasserbreite von 60 m beanspruchen. Da Wasserstraßen, wie Mosel, Untermain und auch die Donaustrecke Kelheim—Regensburg, nur eine Fahrwasserbreite von 50 m aufweisen, bedeutet dies eine Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit auf 12 km/h. Diese Geschwindigkeit ist, wie die Praxis zeigt, bei 2schiffigem Verkehr durchaus real, denn Wassertiefe und Schleusenmaße der Klasse IV sind auf einem solchen einspurigen Schubverband zugeschnitten. Umgekehrt sind die Maße der Einheiten diesem Konzept angepaßt.

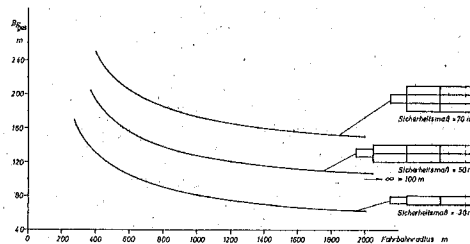


Abb. 7: Fahrwasserbreite bei Begegnung gleichgroßer Schubverbände in Flußkrümmungen bei Fahrtgeschwindigkeit durch das Wasser von mind. 5 km/h und Wassertiefen — Tiefgangsverhältnis 1,4 bis 3,0

### 3.2 Fahrwassertiefe

Die Bemessung der Fahrwassertiefe wird wesentlich durch die Absenkung beeinflusst, die das Schiff während der Fahrt erleidet. Über die Größe der Absenkung wurden erst in den letzten Jahren Einzelwerte durch Versuche gewonnen, aus denen die Bedeutung dieses Vorganges zu erkennen war.

Die Absenkung eines Schiffes ist eine Funktion der Schiffsförm und -größe, der Eintauchtiefe  $T$ , der Schiffsgeschwindigkeit über Grund  $V_{UG}$ , der Fahrwasserbreite  $B_F$  und der Fahrwassertiefe. Der Größtwert der Absenkung tritt beim Motorschiff je nach seinem Trimm am Bug oder am Heck und beim 2gliedrigen Schubverband am Heck des hinteren Leichters auf. Die Kurve der Absenkung  $s_z$  als Funktion der Schiffsgeschwindigkeit  $V_{UG}$  hat prinzipiell den in Abb. 8 dargestellten Verlauf. Danach wachsen die Werte mit steigender Schiffsgeschwindigkeit zunächst nur langsam, um dann in einem bestimmten Bereich sehr rasch zuzunehmen. Der

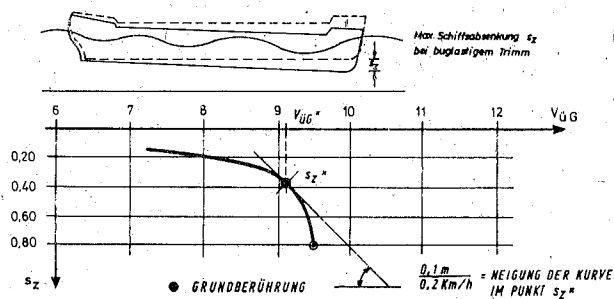


Abb. 8: Schematischer Verlauf der Absenkung  $s_z$  als Funktion der Schiffsgeschwindigkeit über Grund  $V_{UG}$

Grenzwert  $s_z^*$  ist nach Untersuchung an einer größeren Zahl von Kurven so festgelegt, daß in  $s_z^*$  die Kurventangente den Wert  $ds_z/dV_{UG} = 0,1 \text{ m}/0,2 \text{ km/h}$  hat. Wenn das Fahrwasser ausreichend tief ist, tritt die Grundberührung erst unterhalb  $s_z^*$ , also bei einer Geschwindigkeit über  $v_{UG}^*$  ein. Die Gefahr einer Grundberührung ist dann nicht gegeben. Im seichten Fahrwasser dagegen kann das Schiff schon auf Grund kommen, bevor der Grenzwert  $s_z^*$  erreicht ist. Besonders dieser Fall stellt für die Schifffahrt eine ernste Havariegefahr dar, weil der Schiffsführer in diesem sonst ungefährlichen Absenkungsbereich nicht auf eine Grundberührung gefaßt ist. Eine überaus große Zahl von Havarien im Rhein bei den niedrigen Wasserständen im Jahre 1976 lieferte hierfür ein eindringliches Anschauungsmaterial. Fahrwasserquerschnitte, bei denen Grundberührung schon bei  $s_z < s_z^*$  eintritt, sind daher u. a. U. zu vermeiden. Durchgeführte Versuche mit verschiedenen Verbandseinheiten und verschiedenen Fahrwasserhältnissen haben gezeigt, daß bei einer Abladetiefe von 2,50 m zur Vermeidung einer Grundberührung die Regeltiefe unabhängig von der Fahrwasserbreite für Einzelverbände knapp über 3,0 m und für Zwillingsverbände etwa 3,2 m betragen sollte. Übertiefen im Querschnitt setzen das notwendige Maß für die Regeltiefe herab, jedoch sollte 3,0 m nicht unterschritten werden.

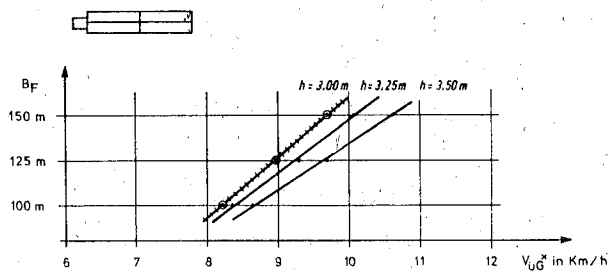


Abb. 9: Grenzggeschwindigkeit für zweigliedrigen Zwillingsverband

Fahrwassertiefe und Fahrwasserbreite bestimmen die Grenzggeschwindigkeit des Verbandes. Nach den Abb. 9 und 10 liegt die Mindestgrenzggeschwindigkeit für den Zwillingsverband unter ungünstigsten, gerade noch zulässigen Fahrwasserhältnissen bei  $8 \frac{1}{2} \text{ km/h}$ , der entsprechende Wert für den Einzelverband bei  $8 \text{ km/h}$ . Sie wächst bei größeren Fahrwassertiefen auf  $12 \text{ km/h}$  und darüber an.

### 3.3 Gewässerbett

In der technischen Gestaltung der Auskleidung des Gewässerbettes und besonders der Uferbefestigungen sind in der Wahl geeigneter und dauerhafter Baustoffe sowie in der Entwicklung der Bauweisen (z. B. verklammerte bzw. bewehrte und oberhalb der Böschung verankerte zusammenhängende Bauwerke) und Bauverfahren wesentliche Fortschritte zur Vergrößerung der Lebensdauer und Einsparung an Unterhaltungsaufwendungen erzielt worden.

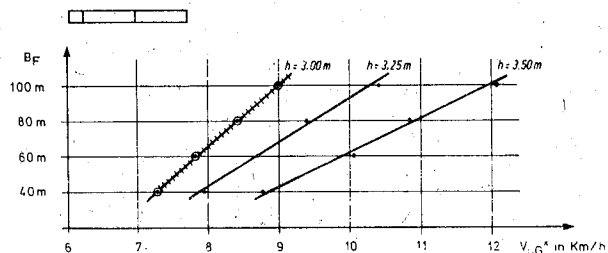


Abb. 10: Grenzggeschwindigkeit für zweigliedrigen Einzelverband

In der weiteren Entwicklung ist das Augenmerk auf die hydraulisch günstigere Querschnittsgestaltung, z. B. durch steilere Böschungen und die dafür notwendigen und wirtschaftlichen technischen Lösungen zu richten.

### 3.4 *Terminals*

Beim Ausbau der Wasserstraßen bleiben alle Maßnahmen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Wasserstraßen unvollkommen, wenn nicht auch die Terminals in die Gesamtkonzeption einbezogen werden. Der Transport beginnt und endet regelmäßig in Terminals. Leistungssteigernde und die Sicherheit erhöhende Methoden in Bezug auf das Fahrwasser, die Schleusen und die Schleusenvorhöfen der Wasserstraßen führen daher nicht zu den erreichbaren Zielen, sofern die Terminals nicht entsprechend angepaßt werden. Fortschritte beim Umschlag, Laden und Löschen in den Häfen, welche die Effektivität des Wasserverkehrs und der Hafenbetriebe steigern, können ihre Bedeutung erst dann gewinnen. Herzustellen ist jeweils die Anpassung des Hafens an die Wasserstraße und umgekehrt.

Allgemein besteht das Erfordernis der Anpassung des Hafens an die zu ihm hinführenden Wasserstraßen in der Form, daß dem Ausbau der Wasserstraße gefolgt wird, z. B. bei Fahrwasservertiefungen. In solchen Fällen müssen rechtzeitig die Zufahrten zu den Häfen und die Hafensohle selbst dem auf der Wasserstraße ermöglichten größeren Tiefgang der Fahrzeuge angepaßt und schiffahrtsgerecht gestaltet werden. Grenzen der Kompetenzen mehrerer Verantwortlicher sind durch gegenseitige Abstimmung zu überwinden. Wirtschaftliche Lösungen zum beiderseitigen Vorteil liegen z. B. in der Verwendung der gleichen Spezialgeräte (Meißel, Bagger u. a.) für Maßnahmen in der Wasserstraße und den an ihr liegenden Häfen und Umschlagstellen, d. h., der Geräteeinsatz für Arbeiten an der Wasserstraße sollte sich möglichst auch auf angrenzende Hafenbereiche erstrecken.

Aber nicht nur die Häfen müssen rechtzeitig der verbesserten Leistungsfähigkeit der Wasserstraße angepaßt werden; auch die Wasserstraße muß dem Fortschritt in den vorhandenen oder in neuen Häfen entsprechend dem Verkehrsbedürfnis folgen.

Leistungssteigerungen der Häfen, z. B. durch verbesserte Umschlagsmethoden, sind nur dann voll nutzbar, wenn die Wasserstraße der Art und dem Umfang des Hafenverkehrsaufkommens zeitgerecht angepaßt wird. Die hierin liegenden Vorleistungen finden ihre Rechtfertigung erfahrungsgemäß durch eine verstärkte Inanspruchnahme der verbesserten Wasserstraße.

Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Wasserstraßen werden in hohem Maße durch eine Hafengestaltung gefördert, die die gefahrlose Ein- und Ausfahrt der Schiffe ohne Behinderung des durchgehenden Schiffsverkehrs gewährleisten. Eine Hafeneinfahrt muß so konzipiert sein, daß nicht nur Ablagerungen in der Hafeneinfahrt weitgehend vermieden werden, sondern zugleich auch bei der Einfahrt und erst recht bei der Ausfahrt aus dem Hafen nautische Schwierigkeiten nicht entstehen können, die die Verkehrssicherheit des Hafenverkehrs selbst und zugleich auch der durchgehenden Schifffahrt beeinträchtigen würden.

Gefahrensituationen sind nicht nur im Falle verfehlter Hafeneinfahrtsgestaltung, sondern auch bei Unübersichtlichkeit der Hafeneinfahrt gegeben. Nach Möglichkeit sind daher die Häfen so anzulegen, daß von den Schiffen aus festgestellt werden kann, ob die Einfahrt ohne Zusammentreffen mit ausfahrenden Schiffen möglich ist, und daß vom Steuerhaus der ausfahrenden Fahrzeuge freier Ausblick auf die Wasserstraße nach Ober- und Unterstrom gewährt wird. Anderenfalls müssen Verkehrsregelungsmaßnahmen getroffen werden, evtl. in Verbindung mit besonderer Lichtsignalgebung, Wahrschau und Sprechfunk.

Es müssen also Methoden angewandt werden, die Schwierigkeiten aus den örtlichen Gegebenheiten so weit wie möglich ausgleichen. Werden solche Methoden erforderlich, erhöhen sie allerdings die Sicherheit der Wasserstraße gegenüber der durch die Anlagen gegebenen Situation. Sie sind dann unabdingbar.

### 3.5 Systeme der Verkehrsüberwachung und Verkehrslenkung

Der Bau von Staustufen führt im allgemeinen zu den Vorteilen günstiger Abladung der Schiffe bei gleichbleibender Wassertiefe, Vermeidung von Grundberührungen auf früheren Untiefen, Möglichkeit der Wahl rationeller Betriebsarten (Schubschiffahrt) und Verkürzung der Fahrzeit zu Berg durch Ermöglichung höherer Geschwindigkeiten in den Stauhaltungen. Gegenüber stehen Nachteile, wie Verlängerung der Fahrzeit zu Tal, zeitweilige Störungen oder gar Unterbrechungen des Schleusenbetriebs wegen planmäßiger und unvorhergesehener Schleusenreparatur, die besonders bei Schleusen mit nur einer Kammer gravierend sind. Jede Schleuse unterbricht im übrigen den sonst freizügigen Schiffsunlauf.

Zu den Verkehrsregelungsmethoden gehört die Einrichtung sog. Startplätze in den Schleusenvorhöfen, die geeignet sind, einen Schiffsstau vor Schleusen zu ordnen bzw. aufzulösen. Nahe lag eine Fortentwicklung in Richtung auf geregelten Verkehr, bei dem jedes Schiff stets auf eine offene, schleusungsbereite Schleuse trifft. Hierbei treten Störungen auf durch Schleusenketten mit ungleichen Schleusenabmessungen, unterschiedliche Abmessungen der Fahrzeuge und Schiffsverbände, innerhalb der Schleusenketten endenden oder neu aufkommenden Verkehr, Schiffsverkehrs, z. B. von Personenschiffen, nur in bestimmten Stauhaltungen, unterschiedliche Betriebsformen der Schiffahrt, d. h. Tag- und Nachtfahrt oder nur Fahrt bei Tag, unvorhergesehene Zwischenfälle etc.

Inzwischen hat der UKW-Funk in der Binnenschiffahrt zunehmende Anwendung gefunden. Alle Schleusen werden, soweit noch nicht geschehen, mit dem Verkehrskreis „Nautische Information“ ausgestattet, über den die Verständigung zwischen den Schleusen und den Schiffen ermöglicht wird. Nach dem regionalen Abkommen über den Rheinfunkdienst stehen zur nautischen Information die Kanäle 18, 20 und 22 zur Verfügung. Die im Rheinstromgebiet und auf den Wasserstraßen nördlich des Rheins fahrenden Schiffe werden zunehmend mit den gleichen Funkgeräten ausgerüstet. Auf dieser Basis wird es möglich, ein neues System der Verkehrsüberwachung und Verkehrslenkung einzuführen, das den zügigen Schiffsverkehr ohne unnötige Aufenthalte innerhalb der Schleusenketten, aber auch beim Übergang von der freien Strecke in staugeregelte Wasserstraßen herbeiführen kann. Zur Entwicklung dieses Systems sollten alle wissenschaftlich-theoretischen Untersuchungen und alle Gegebenheiten und Erfahrungen der Praxis verwertet werden. Es zeichnet sich ab, daß die aufgezeigten Möglichkeiten, die der UKW-Funk bietet, bei flexibler Handlungsweise für alle Eigenarten der Wasserstraße, der Fahrzeuge und Schiffsverbände, der Verkehrsarten und Betriebsformen genau so wie für das notwendige Schiffs- und Hafenpersonal weitestgehend geeignet sind. Neben der Ausrüstung aller Schleusen mit dem Funk-Verkehrskreis „Nautische Information“ ist die gleiche lückenlose Ausstattung der Schiffe zu fördern. Gleichzeitig wären die schiffahrtspolizeilichen Vorschriften über die Anwendung des Funks zur Steigerung der Funk-Sprechdisziplin fortzuentwickeln.

Das System der Verkehrsüberwachung und -lenkung ist auch geeignet, die Sicherheit auf den freien Strecken zu erhöhen, z. B. auf nautisch schwierigen Krümmungsstrecken, bei Havarien oder in sonstigen Gefahrensituationen, insbesondere im Falle der Gefahr des Freiwerdens gefährlicher Ladung, damit die übrige Schiffahrt von der Gefahrenstelle ferngehalten werden kann und damit die Gefahr so schnell wie möglich behoben sowie die Schutz- und Rettungsmaßnahmen rasch ergriffen werden können. Einzubeziehen sind die Funk-Verkehrskreise Schiff-Schiff und Schiff-Hafenbehörde sowie die Funk-Wahrschau im Verkehrskreis Schiff-Schiff von schwimmenden Anlagen aus. Bei letzterer wird die Tonbandaufnahme verkehrsregelnde Anordnungen dem Schiff über Funk vermitteln.

Ausbaufähig ist auch das System der geregelten Begegnung der Fahrzeuge in der Form der Rechtsfahrt oder der Begegnung der Fahrzeuge an einer bestimmten Seite, vorzugsweise an Backbord. Die Erfahrung hat gelehrt, daß ein bestimmtes System jeweils für eine längere Strecke und ohne Ausnahmen vorgeschrieben werden muß, um den Effekt, die Erhöhung der Verkehrssicherheit, zu erzielen. Die geregelte Fahrt, die schon seit langem bei Nacht und

unsichtigem Wetter auf der holländischen Rheinstrecke und zu jeder Tages- und Nachtzeit auf dem staugeregelten Oberrhein vorgeschrieben ist, seit Jahren auf der Mittelrheinstrecke und seit dem 1. April 1975 auf dem Niederrhein mit großem Erfolg praktiziert wird, ist Voraussetzung für weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Leistungsfähigkeit der Wasserstraße. Z. B. ist die geregelte Begegnung der Fahrzeuge und Schiffsverbände Grundlage der Fahrt bei Nacht zu Tal durch die Mittelrheinstrecke, sobald der Stand der Ausbauarbeiten entsprechend fortgeschritten ist. Auch hier kommt als weitere zu erfüllende Bedingung die Sprechfunk-Verbindung von Schiff zu Schiff hinzu.

#### 4. Füll- und Entleerungssysteme von Schleusen

Den Maßnahmen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Schleusen durch Verbesserung der Füll- und Entleerungseinrichtungen sind wegen der hierfür verhältnismäßig hohen Aufwendungen Grenzen gesetzt. Entsprechende Entwicklungen haben daher heute im wesentlichen bei Anlagen zur Überwindung hoher Fallstufen Bedeutung, vor allem wenn gleichzeitig Spareinrichtungen notwendig sind. In diesen Fällen kann die Verkürzung der Füll- und Entleerungszeiten erreicht werden durch

- günstigere Gestaltung der Füll- und Entleerungssysteme
- günstigere Steuerung der Füll- und Entleerungssysteme
- Änderung der Sparwassermenge

##### 4.1 Gestaltung und Steuerung der Füll- und Entleerungssysteme bei Schleusen des Main-Donau-Kanals

Anhand des Vergleichs der beiden Sparschleusen Erlangen und Leerstetten des Main-Donau-Kanals werden die Möglichkeiten zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und ihre Wirkung aufgezeigt. Beide Schleusen mit jeweils drei Sparbecken-Gruppen haben gleiche Kammerabmessungen und gleiche Füll- und Entleerungssysteme. Die Fallhöhe der Schleuse Erlangen beträgt 18,30 m. Da die Gesamtfüll- und Entleerungszeit der Schleuse Leerstetten mit einer Fallhöhe von 25 m diejenige der Schleuse Erlangen nicht überschreiten soll, wurden die Möglichkeiten der Füll- und Entleerzeitverkürzung an einem Modell für die Schleuse Leerstetten im Theodor-Rehbock-Flußbaulaboratorium untersucht.

##### 4.1.1 Vergrößerung der Sparbeckenflächen

Nennenswerte Zeitgewinne lassen sich durch Vergrößerung der Sparbeckenflächen, jedenfalls wenn sie das 1,5fache der Kammerfläche übersteigen, wie Abbildung 11 zeigt, nicht mehr erreichen. Da hierbei die Baukosten bereits erheblich ansteigen, wurde die Sparbeckenfläche in Leerstetten gleich der Kammerfläche gewählt.

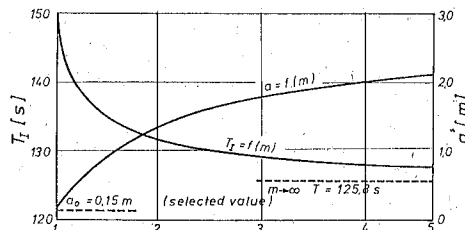


Abb. 11: Änderung der Enddifferenz  $a$  und der Sparbeckenfüllzeit  $T_f$  bei Füllung aus einem Sparbecken in Abhängigkeit des Verhältnisses Sparbeckenfläche/Kammerfläche  $m$

#### 4.1.2 Vergrößerung der Umlauf-Kanalquerschnitte

Wie aus Abbildung 12 zu ersehen ist, erbrachte die Vergrößerung der Sparbecken-Zulaufquerschnitte  $f$  von  $13 \text{ m}^2$  bei der Schleuse Erlangen auf  $17,5 \text{ m}^2$  bei der Schleuse Leerstetten deutliche Zeitgewinne. Bei den Längskanälen wurde auf Querschnittsänderungen verzichtet, weil die Zuflußmengen nicht vergrößert werden durften.

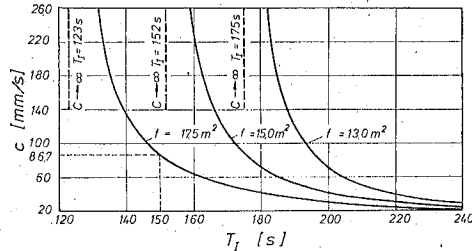


Abb. 12: Änderung der Sparbeckenfüllzeit  $T_f$  bei Füllung aus einem Sparbecken in Abhängigkeit der Hubgeschwindigkeit  $c$  der Sparbeckenschütze für verschiedene Sparbecken-zulaufquerschnitte  $f$

#### 4.1.3 Strömungstechnische Gestaltung der Ein- und Ausläufe

Durch strömungstechnisch günstigere Leitwände konnte gegenüber den bei der Schleuse Erlangen eingebauten Zulaufabdeckungen aus sog. Rosten für die Teilfüllung aus den Sparbecken ein Zeitgewinn von etwa 10 % und für die Teilentleerung in die Sparbecken sogar ein Zeitgewinn von etwa 16 % erzielt werden.

#### 4.1.4 Vergrößerung der Enddifferenz $a$

Die Vergrößerung der Enddifferenz  $a$  zwischen Sparbeckenwasserspiegel und Kammerwasserspiegel hat ohne gleichzeitige Vergrößerung des Verhältnisses  $m$  ein Anwachsen der Restdruckhöhe und damit der Restfüll- bzw. Entleerungswassermenge und eine entsprechende Füllzeitverlängerung zur Folge. Abbildung 13 zeigt die begrenzten Verbesserungsmöglichkeiten durch Vergrößerung der Enddifferenz  $a$  bei einem Verhältnis  $m = 1$  und konstant angenommener Hubgeschwindigkeit der Längskanalschütze. Die Enddifferenz wurde in Leerstetten auf  $a_0 = 0,15 \text{ m}$  festgelegt.

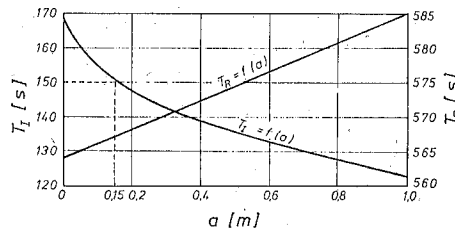


Abb. 13: Änderung der Sparbeckenfüllzeit  $T_f$  für Füllung aus einem Sparbecken und der Restfüllzeit  $T_R$  in Abhängigkeit der Enddifferenz  $a$

#### 4.1.5 Vergrößerung der Hubgeschwindigkeit der Schütze

Da auch bei plötzlicher Querschnittsfreigabe ( $c \rightarrow \infty$ ) eine Grenzfällzeit nicht unterschritten werden kann, werden die Zeitgewinne mit wachsender Hubgeschwindigkeit der Sparbeckenschütze immer geringer, wie aus Abbildung 12 zu ersehen ist. Zu große Öffnungsgeschwindigkeiten führen besonders beim Füllen der Kammer aus der untersten Sparbeckengruppe wegen



des zu geringen Wasserpolsters zu unzulässig hohen Kräften für die in der Kammer liegenden Schiffe. Die Hubgeschwindigkeit für Leerstetten wurde mit  $c = 86,7 \text{ mm/s}$  festgelegt.

Die maximale Entnahmewassermenge aus der Haltung bzw. die Rückgabewassermenge in die Haltung war zur Vermeidung unzulässig hoher Schwall- und Sunkwellen auf  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  beschränkt. Um diesen Wert nicht zu überschreiten, ist die Vergrößerung der Hubgeschwindigkeit der Längskanalschütze nur dann möglich, wenn der Schützhub unterbrochen wird. Jedoch ist bei Hubunterbrechung die Vergrößerung der Hubgeschwindigkeit nur bis zu einem Grenzwert sinnvoll, weil bei weiterer Erhöhung der Hubgeschwindigkeit die Restfüllzeit wegen der dann längeren Hubunterbrechung wieder ansteigen würde (Abb. 14).

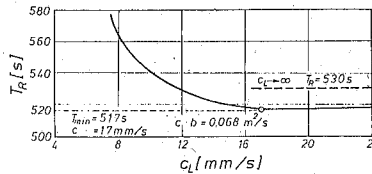


Abb. 14: Änderung der Restfüllzeit  $T_R$  in Abhängigkeit der Hubgeschwindigkeit  $c_L$  der Längskanalschütze

#### 4.1.6 Beschleunigter Hub der Längskanalschütze

Nach den Untersuchungen für die Schleuse Leerstetten werden Füll- und Entleerungszeitverkürzungen dadurch erreicht, daß die Längskanalschütze mit veränderlichen Geschwindigkeiten gefahren werden. Zunächst werden sie mit konstanter Hubgeschwindigkeit bis zum Erreichen des maximal zulässigen Durchflusses aufgefahren und dann mit beschleunigtem Hub so gesteuert, daß bis zum völligen Öffnen der Schütze konstant die maximal zulässige Wassermenge fließt. Die Verkürzung der Restfüllzeit beträgt gegenüber konstantem Schützhub etwa 20% (s. Abb. 15).

#### 4.1.7 Öffnen der Schleusentore vor Wasserspiegelausgleich

Wesentliche Verkürzungen der Füll- und Entleerungszeiten lassen sich durch vorzeitiges Öffnen der Schleusentore erreichen, bevor der Kammerwasserspiegel mit dem Wasserspiegel der Haltung ausgeglichen ist. Versuche an der Schleuse Erlangen haben ergeben, daß die Tore schon bei einer Wasserspiegeldifferenz von  $0,3 \text{ m}$  geöffnet werden können.

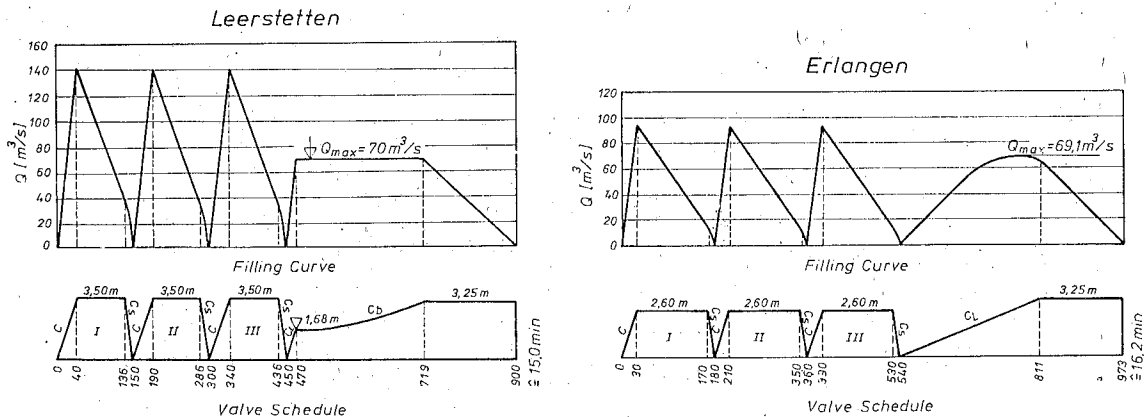


Abb. 15: Gegenüberstellung der Füllwassermengen, Kurven und Schützfahrpläne der Schleusen Leerstetten und Erlangen

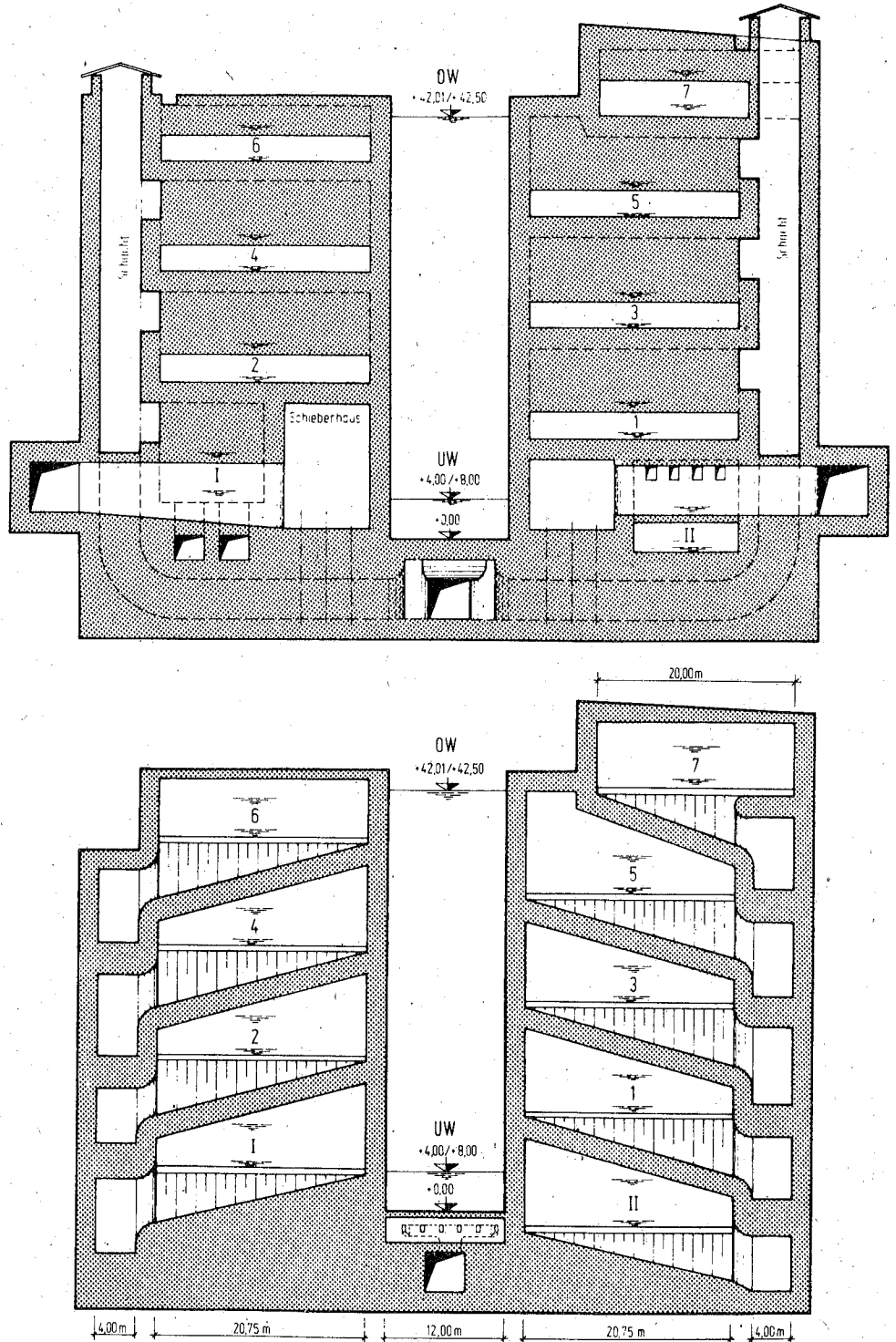


Abb. 16: Querschnitte des Modells einer Schleuse Lüneburg

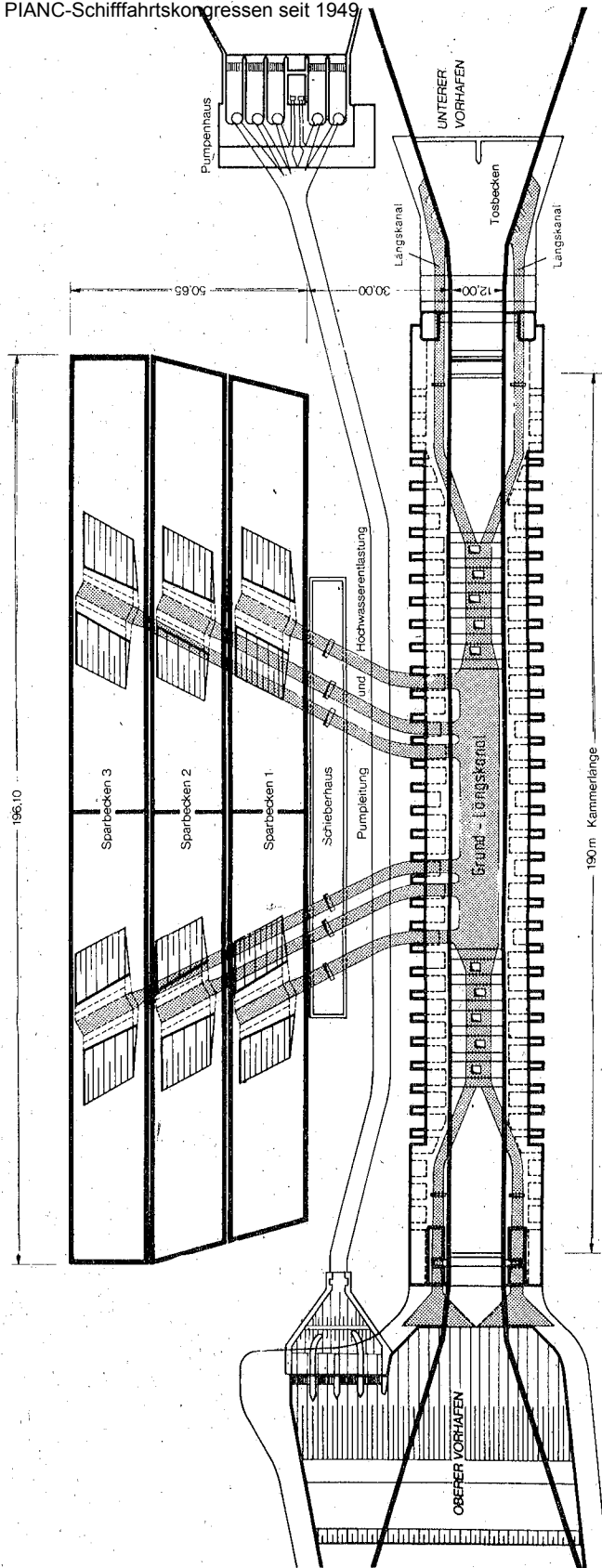


Abb. 17: Grundriß der Schleuse Uelzen mit Füllsystem

Obwohl die Schleuse Leerstetten mit ihrer Stufenhöhe von 25 m um 6,70 m höher ist als die Schleuse Erlangen, ergab sich durch sinnvolle Anwendung der obigen Möglichkeiten eine Gesamtfüllzeit von 15 Min gegenüber 16,2 Min in Erlangen und eine gesamte Entleerungszeit von 16,1 Min gegenüber 17,2 Min in Erlangen. Die maximalen Längskräfte auf Schiffe in der Kammer beim Normalfall der Füllung betragen bei der Schleuse Leerstetten 5 kN gegenüber etwa 3 kN bei der Schleuse Erlangen.

#### 4.2 Konstruktive Maßnahmen im Füll- und Entleerungssystem und im Vorhafenbereich der Schleuse Uelzen

Der Elbe-Seitenkanal überwindet Fallhöhen von 23 m bei Uelzen und 38 m bei Lüneburg. Als Abstiegsbauwerke kamen Lotrecht-Hebewerke, Schräg-Hebewerke mit Quer- und Längsförderung, Wasserkeile oder Schleusen in Betracht. Eine gleichwertige Schleuse mußte mindestens 2,50 m/min mittlere Steig- und Senkgeschwindigkeit und eine größtmögliche Wasserersparnis aufweisen. Verkürzte Schleusenfüllzeiten vergrößern die Kräfte auf die Schiffe in der Kammer und in den Vorhäfen. Außerdem vergrößert sich die Tendenz zu Wirbelbildung und damit zum Lufteinzug an den Einläufen, so daß die Verschlüsse ausreichend tief verlegt werden müssen. Für die Verhältnisse an der Fallstufe bei Lüneburg wurde das in Abbildung 16 gezeigte System aus Modelluntersuchungen in der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe ermittelt. Die Becken 1 bis 5 dienen der Wasserersparnis (71,4 %) während in den Becken 6 und 7 die Restfüllung aus dem Oberen Vorhafen zur Füllzeitverkürzung zwischengespeichert wird. Analog können die Becken I und II bei der Entleerung fungieren. Mit der gewählten Anordnung wurde eine mittlere Steiggeschwindigkeit von 2,7 bzw. 3,0 m/min bei einer größten Füll- bzw. Entleerungswassermenge von 197 m<sup>3</sup>/s und eine Füllzeit von 14 min bzw. eine Entleerungszeit von 12,7 min erzielt. Bei der Ausbildung der Grundläufe wurde auf geringe Fließverluste und eine gleichmäßige und turbulenzarme Beaufschlagung der Kammer geachtet, so daß die Schiffslängskräfte im Modell nur zu Beginn der Füllung  $\frac{1}{1200}$  des Schiffsgewichts erreichten. Das System wurde im Prinzip auf die Schleuse Uelzen mit 3 Sparbecken übertragen (Abbildung 17). Die kurzen Füll- und Leerzeiten machten zur Verminderung von Lufteingänger- und Wirbelbildung besondere Vorkehrungen an den Sparbeckeneinläufen notwendig (Abb. 18).

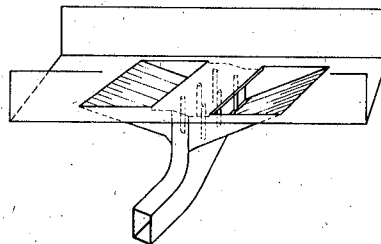


Abb. 18: Sparbeckeneinlauf der Schleuse Uelzen

Während es für Einläufe im Oberwasser bewährte Formen gibt, bereitet die Einleitung in das Unterwasser besonders bei einseitigem Betrieb mit nur einem Entleerschütz, immer noch Schwierigkeiten. Im Rahmen der Kolkuntersuchungen wurde ein spornartiges Wandstück normal zur Tosbeckenendschwelle als geeignete Lösung ermittelt (Abb. 19). Der Sporn stabilisiert auch bei einseitiger Ausströmung die Energieumwandlung im Tosbecken. Pulsationen werden stark unterdrückt.

Neben der erheblichen Abnahme der Angriffe auf die anschließende Sohle werden Behinderungen für die Schifffahrt durch Strömung praktisch vermieden, so daß die Startplätze nahe der Schleuseneinfahrt angelegt werden können.

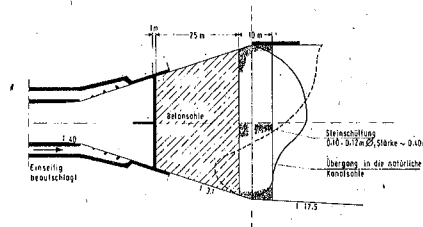


Abb. 19: Tosbecken am Unterhaupt bei seitlichen Auslässen

#### 4.3 Zu- und Abströmung bei Doppelschleusen

Zur Vermeidung ungünstiger Querströmungen bei Doppelschleusen empfiehlt sich die Verlängerung der Zwischenmauer als Tauchwand, so daß die gesamte Vorhafenbreite für die Zu- und Abströmung herangezogen wird. Im Oberwasser treten so im Tiefgangsbereich eines Schiffes praktisch keine Querströmungen mehr auf. Abbildung 20 zeigt die Strömungsbildung bei massiver Trennmole und bei Auflösung als Tauchwand.

Gegenüber der nahezu potentialförmigen Anströmung der Einläufe ist die Ausströmung in den unteren Vorhafen mehr strahlförmig mit Intermittenzonen an den Rändern. Die Verzögerung des Strahlrandes am ruhenden Wasser der benachbarten Einfahrt hat eine Walzenbildung zur Folge, die nach beendeter Entleerung die gesamte Breite erfaßt und noch bis zu 20 min anhält. Diese Walze ist für die Schifffahrt besonders gefährlich, weil sie unerwartet ist und der Walzendurchmesser in der Größenordnung der Schiffslänge liegt. Zur Schwächung der Intermittenzone haben sich Verlängerungen der Trennschleusen in Form von Tauchwänden mit Öffnungen in Sohlennähe bewährt. Diese können aus Spundwänden oder zwischen IPB-Pfählen eingehängten Stahlbetonplatten bestehen.

Eine Abminderung der Stärke der Längsströmung durch Querausbreitung setzt möglichst ablösungsfreie Übergänge voraus. Versuche haben gezeigt, daß bei Trennmolen mit doppelten Tauchwandschürzen Erweiterungen von 1:4, bei einfachen Tauchwänden schon solche von 1:2,5 ausreichen.

### 5. Maßnahmen gegen Eis

Um Verkehrsbehinderungen durch Eisbildung auf Wasserstraßen möglichst weitgehend zu verhindern, stellt sich neben den üblichen Maßnahmen betrieblicher und technischer Art, wie Eiswarndienst, Eisbrechdienst, Eisabführung nach Eisaufgang über Wehr- und Schleusanlagen, die Frage nach den Möglichkeiten der Nutzung von Abwärme aus Industrie und Energiewirtschaft. Die sonst unter Umständen nachteilige Wärmebelastung in Fließgewässern führt hier zum Vorteil geringerer Eisbehinderung. Eine weitergehende Nutzung der Abwärme, besonders in Stillwasserkanälen und Häfen, ist wegen der Aufwendungen für die nur in Eisperioden notwendige Wärmeeinleitung wirtschaftlich nur realisierbar, wenn sie überregional und überbetrieblich geplant und durchgeführt wird.

Um einen möglichst guten Wirkungsgrad bei Wärmeinleitungen zu erreichen, sollte das angewärmte Kühlwasser an mehreren mit verhältnismäßig kurzen Abständen folgenden Einleitestellen dem Kanal zugeführt werden, statt große Wassermengen an einer Stelle einzuleiten. Da über größere Entfernungen mit wechselnden landschaftlichen Verhältnissen „Kältepole“ und wärmere Gegenden sich abwechseln, sollten die in den kälteren Abschnitten liegenden Kanalstrecken mit Beschickung von angewärmtem Wasser bevorzugt werden, wobei die vorherrschende Windrichtung für die Unterstützung der Längsströmung zu berücksichtigen ist.

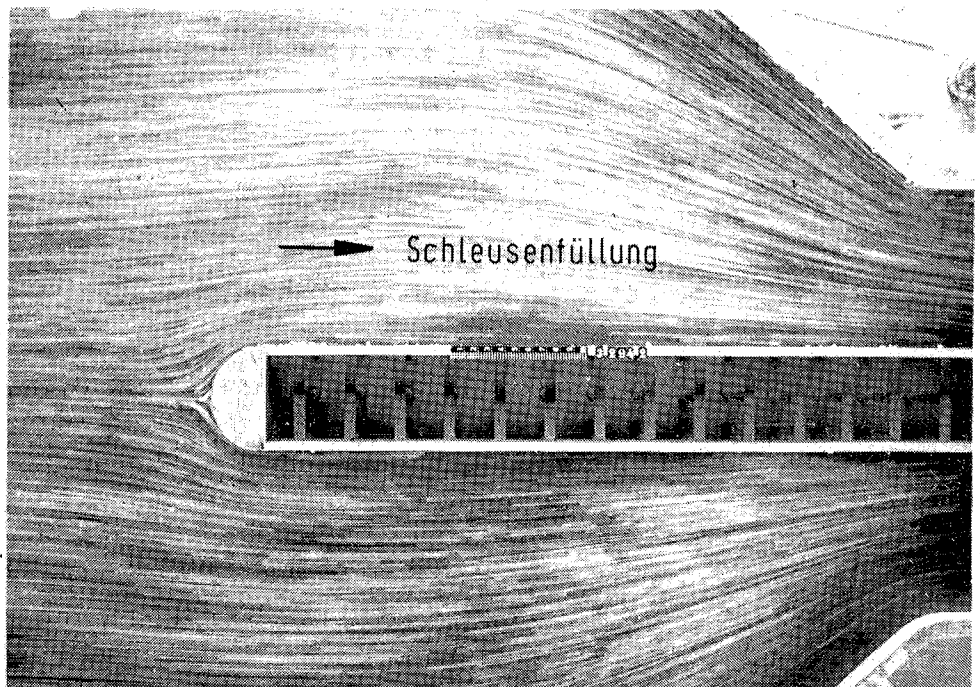
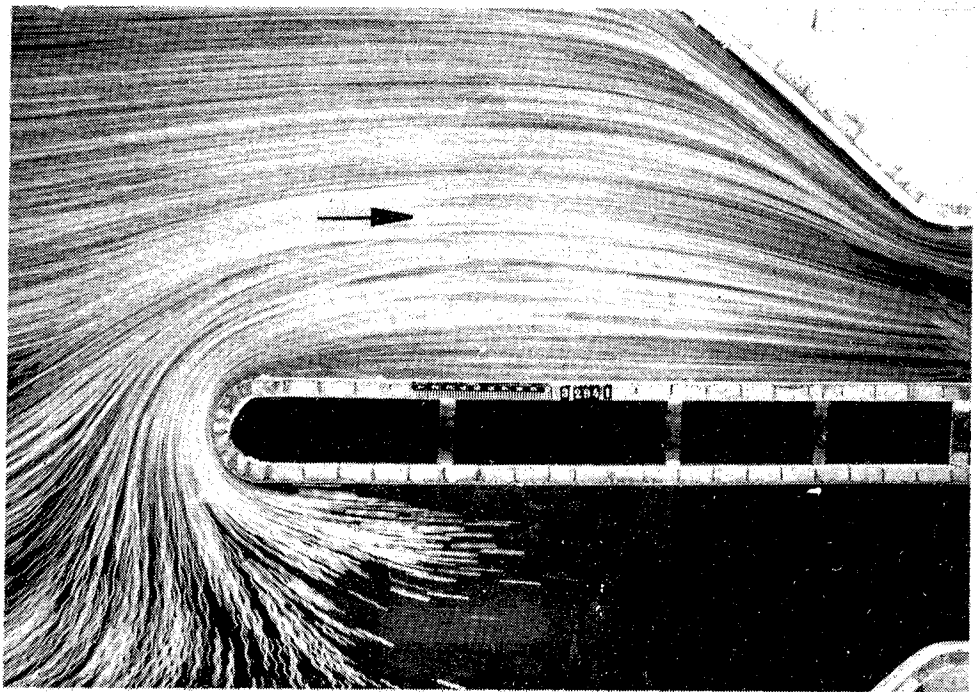


Abb. 20: Trennmole im Unterwasser der Schleuse Iffezheim/Rhein

Für die Verwertung der Wärmeenergie, wenn sie über die größere Zeit des Jahres zur Erhöhung der Wassertemperatur nicht gebraucht wird, könnten Agrothermanlagen für naheliegende landwirtschaftliche Betriebe zwecks Produktionssteigerung eingerichtet werden. Der volkswirtschaftliche Nutzen, der durch die so entstehende „Warmwasserheizung“ und das sich daraus ergebende verbesserte Mikroklima muß in diesem Zusammenhang mitbetrachtet werden.

Bis solche Planungen mit thermischem „Systemausbau“ in größerem Rahmen durchgeführt werden, können für die Eiseinwirkungen nur die bisher gegebenen Möglichkeiten weiter ausgeschöpft werden, um die Eisbehinderung auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Dabei ist besonders wichtig, daß mit dem Eisaufbruch erst bei Abklingen einer Eisperiode begonnen wird, weil sonst mit Öffnen der wärmehaltenden Eisdecke die Eisbildung eher verstärkt wird. Voraussetzung für einen wirksamen Eisbrechdienst sind daher zuverlässige Langzeitvorhersagen und eine ausreichende Eisbrecherkapazität. Diese kann durch Eisplüge ergänzt werden, die z. B. vor Schubboote gesetzt werden können.