

01 NOV. 1984

ARCHIEF

Lab. v. Scheepsbouwkunde
Technische Hogeschool
Delft

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 –

Dr.-Ing. E. Schäle

217. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg
Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V., Köln

Dr.-Ing. E. Schüle

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 –

217. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg
Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V., Köln

1. Einleitung

Einlaufbauwerke sind bauliche Anlagen an oder in Flüssen und Kanälen, die meist oberhalb entnommenes Wehr-, Kraftwerks- oder Industrierwasser geregelt zurückführen. Da die Einlaufmengen insbesondere von Kraftwerks- und Industrierwasser, 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 Schiffsverkehrsbehörden übernommen – zu einem Zeitpunkt, an dem Schleppschiffahrt und schwach motorisierte Selbstfahrer vorherrschten.

Diese Dienstanweisung besagt – und das war zugleich ihre Basis – daß die Ein- und Auslaufgeschwindigkeiten den Wert von 0,3 m/s nicht überschreiten dürfen.

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 Schifffahrt in einem ganz anderen Licht.

Im Zusammenhang mit dem Wortlaut des Themas gilt es, die Frage zu klären und quantitativ zu beantworten: welche Wassermengen und Quergeschwindigkeiten bewirken höhere Risiken als im heutigen Schifffahrtsbetrieb auf Strömen und Flüssen ohnehin durch Verkehrsdichte, Begegnungen, Überholungen, Querwind, Sohlenverwerfungen usw. gegeben und somit bekannt sind.

Es ist bekannt, daß unsere Wasserbau-Versuchsanstalten (Berlin, Braunschweig, Hannover, Hamburg, Karlsruhe, Stuttgart, Oberrhein) ständig mit Fragen dieser Art konfrontiert werden. Nur geht es dort um die konstruktive Gestaltung der Bauwerke mit dem Ziel, die entnommenen und zurückgeführten Wassermengen so zu leiten, daß der 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 quasistationär gemessen werden können.

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

Antworten auf diese, für die Wasser- und Schiffsverkehrsbehörden so wichtige Frage, sind auch inzwischen bekanntgewordener ausländischer Literatur

nicht zu entnehmen, bzw. nicht auf die in Mitteleuropa vorherrschenden Verkehrsverhältnisse zu übertragen.

Demzufolge hat der DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) einen Arbeitsausschuß gegründet, der dieses Thema umfassend bearbeiten soll.

Auch die Versuchsanstalt für Binnenschiffbau arbeitet in diesem Ausschuß mit und ließ die jeweils aktuellen Versuchsergebnisse in die Arbeitsmanuskripte eingehen.

Im Spätherbst 1978 wurden erstmals Großversuche am Großkraftwerk Mannheim vom Rehbock-Institut der TU-Karlsruhe ausgeführt [1]. Es war erkennbar, daß der Kurs des Schiffes zwar von der Querströmung beeinflusst wird, doch schienen die Risiken klein und für den Schiffsführer nahezu „betriebsüblich“ zu sein.

Zugleich zeigte sich jedoch, daß die Fahrgeschwindigkeit, der Abstand und die Länge des Schiffes eine wesentliche Rolle spielen.

2. Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm der VBD entwickelte sich von Fall zu Fall aus den gewonnenen Versuchsergebnissen in Verbindung mit dem angestrebten Ziel dieses Vorhabens, vor allem die Kursbeeinflussung von Schiffen durch Querströmung zu erfassen, zu bewerten und im Zusammenhang mit neu zu erarbeitenden Dienstanweisungen die notwendige Zuarbeit zu leisten.

Für die Durchführung der Naturversuche wurde die Rheinstraße 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 1:16)
- 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 Abstand und Geschwindigkeit variiert.

3. Beschreibung der Anlagen

3.1 Großkraftwerk Mannheim

Die Versuchsstrecke liegt im Bereich einer auslaufenden Krümmung rechtsrheinisch zwischen km 416 und 417. Der die Querströmung erzeugende Sammelauslauf befindet sich bei km 416,525. Er durchbricht eine steinerne Böschung. Seine etwa 80° zur Stromachse geneigte, rechteckige Öffnung hat etwa die Maße: $B = 34 \text{ m}$, $h = 3 \text{ m}$ [1]. Dank der Bereitwilligkeit der Kraftwerksleitung, die Kühlwasserpum-

pen während der Versuchsdurchführung mit Höchstleistung zu betreiben, traten maximal 56 m³/s aus.

Die dabei gemessene Quergeschwindigkeit im Lot über dem Böschungsfuß lag im Mittel bei 2,4 m/s. Der etwas schwankende Maximalwert lag ca. 1,5 m unter der Wasseroberfläche. Der Wasserstand während der Versuchszeit pendelte um den sog. Mittelwasserbereich.

3.2 Strom-Modell

Ein Modell dieses Uferabschnittes, jedoch mit gerader Böschung und rechtwinkliger Austrittsachse, wurde später im Maßstab 1:16 in den großen Schleppkanal der VBD so eingebaut, daß mit den vorhandenen Anlagen eine Stromgeschwindigkeit V_{Str} von 2,26 m/s und eine Austrittsgeschwindigkeit V_O von 3 m/s erreicht werden konnte.

Als Versuchsobjekte dienten:

- 1 Gütermotorschiff 80x9,5x2,8 m (LxBxT)
- 1 einspurig, zweigliedriger Schubverband 185x11,4x2,8 m

3.3 Fluß-Modell

Hier wurde das Unterwasser einer Staustufe mit Wehröffnung und Schiffahrtsschleuse im Maßstab 1:25 nachgebaut. Dabei sind die Trennwände zwischen Wehr und Schleuse entfallen, so daß der Abstrom des Wehres in die Schiffahrtsrinne reichte. Darüber hinaus wurde der Abfluß durch versetzbare Leitwerke noch so gerichtet, daß er bewußt sogar verstärkt in die Schleuse einfahrende Schiffe traf.

Als Versuchsobjekte dienten:

- 1 Großmotorschiff 105x11x2,8 m
- 1 einspurig, zweigliedriger Schubverband 185x11,4x2,8 m

4. Versuchsvorbereitung

Für die Naturversuche wurde ein Kreislergerät mit Regelelektronik gebaut, das folgende Komponenten und deren Verlauf analog ausgeben kann:

| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Kurswinkel ψ | [o] |
| Drehgeschwindigkeit ω | [o/s] (auch $\dot{\psi}$) |
| Trimmwinkel θ | [min] |
| Krängungswinkel \varnothing | [o] |

Damit konnten die Bewegungskomponenten der Schiffe bei freier Fahrt aufgenommen und registriert werden.

Getrennt aufgenommen wurden

Geschwindigkeitsverlauf

Ruderwinkel

Die Messung der Wassergeschwindigkeiten erfolgte von Fall zu Fall mit FS „FRITZ HORN“, dem VBD-Versuchsschiff, mittels der an Bord befindlichen Geräte. Der Verlauf der Ortsveränderungen wurde nach der Radarphasenbildmethode erarbeitet.

Für die Durchführung der Modellversuche wurden die hausinternen Kraftmeßanlagen sowie bei frei gesteuerter Fahrt die dazu hergerichtete Telemetrie eingesetzt. Siehe hierzu auch Lit. [2] und [3].

5. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Für die Versuchsdurchführung standen zur Verfügung:

- a) das schon mehrfach erwähnte institutseigene Forschungsschiff „FRITZ HORN“ mit seinen Meß- und Funkanlagen einschließlich der Neuaufer-tigungen
- b) die Schlepptankanlagen und der Schleppwagen, ebenfalls einschließlich aller Meßanlagen und der Datenverarbeitung
- c) Werkstätten und Fachpersonal, optische Spezialgeräte für die Bildauswertung.

Somit war es möglich, das umfangreiche Versuchsprogramm bei jedem Einsatz zügig abzuwickeln und brauchbare Ergebnisse zu erlangen.

5.1 Versuche am Großkraftwerk Mannheim

Da es weder die finanziellen Richtlinien der dieses Vorhaben führenden Institution (AIF) noch der Haushalt der VBD erlaubten, ausgewählte Schiffe zu chartern, konnten nur diejenigen Schiffe oder Verbände für die geplanten Messungen herangezogen werden, die zufällig die Rheinstrecke am Großkraftwerk befahren und deren Schiffsführer bereit waren, den erörterten Vorstellungen der Versuchsleitung zu folgen.

Um einen ersten Eindruck über die Strömungssituationen am Kraftwerksufer 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 Auslauf, sondern auch eine gewisse Gegenwirkung am Einlauf, dort wo etwa 20 m³/Sekunde dem Rhein entnommen wurden.

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. Bild 1 zeigt die Vorbeifahrtsituation bei einer Bergfahrt; Bild 2 bei einer Talfahrt, wobei der Ansteuerungsabstand ca. 20 m betrug!

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

- die Kühlwasserausflußmenge wird der Abflußmenge des Stromes zugeführt, infolge dessen erhöht sich örtlich unterhalb des Ausflusses die Stromgeschwindigkeit
- 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
- vom Schiff her gesehen tritt bei Ansteuerung des Ausflußstrahls eine Geschwindigkeitsverzögerung und eine Querversetzung ein
- Geschwindigkeitsverminderung und Querversetzung ändern sich mit dem Abstand
- Betrag und Richtung der beeinflussenden Kräfte ändern sich zugleich auch mit der Fahrgeschwindigkeit des Schiffes
- damit ändert sich auch die Beeinflussung des Schiffes hinsichtlich seiner Fahrtrichtung: bergwärts zeitlich lang anhaltende Wirkung, talwärts Kurzwirkung
- 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 \cong Überholung

Talfahrt \cong 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 Bilder 3, 4 und 5 zeigen ausschnittsweise das Kursverhalten dreier, in der Größe unterschiedlicher Einheiten.

Während zweier Meßreihen war es unvermeidlich, bei km 416,35 Reparaturarbeiten an den Einläufen 1 + 2 mittels Taucherschiff hinzunehmen. Dies beeinflusste die Messungen am Auslauf kaum und ließ zugleich erkennen, daß die Schiffe auch solche Passiersituationen trotz Querströmung beherrschen (siehe Bild 6).

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

Nach all diesen Versuchsfahrten ist festzustellen:

- die Verhaltenstendenz entspricht derjenigen des FS „FRITZ HORN“
- die Wirkung der äußeren Kräftebeeinflussung nimmt mit zunehmender Verdrängung ab
- Kurs- und Manövrierverhalten, d. h. die Reaktion auf Ruderbewegungen, bleibt unverändert.

Die Schiffsführer bringen zum Ausdruck, daß sie der Querströmung bisher keine Beachtung geschenkt haben. Alle Schiffe verhalten sich „betriebsüblich“. Die Talfahrt bleibt völlig unberührt.

5.2 Versuche im Strom-Modell

Wie unter 3.2 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 als Querstrom wieder eingeleitet werden konnte, andererseits vom Schleppwagen aus 3 Versuchsarten durchzuführen waren:

- frei gesteuerte Fahrt bei konstantem Kurs
- frei gesteuerte Fahrt auf möglichst konstanter Fahrbahn
- gefesselte Fahrt mit Quer- und Längskraftmessungen.

Bild 7 zeigt das Böschungsprofil mit Leiteinrichtung und Austrittsgestal-

tung. Die folgenden Fotos ermöglichen einen Einblick in die gefesselten und frei gesteuerten Meßfahrten.

Weitere Vorgaben waren für beide Modelle (GMS, Typ Johann Welker und SV bestehend aus Standard-Schubboot und 2 Leichter):

Wassertiefe $h = 4,0$ m

Tiefgang $T = 2,8$ m

Antriebsleistung
 $P_B = 90 - 95\% P_{Bmax}$

Stromgeschwindigkeit
 $V_{Str} = 7,2$ km/h

Querströmung $V_{Qmax} \rightarrow 3$ m/s

ferner der Ansteuerungsabstand vom Böschungsfuß: 12, 24 und 36 m = 1, 2 und 3 Schiffsbreiten.

Bei frei gesteuerten Modellversuchen muß stets zuvor ein gewisses Trainingsprogramm absolviert werden. Das war in diesem Fall deshalb besonders notwendig, weil die Wassergeschwindigkeiten bei den vorgegebenen Abständen weit über den später angestrebten Zulassungswerten lagen. Erst danach ist dann jeder einzelne Versuch 5mal gefahren, registriert und nach Mittelung der Fahrbahnen zeichnerisch und grafisch dargestellt worden.

Außer den Angaben der Konstanten sind in den Grafiken jeweils gegenübergestellt:

oben Fahrbahn und Parallelversatz, weil der Kurswinkel ebenfalls konstant bleiben sollte

unten Fahrbahn, Anstellung und Querversatz, weil der Abstand konstant gehalten werden sollte.

Für beide Fälle ist aufgeführt, die mittlere Fahrgeschwindigkeit des Schiffes (des Schubverbands) und die spezifische Fahrbahnbreite, bezogen auf die Schiffsbreite.

V_S = Schiffsgeschwindigkeit
 (auch V_{aw} =
 Geschwindigkeit
 durch das Wasser) [km/h]

B_F = Fahrbahnbreite [m]

B_S = Schiffsbreite [m]

Beispiele: Gütermotorschiff: Bild 8; Schubverband: Bild 9. Den Verlauf der spezifischen Fahrbahnbreite = Querversatz in Abhängigkeit vom Uferabstand zeigt Bild 10.

(Die dritte Versuchsreihe – gefesselte Fahrt – wird im Abschnitt 6 erläutert.)

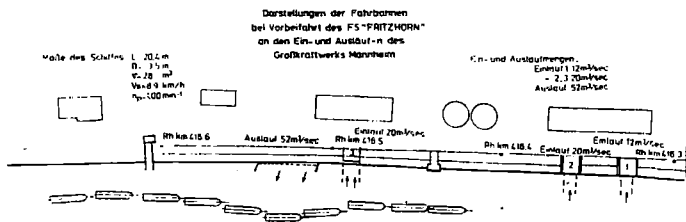


Abb. 1

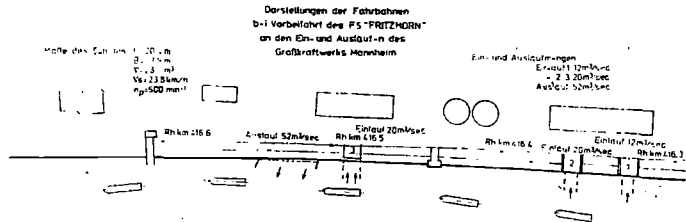


Abb. 2

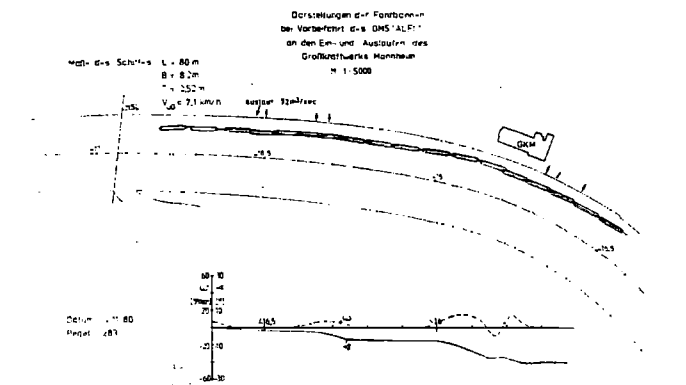


Abb. 3

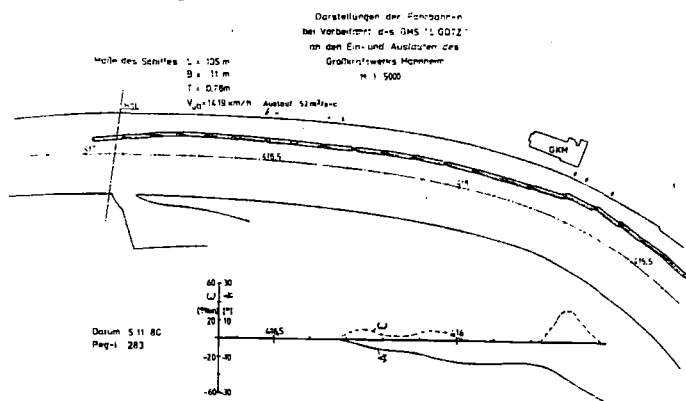


Abb. 4

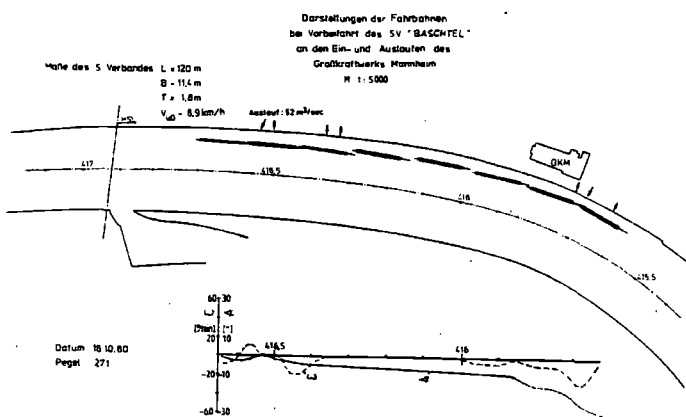


Abb. 5

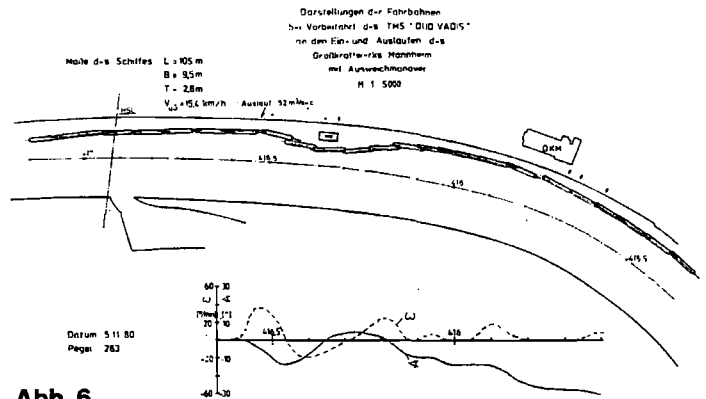
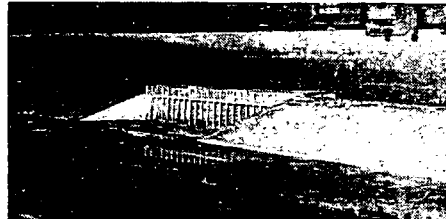
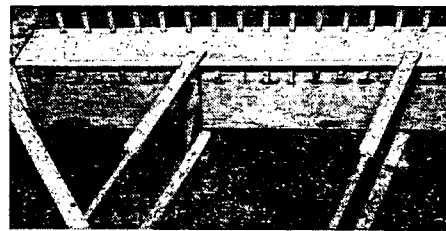


Abb. 6



Modell eines Einleitungsbauwerks -



- mit rückwärtigem Zulauf -



- Auffang- und Leiteinrichtungen

Abb. 7

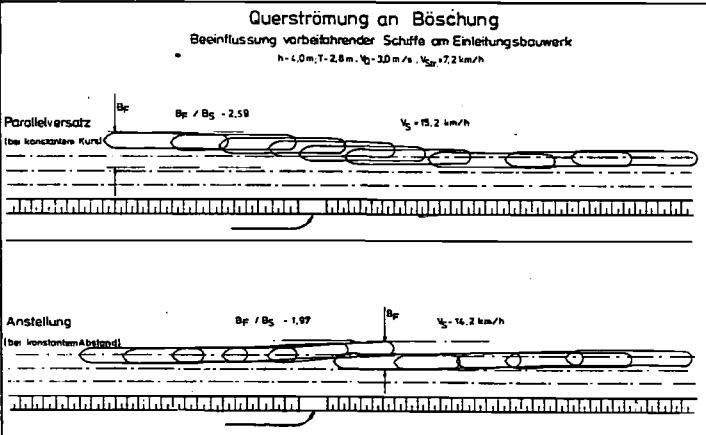


Abb. 8

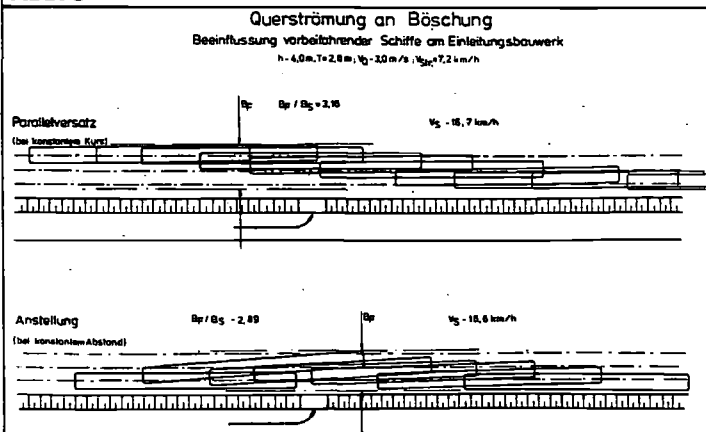


Abb. 9

Querversetzung der Schiffe
mit und ohne vorgegebener Anstellung

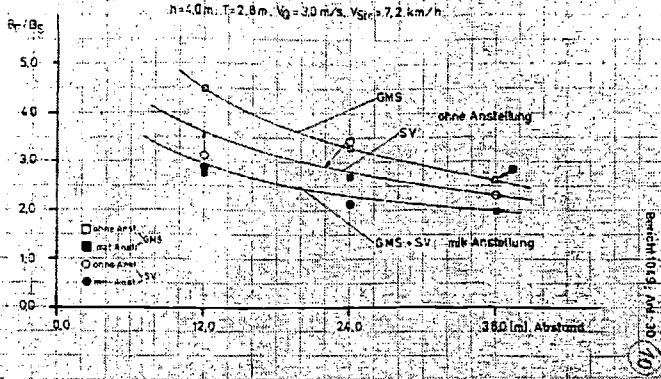


Abb. 10

Querströmung an Schleuse mit Wehr
Beeinflussung ein- und ausfahrender Schiffe

$h = 4,0 \text{ m}$, $T = 2,8 \text{ m}$, $V_Q = 1,25 \text{ m/s}$, $V_{Str} = 3,18 \text{ m/s}$

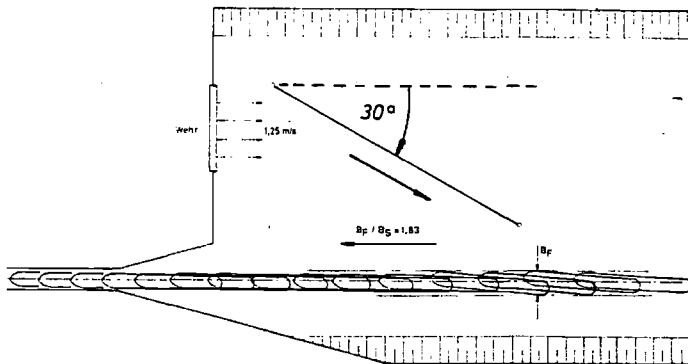


Abb. 11

Querströmung an Schleuse mit Wehr
Beeinflussung ein- und ausfahrender Schiffe

$h = 4,0 \text{ m}$, $T = 2,8 \text{ m}$, $V_Q = 1,25 \text{ m/s}$, $V_{Str} = 2,33 \text{ m/s}$

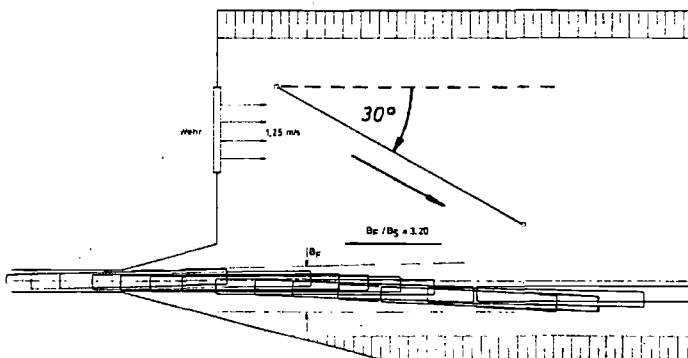


Abb. 12

Querversetzung der Schiffe
bei der Schleusen-Ein- und -Ausfahrt

in Abhängigkeit von Anströmwinkel
 $V_{Wehr} = 1,25 \text{ m/s}$

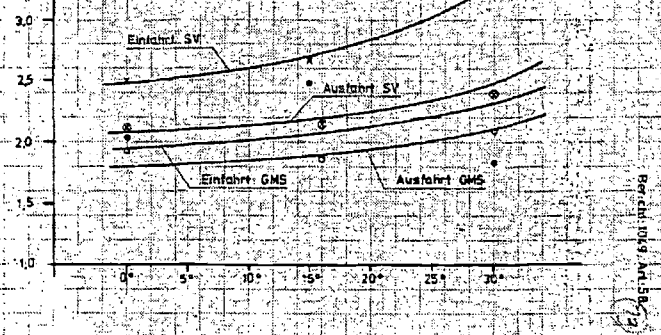


Abb. 13

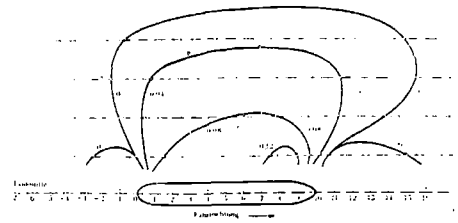


Abb. 14

Druckfeld

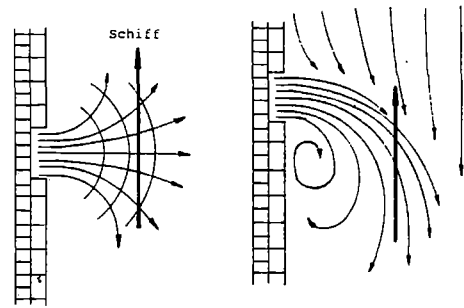


Abb. 15

Stillwasser

Fluß

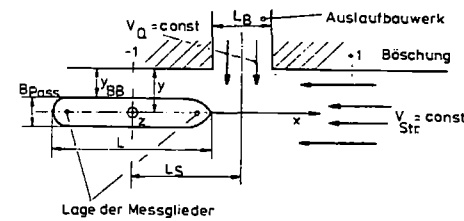


Abb. 16

Gütermotorschiff

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

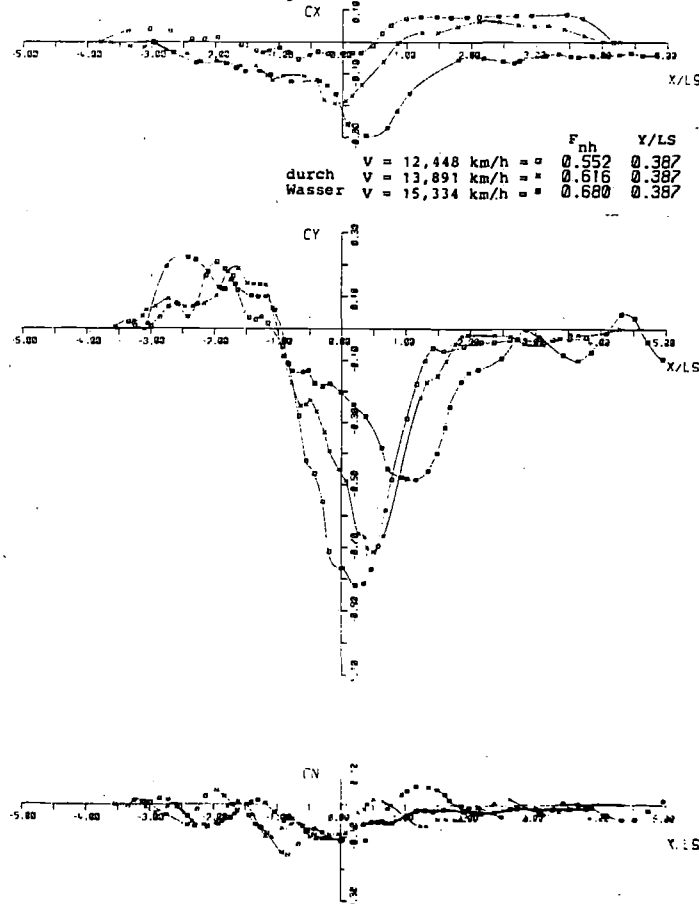
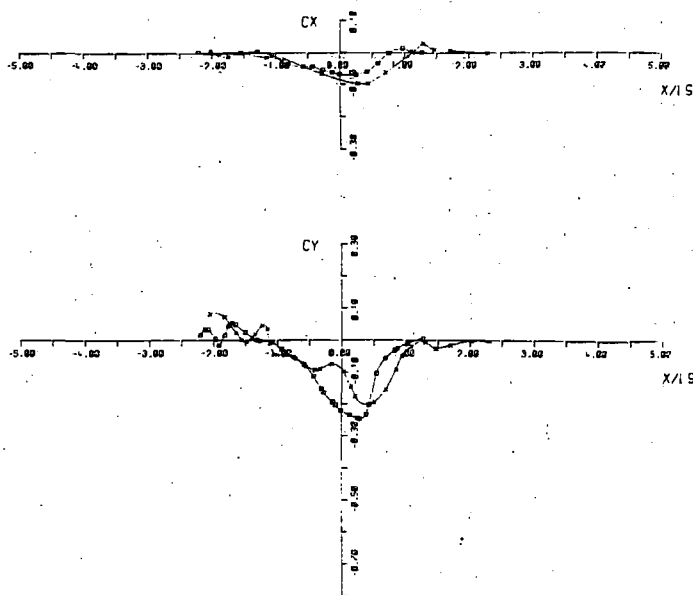


Abb. 17

Schubverband

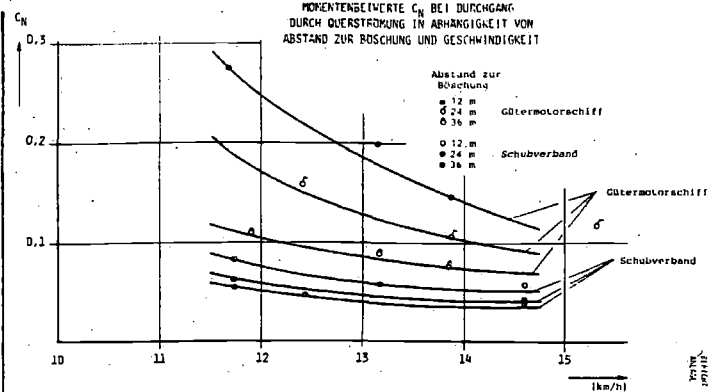


Beeinflussung vorbeifahrender Schiffe am Einleitungsbauwerk
 $h = 4,00 \text{ m}$; $T = 2,80 \text{ m}$; $V_Q = 2,36 \text{ m/s}$; $V_{Str.} = 2,26 \text{ m/s}$
 Abstand zur Böschung von Bordwand des Schiffes 24 m

| | V | F_{nh} | Y/L_S |
|--------|-----------------------|----------|---------|
| durch | $11,736 \text{ km/h}$ | $0,521$ | $0,211$ |
| Wasser | $14,616 \text{ km/h}$ | $0,648$ | $0,211$ |



Abb. 19



auf die Achse der Querströmung bezogen, die vom Uferbauwerk her das Schiff beeinflusst.

Die Versuche und das Bezugssystem wurden deshalb so gelegt, weil daraus die Dynamik des Passiervorganges sichtbar ist; denn es ist mit Sicherheit anzunehmen, daß die quasistationären Betrachtungsweisen, wie sie den bisherigen Darstellungen in den Berichtsunterlagen, vor allem aber auch in der Literatur [4], [5] zugrunde liegen, nicht ausreichen können.

Je nach Art des jeweiligen Versuches und der vorgegebenen Konstanten sind der Querversatz oder der Anstellwinkel – also die Kursbeeinflussung – quantitativ nachgewiesen worden. Bemerkenswert ist jedoch, daß sich dies bei freier Navigation der Schiffe sowohl im Modell- wie auch in Großausführung, selbst bei relativ hoher Querströmung, im betriebsüblichen Rahmen hielt, d.h. die Schiffe bequem beherrschbar blieben.

Die Ursachen hierfür werden in den hydrodynamischen Verhältnissen erkennbar und sollen hier in aller Kürze erörtert werden:

Das fahrende Schiff erzeugt um sich herum ein eigenes Strömungs- und Druckfeld. Äußerlich sichtbar wird dies durch die Verformung der Wasseroberfläche, die sich aus der lokalen Störung und den freien Oberflächenwellen zusammensetzt [6]. Daraus folgt, daß sich um das Schiff herum ein Energiefeld aufbaut und dieses sich bei Konstant aller Randparameter stationär mit dem Schiff mitbewegt. Nach dem Flächenverlauf auf Niveaulinien und deren Differenzierung zu urteilen nimmt das Energiefeld beträchtliche Ausmaße an. **Abb. 14**

Dieses schiffsfeste Energiefeld tangiert oder durchschneidet nunmehr die Ganglinien des Querströmungsfeldes am Auslauf, das seinerseits eigenständig ist, ganz gleich ob in ruhendem oder selbstströmendem Gewässer. **Abb. 15**

5.3 Versuche im Fluß-Modell

Wie unter 3.3 schon beschrieben, wurde das Unterwasser einer Staustufe, wie sie an Main und Mosel zu finden sind – ohne Bezugnahme auf einen bestimmten Ort – im Maßstab 1:25 in die Tankanlage unter Ausnutzung der Manövrierteichfläche eingebaut. Die mittlere Öffnung des Wehres ist so bemessen worden, daß die Abflußmenge nach Durchlaufen des Tosbeckens zu zwei konstanten Fließgeschwindigkeiten führte. Außerdem wurde jeweils für die 2. und 3. Versuchsreihe mittels einer variablen Leiteinrichtung das abfließende Wasser so beeinflusst, daß es mehr oder weniger direkt in die zur Schleuse führende Fahrrinne (tangential) einschneit.

Auch hier wären das Gütermotorschiff und der einspurig, zweigliedrige Standard-Schubverband wieder die Versuchsobjekte.

Beispiele: Gütermotorschiff: Bild 11; Schubverband: Bild 12.

In gewisser Analogie zum vorhergehenden Abschnitt ist die sich ergebende spezifische Fahrbahnbreite (B_F/B_S) in Bild 13 über die Winkelstellung des Leitwerks aufgetragen worden. Die Tendenz ist deutlich erkennbar, allerdings

springen einige Meßwerte, weil das später noch zu erörternde instationäre Verhalten des Wehrabstromes Einfluß auf das Kursverhalten des Schiffes, insbesondere des langen Schubverbandes nimmt.

6. Versuchsauswertung

Die durchgeführten und beschriebenen Natur- und Modellversuche orientierten sich an in der Praxis vorkommenden Fällen, allerdings waren die Vorgaben, wie Menge, Geschwindigkeit und Richtung mit Größenordnungen behaftet, die über das betriebsübliche Maß hinausgingen.

Im Mittelpunkt stand das Schiff und sein Kursverhalten, wenn es Streckenabschnitte befährt, innerhalb derer durch Wasserentnahme- oder -rückgabebauwerke die in der Regel axiale Anströmrichtung gestört wird. Um die Wirkung der Störung darzustellen, wurde ein ortsfestes Koordinatensystem gewählt. Von dieser Regel ist lediglich bei den Modellversuchen unter 5.2 abgewichen worden. Dort ist bei der 3. Versuchsreihe das Koordinatensystem schiffsfest und sein Mittelpunkt liegt auch mittschiffs im Hauptspant. Die dabei vorn und achtern gemessenen Querkräfte wurden jedoch wieder

Abb. 18

Da sich die Strömungsfelder durchdringen, stehen zunächst die inneren Kräfte in Wechselwirkung ehe das Schiff unmittelbar beeinflusst wird. Das Schiff selbst ist als große Masse träge. Es reagiert zeitlich versetzt und erst dann, wenn das eigene Energiefeld praktisch auf der dem Auslauf zugewandten Seite zerstört ist. Die Messungen und Beobachtungen haben gezeigt, daß dies erst der Fall ist, wenn die Querströmungsachse den vorderen Viertelpunkt der Länge erreicht hat. Nun liegt aber der taktische Drehpunkt des Schiffes im vorderen Drittelpunkt, so daß die praktisch notwendige Anstellung des Schiffes gegen die Querströmung (Querkraft) schon mit geringer Veränderung des Ruderwinkels möglich ist. Erst wenn die gesamte Breite des Querströmungsfeldes die Mitte des Schiffskörpers trifft, erreichen die Strömungskräfte ihre maximale Wirkung.

Um quantitative Angaben über die auf den Schiffskörper in Längs- und Querrichtung wirkenden Kräfte zu erhalten, wurde das Modell unter dem Schleppwagen über Meßglieder fest eingespannt und bei Konstanzhaltung aller Randbedingungen, jedoch in gestuften Variationen von Abstand und Geschwindigkeit, diese Kräfte gemessen. Danach folgt zwecks allgemeingültiger Verwertung der Meßergebnisse die Umrechnung in dimensionslose Größen, sog. Beiwerte nach vorgegebenem Rechenprogramm.

Für die Auswertung der sich zeitlich ständig verändernden Meßwerte – ob mit Visicorder registriert oder auf Platten abgelegt – hat die VBD ein Programmpaket, bestehend aus 4 anwendungsorientierten Einzelprogrammen, entwickelt:

Programm I:

Darstellung der Meßamplitude in mm-Schrieb im vorher festzulegenden Koordinatensystem (bezogen auf die Zeitachse)

Programm II:

Umrechnen in Maßgrößen sowie Skalieren und Sortieren der „Meßschleifen“ nach einem frei wählbaren Schlüssel

Programm III:

Berechnung von Beiwerten oder Umrechnung auf die Großausführung

Programm IV:

Zeichenprogramm zur Darstellung der Ergebnisse in Diagrammform

Da die Meßwerte während der Erfassung bereits sortiert und bewertet auf Platte abgelegt waren, kam PIII und PIV zur Anwendung.

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

$$C_y = \frac{F_{yV} + F_{yH}}{\phi/2 (V_G + V_{Str})^2 \cdot L \cdot T} \quad (\text{Querkraftbeiwert})$$

$$C_N = \frac{(F_{yV} \cdot h_V - F_{yH} \cdot h_H)}{\phi/2 (V_G + V_{Str})^2 \cdot L^2 \cdot T} \quad (\text{Momentenbeiwert})$$

bei „Johann Welker“ $h_V = h_H = a/2$ $a =$ Meßgliederabstand

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

$$h_H = \frac{a}{2} - \frac{L_S}{2}$$

Die Bezeichnungen und Zuordnungen sind Bild 16 zu entnehmen:

Um Allgemeingültigkeit zu sichern, wurden die veränderlichen Größen in dimensionslose Beiwerte umgewandelt.

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 verdrehenden 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 vorstellbaren Grundkurve überlagerten Schwankungen bzw. Schwingungen gemeinsam. Die Ursache dafür dürfte im instationären Verhalten der sich durchdringenden Strömungen (Querstrom vom Auslauf, Längsstrom am Ufer des Flusses) zu finden sein. Es gibt darin keine stetigen Druckverläufe, infolgedessen auch keinen stetigen Kraftverlauf auf das Schiff wirkend. Die kurzzeitig wirkenden Querkräfte, die im Sonderfall zur Querversetzung des Schiffes führen, werden durch Anstellung so kompensiert, wie beispielsweise bei Fahrt durch eine vorgegebene Fahrbahnkrümmung. Dabei wirkt ja die Fliehkraft in gleicher Richtung wie die Querströmung; siehe hierzu Lit. [7]. Bild 17 (Gütermotorschiff) und Bild 18 (Schubverband) zeigen Beispiele der Beiwert- und damit Kräfteverläufe. Auch die relativ große „Masse“ und die Länge der Schiffe wirken kursstabilisierend, wie Bild 19 erkennen läßt.

Dort wurden die Momentenbeiwerte C_N aus Anlg. 59–64 als Parameter dargestellt. Das instationäre Kräfteverhalten zeigte sich schon bei der Übertragung der ω -Kurven in die Anlagen 3, 4, 11, 13, 15, 17, 19 und 21 mit Höchstwerten von 20°/min. Auch da sind die Schwankungen bereits nachgewiesen worden.

Dieser Wert von 20°/min stellt zugleich aber auch ein Kriterium für die Beherrschbarkeit des Querströmungsflusses dar, denn ω -Werte dieser Größenordnung werden von Gütermotorschiffen bereits mit Ruderwinkeln zwischen 10° und 15° erreicht. Man ist schiffsseitig also in der Lage, Wirkungen der untersuchten Art mit geringer Ruderbewegung und daraus resultierender Anstellung des Schiffes auszugleichen. Dies ist auch die Erklärung dafür, daß keiner der befragten Schiffsführer die Vorbeifahrt am Kraftwerksauslauf Mannheim als ungewöhnlich angesehen hat.

7. Zusammenfassung

Industrieanlagen an schiffbaren Gewässern, insbesondere Kraftwerke an Flüssen und Strömen, müssen große Mengen Wasser entnehmen und zurückgeben. Dies geschieht durch Ein- und Ausläufe – nach neuer wasserbaulicher Bezeichnung Einleitungs- und Rückgabebauwerken. Da die Mengen groß sind und ggf. weiter steigen, wurde die Frage nach der Beeinflussung der Schifffahrt experimentell behandelt, denn bisherige gesetzliche Bestimmungen sind seit mindestens 2 Jahrzehnten überholt.

Die nach vorgegebenem Plan durchgeführten Messungen in Natur- und Modellgröße – das Schiff in den Mittelpunkt stellend – mit praktischen Beispielen von Strom, Fluß und Stillwasser ließen die Problematik erkennen und zugleich Beweise für Grenzwerte er-

bringen, die dem Gesetzgeber zwecks Änderung bestehender Vorschriften zur Kenntnis gebracht werden sollen.

Dies geschieht über einen Arbeitsausschuß des Deutschen Vereins für Wasserwirtschaft und Kulturbau, in dem der Berichtersteller mitarbeitete.

Die gewonnenen Versuchsergebnisse konnten aus Platzgründen nur stark gekürzt abgedruckt werden. Der Originalbericht bzw. auch einzelne Originaldiagramme können von der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg, Oststraße 77, gegen Erstattung der Selbstkosten bezogen werden.

Literatur

[1] Bakowies, F.

Untersuchungen über die Auswirkungen von Querströmungen auf die Schifffahrt; Rehbock-Institut der TU-Karlsruhe

[2] Schäle, E.

Naturgroße, experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der notwendigen Fahrwasserbreite in Krümmungen strömender Gewässer; 151. Mitteilung der VBD; Schiff und Hafen, Heft 8/1974

[3] Schäle, E.

Nautische Untersuchungen mit Schiffsmodellen; 190. Mitteilung der VBD; Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, Heft 9/1979

[4] Schmidt-Stiebitz, H.

Untersuchungen der zur Fahrtrichtung querverrichteten Strömungskräfte an einem Flachwasserschiff; Schiffstechnik, Band 8, Heft 42/1961

[5] Ross, C.

Auswirkungen auf die Schifffahrt durch örtlich begrenzte Querströmungen – eine analytische Behandlung der Problematik aus wasserbaulicher Sicht; Franzius-Institut der TU-Hannover (noch nicht veröffentlicht)

[6] Grollius, W.

Untersuchung des Strömungsfeldes analytischer Schiffsformen auf flachem Wasser; 157. Mitteilung der VBD; Schiff und Hafen, Heft 9/1975

[7] Schäle, E.

Fahrverhalten von Schubverbänden in Stromkrümmungen; 123. Mitteilung der VBD; Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, Heft 7/1971

[8] Sturtzel, W.; Graff, W.; Müller, E.

Untersuchung der Verformung der Wasseroberfläche durch die Verdrängungsströmung bei der Fahrt eines Schiffes auf seitlich beschränktem, flachem Fahrwasser; 83. Mitteilung der VBD; Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1725

[9] Graff, W.; Müller, E.; Binek, H.

Untersuchung der Wasseroberflächenverformung beim Begegnen zweier Schiffe im Kanal; 101. Mitteilung der VBD; Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1987