

# ÜBER SEICHES IN MEERESBUCHTEN UND DIE FRAGE DER MÜNDUNGSKORREKTUR (\*)

GERHARD NEUMANN

In vollständig abgeschlossenen Wasserbecken, z. B. in allseitig von Land umgebenen Seen, hängen die Perioden und die Amplitudenverteilung der Seiches nur von der Länge und den Breiten- und Tiefenverhältnissen des Seebeckens ab. Bei *unvollständig begrenzten* Wassermassen, d. h. bei Meeresbuchten und bei Seen, die durch enge Kanäle oder Meeresstrassen mit dem freien Meer in Verbindung stehen, tritt zu der Abhängigkeit von der Beckenkonfiguration noch die Beeinflussung der freien Schwingungen durch die *Art und Grösse der Mündungsöffnung*.

Den Einfluss von Öffnungen beliebiger Art und Grösse an irgendeiner Stelle des Beckens auf die Eigenperioden derartig unvollständig abgeschlossener Wassermassen hat Verf. <sup>(1)</sup> mit Hilfe der « Impedanzmethode » <sup>(2)</sup> untersucht und die Ergebnisse durch Experimente und Beobachtungen an geeigneten Modellbecken geprüft. Der in der Natur recht häufige Fall einer an der Schmalseite geöffneten Bucht (Abb. 1 c, d, e) ergibt sich aus den Periodengleichungen als Spezialfall des allgemeineren Problems eines an beliebiger Stelle geöffneten Wasserbeckens (Abb. 1 b). In der schematischen Abbildung 1 sind einfache rechteckige Becken konstanter Tiefe angenommen, nur um die Problemstellung zu erläutern. Die Methode lässt sich aber, wie an anderer Stelle gezeigt worden ist <sup>(3)</sup>, ebenso auf unregelmässig gestaltete Becken mit wechselnder Breite und Tiefe anwenden.

Bei dem in Abb. 1 b schematisch dargestellten, seitlich geöffneten See handelt es sich um ein *zusammengesetztes Schwingungssystem*, dessen einzelne Bereiche als *getrennte Schwingungsgebiete* aufgefasst werden können. Durch ihr Zusammenwirken kommt eine resultierende Schwingung des Gesamtsystems zustande, und wir fragen nach den Eigenperioden einer derartig unvollständig begrenzten Wassermasse.

Den gesamten Schwingungsraum teilen wir in vier Bereiche auf (Abb. 1 b). Der Schwingungsbereich I wird von dem Querschnitt an der Stelle der Mittelachse der Abflussöffnung nach dem einen, der Bereich II nach dem anderen geschlossenen Ende gerechnet. Der Be-

(\*) La traduzione in lingua italiana della presente nota è riportata a pag. 117.



worin  $T_1$  die Periode des vollständig geschlossen gedachten Beckens (die unkorrigierte Periode) ist, die z. B. nach der Defantschen Restmethode berechnet werden kann (\*).  $S_1 = b_1 h_1$  und  $c_1 = 2L_1/T_1$ , wenn  $b_1$ ,  $h_1$  und  $L_1$  die Breite, Tiefe und Länge (im Talweg) des Sees hedeuten.  $T$  ist die zu bestimmende (korrigierte) Periode des geöffneten Seebeckens (Bucht) und  $a$  ist eine Konstante, die die Dimensionen der Mündungsöffnung enthält. Hat diese die Breite  $b$ , die Tiefe  $h$  und die « effektive » Länge  $l^*$ , dann ist  $a = bh/l^*$  die « Leitfähigkeit » der Mündungsöffnung.

Die Lösungen der transzendenten Gleichung [1] zeigen, dass durch das Vorhandensein einer Öffnung die Perioden  $T_n = 2L_1/nc_1$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$  (Seeschwingung) des Beckens erniedrigt und die Perioden  $T_n = 2L_1/(n + 1/2) c_1$ ,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  (Buchtswingung) erhöht werden (\*\*). Mit wachsender Grösse der Mündungsöffnung werden die Resonanzperioden des Beckens kontinuierlich kleiner. Die auftretenden Resonanzschwingungen können mit demselben Recht sowohl « verkürzte Seeschwingungen » als auch « verlängerte Buchtswingungen » genannt werden.

Die Änderung der Seichesperioden hängt also wesentlich von der « Leitfähigkeit »  $a$  der Mündungsöffnung ab. Diese Grösse  $a$  enthält die « effektive » Länge  $l^* = l + a$  der Mündung.  $l$  ist die geometrische Länge der Mündungsöffnung und  $a$  eine Zusatzstrecke, die « Mündungskorrektur ».

Besonders wichtig wird der Fall, wo der Mündungsquerschnitt angenähert gleich dem Buchtquerschnitt ist. Dann geht die Bucht (Abb. 1 e) unmittelbar in das freie Meeresgebiet über und für die « effektive » Mündungslänge ist einfach die Mündungskorrektur zu setzen. Die Grösse dieser Korrektur lässt sich unter gewissen Annahmen theoretisch bestimmen, im Anschluss an analoge Untersuchungen bei axialen Luftschwingungen in einseitig geschlossenen Röhren. Bei der weitgehenden Analogie der Seichesprobleme zu denen der

(\*) Über die Ableitung der Periodengleichung und über die Anwendung der Methode s.d. Originalabhandlungen (2) (3).

(\*\*) Für den Fall eines an der Seite geöffneten Beckens, wie es in Abb. 1b schematisch dargestellt ist, würde die Periodengleichung lauten

$$\frac{S_1}{c_1} \operatorname{tg} \omega \frac{L_1}{c_1} + \frac{S_2}{c_2} \operatorname{tg} \omega \frac{L_2}{c_2} = \frac{a}{\omega},$$

woraus die Gleichung [1] als Spezialfall folgt.

Akustik liegt es nahe, auch hier ähnliche Ansätze zu machen. Im Falle  $S_1 = b h = q$  wird die Mündungskorrektur  $l^* = a$ , und für  $a$  erhalten wir in guter Annäherung  $a = 0,347 (b + h)$ .

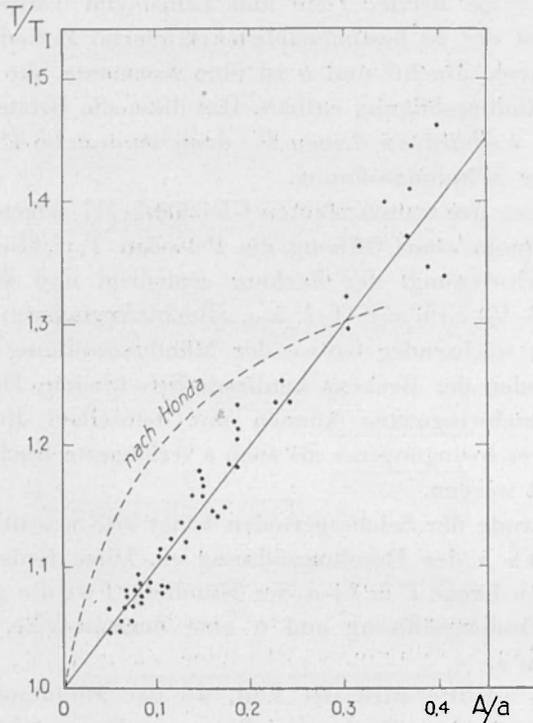


Abb. 2 - Abhängigkeit des Korrekturfaktors  $T/T_1$  von den Dimensionen der Mündung und des Beckens. (Gestrichelte Kurve nach Honda und Mitarbeiter).

Aus der Gleichung [1] folgt mit  $T_1 = 4L_1/c_1$  und  $b h = q$ .

$$\frac{\pi}{2} \left( 1 - \frac{T_1}{T} \right) = \operatorname{arctg} 2\pi \frac{S_1 l^*}{q c_1 T} \quad [2]$$

und nach Entwicklung des  $\operatorname{arctg}$  in erster Näherung

$$1 - \frac{T_1}{T} \approx \frac{4 S_1 l^*}{q c_1 T}$$

oder

$$T = \frac{4(L_1 + l^* S_1/q)}{c_1} = \frac{4L'}{c_1} \quad [3]$$

$L' = L_1 + l^* S_1/q$  ist die « reduzierte » oder « effektive » Bucht-

länge. Die nach dieser Näherungsformel berechnete Periode wird um so genauer sein, je länger die Bucht im Verhältnis zur Korrektur  $l^* S_1/q = (l + a) S_1/q$  ist. Bei kurzen Buchten mit relativ breiter Mündung berechnet man die korrigierte Schwingungsdauer  $T$  genauer nach Gleichung [1] oder [2]. Aus [3] folgt mit  $l^* = l + 0,374 (b + h)$

$$\frac{T}{T_1} = 1 + \frac{l^* S_1}{L_1 q} = 1 + \frac{A}{a} \quad [4]$$

wenn wir analog zur Leitfähigkeit  $a = q/l^*$  des Verhältnis  $S_1/L_1$  des Beckens mit  $A$  bezeichnen.

Durch Messungen an künstlich erzeugten Seiches in geeigneten Modellbecken bei verschiedenen Mündungsöffnungen wurde die

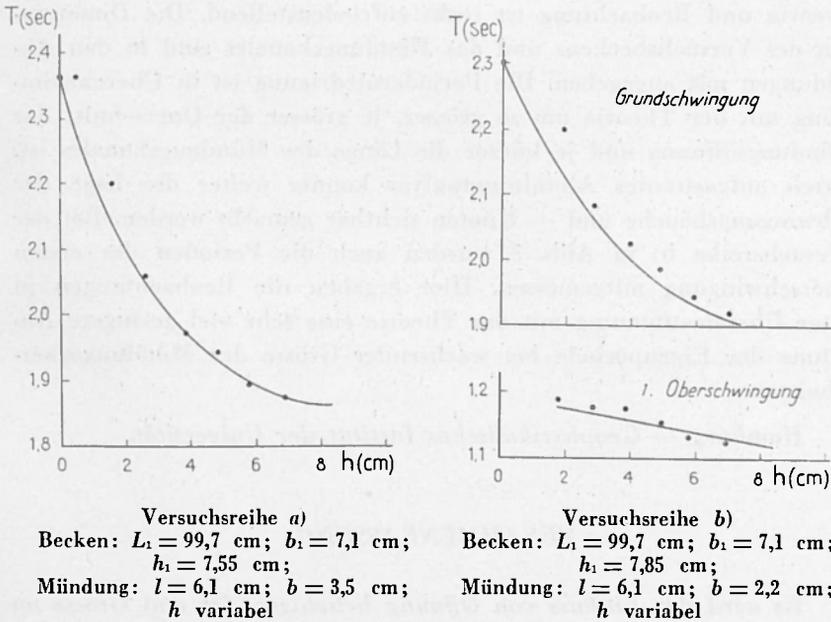


Abb. 3 - Abhängigkeit der Eigenperiode eines unvollständig geschlossenen Wasserbeckens von der Tiefe  $h$  der Mündungsöffnung. Die Punkte sind die beobachteten Werte.

Abhängigkeit des Korrektionsfaktors  $T/T_1$  von den Dimensionen des Beckens und der Mündung ( $A/a$ ) experimentell bestimmt. Das Ergebnis dieser Beobachtungen ist in Abb. 2 dargestellt. Die gestrichelte Kurve würde den Verlauf der Korrektur nach der « Japanischen Theorie » (4) ergeben. Wir sehen, dass die bisher in der Ozeanographie

gebräuchliche Formel (n. Honda und Mitarbeiter (<sup>4</sup>)) zur Berechnung der Mündungskorrektur Werte ergibt, die von den Beobachtungen an Beckenmodellen erheblich abweichen.

In besonderen Versuchsreihen wurde der Einfluss langgestreckter Mündungskanäle von verschiedener Breite und Tiefe auf die Seichesperioden begrenzter Wassermassen untersucht. Diese Modellbecken hatten etwa eine Form, wie sie in Abb. 1 c schematisch dargestellt ist. An Stelle der geometrischen Kanallänge  $l$  wurde die effektive Kanallänge  $l^* = l + 0,374 (b + h)$  gesetzt. In Abb. 3 ist die Abhängigkeit der Eigenperioden von der Tiefe  $h$  der Mündungsöffnung für zwei verschiedene Versuchsreihen dargestellt. Die ausgezogene Kurve bedeutet die nach Formel [1] berechnete Abhängigkeit und die Punkte geben die beobachteten Perioden an. Die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung ist recht zufriedenstellend. Die Dimensionen des Versuchsbeckens und des Mündungskanales sind in den Abbildungen mit angegeben. Die Perioderniedrigung ist in Übereinstimmung mit der Theorie um so grösser, je grösser der Querschnitt der Mündungsöffnung und je kürzer die Länge des Mündungskanales ist. Durch aufgestreutes Aluminiumpulver konnte weiter die Lage der Schwingungsbäuche und — Knoten sichtbar gemacht werden. Bei der Versuchsreihe b) in Abb. 3 wurden auch die Perioden der ersten Oberschwingung mitgemessen. Hier ergaben die Beobachtungen in guter Übereinstimmung mit der Theorie eine sehr viel geringere Abnahme der Eigenperiode bei wachsender Grösse des Mündungsquerschnittes.

*Hamburg — Geophysikalisches Institut der Universität.*

### ZUSAMMENFASSUNG

*Es wird der Einfluss von Öffnung beliebiger Art und Grösse an irgendeiner Stelle des Seebeckens auf die Eigenperioden unvollständig begrenzter Wassermassen untersucht. Im Zusammenhang damit steht die Frage nach der Mündungskorrektur bei Seiches in Meeresbuchten. Diese Frage wird im Anschluss an die « Impedanztheorie der Seiches » theoretisch und experimentell behandelt.*

BIBLIOGRAFIA

- (1) NEUMANN G.: *Über Resonanzschwingungen von Meeresbuchten und die Mündungskorrektur bei Seiches*. Deutsche Hydr. Zeitschr., Bd. 1, Heft 2/3, 1948.
- (2) — *Die Impedanz mechanischer Schwingungssysteme und ihre Anwendung auf die Theorie der Seiches*. Ann. d. Hydr. u. mar. Meteor., 1944, S. 65.
- (3) — *Eine Methode zur Berechnung der Eigenperioden usw.* Ann. Hydr. u. mar. Meteor., 1944, S. 193.
- (4) HONDA, TERADA, YOSHIDA, ISITANI: *Secondary Ondulations of oceanic Tides*. J. Coll. Science Imp. Univ. Tokyo, 1908.