

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Zimmermann, Claus**

## **Zur Frage zulässiger Querströmungen an Bundeswasserstraßen**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102816>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Zimmermann, Claus (1990): Zur Frage zulässiger Querströmungen an Bundeswasserstraßen. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 67. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 175-206.

### **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.



## ZUR FRAGE ZULÄSSIGER QUERSTRÖMUNGEN AN BUNDESWASSERSTRASSEN

### On permissible cross currents in Federal Waterways



Claus Zimmermann, Dr.-Ing., Baudirektor, Abteilungsleiter in der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Geboren 1940; Studium des Bauingenieurwesens an den Tech. Hochschulen Aachen und Hannover 1960 - 1966. Planungsingenieur und Bauleiter 1966 - 1970. 1970 - 1976 Wiss. Angestellter am Institut für Hydromechanik an der Universität Karlsruhe. 1974 Promotion über Sedimenttransport in Gerinnekrümmungen. 1976 - 1986 Beratender Ingenieur für Wasserbau im In- und Ausland. Seit 1987 Abteilungsleiter Wasserbau und Hydromechanik in der BAW Karlsruhe. Ab 1990 Ordinarius für Verkehrswasserbau und Küsteningenieurwesen an der Universität Hannover.

Veröffentlichungen u. a. über Wärmeeinleitung in Strömungen, Sekundärströmungen in Flüssen, Gerinnetopografie, Sedimenttransport, Wasserstraßen.

#### Inhaltsangabe

Entnahme von Wasser aus und Einleitung in Bundeswasserstraßen bedürfen der Erlaubnis bzw. Genehmigung. In der Genehmigungspraxis der WSV werden bis heute in der Regel 0,30 m/s Quergeschwindigkeit an der Grenze zur Wasserstraße zugelassen. Im Bereich von Entnahmebauwerken sollten aus fischereibiologischen und anderen Gründen auch weiterhin nicht über 0,30 m/s an der Grenze zur Wasserstraße zugelassen werden.

Dagegen können bei Einleitungen von Wasser in eine Bundeswasserstraße erheblich höhere Quergeschwindigkeiten zugelassen werden. Die auftretenden Querkräfte und Verdrehungsmomente können von Motorgüterschiffen und Schubverbänden problemlos durchfahren werden. Dies ist jedoch mit einem Querversatz des Schiffes verbunden, der anhand von hier angegebenen Verfahren rechnerisch abgeschätzt werden kann. Es wird empfohlen, unter Beachtung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs auf einer Bundeswasserstraße, Einleitungsgeschwindigkeiten im Einleitungsbauwerk wie folgt zuzulassen:

- (1) an freifließenden Flüssen bis zu 1,5 m/s
- (2) an staugeregelten Flüssen bis zu 1,0 m/s
- (3) an Kanälen mit keiner oder geringer Durchströmung bis zu 0,6 m/s.

Bei beschränkten Fahrwasserbreiten ist der Querversatz des Schiffes ein maßgebendes Kriterium für die Sicherheit auf der Wasserstraße. Hier sollten in jedem Einzelfall Untersuchungen durchgeführt werden.

#### Summary

Withdrawal of water from and discharge into Federal Waterways require permission. Nowadays practice to grant such permission is the proof that a transverse flow velocity at the boundary of the waterway is not exceeded. Such transverse velocity of 0.3 m/s may not be exceeded near intake structures for fishery and other reasons.

However, for discharges into Federal Waterways considerably higher transverse flow velocities should be allowed. Cross flow induced forces and torques can be handled by single motor vessels and push tows without problems. Passing such flow fields result in a transverse drift of the ship which can be estimated with a given procedure. It is recommended to allow flow velocities within a discharge structure, while safety and easiness of ship traffic is to be observed, on a waterway as follows

- (1) at free flowing streams up to 1.5 m/s
- (2) at canalised rivers up to 1.0 m/s
- (3) at canals with small or zero flow up to 0.6 m/s.

For waterways with limited width the transverse drift is a major safety criterion. Such cases require specific and indepth investigations.

<u>INHALT</u>	Seite
1 Veranlassung	177
2 Querströmungen an Wasserstraßen	178
2.1 Wasserentnahmen	178
2.2 Wasserrückgaben/Einleitungen	181
2.3 Vorhäfen und Schleusenzufahrten	181
3 Einleitungen und ihre Wirkungen	182
3.1 Strahleinleitung	182
3.2 Einflußgrößen und -bereiche bei Quereinleitung in eine Wasserstraße	184
3.3 Rückströmzone und Geschwindigkeitsfeld	186
3.4 Schifffahrt im Querströmungsfeld einer Einleitung	189
4 Querkräfte und Verdrehungsmomente als untaugliches Beurteilungskriterium	191
5 Querversatz	193
5.1 Querversatz/Drift als Bewertungsgröße für Einleitungen	193
5.2 Berechnung des Querversatzes	194
5.3 Vergleich von Rechnung und Messungen	196
5.4 Anwendungsbeispiele	199
6 Empfehlungen	200
6.1 Allgemeine Grundsätze	200
6.2 Geschwindigkeiten bei der Wassereinleitung in eine Wasserstraße	201
6.3 Querversatz von Schiffen im Bereich von Einleitungen	201
6.4 Untersuchungen in Modellen und in der Natur	202
7 Schlußbemerkung	203
8 Literatur	203
9 Unveröffentlichte Untersuchungen der BAW	205
10 Verwendete Symbole und Abkürzungen	206

## 1 Veranlassung

Entnahme von Wasser aus und Einleitung in Bundeswasserstraßen bedürfen der Erlaubnis bzw. Genehmigung. Sie werden hinsichtlich Menge und Qualität mit entsprechenden Auflagen durch die örtlich geltenden Landeswassergesetze auf der Grundlage des Wasserhaushaltsgesetzes des Bundes geregelt. Es obliegt aber der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, im Rahmen ihrer strom- und schifffahrtspolizeilichen Aufsichtspflichten nach dem Bundeswasserstraßengesetz die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs auf der Wasserstraße auch im Bereich von Entnahmen und Einleitungen sicherzustellen.

Die Beurteilung der Wasserentnahme und -rückgabe hinsichtlich ihres Einflusses auf den Schiffsverkehr erfolgt nach der Verwaltungsvorschrift aus dem Jahr 1963 (heute VV-WSV 2114 vom 03.06.1985). Diese regelt die Einleitung von Abwasser. "Große Einleitungsmengen", wie sie sich z. B. bei Kraftwerken durch das Kühlwasser ergeben, sind nicht spezifiziert, und es ist auch nichts Näheres über Einleitungsbedingungen aufgeführt. Es wird die Forderung angesprochen, "... bei besonderen Verhältnissen ist ein Modellversuch erforderlich ...", jedoch ohne Hinweis auf die zu untersuchenden Parameter und Randbedingungen oder die nachzuweisenden Grenzwerte.

In der Genehmigungspraxis der WSV für große Kühlwasserentnahmen und -einleitungen an Wasserstraßen von wenigen  $\text{m}^3/\text{s}$  bis über  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  hat sich seit Einführung des Erlasses als zulässiger und in Modellversuchen nachzuweisender Grenzwert die Querströmungsgeschwindigkeit von  $v_{\text{quer}} = 0,3 \text{ m/s}$  eingebürgert. Dieser Grenzwert, der in keiner Vorschrift oder einem Erlaß zu finden ist und von dem auch nicht gesagt wird, wo diese Quergeschwindigkeit auftreten darf bzw. zu messen ist, wurde aus Untersuchungen der BAW über die Gestaltung von Schleusenzufahrten an Flüssen übernommen (JAMBOR, 1960). Eine Analyse über die Vergleichbarkeit der Problemstellung und Zulässigkeit der Übertragung des Grenzwertes bei unterschiedlichen Randbedingungen wurde nicht bekannt.

Diese Genehmigungspraxis läuft auf sehr aufwendige, großflächige Bauwerke hinaus, besonders wenn  $0,3 \text{ m/s}$  im Bauwerk selbst schon einzuhalten sind. Sie wird daher seit längerer Zeit wegen der hohen Kosten für den Bau und Betrieb solcher Anlagen und wegen des Bedarfs großer Uferstrecken kritisiert, und eine Erhöhung der bisher immer noch vorgeschriebenen  $0,3 \text{ m/s}$  wird gefordert. Eine Forderung, die auch durch die Veränderungen bei der Schifffahrt mit ihren gegenüber den Schleppzügen früherer Jahre wesentlich leistungsstärkeren und reaktionsfähigeren Einzelfahrern und Schubverbänden begründbar ist. Auch die Kleinschifffahrt ist heute so ausgestattet, daß sie nicht mehr, wie bisher vielfach geschehen, als bestimmend für extrem geringe Quergeschwindigkeiten herangezogen wird.

Es werden zudem seit Jahrzehnten eine Reihe von großen Einleitungen betrieben, die Quergeschwindigkeiten bis zu  $2 \text{ m/s}$  im Bauwerk bzw. in der Uferlinie aufweisen, ohne daß nachteilige Einflüsse auf den Schiffsverkehr bekannt wurden. Aus diesen Erkenntnissen und Erfahrungen wird vielfach gefordert, die Quergeschwindigkeit von  $0,3 \text{ m/s}$  an der Grenze des Fahrwassers einzuhalten bzw. nachzuweisen.

Ein Versuch, die flexible Handhabung von Auflagen für Querströmungsgeschwindigkeiten zu unterstützen, wurde daher vom Fachausschuß "Ausbreitungsvorgänge" in seiner Schrift "Querströmungen und Rückgabebauwerke an



Wasserstraßen" (DVWK, 1984) unternommen. Er gibt die Empfehlung, "... Grenzwerte können bei günstigen örtlichen Bedingungen, wie gute Erkennbarkeit der Einleitung und ausreichender Manövrierraum, aufgrund durchgeführter Versuche zwischen  $v_Q = 0,6$  m/s auf Kanälen und  $v_Q = 2,0$  m/s auf großen Wasserstraßen liegen", und "... der für die Praxis maßgebende Wert wird aus den vor Ort festzustellenden Bedingungen zu ermitteln sein ...". Diese Aussage ist für die WSV als Genehmigungsbehörde wenig hilfreich, da keine Beurteilungs- und Entscheidungskriterien mit entsprechenden Randbedingungen und Grenzwerten, z. B. in welcher Entfernung vom Bauwerk oder im Bauwerk, angegeben werden.

Die BAW wurde daher aufgefordert, aufgrund ihrer zu diesem Problemkreis durchgeführten Untersuchungen und gesammelten Erkenntnisse mögliche Beurteilungs- und Entscheidungskriterien für die Genehmigung von Wasserentnahmen und -einleitungen an Wasserstraßen zu analysieren und zur Diskussion zu stellen.

## 2 Querströmungen an Wasserstraßen

### 2.1 Wasserentnahmen

-----  
Bauwerke zur Entnahme von Wasser aus einer Wasserstraße unterliegen in der Regel technischen und ökologischen Zwängen, die so geringe Querströmungsgeschwindigkeiten bedingen, daß sie nahe oder sogar unter den praktizierten 0,3 m/s liegen.

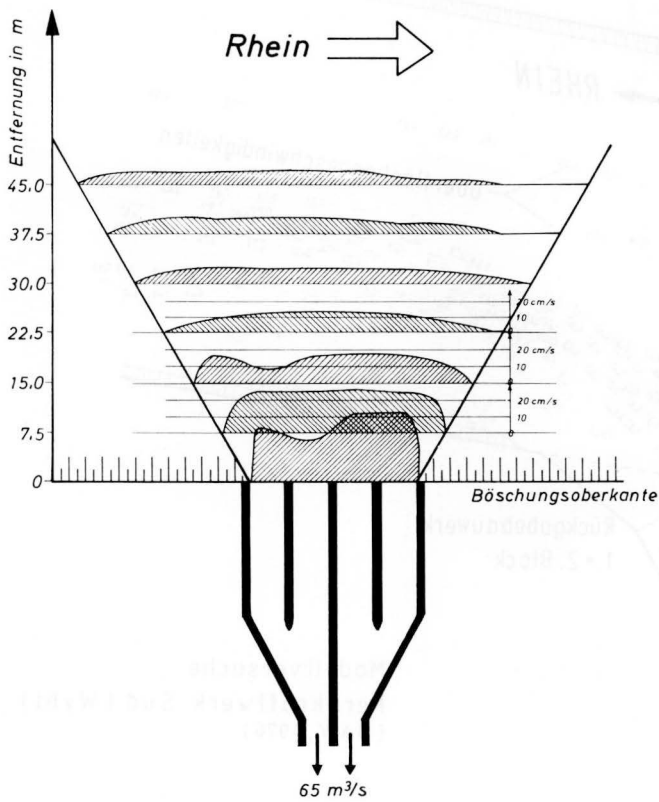
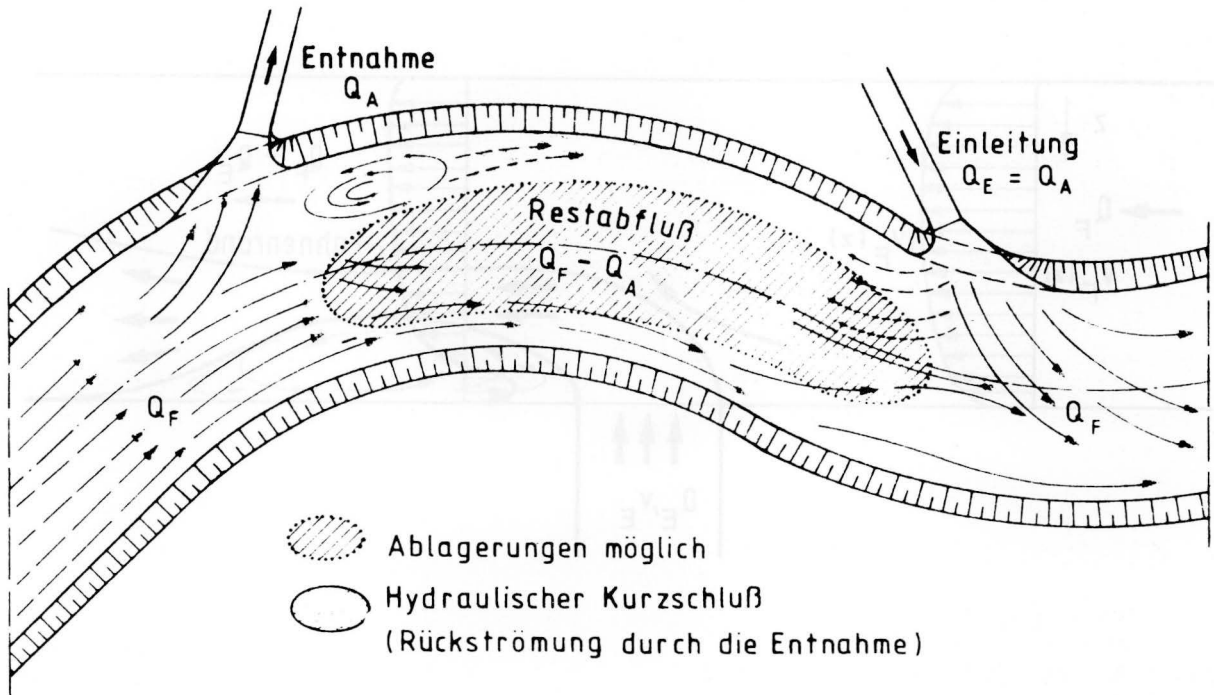
Möglichst geringe Fließgeschwindigkeiten erfordern bereits die notwendigen mechanischen Einrichtungen, wie Rechen, Siebbandanlagen, Strömungs- und Schmutzabweiser und Pumpen, um u. a. die strömungsmechanischen Verluste gering zu halten und den Reinigungsbetrieb vor und in dem Bauwerk zu gewährleisten.

Weiterhin resultiert die Forderung nach einem minimalen Eintrag von Flußsedimenten in die Entnahme in geringen Entnahme- bzw. Quergeschwindigkeiten. Sie richten sich nach den mitgeführten Sedimenten. In bundesdeutschen Flüssen wird in der Regel so feinkörniges Sediment transportiert, daß Strömungsgeschwindigkeiten unter 0,3 bis 0,4 m/s gewählt wurden.

Aus ökologischen Gründen besteht zudem die Notwendigkeit, Jungfische nicht in das Entnahmesystem gelangen zu lassen und eingeschwommene Fische zu verscheuchen. Von Fischereibiologen wurden daher geringe Strömungsgeschwindigkeiten gefordert, sog. Fluchtgeschwindigkeiten, die geringer als 0,3 m/s sind (z. B. MEYER-WAARDEN und HALSBAND, 1975). Diese werden heute aber auch höher zugelassen, wenn entsprechende bauliche Maßnahmen im Einlauf, wie Scheuchanlagen, Rechenwinkel usw., beachtet werden.

Da diese geringen Strömungsgeschwindigkeiten in den vergangenen Jahren bereits der Stand von Genehmigungsverfahren waren und keine Beeinträchtigungen der Schifffahrt bekannt wurden, erfolgt hier keine weitere Erörterung der Probleme vor Wasserentnahmen.

Hinzuweisen ist, daß bei einer Entnahme größerer Wassermengen aus einer Wasserstraße neben den Auswirkungen von Querströmungen vor einem Bauwerk stromab veränderte Strömungsbedingungen entstehen, z. B. Rückströmgebiete



Modellversuche KWS Wyhl

Quergeschwindigkeiten  $V_q$  [cm/sec] in verschiedenen Entfernungen von dem Entnahmebauwerk Block 1

$Q_{Rhein} = 400 \text{ m}^3/\text{sec}$

$Q_{Kühlwasser} = 65 \text{ m}^3/\text{sec}$

Meßtiefe = 2 m u.Wsp.

Maßstab = 1:500

Maßstab für die Quergeschwindigkeit [cm/sec]  $M_{Vq} = 1:20$

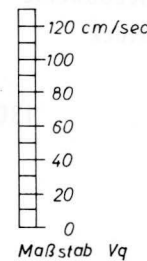


Bild 1 Strömungsverhältnisse im Bereich einer Wasserentnahme

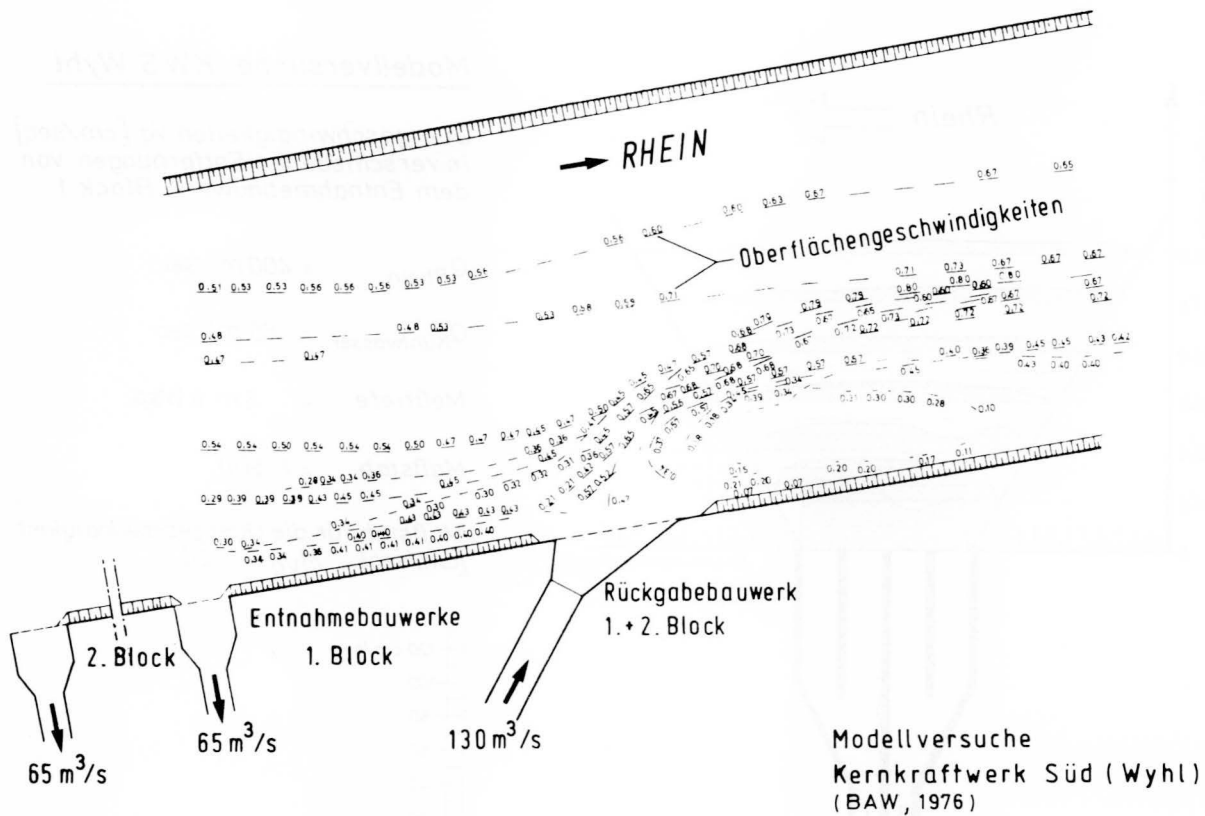
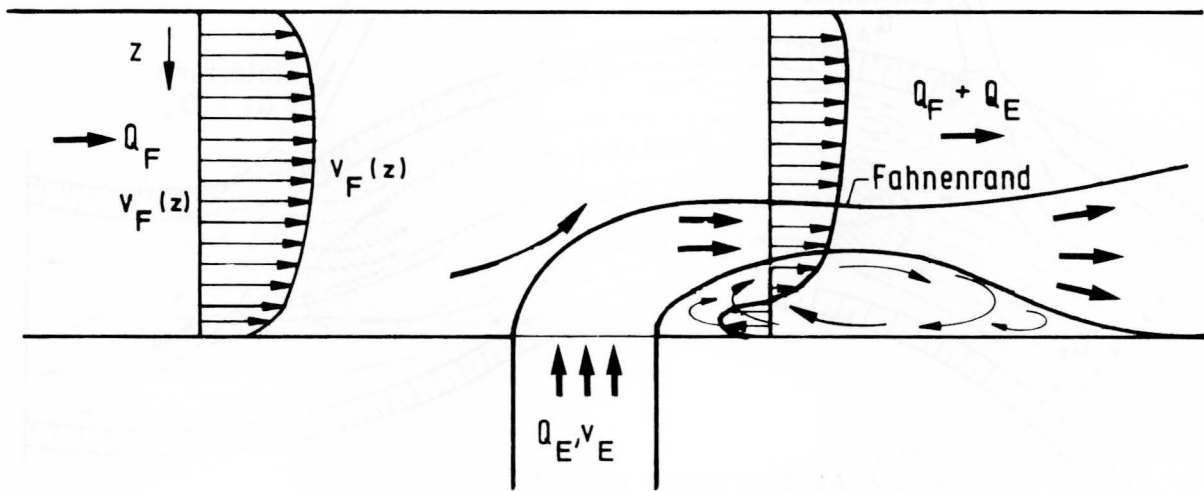


Bild 2 Strömungsverhältnisse im Bereich von Einleitungen  
 a) Prinzipskizze, b) Messungen aus Modellversuchen

und Verminderung der Strömungsgeschwindigkeiten. Die Ausmaße dieser Veränderungen und Auswirkungen auf die Wasserstraße richten sich zum einen nach den topographischen und morphologischen Gegebenheiten im Fluß, zum anderen nach dem Verhältnis von Entnahmemenge zum Restabfluß und der Entfernung zwischen Entnahme und Einleitung. Sie sind qualitativ und quantitativ in der Regel nur in hydraulischen Modellversuchen zu erfassen. Modellversuche sollten deshalb in all den Fällen durchgeführt werden, bei denen aufgrund einer Analyse mit hydraulischen Kurzschlüssen oder einer Verminderung der Fließgeschwindigkeiten zu rechnen ist, die die Strömungsverhältnisse und Sedimentationscharakteristiken im Bereich zwischen Entnahme und Rückgabe ändern.

## 2.2 Wasserrückgaben/Einleitungen

-----

Bei der Einleitung von Wasser, z. B. Kühlwasser, Abwasser, Regenwasser, sind unterschiedliche Gesichtspunkte und Interessen zu beachten. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht kann eine schnelle und vollständige Durchmischung des eingeleiteten Wassers mit dem Kanal- oder Flußwasser wünschenswert sein, so z. B. wenn eine Sauerstoffanreicherung erreicht werden soll. In anderen Fällen wird eine Begrenzung des eingeleiteten Wassers auf einen Teil des stromabliegenden Fließquerschnittes für ökologische Belange eines Flußabschnittes, die sog. Fahnenbildung, zur Erhaltung von unbeeinflussten Zonen für wesentlich gehalten. Beide Fälle können durch die Wahl der Einleitungsbedingungen und der Strömungsparameter herbeigeführt werden, NAUDASCHER et al. (1979), FINK (1976). Auf diesen Problemkreis wurde auch vom Arbeitskreis "Ausbreitungsvorgänge" des DVWK (1984) ausführlich eingegangen. Im Hinblick auf die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs auf Bundeswasserstraßen ist die Frage der Ausbreitung und ihrer Beeinflussung aber nachrangig zu sehen. Nachfolgend wird bei Einleitungen daher nur die Frage der Auswirkungen auf die Schifffahrt behandelt. Für beide Fragestellungen lassen sich jedoch bei Bedarf aufeinander abgestimmte technische Lösungen finden.

## 2.3 Vorhäfen und Schleusenzufahrten

-----

Verschieden von den Strömungs- und Manövrierbedingungen im Bereich einer Einleitung sind die Querwirkungen in Vorhäfen und Schleusenzufahrten, bei denen die Wasserstraße in einen Fluß übergeht, Bild 3.

Die Strömungsverhältnisse sind hier beim Übergang von beschleunigten oder verzögerten Strömungen in einen "Stillwasserbereich" durch Walzenbildungen und Ablösezone gekennzeichnet. Ein- und ausfahrende Schiffe treffen auf eine seitlich wirkende Strömung, die neben einer Querdrift vor allem eine Verdrehung bewirkt. Die Nähe der Schleuse, die Einengung des Fahrwassers, begegnende oder festgemachte Schiffe im Vorhafen, notwendige Festmache- oder Anlegemanöver usw. haben aber zur Folge, daß alle Schiffe diesen Bereich mit sehr geringer Geschwindigkeit und dementsprechend geringen Manövrier- und Rudereigenschaften durchfahren. Die Aufgabe des Planers ist es daher, die Übergänge so zu gestalten, daß Querdrift und Verdrehungen auf ein gefahrloses Maß abgemindert werden.

Untersuchungen über die Gestaltung von Schleusenzufahrten und Kanalabzweigungen führte JAMBOR für verschiedene Anlagen am Dortmund-Ems-Kanal, an Main und Mittelweser in den fünfziger Jahren durch. In seinem zusammenfas-

senden Bericht werden für die in jener Zeit vorherrschenden Schiffe - 1000-t-Schiff mit 8 km/h - aufgrund von Messungen der Querkräfte und Verdrehungsmomente an Modellschiffen für die obere Schleusenzufahrt, "die für den Planer leicht meßbaren Quergeschwindigkeiten" von 0,2 m/s und für die untere Zufahrt 0,3 m/s als "vertretbar" angegeben (JAMBOR, 1960).

Eine Übertragung dieser Erkenntnisse und Empfehlungen auf andere Bereiche mit Querströmungen, wie sie später durch die WSV auf Einleitungen erfolgte, wurde von JAMBOR selbst nicht vorgenommen. Bei einer von ihm ebenfalls untersuchten und nach seinen Empfehlungen ausgeführten großen Kühlwassereinleitung wurde sogar ein Vergleich der Größenordnungen der gemessenen Querkräfte und Verdrehungsmomente durchgeführt und im Gegenteil formuliert "... daß für das Entstehen der Querkräfte und Drehmomente im Fall Kanaleinfahrt Petershagen eine andere Ursache vorlag, als im Falle Kühlwasser- auslaß ...", (JAMBOR, SCHLEIERMACHER 1955).

Es bleibt für die Untersuchung und Behandlung der Auswirkung von Querströmungen auf Schiffe somit festzuhalten, daß Vorhäfen und Schleusenzufahrten durch ihren Übergang aus einer Strömung in einen Stillwasserkanal gegenüber Wassereinleitungen in eine Hauptströmung völlig unterschiedliche Vorgehensweisen und Lösungen erfordern. Sie sollten weiterhin in jedem Einzelfall in hydraulischen Modellversuchen überprüft und optimiert werden, wobei den Erkenntnissen und Vorschlägen von JAMBOR (1960) oder DIETZ, PULINA (1976) - wie auf die örtliche Situation abgestimmte Längen der Trennmolen, Auflösung der vorderen Molenabschnitte, Veränderung der Uferführung usw. - bisher nichts wesentlich Neues hinzugefügt wurde.

Die Durchführung von Modelluntersuchungen für Vorhäfen ist auch deshalb notwendig, weil eine maßgebliche Randbedingung für die Auslegung und Führung von Trennmolen und Zufahrten und der hiermit zusammenhängenden Ablagerungen die ungleichförmige Beaufschlagung einzelner Wehrfelder und des Tosbeckens ist ((n-1)-Zustand). Die sich hieraus ergebenden Strömungsfelder können nur in einem hydraulischen Modell untersucht und beurteilt werden. Alleine aus dieser Problemstellung ergibt sich der Unterschied zu einer Einleitung.

### 3 Einleitungen und ihre Wirkungen

#### 3.1 Strahleinleitung

-----  
Bei der Einleitung eines zähen und damit reibungsbehafteten ebenen Strahles in ein Fluid mit den gleichen Eigenschaften erfolgt ein Austausch zwischen dem Impuls der Einleitung und dem des Fluides, in das eingeleitet wird. Der Impulsaustausch erfolgt in Fällen, wie der Einleitung von Wasser in Wasser hoch turbulent. Das Geschwindigkeitsprofil der eingeleiteten Strömung in eine ruhende Flüssigkeit verändert sich, der Strahl wird breiter, die Geschwindigkeit nimmt von der Mitte des Strahles zum Strahlrand ähnlich einer Normalverteilung zu Null ab. Die Geschwindigkeit in Strahlachse vermindert sich mit zunehmender Entfernung von der Einleitungsstelle, Bild 4. Bei der Einleitung eines ebenen turbulenten Freistrahles in ruhendes Wasser vermindert sich die Geschwindigkeit  $v$  in Strahlachse  $v_{\max}$  umgekehrt proportional mit der Wurzel aus dem Abstand von der Einleitungs- bzw. Ausflußöffnung (SCHLICHTING, 1982):



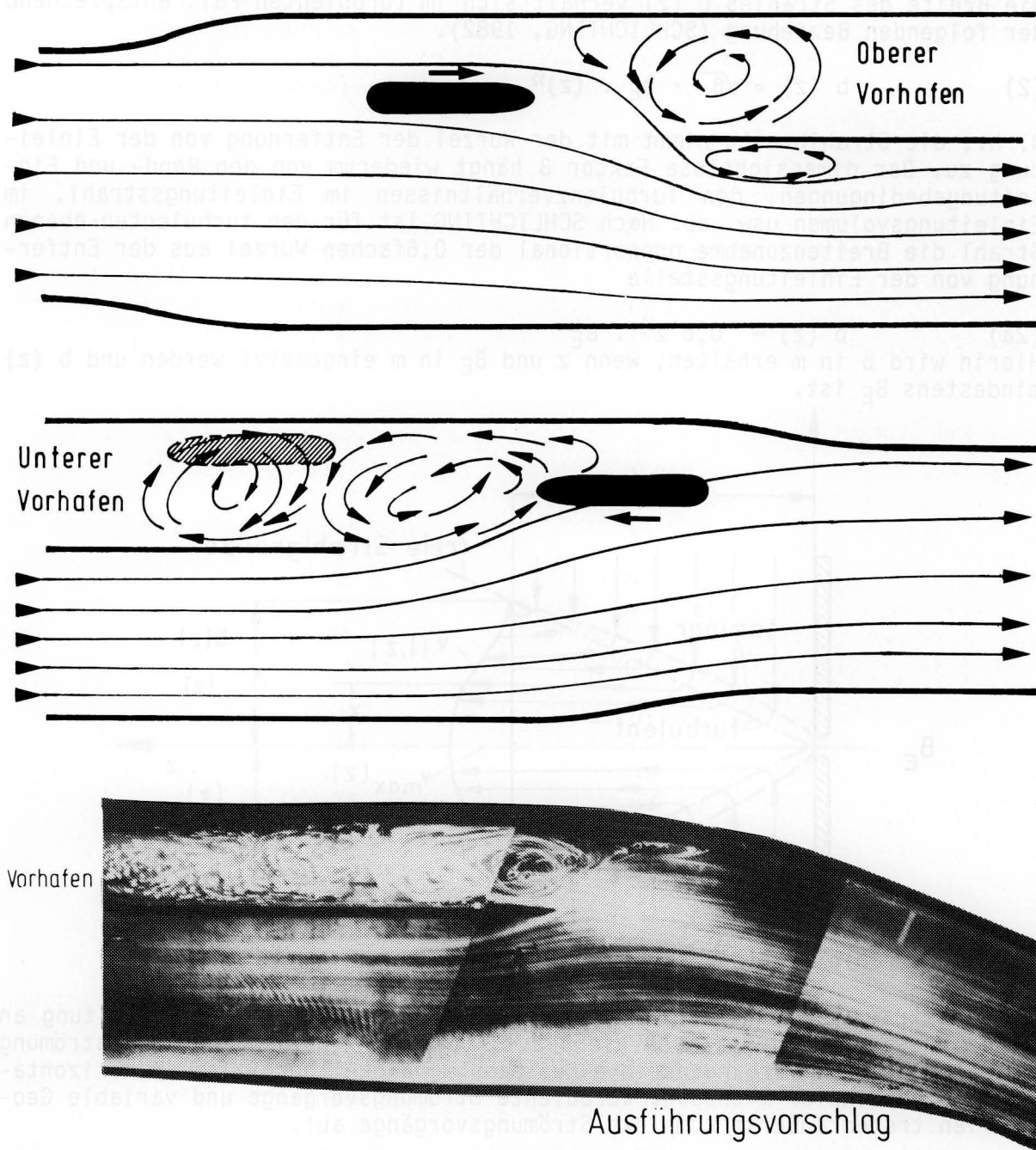


Bild 3 Strömungsverhältnisse in den Zufahrten/Vorhäfen von Schleusen

$$(1) \quad v_{\max} = \alpha \frac{1}{\sqrt{z}} \sqrt{\frac{I'}{\rho}} \quad (z \geq 1)$$

Hierin ist  $\alpha$  eine von den Rand- und Einleitungsbedingungen abhängige Zahl und  $I'$  der Einleitungsimpuls je Längeneinheit des Strahls. Für Abschätzungen läßt sich folgende, nicht dimensionsechte ( $\alpha^*$  ist dimensionsbehaftet) Beziehung verwenden,

$$(1a) \quad v_{\max} \sim \alpha^* v_E \cdot z^{-1/2}$$



Bei der Anwendung sind die Parameter so zu wählen, daß  $v_{\max} \leq v_E$  bleibt. Die Breite des Strahles  $b(z)$  verhält sich im turbulenten Fall entsprechend der folgenden Beziehung (SCHLICHTING, 1982).

$$(2) \quad b(z) = \sqrt{\beta} \cdot B_E \cdot (z)^{1/2}$$

D. h., die Strahlbreite nimmt mit der Wurzel der Entfernung von der Einleitung zu. Der dimensionslose Faktor  $\beta$  hängt wiederum von den Rand- und Einleitungsbedingungen, den Turbulenzverhältnissen im Einleitungsstrahl, im Einleitungsvolumen usw. ab. Nach SCHLICHTING ist für den turbulenten ebenen Strahl die Breitenzunahme proportional der 0,6fachen Wurzel aus der Entfernung von der Einleitungsstelle

$$(2a) \quad b(z) \sim 0,6 z^{1/2} \cdot B_E$$

Hierin wird  $b$  in m erhalten, wenn  $z$  und  $B_E$  in m eingesetzt werden und  $b(z)$  mindestens  $B_E$  ist.

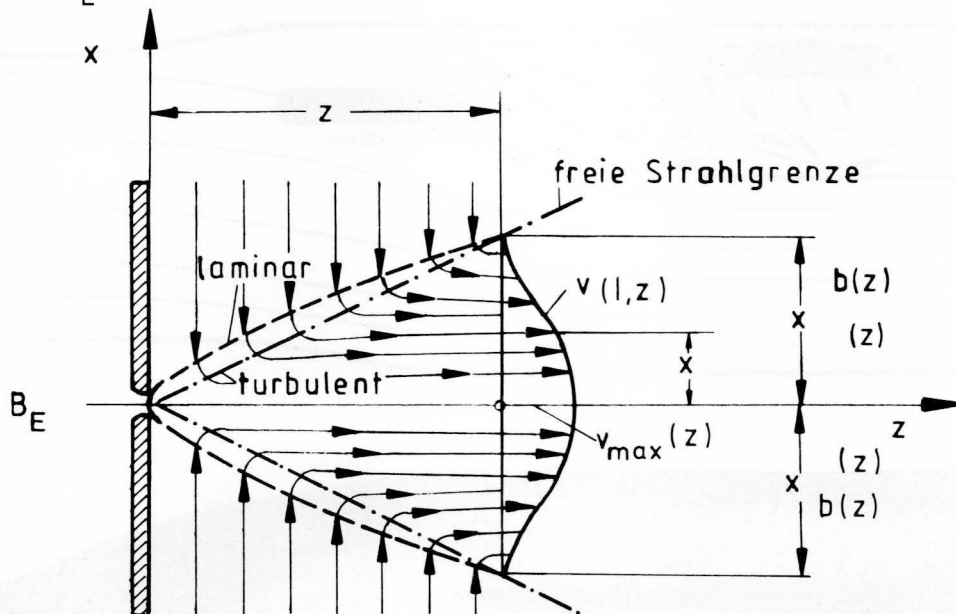


Bild 4 Strahleinleitung in eine ruhende Flüssigkeit

Diese extrem vereinfachten Verhältnisse treten bei einer Quereinleitung an einer Wasserstraße praktisch nicht auf. Durch die vorhandene Hauptströmung des Flusses, das Vorhandensein eines Geschwindigkeitsprofils in horizontaler und vertikaler Richtung, turbulente Strömungsvorgänge und variable Geometrien treten äußerst komplexe Strömungsvorgänge auf.

### 3.2 Einflußgrößen und -bereiche bei Quereinleitung in eine Wasserstraße

Zur exakteren Analyse der Auswirkungen von Querströmungen bei Wassereinleitungen auf die Schifffahrt müssen die verschiedensten Einflußfaktoren berücksichtigt und untersucht werden. Sie lassen sich in drei Parametergruppen unterscheiden:

#### (A) Parameter der Wasserstraße

- Strömungsgeschwindigkeit, horizontale Geschwindigkeitsverteilung
- Dichte, kinematische Zähigkeit des Wassers
- Querschnittsform, Rauheit der Sohle, Wassertiefen
- Verlauf der Fahrrinne und der Ufer



$L_R$  wieder an das Ufer an. In dieser Zone treten charakteristische horizontale Geschwindigkeitsprofile auf, die sowohl von der Einleitung (B) als auch von den Strömungsparametern der Wasserstraße bzw. des Flusses (A) beeinflusst werden.

In der stromab folgenden sog. Ausgleichszone stellen sich charakteristische Geschwindigkeits- und Austauschprofile ein, die von den Parametern der Einleitung (B) kaum noch beeinflusst sind. Es findet ein Queraustausch des eingeleiteten Wassers mit dem Flußwasser aufgrund der von den Parametern der Wasserstraße (A) bedingten turbulenten Strömungsvorgänge und der Sekundärströmungen statt. Im Fall von Kühlwassereinleitungen mit Temperaturdifferenzen zum Fluß findet in dieser Zone ein vertikaler Temperaturengleich statt, d. h. mögliche horizontale Schichtungen von warmem und kaltem Wasser werden durch Vermischung ausgeglichen.

Stromab an die Ausgleichszone schließt sich das Fernfeld an. Hier sind Auswirkungen der Einleitung in Längs- und Querrichtung nur noch als Qualitätsunterschiede (Konzentration, Temperatur) feststellbar. Sie sind von den Parametern der Einleitung (B) unbeeinflusst. Ein Ausgleich findet nur durch turbulente Diffusion und Sekundärströmungen statt, d. h. nur die Parameter der Wasserstraße (A) sind von Einfluß. Bei erwärmten Einleitungen ist dieses Fernfeld für eine Aussage über mögliche Nebelbildungen und ihren Einfluß auf die Schifffahrt von Bedeutung.

Aus dieser Analyse wird deutlich, daß Auswirkungen von Einleitungen auf die Fahrt eines Schiffes nur im Anfangsbereich der Rückströmzone, d. h. vor und unmittelbar unterhalb von dem Einleitungsbauwerk auftreten können, da nur hier merkbare Quergeschwindigkeiten vorliegen.

### 3.3 Rückströmzone und Geschwindigkeitsfeld

Die Ausbildung der Rückströmzone, d. h. die Ausdehnung quer und längs zur Fließrichtung der Hauptströmung sowie Richtung und Größe der in diesem Bereich auftretenden Geschwindigkeitsvektoren, hängen zum einen von den Einflußgrößen der Grundströmung, zum anderen von denen der Einleitung ab.

$$(3) \quad H \quad L_R \quad = \quad f_1, 2, 3, 4 \quad (v_F, y_F, B_F, v_F, \rho_F, g, \beta_F, v_*, v_E, B_E, y_E, v_x, y_E^*, \alpha_E, \text{Bauwerkseinbindung})$$

hierin bezeichnen (Bild 5):

$H$  = Höhe der Rückströmzone

$L_R$  = Länge der Rückströmzone

$v_x$  = örtliche Fließgeschwindigkeit in Strömungsrichtung

$v_x$  = örtliche Fließgeschwindigkeit in Querrichtung (auch  $v_q$ )

$v_z$  = mittlere Fließgeschwindigkeit der Hauptströmung

$y_F$  = mittlere Abfließtiefe der Hauptströmung

$B_F$  = Flußbreite

$v_F$  = kinematische Zähigkeit

$\rho_F$  = Dichte des Wassers

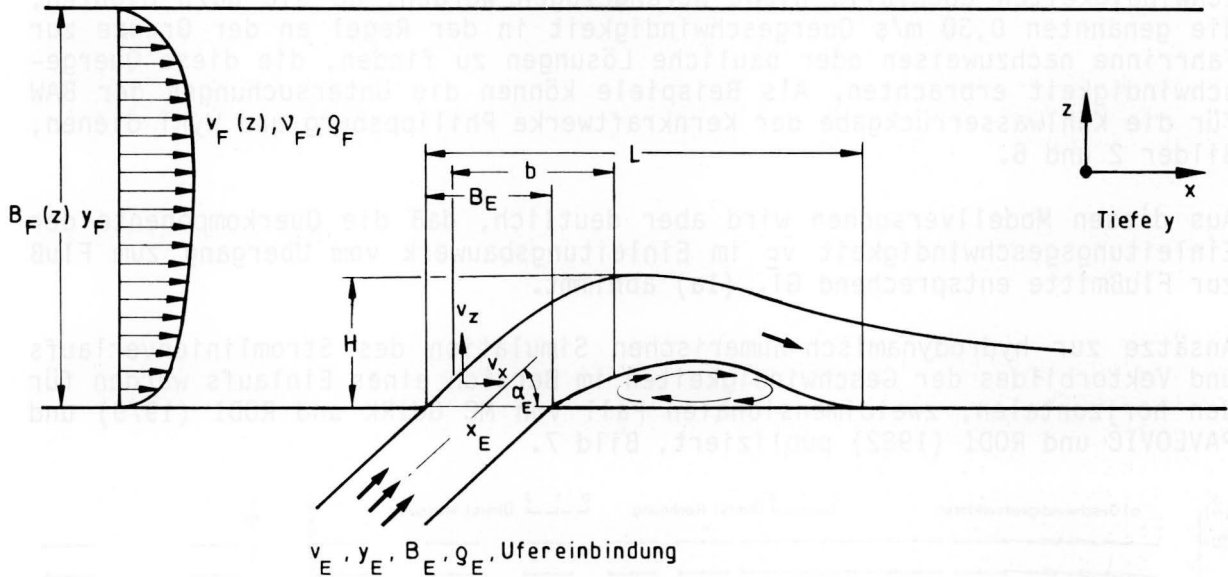
$\beta_F$  = Winkel der Strömungsrichtung zur Flußachse

$v_*$  = Schubspannungsgeschwindigkeit (als Maß für Sohlrauigkeit und Turbulenz)

$v_E$  = mittlere Einleitungsgeschwindigkeit

$B_E$  = Einleitungsbreite

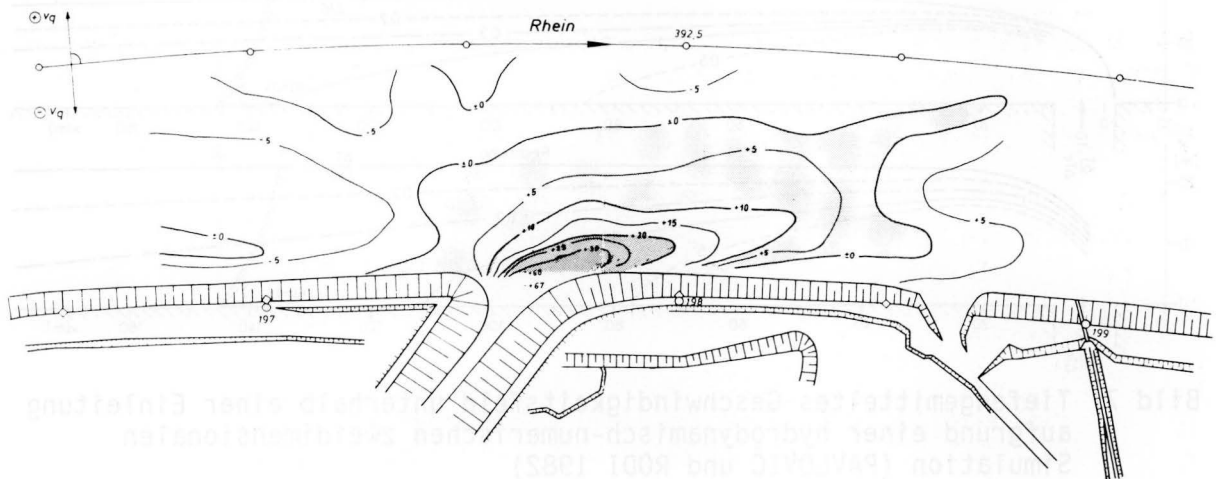
- $y_E$  = Einleitungstiefe
- $Y_{E^*}$  = Höhe der Einleitung relativ zur Hauptströmung
- $\alpha_E$  = Einleitungswinkel
- $\rho_E$  = Dichte des Einleitungswassers



Linien gleicher Quergeschwindigkeiten [cm/sec] 80 cm unter dem Wasserspiegel  
für einen Standort des Kernkraftwerkes im Gewinn Eichau

$$Q_{\text{Rhein}} = 340 \text{ m}^3/\text{sec}; \quad Q_{\text{Kühlwasser}} = 50 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$M = 1.1500$$



Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe

Bild 6 Rückströmzone und Einflußgrößen im Bereich einer Einleitung  
(Prinzipiskizze (a) und Meßergebnisse aus einem Modell (b))

Eine systematische Untersuchung der örtlichen Geschwindigkeiten  $v_x$  und  $v_z$  über den gesamten Bereich der Rückströmzone einer Einleitung ist bisher nicht bekannt geworden. Die erwähnten Untersuchungen des Sonderforschungsbereichs 80 der Universität Karlsruhe geben hierzu keine Informationen oder

beginnen wie bei SCHATZMANN und NAUDASCHER (1978) erst im Fernfeld. Die in großer Zahl durchgeführten hydraulischen Modellversuche für Einleitungen an Wasserstraßen können für eine Analyse und Aufstellung von Beziehungen zwischen den Parametern der Einleitung, des Flusses und den örtlichen Geschwindigkeiten ebenfalls nicht herangezogen werden, da sie dazu dienen, die genannten 0,30 m/s Quergeschwindigkeit in der Regel an der Grenze zur Fahrrinne nachzuweisen oder bauliche Lösungen zu finden, die diese Quergeschwindigkeit erbrachten. Als Beispiele können die Untersuchungen der BAW für die Kühlwasserrückgabe der Kernkraftwerke Philippsburg und Wyhl dienen, Bilder 2 und 6.

Aus diesen Modellversuchen wird aber deutlich, daß die Querkomponente der Einleitungsgeschwindigkeit  $v_E$  im Einleitungsbauwerk vom Übergang zum Fluß zur Flußmitte entsprechend Gl. (1a) abnimmt.

Ansätze zur hydrodynamisch-numerischen Simulation des Stromlinienverlaufs und Vektorbildes der Geschwindigkeiten im Bereich eines Einlaufs wurden für den horizontalen, zweidimensionalen Fall von MC GUIRK und RODI (1979) und PAVLOVIĆ und RODI (1982) publiziert, Bild 7.

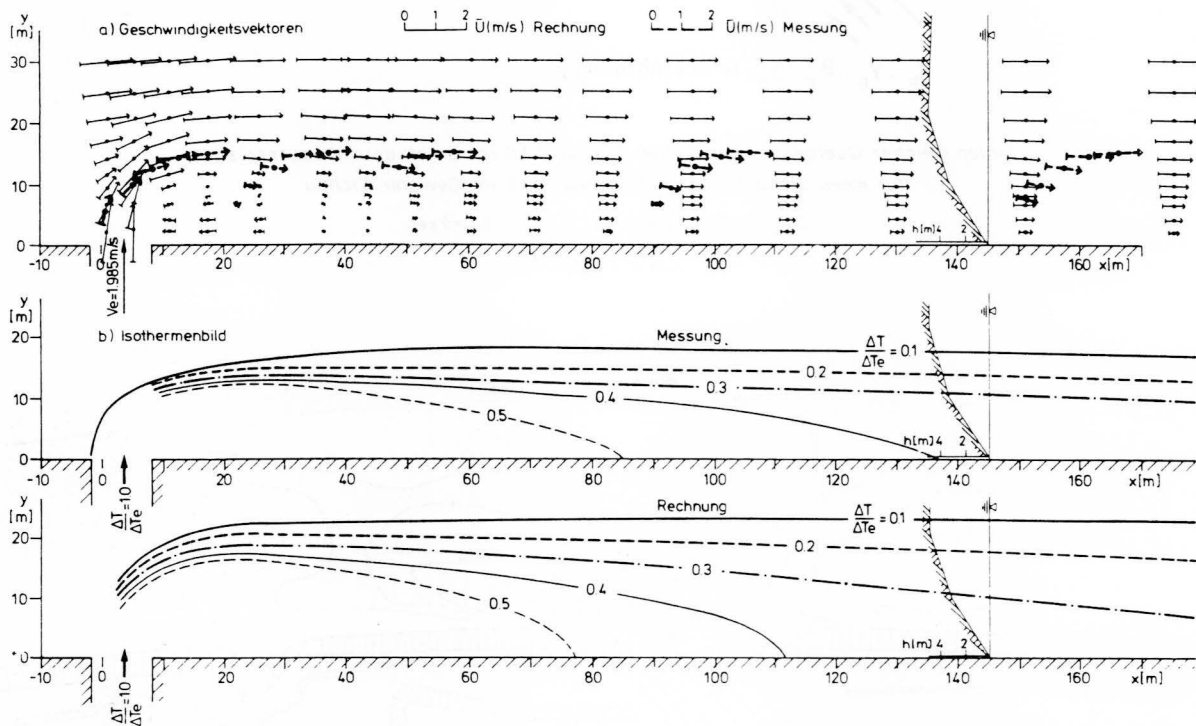


Bild 7 Tiefengemittelttes Geschwindigkeitsfeld unterhalb einer Einleitung aufgrund einer hydrodynamisch-numerischen zweidimensionalen Simulation (PAVLOVIĆ und RODI 1982)

Eine Verifizierung mit Messungen in Rhein und Neckar zeigte die Anwendbarkeit dieses Rechenansatzes auf vereinfachte Randbedingungen. Die Anwendung auf variable Flußquerschnitte, stark gekrümmte Flußufer und die Berücksichtigung von Sekundärströmungen erfordert jedoch noch Erweiterungen des Programms.

Um bei kritischen Fällen, wie Fahrwasserverengungen, Krümmungen, Begegnungsstellen, Liegeplätzen, Einfahrten usw., verlässliche Aussagen über die Ausbildung und Ausdehnung der Rückströmzone und Beziehungen entsprechend



Gleichung (3) zu erhalten, sind die dreidimensionalen Strömungsvorgänge zu berücksichtigen. Hier kann weiterhin nur der hydraulische Modellversuch wirklichkeitsnahe Ergebnisse liefern.

Um die Vielzahl möglicher Varianten für den hydraulischen Modellversuch einzuschränken und damit Zeit und Kosten zu sparen, kann hier für Vorversuche neben der numerischen Simulation, die in den vergangenen Jahren zur Praxisreife entwickelte Luftmodelltechnik eingesetzt werden, z. B. NESTMANN und BACHMEIER (1987). Sie hat den Vorteil unmittelbarer Anschaulichkeit. Numerische und aerodynamische Simulationstechniken können aber nur den zweidimensionalen Strömungsfall nachbilden.

### 3.4 Schiffahrt im Querströmungsfeld einer Einleitung

Fährt ein Schiff in ein durch Einleitungen gebildetes oder beeinflusstes Strömungsfeld ein, so werden zwei Geschwindigkeitsfelder - SCHÄLE (1984) spricht von Druck- und Energiefeldern - überlagert und verändert, das Querströmungsfeld und das ein Schiff umgebende, von diesem hervorgerufene und mitgeführte Strömungsfeld. Die resultierenden, mit der Schiffsbewegung zeitlich und örtlich variablen Vektoren haben auf das Schiff einwirkende Querkräfte zur Folge, die je nach Angriffspunkt der Resultierenden auch ein Drehmoment im Schiff induzieren. Dauer und Intensität der Einwirkung, d. h. Fahrzeit und Fahrstrecke in einem Querströmungsfeld, können zu einem Querversatz (Drift) des Schiffes führen. Dem entgegen wirken die Trägheit des Schiffes und Manöver mit der Ruderanlage.

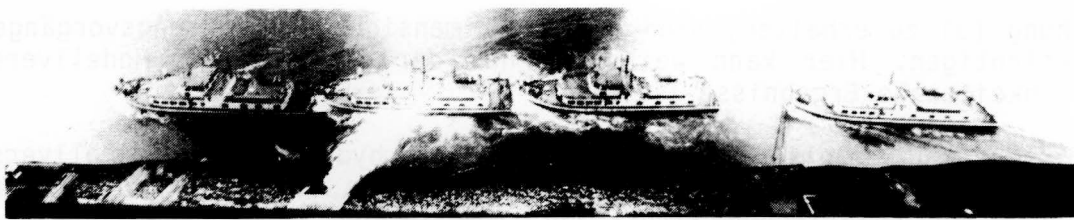


Bild 8a Versuchsfahrt mit einem Motorgüterschiff durch die Kühlwassereinleitung eines Kraftwerkes bei geringer Ruderarbeit ( $v_S = 0,9$  m/s,  $v_E = 0,6$  m/s, L/B/T = 67,0/8,2/2,0 m (DVWK 1984)

In Bild 8a ist die Fahrt eines Frachtschiffes durch das Geschwindigkeitsfeld einer Einleitung mit einer Einleitungsgeschwindigkeit rd. 0,6 m/s vor einem Kraftwerk ohne größere Rudermanöver zu sehen. Die Fahrgeschwindigkeit des Schiffes mit 3,4 km/h über Grund ist sehr gering und es ist ein erheblicher Querversatz von über 2 Schiffsbreiten zu beobachten.

Hingegen kann der Kurs bei größerer Ruderarbeit und höherer Schiffsgeschwindigkeit auch bei einer Einleitungsgeschwindigkeit von ca. 1,6 m/s ohne Probleme und auch bei nur geringer Drift gehalten werden, wie das Beispiel der "Walter Türk" von der WSD Südwest vor dem gleichen Kraftwerk zeigt, Bild 8b.





Meßschiff "Walter Türk"

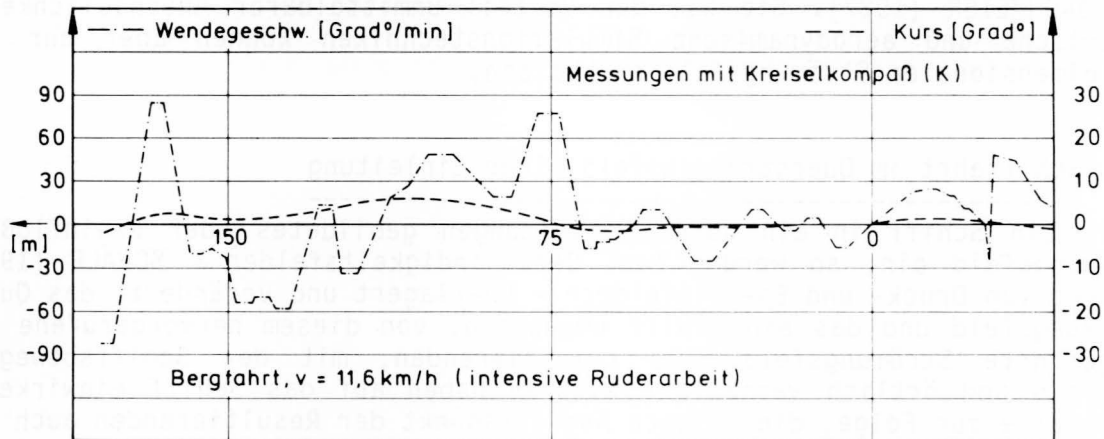


Bild 8b Versuchsfahrt mit einem Meßschiff durch eine Kühlwassereinleitung bei intensiver Ruderarbeit ( $v_s = 3,2 \text{ m/s}$ ,  $v_E = 1,6 \text{ m/s}$ ,  $L/B/T = 28/6,7/0,8 \text{ m}$  (DVWK 1984)

Sehr anschaulich wird der Unterschied beider Fahrweisen anhand von Modellschiffsfahrten, wie sie GRYWOTZ und al. (1983) angeben, Bild 9. Bei einer, wie in diesem Fall, sehr hohen Einleitungsgeschwindigkeit von umgerechnet  $3,0 \text{ m/s}$  ergibt sich ein Parallelversatz von ca. 2,5 Schiffsbreiten. Durch Einsatz des Ruders ist er in dieser Situation auf rund 1,7 Schiffsbreiten

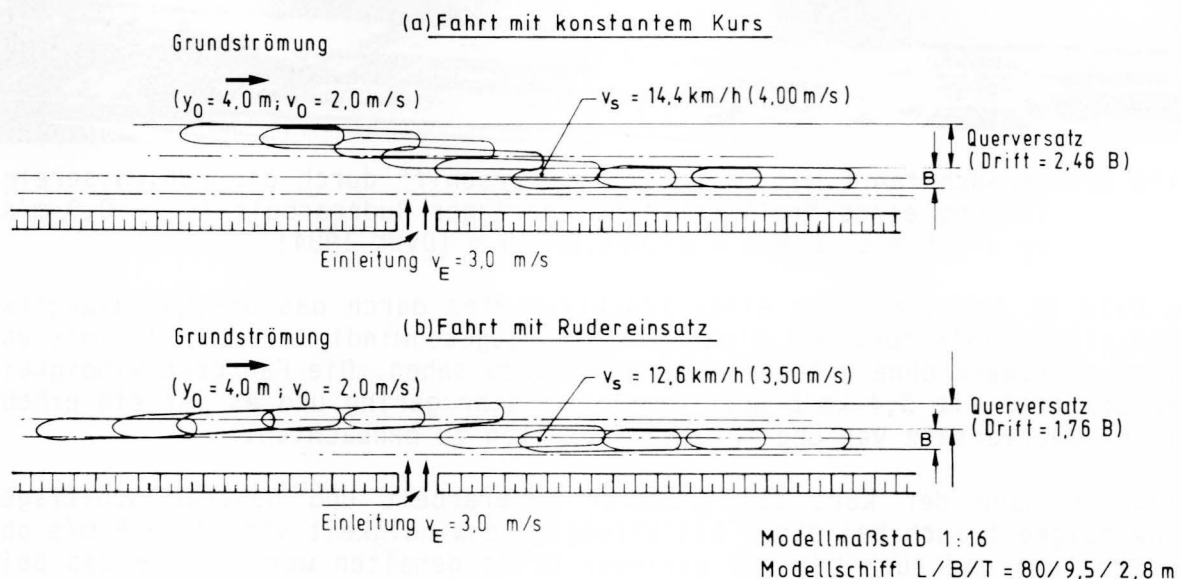


Bild 9 Fahrwege eines freifahrenden, ferngesteuerten Modellschiffs in einem hydraulischen Modell ohne und mit Einsatz des Ruders (GRYWOTZ et al. 1983)

reduziert, und das Schiff kehrt nahezu auf seinen Ursprungskurs zurück. In diesen Versuchen wurde zudem gezeigt, daß der Querversatz mit zunehmendem Querabstand von der Einleitung geringer wird, eine Folge der reduzierten Quergeschwindigkeiten im Einleitungsstrahl entsprechend Gleichung (1).

Es bleibt hiernach festzuhalten, daß die Fahrt durch das Querströmungsfeld mit einem mehr oder weniger großen Querversatz (Drift) verbunden ist.

#### 4 Querkräfte und Verdrehungsmomente als untaugliches Beurteilungskriterium

Es ist bisher nicht möglich, die höchst komplexen, sich wechselseitig beeinflussenden instationären und ungleichförmigen Vorgänge im Strömungsfeld einer Einleitung und am Schiff, d. h. alle im Abschnitt 3.2 aufgeführten Parameter (A) bis (C) für einzelne oder gar alle Phasen einer Vorbeifahrt eines Schiffes an einer Einleitung analytisch zu beschreiben, miteinander zu verknüpfen und rechnerisch zu simulieren. Um dennoch zu einer rechnerischen Erfassung und Bewertung der Vorgänge zu gelangen, wurden verschiedene Wege mit stark vereinfachenden Annahmen oder Vernachlässigungen beschritten.

Ein Weg ist die Messung von Querkräften und/oder Drehmomenten an Schiffen, die in einem hydraulischen Modell des Einleitungsbereichs in verschiedenen als maßgebend angesehenen Positionen fixiert werden oder auf einem bestimmten Kurs zwangsgeführt (gefesselt) gefahren werden. Auf diese Weise ist eine relative Bewertung verschiedener Varianten eines Bauwerkes oder einer Konfiguration in einem Strömungsfeld möglich. JAMBOR (1960) und DIETZ und PULINA (1976) haben auf diese Weise die günstigsten Ausbildungen von Vorhafenzufahrten untersucht. Auf die Problematik dieser Methode wurde in allen diesen Untersuchungen hingewiesen:

- \* Querkraft und Verdrehungsmoment lassen keine unmittelbaren Rückschlüsse auf das Verhalten des freifahrenden Schiffes zu;
- \* Es ist keine Gesetzmäßigkeit zur Übertragung von Querkräften und Drehmomenten in entsprechende Schiffsbewegungen, d. h. in Reaktionen des Schiffsführers bzw. der Ruderanlage, bekannt;
- \* Messungen an einem zwangsgeführten Schiff geben keine wirklichen Verhältnisse wieder.

JAMBOR (1960) hat diese Problematik dadurch gelöst, daß er anhand seiner Erfahrungen mit Motorschiffen als "zulässige Querkraft 1,5 t (14,7 kN)" und "zulässiges Drehmoment 11 bis 15 t m (108 bis 147 kN m)" festlegte. Diesen Werten wurde, ebenfalls empirisch, von JAMBOR als "einfach meßbare Hilfsgröße" eine zulässige Quergeschwindigkeit am Schiff von 0,30 m/s zugeordnet.

Eine von DIETZ und PULINA (1976) an Modelluntersuchungen ermittelte empirische Beziehung zwischen Querkraft bzw. Verdrehungsmoment, Quergeschwindigkeit und Rückströmgeschwindigkeit ist auf ihre Anwendbarkeit in der Natur nicht untersucht worden, so daß auch keine Übertragungswerte bzw. Grenzwerte angegeben werden können.

Der Versuch von BAKOWIES (1987), über Kraft- und Momentenmessungen an einem gefesselten Modellschiff in verschiedenen Positionen vor einer Einleitung

zu Übertragungswerten für den tatsächlichen Fall zu kommen, hat zu keinem Ergebnis geführt. Auch die Untersuchungen von BERGMANN und HERBRAND (1986) in einem freifahrenden Modellschiff und Auswertungen von Driftwinkel, Ruderlagenwinkel und Drehgeschwindigkeit mit Hilfe neuartiger Meßsysteme in einem Modell im Maßstab 1 : 25 führten lediglich zu der Aussage, "eine allgemeine Lösung zur Beschreibung der Ausbreitungsvorgänge einer eingeleiteten Wassermenge und deren Auswirkungen auf die Schifffahrt läßt sich nicht geben. Zur Lösung spezieller Fragestellungen sollten fallbezogene Modellversuche vorgesehen werden" (BERGMANN und HERBRAND 1986).

In einem stark vereinfachten analytischen Ansatz verwendet ROSS in seinem Beitrag für den DVWK-Ausschuß "Ausbreitungsvorgänge" zur Bestimmung der Querkräfte und Drehmomente das allgemeine Widerstandsgesetz eines bewegten Körpers in einer Strömung (DVWK 1984),

$$(4) \quad P_q = 0,5 \quad c_q \quad \rho \quad L \quad T \quad v_q^2$$

Hierin bedeuten:

$P_q$  = Querkraft  
 $v_q$  = Querströmungsgeschwindigkeit am Schiff  
 $c_q$  = Widerstandsbeiwert des Schiffskörpers  
 $\rho$  = Dichte des Wassers  
 $L$  = Schiffslänge  
 $T$  = Schiffstiefgang

Ist der seitliche Querschnitt des Querströmungsfeldes kleiner als die Lateralfläche des Schiffes, so treten an die Stelle der Schiffsfläche  $L \cdot T$  die Abmessungen des Querströmungsfeldes  $b \cdot y$ .

Auf der gleichen Grundlage wird von ROSS (DVWK, 1984) ein Ansatz für das Verdrehungsmoment eines Schiffes in einem Querströmungsfeld angegeben.

$$(5) \quad M_{\max} = 0,25 \quad c_q \quad b \quad T \quad v_q^2 \quad (L - b)$$

Hierin bedeutet:

$b$  = Breite des Querströmungsfeldes  
( $b < L/2$  für max M)

Für beide Kriterien, Wirkung von Querkraft und Moment auf ein vorbeifahrendes Schiff, weist ROSS nach, daß für die z. B. von JAMBOR als zulässig angesehenen Werte wesentlich höhere Quergeschwindigkeiten als 0,3 m/s ohne nachteilige Wirkung ermöglichen. Je nach Breite des Querströmungsfeldes wären bis zu 0,9 m/s möglich. Bei höheren Querkräften, die aufgrund von Messungen bei Überhol- und Begegnungsvorgängen auch noch gefahrlos zu bewältigen sind, dürfen  $v_q$ -Werte bis 140 cm/s erreicht werden. Ähnlich liegen die Aussagen bei der Verwendung der Momente als Kriterium, Bild (DVWK 1984).

Demnach muß die folgende Schlußfolgerung gezogen werden:  
Querkräfte und Verdrehungsmomente als nur indirekt zu bestimmende Wirkungsgrößen können für die Beurteilung einer Einleitung hinsichtlich ihres Einflusses auf ein vorbeifahrendes Schiff nur als untergeordnetes Kriterium herangezogen werden. Sie können allenfalls zur Beurteilung der Beherrschbarkeit eines Schiffes in einem Querströmungsfeld dienen, als Indikator für die notwendigen Reaktionen von der Brücke des Schiffes aus. Solche Reaktio-

nen sind Manöver mit dem Ruder des Schiffes, dessen Wirksamkeit sich im Schiffsdrehwinkel  $\omega$  (°/min.) - das ist der Drehwinkel oder die Wendegeschwindigkeit um die Schiffslängsachse - äußert. Die Leistung der Ruderanlage ist um so höher, je schneller ein möglichst geringer Anstellwinkel (Ruderwinkel) eingestellt werden kann, um eine große Drehgeschwindigkeit des Schiffes zu erhalten. SCHÄLE (1984) gibt z. B. an, daß eine schon als hoch anzusehende Drehgeschwindigkeit eines Schiffes von 20°/min., wie sie bei verschiedenen Versuchen gemessen wurde, bei allen heutigen Güterschiffen mit Ruderwinkeln von 10° bis 15° erreicht wird, also bei geringen und schnell einstellbaren Ruderwinkeln. Wesentlich höher ist die Wendegeschwindigkeit bei kleinen Schiffen, jedoch bei größeren Anstellwinkeln. So ergaben sich 90°/min. bei 30° Anstellwinkel während des DVWK-Versuches mit einem Polizeiboot (DVWK 1984).

Die Erfahrung zeigt, daß im Gegensatz zu den Schiffen und Schleppverbänden vor 30 Jahren alle heute in Fahrt befindlichen Schiffe aufgrund ihrer Maschinen- und Ruderleistung die auftretenden Querkräfte und Drehmomente zufolge von Querströmungen und die hieraus resultierenden Verdrehungen beherrschen und in kürzester Zeit korrigieren können. Aus dem Anhang zu den Untersuchungen von GRYWOTZ et al. (1983) sei daher die Aussage von SCHÄLE als Empfehlung für den DVWK-Ausschuß "Ausbreitungsvorgänge" zitiert, daß "für Binnenschiffe und binnengängige Seeschiffe

2,0 m/s auf dem Rhein  
1,5 m/s auf einem Fluß (staugeregelt)  
0,6 m/s im Stillwasserkanal

nicht zu Schiffsbewegungen führen, die außerhalb des betrieblichen Verhaltens liegen". Hiernach können auch Klein- und Kleinstfahrzeuge (< 1 m<sup>3</sup> Wasserverdrängung) diese Quergeschwindigkeiten durch Ruderkorrekturen kompensieren. Es wird in dieser Empfehlung allerdings nichts über den Ort gesagt, wo diese Quergeschwindigkeiten auftreten dürfen oder zu messen sind.

## 5 Querversatz

### 5.1 Querversatz/Drift als Bewertungsgröße für Einleitungen

Die Beobachtungen von freifahrenden Schiffen durch das Querströmungsfeld haben in der Natur und im Modell gezeigt, daß immer mit einem Querversatz oder einer Drift des Schiffes zu rechnen ist.

Für die Sicherheit des Schiffsbetriebes auf einer Wasserstraße ist der Querversatz (Drift) von größter Wichtigkeit. Die Beherrschung des Querversatzes bzw. seine Korrektur ist aus den vorgenannten Gründen zwar sichergestellt, die WSV muß hier jedoch entscheiden bzw. Kriterien aufstellen, welcher Querversatz oder welche Drift aus Sicherheitsgründen jeweils noch zugelassen werden kann. Beengte und stark befahrene Wasserstraßen erfordern hier sicher größere Einschränkungen als ein breiter, frei fließender Fluß wie der Rhein. Der Planer benötigt daher ein Instrument zur Vorhersage bzw. Abschätzung der Drift.

## 5.2 Berechnung des Querversatzes

Der einzige bekanntgewordene Ansatz zur Berechnung des Querversatzes stammt ebenfalls von ROSS (DVWK, 1984). Danach ist das Verhältnis Drift zu Schiffslänge L

$$(6a) \quad \frac{\Delta}{L} = \frac{1}{1+\sqrt{L/b-1}} \cdot \frac{v_q}{v_s} + \left(1 + \frac{b}{L}\right) \tan \left[0,75 \cdot \left(\frac{b}{L}+1\right) \frac{v_q}{v_s}\right]$$

oder vereinfacht

$$(6b) \quad \frac{\Delta}{L} \approx A \cdot \frac{v_q}{v_s}$$

Hierin ist:

A = "Verschiebungsfunktion", die in diesem Ansatz nur vom Verhältnis Schiffslänge L zu Breite des Querströmungsfeldes b abhängt

$v_q$  = Querströmungsgeschwindigkeit am Schiff

$v_s$  = Schiffsgeschwindigkeit über Grund

Dieser Ansatz wurde mit einer Reihe vereinfachender Annahmen aufgestellt, wie z. B. gleichförmige Bewegung des Schiffes, durch das Schiff unverändertes Strömungsfeld, mittlere und konstante Belastungen und Strömungsgeschwindigkeiten während der Passage des Strömungsfeldes usw..

Zur Ermittlung der Drift können entweder das von ROSS angegebene Diagramm (Bild 10a) unmittelbar oder Gleichung (6b) verwendet werden. Hierbei ist die Größe A dem Diagramm in Bild 10b zu entnehmen.



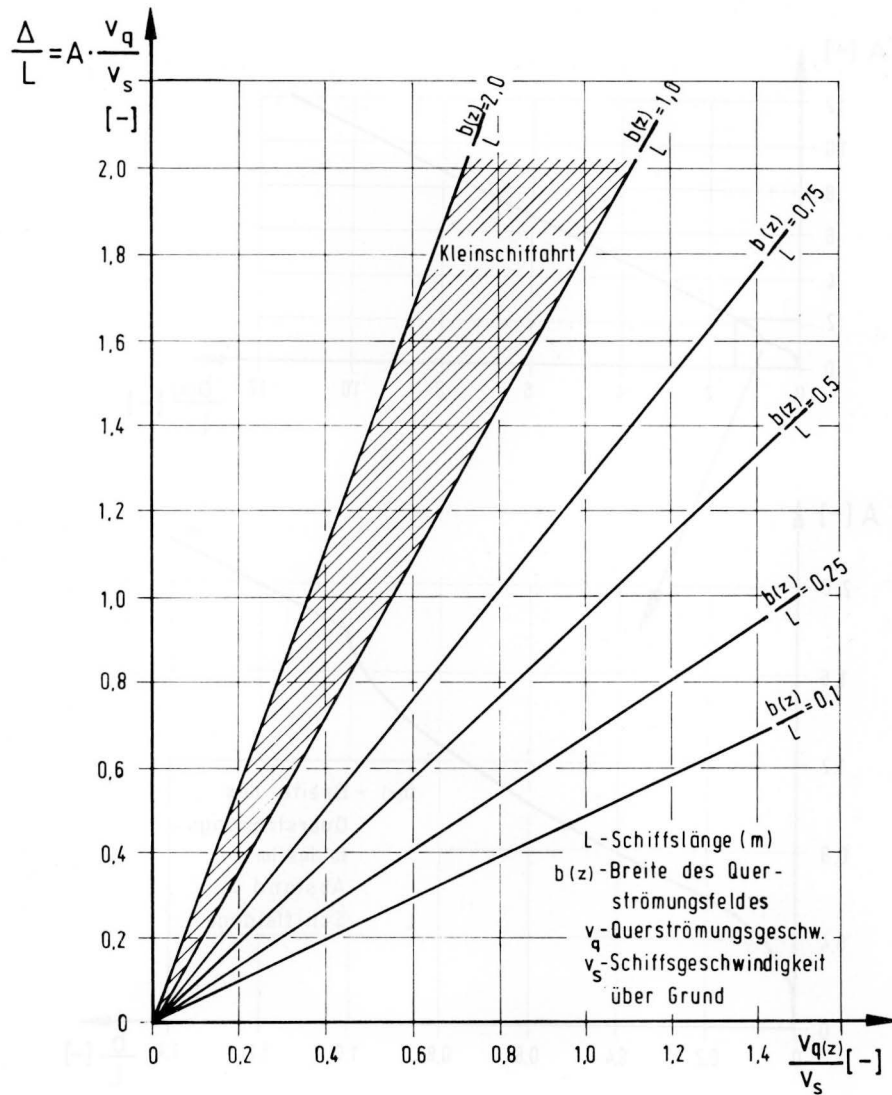


Bild 10a Querversatz/Drift als Funktion von Schiffslänge, Breite des Querströmungsfeldes, Schiffsgeschwindigkeit und Querströmungsgeschwindigkeit nach ROSS (DVWK 1984)



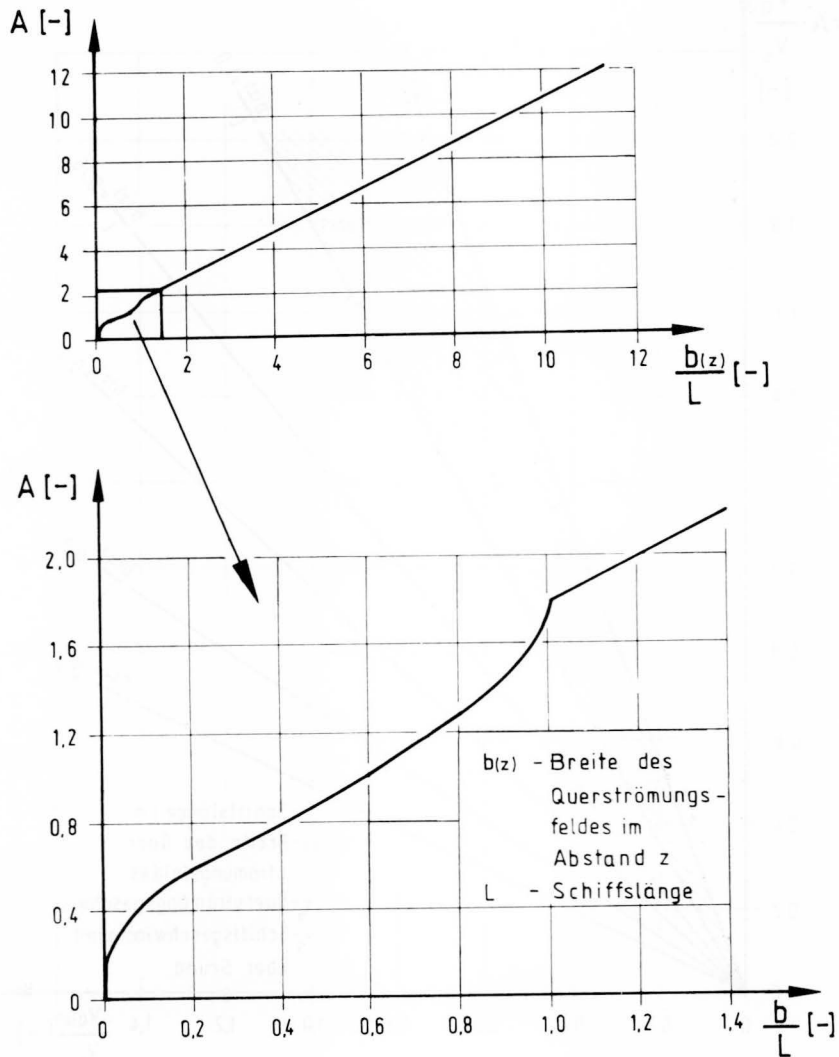


Bild 10b: "Verschiebungsfunktion" A zur Bestimmung des Querversatzes mit Gleichung (6b) nach ROSS (DVWK 1984)

### 5.3 Vergleich von Rechnung und Messungen

Auch bei diesem vereinfachten Berechnungsansatz für die Ermittlung der Drift ist die Kenntnis des Querströmungsfeldes bzw. der Fahrweg des Schiffes und die dort anzutreffende Quergeschwindigkeit entscheidend. Bis zur Verfügbarkeit von Simulationsmodellen, die dreidimensionale Strömungsvorgänge und den Einfluß der Turbulenz berücksichtigen, kann für erste Abschätzungen auf die Gleichungen (1a) und (2a) zurückgegriffen werden. Der Vergleich von gerechneter Drift unter Anwendung von Gl. (1a) für die Bestimmung der Breite des Einleitungsstrahles in einer gegebenen Entfernung vor dem Bauwerk und von Gl. (2a) für die dort herrschende Quergeschwindigkeit mit gemessenen Werten aus den Feld- und Modelluntersuchungen von BAKOWIES und GRYWOTZ zeigt erstaunlich gute Übereinstimmung, Tabelle 1a, b.

Tabelle 1a Berechnung des Querversatzes/Drift und Vergleiche mit Messungen nach BAKOWIES (1984)

Vers. Nr.	Einleitungsbreite	Uferabstand	Strahlbreite	Schiffslänge	Schiffsgeschwindigkeit	Einleitungsgeschwindigkeit	Quergeschwindigkeit	$v_q/v_s$	b/L	A <sup>4)</sup>	Drift $\Delta$ rechn.	Drift $\Delta$ gemessen <sup>5)</sup>	
	$B_E$ m	$z^1)$ m	$b^2)$ m	L m	$v_s$ m/s	$v_E$ m/s	$v_q^3)$ m/s						
1	36,5	15,5	86	67	0,94	0,60	0,15	0,16	1,28	2,1	22,5	23,4 <sup>6)</sup>	1) Jeweils abzgl. 0,5·Schiffsbreite
2	36,5	15,0	86	67	2,08	0,60	0,15	0,07	1,28	2,1	10,2	12,8 <sup>6)</sup>	
3	36,5	15,0	86	67	3,06	0,60	0,15	0,05	1,28	2,1	6,9	11,1 <sup>6)</sup>	
4	4,5	21,5	12,5	67	1,11	2,0	0,43	0,39	0,19	0,6	15,6	12,5 <sup>6)</sup>	2) $b(z) = 0,6 \cdot z^{1/2} \cdot B_E$
5	4,5	18,5	11,6	67	3,56	2,0	0,46	0,13	0,17	0,5	4,8	1,5	
8	4,5	15,0	10,5	67	3,80	2,0	0,52	0,14	0,17	0,5	4,7	1,8 <sup>6)</sup>	3) $v_q(z) = v_E(z)^{-1/2}$
9	4,5	18,5	11,6	67	1,00	2,0	0,46	0,46	0,17	0,5	15,4	(31,0)	
10	4,5	18,0	11,4	67	5,89	2,0	0,47	0,08	0,17	0,5	3,0	2,2 <sup>6)</sup>	4) aus Bild 10
11	4,5	21,5	12,5	67	3,06	2,0	0,43	0,14	0,19	0,6	5,6	8,0	
12	36,5	22,5	104	67	3,06	0,6	0,13	0,04	1,55	2,4	6,4	9,2 <sup>6)</sup>	5) Die Meßwerte (BAKOWIES, 1984) sind Mittelwerte aus bis zu drei Verfahren, sie weichen bis zum Faktor 3 voneinan- der ab.
13	36,5	19,0	95	67	6,00	0,6	0,14	0,02	1,42	2,3	3,1	2,0 <sup>6)</sup>	
14	36,5	18,5	94	67	0,89	0,6	0,15	0,17	1,41	2,3	26,2	23,1 <sup>6)</sup>	
15	36,5	16,5	89	67	6,25	0,6	0,15	0,02	1,33	2,2	3,5	6,5 <sup>6)</sup>	6) Rudertätigkeit
16	4,5	13,0	9,7	28	1,0	2,0	0,55	0,55	0,35	0,75	11,5	13,5 <sup>6)</sup>	
17	4,5	17,0	11,1	28	3,8	2,0	0,48	0,13	0,40	0,8	2,8	0 <sup>6)</sup>	
18	4,5	10,0	8,5	28	2,0	2,0	0,63	0,32	0,30	0,7	6,2	4,1 <sup>6)</sup>	
19	4,5	15,0	10,5	28	3,4	2,0	0,52	0,15	0,38	0,8	3,4	0 <sup>6)</sup>	
20	4,5	14,0	10,1	28	3,2	2,0	0,53	0,17	0,36	0,75	3,5	(9,0)	
21	4,5	12,5	9,5	28	6,02	2,0	0,57	0,09	0,34	0,75	2,0	0,0 <sup>6)</sup>	
22	4,5	14,0	10,1	28	3,22	2,0	0,52	0,16	0,36	0,75	3,4	0,0 <sup>6)</sup>	
23	4,5	27,0	14	15	0,90	2,0	0,38	0,42	0,93	1,6	10,1	4,7 <sup>6)</sup>	
24	4,5	27,0	14	15	2,9	2,0	0,38	0,13	0,93	1,6	3,1	3,8 <sup>6)</sup>	
25	4,5	18,0	11,5	15	2,0	2,0	0,47	0,24	0,77	1,2	4,3	7,9 <sup>6)</sup>	

Tabelle 1b: Berechnung des Querversatzes/Drift und Vergleich mit Messungen von GRYWOTZ et al. (1983)

Vers. Nr.	Einleitungs- breite $B_E$ m	Ufer- abstand $z^1)$ m	Strahl- breite $b^2)$ m	Schiffs- länge L m	Schiffs- geschwin- digkeit $v_S$ m/s	Einlei- tungsge- schwindigk. $v_E$ m/s	Querge- schwin- digkeit $v_q^3)$ m/s			Drift $\Delta$ rechn. m	Drift $\Delta$ Versuch <sup>1)</sup> m	Bemerkungen	
							$v_q/v_S$	b/L	A <sup>4)</sup>				
1 "Horn" (Anl. 5)	36,5	20	98	20,4	1,61	0,6	0,13	0,08	4,8	5,5	9,0	7,0	1) Aus Zeichnung abgegriffen
2 "Horn" (Anl. 6)	36,5	20	98	20,4	2,47	0,6	0,13	0,052	4,8	5,5	5,8	9,1	
3 "Horn" (Anl. 7)	36,5	20	98	20,4	3,11	0,6	0,13	0,04	4,8	5,5	4,5	2,0	
4 "ALFI" (Anl. 14)	36,5	30	120	80	1,97	0,6	0,11	0,06	1,50	2,25	10,0	8,5	2) $b(z) = 0,6 \cdot z^{\frac{1}{2}} \cdot B_E$
5 "GOETZ" (Anl. 18)	36,5	50	154	105	3,94	0,6	0,08	0,02	1,47	2,4	5,1	~ 0	
6 "SV/1" (Baschtel)	36,5	40	138	120	2,47	0,6	0,09	0,04	1,16	1,8	8,2	~ 0	3) $v_q(z) = v_E(z)^{-\frac{1}{2}}$ (Rudertät.)
7 "SV/2" (Lyon)	36,5	30	120	185	2,39	0,6	0,11	0,05	0,64	1,1	9,5	~ 8,0	4) aus Bild 10
8 "D" (Penische)	36,5	35	130	39	1,81	0,6	0,10	0,06	3,33	1,4	8,6	~ 2,0	
9 "GMS" (Modell- versuch)	20,0	7	32	80	2,0	3,0	1,13	0,56	0,4	0,8	35,8	33,0	
		16	48		2,06	3,0	0,75	0,36	0,6	1,0	29,1	22,4	
		25	60		2,22	3,0	0,6	0,27	0,75	1,2	25,9	15,1	
10 "SV" (Modell- versuch)	20,0	8	34	185	2,63	3,0	1,06	0,40	0,18	0,45	33,3	24,6	
		19	52		2,66	3,0	0,69	0,26	0,28	0,65	31,3	29,9	
		30,5	66		2,67	3,0	0,54	0,20	0,36	0,75	28,1	15,2	

Interessant ist besonders, daß die nach Gl. (1a) eingesetzte maximale Strahlgeschwindigkeit als konstante Quergeschwindigkeit über die örtliche Strahlbreite keine Korrekturen erfordert, d. h.  $\alpha^* = 1$  liefert akzeptable Werte. Größere Abweichungen von der Rechnung in Tabelle 1a sind immer dort zu finden, wo nach BAKOWIES erheblicher Rudereinsatz verzeichnet ist. Weiterhin zeigen die Angaben über Uferabstand und gemessener Drift besonders bei BAKOWIES erhebliche Streubreiten.

Unter Berücksichtigung der Vereinfachungen und Annahmen im Ansatz von ROSS und der Streubreiten und Unsicherheiten bei den Meßwerten wird die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung als hinreichend angesehen. Für erste grobe Abschätzungen über die Drift eines Schiffes in einer Querströmung kann daher die Arbeit von ROSS unter Einbeziehung der Gleichungen (1a) und (2a) angewendet werden.

#### 5.4 Anwendungsbeispiele

Die Anwendung des Ansatzes von ROSS unter Einbeziehung der vereinfachten Strahltheorie soll an zwei Beispielen erläutert werden.

##### Beispiel A - Kraftwerkseinleitung in einen freifließenden Fluß (z.B. Rhein)

(1) Frage:

Mit welchem Querversatz ist für ein Binnenschiff Typ "Großmotorschiff" (L = 108,5 m; B = 11,4 m; T = 3,7 m) zu rechnen?

Einleitungsmenge:  $Q_E = 70 \text{ m}^3/\text{s}$

Einleitungsgeschwindigkeit im Bauwerk:  $v_E = 1,5 \text{ m/s}$

Bauwerksbreite (Strahlbreite):  $B_E = 22,0 \text{ m}$

(Lage der Vorderkante des Bauwerks  
im Schnittpunkt MW-Wasserspiegel/Böschung)

Entfernung der Fahrwassergrenze  
von der Einleitung:  $z = 15 \text{ m}$

(2) Abschätzung des Querversatzes/Drift (Bergfahrt)

2.1 Langsamfahrt:  $v_S = 2,0 \text{ m/s}$  über Grund

2.2 Normalfahrt:  $v_S = 3,5 \text{ m/s}$  über Grund

Strahlbreite  $b(z)$  entsprechend Gl. (2a) bis  $z = 15 \text{ m}$

$$b(z) = 0,6 \cdot (15)^{1/2} \cdot 22,0 = 51,1 \text{ m}$$

Quergeschwindigkeit  $v_Q$  im Abstand  $z = 15 \text{ m}$  entsprechend Gl. (1a)

$$v_Q(z) = 1,5 \cdot (15)^{-1/2} = 0,39 \text{ m/s}$$

Nach Gl. (6b) ist der Querversatz (Drift)

$$\Delta = L \cdot A \cdot \frac{v_Q}{v_S}$$

mit  $A = 0,9$  aus Bild (11) für  $b(z) = 51,1/108,5 = 0,47$

$$\Delta = 108,5 \cdot 0,9 \cdot \frac{0,39}{2,00} = 19,0 \text{ m (Langsamfahrt)}$$

$$\Delta = 108,5 \cdot 0,9 \cdot \frac{0,39}{3,50} = 10,9 \text{ m (Normalfahrt)}$$

Dieser Querversatz von maximal 1 bis 2 Schiffsbreiten würde ohne Reaktion durch die Ruderanlage bzw. den Schiffsführer auftreten. Dies ist nicht zu erwarten. Es wären dennoch Überlegungen hinsichtlich der verfügbaren Fahrstreifenbreite anzustellen.

#### Beispiel B - Regenwasserauslauf in einen Schiffahrtskanal (z. B. WK IV)

(1) Frage:

Ist mit einem merkbaren Querversatz eines passierenden Binnenschiffes Typ "Joh. Welker" (L = 80 m; B = 9,5 m; T = 2,5 m) zu rechnen bei:

Einleitungsmenge:	$Q_E = 1500 \text{ l/s}$
Rohrdurchmesser:	$D_E = 1,2 \text{ m};$
d. h.	$v_E = \text{rd. } 1,3 \text{ m/s}$
Entfernung des Bauwerks zum Böschungsfuß:	$z = 8 \text{ m}$
Schiffsgeschwindigkeit:	$v_S = 2 \text{ m/s}$

Strahlbreite  $b(z)$  bei  $z = 8 \text{ m}$

$$b(z) = 0,6 \cdot (8)^{1/2} \cdot 1,2 = 2,0$$

Quergeschwindigkeit  $v_q$  im Abstand  $z = 8,0 \text{ m}$

$$v_q(z) = 1,3 \cdot (8)^{-1/2} = 0,46 \text{ m/s}$$

Mit  $A = 0,15$  am Bild 11 für  $b(z)/L = 0,025$  wäre eine Drift von

$$\Delta \approx 80,0 \cdot 0,15 \cdot 0,46/2,0 = 2,8 \text{ m}$$

zu erwarten, d. h. weniger als ein Drittel der Schiffsbreite ohne Rudereinsatz.

## 6 Empfehlungen

### 6.1 Allgemeine Grundsätze

Bei der Einleitung von Wasser (Regenwasser, Abwasser, Kühlwasser usw.) in eine Bundeswasserstraße ist in jedem Einzelfall zu prüfen, ob eine Beeinträchtigung des Schiffverkehrs unter betriebsüblichen Bedingungen möglich ist.

Als Beeinträchtigungen des Schiffverkehrs durch Einleitungen können auftreten,

- Verdrehung des Schiffes beim Einlaufen, Durchfahren und Verlassen des vom eingeleiteten Wasser veränderten Hauptströmungsfeldes;
- Querversatz des Schiffes während des Durchfahrens des vom eingeleiteten Wasser veränderten Hauptströmungsfeldes.

In beiden Fällen richtet sich die Größe des Einflusses vorwiegend nach

- \* der Schiffsgeschwindigkeit,
- \* der Ruder- und Manövrierfähigkeit des Schiffes,
- \* der Breite des Querströmungsfeldes im Vergleich zur Schiffslänge,
- \* der Geschwindigkeit der Einleitung,
- \* dem Quer- und Rückströmungsfeld, das wiederum von den Einleitungsbedingungen und den Strömungsbedingungen in der Wasserstraße abhängt,
- \* der örtlichen Quergeschwindigkeit und ihrer Verteilung.

## 6.2 Geschwindigkeiten bei der Wassereinleitung in eine Wasserstraße

-----

Aufgrund von Erfahrungen an den westdeutschen Bundeswasserstraßen und von Untersuchungen in der Natur und in hydraulischen Modellen kann davon ausgegangen werden, daß die heute verkehrenden Motorgüterschiffe und Schubverbände wegen ihrer großen Maschinenleistungen und guten Manövrierfähigkeiten Einleitungen mit Quergeschwindigkeiten im Bauwerk bis zu 2 m/s problemlos durchfahren können. Es treten aufgrund des Impulsaustausches offenbar keine Querkräfte oder Verdrehungsmomente auf, die nicht beherrscht oder korrigiert werden können. Dies gilt auch für die sog. Kleinschiffahrt mit Schiffslängen unter 20 m. Es besteht somit kein Grund, Einleitungsgeschwindigkeiten von 0,30 m/s im Bauwerk und unmittelbar davor vorzuschreiben. Dies gilt besonders für Einleitungsbauwerke im Ufer oder in der Böschung mit einigem Abstand zum Fahrwasser.

Für Planungen und als Grundlage für Genehmigungen wird daher empfohlen, Einleitungsgeschwindigkeiten an Bundeswasserstraßen im Austritt des Einleitungsbauwerkes wie folgt zuzulassen:

- (1) an freifließenden Flüssen (z. B. Rhein, Unterweser, Untere Elbe) bis zu 1,5 m/s;
- (2) an staugeregelten Flüssen (z. B. Main, Mosel, Weser) bis zu 1,0 m/s;
- (3) an Kanälen mit keiner oder geringer Durchströmung bis zu 0,6 m/s.

Diese Grenzwerte sind nur dann anzuwenden, wenn keine weiteren Randbedingungen oder Kriterien, wie z. B. Hafeneinfahrten, Langsamfahrstrecken, starke Krümmungen, eingegängtes Fahrwasser (Querversatz), Schutz von Ufer und Sohle gegen Erosion oder Fragen der Vermischung und Nebelbildung zu beachten sind. Bei großen Einleitungen, die einen 0,2fachen Abfluß eines Flusses erreichen können, sollten die Strömungsverhältnisse und die Auswirkungen auf den Schiffsverkehr und die Strömungsänderungen zwischen Entnahme und Einleitung in detaillierten Untersuchungen - Naturversuche, hydrodynamisch-numerische Simulation, hydraulische Modellversuche, Simulatoren - überprüft werden.

Bei größeren Einleitungen wird eine Kennzeichnung der Querströmungs- und Rückströmungsbereiche empfohlen.

## 6.3 Querversatz von Schiffen im Bereich von Einleitungen

-----

Das maßgebende Kriterium für die Genehmigung von Einleitungsgeschwindigkeiten an einer Wasserstraße ist der in jedem Fall auftretende Querversatz eines Schiffes beim Durchfahren einer Einleitung. Untersuchungen in der Natur



und in Modellen haben gezeigt, daß je nach Fahrgeschwindigkeit des Schiffes und der Einleitungsbedingungen ein Querversatz bis zu drei Schiffsbreiten möglich ist, wenn entsprechende Steuermanöver des Schiffsführers unterbleiben oder nicht ausreichen. Dieses Verhalten von Schiffen ist als betriebsüblich anzusehen und hat im Bereich der Bundeswasserstraßen bisher zu keinen Beanstandungen geführt.

Bei der Genehmigung von Einleitungen sollten vor der Zulassung von Einleitungsgeschwindigkeiten die Auswirkungen eines Querversatzes hinsichtlich Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs geprüft und nachgewiesen werden. Dies gilt insbesondere bei beschränkten und engen Fahrwasserbreiten in Kanälen und staugeregelten Flüssen.

Die Analyse und Untersuchung der Situation im Bereich einer Einleitung sollte folgende Gesichtspunkte beinhalten:

- Strömungsverhältnisse im Fahrwasser;
- Querschnitte und Grundrißverlauf des Fahrwassers;
- Geschwindigkeiten und Fahrverhalten von Schiffen unter Berücksichtigung von Schiffstyp und Schiffsgröße;
- Häufigkeiten von Begegnungen und Überholvorgängen, einschließlich Art und Gefahrgutklassen von Transportgütern;
- Übersichtlichkeit der Fahrwassersituation.

Die ausführliche Beurteilung und Untersuchung der Situation kann mit Hilfe des Verfahrens von ROSS (1984) erfolgen, wenn als Grundlage eine Strömungssituation verwendet wird, die sich aus einer hydrodynamisch-numerischen Simulation, z. B. nach PAVLOVIC und RODI (1982), oder aufgrund von hydraulischen Modellversuchen ergibt. Für eine erste Abschätzung der Drift eines Schiffes kann nach der Methode von ROSS wie im Abschnitt 5 beschrieben vorgegangen werden, indem die Aufweitung des Einleitungsstrahles und dementsprechende Verminderung der Quergeschwindigkeit nach einem vereinfachten, halbempirischen Ansatz ermittelt wird.

Voraussetzung für die abschließende Beurteilung und Genehmigung einer Einleitung durch Dienststellen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung ist die Festlegung von zulässigen Fahrstreifenbreiten auf den entsprechenden Abschnitten der Bundeswasserstraßen, die wiederum mit der Schifffahrt abzustimmen sind.

Die hier empfohlenen ausführlichen Analysen und Untersuchungen sollten nur auf die gewerbliche Schifffahrt angewendet werden. Die Kleinschifffahrt sollte und dürfte durch eine Kennzeichnung von Einleitungsbereichen an der Wasserstraße und in Kartenwerken sowie durch Hinweise bei der Ausbildung und Erlangung von Schiffsführerbefähigungen ausreichend berücksichtigt und gesichert sein.

#### 6.4 Untersuchungen in Modellen und in der Natur

-----

Werden für die abschließende Beurteilung und Genehmigung einer Einleitung Untersuchungen in hydraulischen Modellen für notwendig gehalten, so ist darauf zu achten, daß folgende Randbedingungen erfüllt werden,

- Untersuchungsstrecke und Maßstab müssen eine Beurteilung bzw. Messung der Strömungsfelder im gesamten Quer- und Rückströmungsfeld zulassen;

Zimmermann: Zur Frage zulässiger Querströmungen

- bei Versuchen über Fahrverhalten und Querversatz von Schiffen im Modell sind ausschließlich fahrende (geführte) Modellschiffe einzusetzen.

Die Strömungsverhältnisse im Bereich der Einleitung einschließlich der topographischen Gegebenheiten sind durch örtliche Erhebungen und Messungen zu bestimmen und als Grundlage für Modelluntersuchungen zu verwenden.

## 7 Schlußbemerkung

Für die kritische Durchsicht dieser Ausarbeitung und viele wertvolle Hinweise sei an dieser Stelle dem Leiter des Wasser- und Schiffsamtes Mannheim, Baudirektor H.-J. Recker und den Herren Professor Dr.-Ing. Schmiechen und Dipl.-Ing. Jordan von der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin herzlich gedankt. Ausdrücklich wiedergegeben sei der Hinweis von Professor Schmiechen auf die Notwendigkeit von weiteren systematischen Versuchen und Simulationen sowie der Ausarbeitung eines verbesserten Ansatzes für die Berechnung des Querversatzes als Bestätigung der Empfehlungen und Schlußfolgerungen aus dieser Arbeit.

## 8 Literatur

- BAKOWIES, F. Der Einfluß von Querströmungen auf ein Schiff bei beschränkter Fahrwassertiefe. In: Mitt. Inst. für Wasserbau und Kulturtechnik (Theodor-Rehbock-Laboratorium), Universität Karlsruhe, (1987), Heft 176
- BERGMANN, N.;  
HERBRAND, K. Modellversuche zum Einfluß einer seitlichen Einleitung auf die Schifffahrt. In: Zeitschrift für Binnenschifffahrt 113 (1986)
- DIETZ, J.W.;  
PULINA, B. Zur Problematik der Querströmungen in Vorhafenzufahrten und ihre Untersuchung im Modell. In: Mitt.bl. BAW (1976), Nr. 40
- DVWK Querströmungen und Rückgabebauwerke an Wasserstraßen. DVWK-Schriften Heft 67, Hamburg: P. Parey, 1984
- FINK, L. (Hrsg.) Ausbreitung bei Einleitung von Strahlen in Gerinneströmungen. Bericht SFB 80/ETM/76, Universität Karlsruhe (1976)
- GELDNER, P.;  
ZIMMERMANN, C. Die konstruktive Gestaltung von Kühlwasserrückgabebauwerken an deutschen Flüssen. Bericht Nr. 523, Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe (1975)
- GRYWOTZ, W.;  
SCHÄLE, E.;  
HEUSER, H. Untersuchung über die Wirkung erhöhter Querströmungen neben Wehr- und Einlaufbauwerken auf das fahrende Binnenschiff zur Schaffung neuer Richtlinien. Bericht Nr. 1049, Versuchsanstalt für Binnenschifffbau, Duisburg (1983)

- JAMBOR, F.; SCHLEIERMACHER, F. Einbau des Kühlwasserauslasses für das Kraftwerk Düsseldorf-Lauswart vor dem rechten Ufer des Rheins. Untersuchungsbericht, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe 1955 (unveröffentlicht)
- JAMBOR, F. Lage und Gestaltung der Schleusen und ihrer Zufahrten. In: Mitt.bl. BAW (1960) Nr. 15
- MC GUIRK, J.J.; RODI, W. The Calculation of Three-Dimensional Turbulent Free Jets In: Turbulent Shear Flows I. Berlin: Springer, 1979
- MEYER-WAARDEN K.; HALSBAND, E. Einführung in die Elektrofischerei. Berlin: Heenemann, 1975
- NAUDASCHER, E.; FINK, L.; SCHATZMANN, M. Das Ausbreitungsverhalten von Abwärme- und Abwassereinleitungen in Gewässer. Bielefeld: E. Schmitt, 1979
- NAUDASCHER, E.; FINK, L. Ausbreitung bei Einleitung in Strömungen. In: Wasserwirtschaft 73 (1983) Nr. 11
- NESTMANN, F.; BACHMEIER, G. Anwendung von Luftmodellen im strömungsmechanischen Versuchswesen des Flußbaus. In: Mitt.bl. BAW (1987) Nr. 61
- PAVLOVIĆ, R.; RODI, W. Fallstudien zur tiefengemittelten Berechnung der Abwärme- und Abwasserausbreitung in Flüssen. In: Wasserwirtschaft 72 (1982) Nr. 7/8
- SCHÄLE, E. Untersuchung über die Wirkung erhöhter Querströmungen neben Wehr- und Einlaufbauwerken auf das fahrende Binnenschiff. In: Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen (1984) Nr. 1
- SCHATZMANN, M.; NAUDASCHER, E. Kühlwasserausbreitung in Flüssen - Stand der Forschung. In: Wasserwirtschaft 68 (1978) Nr. 4
- SCHATZMANN, M.; NAUDASCHER, E. Einfluß der Einleitungsparameter auf die Ausbreitung von Kühl- und Abwasser in Flüssen. In: Wasserwirtschaft 70 (1980) Nr. 1
- SCHLICHTING Grenzschichttheorie; Karlsruhe: G. Braun, 1982
- TRUCKENBRODT Fluidmechanik; Berlin: Springer, 1980
- ZIMMERMANN, C.; KOBUS, H.; GELDNER, P. Wärmeeinleitung in Strömungen. Gräfelfing: Techn. Verl. Resch KG, 1975
- : Richtlinien für die technischen Bedingungen und Auflagen, die bei der Einleitung von Wasser und Abwasser und bei Wasserentnahmen im Interesse der Schifffahrt und der Erhaltung der Bundeswasserstraßen als Schifffahrtswege anzuordnen sind ("Einleitebedingungen für Schifffahrtswege"). Eingeführt mit Erlaß BMV-W12-6098 BfG 63 vom 23.09.1963 (heute VV-WSV 2114 vom 03.06.1986)

Zimmermann: Zur Frage zulässiger Querströmungen

- : Querströmungseinflüsse auf Schiffe - Ermittlung von zulässigen und Vergleich mit tatsächlichen Querströmungsgeschwindigkeiten auf der Basis der Verfahren des DVWK anhand von Untersuchungen der BAW Karlsruhe.  
Bericht von der Umwelt-Meßtechnik GmbH Stuttgart (1988)  
(unveröffentlicht)

## 9 Unveröffentlichte Untersuchungen der BAW

Einbau des Kühlwasserauslasses für das Kraftwerk Düsseldorf Lausward vor dem rechten Ufer des Rheins Strom-km 739	1955
Modelluntersuchung für das Kernkraftwerk Philippsburg	1970
Modelluntersuchung für das Kernkraftwerk Philippsburg	1971
Gutachten über den Auslauf des neuen Pumpwerks Wanne-Eickel	1973
Modellversuche für die Kühlwasserentnahme und Kühlwasserrückgabe des Kernkraftwerkes Süd-Wyhl	1975
Abschätzung der Quergeschwindigkeiten im Bereich der Abwassereinleitung in den Rhein bei km 556,5	1975/ 1976
Modellversuche für die Kühlwasserentnahme und Kühlwasserrückgabe des Kernkraftwerkes Süd-Wyhl	1976
Gutachten über die Lage des Kernkraftwerkes Neupotz und seine Kühlwasserentnahme	1978
Gutachtliche Stellungnahme zum Antrag der Farbwerke Hoechst auf Genehmigung zur Einleitung von Abwässern in den Main	1978
Modellversuche zu den Kühlwasserbauwerken für Block 7 des Rheinhafen-Dampfkraftwerkes Karlsruhe	1981/ 1982
Gutachten über den Ausbau der Mainstufe Offenbach - Ausbaumaßnahmen zur Verbesserung der Schiffahrtsbedingungen in den Einfahrtsbereichen der Schleusenvorhöfen -	1985
Modellversuche für die Hochwasserentlastungsanlage bei Lohnde	1986

## 10 Verwendete Symbole und Abkürzungen

A	= "Verschiebungsfunktion" nach Ross
B	= Schiffsbreite
B <sub>E</sub>	= Einleitungsbreite
b	= Breite des Querströmungsfeldes/Einleitungsstrahles
c	= Widerstandsbeiwert
B <sub>F</sub>	= Flußbreite
g	= Erdbeschleunigung
H	= Höhe der Rückströmzone
L	= Schiffslänge
L <sub>R</sub>	= Länge der Rückströmzone
P <sub>q</sub>	= Querkraft
M	= Verdrehungsmoment
T	= Schiffstiefgang
y <sub>E</sub>	= Einleitungstiefe
y <sub>F</sub>	= Abflußtiefe
v <sub>q</sub> , v <sub>E</sub>	= Einleitungsgeschwindigkeit
v <sub>x</sub> , v <sub>y</sub>	= Fließgeschwindigkeiten
v <sub>F</sub>	= Hauptströmungsgeschwindigkeit im Fluß
v <sub>*</sub>	= Schubspannungsgeschwindigkeit
v <sub>s</sub>	= Schiffsgeschwindigkeit (über Grund)
Z <sub>E</sub>	= Höhe der Einleitung relativ zur Hauptströmung
α <sub>E</sub>	= Einleitungswinkel
ν	= kinematische Zähigkeit
ρ	= Dichte des Wassers
Δ	= Drift/Querversatz
ω	= Schiffswendegeschwindigkeit
ψ	= Winkel der Strömungsrichtung zur Flußachse