B. Untersuchung über die Wirkung erhöhter Querströmung neben Wehr- und Einlaufbauwerken auf das fahrende Binnenschiff — Ein gekürzter Beitrag zur Erarbeitung neuer Richtlinien für Auslegung und Betrieb

von Dr.-Ing. E. Schäle
Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg

Inhalt

1. Einführung 21
2. Versuchsprogramm 22
3. Naturversuche 23
4. Modellversuche 26
4.1 Versuche im Strom-Modell 26
4.2 Versuche im Flußmodell 27

1. Einführung

Einlaufbauwerke dienen zur Einleitung oder Rückführung von Wassermengen in natürliche Flüsse oder Kanäle. Ihre konstruktive Gestaltung ist abhängig:

a) von der zeitlich einlaufenden Menge;

b) von Wasserführung und Querschnitt des Flusses oder Kanals;

c) vom Einlaufort und von der Beschaffenheit des Gerinnes;

d) von der Nutzungsart des Wasserweges;

e) von der Wirkung und Zielsetzung.

Die vorliegende Untersuchung bezieht sich auf zwei reale Systeme, die an den mitteleuropäischen Strömen, ihren schiffbaren Nebenflüssen und den Schiffahrtskanälen zu finden sind.

Da die Einlaufmengen, insbesondere von Kraftwerks- und Industriewasser, in den letzten Jahren erheblich gestiegen sind und weitere Großkraftwerke hinzukommen, ist es von Bedeutung zu wissen, welchen Kräften das vorbeifahrende Binnenschiff ausgesetzt ist, wenn die Quergeschwindigkeitskomponente zunimmt, und bei welchem Wert die obere Grenze liegen könnte.

Die derzeit noch gültigen Richtlinien wurden bereits 1936 ausgearbeitet und 1951 als Dienstanweisung für die Wasser- und Schiffahrtsbehörden übernommen — zu einem Zeitpunkt, an dem Schleppschiffahrt und schwach motorisierte Selbstfahrer vorherrschten.

Diese Dienstanweisung schreibt u.a. vor, daß die Einlaufgeschwindigkeiten 0,3 m/s nicht überschreiten, selbst wenn die Wirklänge des Einlaufquerschnitts erheblich kleiner als die Schiffslänge ist.

Bei dem Kühlwasserbedarf eines modernen Kohlekraftwerks bedeutet dieser Wert, daß die Entnahme- und Rückführungsbauwerke mehr als 50 m lang werden und bei derzeit in Planung befindlichen Großkraftwerken Längen von 100 m und mehr erreichen würden.

Betrachtet man den technischen Fortschritt im Wasserverkehr, insbesondere den hohen nautisch-technischen Stand der heutigen Motorschiffahrt, dann ist nicht nur die Dienstanweisung überholt, sondern es erscheinen auch die möglichen Risiken für die Schiffahrt in einem ganz anderen Licht.

Von seiten des Berichterstatters war die Frage zu klären und quantitativ zu beantworten: Welche Wassermengen und Quergeschwindigkeiten bewirken höhere Risiken als im heutigen Schiffahrtsbetrieb auf Strömen und Flüssen ohnehin durch Verkehrsdichte, Begegnungen, Überholungen, Querwind, Sohlenverwerfungen usw. gegeben und somit bekannt sind.

Die deutschen Wasserbau-Versuchsanstalten (Berlin, Braunschweig, Hannover, Hamburg, Karlsruhe, Stuttgart, Obernach) werden ständig mit Fragen dieser Art konfrontiert — nur geht es dabei vorwiegend um die konstruktive Gestaltung der Bauwerke mit dem Ziel, die entnommenen und zurückgeführten Wassermengen so zu leiten, daß ihr Einfluß auf die reguläre Fließrichtung möglichst gering bleibt.

Die dortigen experimentellen Untersuchungen werden in Modellmaßstäben zwischen 1:100 und 1:25 durchgeführt und im unmittelbaren Querströmungsbereich meist Schiffsmodelle so eingespannt, daß auf das Schiff einwirkende Kräfte quasi stationär gemessen werden können.

Dabei bleibt stets die Frage unbeantwortet, in welcher Weise das Schiff dynamisch reagiert, wenn es in betriebsüblicher Weise durch den Ein- und Auslaufbereich hindurchfährt.

Da eine rein analytische Antwort darauf nicht gegeben werden kann — die Binnenschiffe werden ja manuell gesteuert —, sind naturgroße Messungen und Modellversuche durchgeführt worden. Ein typisches Einleitungsbauwerk am Oberrhein diente in Natur- und Modellausführung ebenso wie ein Wehrüberlauf eines staugeregelten Nebenflusses dazu, Versuchsschiffe bzw. Modelle während der Vorbeifahrt von Querströmungen beaufschlagen zu lassen und deren Wirkung zu erfassen.

2. Versuchsprogramm

Für die Durchführung der Naturversuche wurde die Rheinstrecke am Großkraftwerk Mannheim gewählt. Für die ergänzenden Modellversuche sind vorgesehen worden:

a) ein modifizierter Nachbau des Kraftwerkseinlaufs, wobei die Strömungsrichtung etwa 90° zur Stromachse verlaufen und eine Austrittsgeschwindigkeit von umgerechnet bis zu 3 m/s erreicht werden sollte (Maßstab 1:25);

b) ein Nachbau einer Flußstaustufe mit modifizierbarer Einwirkung der Wehrströmung im Unterwasser auf in die Schleuse einfahrende Schiffe (Maßstab 1:25).

In gestuften Abständen und Fahrgeschwindigkeiten wurden untersucht:

kleines Fahrgastschiff (FS „FRITZ HORN");

herkömmliche Gütermotorschiffe;

Großmotorschiffe;

zweigliedrig-einspurige Schubverbände.

Quantitativ wurden dabei — soweit möglich — auf dem Schiff oder am Modell ermittelt:

a) Propellerdrehzahl mit Bestimmung der Antriebsleistung;

b) Ruderarbeit;

c) Kursverhalten;

d) Querversetzung.

Dabei sollten auch das Verhalten und die besondere Beanspruchung des Schiffsführers beobachtet werden.

Während bei den Naturversuchen — außer FS „FRITZ HORN" — mit dem die Versuchsstrecke gerade erreichenden Schiff jeweils nur eine Vorbeifahrt durchgeführt werden konnte, wurden bei den Modellversuchen neben der Anzahl der Fahrten Abstand und Geschwindigkeit variiert.

3. Naturversuche

Um einen ersten Eindruck über die Strömungssituation im Bereich des Einlaufbauwerks bei über 50 m^3/s zu gewinnen, wurde die ca. 500 m lange Strecke mit FS „FRITZ HORN" mehrfach in beiden Richtungen befahren. Spürbar war bei Fahrt in Ufernähe am Kursverhalten des Schiffes nicht nur der Querstrom am Austritt, sondern auch eine gewisse Gegenwirkung am Entnahmebauwerk.

Die sich daran anschließenden Meßfahrten, bei denen der Schiffsführer versuchen sollte, den Kurs konstant zu halten und die mehrfach im Abstand zwischen ca. 20 m und 40 m ausgeführt wurden, lieferten — reproduziert nach der Radarphasenbild-Technik — sehr eindeutige Ergebnisse. Abb. 1 zeigt die Vorbeifahrtsituation bei einer Bergfahrt; Abb. 2 bei einer Talfahrt, wobei der Ansteuerungsabstand ca. 20 m betrug!

Bei diesem relativ kleinen Schiff erkennt man besonders die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten:

a) Die Wasserausflußmenge wird der Abflußmenge des Stromes zugeführt, infolgedessen erhöht sich örtlich unterhalb des Ausflusses die Stromgeschwindigkeit.

b) Die zunächst quer zur Stromachse verlaufende Ausflußrichtung biegt nach Unterstrom ab und bleibt innerhalb eines Uferbereichs mit ca. 40 m Breite, d.h. in größerem Abstand ist die Wirkung des Querstromes experimentell nicht mehr nachweisbar.

c) Vom Schiff her gesehen tritt bei Ansteuerung des Ausflußstrahls eine Geschwindigkeitsverzögerung und eine Querversetzung ein.

d) Geschwindigkeitsverminderung und Querversetzung ändern sich mit dem Abstand.

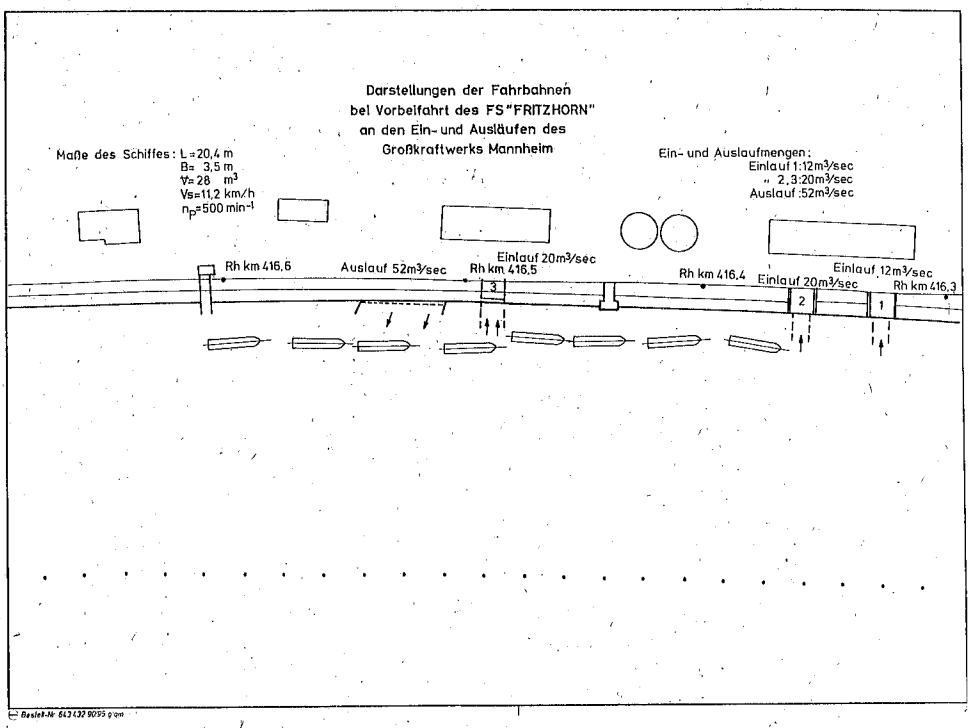
Darstellungen der Fahrbahnen
bei Vorbeifahrt des FS "FRITZHORN"
an den Ein- und Ausläufen des
Großkraftwerks Mannheim
Maße des Schiffes: L = 20,4 m
B = 3,5 m
∇ = 28 m³
Vs = 11,2 km/h
nP = 500 min⁻¹
Ein- und Auslaufmengen:
Einlauf 1: 12 m³/sec
" 2,3: 20 m³/sec
Auslauf: 52 m³/sec
Rh km 416,6
Auslauf 52 m³/sec
Einlauf 20 m³/sec
Rh km 416,5
3
Rh km 416,4
Einlauf 20 m³/sec
2
Einlauf 12 m³/sec
Rh km 416,3
1

Abb. 1

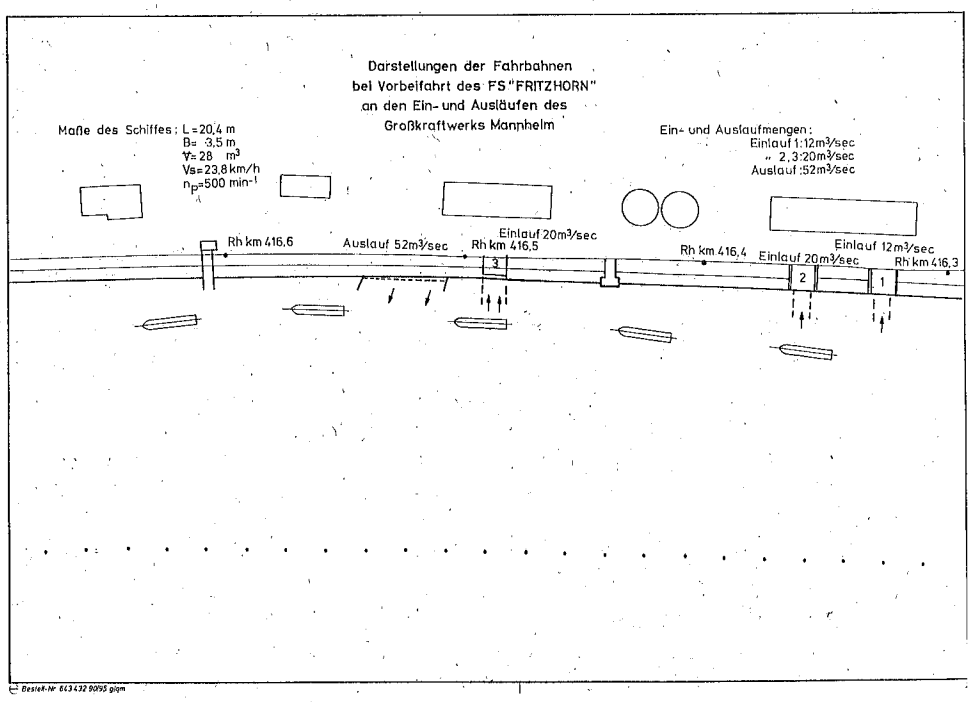
Darstellungen der Fahrbahnen
bei Vorbeifahrt des FS "FRITZHORN"
an den Ein- und Ausläufen des
Großkraftwerks Mannheim
Maße des Schiffes: L = 20,4 m
B = 3,5 m
∇ = 28 m³
Vs = 23,8 km/h
nP = 500 min⁻¹
Ein- und Auslaufmengen:
Einlauf 1: 12 m³/sec
" 2,3: 20 m³/sec
Auslauf: 52 m³/sec
Rh km 416,6
Auslauf 52 m³/sec
Einlauf 20 m³/sec
Rh km 416,5
3
Rh km 416,4
Einlauf 20 m³/sec
2
Einlauf 12 m³/sec
Rh km 416,3
1

Abb. 2

e) Betrag und Richtung der beeinflussenden Kräfte ändern sich zugleich mit der Fahrgeschwindigkeit des Schiffes.

f) Damit ändert sich auch die zeitliche Beeinflussung des Schiffes bezogen auf seine Fahrtrichtung: bergwärts lang anhaltende Wirkung, talwärts Kurzzeitwirkung.

g) Aus der Sicht des Schiffsführers ähnelt die Beeinflussung durch Querstrom und seinen Besonderheiten sehr den Passiervorgängen, d.h. wenn sich Schiffe überholen oder begegnen.

Bergfahrt ≙ Überholung
Talfahrt ≙ Begegnung

Die Fortsetzung der Messungen mit Güterschiffen unterschiedlicher Größe bis hin zum Großmotorschiff und Schubverband zeigten im Ergebnis die gleichen Verhaltensweisen wie das kleine Schiff, jedoch mit dem sehr wesentlichen Unterschied, daß die Querversatzamplituden wesentlich geringer waren bzw. vom Schiffsführer kaum wahrgenommen wurden.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen ausschnittsweise das Kursverhalten zweier in der Größe unterschiedlicher Einheiten.

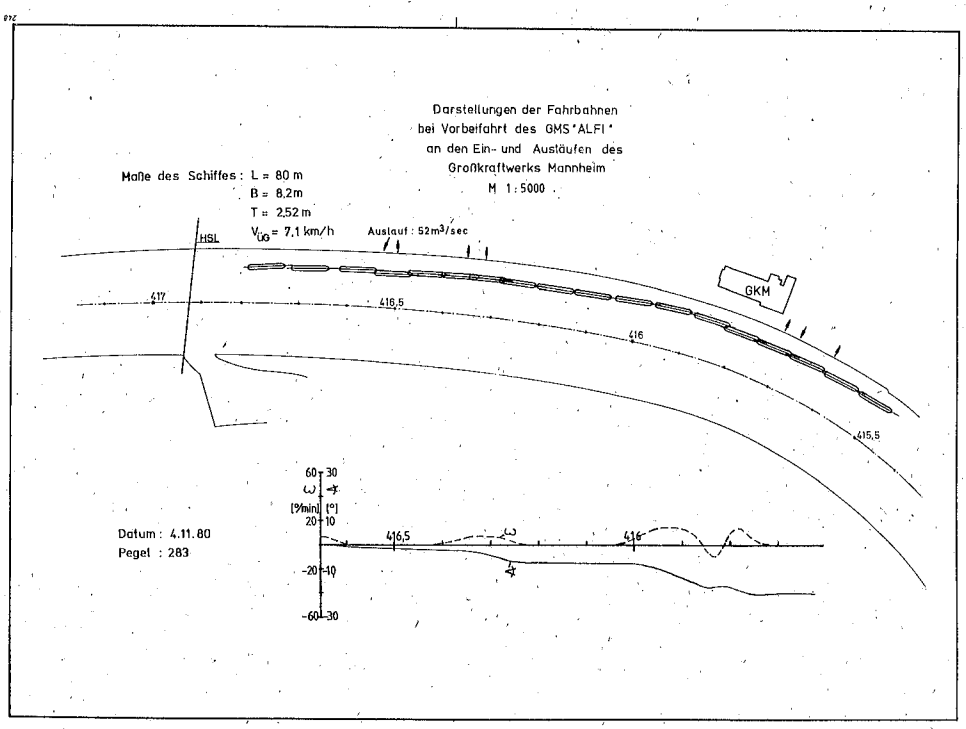

Abb. 3

Obwohl die Ansteuerung des Uferbereiches hart an der Grenze der Fahrrinne vorgegeben war, die Auslaufmenge 52 m³/s betrug, der Kurs weitgehend konstant blieb, betrug der Querversatz im Höchstfall eine Schiffsbreite.

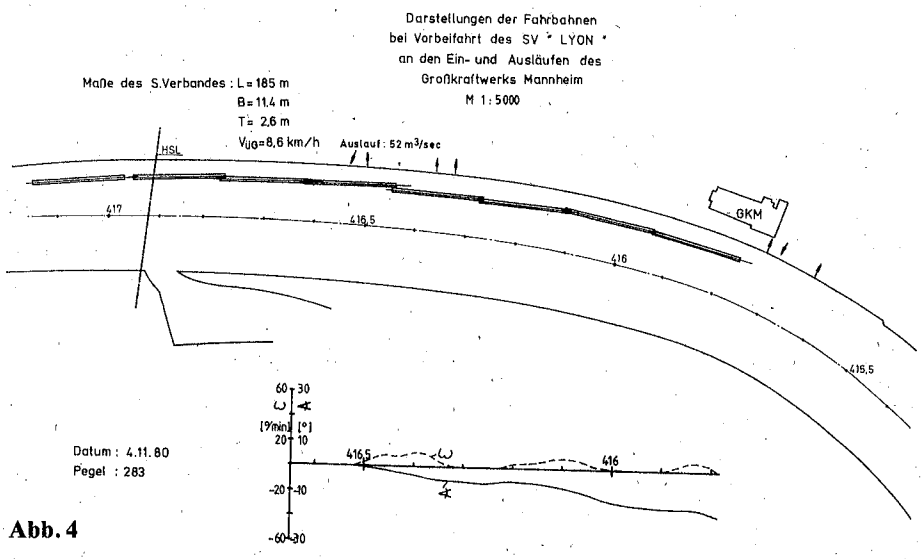

Abb. 4

Nach all diesen Versuchsfahrten ist festzustellen:

a) Die Verhaltenstendenz entspricht derjenigen des FS „FRITZ HORN";

b) die Wirkung der äußeren Kräftebeeinflussung nimmt mit zunehmender Verdrängung ab;

c) Kurs- und Manövrierverhalten, d.h. die Reaktion auf Ruderbewegungen, bleibt unverändert.

Die Schiffsführer bringen zum Ausdruck, daß sie der Querströmung keine Beachtung schenken. Alle Schiffe verhalten sich „betriebsüblich". Die Talfahrt bleibt völlig unberührt.

4. Modellversuche

4.1 Versuche im Strom-Modell

Wie vorher schon beschrieben, wurde ein gerader Uferabschnitt ähnlicher Gestalt wie am Großkraftwerk in den Schlepptank eingebaut und so positioniert, daß einerseits genügend Wasser vom Hauptstrom abgezweigt und an geeigneter Stelle wieder eingeleitet werden konnte, andererseits vom Schleppwagen aus 3 Versuchsarten durchzuführen waren:

a) frei gesteuerte Fahrt bei konstantem Kurs;

b) frei gesteuerte Fahrt auf möglichst konstanter Fahrbahn;

c) gefesselte Fahrt mit Quer- und Längskraftmessungen.

Außerdem wurden der Abstand vom Ufer und die Fahrgeschwindigkeit der Schiffe variiert, so daß ein breites Wertespektrum vorgelegt werden konnte.

Von besonderem Interesse ist der Kräfte- und Momentenverlauf, der bei den gefesselten Modellen aufgezeichnet werden konnte.

Abb. 5 zeigt die Definition der Parameter und die Abb. 6 und 7 zwei ausgewählte Plotteraufzeichnungen.

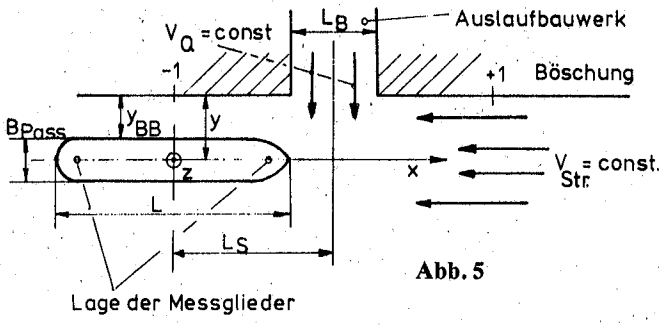

Abb. 5

Rechenbeispiel in Modellmaßen

$$F_{nh} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot h}}$$

$$= \frac{3{,}46 \text{ m/s}}{\sqrt{9{,}81 \cdot 4{,}00 \text{ m}}}$$

$$F_{nh} = \underline{0{,}552}$$

$$Y/LS = \underline{0{,}387}$$

$$V_{S_M} = V\ddot{U}_G + V_{Str}$$

$$= 0{,}3 \text{ m/s} + 0{,}565 \text{ m/s}$$

$$V_{S_M} = 0{,}865 \text{ m/s}$$

$$V_S = \underline{3{,}46 \text{ m/s} = 12{,}448 \text{ km/h}}$$

$$Y = Y_{BB} + \frac{B_{Pass}}{2}$$

$$= 1{,}094 \text{ m} + 0{,}3 \text{ m} = \underline{1{,}394 \text{ m}}$$

$$L_S = \frac{L_B + L}{2} = \frac{2{,}2 \text{ m} + 5 \text{ m}}{2} = \underline{3{,}6 \text{ m}}$$

Bericht 1049

$$C_x = \frac{F_x}{\rho/2 \; (V_G + V_{Str})^2 \cdot L \cdot T} \qquad \text{(Längskraftbeiwert)}$$

$$C_Y = \frac{F_{YV} + F_{YH}}{\rho/2 \; (V_G \cdot V_{Str})^2 \cdot L \cdot T} \qquad \text{(Querkraftbeiwert)}$$

$$C_N = \frac{(F_{YV} \cdot h_V) - (F_{YH} \cdot h_h)}{\rho/2 \; (V_G + V_{Str})^2 \cdot L^2 \cdot T} \qquad \text{(Momentenbeiwert)}$$

bei "Johann Welker" $h_V = h_h = a/2$ a = Meßgliederabstand

bei Schubverband $h_V = \frac{a}{2} + \frac{L_S}{2}$

ortsetzung des Textes Seite 30) $h_h = \frac{a}{2} - \frac{L_S}{2}$

QUERSTRÖMUNG AN BÖSCHUNG

Beeinflussung vorbeifahrender Schiffe am Einleitungsbauwerk
h = 4,00 m; T = 2,80 m; V_Q = 2,36 m/s; $V_{Str.}$ = 2,26 m/s
Abstand zur Böschung von Bordwand des Schiffes 24 m

			F_{nh}	Y/LS
	V = 12,448 km/h	= ▫	0.552	0.387
durch	V = 13,891 km/h	= ×	0.616	0.387
Wasser	V = 15,334 km/h	= ▪	0.680	0.387

Gütermotorschiff

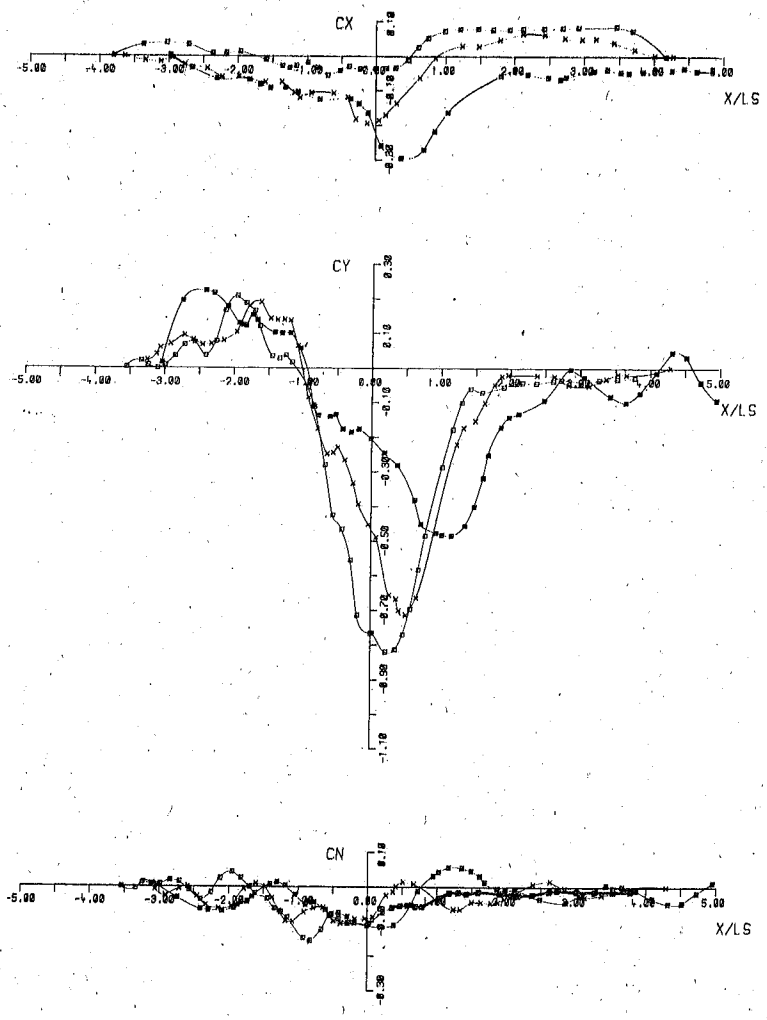

Abb. 6

QUERSTRÖMUNG AN BÖSCHUNG

Beeinflussung vorbeifahrender Schiffe am Einleitungsbauwerk
h = 4,00 m; T = 2,80 m; V_Q = 2,36 m/s; $V_{Str.}$ = 2,26 m/s
Abstand zur Böschung von Bordwand des Schiffes 24 m

			F_{nh}	Y/LS
durch Wasser	V = 11,736 km/h	¤	0.521	0.211
	V = 14,616 km/h	x	0.648	0.211

Schubverband

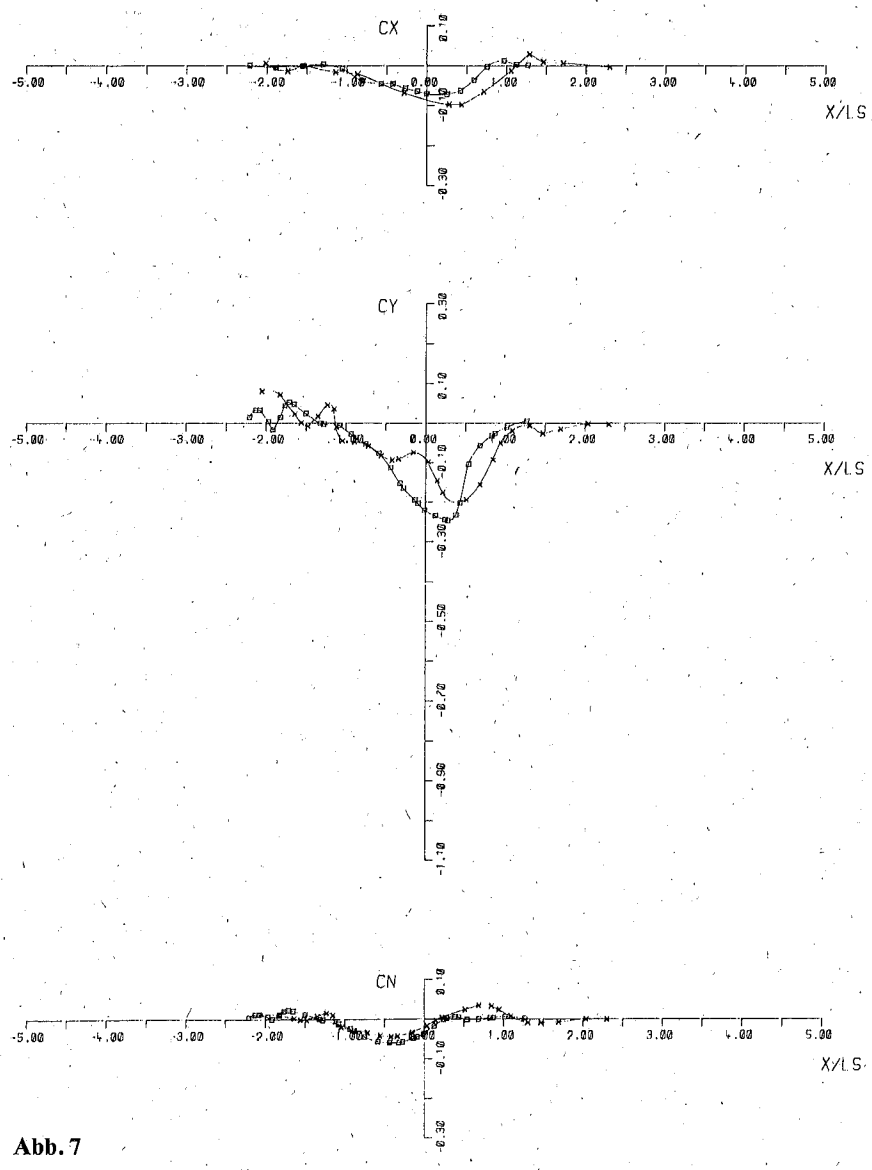

Abb. 7

Während C_x als Längskraftbeiwert der Widerstandsänderung infolge verminderter oder erhöhter axialer Anströmungsgeschwindigkeit entspricht, wird der Querströmungseinfluß am Verlauf C_y sehr deutlich sichtbar.

Besonders interessant ist jedoch der Verlauf der Momentbeiwerte c_N. Die das Schiff um die Hochachse drehenden Momente sind relativ niedrig und schwanken um Null. Dies ist auch der Grund dafür, daß bei auf gerader Bahn fahrenden Schiffen die Einhaltung des Kurses problemlos möglich ist — es überwiegen die Trägheitskräfte.

Alle Kurven haben außerdem noch die einer verstellbaren Grundkurve überlagerten Schwankungen bzw. Schwingungen gemeinsam. Die Ursache dafür dürfte im instationären Verhalten der sich durchdringenden Strömungen (Querstrom vom Auslauf, Längsstrom vom Fluß) zu suchen sein.

Die Tendenz über den Verlauf der beanspruchten Fahrbahnbreite in Abhängigkeit vom Abstand zeigt Abb. 8 und die Momentenbeiwerte Abb. 9.

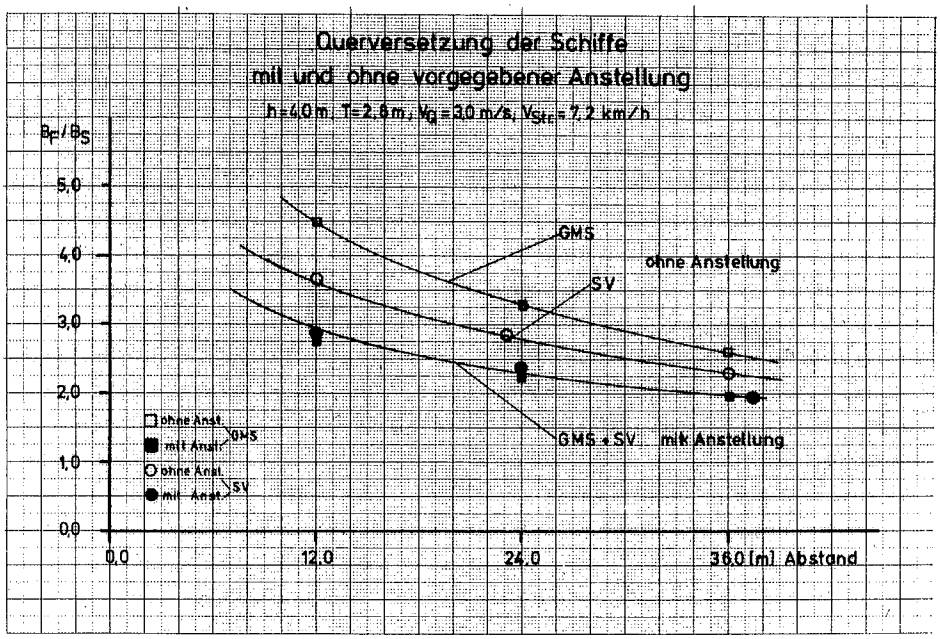

Abb. 8

4.2 Versuche im Flußmodell

Ungehindert überlaufende Wehrströmung beeinflußt unter Umständen den Kurs die Schleuse ansteuernder oder aus der Kammer ausfahrender Schiffe.

Um auch hier Extremverhältnisse zu schaffen, wurde ein Leitwerk so eingebaut, daß es den Wehrstrom in frei wählbarer Winkelstellung in den Fahrweg der Schiffe zu lenken vermochte.

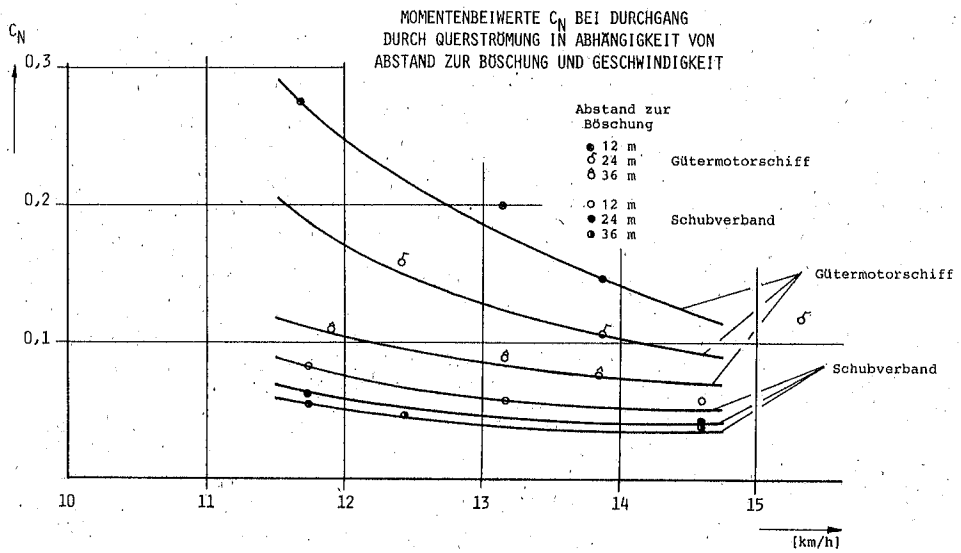

Abb. 9

Dies wurde experimentell von 0—30° getan und das Ansteuerungsverhalten der Schiffe reproduziert.

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen wiederum die zwei ungünstigsten Fälle und Abb. 12 den Querversatz bezogen auf die Schiffsbreite.

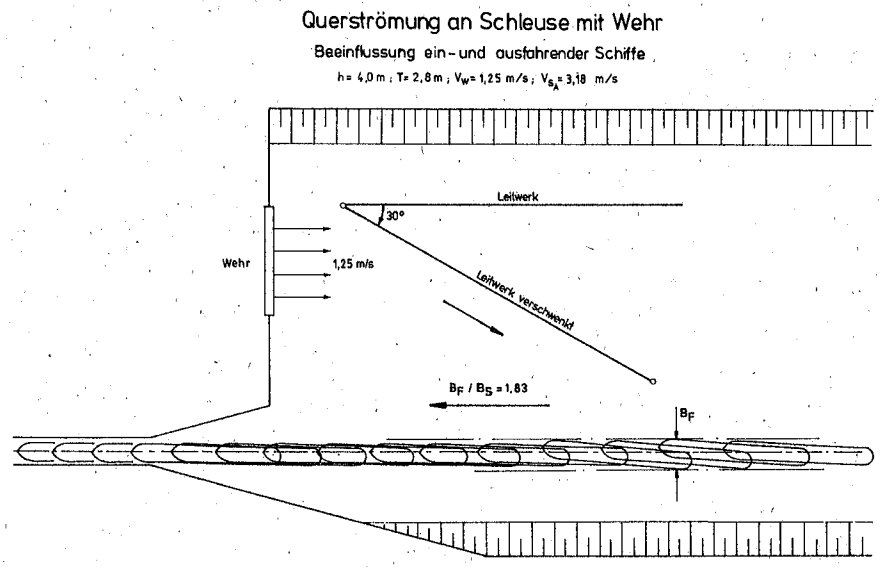

Abb. 10

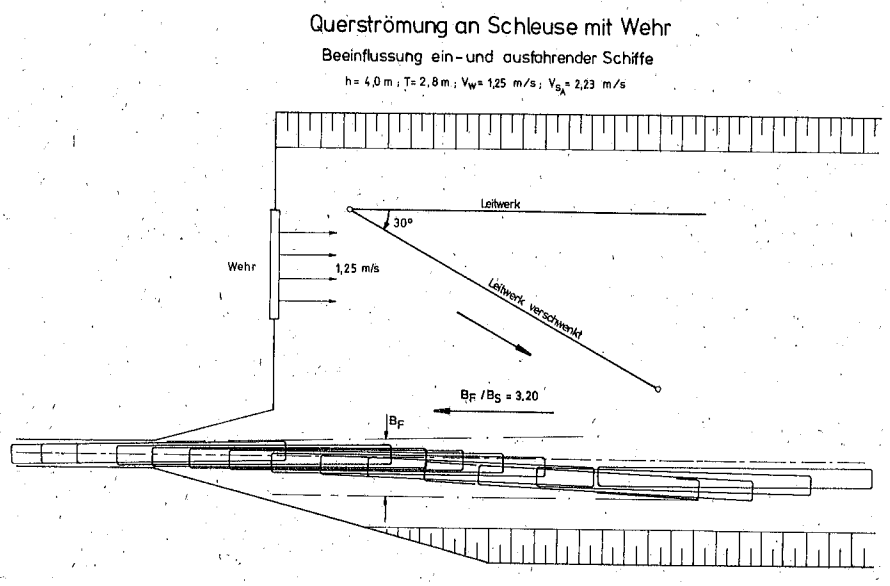
Querströmung an Schleuse mit Wehr
Beeinflussung ein- und ausfahrender Schiffe
h= 4,0 m ; T= 2,8 m ; V_W= 1,25 m/s ; V_{S_A}= 2,23 m/s
Leitwerk
30°
Wehr
1,25 m/s
Leitwerk verschwenkt
B_F / B_S = 3,20
B_F

Abb. 11

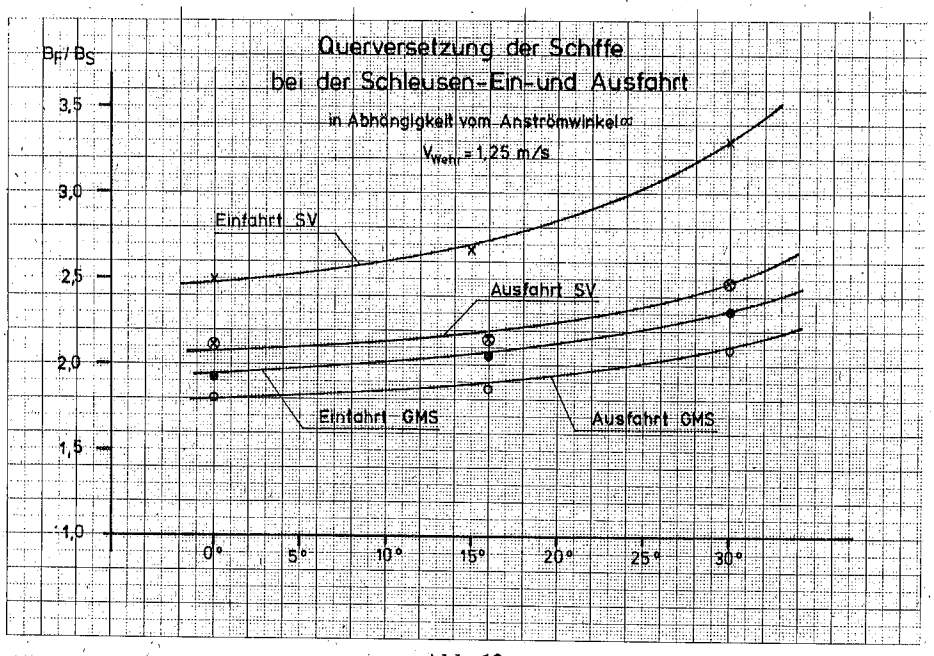
Querversetzung der Schiffe
bei der Schleusen-Ein- und Ausfahrt
in Abhängigkeit vom Anströmwinkel α
V_{Wehr} = 1,25 m/s
B_F / B_S
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0°
5°
10°
15°
20°
25°
30°
Einfahrt SV
Ausfahrt SV
Einfahrt GMS
Ausfahrt GMS

Abb. 12