

6 | Juli 1954

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Baumann

### Erzeugung und Vernichtung von Wasserwellen

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

## Erzeugung und Vernichtung von Wasserwellen

H. Baumann, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1954

© Technische Universität Hamburg-Harburg

Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

120  
R4

Wi: -  
Sch. Wellenerzeuger  
Wellenfilter

Vorläufiger Bericht zu unseren Untersuchungen über Wellengang:

Erzeugung und Vernichtung von Wasserwellen.

Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten eines Schiffsmodells im künstlichen Seegang erfordern als Erstes die Herstellung fortschreitender Wellen von definierter Form. Hierzu ist folgendes nötig:

- I. Eine Versuchsrinne geeigneter Abmessungen
- II. Ein Wellenerzeuger
- III. Ein Wellenschlucker, d.i. eine Einrichtung zur Absorption der Wellen nach Durchlaufen der Versuchsrinne.

Es wurde zunächst die Herstellung des Wellenfeldes betrieben, wobei das fortschrittliche Moment in Punkt III liegt, weil dadurch die Versuchsdauer beliebig ausgedehnt und die Schaltpausen wesentlich verkürzt werden können.

I. Die Versuchsrinne.

Als Versuchsrinne konnte der vorhandene Trimmtank benutzt werden. Es ist dies ein 10 m langer, 1 m breiter Ausläufer unseres grossen Beckens. Sein normaler Wasserstand beträgt 45 cm; in den Seitenwänden und am Boden befinden sich grosse Glasfenster zur Beobachtung der Vorgänge.

Bei den Versuchen wurde der Trimmtank gegen das Hauptbecken abgeschottet und der Wasserstand auf 40 cm gesenkt. Es konnten dann noch Wellen von über 1,5 m Länge ohne merklichen Bodeneinfluss betrachtet werden.

II. Der Wellenerzeuger.

Dem Entwurf des Wellenerzeugers lagen folgende Gesichtspunkte zugrunde:

- 1) Einfachheit
- 2) Erzielung der permanenten Wellenform
- 3) Vermeidung von Resonanzen
- 4) Ausreichend konstante und sauber einstellbare Drehzahl (bzw. Wellenlänge).

(1) Der Einfachheit halber wurde eine starre Platte am Boden der

Rinne gelagert und durch zwei einstellbare Kurbeln, welche in zwei am oberen Rand der Platte angeordneten Gabeln gleiten, hin und her bewegt. (Abb.1)

2) Dieser Mechanismus stellt eine leidlich gute Annäherung an die Kinematik der permanenten Welle dar; er zeigt in Sonderheit zwei typische Merkmale: Abklingen der Orbitalbewegung nach unten, aber gleichen Geschwindigkeitsbetrag eines Partikels in Berg und Tal. (Die Winkelgeschwindigkeit der Platte ist ja in der unteren Stellung der Kurbel grösser als in der oberen.) Die Kurbeln müssen in Richtung der Orbitalbewegung umlaufen (wie gezeichnet); anderenfalls beobachtet man sehr deutlich nicht-permanente Wellenformen, was ein Beweis für die Wichtigkeit einer richtigen Kinematik des Wellenerzeugers ist. Der Idealfall liesse sich allerdings nur durch eine biegsame Platte mit komplizierter Antriebskinematik erzielen.

3) Es waren zweierteil Resonanzen zu vermeiden:

a) Resonanz mit dem Raum der Erstreckung  $l$  zwischen Platte und Rückwand des Wellenerzeugers

b) Resonanz mit den Querschwingungen der Rinne.

Wegen a) muss  $n \cdot \frac{\lambda}{2} \neq l$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) sein. Es wurde  $l = 16$  cm gewählt; dann sind die Umgebungen von  $\lambda = 32$  cm, 16 cm, 10,7 cm usw. zu vermeiden, d.h. wir können mit den Betriebsbereichen oberhalb 38 cm und zwischen 17,5 und 27,5 cm rechnen. (Die Zahlen ergeben sich aus der Bedingung

$$\left| \frac{n \lambda}{2} - l \right| \geq \frac{\lambda}{12} .)$$

Stehende Querschwingungen (b) sind möglich mit den Wellenlängen  $\lambda' = \frac{2b}{n}$ . Nach Schuler \*) können diese angeregt werden, wenn die Frequenz des Wellenerzeugers doppelt so gross ist wie diejenige der Querschwingung. Dann ist also die Länge der fortschreitenden Wellen

$$\lambda = \frac{1}{4} \lambda' = \frac{b}{2n}$$

wegen Resonanzgefahr zu vermeiden. Mit  $b = 1$  m findet man  $\lambda = 50, 25, 16,7$  cm usw. Da diese Werte in die Betriebsbereiche des Wellenerzeugers fallen, wurde die Versuchsrinne in der Nachbarschaft des Erzeugers durch 3 Leitbleche (lotrecht und in Rich-

\*) M.Schuler: Der Umschlag von Oberflächenwellen. ZAMM 13 (1933) S.443-446

tung der beabsichtigten Wellenausbreitung) in 4 Teile von je  $b' = 25$  cm Breite unterteilt, sodass jetzt die längste der gefährlichen Wellenlängen 12,5 cm beträgt und somit unterhalb der gewählten Betriebsbereiche liegt.

4) Zum Antrieb des Wellenerzeugers dient ein Synchronmotor, zur Einstellung der Wellenlänge ein Plender-Variator mit dem Regelverhältnis 1:5. Diese Anordnung entspricht allen Anforderungen hinsichtlich Einstellbereich und Konstanz. (Abb.2)

### III. Der Wellenschlucker.

Maschinenbaulich unterscheidet sich der Wellenschlucker vom Wellenerzeuger nur dadurch, dass an die Stelle des Antriebs eine Wirbelstrombremse zur Vernichtung der Wellenenergie und ein System von Stahlfedern zur Abstimmung auf die Frequenz der ankommenden Welle treten. Die schwingende Platte trägt also am oberen Rand anstelle der beim Wellenerzeuger vorhandenen Gabeln eine Traverse mit einer Anzahl von Kupferblechen und den zum Einhängen der Federn nötigen Haken. (Abb.3) Die Kupferbleche schwingen in den Luftspalten von Permanentmagneten. Zur Einstellung der jeweils notwendigen Bremsung (welche proportional zu der im Magnetfeld befindlichen Kupfermasse ist) werden die Magneten mittels Spindeltransport mehr oder weniger über das Kupferblech geschoben.

Theoretisch kann die Wirkungsweise des Wellenschluckers etwa folgendermassen dargestellt werden:

Der Wellenschlucker dient als Ersatz für eine unendlich lange Versuchsrinne. Die Wasserpartikel eines im Ruhezustand ebenen Querschnitts bilden auch während der Wellenbewegung eine zusammenhängende Fläche. (Abb.4) zeigt Form und Lage einer solchen 'Substanzfläche' in 12 Phasen. Der Pfeil bezeichnet die Richtung der Orbitalbewegung des Oberflächenpartikels einer nach rechts fortschreitenden Welle. Führt man nun in die unendliche Rinne ein Blech ein, welches genau die Bewegung einer Substanzfläche ausführt, so wird die Wellenausbreitung nur durch die vernachlässigbar kleine Reibung des Wassers gestört. Nun haben wir aber eine ebene Platte mit fester Achse eingeführt. Wenn wir eine solche in periodische Bewegung versetzen, erzeugen wir nicht nur eine fortschreitende Welle sondern auch eine auf die nähere Umgebung der Platte beschränkte, im Wesentlichen totrech-

te Strömung (Abb.5), welche mit der Plattenbewegung phasengleich ist und als hydrodynamische Trägheit in Erscheinung tritt. Diese dämmt den Transport der einfallenden Wellenenergie mit dem Resultat, dass nur ein Teil davon nach rechts weitergegeben und der Rest nach links reflektiert wird. Wir können aber die unerwünschte Trägheit der Platte (die hydrodynamische sowie die starre) durch Anschalten einer Elastizität (Federn) für irgendeine bestimmte Frequenz kompensieren und so die Dämmung des Energieflusses für die betr. Wellenlänge aufheben. Dann kann die Welle wieder ungestört passieren, d.h. die von links einfallende Welle wird mit gleicher Amplitude und Phase rechts wieder erzeugt. Lediglich in der näheren Umgebung der Platte findet eine zusätzliche (konservative) Strömung statt, deren kinetische Energie zusammen mit derjenigen der Platte und der potentiellen Energie der elastischen Halterung konstant bleibt, also keine äusseren Kräfte erfordert, nachdem sie einmal da ist.

Wird nun der rechte Teil der Rinne im Abstand  $l$  hinter der Platte abgeschottet, so ergibt sich noch zweierlei: Erstens kann die Welle jetzt nicht mehr nach rechts fortlaufen; damit sie nicht nach links reflektiert wird, sondern absorbiert wird, muss also die Platte eine dem Wellenwiderstand der Rinne genau entsprechende Dämpfung (Wirbelstrombremse) bekommen. Zweitens entsteht jetzt hinter der Platte eine stehende Welle, welche je nachdem, wie die Wellenlänge sich zu dem Abstand  $l$  verhält, elastische oder träge Kräfte auf die Platte ausübt; die elastische Halterung der Platte ist also dementsprechend zu verändern. (Da eine negative Elastizität nicht stabil wäre, muss unter Umständen an der Platte eine zusätzliche Masse angebracht werden.)

Kurz gesagt, besteht das Prinzip des Wellenschluckers in dem Abschluss der Versuchsrinne durch den richtigen (dissipativen) Wellenwiderstand (Wirbelstrombremse); die mit der mechanischen Anordnung verbundenen konservativen Kräfte (starre und hydrodynamische Trägheiten, hydrostatische Elastizität) komplizieren die Sache; sie werden mittels Federn und ggf. auch Zusatzmassen für die Frequenz der ankommenden Welle kompensiert.

Bei richtiger Einstellung absorbiert der Wellenschlucken die einfallende Welle theoretisch vollkommen; er re-

flektiert also nichts. Praktisch erscheint natürlich jede maschinenbauliche Unstimmigkeit als Reflexion. Die bisher vorliegenden Erfahrungen mit dem Wellenschlucker zeigen deutlich den gewünschten Effekt. Es wurden auf Antrieb etwa 85-90% der einfallenden Wellen absorbiert. Die Reflexion von 10-15% hat ihren Grund hauptsächlich in der unzureichenden Buchstagerung der schwingenden Platte. Wir erwarten nach Einsetzen von Schneidentagern noch wesentlich bessere Ergebnisse.

Nachdem nun das Prinzip klar ist und alle hydrodynamischen Beziehungen, (die wegen ihrer Umständlichkeit hier übergangen werden), numerisch berechnet worden sind, muss der Wellenschlucker noch technisch soweit entwickelt werden, dass seine Einstellung auf die zu absorbierende Welle keine Wissenschaft mehr ist. Die weiteren Untersuchungen sind auf Vergrößerung der Absorptionsbreite und auf Einstellhilfen zu richten. Als Absorptionsbreite bezeichnen wir das Verhältnis  $\beta$  zwischen der Verstimmung  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  und der damit verbundenen Reflexion  $r$ ,  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \beta \cdot r$ . Sie beträgt jetzt 0,5 für lange, 0,1 für kurze Wellen. Damit die Reflexion weniger als z.B. 3% beträgt, darf also die Verstimmung  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  bei langen Wellen den Wert von 1,5% nicht überschreiten; bei kurzen Wellen sind es nur 0,3%; und das ist eine zu scharfe Abstimmbedingung. Die Absorptionsbreite ist wesentlich von dem Raum zwischen der schwingenden Platte und der Rückwand des Schluckers abhängig; es ist vielleicht zweckmässig, den Abstand  $l$  einstellbar zu machen.

7 Juli 1954

Wainman

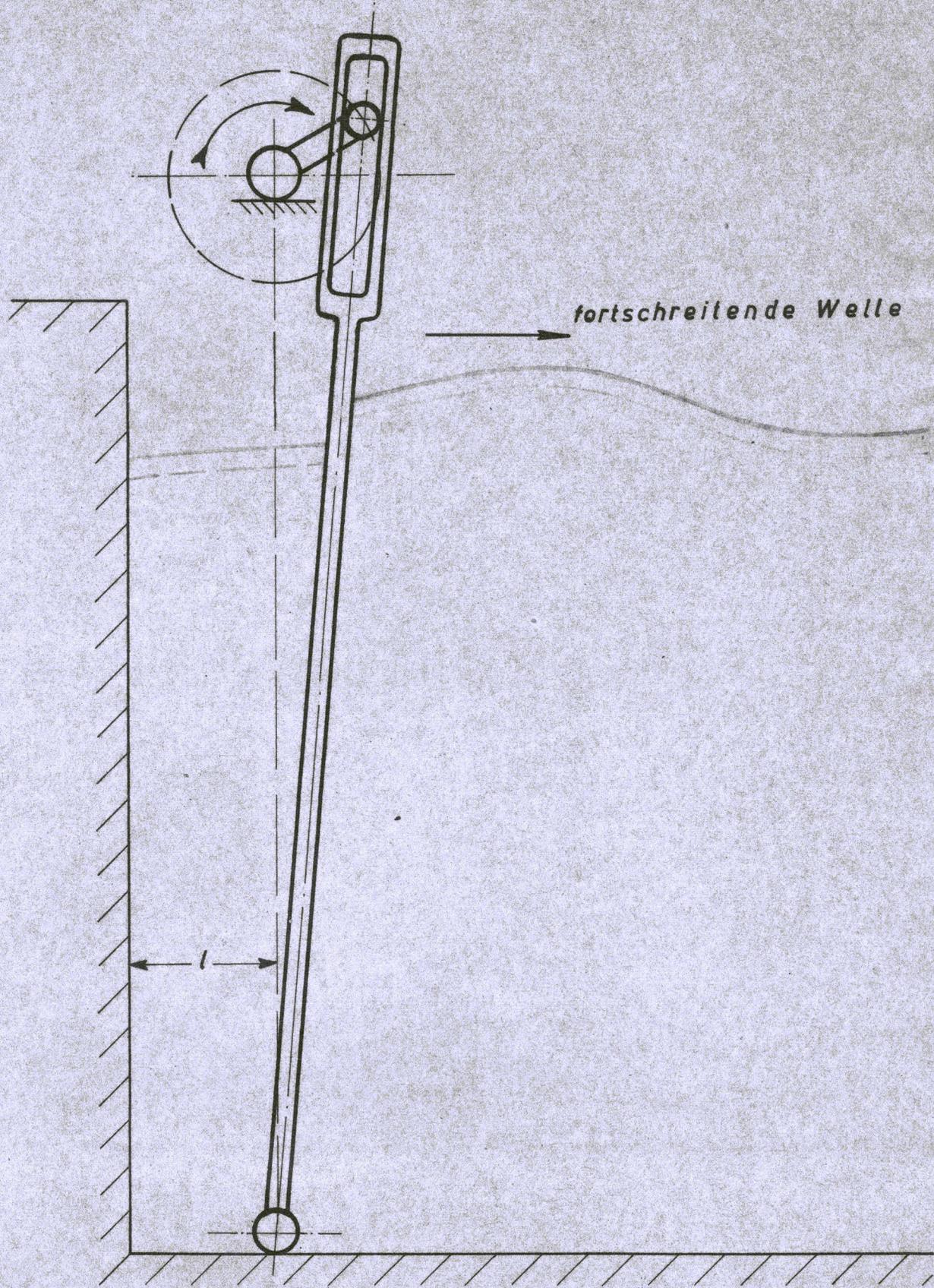


Abb. 1

Wellenerzeuger (schematisch)

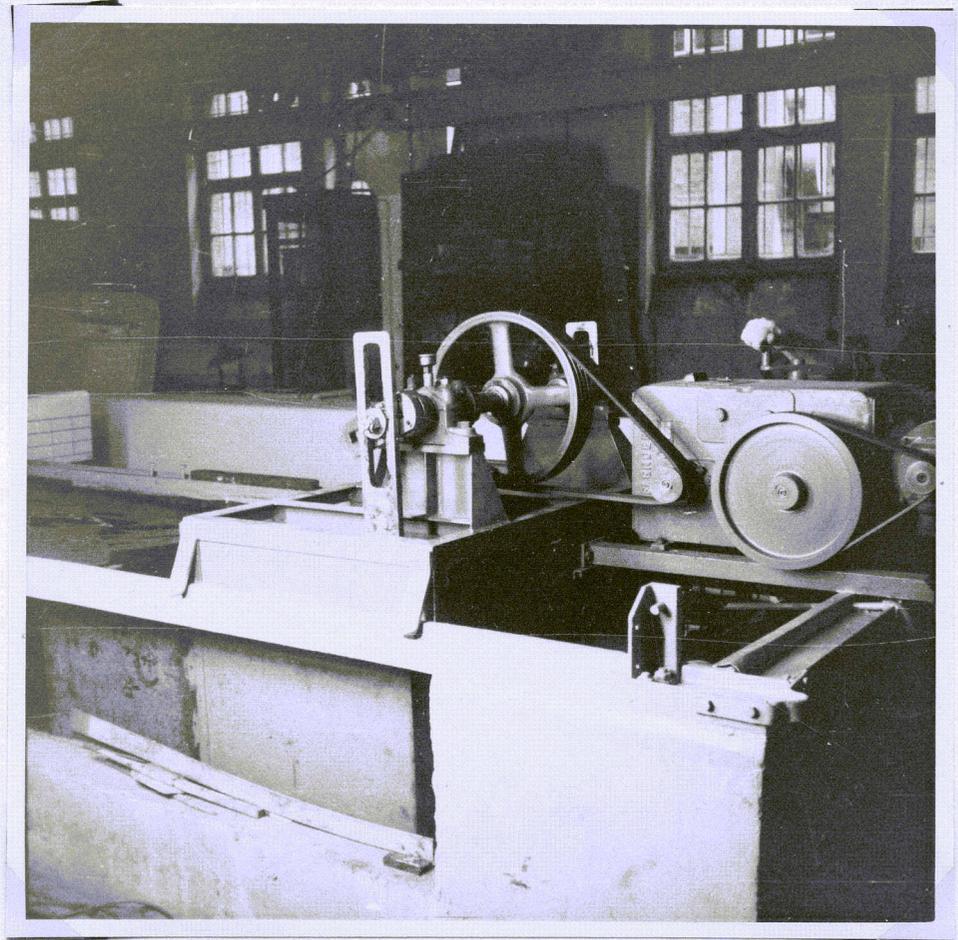


Abb.2 : Antrieb des Wellenerzeugers

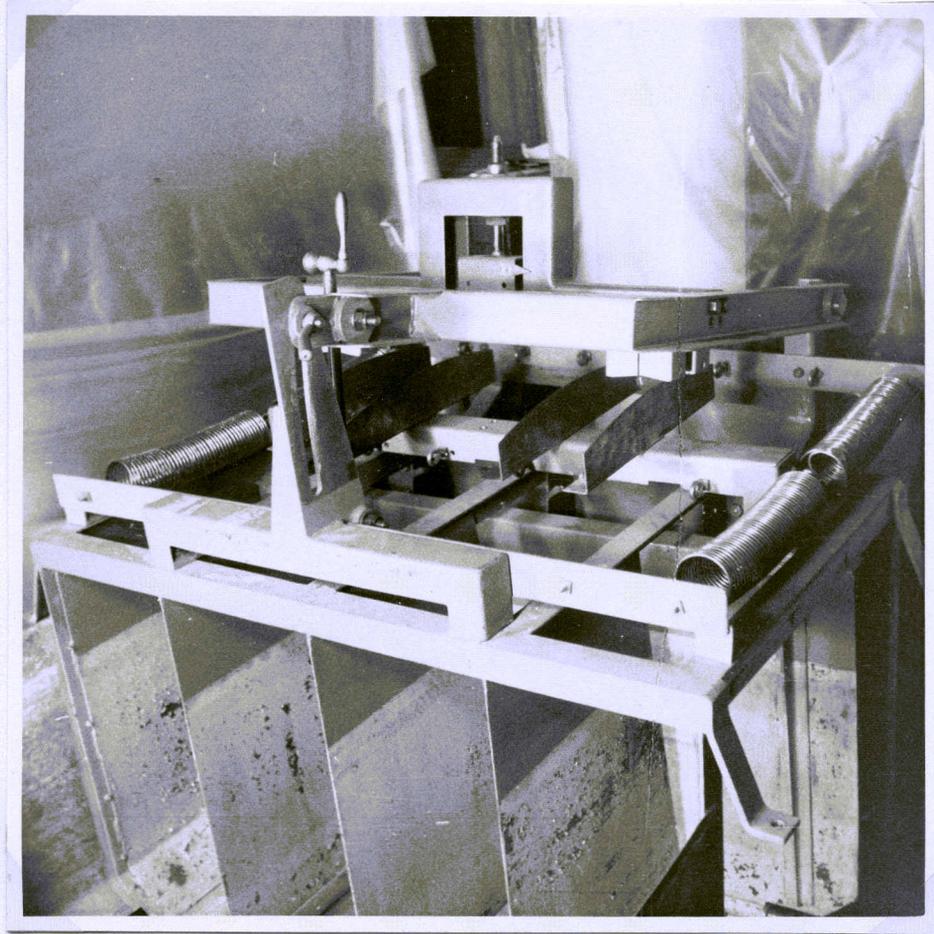
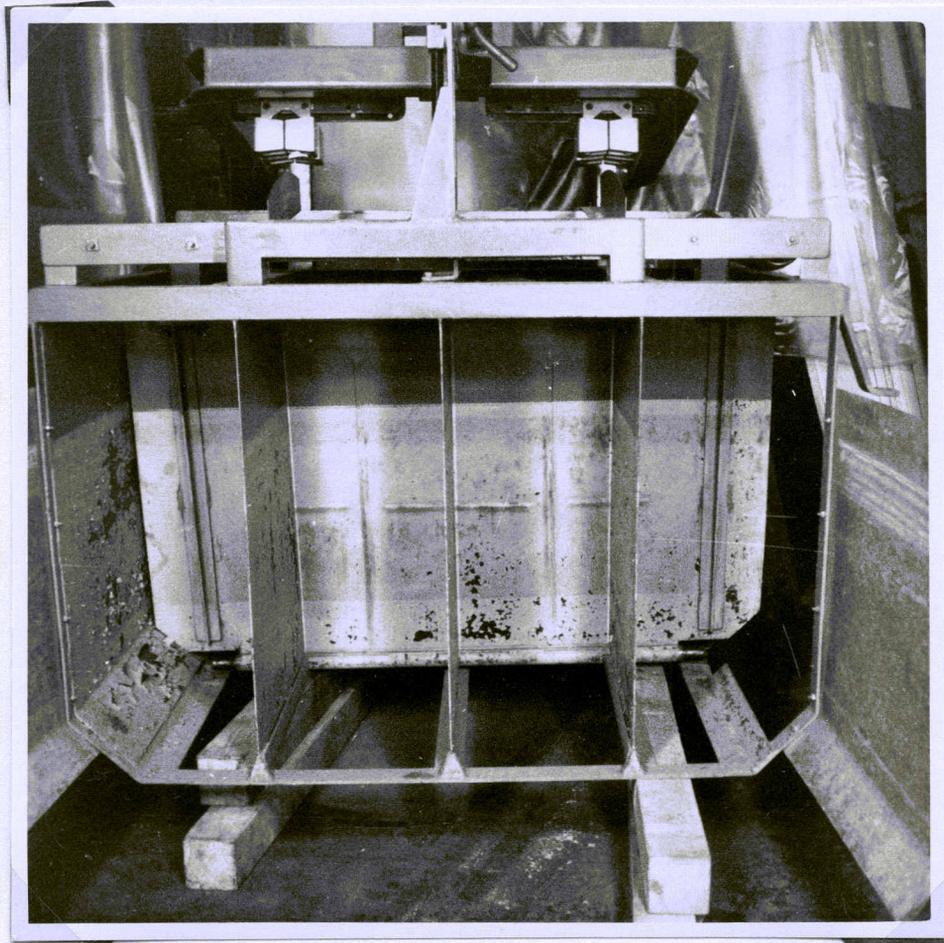


Abb.3 : Wellenschlucker (ausgebaut, Seitenwand entfernt)  
oben : Stirnansicht ; unten : Schrägansicht

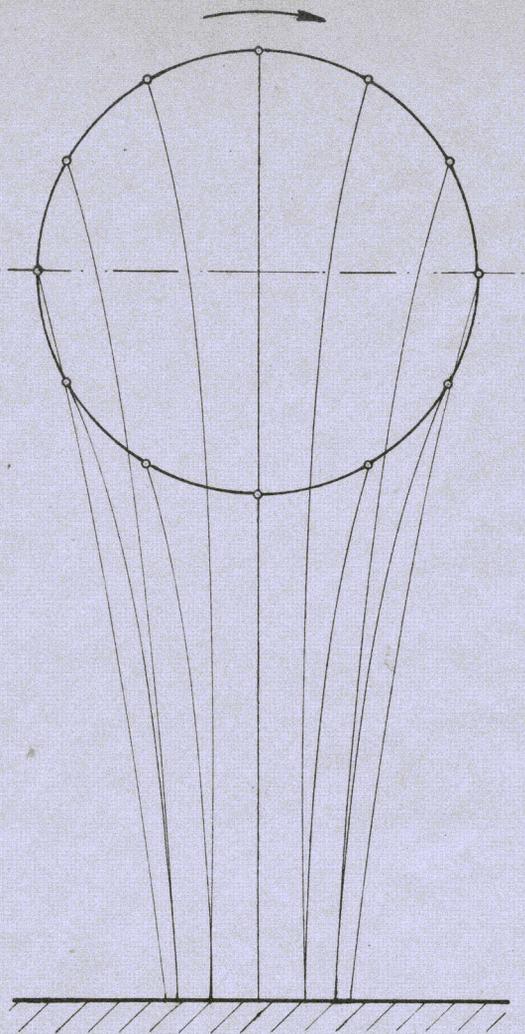


Abb. 4  
 Substanzfläche in einer nach rechts  
 fortschreitenden Wasserwelle.  
 12 Phasenlagen. (schematisch)

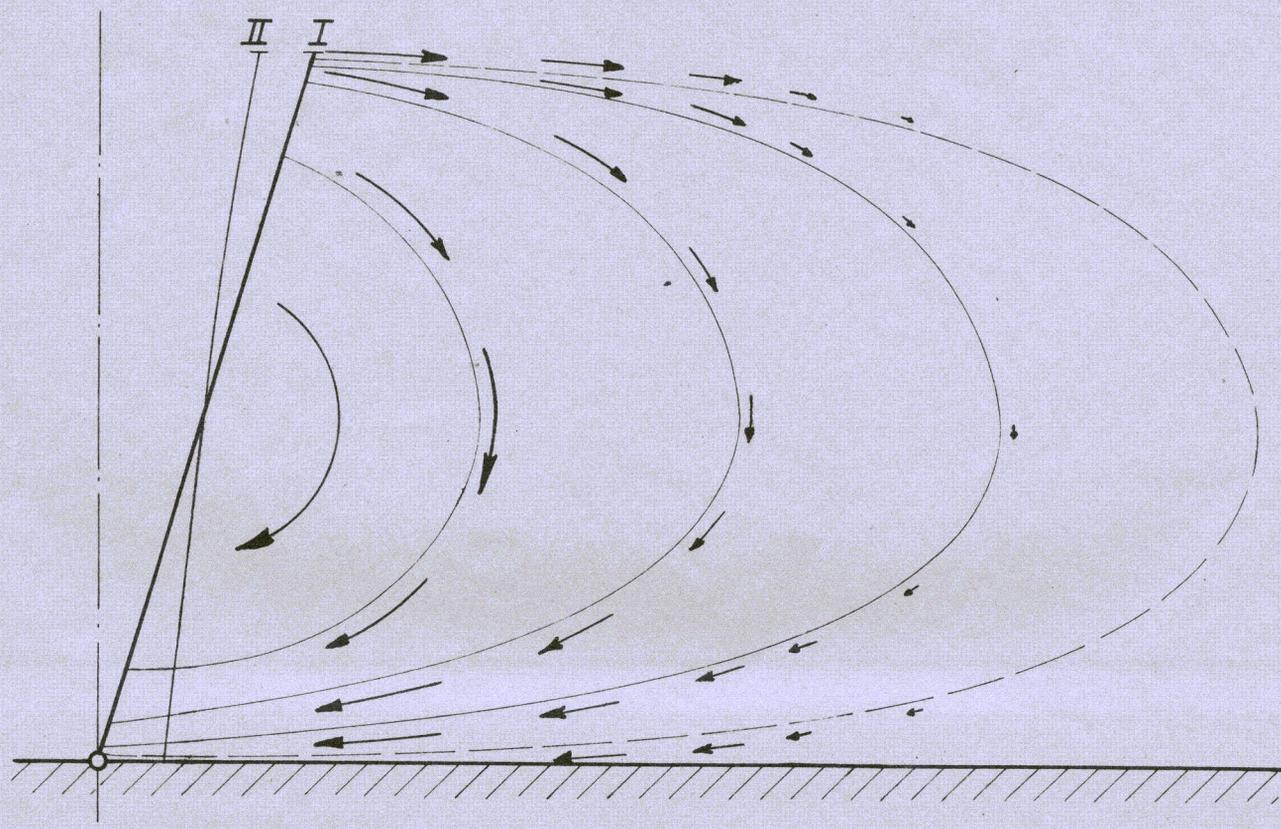


Abb. 5  
 Nahfeld der schwingenden Platte: Teilchenverschiebung in der Ausgleich-  
 Strömung zwischen Auslenkung der Platte I und  
 Auslenkung einer Substanzfläche II der fortschreitenden Welle (schemat.)