

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Glazik, Günter

Querströmungen in Schleusenvorhöfen und Maßnahmen zu ihrer Beseitigung

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106031>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Glazik, Günter (1962): Querströmungen in Schleusenvorhöfen und Maßnahmen zu ihrer Beseitigung. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau 5. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 79-115.

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.



Querströmungen in Schleusenvorhäfen und Maßnahmen
zu ihrer Beseitigung

Dipl.-Ing. Günter Glazik

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung

Kurzreferat

1. Einleitung
2. Ursachen und Wirkungen der Querströmungen
3. Gegenmaßnahmen
4. Ergebnisse von Modellversuchen
 - 4.1 Allgemeines
 - 4.2 Schleuse Neuburg
 - 4.3 Schleuse Krewelin
 - 4.4 Schleuse Bischofswerder
 - 4.5 Bewährung der Modellversuchsergebnisse in der Praxis
5. Zusammenfassung und Ausblick

Vorbemerkung

In der Zeitschrift "Die Schifffahrt", Heft 10 bis 12/1960, erschien ein redaktionell gekürzter Beitrag des Verfassers über Querströmungen in Schleusenvorhöfen [3], in welchem u.a. Ergebnisse wasserbaulicher Modellversuche mitgeteilt wurden. In der Zwischenzeit wurden auf diesen basierende Bauvorschläge in der Praxis verwirklicht, und es liegen die Ergebnisse der praktischen Bewährung vor. Nach Erscheinen des o.g. Beitrages wurde dem Verfasser mehrfach bestätigt, daß über diese Thematik bisher nur wenige Arbeiten vorliegen und ein praktisches Interesse hierfür vorhanden ist. Zu gleicher Zeit wie jener Beitrag wurden von JAMBÖR Ergebnisse diesbezüglicher Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe veröffentlicht [4], die sich auf Großschleusen erstreckten. Demgegenüber betrafen die genannten Versuche der Forschungsanstalt kleinere Anlagen. Grundsätzlich entsprechen sich die Strömungsverhältnisse, zum anderen gibt es eine ganze Anzahl gerade mittlerer und kleinerer Schleusenanlagen, an denen Querströmungen in mehr oder weniger betriebstörender Weise auftreten.

Die angeführten Gesichtspunkte veranlaßten, den seinerzeitigen Beitrag vorliegend in überarbeiteter und ergänzter Form zu veröffentlichen.

Kurzreferat

Querströmungen in den Schleusenvorhöfen können auf die Abwicklung des Schleusenbetriebes störend wirken und dadurch die Leistungsfähigkeit der Wasserstraßen und die Sicherheit der Schifffahrt einschränken. In den Ausführungen grundsätzlicher Art werden die hydromechanischen Ursachen und Wirkungen der Querströmungen, insbesondere bei benachbarter Lage von Schleuse und Wehr bzw. Freiarche, dargestellt. Durch Trennwände bzw. -molen können in vielen Fällen die betriebstörenden Querströmungen vermieden werden. Zur übersichtlichen Ermittlung der erforderlichen Trennwandlänge kann ein Ansatz von WINKEL benutzt werden. Durch mehrere Beispiele wird gezeigt, wie durch wasserbauliche Modellversuche die sowohl technisch beste als wirtschaftlichste Lösung gefunden werden kann. Der Beitrag soll dazu anregen, an bestehenden Schleusen noch auftretende betriebstörende Querströmungen im Interesse der Sicherheit und Schnelligkeit der Schifffahrt zu beseitigen.

1. Einleitung

Die Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Schnelligkeit des Schleusenbetriebes sind erheblich von der Anordnung, Ausbildung und Ausrüstung der Schleusenvorhöfen abhängig. Für die Durchführung eines reibungslosen Betriebes ist u.a. die Forderung zu erfüllen, daß die in die Schleusenkammer ein- bzw. die ausfahrenden Schiffe nicht durch Querströmungen in den Vorhöfen vom einzuhaltenden Kurs abgedrängt werden. Dieser Gesichtspunkt muß bereits im Anfangsstadium der Projektierung einer Schleuse berücksichtigt werden, da die allgemeine Anordnung derselben hierauf großen Einfluß hat. In vielen Fällen sind zur Verhütung betriebstörender Querströmungen noch besondere bauliche Maßnahmen vorzusehen. Zeigen sich bei einer bestehenden Anlage derartige Querströmungen, so müssen Mittel und Wege gefunden werden, diese zu beseitigen oder zumindest auf ein erträgliches Maß zu reduzieren. Naturgemäß wird man anstreben, dies durch verhältnismäßig einfache bauliche Veränderungen zu erreichen. Einmal sind hierfür wirtschaftliche Rücksichten maßgebend, zum anderen ist man bei einer vorhandenen Anlage viel enger an die örtlichen Verhältnisse gebunden als bei einem Neubau. Ferner müssen die Umbauten möglichst ohne wesentliche Einschränkung des Verkehrs ausgeführt werden.

Um den der Schifffahrt infolge Querströmungen drohenden Gefahren durch zweckmäßige bauliche Gestaltung der Schleusanlagen begegnen zu können, muß man ihre Ursachen und Wirkungen kennen.

2. Ursachen und Wirkungen der Querströmungen

Bei Flußstauhaltungen gibt es für die Anordnung der Schleusen zwei grundsätzliche Möglichkeiten. Entweder liegt die Schleuse im Fluß neben dem Wehr oder in einem Durchstich bzw. Seitenkanal.

Bei der Abzweigung eines Schleusen-Oberkanals aus einem kanalisiertem Fluß können für die Schifffahrt sehr ungünstige Querströmungen auftreten, welche eine Folge des Übergangs aus der Strömung in das Stauwasser bei der Talfahrt oder in umgekehrter Folge bei der Bergfahrt sind. Diese Verhältnisse hat u.a. SCHÄFER [9] an einigen Beispielen an der unteren Havel gut dargestellt, worauf hier verwiesen wird. Modellversuche in der früheren Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin für die Verbesserung der Einfahrt in den Schleusenkanal zu Dörverden an der Weser ergaben als beste Lösung die Ausbildung der Trenndammspitze zwischen Fluß und Kanal als durchbrochene Mole [5]. Nach dem hier erstmalig durch Modellversuche er-

erprobten und in der Praxis bewährten Vorbild kamen in der Folgezeit solche Molen mehrfach zur Anwendung. Es bestätigte sich deren gute Wirkung sowie die Erkenntnis, daß die günstigste Gestaltung derartiger Bauwerke für spezielle Verhältnisse nur durch Modellversuche gefunden werden kann.

Die weiteren Betrachtungen sollen auf Querströmungen unmittelbar in den Schleusenvorhöfen beschränkt bleiben, welche insbesondere durch Wasserentnahmen oder -einleitungen verursacht werden.

Einer seitlichen Entnahme aus dem oberen bzw. Einleitung in den unteren Vorhafen entspricht die Lage des Wehres neben der Schleuse. Zwischen Schleuse und Wehr müssen dann strömungstechnisch gut ausgebildete Trennwände bzw. -dämme angeordnet werden. Verschiedentlich wurden zwar auch Staustufen ohne Trennungsdamm ausgeführt, so z.B. an der Lahn und Fulda, jedoch bleiben derartige Anlagen auf besondere Verhältnisse beschränkt. Bei größeren Abflüssen können die Schiffe im Oberwasser die Schleuseneinfahrt verfehlen und gegen das Wehr getrieben werden. In ähnlicher Weise können Querströmungen im Unterwasser für die Schifffahrt gefährlich werden.

WINKEL [11] hat versucht, anhand der Erklärung der hydromechanischen Vorgänge im Unterwasser eine Faustformel für die Längenbemessung des Trennwerkes aufzustellen. Er geht davon aus, daß unmittelbar unterhalb eines in Betrieb befindlichen Wehres eine örtliche Absenkung des Wasserspiegels auftritt. Es herrscht daher ein Druckgefälle, welches von den umliegenden Wasserflächen mit höherem Spiegelniveau zu dem Bereich der Absenkung hin gerichtet ist. Hierdurch wird die Querströmung angefacht und aufrechterhalten (Bild 1).

Die Einflußlänge des Senkungsbereiches setzt WINKEL in "roher Näherung"

$$l_e = 10 \cdot t_u \quad (1)$$

(t_u = Wassertiefe im Unterwasser).

Wie kommt dieser Ansatz zustande und wie ist er einzuschätzen?

WINKEL demonstriert an anderer Stelle [12] die Verhältnisse an einem unterströmten Schütz. Im Austrittsquerschnitt ist infolge der dort vorhandenen großen Wassergeschwindigkeit der Druck, dem Theorem von BERNOULLI entsprechend, gering. Dadurch senkt sich dicht am Wehr der Unterwasserstand um den Wert s (siehe Bild 1); diese Erscheinung wird als Ejektorwirkung bezeichnet. Die Größe der Absenkung ist abhängig von der Größe der Austrittsgeschwindigkeit und kann nach Ansätzen von KREY und WINKEL, die auf der Anwendung des Impulssatzes

beruhen, berechnet werden. Nach WINKEL kann das Verhältnis $s:h$ bis etwa 0,2 betragen. Der Ablösungswinkel einer Strömung konnte durch Modellversuche zu ungefähr 6° bestimmt werden. Dementsprechend nimmt WINKEL an, daß sich der Ausflußstrahl um 6° nach oben ausbreitet, was etwa einer Steigung 1:10 entspricht. Danach ergibt sich mit den Bezeichnungen des Bildes 1 die Länge des Senkungsbereiches zu

$$l_e = 10 (t_u - t_1), \quad (2)$$

wobei $t_1 = t_a \mu$ und μ der Einschnürungskoeffizient sind.

Die für ein unterströmtes Schütz angestellten Betrachtungen gelten sinngemäß auch für überströmte Wehre; dort ist ebenfalls unmittelbar unterhalb des Wehres eine Absenkung zu verzeichnen.

Bei einem Wehr tritt häufig schießender Abfluß auf, der bei ausreichender Unterwassertiefe wieder in den strömenden Abfluß übergeht. Der Übergang erfolgt diskontinuierlich in Form einer sprungartigen Änderung im Fließvorgang, dem sog. Wechselsprung (Bild 2). Die Höhe des Wechselsprunges, die mit Hilfe des Impulssatzes berechnet werden kann, ist identisch mit der erwähnten Absenkung gegenüber dem Unterwasser. Die Lage des Wechselsprunges ist vom Unterwasserspiegel derart abhängig, daß bei Hebung des Unterwassers der Wechselsprung zum Wehr hin wandert. Grundsätzlich sind der nicht rückgestaute (freie) und der rückgestaute Wechselsprung zu unterscheiden. Bei letzterem ist durch entsprechende Unterwassertiefe der Wechselsprung so weit zum Wehr gewandert, daß seine Deckwalze den Fuß des Abflußstrahls überdeckt. Wird das Unterwasser soweit gehoben, daß die Fallhöhe nicht mehr ausreicht, um den Abfluß zum Schießen zu bringen, so unterbleibt selbstverständlich auch der Wechselsprung. Aber auch dann tritt im Bereich des Wehres infolge des beschleunigten Abflusses noch eine - wenn auch oft nur kleine - Absenkung auf. Die Einflußlänge des Senkungsbereiches läßt sich bei Vorhandensein eines Wechselsprunges aus den Ansätzen für die Sprunglänge ermitteln. Die Entfernung vom Wehr bis zum Beginn der Deckwalze wird als Anlaufstrecke bezeichnet; die Summe von Anlaufstrecke und Deckwalzenlänge ergibt die Länge des Senkungsbereiches. Die Berechnung der Wechselsprunglänge - sowohl der Anlaufstrecke als der Deckwalzenlänge - ist nach den augenblicklichen Erkenntnissen nur mit Hilfe empirischer Formeln möglich, welche auf Versuchsergebnissen beruhen. Nach SAFRANEZ [7] ist die Länge der Deckwalze bei freiem Wechselsprung

$$l_d = 4,5 t_u ; \quad (3)$$

SMETANA [6] sowie MOSONYI [1] geben an

$$l_d = 6 (t_u - t_1) ; \quad (4)$$

BLAU [1] ermittelte aus Versuchsergebnissen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau die Beziehung

$$l_d = 5 (t_u - t_1) + 1,5 . \quad (5)$$

Für den rückgestauten Wechselsprung empfiehlt PIETROWSKI [8]

$$l = 5 t_u ; \quad (6)$$

PRESS [6] gibt hierfür an

$$l = 6 (t_u - t_1) - 0,05 \frac{t_u}{t_1} (t_u - t_1) . \quad (7)$$

Da hier keine Anlaufstrecke vorhanden ist, ist die Wechselsprunglänge l gleich der Länge l_e des Senkungsbereiches. Ein freier Wechselsprung greift das Flußbett stark an; durch entsprechende Tosbeckenausbildung strebt man deshalb den rückgestauten Sprung an. Der Ermittlung der Einflußlänge können daher im allgemeinen die Gl. (6) bzw. (7) zugrunde gelegt werden. Ein Vergleich der Gl. (2) bis (7) mit Gl. (1) zeigt, daß sich nach letzterer größere Einflußlängen ergeben. Einmal wird bei den Ansätzen für die Wechselsprunglänge ein steileres Verhältnis für die Strahlausbreitung angenommen, zum anderen vernachlässigt WINKEL die Tiefe t_1 des Schußstrahls; ein Vergleich der genaueren Gl. (2) mit der Gl. (1) zeigt, daß die Faustformel von WINKEL dadurch - insbesondere bei größeren Schußstrahlstärken bzw. Schützhüben - auf der sicheren Seite liegt.

Jedoch erfaßt die Formel von WINKEL nicht vollständig die hydromechanischen Vorgänge der Querströmung. Infolge der Vielzahl und der komplexen Natur der möglichen Einflüsse, die besonders von der konkreten Örtlichkeit abhängen, ist dies auch gar nicht angängig. Die Absenkung unmittelbar unterhalb des Wehres ist nur ein Teil der Ursache für das Auftreten der Querströmung; der andere Teil liegt darin, daß sich der Wasserstrahl weiter unterhalb des Wehres im Schleusenvorhafen ausbreitet. Die Strahlbreite wächst mit der Entfernung von der Austrittsstelle, wobei die Geschwindigkeit mit der Entfernung abnimmt. An den Rändern des Strahls werden bisher ruhende Flüssigkeitsteilchen mitgerissen; ferner werden durch den Strahl Walzen in bekannter Form angeregt. Modellversuche ergaben, daß quer zur Strahlachse der Wasserspiegel des Strahls gegenüber der umgebenden Wasserfläche abgesenkt ist, und zwar um so mehr, je größer der Geschwindigkeitsunterschied ist. Dies ist gewissermaßen eine Fortsetzung der unmittelbar unterhalb der Austrittsstelle auftretenden Ejektorwirkung. Das zur Strahlachse gerichtete Gefälle nimmt mit zunehmendem Geschwindigkeitsausgleich ab. Die im unteren Schleusenvorhafen zu beobachtende Querströmung ist also eine resultierende Strömung, hervorgerufen durch die Absenkung unmittelbar unterhalb des Wehres - als Ejektorwirkung bezeichnet - und deren Fort-

setzung bis zum Geschwindigkeitsausgleich des Strahls mit der umgebenden Wasserfläche, d.h. vollständiger Strahlausbreitung, sowie durch die vom Strahl angeregten Wasserwalzen. Da sich der Strahl auch bei Anordnung einer die Länge des eigentlichen Senkungsbereiches erfassenden Trennwand im Unterwasser ausbreiten muß, sind dadurch also noch nicht die gesamten Ursachen der Querströmung behoben. Insofern hat BURHORN [2] recht, wenn er schreibt, "die dabei meist angewandten Mittel zur Abhilfe durch Trennwände und Leitwände haben oft nicht den gewünschten Erfolg, da sie den Ort der Störung nur verschieben, nicht aber die Störung selbst wesentlich beeinflussen". Welche Einschränkungen hierzu zu machen sind, wird aus den weiteren Ausführungen hervorgehen.

In der Praxis treten Querströmungen im unteren Schleusenvorhafen in der vorstehend beschriebenen Weise insbesondere bei Flußstauhaltungen im Falle der Anordnung der Schleuse neben dem Wehr, bei der Einmündung eines Kraftwerkskanals (Untergraben), bei Freiarchen und Doppelschleusen auf. Den genannten Wassereinleitungen in den unteren Vorhafen ist meist eine Entnahme aus dem oberen Vorhafen zugeordnet, z.B. Abzweigung des Kraftwerkskanals (Obergraben), Zuströmung zum Wehr oder zur Freiarche. Ursache der Querströmung ist hier der sich der Entnahmestelle (Abzweig) beschleunigend nähernde Abfluß. Erfahrungsgemäß ist die Wirkung der Querströmung im Oberwasser geringer als die der im Unterwasser.

Die störende Wirkung der Querströmungen beruht auf der durch die Strömung auf die Schiffe ausgeübten Kraft. Die Größe der Strahlkraft kann theoretisch nach einem Ansatz von NEWTON berechnet werden und ergibt sich zu

$$P = c \cdot \frac{\rho}{2} v^2 \cdot F \quad (8)$$

Hierin bedeuten:

- c = Widerstandskoeffizient des Schiffskörpers
- ρ = Dichte des Wassers
- v = Geschwindigkeit der Strömung
- F = vom Strahl getroffene Fläche des Schiffskörpers

Aus diesem Ansatz können jedoch nur sehr rohe Näherungswerte erwartet werden. Da die Strömung durch das Schiff selbst beeinflußt wird, ist ihr Verlauf von der jeweiligen Lage des Schiffes abhängig. Vielfach läßt sich im voraus nicht sicher sagen, welche Richtung der Strahl haben und welche Fläche des Schiffes von ihm getroffen wird sowie bei welcher Schiffslage die maximalen Seitenkräfte zu erwarten sind. Das ist besonders der Fall, wenn die störenden Querströmungen nicht in

Form eines geschlossenen Strahls, sondern als Walzen in Erscheinung treten. Sehr unsicher ist dabei die Wahl des Widerstandskoeffizienten c. Eine einwandfreie Bestimmung der wirkenden Seitenkräfte ist nur durch Versuche und entsprechende Messungen möglich.

Zur Frage der zulässigen Seitenkräfte schreibt BURHORN [2]: "Es müßten eingehende Untersuchungen vorangehen, um einigermaßen einwandfrei angeben zu können, welche Kraft von einem gewandten Schiffer mit einem Bundstaken unter Zuhilfenahme eines gefierten Taus aufgenommen werden kann. Bei Besprechungen zu dieser Frage mit allen daran beteiligten Kreisen hat man 50 kp je Mann als zutreffend befunden. Aus Sicherheitsgründen ist der Wert bewußt niedrig angesetzt worden. Einzelne Vergleichsmessungen mit dem Dynamometer ergaben weit größere Kräfte." Danach ist die zulässige Seitenkraft von der wiederum durch die Schiffsgröße bedingten Anzahl der Besatzungsmitglieder abhängig.

3. Gegenmaßnahmen

Je nach der Ursache der Querströmung sind verschiedene Gegenmaßnahmen möglich. Die wichtigste Maßnahme bleiben Trenn- und Leitwände, auch wenn sie grundsätzlich nicht sämtliche Ursachen der Querströmung ausschalten. Durch zweckmäßige Gestaltung lassen sich erhebliche Verbesserungen erreichen. Bei Staustufen, wo die Schleuse im Fluß neben dem Wehr liegt - z.B. bei einem Staukraftwerk -, werden durch Trenndämme überhaupt erst die notwendigen Vorhäfen geschaffen (Bild 3). Als Ergebnis langjähriger Erfahrungen gilt heute der Grundsatz, daß stärkerer Verkehr, insbesondere mit größeren und schnelleren Schiffen, Vorhäfen und schon zu diesem Zweck Trennungsdämme oder -wände erfordert. Die Trenndämme müssen sowohl strömungstechnisch richtig angelegt werden als auch so, daß die Einfahrten nicht versanden können. Ist in besonderen Fällen eine Anordnung ohne längeren Trenndamm - zur Schaffung von Vorhäfen - möglich, so ist zumindest im Unterwasser eine Trennwand im Bereich der Absenkung unterhalb des Wehres erforderlich. Einfacher und billiger ist es, von vornherein das Wehr um die Einflußlänge des Senkungsbereiches vom Unterhaupt der Schleuse entfernt flußauf vorzusehen. Sollte dadurch das Wehr zu weit in die Nähe des Oberhauptes rücken und dort mit betriebstörenden Querströmungen zu rechnen sein, müßte allerdings im Oberwasser eine Trennwand angeordnet werden.

Bei einem vom Fluß abzweigenden Seitenkanal, z.B. bei Kanalkraftwerken, hat der Abzweig zur Schleuse in ausreichender Entfernung vor dem Wehr und Kraftwerk zu erfolgen. Ein Abzweig aus dem oberen Vorhafen einer

Schleuse, z.B. zu einem Kraftwerk, muß weit genug vom Oberhaupt derselben entfernt sein. Neben der Forderung, genügend lange Vorhäfen zu schaffen, sind dafür strömungstechnische Gesichtspunkte maßgebend. Der Querschnitt des durchströmten Abzweigs ist so reichlich zu bemessen, daß die Zuströmgeschwindigkeit klein genug bleibt, um die Schifffahrt nicht zu behindern. Während bei einer oberen Abzweigung meist eine ausreichende Querschnittsbemessung genügt, um die Strömungsgeschwindigkeit in unschädlichen Grenzen zu halten, treten im Unterwasser infolge des Wehrgefälles weit stärkere Querströmungen auf, die besondere bauliche Anlagen, z.B. Trennwände, erfordern.

Querströmungen in den Vorhäfen können auch durch die Wasserzu- bzw. -abführung beim Füllen oder Entleeren der Schleuse auftreten. Hier können richtig gestaltete Leitwände günstig wirken. Einen Sonderfall bilden die Verhältnisse bei Doppelschleusen. Der Entleerungsstrom aus der einen Kammer kann die gleichzeitige Einfahrt in die andere Kammer beeinträchtigen. Es liegen dabei die gleichen Strömungsverhältnisse vor, wie z.B. bei einem Abfluß aus einer Freiarche. Die Vorhäfen der beiden Schleusenammern werden durch Mittelleitwerke getrennt.

Auf Grund der Erkenntnis, daß Trenn- und Leitwerke nicht unmittelbar alle Ursachen der Querströmungen (Strahlausbreitung, Geschwindigkeitsausgleich) beheben, hat BURHORN für eine Anzahl von Wassereinleitungen in Schifffahrtsstraßen, auch für Einmündungen in Schleusenvorhäfen, Modellversuche durchgeführt, bei denen er als Gegenmaßnahmen Leitschaukeln, Sohlschweller und Tauchwände angewandt hat [2]. Dadurch soll eine Erweiterung des Austrittsquerschnitts und damit verbunden eine Verminderung der Strahlgeschwindigkeit erreicht werden, wodurch wiederum ein Geschwindigkeitsausgleich auf relativ kurzer Strecke angestrebt wird. Dieser Gedanke ist nicht neu; die Schwierigkeit seiner Realisierung liegt meist darin, die Querschnittserweiterung auf den örtlich bedingten geringen Längen zu erreichen.

4. Ergebnisse von Modellversuchen

4.1 Allgemeines

Auf Grund der theoretisch nicht einwandfrei erfaßbaren Formen und Wirkungen der Querströmungen wurden zur Klärung damit zusammenhängender Fragen, insbesondere für gegebene praktische Bauaufgaben, in hervorragendem Maße Modellversuche herangezogen. So wurden z.B. in der früheren Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin für eine Reihe bedeutender Schleusenbauten, beispielsweise für die Doppelschleusen an der Staustufe Magdeburg und an der

Mühlendammstaustufe zu Berlin, entsprechende Modellversuche durchgeführt, deren Ergebnisse für die zweckmäßige Gestaltung der Bauwerke von wesentlicher Bedeutung waren. Für die Beseitigung störender Strömungen im Unterhafen der Schleuse Spandau, hervorgerufen durch den Abfluß der unmittelbar neben der Schleuse liegenden Freiarbe, wurden vom seinerzeitigen Wasserbauamt Potsdam mit einfachen Mitteln Modellversuche ausgeführt, die zu relativ billigen Umbauten an den Leitwerksanlagen führten und eine erhebliche Verbesserung der Betriebsverhältnisse brachten [10].

In jüngster Zeit von der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau durchgeführte Modellversuche für einige kleinere Einzelschleusen ergaben, daß zumindest für kleinere Verhältnisse bereits durch Trennwände und Leitwerke weitgehende Verbesserungen erreicht werden können. Die Ergebnisse dieser Versuche werden nachstehend mitgeteilt.

.2 Schleuse Neuburg

Es war vorgesehen, die Fallhöhe der im Zuge der Müritz-Elde-Wasserstraße liegenden Schleuse Neuburg durch Errichtung eines kleinen Wasserkraftwerkes zur Erzeugung von Elektroenergie auszunutzen. Der zu diesem Zweck aufgestellte Entwurf wurde an einem Modell überprüft. Entsprechend vorhandener Versuchseinrichtungen wurde ein 2-fach tiefenverzerrtes Modell mit einem Längen- und Breitenmaßstab von 1:27,5 und einem Tiefenmaßstab von 1:13,75 zur Natur gewählt. Die Untersuchung erstreckte sich insbesondere auf folgende Teile der Anlage:

- a) Querschnittsausbildung des Obergrabens in Verbindung mit der Gestaltung der Leiteinrichtungen zwischen Schleuseneinfahrt und Einlauf zum geschlossenen Kraftwerks-Oberkanal unter Berücksichtigung größtmöglicher Einschränkung von Erdbewegungsarbeiten und Masseneinsparung.
- b) Gestaltung des Auslaufbauwerks unterhalb des Kraftwerksgebäudes, insbesondere Länge der Trennwand und Linienführung der landseitigen Stützmauer.
- c) Flächenmäßig notwendige Befestigung der Sohle vor dem Einlauf und unterhalb des Turbinenauslaufs.

Die Müritz-Elde-Wasserstraße ist z. Zt. für Kähne bis Groß-Finow-Maß bei einer zugelassenen Tauchtiefe von 1,35 m befahrbar. Ein evtl. späterer einheitlicher Ausbau der Mecklenburgischen Wasserstraßen soll einschließlich aller Kanäle und Schleusen für Groß-Saale-Maßkähne erfolgen. Die Schleuse Neuburg ist bereits für solche Kähne

aufnahmefähig. Die Gestaltung sämtlicher Anlagenteile hatte vor allem unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit der Schifffahrt, insbesondere der Vermeidung schädlicher Querströmungen, zu erfolgen.

Die Modellversuche ergaben, daß die ungünstigsten Bedingungen für die Schifffahrt vorliegen, wenn das Kraftwerk in Betrieb ist, die Schleuse aber weder gefüllt noch entleert wird. Die durch die Abzweigung bzw. Wiedereinleitung des Triebwassers hervorgerufenen Querströmungen sind am ausgeprägtesten, wenn in den Vorhäfen keine Strömungen zu oder von den Schleusenhäuptionen bestehen. Ferner ist die Kraftwirkung einer Seitenströmung am größten auf einen ruhenden Kahn. Die Hauptversuche wurden auf diese ungünstigsten und daher maßgebenden Verhältnisse beschränkt. Zur exakten Beurteilung der Bauzustände erfolgte neben der Beobachtung der Strömungsrichtungen und der Messung der Strömungsgeschwindigkeiten die Messung der auf das maßstäbliche Modell eines Finow-Maß-Kahnes ausgeübten Seitenkräfte.

Bereits bei den ersten Versuchen ergab sich, daß die im Entwurf vorgesehene massive Mole zwischen Schleusenoberhaupt und Einlauf zum Kraftwerk infolge der geringen Triebwassermenge nicht erforderlich ist und durch ein einfaches Leitwerk ersetzt werden kann. Zweckmäßig erhält das Leitwerk eine Tauchwand bis etwa 0,50 m unter MW, um Oberflächenwalzen unmittelbar vor dem Oberhaupt zu verhindern. Auf Bild 4 b sind die untersuchten Varianten der Obergrabenausbildung dargestellt; der Bauzustand 5 entspricht dem Entwurf. Bild 4 a zeigt die Abhängigkeit der zum Einlauf hin gerichteten Seitenkräfte von der Einlaufbreite. Mit zunehmender Einschränkung der Einlaufbreite wachsen die Seitenkräfte stark an. Bei sehr kleiner Einlaufbreite - Bauzustand 1 - wird diese durch einen am Leitwerk liegenden Kahn fast gänzlich abgedeckt, so daß der gesamte Zufluß zum Kraftwerk im wesentlichen unter dem Schiffsboden hindurchströmen muß. Die hierdurch auf den Kahn wirkenden Kräfte sind unzulässig hoch; nach Bild 4 a betragen sie bei einem Tiefgang von 1,35 m 290 kp, bei einem solchen von 1,50 m sogar 540 kp. Im Mittel aller Messungen am Modell ergab sich ein lineares Anwachsen der Kräfte mit dem Tiefgang bzw. der Verdrängung. Im oberen Vorhafen wurden die Seitenkräfte sowohl an einem auf der Schleusen- bzw. Kanalachse als auch an einem um eine halbe Schiffsbreite seitlich zum Einlauf hin verschobenen Kahn gemessen. Die auf ein dort liegendes Schiff wirkenden Kräfte betragen etwa das 1,5-fache derjenigen, die ein auf der Achse liegendes erhält.

Nach Bild 4 a ergeben sich bei Bauzustand 4 und dem z.Zt. zugelassenen Tiefgang von 1,35 m maximale Seitenkräfte von rd. 75 kp. Dieser Wert dürfte für die auf dieser Wasserstraße verkehrenden Kähne gerade noch zulässig sein. Bei diesem Bauzustand werden gegenüber dem Projekt die erforderlichen Erdbewegungsarbeiten wesentlich eingeschränkt. Bei einem Tiefgang von 1,50 m betragen bei Bauzustand 4 die maximalen Seitenkräfte 110 kp und sind damit zu groß. Sollen also nach späterem weiteren Ausbau der Mecklenburgischen Wasserstraßen Schiffe mit größeren Abmessungen verkehren oder eine größere Tauchtiefe zugelassen werden, müßte der Oberwassergraben auf die im Projekt vorgesehenen Abmessungen gebracht werden, um die auftretenden Seitenkräfte in zulässigen Grenzen zu halten.

Im unteren Vorhafen ist die Größe der Seitenkräfte entsprechend den in Abschnitt 2 dargelegten Ursachen der Querströmungen im wesentlichen abhängig von der Länge der Trennwand. Bild 5 zeigt die bei den Versuchen gemessenen maximalen Seitenkräfte in Abhängigkeit von der Trennwandlänge. Die ursprünglich projektierte Länge von 6,25 m ist vollkommen unzureichend; die dabei auftretenden max. Seitenkräfte betragen bei einem Tiefgang von 1,35 m 110 kp.

Die Kraftwirkungen erklären sich vollständig aus dem Strömungsverlauf im unteren Vorhafen. Bild 6 zeigt eine Strömungsaufnahme des Modells (spiegelbildlich zur Natur aufgebaut) mit dem projektierten Bauzustand. Durch den seitlichen Austritt des Triebwassers in den Vorhafen wird in diesem eine kräftige Walze erzeugt, die unmittelbar vor der Schleuse zum Auslauf hin gerichtet ist. Das aus dem Saugschlauch austretende Wasser hält sich zuerst hart am Ufer. Durch die Abwinkelung des nach unterstrom gerichteten Teils der landseitigen Stützmauer erhält die Strömung eine andere Richtung: ein Teil derselben hält sich nach geringer Ablenkung weiter am Ufer, während ein Teilstrom etwa in der Richtung des abgewinkelten Teiles der Stützmauer schräg in den Vorhafen abfließt. Die Walze dehnt sich nach unterstrom etwa bis dort aus, wo dieser schräg gerichtete Teilstrom die Schleusen- bzw. Vorhafenachse schneidet. Die maximalen Seitenkräfte treten bei den Schiffslagen auf, bei denen das Schiff von den äußeren Bahnen der Primär-Walze erfaßt wird. Entsprechend der Strömungsrichtung sind die Kräfte am Schleusenunterhaupt zum Auslauf hin gerichtet und am unteren Ende der Walze zum gegenüberliegenden Ufer (siehe Bild 7).

Die Gegenüberstellung der Bilder 8 und 9 demonstriert, wie der Verlauf der Strömung im Vorhafen, insbesondere die Ausbildung der Walzen, durch ein im Vorhafen befindliches Schiff beeinflusst wird. (Bild 9 vermittelt gleichzeitig eine Übersicht über die Versuchsanordnung zur Messung der auf das Schiff wirkenden Seitenkräfte)

Im Modell erfolgte eine schrittweise Verlängerung der Trennwand auf rd. 13,0 m und dann 17,0 m; außerdem wurden Länge und Linienführung der landseitigen Stützmauer geändert. Eine etwas schwächere Abwinkelung des unteren Teiles derselben brachte keine Verbesserung. Das beste Ergebnis wurde erzielt, wenn die Stützmauer mit einer Flügelmauer endet und daran die Uferböschung anschließt. Zweckmäßig, auch mit Rücksicht auf die Bauausführung (Einspundung der Baugrube), sind gleiche Längen von landseitiger Stützmauer und Trennwand. Bei einer Trennwandlänge von 17,0 m und der genannten Anordnung ergaben sich bei einem Tiefgang von 1,35 m maximale Seitenkräfte von 66 kp. Bei einer Unterwassertiefe bei MW von $t_u = 1,92$ m ergibt sich nach der Formel (1) von WINKEL die Länge der Trennwand zu $l = 10 \cdot 1,92 = 19,20$ m.

Eine Abwinkelung des vorderen Teils der Trennwand um 10° mit dem Ziel einer allmählichen Erweiterung des Abflußquerschnittes ergab keinen merklichen Einfluß auf die Größe der Seitenkräfte.

WINKEL fordert, daß "ein dichtes Trennwerk, etwa durch eine eiserne Spundwand", geschaffen werden muß [11]. Für den unteren Vorhafen der Schleuse Neuburg wurden zusätzliche Versuche durchgeführt, bei denen der verlängerte Teil der Trennwand mit einzelnen Unterbrechungen versehen war. Es ergaben sich dabei keine nennenswert ungünstigeren Verhältnisse als bei dichter Trennwand. Es ist daher auch möglich, die Trennwand aus nebeneinander eingerammten Pfählen, z.B. Stahlbetonrammpfählen, herzustellen; bei genügend enger Rammung ist damit ebenfalls eine praktisch dichte Trennwand zu erzielen. Die erwähnten Modellversuche für die Schleuse Spandau ergaben, daß in bestimmten Fällen eine teilweise Ableitung des Abflusses mittels Leitwänden durch die Trennwand in den Vorhafen günstiger wirken kann als dichte Trennwände.

Auf Bild 10 sind die Gestaltung der Vorhäfen nach dem ursprünglichen Projekt und der aus den Modellversuchen resultierende Bauvorschlag dargestellt. Diese Gegenüberstellung zeigt sehr instruktiv die auf Grund der Modellversuche getroffenen Abänderungen gegenüber dem Projekt. Das Einlaufbauwerk im oberen Vorhafen konnte bedeutend einfacher gestaltet werden; im unteren Vorhafen war eine Verlängerung der Trennwand erforderlich, wobei jedoch die landseitige Stützmauer verkürzt werden konnte.

Die Sohlen- und Böschungsbefestigungen können sowohl im oberen als auch im unteren Vorhafen weitgehend einfacher ausgeführt werden, als im Projekt vorgesehen. Insgesamt ergeben sich durch die Ausführung entsprechend den Ergebnissen der Modellversuche wesentliche Einsparungen bei hydraulisch günstigerer Gestaltung, d.h. Vermeidung betriebstörender Querströmungen.

4.3 Schleuse Krewelin

Bei den im Zuge des Voßkanals liegenden, für Kähne bis Groß-Finow-Maß benutzbaren Schleusen Krewelin und Bischofswerder sind in unmittelbarer Nachbarschaft derselben Freiarchen angeordnet. Diese, als einfache Gleitschützen ausgebildet, liegen in Höhe der Unterhäupter. Ursprünglich sollten durch die Freiarchen bis maximal $5 \text{ m}^3/\text{s}$ abgeführt werden. Die Sturzbetten beider Freiarchen erhielten einen Abschluß aus einer Stahlspundwand, über welche das Freiwasser in verteilter Form in den Vorhafen abfließen sollte. In den letzten Jahren wurde der Abfluß bis über das Doppelte gesteigert. Hierdurch traten in den unteren Vorhafen schädliche Querströmungen auf. Um Abhilfe zu schaffen, wurden Modellversuche durchgeführt. Für die aus Platzgründen spiegelbildlich zur Natur aufgebauten Modelle wurden dieselben Maßstäbe gewählt wie bei den Untersuchungen für die Schleuse Neuburg:

Bei der Schleuse Krewelin liegt zwischen Freiarche und Schleusep-einfahrt eine Böschung von rd. 20 m Länge (Bild 11). Bei Abflüssen bis etwa $7 \text{ m}^3/\text{s}$ ging von der Freiarche aus ein Querstrom längs der Böschung zur Schleuse hin (Bild 13), welcher im unteren Vorhafen eine Walze anregte, die einen bergwärts fahrenden Kahn bei der Annäherung an die Schleuse zuerst zur Freiarche hin abdrängte; kurz vor der Schleuse wurde der Kahn dann durch den Querstrom an die gegenüberliegende Uferböschung oder gegen das Unterhaupt gedrückt. Bei Abflüssen von etwas über $7 \text{ m}^3/\text{s}$ an trat im Vorhafen eine entgegengesetzt drehende Walze auf. Während im ersten Falle die Walze durch den längs der Böschung zwischen Freiarche und Schleuse gehenden Querstrom angeregt wurde, war im zweiten der geradeaus gehende Hauptstrom so stark, daß durch ihn eine Walze angeregt und dadurch auch der Querstrom längs der Böschung aufgehoben wurde. Bei diesen größeren Abflüssen und dem dazu gehörigen Strömungsverlauf waren die Beeinträchtigungen der Schifffahrt jedoch eriarungsgemäß geringer; die ungünstigsten Verhältnisse traten bei einem Abfluß von ungefähr $7 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Bild 14 zeigt eine Strömungsaufnahme des Modells

im Naturzustand bei diesem Abfluß. Der Querstrom längs der Böschung zwischen Freiarche und Schleuse ist sehr deutlich zu erkennen. Von den Strömungsbeobachtungen im Modell und in der Natur wurden zahlreiche Strömungsbilder angefertigt, die hier leider aus Platzgründen nicht alle wiedergegeben werden können. Ein Vergleich ergab Übereinstimmung der Strömungsverhältnisse in Modell und Natur (bei einem Vergleich der Bilder beachte man die spiegelbildliche Lage des Modells).

Bei den Versuchen ergab sich, daß die schädlichen Querströmungen beseitigt werden können, wenn der an der Böschung zwischen Freiarche und Schleuse entlanggehende Querstrom vermieden wird. Hierfür ist eine verhältnismäßig kurze Trennwand ausreichend. Die Wasserstraßenverwaltung beabsichtigte, in Mitte der Böschung oder an der Seite der Schleuseneinfahrt eine Trennmole von etwa 50 m Länge zu errichten. Ein Versuch mit dieser Anordnung ergab, daß diese Lösung in strömungstechnischer Hinsicht durchaus einwandfrei ist und die schädlichen Querströmungen vermeidet. Durch Reduzierung der Molenlänge auf das nur unbedingt erforderliche Maß ist allerdings eine wirtschaftlichere Lösung möglich. Die weiteren Versuche ergaben, daß diese Mindestlänge 15 m beträgt, gerechnet ab Mauervorderkante der Freiarche bzw. des Schleusenhauptes. Dabei muß das Trennwerk, entgegen der ursprünglichen Absicht, direkt neben der Freiarche angeordnet werden. Hierdurch wird das Freiwasser besser geführt (siehe Bild 15). Bei einer Anordnung der Mole an der Seite der Schleuseneinfahrt breitet sich der Querstrom noch längs der Böschung aus, wodurch am Molenkopf und im Vorhafen schädliche Strömungen auftreten (siehe Bild 16).

Bei den Versuchen wurde ferner die Bauweise des Trennwerks untersucht. Es ergaben sich die gleichen Verhältnisse, wenn das Trennwerk entweder als Wand aus Spundbohlen oder Rammfählen oder als Steinschüttungsmole (siehe Bilder 15 und 16) ausgeführt wird.

Nach Gl. (1) ergäbe sich bei der vorhandenen Unterwassertiefe von ungefähr 2,50 m eine Trennwandlänge von 25,0 m. Im vorliegenden Fall ist diese Formel jedoch nicht anwendbar, da hier infolge der örtlich bedingten Gestaltung des Freiarchensturzbettes und der Böschung zwischen der Freiarche und der Schleuse der Querstrom zur letzteren hin gerichtet ist. Dagegen sind bei Abflüssen $> 7 \text{ m}^3/\text{s}$ etwa die Verhältnisse vorhanden, die der Aufstellung der Formel (1) zugrunde liegen.

Jedoch muß auch hier die etwas ungewöhnliche Gestaltung des Sturzbettes berücksichtigt werden. Auch für diese größeren Abflüsse ist die im Modellversuch gefundene Länge der Trennwand ausreichend.

Ein Vergleich der Bilder 14 und 15 zeigt augenscheinlich die durch die Trennmole erzielte große Verbesserung der Verhältnisse gegenüber dem Naturzustand.

4 Schleuse Bischofswerder

Trotz prinzipiell gleicher Anordnung der Freiarchen bei den Schleusen Krewelin und Bischofswerder sind infolge örtlicher Verschiedenheiten die Strömungsverhältnisse unterschiedlich.

Über das Unterhaupt der Schleuse Bischofswerder sowie die Freiarche führt eine Straßenbrücke; der Böschungskegel zwischen Freiarche und Schleuse ist anders gestaltet als in Krewelin (Bild 17). Durch das sich im Vorhafen ausbreitende Freiwasser wird vor der Schleuseneinfahrt eine Walze angeregt, die unmittelbar vor derselben einen ein-fahrenden Kahn zur Freiarche hin abdrängt. Bild 19 zeigt diese Verhältnisse durch eine Strömungsaufnahme des Modells mit dem Naturzustand. Die Wasserstraßenverwaltung wollte auch hier eine 50 m lange Mole errichten. Die Versuche ergaben für ein an der Seite der Freiarche liegendes, als geramte Wand oder Steinschüttungsmole ausgeführtes Trennwerk eine Mindestlänge von etwa 20 m, gerechnet ab Vorderkante der Straßenbrücke. Nach Gl. (1) ergibt sich bei einer mittleren Unterwassertiefe von 2,10 m eine Länge von 21,00 m.

Der Vergleich der Bilder 19 und 20 verdeutlicht wiederum die durch die Trennmole erreichte Verbesserung. Aus den Bildern ist zu erkennen, daß die im Naturzustand vor der Schleuseneinfahrt liegende Walze relativ schnell dreht; demgegenüber fällt die schwache Walze bei dem Bauzustand mit Trennwerk kaum ins Gewicht.

5 Bewährung der Modellversuchsergebnisse in der Praxis

An den Schleusen Krewelin und Bischofswerder wurden die auf Grund der Ergebnisse der Modellversuche vorgeschlagenen kurzen Trennwerke vor einigen Jahren in Form dichter Wände aus Stahlspundbohlen ausgeführt. Die Bilder 12 bzw. 18 zeigen jeweils den Blick auf das ausgeführte Bauwerk als Gegenüberstellung zum früheren Zustand.

Übereinstimmend wurde vom zuständigen Personal der Wasserstraßenverwaltung bestätigt, daß die durchgeführten Baumaßnahmen wesentliche Verbesserungen der Schifffahrtsverhältnisse gebracht haben. Wie erwähnt, ergaben sich die störenden Querströmungen insbesondere infol-

ge der Steigerung des Abflusses durch die Freiarchen über den ursprünglich maximal vorgesehenen Wert. Es wurde zum Ausdruck gebracht, daß ohne die errichteten Trennwände gerade bei den hohen Abflüssen der letzteren Jahre mit erheblichen Störungen zu rechnen gewesen wäre.

Aus den Modellversuchen war bereits erkennbar, daß an den beiden Schleusen, bedingt durch die örtlichen Besonderheiten, mit unterschiedlichen Graden der erzielbaren Verbesserung zu rechnen war, was durch die praktischen Erfahrungen bestätigt wurde. An der Schleuse Krewelin hat sich die Trennwand sehr gut bewährt. An der Schleuse Bischofswerder ist der Erfolg etwas geringer, jedoch ebenfalls befriedigend. Bild 21 zeigt einen Blick in den unteren Vorhafen der Schleuse Bischofswerder; rechts im Bild ist der vordere Teil der Trennwand aus Stahlspundbohlen ersichtlich. Aus den Schaumstreifen auf dem Wasser ist zu erkennen, wie sich der Abfluß der Freiarche am Ende der Trennwand ausbreitet, wodurch dort eine Schrägströmung im Vorhafen auftritt. Diese ruft teilweise Beeinträchtigungen der Schifffahrt weiter stromab hervor, welche jedoch gegenüber den früher aufgetretenen weit geringer sind. Eine Verlängerung der Trennwand wird nicht für zweckmäßig gehalten. Auf Bild 21 ist die an den unteren Vorhafen anschließende Krümmung ersichtlich. Bekanntlich liegt die Hauptströmung am äußeren Ufer der Krümmung an, so daß der Abfluß der Freiarche auf jeden Fall gegen das linke Ufer zu geht, eine Schrägströmung durch den Vorhafen also nicht absolut vermieden werden kann. Durch den Bau der Trennwand in der jetzigen Länge wurden bereits wesentliche Verbesserungen erzielt. Am Ende der Leitwand hat sich bereits ein Teil der freigewordenen Energie umgesetzt, die Strömungsrichtung ist günstig beeinflußt worden und nicht zuletzt ist der Umstand zu beachten, daß mit weiterer Annäherung an die Schleuse die Schiffe an Fahrt und damit an Steuerfähigkeit verlieren, so daß Störungen in unmittelbarer Nähe des Schleusenhauptes ungünstiger wirken als weiterab liegende. Im vorliegenden Fall haben die noch vorhandenen Querströmungen um so weniger Gewicht, da die Abwicklung des Schleusenbetriebes durch eine Seiltreidelanlage unterstützt wird.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ausführungen grundsätzlicher Art sowie die praktischen Beispiele zeigen, daß durch seitliche Wassereinleitungen in unteren Schleusenvorhäfen auftretende Querströmungen im wesentlichen durch die als Ejektorwirkung bezeichnete Wasserspiegelabsenkung unmittelbar unterhalb der Einmündung und die anschließende Strahlausbreitung hervorgerufen werden. Während bei einer Abzweigung aus dem oberen Vorhafen meist eine

ausreichende Querschnittsbemessung derselben genügt, können in den unteren Vorhäfen Trennwände zwischen der Schleuseneinfahrt und dem Auslaufbauwerk sehr günstig wirken. An bestehenden Schleusen können einfache Trennwände oder -dämme ohne wesentliche Einschränkung des Verkehrs errichtet werden. Obwohl durch eine Trennwand nicht unmittelbar alle Ursachen der Querströmung beseitigt werden, da auch an ihrem Ende sich der Strahl im Vorhafen ausbreitet, zeigen die Beispiele, daß damit wesentliche Verbesserungen zu erzielen sind. Die auftretenden Walzen werden dadurch erheblich abgeschwächt; ferner ist von großer Bedeutung, daß Querströmungen unmittelbar in Schleusennähe vermieden werden, da die Schiffe mit weiterer Annäherung an die Schleuse immer mehr an Fahrt und damit Steuerfähigkeit verlieren.

Die zulässigen Seitenkräfte sind um so geringer, je kleiner das Fahrzeug ist. Eine Sonderstellung nimmt der Sportbootsverkehr ein. Es ist wirtschaftlich nicht möglich, die Anlagen so zu gestalten, daß selbst die sehr leichten Sportboote die Querströmungen nicht zu spüren bekommen. In Gegenden mit starkem Sportbootsverkehr sollten daher an solchen Stellen Anlegeplätze speziell für kleine Boote errichtet werden, welche es ermöglichen, die Boote ausreichend festzuhalten. Dalben für die Großschiffahrt sind dafür ungeeignet. Diese Maßnahmen dienen auch der Berufsschiffahrt, da dadurch Störungen derselben vermieden werden können. Da in verschiedenen Gegenden der Wasserwanderverkehr ständig zunimmt, kommt dort "die technische Ausgestaltung der Wasserstraßen mit Bauanlagen und Einrichtungen in Frage, die den besonderen Forderungen der Sportschiffahrt Rechnung tragen" [13].

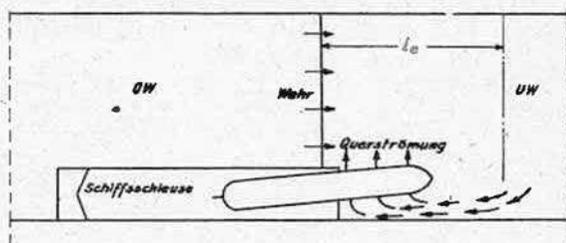
Die vorstehenden Ausführungen sollen dazu anregen, an bestehenden Schleusen noch auftretende betriebstörende Querströmungen im Interesse der Sicherheit und Schnelligkeit der Schiffahrt zu beseitigen. Für einfachere Verhältnisse werden sehr oft schon durch aufmerksame Strömungsbeobachtungen in der Natur und die Beobachtung der Schiffsmanöver wertvolle Anhaltspunkte für notwendige Baumaßnahmen gewonnen werden können. Um Hinweise für diese Beobachtungen zu geben, wurde auf die Darstellung der Ursachen der Querströmungen besonderer Wert gelegt. Hier ist eine dankbare Aufgabe für die Streckeningenieure und Strommeister der Wasserstraßenverwaltung. Für eine näherungsweise Berechnung der erforderlichen Trennwandlänge kann die Faustformel von WINKEL benutzt werden; vor ihrer Anwendung ist aber in jedem Falle zu prüfen, ob die vorhandenen örtlichen Strömungsverhältnisse denen der ihrer Aufstellung zugrunde liegenden entsprechen.

Bei weniger übersichtlichen Verhältnissen, wie z.B. an Doppelschleusen, sowie bei größeren Objekten sollten in jedem Einzelfalle Modellversuche in einer wasserbaulichen Versuchsanstalt durchgeführt werden. Die beschriebenen Beispiele zeigen, daß durch die Modellversuche die sowohl technisch beste als wirtschaftlichste Lösung gefunden werden kann.

Literatur

- [1] BLAU: Untersuchungen über den Wechselsprung.
"Wasserwirtschaft-Wassertechnik",
Jg. 1955, Heft 7, S. 218.
- [2] BURHORN: Auslaßbauwerke an Schiffsstraßen.
Mitteilungen der Preußischen Versuchsan-
stalt für Wasserbau und Schifffahrt,
Heft 22, Berlin 1936.
- [3] GLAZIK: Querströmungen in Schleusenvorhöfen.
"Die Schifffahrt", Jg. 1960, Heft 10, 11
und 12.
- [4] JAMBOR: Lage und Gestaltung der Schleusen und ihrer
Zufahrten.
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Was-
serbau, Heft 15, Karlsruhe, Oktober 1960.
- [5] ODENKIRCHEN
u. PRÖTT: Verbesserung der Einfahrt in den Schleusen-
kanal zu Dörverden
"Die Bautechnik", Jg. 1933, Heft 30, S. 423
- [6] PRESS: Stauanlagen und Wasserkraftwerke,
II. Teil: Wehre.
Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1954.
- [7] SAFRANEZ: Untersuchungen über den Wechselsprung.
"Der Bauingenieur", Jg. 1929, Heft 38,
S. 676.
- [8] SAFRANEZ: Länge des Wassersprunges.
"Wasserkraft und Wasserwirtschaft",
Jg. 1933, Heft 24, S. 282.
- [9] SCHÄFER: Über Vorhöfen von Schleppzugschleusen in
kanalisierten Flüssen.
"Die Bautechnik", Jg. 1933, Heft 8, S. 98.
- [10] SCHUMACHER: Die Bekämpfung betriebstörender Strömungen
im Unterhafen der Schleuse Spandau.
"Die Bautechnik", Jg. 1932, Heft 48, S. 627.
- [11] WINKEL: Die Grundlagen der Flußregelung.
Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1947.
- [12] WINKEL: Angewandte Hydromechanik im Wasserbau.
Verlag Wilhelm Ernst und Sohn,
3. Auflage, Berlin 1950.
- [13] - : Richtlinien für die Ausgestaltung der
Reichswasserstraßen für Sport- und Klein-
schiffsverkehr.
Reichsverkehrsministerium, Berlin 1940.

a) Draufsicht



b) Längsschnitt

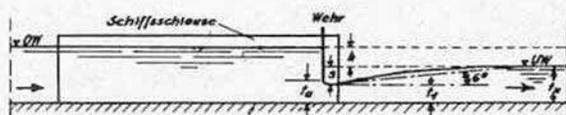


Bild 1

Querströmungen bei benachbarter Lage von Schleuse und Wehr
(nach WINKEL [1])

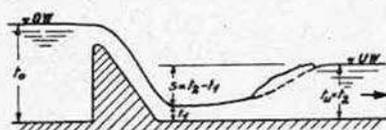
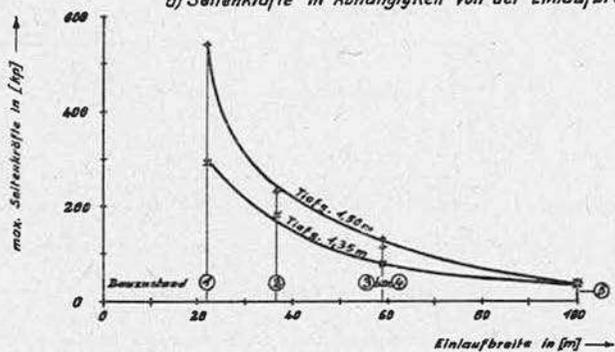


Bild 2

Abfluß an einem Überfallwehr

a) Seitenkräfte in Abhängigkeit von der Einlaufbreite



b) Untersuchte Varianten der Obergrabenausbildung

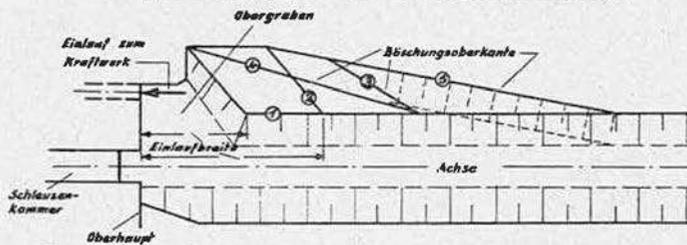


Bild 4

Abhängigkeit der Seitenkräfte im oberen Vorhafen
von der Einlaufbreite (Obergrabenausbildung)

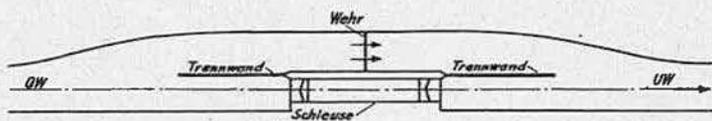


Bild 3

Schleuse mit Trennwänden

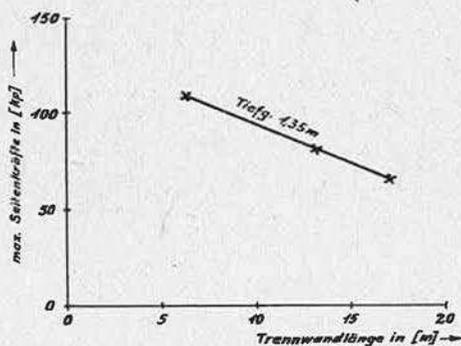


Bild 5

Abhängigkeit der Seitenkräfte im unteren Vorhafen
von der Trennwandlänge

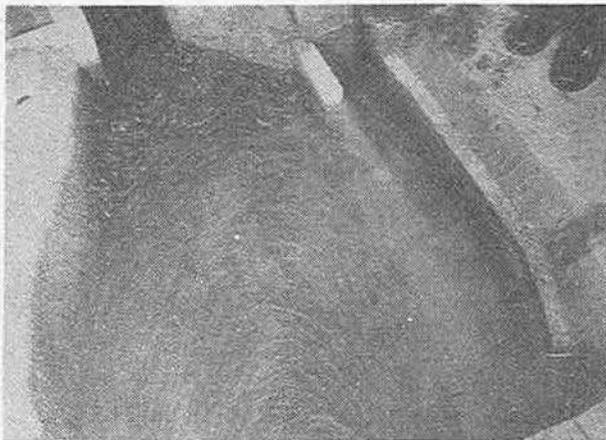
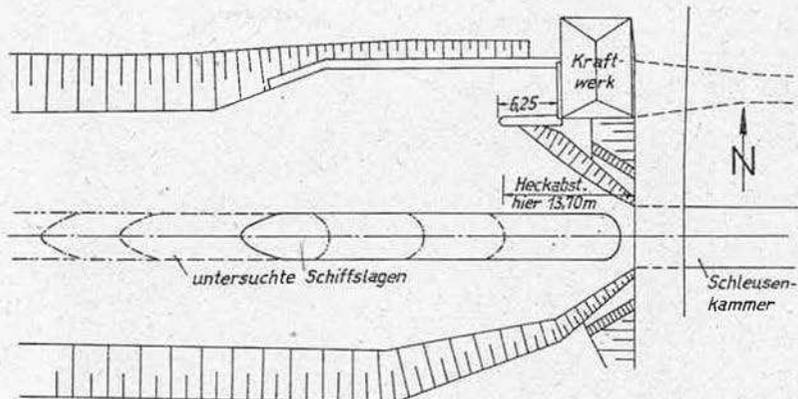
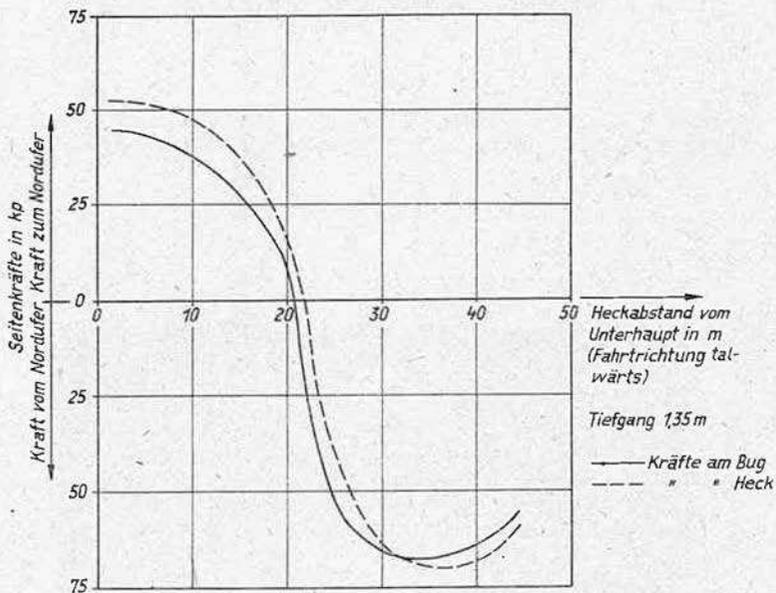


Bild 6

Modell des unteren Vorhafens der Schleuse Neuburg;
Strömungsbild bei Gestaltung des Kraftwerksauslaufs
nach dem Projekt



a) Lageplan
Bauzustand entspricht Projekt



b) Seitenkräfte in Abhängigkeit von
der Schiffslage

Bild 7
Modellversuche für das Wasserkraftwerk Neuburg
Seitenkräfte im unteren Vorhafen



Bild 8

Modell des unteren Vorhafens der Schleuse Neuburg;
Strömungsbild bei einer Trennwandlänge von 13,30 m

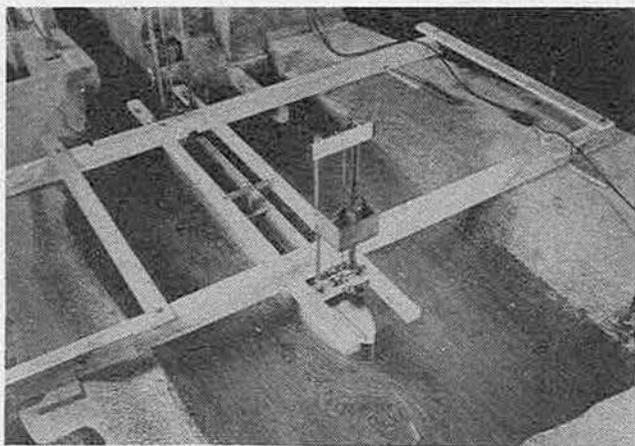


Bild 9

wie Bild 8, jedoch mit Schiff im Vorhafen .

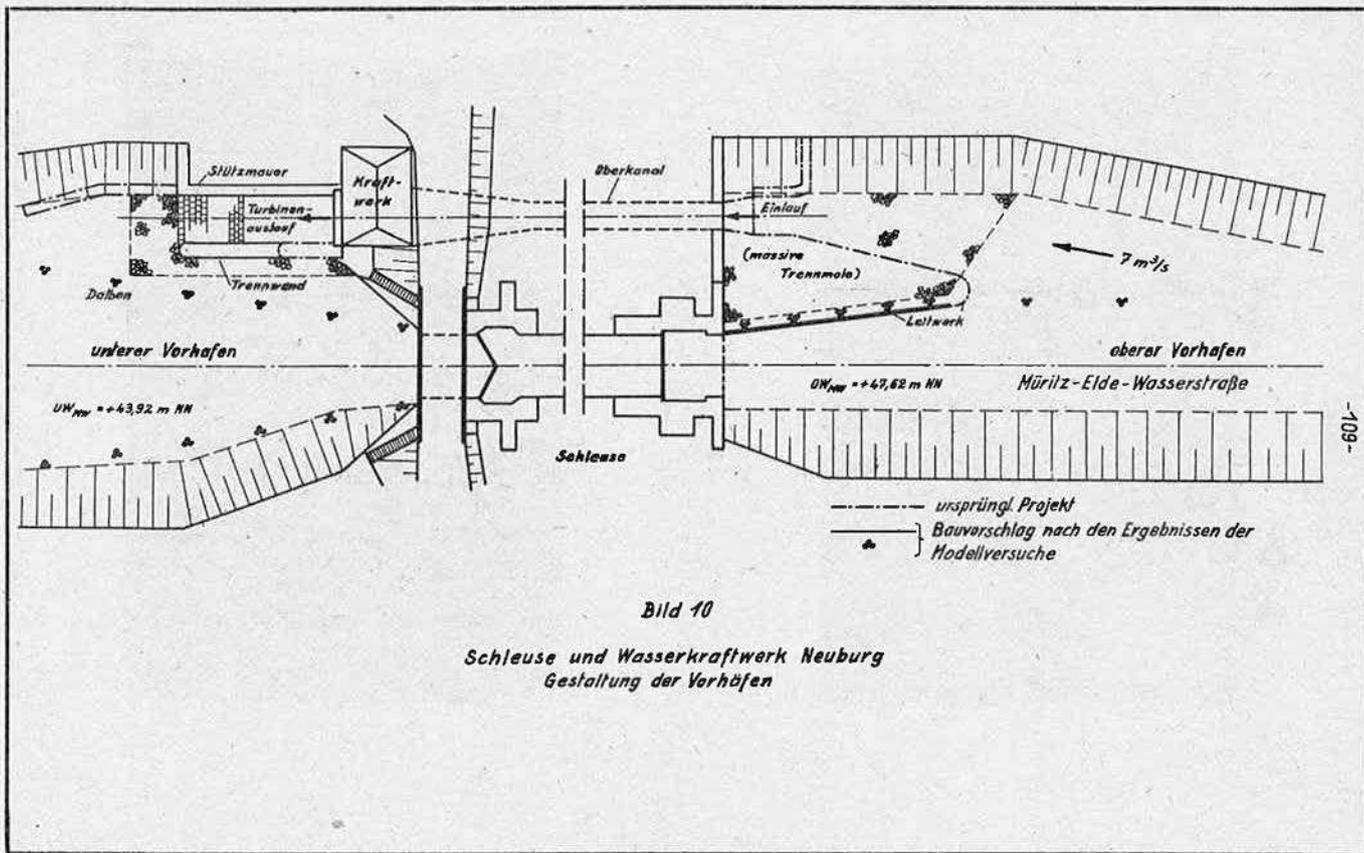


Bild 10

Schleuse und Wasserkraftwerk Neuburg
Gestaltung der Vorhöfen

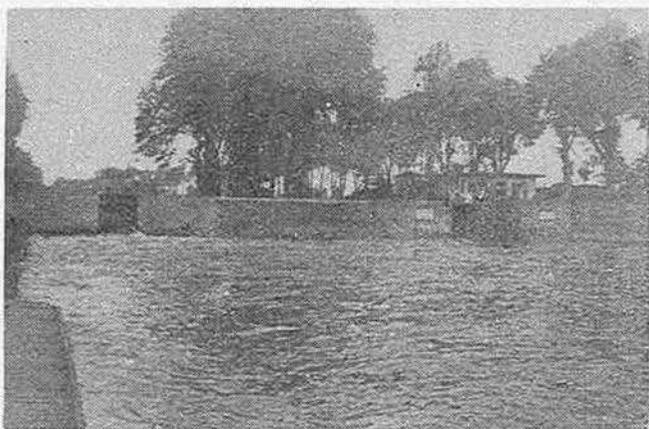


Bild 11

Schleuse Krewelin

Blick vom Unterwasser auf Schleuseneinfahrt (im Bild rechts)
und Freiarche (im Bild links vor Bau der Trennwand

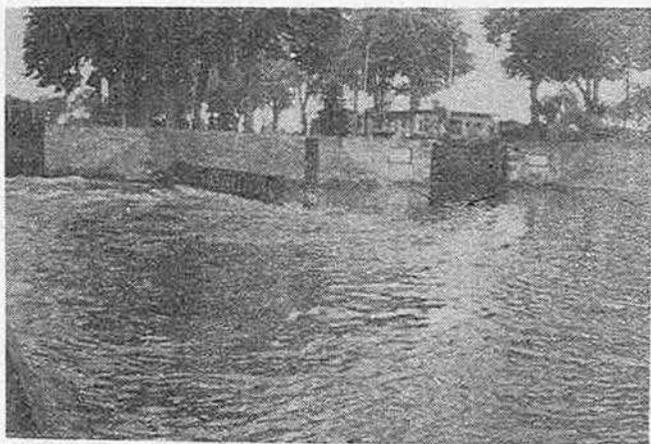


Bild 12

wie Bild 11, jedoch nach Bau der Trennwand

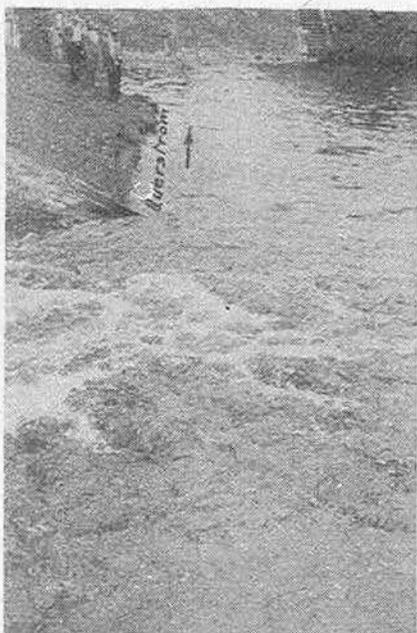


Bild 13

Schleuse Krewelin
Blick auf Freiarchenabfluß;
es ist deutlich der Quer-
strom längs der Böschung
zur Schleuseneinfahrt hin
zu erkennen

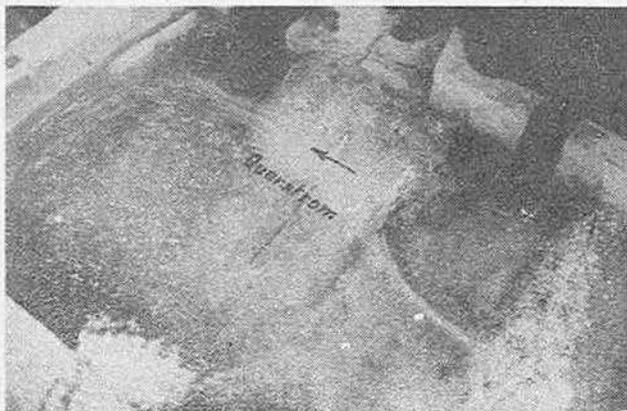


Bild 14

Modell des unteren Vorhafens der Schleuse Krewelin;
Strömungsbild bei ursprünglichem Naturzustand
(rechts im Bild Freiarche, links Schleuseneinfahrt)

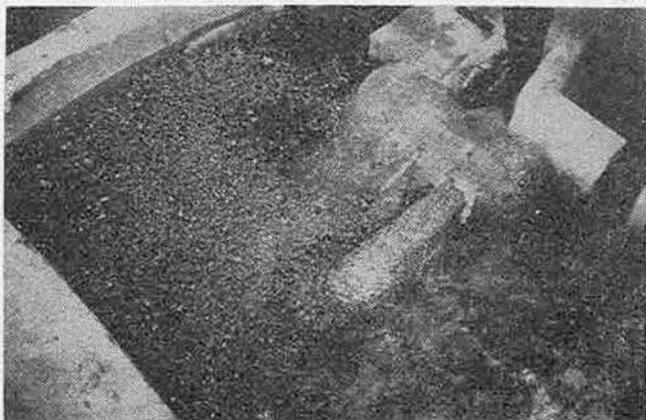


Bild 15

Modell des unteren Vorhafens der Schleuse Krewelin;
Strömungsbild bei Anordnung einer Trennmole an der
Seite der Freiarche



Bild 16

wie Bild 15, jedoch bei Anordnung einer Trennmole
an der Seite der Schleuseneinfahrt

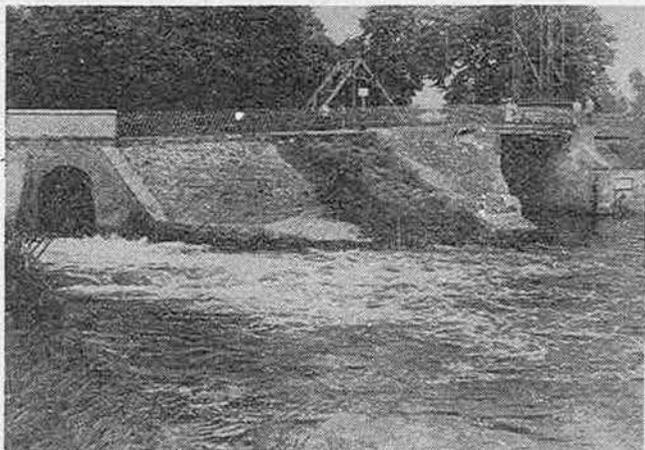


Bild 17

Schleuse Bischofswerder
Blick vom Unterwasser auf Schleuseneinfahrt (im Bild
rechts) und Freiarche (im Bild links) vor Bau der
Trennwand

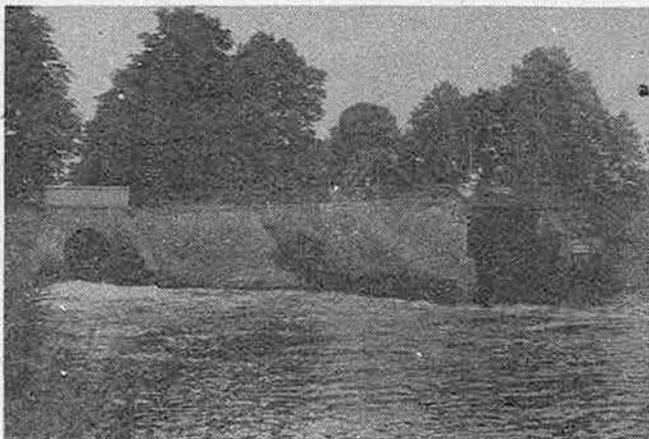


Bild 18

wie Bild 17, jedoch nach Bau der Trennwand

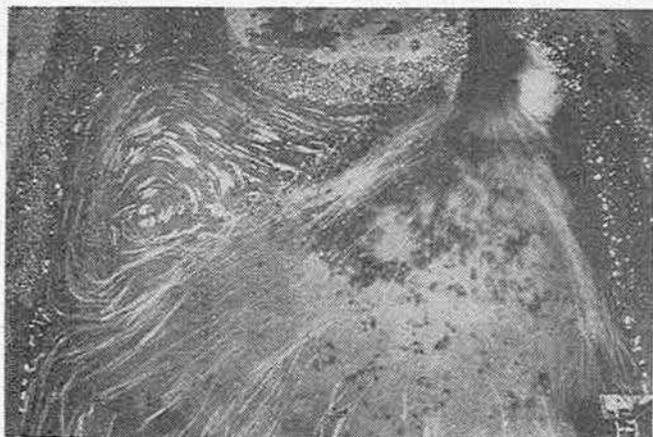


Bild 19

Modell des unteren Vorhafens der Schleuse Bischofswerder;
Strömungsbild bei ursprünglichem Naturzustand
(rechts im Bild Freiarche, links Schleuseneinfahrt)



Bild 20

wie Bild 19, jedoch bei Anordnung einer Trennmole
an der Seite der Freiarche

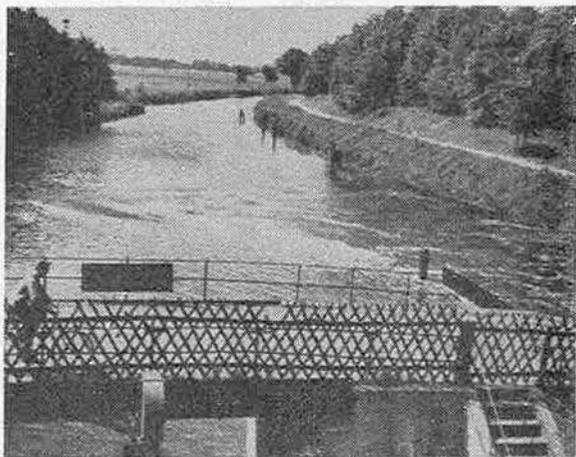


Bild 21

Schleuse Bischofswerder
Blick in den unteren Schleusenvorhafen
nach Bau der Trennwand