

burg des Zwischengebietes der Diemel und der Meldestelle Löhne des Zwischengebietes der Werra über den Normal-Bezugslinien für Karlshafen bzw. Minden. Verschiedenheiten der Laufzeiten für Haupt- und Nebenfluß bei ungleichem Abstand der Meldestellen sind dabei zu berücksichtigen. Beim Fehlen einer Meldestelle für das Zwischengebiet müssen etwaige Abweichungen nach den allgemeinen Meldungen über die Niederschlagsverteilung, nach besonderen Meldungen über den Abflußvorgang und nach Erfahrungswerten eingeschätzt und in die Vorausberechnung eingeführt werden, wie dies in dem Beispiel für die Meldestelle Hameln geschehen ist. Ist das Zwischengebiet im Verhältnis zum Gesamtgebiet nur klein, kann die Abweichung vernachlässigt werden.

Die Genauigkeit der Vorhersage beträgt im allgemeinen in der Höhe 5 bis 10 cm und bei der Zeit einige Stunden. Abweichungen des tatsächlichen Wasserstandes vom vorhergesagten, wie sie insbesondere bei plötzlichem Witterungswechsel eintreten können, werden bei den Vorhersagen für die weiter unterhalb liegenden Bezugspegel berücksichtigt.

#### Abt. I Frage 1 d

### **Einfluß der Strömungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Wasserständen auf die Schifffahrt in Verbindung mit einem abzweigenden Schifffahrtskanal. Maßnahmen, die die Bildung von Ablagerungen im Seitenkanal vermeiden.**

Von Prof. Dr.-Ing. H. Wittmann, Techn. Hochschule Karlsruhe

Zusammenfassung: In einem aus dem gestauten Oberwasser abzweigenden Schifffahrtskanal verursachen die mit den Wasserständen zunehmenden Strömungsgeschwindigkeiten Schwingungen der Wassermasse des Schifffahrtskanals. Der Vorgang entsteht im Abzweig des Schifffahrtskanals durch eine Drehwalze, deren Intensität mit zunehmenden Wasserständen vergrößert wird. Diese für die Schifffahrt lästigen Wasserbewegungen können durch einen durchbrochenen Molenkopf verbessert werden, der den unvermittelten Übergang aus der Strömung des Flusses in das Stillwasser des Schifffahrtskanals mildert. Eine Ausgleichöffnung am Ende des Kanals reduziert in besonderem Maße die Schwingungen. Geschiebe und Schwebstoffe werden am durchbrochenen Molenkopf aus dem Kanal in den Fluß befördert. Die Strömung durch die Ausgleichöffnung vermag die Ablagerungen bis auf unwesentliche Mengen zu verhindern.

#### 1. Allgemeines.

Der Grundriß des Flusses, die Lage der Achse des abzweigenden Schifffahrtskanals zur Achse des Flusses, der Höhenunterschied zwischen Flußsohle und Sohle des Schifffahrtskanals sind zusammen mit den wechselnden Strömungsgeschwindigkeiten bei den verschiedenen Wasserständen die Kennzeichen für die Strömungsvorgänge an der Abzweigung und im Schifffahrtskanal. Diese Merkmale sind auch die Ursachen für die Ablagerungen im Seitenkanal und bedingen die Maßnahmen zu ihrer Verminderung. In der überwiegenden Zahl von Fällen zweigt der Schifffahrtskanal aus einer Stauhaltung ab, deren Fallhöhe an einem geeigneten Ort der Linienführung durch eine Schleuse überwunden wird. Sofern der Seitenkanal nur der Schifffahrt, nicht auch der Kraftnutzung dient, wird er in den Betriebszeiten lediglich vom Füllwasser für die Schleusungen durchströmt. In den übrigen Zeiten ist er Stillwasserkanal.

Der Bericht bezieht sich auf eine Staustufe des Grundrisses der Abb. 1 mit einer Fallhöhe bei  $NQ = 6,75$  m, bei  $Q_v$  ( $360 \text{ m}^3/\text{s}$ )  $= 4,78$  m, bei der größten Betriebswassermenge  $980 \text{ m}^3/\text{s} = 2,90$  m. Bei Abflußmengen  $> 980 \text{ m}^3/\text{s}$ , die an 10 bis 12 Tagen eintreten, ist das Kraftwerk abgeschaltet. Die Schifffahrt wird bei einem Abfluß von  $HSQ = 1260 \text{ m}^3/\text{s}$  eingestellt. Die Regelung des Stauziels am Wehr erfolgt nach einem besonderen Betriebsplan. Über  $HQ = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  sind die drei Wehrverschlüsse gezogen. Größte Hochwassermenge  $= 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Der Einfluß der Strömungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Wasserständen wird für die Abflußmengen  $Q_v = 360 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $HSQ = 1260 \text{ m}^3/\text{s}$  und für  $HQ = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  dargestellt, so wie sie an einem Modell im Maßstab 1 : 65 gemessen wurden.

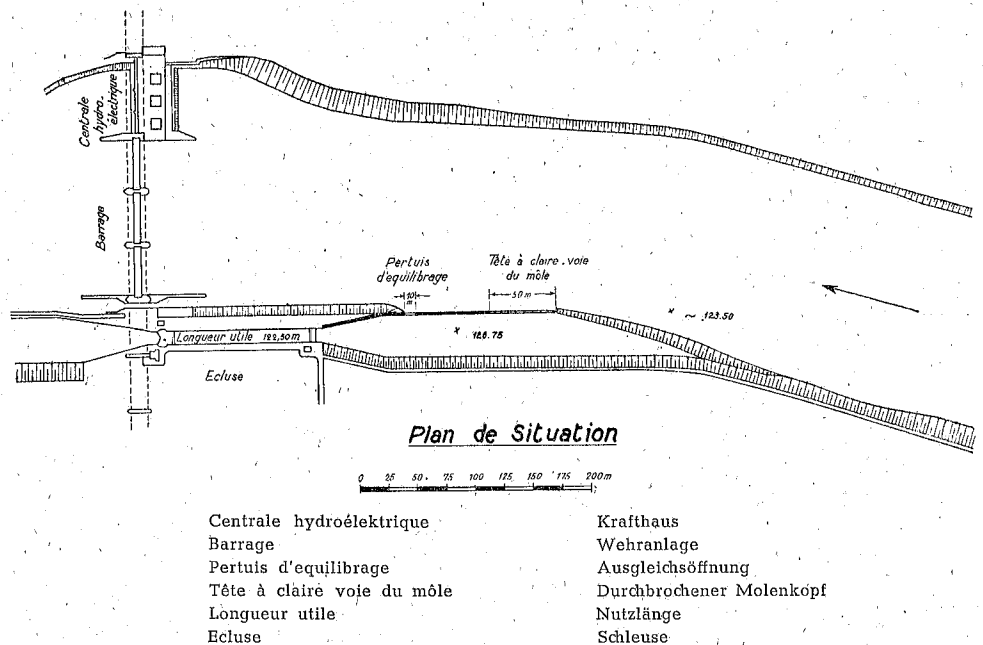


Abb. 1. Lageplan.

## 2. Die Strömungsvorgänge am Abzweig des Schifffahrtskanals (oberer Vorhafen).

Bei  $Q = 360 \text{ m}^3/\text{s}$ , geschlossenen Wehrverschlüssen und gehaltenem Stauziel bewirkt die Krümmung des Flußufers oberhalb der Abzweigung, daß sich die Strömung an der Oberfläche am Molenkopf vorbei nach dem Krafthaus zieht, wobei an der Flußseite des Molenkopfes Ablösungen der Strömung und Verlandungen auftreten. Im Seitenkanal (oberen Vorhafen) bilden sich, angefacht in der Grenzschicht zwischen Flußströmung und Stillwasser des Kanals, an der Oberfläche Walzengebiete aus, die jedoch nicht bis zur Sohle reichen. In den tieferen Wasserschichten folgt die Strömung länger dem linken Ufer in den Seitenkanal und bildet im Innern des oberen Vorhafens eine spiralförmig zum Walzenkern verlaufende Sohlströmung als die Ursache von Geschiebe- und Schwebstoffablagerungen.

Für  $HSQ = 1260 \text{ m}^3/\text{s}$  sind bei Einhaltung des Stauziels die Verschlüsse des Wehres angehoben. Oberflächen- und Sohlenströmung strecken sich in Richtung nach dem Wehr. Die Sekundärströmungen im oberen Vorhafen sind noch weniger stabil als sie es bei  $Q = 360 \text{ m}^3/\text{s}$  waren. In regelmäßigen Abständen strömt das Wasser in den Vorhafen ein und wieder aus (Abb. 2) und facht dadurch Schwingungen der Wassermasse des Vorhafens an.

Bei  $HQ = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  ist das Stauziel überschritten, der Fluß strömt durch die geöffneten Wehrverschlüsse. Die Unterschiede zwischen ein- und ausströmenden Strömungen und die Schwingungen im Vorhafen werden stärker.

Geschiebe oder Schwebestoffe konnten infolge der um 3,0 m höher als die Flußsohle liegenden Sohle des Vorhafens bei diesen Abflußmengen nicht in nennenswertem Umfang in den Vorhafen gelangen. Kleinere Mengen wurden durch die rückläufige Strömung wieder ausgespült. Erst bei  $HHQ = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , bei der Ufer, Vorländer und die Trennmole überströmt sind, und die Strömung etwa parallel der Achse in den Schiffahrtskanal eindringen kann, werden Schwerstoffe vor allem in der Nähe des Oberhauptes der Schleuse abgelagert. Bei den

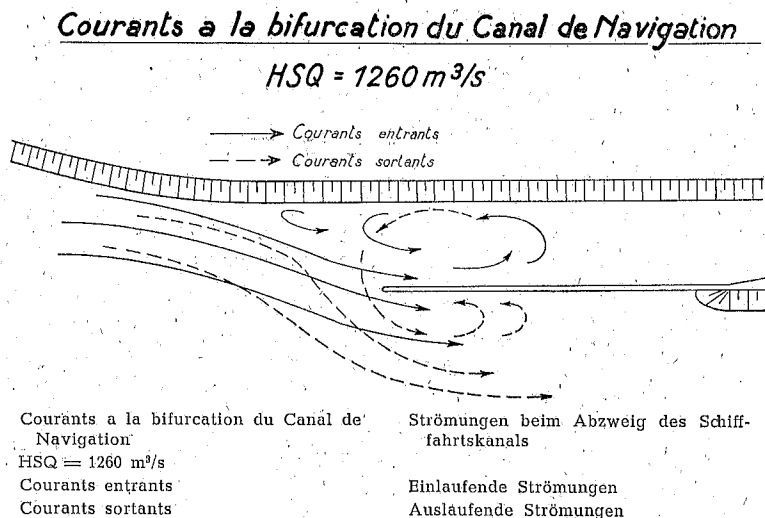
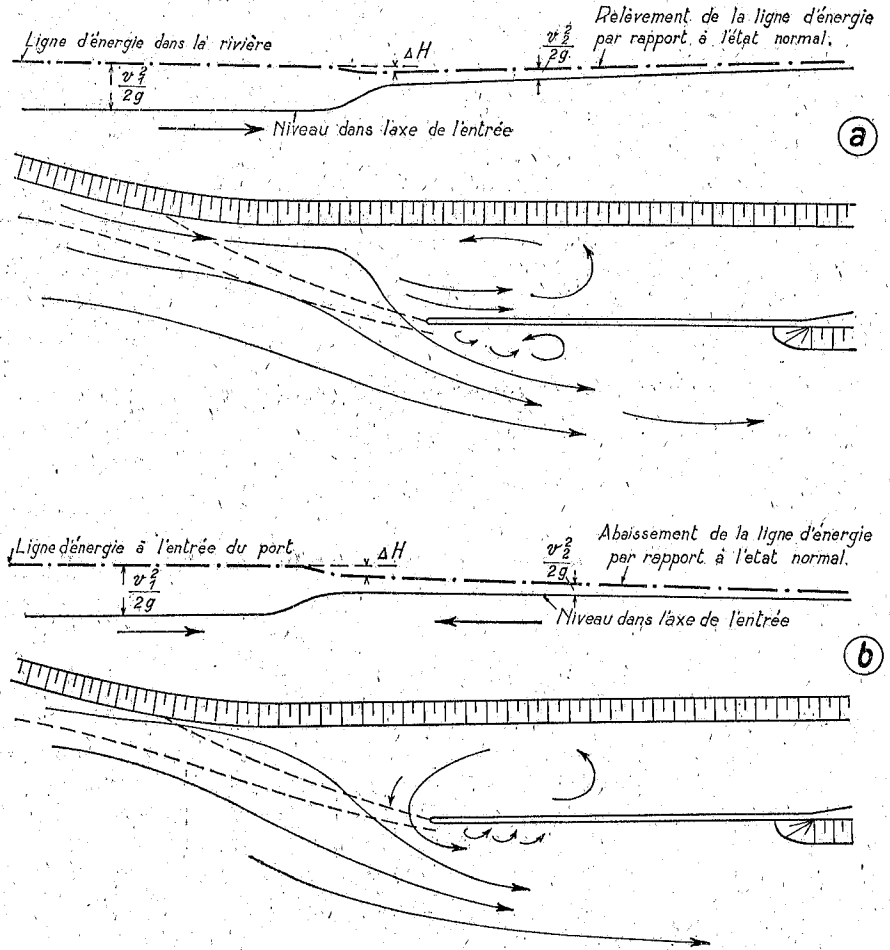


Abb. 2. Strömungen beim Abzweig des Schiffahrtskanals.

Schwingungen der Wassermasse konnte auch ein langsames Fortschreiten der Ablagerungen gegen das Oberhaupt der Schleuse zu beobachtet werden. Es bewirkt zusammen mit Sunk- und Schwallvorgängen bei den Schleusenfüllungen das oft erstaunlich rhythmische Einwandern selbst großer und schwerer Körper in die meist ruhende Wassermasse des oberen Vorhafens und schließlich in die Schleuse.

Der Schwingungsvorgang entsteht im Abzweig des Schiffahrtskanals durch eine linksdrehende Walze, deren Intensität mit zunehmender Wasserführung verstärkt wird. Die im Fluß oberhalb des Abzweigs um  $v_1^2/2g$  über dem Wasserspiegel liegende Energielinie senkt sich in der durchwirbelten Grenzschicht um  $\Delta H$ , der Wasserspiegel im Abzweig um  $v_2^2/2g$  unter die Energielinie. Durch den Staudruck des anströmenden Wassers wird die Grenzfläche zwischen Flußströmung und Totwasser nach dem Innern des Schiffahrtskanals eingedrückt. Der Wasser-

Formation des Oscillations a la Bifurcation du Canal de Navigation



Formation des Oscillations a la Bifurcation du Canal de Navigation  
 Ligne d'énergie dans la rivière  
 Relèvement de la ligne d'énergie par rapport à l'état normal  
 Niveau dans l'axe de l'entrée  
 Ligne d'énergie à l'entrée du port  
 Abaissement de la ligne d'énergie par rapport à l'état normal  
 Niveau dans l'axe de l'entrée

Einstehung der Schwingungen am Abzweig des Schiffahrtskanals  
 Energielinie im Fluß  
 Hebung der Energielinie gegenüber dem Normalzustand  
 Wasserspiegel in der Achse der Einfahrt  
 Energielinie in der Hafeneinfahrt  
 Senkung der Energielinie gegenüber dem Normalzustand  
 Wasserspiegel in der Achse der Einfahrt

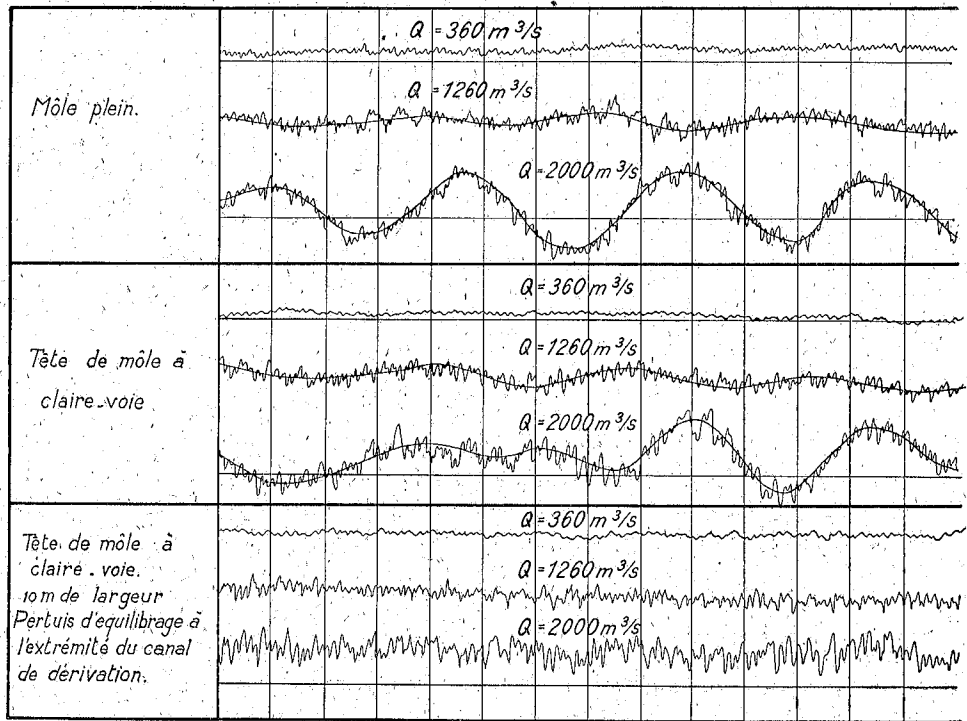
Abb. 3. Einstehung der Schwingungen am Abzweig des Schiffahrtskanals.

spiegel im Innern des Abzweigs hebt sich, zugleich erfolgt eine horizontale Wasserbewegung nach dem Oberhaupt der Schleuse. Dieser Strömungsvorgang ist jedoch nicht stationär, die Bernoulli-Gleichung erhält ein Zusatzglied für einen Stromfaden entlang der Achse des Abzweigs:

$$v_1^2/2g + p_1/\gamma + h_1 = v_2^2/2g + p_2/\gamma + h_2 + h_v + 1g \int_0^s \frac{v}{t} ds$$

Da das Zusatzglied mit positivem Vorzeichen auftritt, ergibt sich im Abzweig ein Zuwachs an Energie (Abb. 3a), der eine Strömung entgegen der Strömungsrichtung des Flusses einleitet. Diese sich vermehrende Strömung bewirkt eine Senkung des Wasserspiegels am Ende des Abzweigs (Abb. 3b) und ein Ausströmen des Wassers nach der Abzweigstelle. Das Zusatzglied der Gleichung wird negativ.

### Oscillations de la Flottaison à la Bifurcation du Canal de Navigation de Navigation



Oscillations de la Flottaison à la Bifurcation du Canal de Navigation  
 Môle plein  
 Tête de môle à claire-voie  
 Tête de môle à claire-voie 10 m de largeur  
 Pertuis d'équilibrage à l'extrémité du canal de dérivation

Schwingungen des Wasserspiegels im abzweigenden Schiffahrtskanal  
 Feste Mole  
 Molenkopf durchbrochen  
 Molenkopf durchbrochen 10 m breite Ausgleichöffnung am Ende des Schiffahrtskanals

Abb. 4. Schwingungen des Wasserspiegels im abzweigenden Schiffahrtskanal.

In Abb. 4 sind Ausschnitte aus dem Kurvenverlauf der Schwingungen 50 m oberhalb des Oberhauptes aufgetragen. Mit zunehmender Abflußmenge nehmen Regelmäßigkeit und Amplitude zu, die Schwingungswerte verkleinert sich. Die größten Schwingungshöhen bei  $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  betragen 0,67 m, bei  $HSQ = 1260 \text{ m}^3/\text{s}$  wurden 0,27 m gemessen. Hierbei betrug die Schwingweite 7,0 m.

Die Einfahrt in den Abzweig ist bis zu Abflußmengen von  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  für die Schifffahrt ungefährlich. Bei größeren Abflußmengen führen die Unterschiede der Strömungsgeschwindigkeiten zwischen Fluß und Abzweig und hierbei insbesondere der aus Abb. 5 ersichtliche Wechsel zwischen dem positiven und negativen Wert der Komponente der Strömungsgeschwindigkeit zu einer Gefährdung der Schifffahrt.

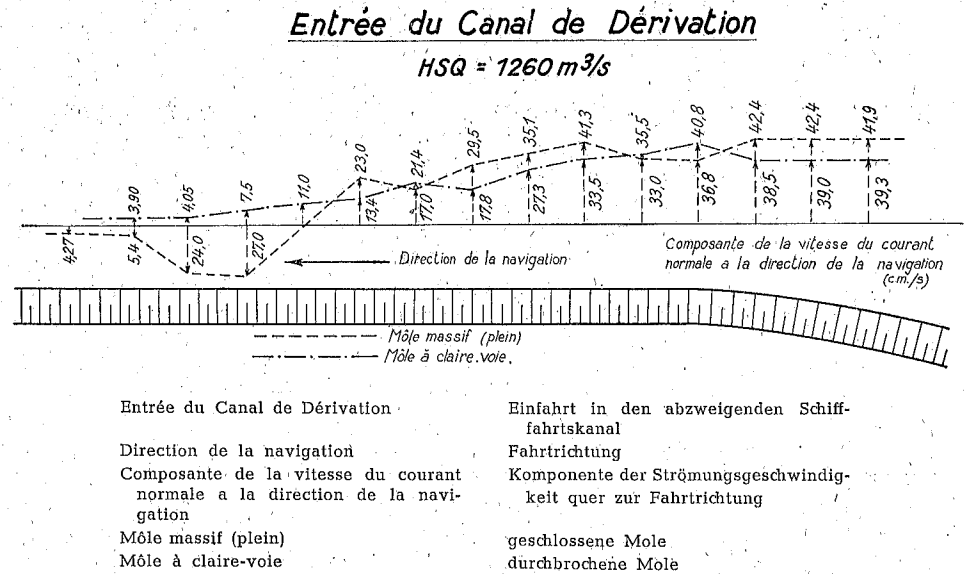


Abb. 5. Einfahrt in den abzweigenden Schiffahrtskanal.

### 3. Maßnahmen zur Verbesserung der Einfahrt und zur Verminderung der Ablagerungen.

Zur Verbesserung des unvermittelten Überganges aus der Strömung des Flusses in den abzweigenden Schiffahrtskanal empfiehlt es sich, den Molenkopf nach Abb. 6 zu durchbrechen. Die Durchflußöffnungen reichen von der Sohle des Schiffahrtsabzweiges bis zum Stauziel. Die sehr flache Böschung zwischen Flußbett und Sohle des Schiffahrtskanals soll in einem geschwungenen Grundriß und der Böschungsneigung 1 : 2 vom Ufer nach dem Molenkopf geführt werden, um das Eintreiben von Geschiebe in den Schiffahrtskanal zu erschweren.

Die Einfahrt in den abzweigenden Schiffahrtskanal wird durch die Abnahme der Querkomponenten auf Abb. 5 und vor allem dadurch erleichtert, daß der Wechsel dieser Komponenten wegfällt.

Mit dem durchbrochenen Molenkopf wird die schwingende Wassermasse um etwa  $\frac{1}{3}$  verkleinert, so daß sich trotz schwächerer Anfandung die Schwingung verstärkt (Abb. 4). Diese Schwingungen lassen sich durch eine 10 m breite Ausgleichöffnung am Ende des Schiffahrtskanals vermeiden (Abb. 1,4). Das entlang der Mole einströmende Wasser (Abb. 3 a) setzt sich im Schiffahrtskanal nicht mehr

in potentielle Energie um, sondern durchströmt den Kanal. Der Wasserspiegel behält seine konstante Lage. Auch für die einfahrenden Schiffe wirkt sich die Öffnung günstig aus, da sich die Querkomponenten der Abb. 5 noch weiter verkleinern. Die Verbindung mit dem offenen Fluß vermindert vorteilhaft die Sunk- und Schwällerscheinungen beim Füllen der Schleusenammer.

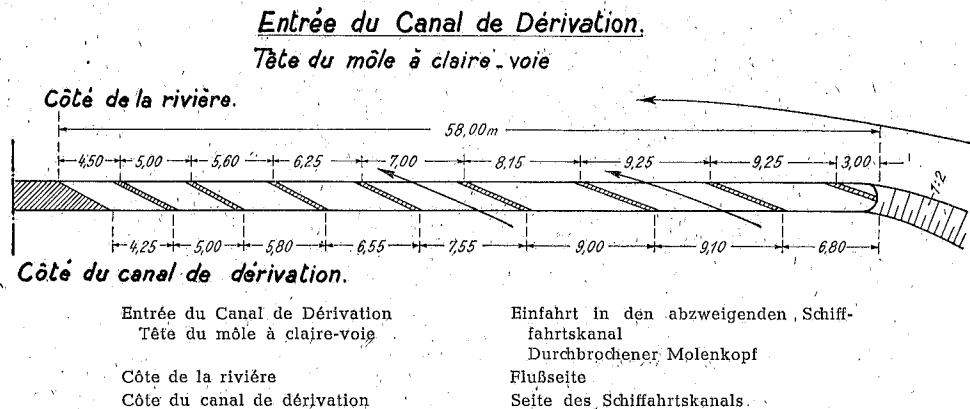


Abb. 6. Einfahrt in den abzweigenden Schiffahrtskanal. Durchbrochener Molenkopf.

Mit der Einströmung in den Schiffahrtskanal nimmt der Eintrieb an Schwebstoffen zu. Am durchbrochenen Molenkopf werden sie teilweise dem Fluß wieder zurückgegeben. Der restliche Teil treibt durch die Ausgleichöffnung aus dem Vorhafen in den Fluß. Der Rhythmus des Wanderns von Ablagerungen feiner und grober Bestandteile ist durchbrochen und nur bei Abflußmengen über 2000 m<sup>3</sup>/s bildet sich eine flache Ablagerungsfläche geringer Ausdehnung unterhalb der Ausgleichöffnung. Bei der verhältnismäßig kurzen Dauer dieser Abflußmengen bleiben Form und Konsistenz der Bank labil. Das zurückgehende Hochwasser vermag die Ablagerung durch die Strömung in der Ausgleichöffnung abzutragen.

## Abt. I Frage 1 e

### Bauweise und Anordnung der Kaianlagen.

Von Hafendirektor Hermann B u m m , Duisburg-Ruhrort

Zusammenfassung: Senkrechte Kaimauern sind bei Häfen mit großen Wasserstandsunterschieden sehr teuer. Eine Verbilligung kann erzielt werden, indem im oberen Abschnitt eine Böschung angeordnet wird. Flache Gründungen sind in den Häfen an Flußläufen, in denen ein Absinken der Flußsohle zu erwarten ist, nicht zu empfehlen. Schwergewichtsmauern sind wegen des hohen Materialverbrauchs unwirtschaftlich. Die Anwendung von Pfahlgründungen oder Spundwänden ist die gegebene Bauausführung für Kaimauern. Spundwände haben eine ausreichende Lebensdauer und bieten die Möglichkeit zum Umbau der Kaianlagen bei späteren Umänderungen. Wirtschaftlich günstig sind auch Winkelstützmauern auf Pfahlrosten.

Bei Häfen mit großen Wasserstandsunterschieden sind die Kosten der Uferausbildung für die Wirtschaftlichkeit des Hafens von entscheidender Bedeutung. Seitens der Umschlagbetriebe werden mit Rücksicht auf die Konkurrenzgründe gegenüber anderen Transportmitteln und der dringend notwendigen Beschleunigung des Schiffsverkehrs senkrechte K a i m a u e r n gewünscht. Diese sind aber