

planen. Trotzdem konnte, wie eingangs schon angedeutet, darauf verzichtet werden, in der vorstehenden Untersuchung das Problem des Kraftwerksbaues — abgesehen von einigen Hinweisen auf die Bedeutung der Bauzeit — besonders zu behandeln. Der Grund hierfür liegt darin, daß derartige Flußkraftwerke, Pfeilerkraftwerke ausgenommen, wegen des Hochwasserabflusses im allgemeinen ganz oder größtenteils außerhalb des eigentlichen Flußbettes in einer seitlichen Bucht oder in einer Flußverbreiterung errichtet werden, gleichgültig ob es sich um ein einteiliges oder zweiteiliges Kraftwerk handelt oder ob das Kraftwerk an dem der Schleuse gegenüberliegenden Ufer oder zwischen Wehr und Schleuse angeordnet wird. Ihr Bau schafft daher für die Aufrechterhaltung der Schifffahrt, ähnlich wie das beim Schleusenbau der Fall ist, keine Probleme. Handelt es sich aber um ein Pfeilerkraftwerk, das ja nichts anderes als ein Wehr mit sehr breiten und besonders eingerichteten Pfeilern ist, so sind unter dem Gesichtspunkt der Sicherung einer ununterbrochenen Schifffahrt keine anderen Grundsätze maßgebend, als bei einem gewöhnlichen Wehrbau zu beachten sind.

#### Abt. I, Frage 1 g

### Nachprüfung von Modellversuchen durch Beobachtungen in der Natur hinsichtlich festgestellter Schwingungen des Kanalwassers.

Von Dr.-Ing. M ö h l m a n n,

Oberregierungsaurat bei der Wasser- und Schifffahrsdirektion Würzburg.

**Zusammenfassung:** Bei Modellversuchen über die zweckmäßigste Ausbildung der Abzweigung eines Schleusenkanals aus einem Fluß waren Schwingungen des Kanalwassers in lotrechter und waagerechter Richtung festgestellt worden. Bei der Nachprüfung der Versuchsergebnisse durch Beobachtungen in der Natur am oberen Schleusenkanal der Staustufe Petershagen, an der Weser in der Nähe von Minden wurde das Auftreten der Schwingungen bestätigt. Es ergab sich Übereinstimmung hinsichtlich der Schwingungszeiten, während die Schwingungshöhe und die Schwingungsweite in der Natur nur etwa halb so groß waren, wie sie nach dem Modellversuch zu erwarten gewesen wären.

#### 1. Feststellung lotrechter und waagerechter Wasserschwingungen am oberen Schleusenkanal bei Modellversuchen.

Bei den in der Versuchsanstalt für Wasser-, Erd- und Grundbau in Karlsruhe im Jahre 1949 ausgeführten Modellversuchen über die zweckmäßigste Gestaltung der Einfahrt zum oberen Schleusenkanal der Staustufe Petershagen, insbesondere der Landzunge zwischen Kanal und Weser, hatte sich ergeben, daß im Kanal Schwingungen des Wassers in lotrechter und waagerechter Richtung auftreten. Sie werden wahrscheinlich hervorgerufen durch Ablösungswirbel des an dem Totwasser des Kanals vorbeiströmenden Weserwassers, das dort bislang eine gute Führung an dem Deckwerk des konkaven Ufers hatte, diese aber nach Öffnung des Kanals durch Wegbaggern des Deckwerks verlor. Es bildet sich jetzt eine Walzenstraße aus, die im Zuge des früheren Ufers nach der Landspitze zwischen Kanal und Weser verläuft. Die um eine lotrechte Achse drehenden Wasserwalzen laufen, hervorgerufen durch Unregelmäßigkeiten in der Strömung, manchmal in den Kanal und manchmal in die Weser hinein. Dabei bildet sich dann ein von den örtlichen Verhältnissen (Breite des Flusses und des Kanals, Krümmungshalbmesser des Flusses, Abzweigungswinkel des Kanals) abhängiger

Rhythmus heraus. Auch die Form der Trennspitze und die Abflußmenge im Fluß spielen eine Rolle. Die Wirkung dieses Vorganges auf den Kanal ist vergleichbar mit der eines abwechselnd saugenden und drückenden Pumpenkolbens.

## 2. Praktische Bedeutung dieser Schwingungen für die Schifffahrt.

Wenn bei den waagerechten Schwingungen entsprechend große Geschwindigkeiten auftreten würden, könnten sie die Einfahrt in den Kanal, besonders für Schleppzüge, erschweren, vor allen Dingen, solange der Stau noch nicht errichtet ist, die Fließgeschwindigkeit in der Weser, also groß und der Wasserquerschnitt des Kanals klein ist. Der Querschnitt ist in Petershagen so ausgebildet, daß er auch bei gelegtem Stau noch einschiffig befahren werden kann. Der Schlepper eines Talschleppzuges muß, um steuerfähig zu sein, auf dem Strom mit einer die Strömung übertreffenden Geschwindigkeit fahren. Bei der Einfahrt stößt er auf das ruhende Wasser des Kanals, wodurch seine Fahrt verlangsamt wird, wenn er nicht rechtzeitig, mehr Maschinenkraft einsetzt. Da der nachfolgende Kahn zunächst noch mit unverminderter Geschwindigkeit weiterläuft, wird die Schlepptrasse locker, der Kahn verliert die Führung und läuft Gefahr, quer abzutreiben, auf die Mole zu geraten und dann mit dem Heck von der Weserströmung herumgerissen zu werden. Diese Gefahr wird vergrößert, wenn das Kanalwasser nicht in Ruhe ist, sondern mit einer strömauf gerichteten Schwingung gegen den anfahrenden Schlepper stößt.

Die Verhältnisse lagen bei Petershagen besonders ungünstig, weil schon vor Errichtung des Staus ein Teilverkehr in den Kanal bis zu einem dort errichteten Dampfkraftwerk zu leiten war, während der übrige Schiffsverkehr noch weiterhin die Weser benutzen mußte. Einerseits wirkte sich die Querströmung infolge des Fehlens der Stauwirkung besonders aus, andererseits war die Bremswirkung des Kanalwassers infolge des geringen Kanalquerschnittes bei niedrigeren Wasserständen besonders groß.

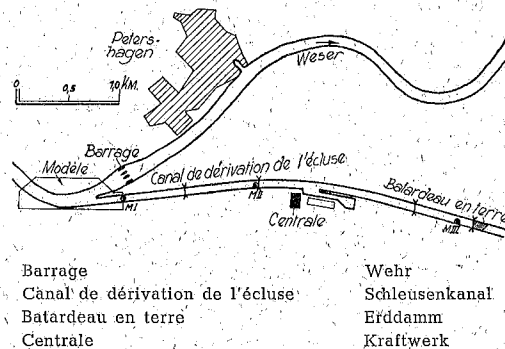


Abb. 1.

## 3. Beobachtungen in der Natur.

Neben dieser praktischen Bedeutung war die Frage der Wasserschwingungen auch von wissenschaftlichem Interesse. Es lagen noch keine Erfahrungen darüber vor, ob es sich nur um eine Modellerscheinung handelte bzw. ob und wie sich die Versuchsergebnisse auf die Natur übertragen ließen. Deshalb wurden zur Überprüfung eingehende Beobachtungen am oberen Schleusenkanal der Staustufe Petershagen bei Wasserständen durchgeführt, die um etwa 2,50 m schwankten,

und zwar vom niedrigsten, noch volle Abladung der Schiffe gestattenden bis fast zum höchsten Wasserstand, bei dem Schifffahrt überhaupt noch möglich ist. Hiervon können infolge des beschränkten Raumes nur einige Ausschnitte und das Ergebnis mitgeteilt werden.

Abb. 1 zeigt die Abzweigung und einen Teil des Kanals mit den Meßstellen I bis III in der Natur und dem Modellausschnitt, Abb. 2 die an den drei Meßstellen beobachteten lotrechten Wasserbewegungen (untereinander aufgetragen) für einen Ausschnitt von etwa 1 Stunde. Das Schwingungsbild der Meßstelle I mit einer mittleren Schwingungszeit von etwa  $4\frac{1}{2}$  Minuten und einer mittleren Schwingungshöhe von 2,6 cm (das Maximum von 5,5 cm lag außerhalb des dargestellten Abschnittes) kehrt bei Meßstelle II wieder, jedoch um etwa 5 Minuten gegen Meßstelle I nach rechts verschoben. Aus dieser Verschiebung und der Entfernung der Punkte voneinander errechnet sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwingung zu  $1550 : 300 = \text{rd. } 5 \text{ m/sek.}$  (vgl. die gestrichelten schrägen Linien). Bei Meßstelle III ist das Bild gestört, entweder durch die Reflexion an dem dahinterliegenden vorläufigen Abschlußdamm oder durch die zwischen II und III liegende Hafenabzweigung. Nur einzelne Wellenscheitel sind noch zu erkennen.

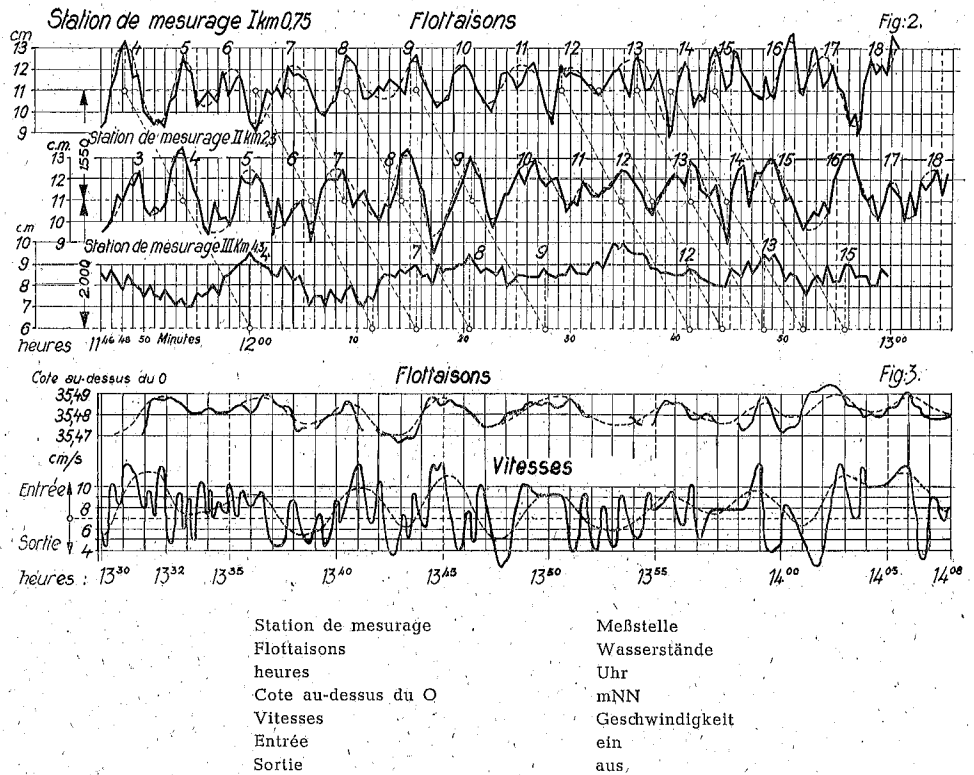


Abb. 2 und 3.

Die Wasserstände wurden an Pegeln mit Millimeterteilung (Zollstock) abgelesen, die mit einem 1 m tiefen Rohr zwecks Ausschaltung der Windwellen umgeben waren. Die Wassertiefe  $t$  im Kanal betrug rd. 4 m, die Abflußmenge in der Weser  $Q = 375 \text{ m}^3/\text{sek.}$ , die Geschwindigkeit  $v = 1,15 \text{ m/sek.}$

Auf Abb. 3 ist ein Ausschnitt aus einer anderen Messung mit selbstschreibenden Geräten (Pendelstrommesser und Schwimmerpegel) dargestellt bei  $t = 3,50$  m,  $Q = 284$  m<sup>3</sup>/sek. und  $v = 1,03$  m/sek. Zu beachten ist, daß bei dieser Abbildung die Längen doppelt so groß dargestellt sind wie bei Abb. 2. Die obere Kurve zeigt die lotrechten und die untere die gleichzeitig registrierten waagerechten Schwingungen, wobei der Windeinfluß (Windstärke 3) durch ein in Querlage

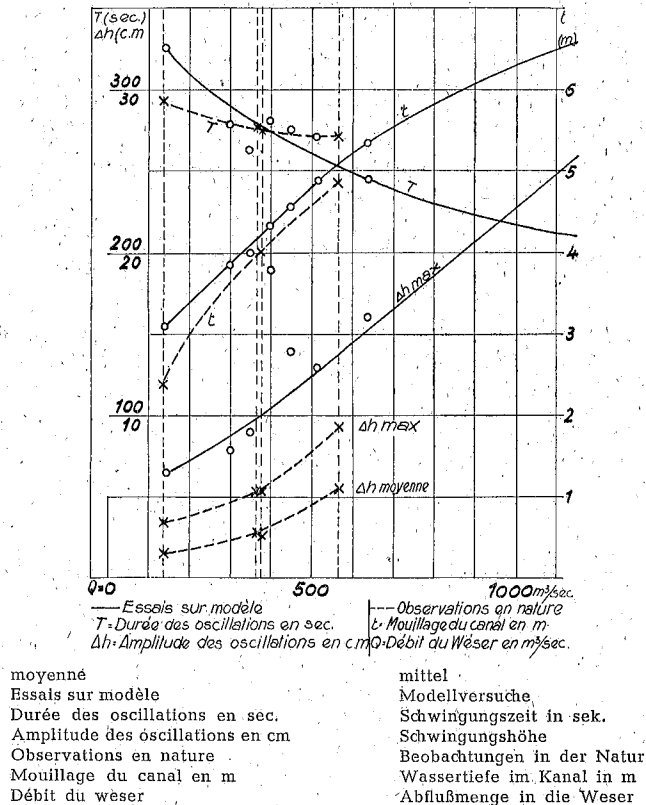


Abb. 4.

vorgelegtes Motorboot noch nicht genügend ausgeschaltet werden konnte, wie der unruhige Verlauf der unteren Kurve zeigt. Die Pendelscheibe des nur verfügbaren Laboratoriumsgerätes reichte nur 12 cm in das Wasser hinein. Bei früheren Messungen mit empfindlichen Flügeln waren auch in 1, 2 und 3 m Tiefe noch Schwingungen festgestellt worden. Die mittlere Schwingungszeit ist auch hier rd. 4 1/2 Minuten. Die beobachtete Schwingungshöhe scheint durch das Motorboot verringert zu sein. Einem Wellenscheitel der lotrechten Schwingung entspricht im allgemeinen eine waagerechte Schwingung in Richtung Schleuse (Einströmen), wobei die größte Geschwindigkeit zu 12 cm/sek. registriert wurde.

#### 4. Vergleich zwischen Modellversuchen und Naturbeobachtungen.

Die folgende Zusammenstellung und Abb. 4 zeigen eine Gegenüberstellung des Ergebnisses der Modellversuche und der Beobachtungen in der Natur. Daraus ergibt sich eine gute Übereinstimmung bei den Schwingungszeiten, während die Schwingungshöhe und die Schwingungsweite in der Natur etwa halb so groß waren, wie sie nach den Modellversuchen hätten sein müssen.

Gegenüberstellung der Werte der Modellversuche  
und der Beobachtungen in der Natur.

	Pegel Minden m	Q m <sup>3</sup> /sec	Schwingungs-				Bemerkungen
			zeit sec	höhe cm	weite m	geschwin- digkeit cm/sec	
1	2	3	4	5	6	7	8
Modell . . . . .	+ 2,42	135	325	(6,3)			( ) = max
Natur . . . . .	+ 2,42	135	293	1,5 (3,5)		(5,6)	sonst Mittel
Modell . . . . .	+ 4,02	370	278	(9,9)			
Natur . . . . .	+ 4,00	366	277	2,8 (5,5)	(13,5)	(6,1)	
Modell . . . . .	+ 4,02	370	278	(9,9)			
Natur . . . . .	+ 4,04	376	274	2,6 (5,5)	(7,9)		
Modell . . . . .	+ 4,69	518	272	(13)			ohne Mole geschlossene Mole
		640		(19)	(38,5)		
		564		(13,8)			
Natur . . . . .	+ 4,88	640	273		12,6 (23)	9,3 (17)	
Natur . . . . .	+ 4,88	564	273	5,5 (9,5)	(12,9)	4,6 (9,2)	vereinzelt 15,8

Eine Übereinstimmung bei der Schwingungshöhe und Schwingungsweite konnte auch nicht erwartet werden, weil das Modell bei M<sub>I</sub> der Abb. 1 endete, während die Naturmessungen bis M<sub>III</sub> den Kanal auf 4,5 km Länge mit der Hafenzweigung umfaßten.

Die Übereinstimmung in den Schwingungszeiten erklärt sich durch die Froudesche Ähnlichkeit der Fließgeschwindigkeiten in Natur und Modell sowie der Frequenz der Wirbelablösungen. Die Schwingungshöhe ist dagegen eine Funktion der trägen Masse, die in Schwingung gebracht werden muß, und der Dämpfung, mit der diese Trägheit der Schwingung entgegenwirkt. In dem nur 3,5 km längeren Kanal der Natur mußte die Trägheit einer mehr als viermal so großen Masse überwunden werden. Aus dem Verlauf der Schwingungskurve bei Meßstelle III ist weiterhin zu erkennen, daß die Kennzeichen der Kurven I und II nicht mehr ausgeprägt sind, daß also zwischen der Meßstelle II und III eine Umbildung der Schwingung stattfand, deren Ursachen in reflektierten Wellen und in Umformungen durch die Hafenzweigung zu vermuten sind. Möglicherweise hatte die Abschlußwand des Modells bei M<sub>I</sub> einen Abstand vom Entstehungsort der Wellen, der ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ausmacht und dabei eine maximale Verstärkung der Wellen durch Reflexion hervorruft.

Abt. I Frage 2

Binnenschiffahrtshäfen.

2a) Örtlichkeit, Lage und Abmessungen der Häfen.

Von Hafendirektor Dipl.-Ing. H. B u m m, Duisburg-Ruhrort, und  
Hafendirektor Ing. R a s p e, Frankfurt (Main).

Zusammenfassung: Für die Örtlichkeit der Häfen gibt es drei Möglichkeiten:

- Kaianlage direkt an der Wasserstraße,
- Hafenbecken mit offenem Stichkanal zur Wasserstraße,
- Hafenbecken mit Schleuse zum Stichkanal.