

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Dietz, Johann W.; Pulina, Bernd

Zur Problematik der Querströmungen in Vorhafenzufahrten und ihre Untersuchung im Modell

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102990>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Dietz, Johann W.; Pulina, Bernd (1976): Zur Problematik der Querströmungen in Vorhafenzufahrten und ihre Untersuchung im Modell. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 40. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 49-70.

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.



Dr.-Ing. J.W. D i e t z

und

Dipl.-Ing. (Polen) B. P u l i n a

ZUR PROBLEMATIK DER QUERSTRÖMUNGEN
IN VORHAFENZUFAHRTEN
UND IHRE UNTERSUCHUNG IM MODELL

Model tests on cross currents in lock approaches

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Problem der Querströmungen in Vorhafenzufahrten und geht auch auf die Frage nach der zulässigen Quergeschwindigkeit ein. Sie bringt weiter eine Gegenüberstellung der Quergeschwindigkeit mit den am fahrenden Modellschiff gemessenen Lateralkräften.

Summary

In this paper the problem of cross currents in lock approaches is discussed. The question of the tolerable cross current is considered. Moreover a table is presented with the cross velocity and the respective lateral force at the sailing model ship.

I n h a l t

	Seite
1. Übersicht und Aufgabenstellung	51
2. Allgemeine Grundlagen - Querströmung und Quergeschwindigkeit	51
3. Bisherige Erfahrungen von den Vorhä- fen an der Mosel	58
4. Neuere Untersuchungsverfahren im Modell	65
5. Schrifttum	70

1. Übersicht und Aufgabenstellung

Zur Untersuchung der Bauzustände für die neue Mainstaustufe Kesselstadt [1] mußte aus versuchstechnischen Gründen das vorhandene Modell der geplanten Großstaustufe Kesselstadt in umgekehrter Reihenfolge wie beim tatsächlichen Bauablauf Zug um Zug auf den zur Zeit bestehenden Zustand umgebaut bzw. zurückgeführt werden. Nach Abschluß dieser Versuchsreihe über die zweckmäßigste Baudurchführung bot sich das derartig umgebaute Modell für systematische Versuche zur Größe der zulässigen Quergeschwindigkeit an, und zwar derart, daß im Modell die Strömungsfelder im Bereich der oberen und der unteren Vorhafeneinfahrt für den seit vielen Jahren an der alten Schleuse Kesselstadt bestehenden Zustand ausgemessen worden sind. Bei diesen augenblicklich in der Natur noch vorhandenen Verhältnissen waren nach Angaben der Schifffahrt und des zuständigen Schleusenpersonals selbst bei Wasserführungen bis zum höchsten Schifffahrtswasserstand bisher keine Schifffahrtsbehinderungen zu verzeichnen, wenn man allein von der Strömungseinwirkung ausgeht und von der Windbelastung absieht, die das talfahrende Schiff im Schleusenoberkanal je nach Windlage erheblich beeinflussen kann.

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchung hatte man ein Material zur Hand, die bislang bestehenden Vorhafeneinfahrten an der Mosel einer eingehenden und kritischen Prüfung hinsichtlich der Strömungsverhältnisse und der durch sie gegebenen Fahrbedingungen für die Schifffahrt zu unterziehen, was in Verbindung mit den inzwischen angelaufenen Planungsarbeiten für die zweiten Moselschleusen nahe lag.

Zum Abschluß befaßt sich die vorliegende Arbeit mit versuchs- bzw. meßtechnischen Problemen, soweit sich diese auf die neue Anlage für Kraftmessungen an einem auf Zwangskurs fahrenden Modellschiff beziehen, die der BAW für die Modelluntersuchungen von Vorhafeneinfahrten dient.

Neben den Quergeschwindigkeiten wurden nämlich im eingangs genannten Modell der alten Staustufe Kesselstadt auch die Versetzkräfte und Verdrehungsmomente an einem auf Zwangskurs fahrenden Modellschiff des Typs "Johann Welker" ermittelt, mit denen die Frage nach den zulässigen Grenzen dieser am fahrenden Schiff gemessenen Modellgrößen beantwortet werden kann, wenigstens in einer ersten Näherung, jenseits derer in den Schleusenvorhöfen mit beginnenden Einfahrtserchwernissen zu rechnen sein wird. Nach diesen Grenzwerten muß sich die Art und der Umfang der im Modell zu untersuchenden baulichen Maßnahmen richten.

2. Allgemeine Grundlagen - Querströmung und Quergeschwindigkeit

Geht man in allgemeiner Form an das Problem der Querströmungen in Vorhafeneinfahrten heran, dann muß zwischen dem oberen und dem unteren Schleusenvorhafen unterschieden werden.

Im Oberwasser wird die über die gesamte Flußbreite ankommende Strömung durch den Vorhafen abrupt eingeengt, wodurch die gegen die Einfahrt gerichtete Hauptströmung erst nach einer mehr oder weniger scharfen und von der Vorhafenbreite abhängigen Umlenkung ihren Weg zum Wehr nimmt und dadurch im Zufahrtsbereich des Vorhafens Querströmungen liegen. Im Unterwasser dagegen ist es die unterhalb der Trennmole folgende plötzliche Erweiter-

rung des Abflußquerschnittes, die eine Querströmung vor der Einfahrt bewirkt.

Da der Ablenkwinkel der Strömung bei der Ausbreitung in diesen erweiterten Abflußraum stromab der unteren Vorhafeneinfahrt wesentlich kleiner ist als bei der Einengung durch den oberen Vorhafen - hier kann der Umlenkwinkel in besonders ungünstigen Fällen mehr als 90° betragen - sind aus dieser Sicht die Strömungsverhältnisse im Unterwasser für die Schifffahrt weniger kritisch als im Oberwasser (Abb.1 u. 2).

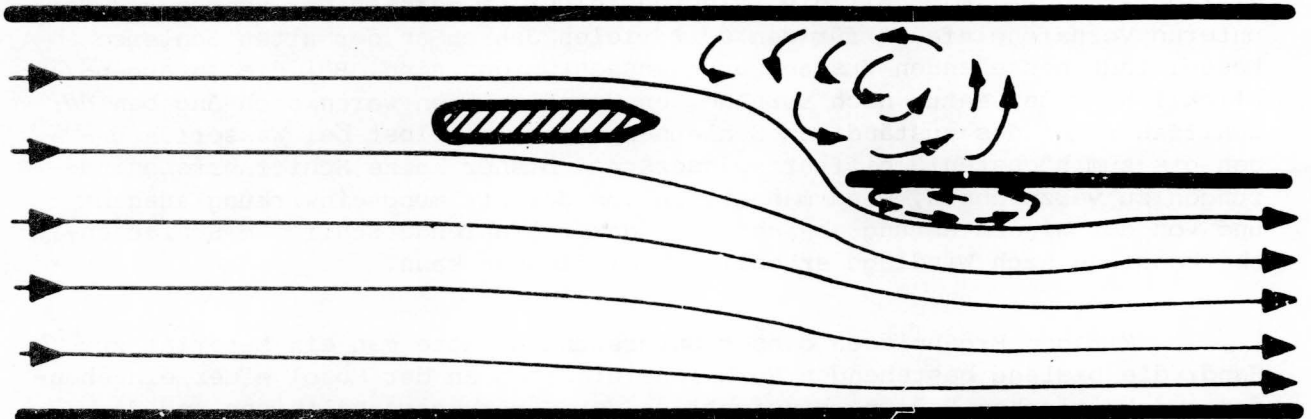


Abb.1 Schrägströmungseffekt bei der Zufahrt zum oberstromigen Schleusenvorhafen

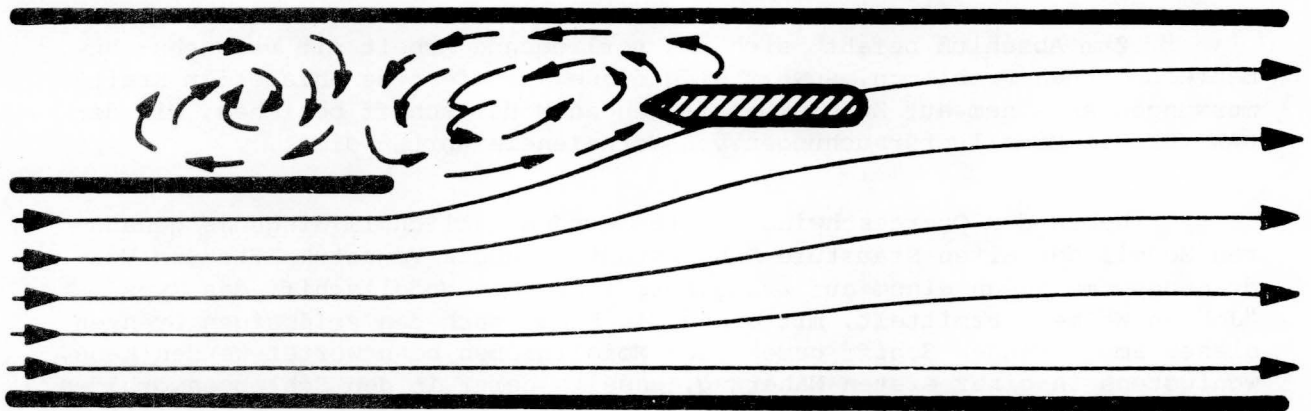


Abb.2 Schrägströmungseffekt bei der Zufahrt zum unterstromigen Schleusenvorhafen

Hinzu kommt, daß das aus dem unteren Vorhafen gegen den freien Strom ausfahrende Schiff (Talfahrt) mehr und mehr Fahrt aufnehmen kann und damit an Steuerfähigkeit gewinnt und das zu Berg gehende Schiff wohl die Einfahrt langsam ansteuern muß, aber gegen den Strom noch ein verhältnismäßig großes Steuermoment behält.

Unter diesen Gesichtspunkten des freien Raumes voraus und der größeren Steuerfähigkeit gegen den Strom ist die Ausfahrt aus dem oberen Vorhafen (Bergfahrt) weniger kritisch als die Talfahrt in den oberen Vorhafen hinein, bei der sich das Problem der Querströmung in aller Schärfe stellt, weil das Schiff seine Fahrt mehr und mehr verlangsamen muß und seine für das Steuermoment wichtige Relativgeschwindigkeit zum Strom dadurch immer geringer wird.

Wenn man sich in der Folge diesen ungünstigen Erscheinungen im Bereich der oberen Vorhafenzufahrt näher zuwendet, sollen hierzu die jüngsten Ergebnisse der Modelluntersuchungen für die neue Mainstaustufe Kesselstadt [1] [3] herangezogen werden, die durch sog. Schiffskraftmessungen an einem auf Zwangskurs fahrenden Modellschiff [2] sowie durch Strömungsaufnahmen und Geschwindigkeitsmessungen erzielt werden konnten. Bei diesen umfangreichen und teilweise auf systematischer Basis angelegten Untersuchungen zeigte sich, daß bei Schleusenoberkanälen zwischen den Vorgängen im Großraum des Fahrwassers oberhalb der Zufahrt und dem Strömungsfeld im Nahbereich der Trennmole unterschieden werden muß.

Im zuerst genannten Fall finden wir die für die Schifffahrt unangenehme Erscheinung vor, daß die Querströmung in einer breiten, weit über die Länge des Schiffes hinausgehenden Angriffsfront und damit verhältnismäßig langzeitig seitlich auf das Schiff einwirkt, das infolgedessen kräftig in Richtung der Querströmung schräg zur Fahrwasserachse versetzt wird und in dieser Situation durch eine harte Ruderlage versuchen muß, mit dem Vorschiff von der sich nähernden Molenspitze freizukommen. Dadurch verfällt das Hinterschiff stark vom Ufer in Richtung der Hauptströmung. Wenn es dem Schiffsführer nun nicht mehr gelingt, das Fahrzeug vor dem Molenkopf aufzustrecken, besteht die Gefahr einer Havarie mit dem Molenkopf oder mit den Dalben am gegenüberliegenden Vorhafenufer.

Diese großräumigen Querströmungen im Fahrwasser der oberen Vorhafenzufahrten können nach dem Ergebnis der vorher genannten Untersuchungen nur durch Maßnahmen an der Uferführung wirksam beeinflußt werden. Bei ihnen kommt es darauf an, die Strömung so zu leiten, daß sie sich schon weit oberhalb der Vorhafeneinfahrt allmählich auf die andere Seite legt und damit letztlich ohne scharfe Umlenkung zum Wehr kommt. Eine aufgelöste Trennmole (durchbrochene Mole oder Tauchwand), wie man sie z.B. von einigen Moselstaustufen kennt [5], bringt für dieses weiter oberstrom der Zufahrt liegende Revier keine Entlastung; sie wirkt sogar ausgesprochen ungünstig, wenn mit ihr eine deutliche Verlängerung der Trennmole über das Normalmaß von 350 m hinaus verbunden ist.

Das Strömungsfeld im Nahbereich der oberstromigen Trennmole ist in der Vergangenheit häufig als die Hauptursache der Schifffahrtsbehinderungen angesehen worden, wenn die Quergeschwindigkeiten vor Kopf der Trennmole besonders groß waren. Nach neueren Untersuchungen [1] [3] weiß man aber, daß dieser Molenkopfeffekt primär und im Normalfall nicht besonders gefährlich ist, weil er nur im Nahbereich der Molenspitze wirkt und einen verhältnismäßig kleinen Angriffsraum bildet, der vom Schiff schnell durchfahren werden kann. Ein solcher Normalfall liegt dann vor, wenn das Schiff beim Erreichen der Vorhafeneinfahrt aufgestreckt im Kurs liegt. Der Molenkopfeffekt ist nur dann gefährlich, wenn das Schiff infolge der früher erläuterten Querströmung im Großbereich der Vorhafenzufahrt schon schräg versetzt ist. Nach den Versuchsergebnissen können die Strömungsverhältnisse im Nahbereich der Trennmole durch eine kurze aufgelöste Vormole (Abb.3) so entschärft werden, daß im kritischen Raum vor Kopf der Trennmole nur noch verhältnismäßig geringe Quergeschwindigkeiten auftreten.

Im Zusammenhang mit den schon erwähnten Modelluntersuchungen für die neue Mainstaustufe Kleinostheim wurden systematische Versuche zur Größe der zulässigen Quergeschwindigkeit angestellt, und zwar derart, daß im Modell die Strömungsfelder im Bereich der oberen und der unteren Vorhafeneinfahrt für den seit vielen Jahren an der alten Schleuse Kesselstadt bestehenden Zustand ausgemessen worden sind. Bei diesen augenblicklich in der Natur noch vorhandenen Verhältnissen waren nach Angaben der Schifffahrt und des zuständigen Schleusenpersonals selbst bei Wasserführungen bis zum höchsten Schifffahrtswasserstand (HSW) bisher keine Schifffahrtsbehinderungen zu verzeichnen, wenn man allein von der Strömungseinwirkung ausgeht und von der Windbelastung absieht, die das talfahrende Schiff im Schleusenoberkanal je nach Windlage erheblich beeinflussen kann.

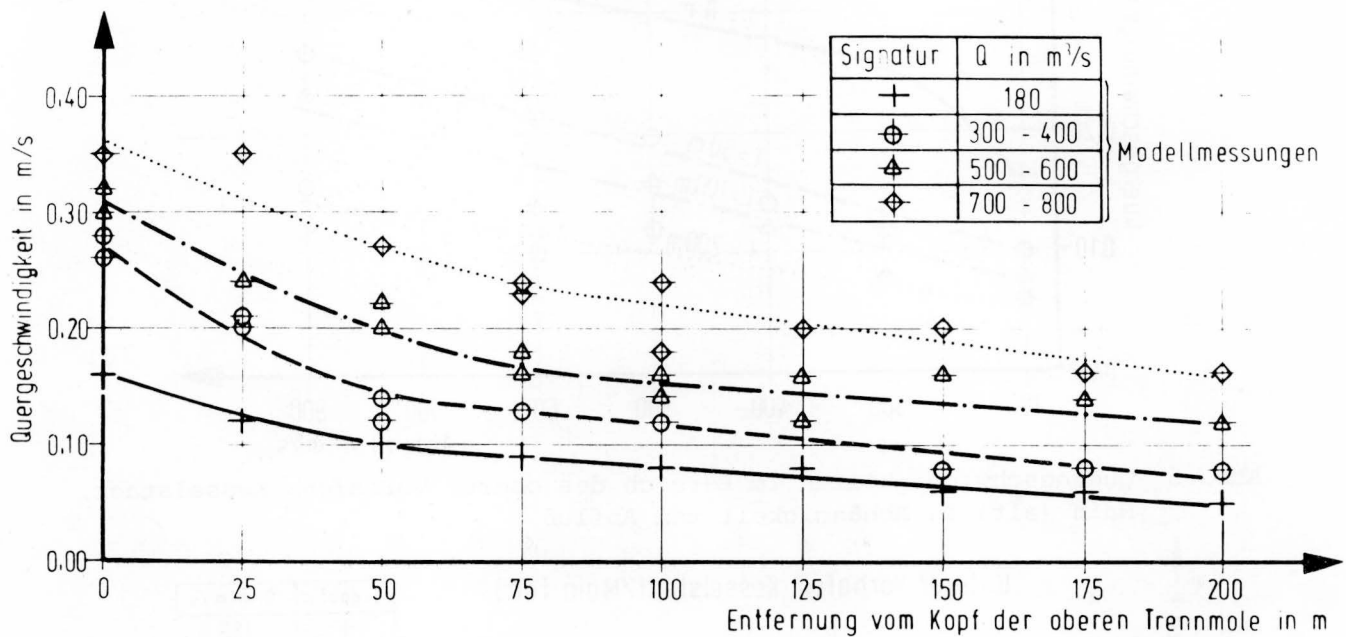


Abb. 4 Quergeschwindigkeiten in verschiedenen Entfernungen zum Kopf der Trennmole des oberen Vorhafens Kesselstadt/Main (alt)

Beginnt man die Betrachtung dieser Versuchsergebnisse mit dem oberen Vorhafen (Abb.4), dann stellt man fest, daß im ungünstigsten Fall des höchsten Schifffahrtswasserstandes in Höhe des Molenkopfes Quergeschwindigkeiten bis zu 0,35 m/s auftreten, die nach den bisherigen Erfahrungen von der Schifffahrt offensichtlich verkraftet werden können. Man sieht weiter, daß das bisher als zulässig geltende Maß von 0,20 m/s erst in einem Bereich unterschritten wird, der mehr als 125 m oberhalb der Molenspitze liegt. Demnach dürfen wir für den Schleusenoberkanal festhalten, daß es genügt, wenn der bisherige Erfahrungswert von 0,20 m/s nur im Vorbereich der Einfahrt (rund 1 1/2 bis 2 Schiffslängen oberstrom des Molenkopfes endend) eingehalten wird. Bei einer derart begrenzten Querströmung ist das Schiff bei seiner weiteren Fahrt in Richtung Einfahrt in der Lage, seinen Kurs so zu halten, daß es die bis zur Höhe des Molenkopfes zunehmenden Quergeschwindigkeiten ohne weiteres hinnehmen kann, wenn sie das Maß von 0,35 m/s nicht übersteigen. Dies bestätigt die früher vorgenommene Trennung zwischen dem Schrägströmungseffekt im Großraum der Vorhafenzufahrt und dem Molenkopfeffekt.

Die Zunahme der Quergeschwindigkeiten mit dem Abfluß, und zwar über den gesamten Großraum der Vorhafeneinfahrt, geht als Nebenergebnis

dieser Untersuchungen hervor. Abgesehen von den besonderen Strömungserscheinungen in unmittelbarer Nähe der Trennmolenspitze, ist diese Zunahme nach den Versuchsergebnissen annähernd linear, was mit der konstanten Oberwassertiefe zusammenhängt (Abb.5).

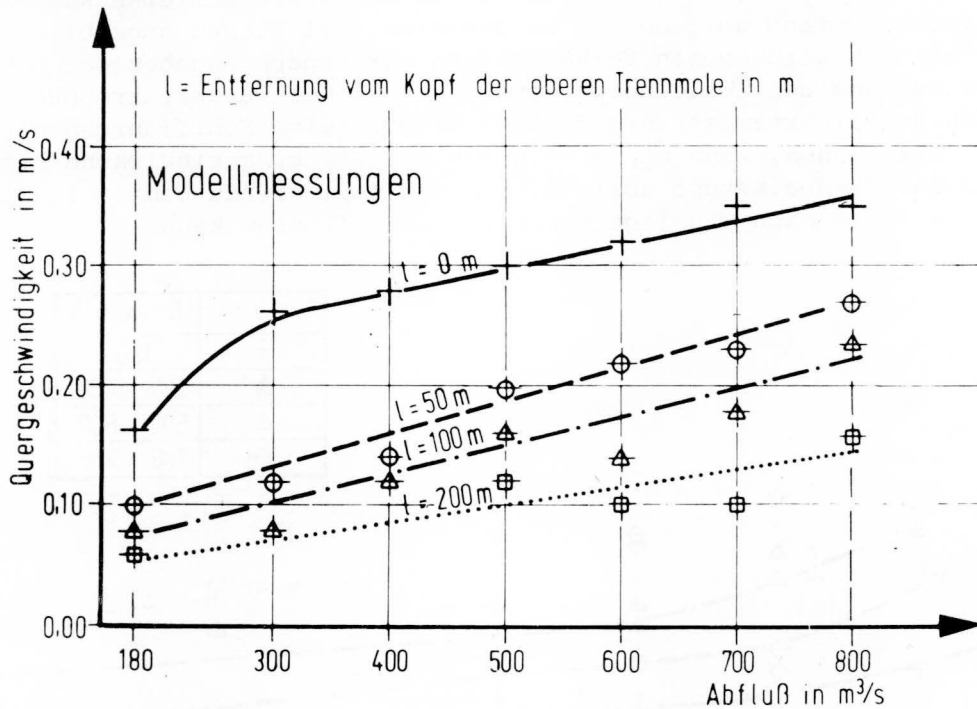


Abb. 5 Quergeschwindigkeiten im Bereich des oberen Vorhafens Kesselstadt/Main (alt) in Abhängigkeit vom Abfluß

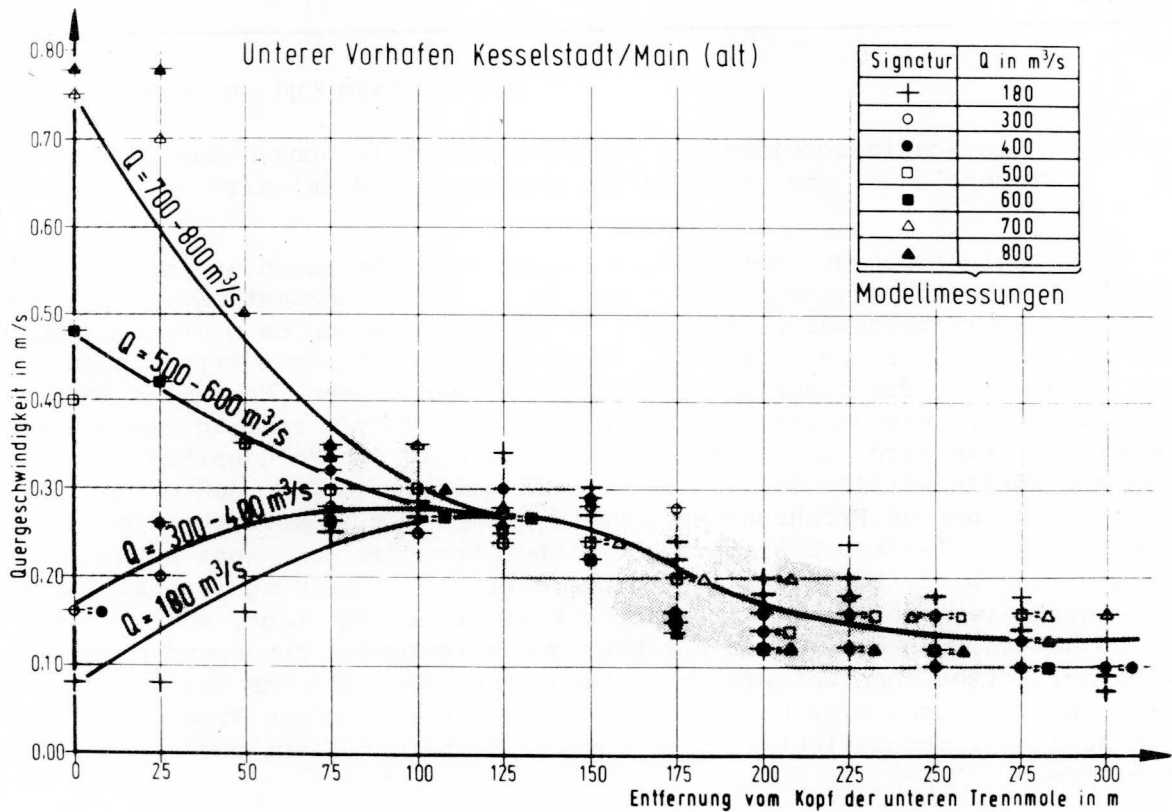


Abb. 6 Quergeschwindigkeiten in verschiedenen Entfernungen zum Kopf der Trennmole des unteren Vorhafens Kesselstadt/Main (alt)

Die in gleicher Weise für den unteren Vorhafen der alten Schleuse Kesselstadt angestellten Modellmessungen bestätigen eindrucksvoll die früher angestellten Überlegungen, nach denen die Verhältnisse im Bereich der unteren Vorhafeneinfahrt im allgemeinen unkritischer sind (Abb.6). Bei dem dem HSW entsprechenden Abfluß können in Höhe der unteren Trennmolenspitze Quergeschwindigkeiten von knapp 0,80 m/s ohne besondere Erschwernisse für die Schifffahrt hingenommen werden. In der schon für den oberen Vorhafen fixierten Entfernung für das Unterschreiten der bisher bekannten zulässigen Quergeschwindigkeit (etwa 125 m) wird auch beim Schleusenunterkanal der bisherige Anhaltswert unterschritten, nur daß er diesmal entsprechend den günstigeren Verhältnissen im Unterwasser 0,30 m/s beträgt.

Man sieht weiter, daß sich der Einfluß der Wasserführung im Main nur in dem vor der Molenspitze liegenden Revier (bis in etwa 100 m Entfernung) bemerkbar macht, und zwar derart, daß die Quergeschwindigkeiten mit der Größe des Abflusses zunehmen. Im weiter ab liegenden Bereich streuen die Ergebnisse nach beiden Richtungen und können in Annäherung so gedeutet werden, daß die Quergeschwindigkeiten hier vom Abfluß nur sehr schwach oder überhaupt nicht abhängig sind, was mit der Erscheinung zu begründen ist, daß im Unterwasser mit der Wasserführung auch die Wassertiefe zunimmt (Abb.7).

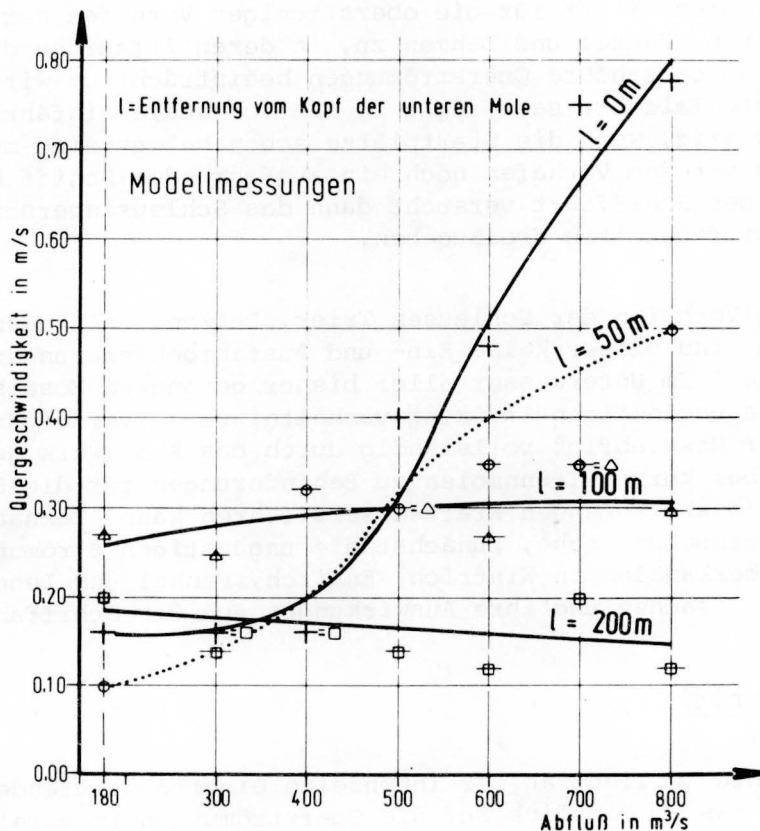


Abb. 7 Quergeschwindigkeiten im Bereich des unteren Vorhafens Kesselstadt/Main (alt) in Abhängigkeit vom Abfluß

Mit diesen Ergebnissen darf man zusammenfassend feststellen, daß man in vergleichbaren Fällen auch weiterhin von den bisher bekannten Grenzwerten für die zulässige Quergeschwindigkeit (0,20 m/s im OW und 0,30 m/s im UW) auszugehen hat, jedoch sind diese auf den Vorbereich der Vorhafenzufahrten in mehr als 125 m Entfernung vom Molenkopf zu beschränken. Im nä-

heren Bereich der Trennmolen können bei Wahrung dieser Kriterien etwa die 1,75- bis 2,50-fachen Quergeschwindigkeiten hingenommen werden, wovon der kleinere Wert den kritischeren Verhältnissen im Oberwasser zugeordnet ist.

Da es sich im vorliegenden Untersuchungsfall der alten Schleuse Kesselstadt um verhältnismäßig enge Vorhäfen handelt (Vorhafenbreite rund 30 m), die wenig Raum zum Ausmanövrieren von Querströmungen lassen, dürften die vorher genannten Werte die untere Grenze bilden. Bei breiteren Vorhäfen mit ihren entsprechend günstigeren Fahrbedingungen darf eine Erhöhung dieser Grenzwerte vorgenommen werden, wie es beispielsweise auch bei der Modelluntersuchung für die Schleusenvorhäfen an der Rheinstaufstufe Iffezheim [2] geschehen ist, wo beim HSW die arithmetischen Mittelwerte der gemessenen Quergeschwindigkeiten bei 0,55 m/s (statt 0,30 m/s) liegen.

3. Bisherige Erfahrungen von den Vorhäfen an der Mosel

Nach den bisherigen Erfahrungen der Schifffahrt mit den Schleusenvorhäfen an der Mosel sind die Vorhäfen, insbesondere im Oberwasser, verhältnismäßig kurz, was sich vor allem bei ungünstiger Gestaltung des Fahrwassers im Anschluß an die Vorhäfen und bei stärkerer Wasserführung bemerkbar macht. Dies trifft für die oberstromigen Vorhäfen der Schleusen Wintrich, Enkirch, Fankel und Lehmen zu, in deren Zufahrten die talfahrende Schifffahrt durch erhöhte Querströmungen beeinträchtigt wird, die es erfordern, daß die Talfahrt sehr zügig in die Vorkanäle einfährt. Dies ist aber dann schwierig, wenn die Startplätze schon belegt sind oder wenn dem Talfahrer kurz vor dem Vorhafen noch ein ausfahrendes Schiff begegnet. Zur Erleichterung der Schifffahrt versucht dann das Schleusenpersonal, die Einfahrt möglichst frühzeitig freizugeben.

An den Vorhäfen der Schleusen Trier, Detzem, Zeltingen, St. Aldegund und Müden sind bisher keine Ein- und Ausfahrbehinderungen aufgetreten, wie generell im Unterwasser aller bisher genannten Moselschleusen ebenfalls keine ungünstigen Strömungsverhältnisse zu verzeichnen waren, selbst wenn der Moselabfluß vollständig durch das Kraftwerk geht, was erfahrungsgemäß bei kurzen Trennmolen zu Behinderungen für die Schifffahrt infolge des schräg abströmenden Kraftwassers führen kann. Demnach liegt es für unsere Untersuchung nahe, zunächst die ungünstigen Strömungsverhältnisse an den Oberkanälen in Wintrich, Enkirch, Fankel und Lehmen im Hinblick auf ihre Ursachen und ihre Auswirkungen auf die Schifffahrt zu analysieren.

Schleuse Wintrich

Die Schleuse liegt an der Innenseite einer auslaufenden starken Linkskrümmung, was im Hinblick auf die Querströmungen im Bereich der oberen Vorhafenzufahrt eine recht vorteilhafte Lage ist, da an der Innenseite infolge des Krümmungseffektes (Abb.8) bedeutend geringere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten und auch im Normalfall die gegen die Vorhafeneinfahrt gerichteten Stromfäden weniger stark umgelenkt werden [3]. Trotzdem treten bei der Einfahrt in den oberen Vorhafen bei höherer Wasserführung Erschwernisse auf, deren Ursache darin gesehen wird, daß die einfahrenden Schiffe durch das oberhalb des Vorhafens bei km 142,1 vorspringende linke Moselufer zu weit nach rechts kommen und dann sich vor der Einfahrt nur noch schwer aufrichten können.

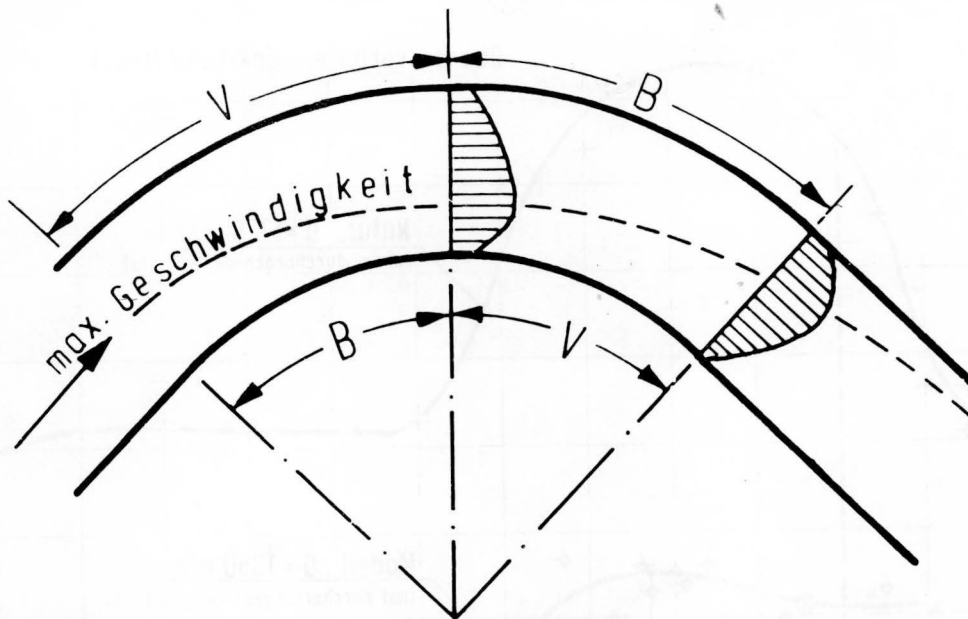


Abb. 8 Krümmungseffekt (B = Beschleunigung; V = Verzögerung)

Wahrscheinlich wäre dieser mit dem Schiffskurs zusammenhängende Umstand für sich allein nicht kritisch, wenn nicht doch im Bereich der oberen Vorhafenzufahrt eine verhältnismäßig kräftige Querströmung liegen würde, die das Aufrichten der einfahrenden Schiffe erschwert. Als Grund für diese Querströmung muß die Linienführung des rechten, dem Vorhafen gegenüberliegenden Ufers genannt werden. Dieses Ufer weist bei Mosel-km 142,4 eine gegen den Strom vorspringende Ausbuchtung auf, die als Ablenker wirkt, der die Strömung von der ihr bevorzugten Außenseite der Krümmung gegen die Innenseite in das Revier der Vorhafenzufahrt lenkt. Gerade an der Außenseite einer auslaufenden Krümmung ist ein solcher Ablenkeffekt besonders wirksam, was bei den Modelluntersuchungen für die neue Mainstaustufe Kesselstadt im günstigsten Sinn genutzt worden ist [1][3].

Schleuse Enkirch

Auch die Schleuse Enkirch liegt an der Innenseite einer auslaufenden starken Linkskrümmung (sogar 180° Krümmung) und demnach von den überdurchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich des einbuchtenden (äußeren) Flußufers so weit abgeschirmt, daß der eigentliche Krümmungseffekt in der Vorhafeneinfahrt nicht wirksam wird. Trotzdem treten im Bereich der oberen Vorhafenzufahrt bei Wasserführungen über 800 bis $900 \text{ m}^3/\text{s}$ Schiffahrterschwerisse infolge von Querströmungen auf.

Die Auswertung von Naturmessungen hinsichtlich der Quergeschwindigkeiten zeigt uns, daß diese maximal $0,70$ bis stark $0,80 \text{ m/s}$ betragen können, wenn man auf das Fahrwasser von der Spitze der bestehenden Trennmole bis etwa 100 m oberhalb von ihr achtet (Abb.9). Es ist auch bemerkenswert, daß die Quergeschwindigkeiten selbst bei Entfernungen bis zu 250 m oberhalb der Trennmole und gleichermaßen bis zu 50 m in den Vorhafen hinein nicht unter $0,40 \text{ m/s}$ zurückgehen.

Stellt man sich nun die Frage nach den Ursachen dieser erhöhten Quergeschwindigkeiten, so muß man zunächst wissen, daß durch die Zurücknahme des linken Vorhafenufers beim Ausbau des Schutzhafens mit dem nunmehr wesentlich breiteren Vorhafen die Bedingungen für den Ausbau der zweiten Schleuse vorweggenommen worden sind.

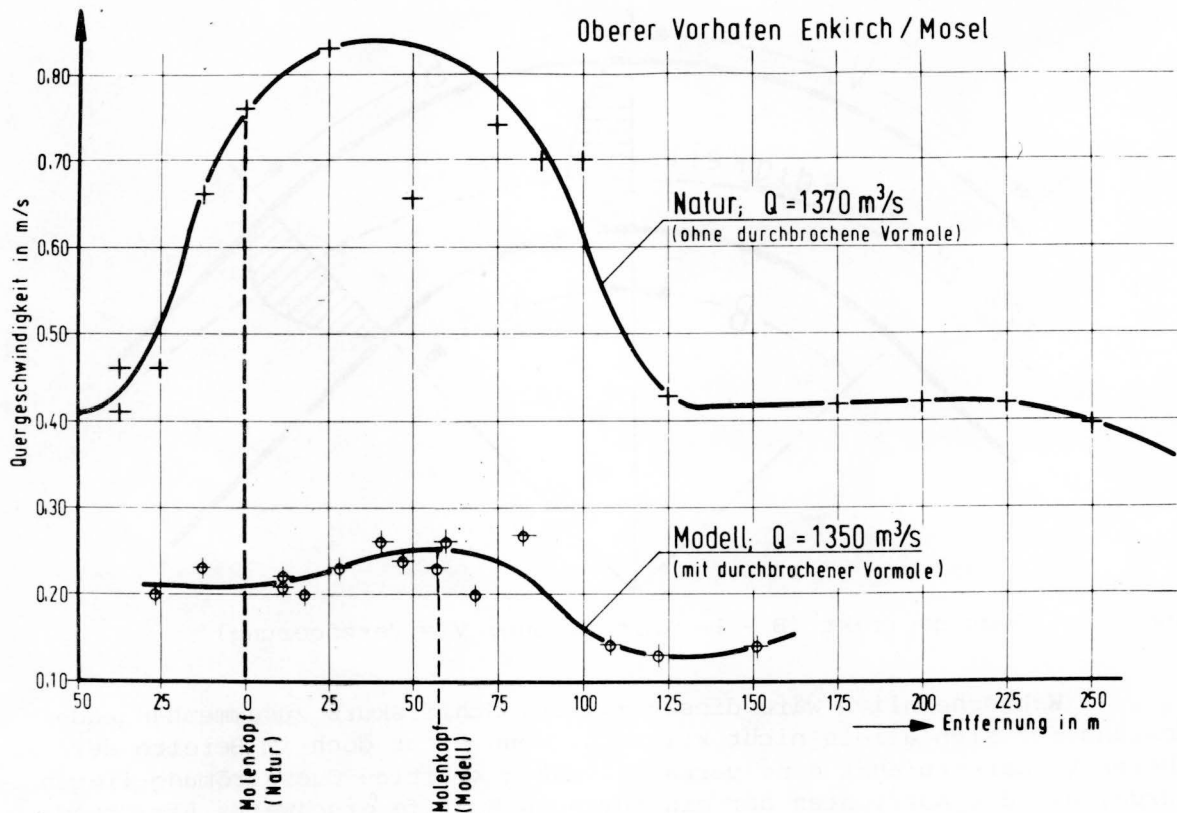


Abb. 9 Quergeschwindigkeiten in verschiedenen Entfernungen zum Kopf der Trennmole des oberen Vorhafens Enkirch/Mosel

Jetzt erhält man eine Antwort auf die vorher gestellte Frage, wenn man sich die Ergebnisse der in den Jahren 1959/60 durchgeführten Modelluntersuchungen (siehe Literaturhinweis Nr. 5 in [4]) vornimmt. Damals ergab sich, daß die Quergeschwindigkeiten bei den Verhältnissen des II. Ausbaues wesentlich höher als bei denen des I. Ausbaues sind und erst durch eine durchbrochene Vorsatzmole (58 m länger als bisher) auf Werte von knapp 0,30 m/s zurückgeführt werden können (siehe Ergebnis der erneut vorgenommenen Auswertung auf Abb.9).

Schleuse Fankel

Die Schleuse Fankel liegt im Scheitel einer mehr als 180° gekrümmten Flußschleife und dort wiederum am Außenufer, wodurch der Vorhafen im Gegensatz zu den vorher behandelten Anlagen der stärkeren Strömung ausgesetzt ist. Dieser Krümmungseffekt wird auch in der ungleichmäßigen Wehranströmung deutlich, die nach Auskunft des zuständigen Schleusenpersonals eine stärkere Beaufschlagung der beiden rechten (dem Vorhafen benachbarten) Sektoren bringt. Die kräftig gegen die Einfahrt drückende Strömung wird in Höhe der Trennschleuse so scharf in den Wehrarm umgelenkt, daß sich bei höheren Wasserführungen ab 800 m³/s Schiffsahrtsschwernisse ergeben.

Die im Jahre 1974 im Oberwasser Fankel durchgeführten Strömungsmessungen [6] und ihre Auswertung bezüglich der in verschiedenen Entfernungen zum Kopf der oberen Trennmole auftretenden Quergeschwindigkeiten (Abb.10) zeigen, daß diese bei den kritischen Wasserführungen über 800 m³/s in Höhe des Molenkopfes 0,30 bis 0,60 m/s betragen können und selbst bei Entfernungen bis zu 125 m nach oberstrom nicht unter den kritischen Wert von 0,20 m/s zurückgehen.

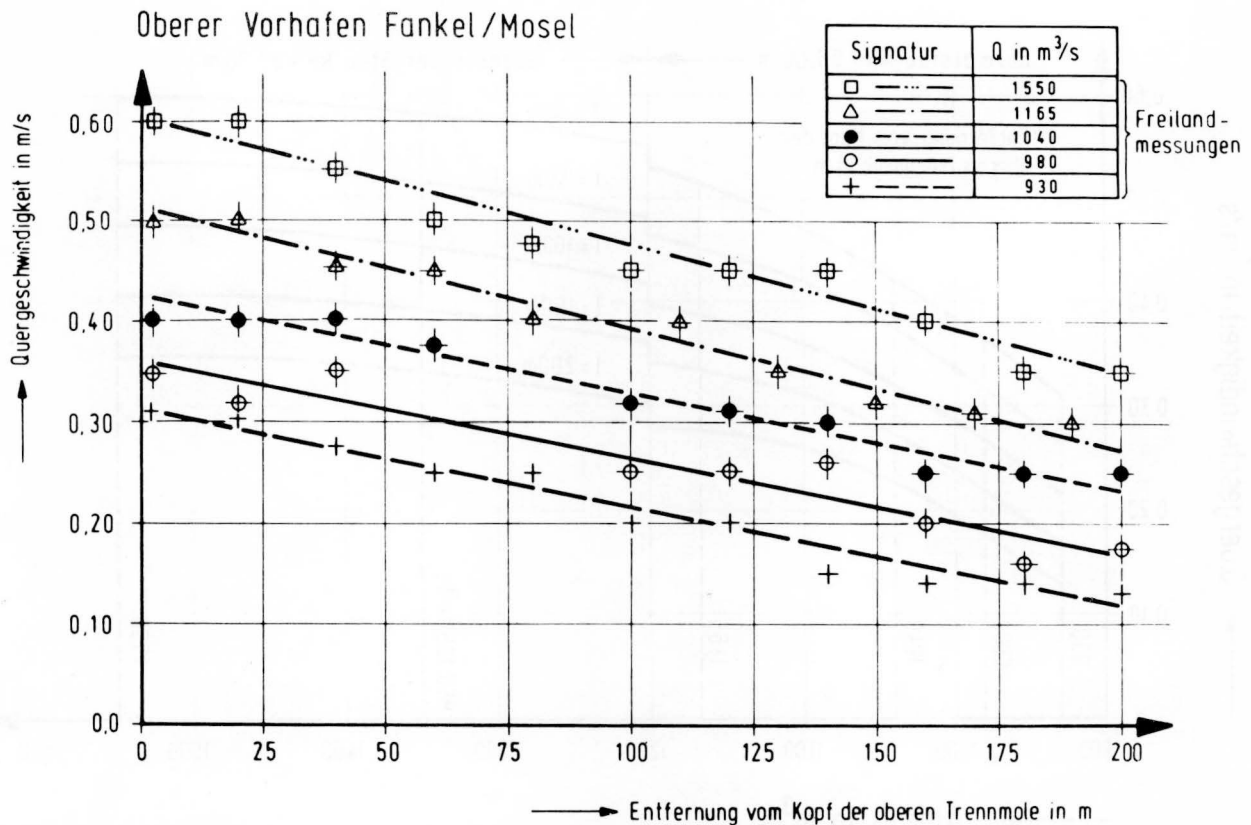


Abb.10 Quergeschwindigkeiten in verschiedenen Entfernungen zum Kopf der Trennmole des oberen Vorhafens Fankel/Mosel

Nach den Erläuterungen im vorangegangenen 2. Abschnitt sind es aber gerade die in größerer Entfernung zur Trennspitze auftretenden Querströmungen, die das Schiff bei seiner Zufahrt zum Vorhafen behindern und das rechtzeitige Aufstrecken des Schiffes vor der Einfahrt erschweren.

Zu einem interessanten Ergebnis kommt man beim Vergleich des Diagramms auf Abb.10 mit der früher auf Abb.4 für den oberen Vorhafen Kesselstadt gezeigten Abhängigkeit. Dabei ergibt sich, daß die obere Kurve "Kesselstadt" für $Q = 700 - 800 \text{ m}^3/\text{s}$ etwa der unteren Kurve "Fankel" für $Q = 930 \text{ m}^3/\text{s}$ entspricht, was auf eine Grenzkurve für beginnende Schiffsfahrtsschwierigkeiten hinweist und die früheren Überlegungen hierzu nochmals bekräftigt.

Nimmt man sich die Zunahme der Quergeschwindigkeiten mit dem Abfluß vor (Abb.11), so ist diese bei größeren Wasserführungen weniger steil als bei geringeren Abflüssen, was mit der Absenkung des Stauziels zusammenhängt. Der Umstand, daß beim Untersuchungsabfluß von $1550 \text{ m}^3/\text{s}$ das Kraftwerk nicht in Betrieb war und das Wasser gleichmäßig über alle Sektoren strömte, während bei den restlichen Messungen das Kraftwerk arbeitete und der rechte Sektor immer mit einer geringeren Höhe überströmt war, dürfte nach dem speziellen Wissen über den Einfluß des Wehr- und Kraftwerksbetriebs auf die Schiffsverkehrsverhältnisse im Oberwasser [3] hierbei kaum eine Rolle spielen.

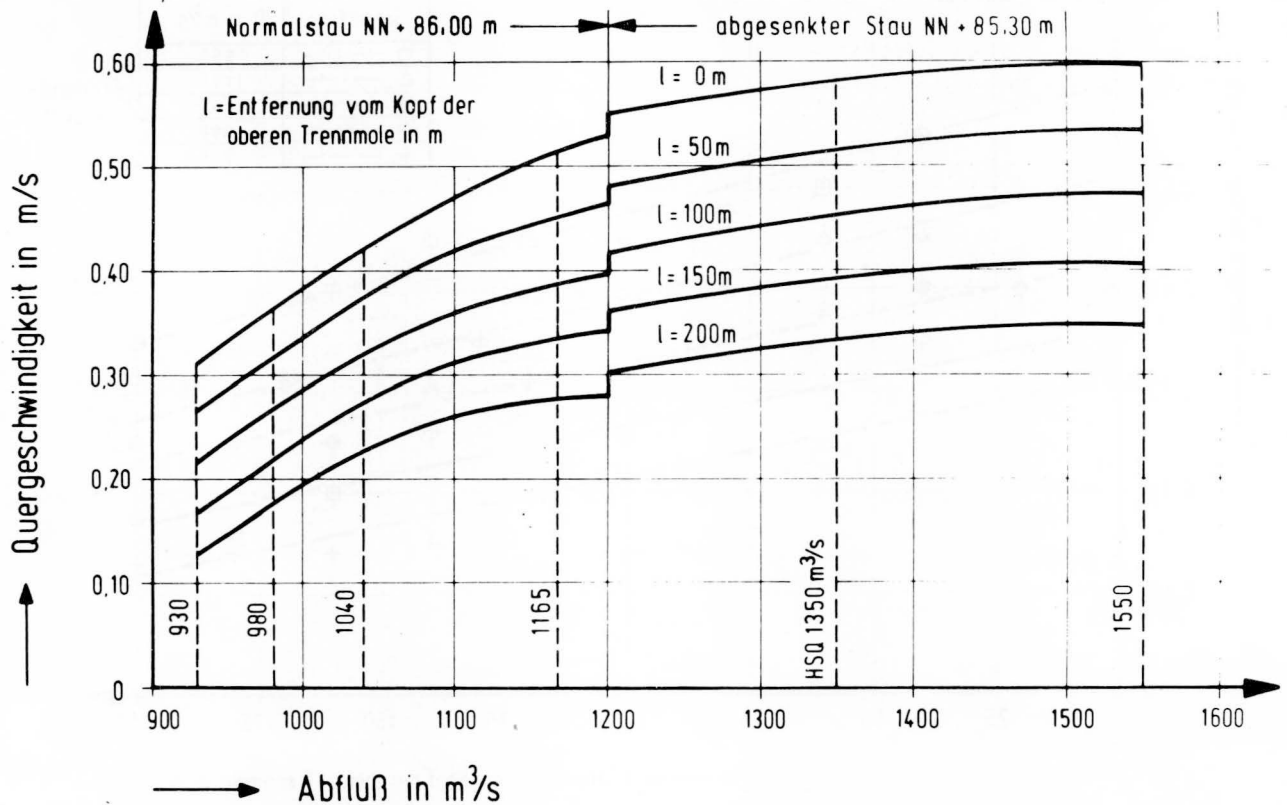


Abb.11 Quergeschwindigkeiten im Bereich des oberen Vorhafens Fankel/Mosel in Abhängigkeit vom Abfluß

Schleuse Lehmen

Im Oberwasser der Staustufe Lehmen findet die Schifffahrt bei der Zufahrt zum Schleusenvorhafen insofern eine andere Situation als bei den bisher betrachteten Stauanlagen vor, als oberhalb der Vorhafenzufahrt die sog. "Reiherschußinsel" liegt. Die Schifffahrt nimmt ihren Weg links der etwa 500 m langen Reiherschußinsel, um an deren Ende unmittelbar in den oberen Vorhafen zur Schleuse einzufahren. Da der Zufluß zum Wehr und zum Krafthaus nicht allein über den rechts der Insel befindlichen sog. Hauptarm erfolgt, sondern auch durch den vorher erwähnten Schifffahrtsweg, muß die Strömung aus dem linken, von der Schifffahrt benutzten Arm zwischen der unteren Spitze der Reiherschußinsel und dem Kopf der oberen Trennmole in den Hauptarm überwechseln. Dadurch stellt sich im Bereich der Einfahrt zum oberen Vorhafen eine Querströmung ein, die bei Wasserführungen über 700 m³/s für die Schifffahrt Erschwernisse bei der Einfahrt in den Vorhafen bringt.

Wertet man die Ergebnisse der im Jahr 1957 durchgeführten Modelluntersuchungen (siehe Literaturhinweis Nr.2 in [4]) hinsichtlich der Quergeschwindigkeiten aus, dann erhält man für den untersuchten Abfluß von 1400 m³/s Höchstwerte, die für den unmittelbaren Einfahrtbereich um 0,50 m/s liegen.

Nachdem man nun weiß, welche Ursachen die erhöhten Querströmungen im Vorbereich der Oberkanäle Wintrich, Enkirch, Fankel und Lehmen haben, ist sicher für den mit der Planung und dem Betrieb von Schifffahrtsanlagen befaßten Ingenieur eine Antwort auf die Frage von Interesse, warum bei den anderen Staustufen an der Mosel die Einfahrt in die oberen Vorhäfen glatt vonstatten geht. Diese Antwort läßt sich vielleicht in einer systematischen

Untersuchung der Geometrie des Flußlaufs und des Vorhafens finden, in der der schon bekannte Krümmungseffekt sicher eine wesentliche Rolle spielen wird.

Für eine derartige grundsätzliche Untersuchung sind jedoch die Schleusen Detzem und Lehmen nicht geeignet, da im ersten Fall die Schleuse in einem Durchstich liegt und im zweiten Fall die schon erwähnte "Reiher-schußinsel" die Verhältnisse aus der üblichen Vorhafennorm bringt.

Von einer solchen Norm soll dann gesprochen werden, wenn der Vorhafen in etwa parallel abzweigt (Abb.12) und den Flußlauf mehr oder weniger stark einengt (Fälle 1 und 2) oder sich als eine Art Buchtenlösung darstellt, bei der die Breite des Flusses bei dessen weiterem Zustrom zum Wehr nicht vermindert wird (Fall 3).

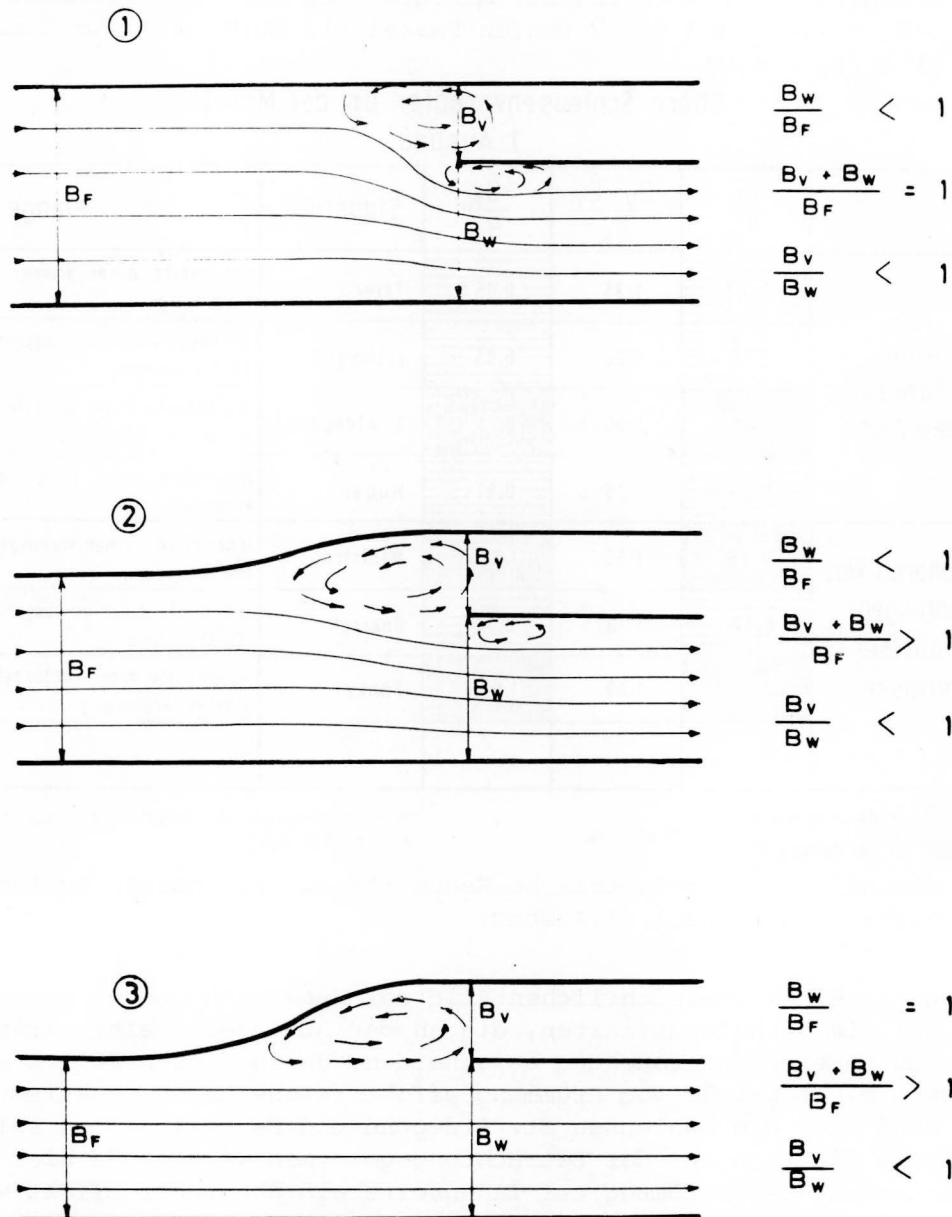


Abb.12 Vereinfachte Darstellung der möglichen Formen einer Vorhafenabzweigung im Oberwasser und die sie kennzeichnenden geometrischen Größen

Führt man nun für die wichtigsten geometrischen Größen des Vorhafens am Strom die Bezeichnungen B_F (= Flußbreite), B_V (= Vorhafenbreite) und B_W (= Restbreite der Strömung zum Wehr hin) ein, dann erkennt man, daß der vollkommen im Fluß liegende Vorhafen (Fall 1) durch eine Verhältniszahl $B_W/B_F < 1$ gekennzeichnet ist, während für die reine Buchtenlösung (Fall 3) die Zahl $B_W/B_F = 1$ steht. In entsprechender Weise können für die Zwischenlösung (Fall 2) dazwischen liegende Werte geschrieben werden. In unserer Untersuchung sollen auch noch die dimensionslosen Größen B_V/B_W und $(B_V + B_W)/B_F$ betrachtet werden.

Holt man sich jetzt aus den Lageplänen der interessierenden Moselvorhöfen diese hier genannten Kennwerte heraus und stellt sie tabellarisch dar (Abb.13), so steht man zunächst vor einem zerrissenen Bild, das auf den ersten Blick keine Zusammenhänge erkennen läßt, abgesehen davon, daß nach unserer Definition der Vorhafen St. Aldegund dem Fall 1 zuzuordnen ist ($(B_V + B_W)/B_F = 1,0$!) und der Vorhafen Fankel als Buchtenlösung (Fall 3) zu gelten hat ($B_W/B_F = 1,0$).

Obere Schleusenvorhöfen an der Mosel
I. Ausbau

	$\frac{B_V}{B_W}$	$\frac{B_V + B_W}{B_F}$	$\frac{B_W}{B_F}$	Staustufe	Schleusenlage
Keine Schiffahrtsschwernisse	0.42	1.35	0.95	Trier	Innenseite einer schwachen Krümmung
	0.26	1.20	0.95	Zeltingen	Innenseite einer vorausgehenden 180° Krümmung
	0.41	1.00	0.71	St. Aldegund	Außenseite einer auslaufenden schwachen Krümmung
	0.39	1.26	0.91	Müden	Innenseite einer schwachen Krümmung
Bei höheren Wasserführungen Schiffahrtsschwernisse	0.25	1.50	1.20	Wintrich	Innenseite [*] einer vorausgehenden 180° Krümmung
	0.62	1.30	0.80	Enkirch	Innenseite einer vorausgehenden 180° Krümmung
	0.30	1.30	1.00	Fankel	Außenseite einer vorausgehenden starken Krümmung


 an der Innenseite }
 an der Außenseite } der Krümmung

^{*}) Infolge Ablenkung der Strömung Krümmungseffekt wie bei Außenlage

Abb.13 Dimensionslose geometrische Kennwerte für die oberen Schleusenvorhöfen an der Mosel (I.Ausbau)

Um zu einem übersichtlichen Bild der Zusammenhänge zu kommen, müssen wir all die Vorhafenzufahrten, die an der Außenseite einer Krümmung liegen, aus unserer Untersuchung ausscheiden, da in diesen Fällen die Strömungsvorgänge primär vom Krümmungseffekt (siehe Abb.8) bestimmt werden. Es sind dies die Schleusen St. Aldegund und Fankel, jedoch soll auch die Schleuse Wintrich aus der Betrachtung genommen werden, da hier infolge der Ablenkung der Strömung zur Innenseite ein ähnlicher Effekt wie bei der ungünstigen Außenlage auftritt.

Bei den nun verbleibenden Vorhafeneinfahrten an der Innenseite der Krümmung erkennen wir, daß unabhängig vom Verlauf der Krümmung dann keine

Schifffahrtserschwerisse im Bereich der oberen Vorhafenzufahrt auftreten, wenn

$$\frac{B_V}{B_W} < 0,42 \quad \text{und} \quad \frac{B_W}{B_F} > 0,91$$

ist (Trier, Zeltingen, Müden). Die ungünstigeren Einfahrtsbedingungen an der Staustufe Enkirch sind dagegen durch die Verhältnismerte

$$\frac{B_V}{B_W} = 0,62 \quad \text{und} \quad \frac{B_W}{B_F} = 0,80$$

gekennzeichnet. Den Vorhafen von St. Aldegund darf man mit einem Wert von $B_V/B_W = 0,41$ ebenfalls in diese Systematik aufnehmen, da der Krümmungseffekt dort entsprechend dem Verlauf des Oberwassers relativ schwach ist.

Aus der Größe der dimensionslosen Gruppierung $(B_V + B_W)/B_F$ lassen sich keine Folgerungen ziehen. Offenbar haben wir mit dem Verhältnis der Vorhafenbreite B_V zur Breite B_W des dem Wehr zufließenden Stromes ein Kriterium zur Beurteilung von oberstromigen Vorhafeneinfahrten hinsichtlich der Stärke der Querströmungen vor uns.

Zusammenfassend und abschließend sind drei Gründe für die erhöhten Querströmungen im Einfahrtsbereich einiger Vorhäfen an der Mosel zu nennen.

1. Der Vorhafen liegt an der Außenseite einer vorausgehenden starken Krümmung (Fankel).
2. Durch eine Ablenkung der Strömung von der Außenseite gegen die an der Innenseite liegende Vorhafenzufahrt erhält man einen ähnlichen ungünstigen Effekt wie bei der Außenlage (Wintrich).
3. Das Verhältnis B_V/B_W ist zu groß (Enkirch).

4. Neuere Untersuchungsverfahren im Modell

Um bei der Beurteilung der Strömungsverhältnisse im Modell im Hinblick auf die Schiffahrtsbedingungen nicht allein auf die Quergeschwindigkeiten angewiesen zu sein, führt die BAW seit einigen Jahren bei Modelluntersuchungen über die Gestaltung von Vorhafeneinfahrten sogenannte Schiffskraftmessungen an einem auf Zwangskurs fahrenden Modellschiff durch, an dessen Bug und Heck die auf den Schiffskörper wirkenden seitlichen Strömungskräfte während der Fahrt gemessen und aufgezeichnet werden können.

Bei diesem Verfahren, das eingehend in einer früheren Arbeit [2] beschrieben wird, folgt das frei aufschwimmende Modellschiff über zwei Führungswagen und einen Antriebswagen einer hochkant aufgebauten Schiene, die entlang eines angenommenen Schiffskurses gelegt ist und leicht verändert werden kann. Die Auswertung der Meßdaten kann sich sowohl auf die Er-

fassung der Querkraft Q als auch auf die Ermittlung der Verdrehungsmomente in Bezug auf die Schiffsmitte $M_{O,50}$ und auf den vorderen Drittelspunkt (dynamischer Drehpunkt) des Schiffes $M_{O,33}$ erstrecken.

Bei diesen Kraftmessungen muß man sich aber im klaren darüber sein, daß sie keine Naturwerte liefern können, die das Kräftespiel auf ein fahrendes Schiff wiedergeben. Ihre Ergebnisse sind vielmehr Beurteilungszahlen für die Betrachtung des Strömungsgeschehens vor dem Hintergrund der Schifffahrtsbedingungen, die einen genauen Vergleich verschiedener zu betrachtender Ausbauvarianten ermöglichen [2], [3]. Dieser Zwang zu einer wohl möglichen Relativbetrachtung ergibt sich nicht nur aus den Ähnlichkeitsgesetzen, sondern kommt auch daher, daß es im Modell nicht möglich sein wird, die freie gesteuerte Fahrt eines Schiffes mit allen Aktionen und Reaktionen in Ort und Zeit ähnlich nachzubilden.

Beim Einsatz der Schiffskraftmeßanlage stellt sich immer wieder die Frage, wie groß die laterale Versetzkraft Q und die vorher definierten Momente $M_{O,5}$ und $M_{O,33}$ sein dürfen, ohne daß sich in den Vorhafeneinfahrten Erschwernisse für die Schifffahrt ergeben. Nach diesen Grenzwerten müssen sich die baulichen Maßnahmen richten, die im Modell untersucht und begutachtet und letzten Endes zur Ausführung empfohlen werden. Selbstverständlich bleibt primär die Möglichkeit, anhand der Ergebnisse der Schiffskraftmessungen verschiedene Varianten vergleichsweise zu betrachten, jedoch ist dieses Verfahren nicht ganz befriedigend, da es in der Mehrzahl der Fälle nicht zu einer optimalen Lösung führt. Will man nämlich die Vorhäfen und ihre Zufahrten ebenso schifffahrtsgerecht wie auch wirtschaftlich gestalten, was für den in der Planung tätigen Ingenieur immer das Ziel sein soll, kommt man nicht daran vorbei, sich mit den Grenzwerten für die Versetzkraft und Momente auseinanderzusetzen bzw. an sie heranzugehen.

In Ermangelung anderer Möglichkeiten zur Ermittlung dieser Grenzwerte und wenigstens bis man einschlägige Freilandfahrten von im Modell untersuchten Vorhäfen zur Hand hat, hilft man sich bei diesem Problem mit der Quergeschwindigkeit, von der man doch einigermaßen weiß, wie groß sie in bestimmten Fällen sein darf, ohne daß nennenswerte Behinderungen für die Schifffahrt auftreten. Und zwar stellt man sie für gleiche Bedingungen der baulichen Ränder, der Strömung und des Modellschiffes den entsprechenden Auswertgrößen der Schiffskraftmessungen gegenüber.

Für das auf die Schiffsmitte bezogene Verdrehungsmoment $M_{O,5}$ ist ein derartiger Zusammenhang schon in früheren Untersuchungen [2][3][5] herausgearbeitet worden, wobei sich generell zeigte, daß die Momente nicht nur in einfacher Weise mit der Quergeschwindigkeit zunehmen, sondern bei einem vorgegebenen stationären Strömungsfeld auch mit der Fahrgeschwindigkeit des Modellschiffes anwachsen. Jedoch war in dieser Relation eine verhältnismäßig starke Streuung der eingebrachten Meßwerte zu erkennen, die eine zahlenmäßige Formulierung einer Funktion für das Schiffsverdrehungsmoment $M_{O,50}$ in Abhängigkeit von der Quergeschwindigkeit nur mit großen Vorbehalten zuließ. Bei dem auf den vorderen Drittelspunkt des Schiffes bezogenen Moment $M_{O,33}$ und bei der Versetzkraft war nach dem Ergebnis der früheren Untersuchungen die Streuung der Meßwerte sogar so groß, daß keine eindeutig auswertbaren Zusammenhänge zu erkennen waren. Die schon früher genannten Ursachen für diese starken Streuungen [3] lagen teils in der Auswertung der Kerzenaufnahmen, teils in einem verhältnismäßig kleinen Modellmaßstab und teils in einer mangelnden Übereinstimmung des Ortes der verursachenden Quergeschwindig-

keiten und der durch sie bewirkten Kräfte, die in getrennten Versuchsreihen ohne und mit Schiff ermittelt worden sind.

Trotzdem waren die in diese Richtung zielenden Untersuchungen nicht so entmutigend, daß weitere Bemühungen hinsichtlich einer auf die Quergeschwindigkeit aufbauenden Funktion für die Versetzkräfte und die Verdrehungsmomente von vornherein als zwecklos anzusehen gewesen wären, sondern es boten sich in Verbindung mit den früher schon erwähnten systematischen Untersuchungen zur Ermittlung der zulässigen Quergeschwindigkeit im vorhandenen Modell der Mainstaustufe Kesselstadt erneute Überlegungen an. Hierzu wurden in diesem Modell neben der Quergeschwindigkeit auch die Versetzkräfte und Momente an einem auf Zwangskurs fahrenden Modellschiff des Typs "Johann Welker" ermittelt. Da an den Vorhafeneinfahrten der vorher genannten Staustufe bisher keine Schifffahrtsbehinderungen infolge von Querströmungen aufgetreten sind, konnten diese Überlegungen sogar über die bisher übliche Marke der auf die Quergeschwindigkeit bezogenen Zusammenhänge hinausgehen und direkt auf die Beantwortung der eingangs gestellten Frage nach den zulässigen Grenzwerten der aus den Schiffskraftmessungen gewonnenen Größen zugehen.

Diese grundsätzlichen Untersuchungen wurden für Mainabflüsse von 180 bis 710 m³/s durchgeführt, von denen der zuletzt genannte dem höchsten schiffbaren Wasserstand zugeordnet ist. Bei den Fahrten des Modellschiffes mußte zwischen Berg- und Talfahrt unterschieden werden, wie auch für die Schiffsgeschwindigkeit v_s (über Grund) verschiedene Versuchsvarianten gewählt worden sind, und zwar 1,25; 2,50; 5,00; 7,50 und 10,00 km/h. Die für den Zwangskurs des Modellschiffes festgelegte Fahrschiene entsprach in ihrer Linienführung weitgehend dem Kurs der Schiffe in der Natur.

Die der Untersuchung zugrunde liegenden Strömungsgeschwindigkeiten gehen auf die bekannten Kerzenaufnahmen zurück. Die Auswertung bezog sich sowohl auf die schon definierte Quergeschwindigkeit v_q , wie auch auf die Längskomponente v_l parallel zum Schiffskurs, die mit der Schiffsgeschwindigkeit v_s die sog. Rückstromgeschwindigkeit v_R liefert (Abb.14). Um die Streuung der aus den Kerzenaufnahmen ermittelten Geschwindigkeitsgrößen möglichst gering zu halten, wurden aus mehreren Kerzenbahnen und über die Länge des Schiffes arithmetische Mittelwerte \bar{v}_q und \bar{v}_l gebildet, die allerdings etwas kleiner als die Maximalwerte sind.

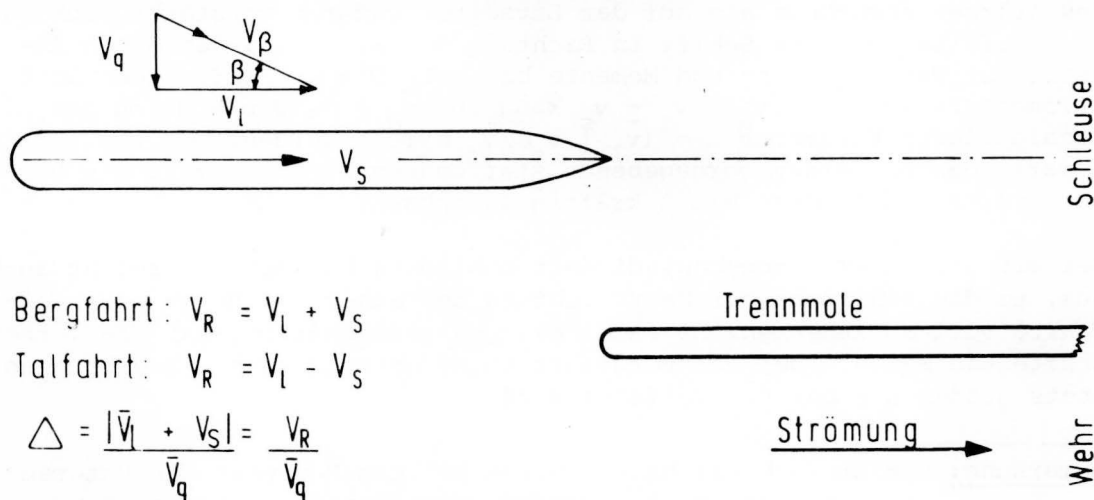


Abb.14 Definition der verwendeten Geschwindigkeitsgrößen

Trägt man in der schon diskutierten Weise die Versetzkräfte und Momente gegen die Quergeschwindigkeit \bar{v}_q auf (Abb.15), erhält man in einer qualitativen Untersuchung folgendes Ergebnis. *)

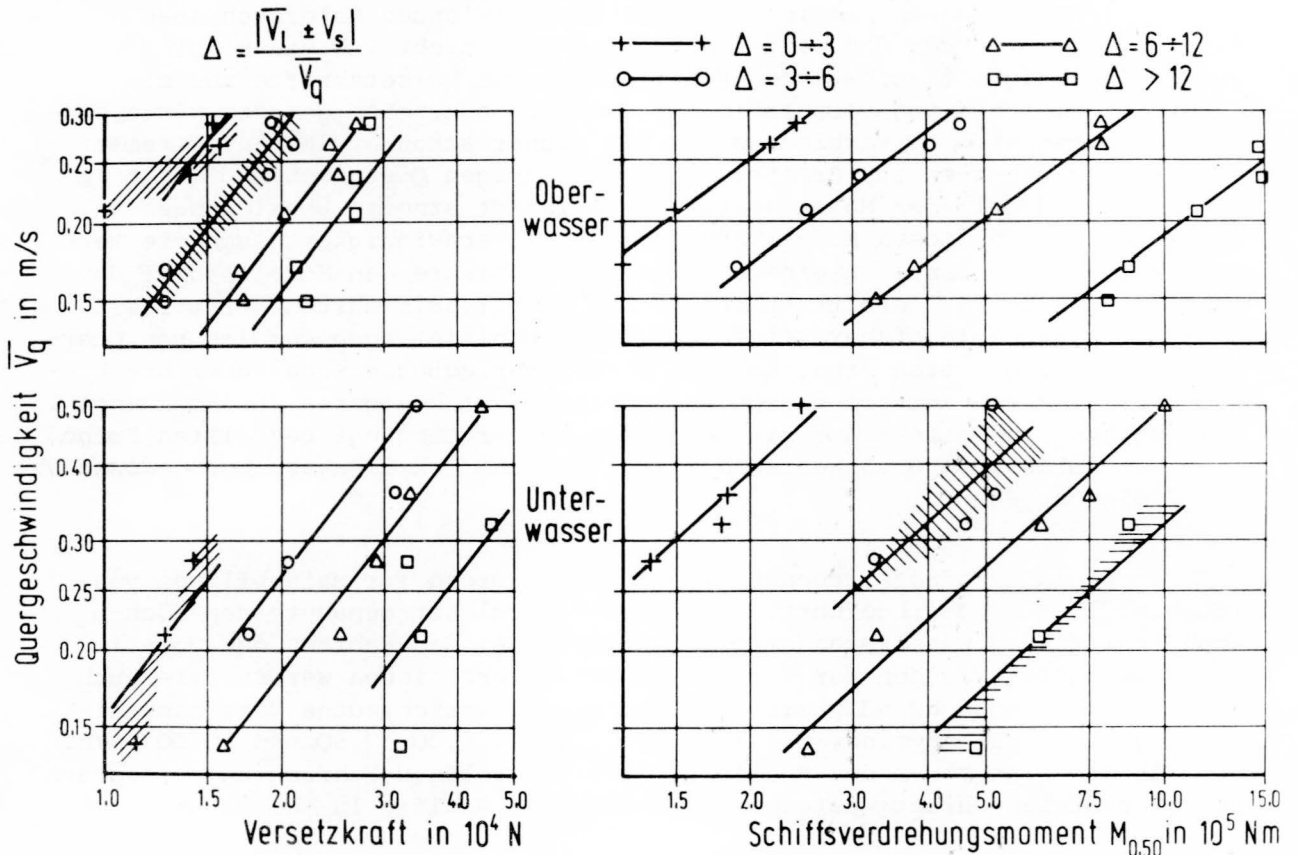


Abb.15 Versetzkraft Q und Schiffsverdrehungsmoment $M_{0,50}$ in Abhängigkeit von der Quergeschwindigkeit \bar{v}_q (Modellschiff "Johann Welker")

1. Die Versetzkräfte und Momente nehmen wieder eindeutig mit der Quergeschwindigkeit zu, wie es sich auch schon bei den vorausgehenden Untersuchungen gezeigt hat [2] [3] .
2. Es wurde in früheren Arbeiten schon gesagt, daß mit zunehmender Fahrt des Schiffes die Rückstromgeschwindigkeiten auf der Leeseite des Schiffes stärker anwachsen als auf der Luvseite. Dadurch verstärkt sich das Druckgefälle quer zum Schiff in Richtung der Strömung, was einen Anstieg der Versetzkräfte und Momente bewirkt. Dieser Einfluß der Rückstromgeschwindigkeit $v_R = v_l + v_s$ kann für $\bar{v}_q > 0,10$ m/s durch den dimensionslosen Parameter $\Delta = 1 + (v_l + v_s) / \bar{v}_q$ erfaßt werden. Der Einfluß ist derart, daß bei einem vorgegebenen stationären Strömungsfeld die Versetzkräfte und Momente mit Δ kräftig anwachsen.
3. Der mit der Rückstromgeschwindigkeit gebildete Parameter Δ reicht auch aus, um die Einflüsse der Fahrtrichtung des Schiffes (Berg- oder Talfahrt) voll aufzunehmen. Er macht es auch verständlich, daß die Versetzkräfte und Momente bei der Bergfahrt unter sonst gleichen Bedingungen stets größer als bei der Talfahrt sind.

*) Anmerkung: Der Einfachheit halber wurde bei den Momenten die Untersuchung nur für $M_{0,50}$ geführt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind jedoch grundsätzlich auch für das Moment $M_{0,33}$ gültig.

Die Einführung eines dimensionslosen Parameters für den Einfluß der Rückstromgeschwindigkeit bringt gegenüber den früheren Untersuchungen einen Fortschritt, der in aller Vorsicht und nur für die speziellen Versuchsbedingungen (Modellschiff!) eine quantitative Wertung der Versuchsergebnisse gestattet. Demnach können die vorher erläuterten Zusammenhänge zahlenmäßig, jedoch nicht dimensionsgerecht wie folgt formuliert werden:*)

Versetzkkräfte Q

$$Q = 3,8 \cdot v_R^{0,30} \cdot \bar{v}_q^{0,50}$$

Im Ober- und Unterwasser treten im Bereich der Vorhafenzufahrt vom Betrag her übereinstimmende Versetzkkräfte auf das im Zwangskurs fahrende Modellschiff auf. (Spätere Versuche sollten zeigen, daß diese Übereinstimmung mehr oder weniger zufällig ist).

Verdrehungsmomente $M_{0,50}$

$$\text{Oberwasser : } M_{0,50} = 6,4 \cdot v_R^{0,90} \cdot \bar{v}_q^{0,50}$$

$$\text{Unterwasser : } M_{0,50} = 5,8 \cdot v_R^{0,60} \cdot \bar{v}_q^{0,50}$$

Bei übereinstimmenden Quergeschwindigkeiten erhält man im Oberwasser stets größere Momente als im Unterwasser:

$$\left(\frac{M_{\text{ow}}}{M_{\text{uw}}} \right)_{0,50} = 1,2 \cdot v_R^{0,30}$$

Dieses Ergebnis fügt sich sinnvoll in frühere Überlegungen ein, nach denen die Schifffahrtsbedingungen im Oberwasser im allgemeinen kritischer als im Unterwasser sind. Bei dem herausgestellten Einfluß der Rückstromgeschwindigkeit v_R nehmen die Versetzkkräfte und Momente nur noch mit der Quadratwurzel der Quergeschwindigkeit \bar{v}_q zu, ein Ergebnis, das im Hinblick auf frühere Darstellungen dieser Zusammenhänge [2] doch recht verblüffend ist.

Die schon mehrmals gestellte Frage nach den Grenzen für Versetzkkräfte und Momente, jenseits derer mit beginnenden Schifffahrtsbehinderungen durch Querströmungen zu rechnen sein wird, kann mit den vorher angeschriebenen Formeln beantwortet werden, wenn man in ihnen für die Quergeschwindigkeit \bar{v}_q die größtmöglichen Werte setzt (s.a. Abb.15).

*) Anmerkung: In den angeschriebenen Formeln sind folgende Dimensionen zu verwenden:

$$Q = \text{Versetzkraft in } 10^4 \text{ N}$$

$$M_{0,50} = \text{Verdrehungsmoment um die Schiffsmitte in } 10^5 \text{ N m}$$

$$v_R = \text{Rückstromgeschwindigkeit in m/s}$$

$$\bar{v}_q = \text{Mittlere Quergeschwindigkeit in m/s}$$

Oberwasser ($\bar{v}_q = 0,30 \text{ m/s}$):

$$Q_{\text{zul}} = 2,1 \cdot v_R^{0,30}$$

$$M_{0,5 \text{ zul}} = 3,5 \cdot v_R^{0,90}$$

Unterwasser ($v_q = 0,50 \text{ m/s}$)

$$Q_{\text{zul}} = 2,7 \cdot v_R^{0,30}$$

$$M_{0,5 \text{ zul}} = 4,1 \cdot v_R^{0,60}$$

Es wird deutlich, daß diese nur für das Modellschiff des Typs "Johann Welker" gültigen Grenzwerte generell von der Rückstromgeschwindigkeit v_R abhängen und mit dieser in die Höhe gehen. Dies erklärt auch die verhältnismäßig kleinen Grenzwerte, die bei der Meßanlage mit dem stationär liegenden Modellschiff angesetzt worden sind [2]. Da die bestehenden Vorhöfen Kesselstadt verhältnismäßig eng und kurz sind und wenig Platz zur Kurskorrektur bei Querströmungen und für das Stoppmanöver lassen, enthalten die vorher angeschriebenen Kriterien dann genügend Sicherheit, wenn sie auf breitere und längere Vorhöfen mit ihren entsprechend günstigeren Fahrbedingungen übertragen werden.

5. Schrifttum

- [1] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU : Modelluntersuchungen W 315 für die neue Mainstaustufe Kesselstadt. Teilgutachten 1 bis 6 vom Okt. 1973 bis Mai 1975 (unveröffentlicht)
- [2] DIETZ, J.W. : Modelluntersuchung der Schleusenvorhöfen an der Rheinstaustufe Iffezheim. Mitteilungsbl. der Bundesanstalt für Wasserbau 21 (1973) H.35, S.90-121
- [3] DIETZ, J.W. und PULINA, B. : Verminderung der Querströmungen in den Zufahrten von Schleusenvorhöfen. Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen 102 (1975) H. 5, S.147-159
- [4] FELKEL, K. : Die Modelluntersuchungen für zehn Moselstau-stufen. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 9 (1961) H.16, S.3-36
- [5] JAMBOR, F. : Lage und Gestaltung der Schleusen und ihrer Zufahrten. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 8 (1960) H.15, S.3-13
- [6] WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT KOBLENZ-MOSEL : Strömungsmessungen im Oberwasser Fankel und Enkirch/Mosel. Unveröffentl. Ergebnisse (1974).